Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им. А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»



МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

МЕЖВУЗОВСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ имени Е.В. АРМЕНСКОГО

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им.А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»



Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва 2021 г.

ББК 2+3
Н 34

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2021.– 322 стр.

ISBN 978-5-903650-66-8

В материалах конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов представлены тезисы докладов по следующим направлениям: математика и компьютерное моделирование; информационно-коммуникационные технологии; автоматизация проектирования, банки данных и знаний, интеллектуальные системы; компьютерные образовательные продукты; информационная безопасность; электроника и приборостроение; производственные технологии, нанотехнологии и новые материалы; инновационные технологии цифровой экономики; инновационные технологии в дизайне.

Материалы конференции могут быть полезны для преподавателей, студентов, научных сотрудников и специалистов, специализирующихся в области прикладной математики, информационно-коммуникационных технологий, электроники, информационной безопасности и дизайна.

Редакционная коллегия: Е.А. Крук, С.А. Аксенов, С.М. Авдошин, У.В. Аристова, Г.Г. Бондаренко, Л.С. Восков, А.А. Елизаров, Ф.И. Иванов, А.Б. Лось, Н.С. Титкова

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

ISBN 978-5-903650-66-8

© Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2021 г.

© Авторы, 2021г.



Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского названа в честь основателя и первого ректора Московского института электроники и математики. Евгений Викторинович в 1962 году создал вуз на стыке самых передовых образовательных методик того времени в области электроники и реального сектора экономики, представленного крупнейшими предприятиями в этой области.

Краткая биографическая справка: Евгений Викторинович Арменский родился 2 октября 1923 года в городе Буй Костромской области. В 1941 году он ушел добровольцем на фронт в составе 234-й Ярославской стрелковой коммунистической дивизии. Первый фронтовой опыт получил в боях под Москвой. В самые тяжелые 1941-1942 годы он был разведчиком-наблюдателем 1081 артполка на Калининском фронте, а после ранения в конце 1942 года - курсантом учебной роты связи 5-ой отдельной запасной стрелковой бригады Уральского военного округа. С 1943 года по ноябрь 1945 года был командиром радиовзвода 102 стрелкового корпуса Первого Украинского фронта. Великую Отечественную войну Евгений Викторинович закончил в Праге 9 мая 1945 года. За ратные подвиги он был награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны I и II степени, медалями «За боевые заслуги», «За освобождение Праги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне».

После демобилизации он поступил в Ивановский химико-технологический институт, в котором проучился 2 курса, а затем перешел на третий курс Московского механического института (ныне Московский инженерно-физический институт, НИЯУ МИФИ), который закончил в 1951 году.

Трудовую деятельность Евгений Викторинович начал с должности секретаря комитета ВЛКСМ МИФИ, а с 1952 года началась его педагогическая деятельность ассистентом кафедры «Автоматика и телемеханика» МИФИ. В этом же году он поступил в аспирантуру МИФИ, которую успешно завершил, и защитил кандидатскую диссертацию на тему «Пространственный метод регулирования двухфазного асинхронного двигателя». С 1956 года Евгений Викторинович развивает научное направление и формирует научную школу в области создания систем автоматического контроля, регулирования и управления электрофизических установок.

12 апреля 1962 года Советское правительство приняло решение о создании Московского института электронного машиностроения. Евгений Викторинович Арменский был назначен ректором созданного института. С этого времени в полной мере раскрылись выдающиеся организаторские и педагогические способности Евгения Викториновича. В МИЭМ, благодаря его кипучей и самоотверженной деятельности, были организованы

новые кафедры и научные лаборатории, сформирован дружный коллектив единомышленников. В начале 70-ых годов прошлого столетия в МИЭМ по инициативе академика АН СССР С.Н. Вернова и профессора Е.В. Арменского впервые в нашей стране была организована подготовка специалистов в области космического и радиационного материаловедения, созданы лаборатории электронной микроскопии, рентгеновского анализа.

Евгений Викторинович Арменский уделял большое внимание учебной и научной деятельности. В 1968 году выходит в свет учебное пособие Е. В. Арменского и Г.Б. Фалка «Электрические микромашины». В 1969 году Евгений Викторинович защищает докторскую диссертацию на тему «Системы управления ускорителями заряженных частиц с энергией до 100 Мэв», в этом же году ему присвоено ученое звание «профессор» по кафедре «Электрические машины и электромеханические устройства автоматики». Профессор Евгений Викторинович Арменский хорошо известен своими монографиями и учебниками, изданными на русском, английском, французском, испанском языках. Эти книги стали классическими настольными пособиями для специалистов и студентов практически во всех научных и учебных центрах.

В 1973 году Евгению Викториновичу присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР». В 1984 году ему вместе с коллегами была присуждена Государственная премия СССР «За создание и внедрение в промышленность сверхвысоковакуумных магниторазрядных насосов и высоковакуумных средств технологического и научного оборудования электронной техники».

Евгений Викторинович всегда уделял большое внимание подготовке молодых ученых. Под его руководством выполнены и защищены 10 докторских и свыше 30 кандидатских диссертаций. На протяжении 40 лет Евгений Викторинович был членом редколлегий журналов «Измерительная техника», «Физика и химия обработки материалов» и «Датчики и системы».

В своей педагогической деятельности Евгений Викторинович Арменский всегда призывал студентов, аспирантов стремиться получить дополнительные знания в области прикладной и фундаментальной математики, а также использовать современные информационные технологии в научной работе.

Секция
«Математика и компьютерное моделирование»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИГР

Д.А. Антонов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Мы рассматриваем пространственно-распределенную эволюционную игру на двух полях, которые взаимодействуют друг с другом посредством игры против “среднего” кооператора, то есть выигрыш умножается на мгновенную плотность кооператоров, и изучаем как наличие второго поля влияет на выбор стратегии и поведение системы.

Мы обнаружили, что при игре со “средним полем” на связанных полях плотность кооператоров меньше плотности кооператоров в сравнении с игрой на несвязанных полях, а при определенных значениях параметра модели, состояние соответствующего поля не зависит от выигрыша на другом поле.

Введение

Рассмотрим дилемму заключенного на квадратной сетке $L \times L$ с L^2 агентами. При взаимодействии друг с другом, они могут либо кооперировать (кооператоры, C), либо предавать (дефекторы, D), получая выигрыш, указанный в таблице 1.

Таблица 1. Выигрыши при взаимодействии

		Агент $\mathcal{D}$	Агент $\mathcal{C}$
Сосед	$\mathcal{D}$	0	0
	$\mathcal{C}$	b_1	1

В игре Новака-Мэя[1]-[2], каждый агент попарно взаимодействует с 8 соседями и самим собой, после чего выбирает поведение (кооперировать или предавать), принесшее наибольший суммарный выигрыш на текущем ходу среди себя и соседей и игра повторяется. Агенты не имеют памяти, поэтому максимизируют выигрыш здесь и сейчас. В игре со “средним” полем[3] игрок взаимодействует с соседями и “средним” кооператором, то есть выигрыш игры против агента-кооператора умножается на мгновенную плотность кооператоров.

Взаимодействие двух полей

Рассмотрим два поля размера $L \times L$, на которых агенты играют друг с другом и “средним полем” другого поля с выигрышами b_1 и b_2 соответственно. Пусть мгновенная плотность кооператоров на полях равна f_1 и f_2. Игра со “средним полем” заключается во взаимодействии агента с кооператором с другого поля и умножении выигрыша на плотность кооператоров на другом поле. (Таблица 2)

Таблица 2. Выигрыши агента при игре против “среднего” поля

	D	**C**
НА ПЕРВОМ ПОЛЕ	$b_1 f_2$	f_2
НА ВТОРОМ ПОЛЕ	$b_2 f_1$	f_1

Мы рассматриваем поля с совпадающим случайным распределением кооператоров и дефекторов на первом и втором полях, с вероятностью кооператоров $f_c = 0.9$ при $t = 0$. Измеряем состояние поля при $t \to \infty$ и усредняем по времени и реализациям.

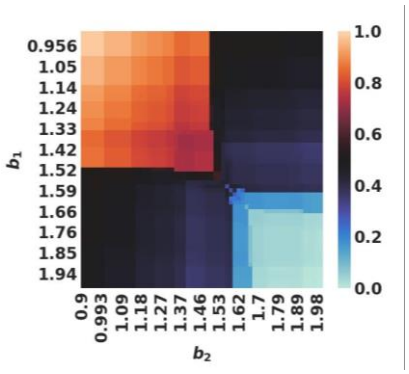


Рис.1. Средняя плотность кооператоров на двух полях от параметров выигрыша. Цветом обозначена средняя плотность на полях. Усреднялась плотность на 6000 шагах после отбрасывания 10000 шагов на 40 различных реализациях полей с начальной плотностью кооператоров 0.9

При игре на связанных полях плотность кооператоров оказывается меньше плотности кооператоров в сравнении с игрой на несвязанных полях. Кроме того, существуют значения параметров выигрыша, при которых изменение одного параметра никак не влияет на состояние другого поля

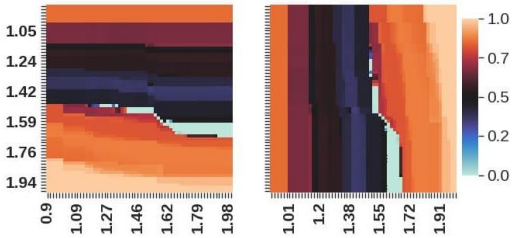


Рис.2. Плотность кооператоров на первом и втором полях

Отличительной чертой игры Новака и Мэя и игры со среднем полем является наличие хаотического режима, в котором все агенты меняют свою стратегию, сохраняя при этом среднюю плотность постоянной [1, 3]. Для определения хаотического режима мы использовали persistence[4] $P(t_1, t_2)$ - долю игроков, не изменивших свою стратегию между двумя моментами времени t_1 и t_2. При значениях параметра выигрыша около b=1 и b=2 параметр выигрыша на одном поле не оказывал влияние на поведение агентов на другом, но при остальных значениях параметр выигрыша может сильно влиять на оба поля. На рис. 3 показан пример изменения состояний двух полей при изменении одного из параметров. В данном случае параметр выигрыша на первом поле фиксирован. При $b_2 < b_1$ на первом поле агенты находятся в состоянии хаоса, $P(t_1, t_2) = 0$, а на втором поле образуют почти неизменяющуюся структуру (несколько агентов меняют свою стратегию, но их меньше остальных), $P(t_1, t_2) > 0$. При $b_2 = b_1$ на обоих полях наступает хаос, а при $b_2 > b_1$ хаос остается только на втором поле.

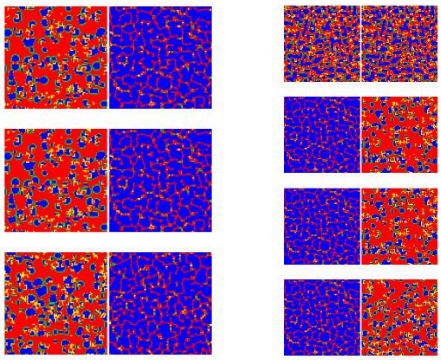


Рис.3. Примеры полей при $b_1 = 1.53$ *и* $b_2 = 1.527, 1.528, 1.529, 1.53, 1.531, 1.532, 1.533.$ *Красное – дефекторы, синее – кооператоры, желтое – кооператоры, ставшие дефекторами, зеленое – дефекторы, ставшие кооператорами*

Заключение

В модификации игры Новака-Мэя с двумя взаимодействующими полями плотность кооператоров меньше в сравнении с игрой на несвязанных полях при том же значении b, а параметр выигрыша на одном поле может влиять на состояние другого поля.

Вычисления проводились с использованием Суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ.

Список литературы:

1. Martin Nowak and Robert May, Evolutionary games and spatial chaos, Nature 359(10), 826(1992).
2. Martin Nowak and Robert May, The spatial dilemmas of evolution, International Journal of Bifurcation and Chaos 03(01), 35(1993).
3. D. Antonov, E. Burovski, L. Shchur, To be published
4. B. Derrida, A.J. Bray, and G. Godr´eche, J. Phys. A 27, L357 (1994); A.J. Bray, B. Derrida, and G. Godr´eche, Europhys. Lett. 27, 175 (1994).

ОБ АСИМПТОТИКЕ СПЕКТРА И КВАНТОВЫХ СРЕДНИХ ОПЕРАТОРА ТИПА ХАРТРИ С ГЛАДКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ САМОДЕЙСТВИЯ

Д.А. Вахрамеева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе построены асимптотические собственные значения и асимптотические собственные функции оператора типа Хартри вблизи нижних границ спектральных кластеров в случае, когда потенциал самодействия является многочленом четвертой степени от разности координат.

Введение

В теории квазиклассического приближения долгие годы стояла проблема о построении асимптотики спектра и асимптотических собственных функций вблизи границ спектральных кластеров, которые образуются при возмущении главной части гамильтониана в случае резонанса частот. В случае операторов типа Хартри с гладким потенциалом самодействия для решения этой проблемы в работе [1] был предложен метод, основанный на операторном усреднении, когерентном преобразовании, комплексном методе ВКБ, а также на вычислении асимптотик квантовых средних. Он использовал ряд конструкций, разработанных в работах М. В. Карасева [2].

В [1] был рассмотрен случай, когда потенциал самодействия в операторе типа Хартри является многочленом от квадрата расстояния. Однако требуют изучения и потенциалы самодействия более общего вида, описываемые многочленами, зависящими от разности координат.

Целью данной работы является рассмотрение именно такого случая. Отметим ряд новых моментов, возникающих при изучении таких операторов. Основной вклад в асимптотику квантовых средних здесь вносит малая окрестность точки поворота $z=0$, что приводит к изменению по сравнению с [1] анзацев для асимптотических решений многоточечной спектральной задачи вблизи этой точки. Изменились также формулы для асимптотик квантовых средних.

Построение асимптотических собственных значений и асимптотических собственных функций

Рассмотрим задачу на собственные значения для оператора типа Хартри в пространстве $L^2(\mathbb{R}^2)$ следующего вида

$$\left(H_0 + \varepsilon \int_{\mathbb{R}^2} V(q,q')|\psi(q')|^2\, dq'\right)\psi = \lambda\psi, \qquad (1)$$

$$\|\psi\|_{L^2(\mathbb{R}^2)} = 1. \qquad (2)$$

Здесь H_0 – двумерный осциллятор

$$H_0 = -\frac{h^2}{2}\left(\frac{\partial^2}{\partial q_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial q_1^2}\right) + \frac{q_1^2 + q_2^2}{2},$$

$\varepsilon > 0, h > 0$ – малые параметры, причем $\varepsilon = h^2$. Кроме того, потенциал самодействия

$$V(q,q') = (q_1 - q_1')^2(q_2 - q_2')^2 - \frac{4}{9}(q_1 - q_1')^4 - \frac{2}{9}(q_2 - q_2')^4. \qquad (3)$$

Поскольку обе частоты двумерного осциллятора H_0 равны 1, то задача (1), (2) относится к классу резонансных.

В работе найдены асимптотические собственные значения задачи (1), (2) вблизи нижних границ спектральных кластеров, которые образуются около уровней энергии невозмущенного оператора. Они имеют вид

$$\lambda = \lambda_{k,l} = lh + h - 4l^2h^4 + lh^4\left(-8 + \sqrt{143}\left(k + \frac{1}{2}\right)\right) + O(h^4), \qquad (4)$$

$$k = 0, 1, 2, \ldots, h \to 0.$$

Здесь число l – натуральное и имеет порядок h^{-1}. Число l определяет собственное значение $h(l+1)$ невозмущенного оператора H_0.

Процесс нахождения асимптотических собственных значений связан с вычислением асимптотик квантовых средних, которые задаются формулой

$$\left(g(S_1, S_2, S_3)\Phi_{k,l}, \Phi_{k,l}\right)_{P_l}, \qquad (5)$$

где g – многочлен, S_1, S_2, S_3 – упорядоченные по Вейлю образующие алгебры вращений, $\Phi_{k,l}$ – асимптотические собственные функции. Скалярное произведение в (5) берется в гильбертовом пространстве P_l многочленов степени не выше l.

При вычислении асимптотик квантовых средних нетривиальные поправки возникают в членах порядка h. Они выражаются через функции

$$\Sigma_j(k) = \int_{R^2} p_j(t,r)\theta(t,r)|H_k(it + r)|^2\, dtdr,$$

$$j = 0, 1, 2, \quad k = 0, 1, 2, \ldots,$$

где

$$\theta(t,r) = \exp\{-\left(\frac{13}{\sqrt{143}} - 1\right)t^2 - \left(1 - \frac{11}{\sqrt{143}}\right)r^2\},$$

$$p_0(t,r) = 1, \qquad p_1(t,r) = t^2 + r^2,$$

$$p_2(t,r) = 13t^2 + 11t^2,$$

а $H_k(z)$ – полиномы Эрмита. В частности, при $h \to 0$ справедливо равенство

$$\left(S_1^2 \Phi_{k,l}, \Phi_{k,l}\right)_{P_l} = ah\left(\frac{11}{2} + \sqrt{143}\left(k + \frac{1}{2}\right) - \frac{\sqrt{11}}{\sqrt{13}}\frac{\Sigma_1(k)}{\Sigma_0(k)}\right) + O(h^2),$$

где число $a = hl/2$. Формулы для асимптотик других квантовых средних, используемых при выводе (4), получены в [3].

Заключение

В данной работе найдена серия асимптотических собственных значений задачи (1), (2), которая описывает расщепление спектра. Отметим, что подобные формулы возникают при асимптотическом решении задачи об эффекте Зеемана-Штарка в атоме водорода в случае резонансного кластера.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании взаимодействий в плоских решетках, в теории конденсата Бозе-Эйнштейна [4], а также при рассмотрении сред с пространственной дисперсией.

Автор выражает благодарность научному руководителю А. В. Перескокову за помощь в выполнении работы.

Список литературы:

1. Перескоков А.В. Квазиклассическая асимптотика спектра оператора типа Хартри вблизи верхних границ спектральных кластеров. / ТМФ. 178:1. -2014. -с. 88-106.

2. Karasev M.V., Novikova E.M. Non-Lie permutation relations, coherent states, and quantum embedding. In: Coherent Transform, Quantization, and Poisson Geometry, -pp. 1-202. | Am. Math. Soc. Providence. -RI. -1998.

3. Vakhrameeva D.A., Pereskokov A.V. Asymptotics of the spectrum and quantum averages of a Hartree type operator near the lower boundaries of spectral clusters. / J. Math. Sci. (N. Y.). 247:6. -2020. -pp. 820-849.

4. Питаевский Л. П. Конденсация Бозе-Эйнштейна в магнитных ловушках. Введение в теорию. / УФН. 168:6. -1998. -с. 641-653.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЁТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Л.Б. Чашкин, П.А. Зорин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,
ООО «ЦСО», г. Томск

Аннотация

Проведено исследование спектральных свойств данных коммерческого учёта тепла в жилом фонде г. Томска с целью конструирования модели теплопотребления. Использован метод быстрого преобразования Фурье. Показано, что динамические характеристики потребления тепловой энергии определяются в основном первыми низкочастотными гармоническими составляющими функции теплопотребления. Предложен алгоритм редукции данных с минимальной погрешностью преобразования и показано, что объём данных для моделирования может быть сокращён более чем на порядок.

Введение

Ограниченность бюджетов на капитальный ремонт и комплексное утепление жилого фонда российских городов требует принятия доказательных управленческих решений по объёму и содержанию ремонта. Обосновать управленческие решения можно с помощью статистического анализа данных по учёту тепловой энергии, так как энергоэффективность напрямую зависит от теплозащитной способности дома [1]. В работе [2] сделан подробный обзор статистики по расходу тепловой энергии в Европейском Союзе. Но в наших городах с преобладанием многоэтажных домов таких исследований не проводится, и тем более нет подходящей модели, построенной из реальных статистических данных по теплопотреблению. Для проведения статистического анализа необходимо построить феноменологическую модель, учитывающую динамику потребления тепловой энергии и имеющую минимальное число параметров, так как наборы данных имеют большой объём и зачастую относятся к классу больших данных [3]. Учитывая, что многоэтажный жилой дом как система обладает большой тепловой инерцией, а данные носят случайный характер, представляет интерес проведение исследования свойств данных для подбора подходящей структуры модели [4].

Существующие методы решения задачи

Большой пласт исследований посвящён построению таких моделей на основе методов нелинейной динамики.

Пусть имеется случайный процесс *X(t)* – последовательность измеренных отсчётов переменной $x_i \in X(t)$. Данный ряд можно отобразить в *n*-мерное пространство так, чтобы каждое значение данной последовательности отображалось в пространство с размерностью *r* и лагом λ. Тогда можно построить следующие лаговые векторы: $Xi=[x(i), x(i+\lambda), ..., (x(1+(r-1)\lambda)]$. Согласно теореме Такенса [5], для достаточно большой размерности пространства лаговые векторы позволяют однозначно точно восстановить фазовое пространство с идентичными свойствами исходной системы. Теорема Такенса доказывает возможность восстановления фазового портрета аттрактора по всему ряду или по одной его координате. Метод позволяет увидеть динамическую картину в целом. Тем не менее, до настоящего времени данный метод является только графическим и не позволяет получать необходимых для учёта теплопотребления количественных оценок. Поэтому имеет смысл решить задачу сначала в линейной постановке с попыткой найти закономерности в реальных данных.

Цель работы – исследование спектральных свойств и закономерностей в данных коммерческого учёта тепла.

Спектральный анализ

Для исследования использовалась база данных по коммерческому учёту тепловой энергии, опубликованная в *IEEE Dataport* [6]. Для всех содержащихся там домов были взяты данные по ежесуточным записям устройств сбора и передачи данных (УСПД), математически представляющий собой временной ряд (рис. 1, синий график). Ряд *q* нормировался по формуле $Q = (q - \bar{q})/\delta$, где $\bar{q}$ – среднее арифметическое значение, δ – среднеквадратическое отклонение (СКО). Над этим рядом *y* проводилось прямое быстрое преобразование Фурье на интерпретаторе Python 3.8 с применением библиотеки *scipy.fft(.)*. Расчёт проводится по методике [7] и формуле:

$$X_i = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi in/N}$$

для $i=0, 1, ..., N-1$. Затем создавался модельный ряд (рис. 1, красный график), в который последовательно включались гармоники, начиная с самой низкочастотной. Для каждой

включаемой в общую сумму гармоники рассчитывалось СКО разности исходного и синтезированного по гармоникам ряда по формуле $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - x_i)^2}$, где n – количество отсчётов, Q_i – i-й отсчёт исходного ряда, x_i – i-й отсчёт синтезированного по гармоникам ряда (рис. 2).

Установлено, что для всех УСПД на рис. 2 проявляется точка перегиба, то есть минимальное количество гармоник, которых необходимо и достаточно для воспроизведения исходного ряда для функции теплопотребления с достаточной для моделирования точностью. Это значение всегда лежит в диапазоне 8–12 (рис. 3, 4).

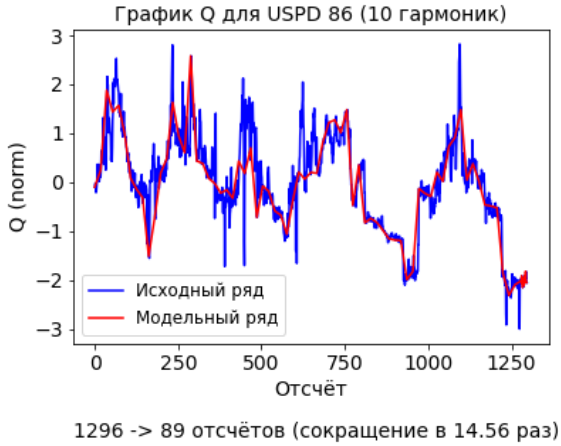


Рис.1. Пример исходного и модельного рядов для УСПД 86

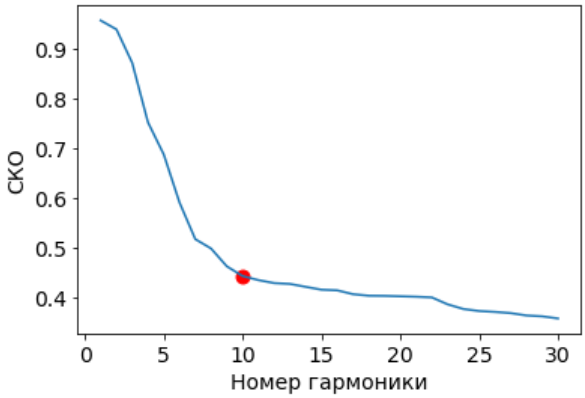


Рис.2. СКО σ в зависимости от количества включаемых гармоник для УСПД 86

Точность воспроизведения формы функции теплопотребления зависит не только от количества гармоник, но и от количества отсчётов. Минимальное количество отсчётов можно найти, воспользовавшись теоремой Котельникова, определив верхнюю частоту гармоники с наибольшим номером. Установлено, что в большинстве случаев для получения модельного ряда достаточно не более ста отсчётов.

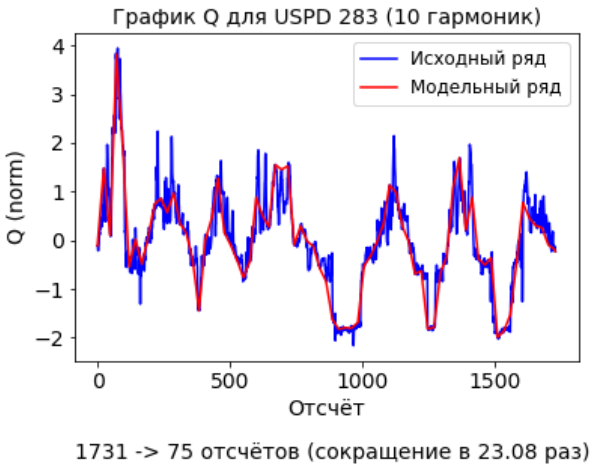


Рис.3. Пример исходного и модельного рядов для УСПД 283

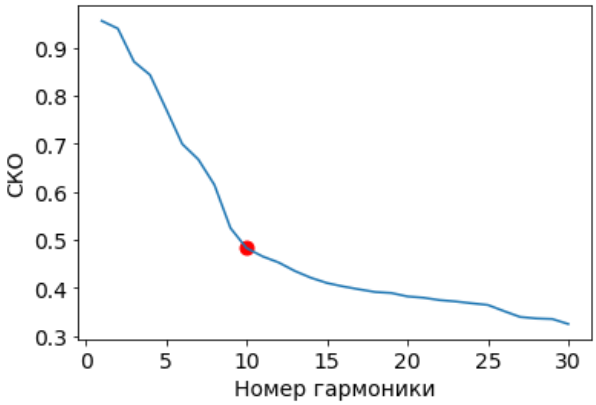


Рис.4. СКО σ в зависимости от количества гармоник для УСПД 283

Пример сравнительных характеристик приведён на рис. 5–6. Для 20 гармоник точность воспроизведения ряда выше, чем для 10, но даже для 20 гармоник можно сократить количество отсчётов в 8,85 раз.

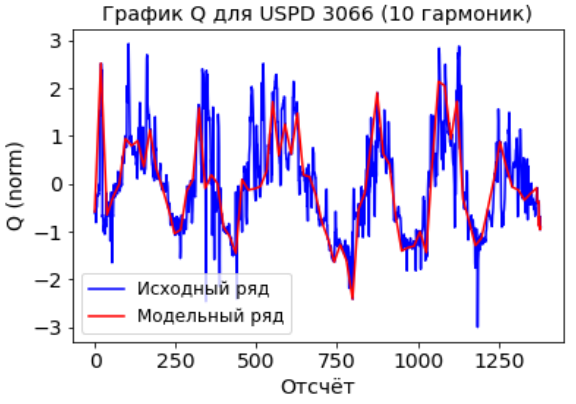


Рис.5. Исходный и модельный ряд, восстановленный по 10 гармоникам

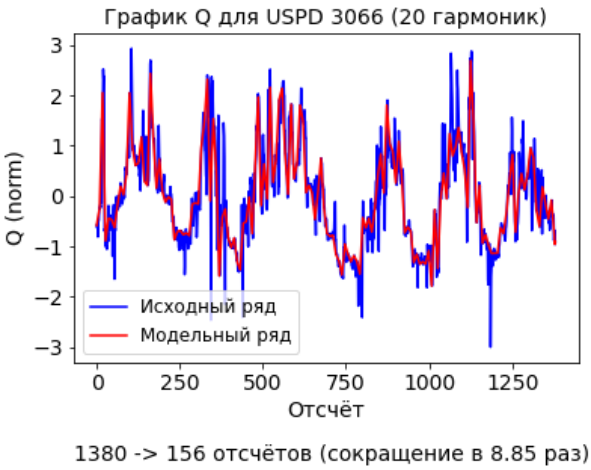


Рис.6. Исходный и модельный ряд, восстановленный по 20 гармоникам

Заключение

Спектральный анализ реальных данных коммерческого учёта тепловой энергии показывает,

что для построения моделей минимальных порядков есть возможность использования только низкочастотных гармонических составляющих функции теплопотребления, что приведёт к сокращению объёма данных и сделает возможным моделирование в распространённых статистических пакетах [8].

Благодарность

Работа выполнена по проекту https://cabinet.miem.hse.ru/#/project/231 МИЭМ ВШЭ (руководитель О.В. Стукач). В части оценок временных рядов исследования поддержаны грантом РФФИ 20-08-00321. Авторы благодарят ООО ЦСО за предоставленные данные.

Список литературы:

1. Зорин П.А., Купреков С.В., Пуговкин А.В., Стукач О.В. Контроль энергоэффективности теплоснабжения зданий типовой застройки // Электронные средства и системы управления / ТУСУР (Томск). – 2018. – № 1–2. – С. 302–305.

2. Canale L., Dell'Isola M., Ficco G., Cholewa T., Siggelsten S., Balen I.. A comprehensive review on heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU // Energy & Buildings. – 2019. – V. 202. – N 109398. – P. 1–15. – DOI: doi.org/10.1016/j.enbuild. 2019.109398.

3. Ляпин А.М., Финогеев А.Г. Технологии big data и облачных вычислений для мониторинга объектов энергетики в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Известия ВолгГТУ. – 2016. – С. 54–58.

4. Зорин П.А., Стукач О.В. Статистическое моделирование тепловых характеристик жилых домов на основе данных теплосчетчиков / Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Тринадцатой Межд. конф. ТГУ. Томск, 07–09 сентября 2020. – С. 11.

5. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence / Dynamical Systems and Turbulence. Lecture Notes in Mathematics, ed. by D.A. Rand, L.S. Young. Heidelberg: Springer, 1981. – V. 898. – P. 366–381.

6. Pavel Zorin, Oleg Stukach, "Data of heating meters from residential buildings in Tomsk (Russia) for statistical modeling of the thermal characteristics of buildings", IEEE Dataport, 2020. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.21227/3r4e-ch18.

7. Romero D.E.T., Jimenez M.G.C. Simplifying Single-Bin Discrete Fourier Transform Computations // IEEE Signal Processing Magazine. – 2021. – V. 38. – N. 2. – P. 130–136. – DOI: 10.1109/MSP.2020. 3046219. – https://ieeexplore.ieee.org/document/9363507.

8. Зорин П.А., Стукач О.В. Дисперсионный анализ данных коммерческого учёта тепловой энергии в жилом фонде города Томска / Наука. Технологии. Инновации // Сборник научных трудов в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. ISBN 9785-7782-4007-0. – С. 72–75.

АСИМПТОТИКА ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Д.С. Клянчин, В.С. Люкшин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Исследуемым объектом является концентрация взвешенных и задержанных частиц пористой среды. Цель работы – верификация асимптотических решений задачи фильтрации вблизи входа пористой среды методом сравнения с численным и точным решением. В процессе работы определялось асимптотическое разложение в случае линейной и нелинейной (экспериментальной) функции фильтрации, полученной ранее.

Введение

Задача фильтрации суспензии и коллоидов в пористой среде встречается во многих областях науки и техники, связанных с экологическими технологиями. Перенос взвешенных частиц и задержание частиц порами фильтра имеет важное значение при фильтрации воды, усиленной биоремедиации, развитии биоорганизмов в водоемах, очистке сточных вод и жидких промышленных отходов [1-3]. В нефтедобывающей отрасли производительность скважин может существенно снизиться при закачке морской или пластовой воды из-за переноса и осаждения взвешенных частиц в пористом грунте, которые могут изменить свойства и структуру пористой среды [4-6]. При строительстве подземных хранилищ опасных отходов, для создания водонепроницаемых стен в грунте используется фильтрация жидкого раствора укрепителя в пористой породе. Процесс фильтрации монодисперсной суспензии основан на механическом и геометрическом взаимодействии между потоком суспензии и пористой средой [7-9].

В данной статье проводится верификация асимптотики, полученной в статье [10], на одномерной задаче фильтрации вблизи входа однородной пористой среды, сравнение с численным решением с помощью экспериментальной функции фильтрации. Вязкость жидкости и электрическое взаимодействие частиц со стенками пор в модели фильтрации не учитываются.

Математическая модель

Исследуемая модель пористой среды рассматривается как труба ограниченной длины с постоянным поперечным сечением. Фильтрация осуществляется с помощью геометрического процесса захвата частиц, действующего благодаря наличию двух типов пор с разными диаметрами D_1 и D_2. Непрерывный поток суспензии представляет из себя движение частиц с постоянным диаметром d, удовлетворяющим неравенству $D_1 < d < D_2$. Соответственно, в

порах диаметром D_1 частицы задерживаются и образуют осадок, а через поры диаметром D_2 частицы проходят [11].

Следующая система из двух уравнений в частных производных описывает процесс одномерной фильтрации монодисперсной суспензии в пористой среде для функций концентрации взвешенных $C(x,t)$ и осажденных $S(x,t)$ частиц. Уравнение неразрывности для потока частиц:

$$\frac{\partial(C+S)}{\partial t}+\frac{\partial C}{\partial x}=\mathbf{0} \quad (1)$$

Для описания изменения концентрации осадка воспользуемся выражением:

$$\frac{\partial S}{\partial t}=\boldsymbol{\Lambda(S)C} \quad (2)$$

где $\Lambda(S)$ - функция фильтрации.

Пусть следующие граничные и начальные условия задают единственное решение системы:

$$\boldsymbol{C(x,t)|_{x=0}=1}; \quad (3)$$

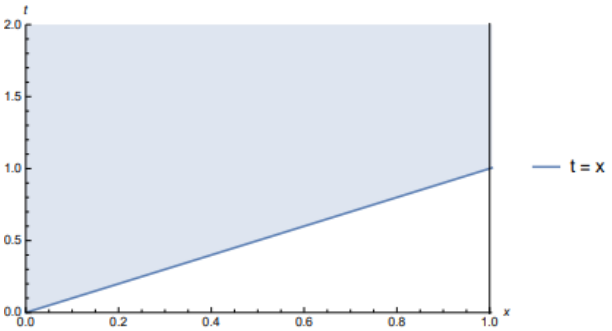
$$\boldsymbol{C(x,t)|_{t=0}=0}; \quad (4)$$

$$\boldsymbol{S(x,t)|_{t=0}=0}. \quad (5)$$

Область, в которой рассматривается задача фильтрации: $\Omega=\{0\le x\le 1, t\ge 0\}$.

Асимптотические решения

Рассмотрим решение задачи на фронте концентрации. Фронт $t=x$ делит область Ω на две части.



Перед фронтом пористая среда не содержит взвешенных и осажденных частиц. За фронтом концентраций в области $\Omega'=\{0\le x\le 1, t\ge x\}$ решение положительно, и начальные условия (4) и (5) преобразуются в условие на прямой $t=x$:

$$\boldsymbol{S|_{t=x}=0} \quad (6)$$

Заметим, что решения системы (1) – (3) и (6) совпадает с (1) – (5).

Таким образом асимптотические разложения для функций концентраций взвешенных и осажденных частиц могут быть найдены в виде рядов Тейлора по степеням x с коэффициентами, зависящими от $w=t-x$:

$$\boldsymbol{C(x,t)=c_0(w)+xc_1(w)+x^2c_2(w)+\ldots} \quad (7)$$

$$\boldsymbol{S(x,t)=s_0(w)+xs_1(w)+x^2s_2(w)+\ldots} \quad (8)$$

Функция фильтрации:

$$\Lambda(S)=\Lambda(s_0+xs_1+x^2s_2+\ldots)=\Lambda_0+xs_1\Lambda_0'+\boldsymbol{+x^2\left(s_2\Lambda_0'+s_1^2\Lambda_0''/2\right)+\ldots} \quad (9)$$

где $\Lambda_0=\Lambda(s_0(w))$, $\Lambda_0'=\Lambda'(s_0(w))$, $\Lambda_0''=\Lambda''(s_0(w))$.

После подстановки данных разложений в исходные уравнения (1) – (2) и приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях x получим рекуррентную систему (10) – (14), состоящую из обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений для нахождения коэффициентов асимптотических разложений:

$$\boldsymbol{s_0'=\Lambda_0c_0}; \quad (10)$$

$$\boldsymbol{c_1+\Lambda_0c_0=0}; \quad (11)$$

$$\boldsymbol{s_1'=s_1\Lambda_0'c_0+c_1\Lambda_0}; \quad (12)$$

$$\boldsymbol{2c_2+s_1\Lambda_0'c_0+c_1\Lambda_0=0}; \quad (13)$$

$$\boldsymbol{s_2'=\left(s_2\Lambda_0'+s_1^2\Lambda_0''/2\right)c_0+c_1s_1\Lambda_0'+c_2\Lambda_0}. \quad (14)$$

Учитывая условие (6), получим граничные условия для коэффициентов данной рекуррентной системы:

$$\boldsymbol{s_{0|_{w=0}}=0, s_{1|_{w=0}}=0, s_{2|_{w=0}}=0,\ldots}$$

а также условие на входе фильтра:

$$\boldsymbol{c_0|_{x=0}=1}.$$

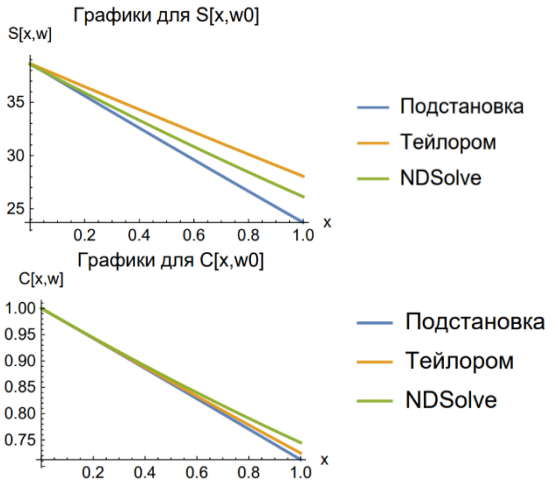
Верификация полученной асимптотики

Для применения исследованных методов нахождения асимптотических решений исходной задачи можно выбрать любую непрерывную убывающую до нуля функцию фильтрации, задающую скорость роста осадка. Мы используем функцию:

$$\Lambda(S)=0.51-0.005956S+2.29\cdot 10^{-6}S^2+\\+1.35\cdot 10^{-8}S^3,$$

полученную при исследовании фильтрации суспензии с круглыми однородными частицами радиуса 2.179 мк. Эксперименты проводились в лаборатории Института нефти университета Аделаиды, Австралия, 2014 г.

Асимптотические разложения для концентраций осаждённых $S(x,w_0)$ и взвешенных $C(x,w_0)$ частиц представлены на следующих графиках при $w_0=100$:



Из графиков делается вывод, что лучшим решением является решение, найденное с помощью функции «NDSolve», программного комплекса «Wolfram Mathematica» [12].

Заключение

В результате исследования были получены погрешности асимптотик во всей пористой среде при разных значениях времени и выявлены лучшие методы решения. Максимальная погрешность при линейной функции фильтрации – 0.5%, а при экспериментальной (нелинейной) – 3.5%.

Список литературы:

1. Lufingo M., NdéTchoupé A.I., Hu R., Njau K.N., Noubactep C. A novel and facile method to characterize the suitability of metallic iron for water treatment. // Water, 2019, vol. 11(12), 2465, pp. 1-14.

2. N. Tufenkji, D. R. Dixon, R. Considine, C. J. Drummond. Multi-scale Cryptosporidium/sand interactions in water treatment. // Water Research, 2006, vol. 40, pp. 3315–3331.

3. Bradford, S. A., Torkzaban, S., & Shapiro, A. A theoretical analysis of colloid attachment and straining in chemical-

ly heterogeneous porous media. // Langmuir, 2013, vol. 29(23), pp. 6944–6952.

4. Strømsvik H. The significance of hydraulic jacking for grout consumption during high pressure pre-grouting in Norwegian tunnelling. // Tunnelling and Underground Space Technology, 2019, vol. 90, pp. 357-368.

5. Tsuji M., Kobayashi S., Mikake S., Sato T., Matsui H. Post-Grouting Experiences for Reducing Groundwater Inflow at 500 m Depth of the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan. // Procedia Engineering, 2017, vol. 191, pp. 543–550.

6. Lyapidevskaya O. Grouting mortar for annular injection. // MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 251, 01004.

7. J. P. Herzig, D. M. Leclerc, P. Legoff. Flow of suspensions through porous media – application to deep filtration. // Industrial and Engineering Chemistry, 1970, vol. 62, pp. 8–35.

8. V. Jegatheesan, S. Vigneswaran. Deep bed filtration: mathematical models and observations. // Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2005, vol. 35, no. 6, pp. 515–569.

9. Kuzmina L.I., Nazaikinskii V.E. Osipov Y.V. On a Deep Bed Filtration Problem with Finite Blocking Time. // Russian Journal of Mathematical Physics, 2019, vol. 26(1), pp. 130-134.

10. Kusmina L.I., Osipov Yu. V. Particle transportation at the filter inlet. // Int. J. for Computational Civil and Structural Engineering, 2014, vol. 10(3)), pp. 17–21.

11. Badalyan A.,You Z., Aji K., Bedrikovetsky P., Carageorgos T., Zeinijahromi A. Size exclusion deep bed filtration: Experimental and modelling uncertainties. // Review of Scientific Instruments, 2014, vol. 85(1), 015111.

12. Воробьев Е. М. Введение в систему «Математика». М: Финансы и статистика,1998, 262 с.

ДВУХПАЛУБНАЯ СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ЗАДАЧЕ ОБТЕКАНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА С МАЛЫМИ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕРОВНОСТЯМИ

А.В. Фонарева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Для задачи обтекания несжимаемой вязкой жидкостью вращающегося диска с малыми быстро осциллирующими (периодическими) неровностями на его поверхности, определены характерные масштабы (степени малого параметра, задающие геометрию неровностей) и построено формальное асимптотическое решение с двухпалубной структурой.

Введение

В работе исследуется стационарная задача обтекания несжимаемой вязкой жидкостью поверхности вращающегося (с безразмерной единичной угловой скоростью) диска бесконечного радиуса с малыми быстро осциллирующими периодическими неровностями (см. Рис. 1) при значениях числа Рейнольдса $Re \gg 1$. Известно, что в подобных задачах возникают многопалубные структуры пограничного слоя (см. [1]-[4]): двух- и трехпалубные, в зависимости от масштабов неровностей. В частности, такие структуры были открыты в задаче обтекания пластины, см. [2]-[4], и течениях в трубах и каналах, см. [1], [4], с малыми неровностями (периодического или локализованного типа) на обтекаемой поверхности.

Задача обтекания вращающегося диска (с ровной поверхностью) является одной из классических задач гидродинамики и находит множество приложений, например, в области электрохимии, см. [5]. Данная задача исследуется достаточно давно, начиная с работы Кармана 1921 года, однако подобные задачи с наличием малых неровностей на поверхности диска ранее не рассматривались. Анализ пограничного слоя, возникающего в невозмущенной задаче (т.е. с ровной поверхностью) показал, что масштабы в нем такие же, как и в классической задаче обтекания полубесконечной пластины [4], и следовательно, масштабы неровностей, приводящие к двухпалубной структуре, будут аналогичны [4], см. (1) и Рис. 2.

Заметим также, что рассматриваемая трехмерная задача имеет симметрию относительно оси вращения, т.е. ее решение не зависит от угла φ.

Перейдем к математической постановке задачи. Полагаем, что ось Oz расположена перпендикулярно поверхности диска, Рис. 1-2. Радиальное сечение рассматриваемой задачи изображено на Рис. 2.

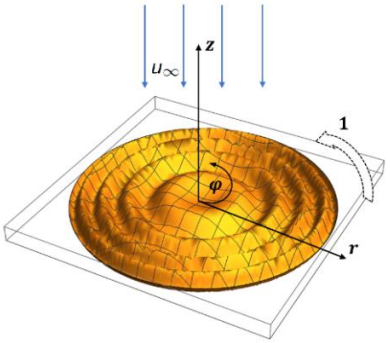


Рис.1. Геометрия рассматриваемой задачи

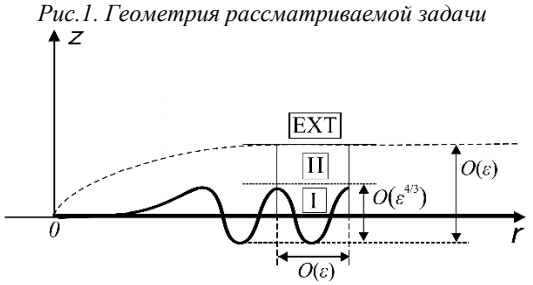


Рис.2. Радиальное сечение и двухпалубная структура пограничного слоя (используемые обозначения: I – тонкий погранслой, II – классический погранслой, EXT – область невозмущенного течения)

Будем считать, что поверхность диска описывается следующим уравнением:

$$z_s = \varepsilon^{4/3}\mu(r, r/\varepsilon), \qquad (1)$$

где $\varepsilon = Re^{-1/2}$ –малый параметр. Функция $\mu = \mu(r,\xi)$ гладкая, и такая, что $\mu(r,\xi) = \mu(r,\xi+2\pi)$, $\int_0^{2\pi}\mu(r,\xi)d\xi = 0$ и $\frac{\partial^k \mu(r,\xi)}{\partial r^k}|_{r=0} = 0, k = 0,1,2$ (неровности гладко начинаются на некотором расстоянии от центра диска, см. Рис. 2).

Математическая модель рассматриваемой задачи, как обычно, состоит из уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности, которые имеют в безразмерном виде и цилиндрической системе координат следующий вид:

$$u\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{v^2}{r} + w\frac{\partial u}{\partial z} = $$
$$= -\frac{\partial p}{\partial r} + \varepsilon^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2}\right), \qquad (2)$$

$$u\frac{\partial v}{\partial r}-\frac{vu}{r}++w\frac{\partial v}{\partial z}=\varepsilon^2(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial r}-\frac{v}{r^2}),\quad(3)$$

$$u\frac{\partial w}{\partial r}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial z}+\varepsilon^2\,(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r}),\quad(4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{u}{r}+\frac{\partial w}{\partial r}=0.\quad(5)$$

Здесь $\mathrm{U}=(v,u,w)$ – вектор скорости, p –давление и ε –малый параметр, определенный выше. Граничные условия для системы (2)-(5) – условия прилипания к стенкам – имеют следующий вид:

$$\mathrm{U}|_{z\to\infty}=\mathrm{U}_\infty\stackrel{\text{def}}{=}(0,0,-u_\infty),\mathrm{U}|_{z=z_s}=(0,r,0).\quad(6)$$

Набегающий поток $\mathbf{U}_\infty$ обусловлен тем, что движение жидкости у поверхности в основном радиальное, см. [5], и чтобы выполнялось уравнение неразрывности, должен существовать постоянный приток жидкости, движущейся в направлении противоположном оси Oz со скоростью u_∞, величина которой определяется в процессе решения задачи.

При построении решения задач такого класса возникают быстрые переменные двух видов: периодическая и погранслойная. Как обычно делается в подобных случаях, применяем метод разделения на среднее значение и осциллирующую часть, что обусловлено, например, различными граничными условиями и различными уравнениями для каждой из составляющих при одних и тех же порядках малого параметра.

Для этого введем следующие обозначения. Определим для любой периодической по ξ функции $f=f(\xi,\dots)$ среднее значение $(\overline{f})$ и осциллирующую часть $(\tilde{f})$ согласно формулам: $\overline{f}(\dots)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}f(\xi,\dots)\,d\xi,\qquad \tilde{f}(\xi,\dots)=f(\xi,\dots)-\overline{f}(\dots).$ Также определим осциллирующую первообразную как $F=\int^{\xi}f(\xi,\dots)\,d\xi$ так, что $\overline{F}=0$.

Асимптотическое решение

Применяя разработанный ранее (см., например, [4]) строгий математический алгоритм построения асимптотических решений для подобных многомасштабных задач, мы получаем следующее утверждение.

Теорема. Формальное асимптотическое решение задачи (2)-(6) при $r\ge\delta>0$ (δ – некоторое малое, но конечное число) имеет следующий вид:

$$u=\overline{u}_0(r,\tau)+\varepsilon^{1/3}\left(u_1^{\mathrm{I}}(r,\xi,\theta)+\overline{u}_1^{\mathrm{II}}(r,\tau)++\mu\frac{\partial\overline{u}_0(r,\tau)}{\partial\tau}\right)+O\left(\varepsilon^{2/3}\right),\quad(7)$$

$$v=\overline{v}_0(r,\tau)+\varepsilon^{1/3}\left(v_1^{\mathrm{I}}(r,\xi,\theta)+\overline{v}_1^{\mathrm{II}}(r,\tau)++\mu\frac{\partial\overline{v}_0(r,\tau)}{\partial\tau}\right)+O\left(\varepsilon^{2/3}\right),\quad(8)$$

$$w=\varepsilon^{2/3}\left(w_1^{\mathrm{I}}(r,\xi,\theta)+\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}(r,\xi,\tau)\right)+\varepsilon\left(w_2^{\mathrm{I}}(r,\xi,\theta)++\overline{w}_2^{\mathrm{II}}(r,\tau)+\tilde{w}_2^{\mathrm{II}}(r,\xi,\tau)\right)+O\left(\varepsilon^{4/3}\right),\quad(9)$$

$$p=\varepsilon^{2/3}\tilde{p}_2^{\mathrm{II}}(r,\xi,\tau)+O(\varepsilon),\quad(10)$$

где $\theta=(z-z_s)/\varepsilon^{4/3},\tau=(z-z_s)/\varepsilon,\xi=r/\varepsilon$.

Функции $u_1^{\mathrm{I}},v_1^{\mathrm{I}},w_1^{\mathrm{I}}$, описывающие течения в тонком погранслое, определяются из следующих равенств:

$$u_1^*=u_1^{\mathrm{I}}+\overline{u}_1^{\mathrm{II}}+(\theta+\mu)\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}|_{\tau=0},$$

$$w_1^*=w_1^{\mathrm{I}}+\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}|_{\tau=0},\quad v_1^*=v_1^{\mathrm{I}}+\theta\frac{\partial\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}|_{\tau=0},$$

в которых функции u_1^*,w_1^*,v_1^* являются решением системы краевой задачи

$$u_1^*\left(\frac{\partial u_1^*}{\partial\xi}-\frac{\partial u_1^*}{\partial\theta}\frac{\partial\mu}{\partial\xi}\right)+w_1^*\frac{\partial u_1^*}{\partial\theta}-$$
$$-\frac{\partial^2 u_1^*}{\partial\theta^2}-\frac{\partial\tilde{p}_2^{\mathrm{II}}}{\partial\xi}|_{\tau=0}=0,\quad(11)$$

$$u_1^*\left(\frac{\partial v_1^*}{\partial\xi}-\frac{\partial\mu}{\partial\xi}\frac{\partial v_1^*}{\partial\theta}\right)+w_1^*\frac{\partial v_1^*}{\partial\theta}-\frac{\partial^2 v_1^*}{\partial\theta^2}=0,\quad(12)$$

$$\frac{\partial w_1^*}{\partial\theta}+\frac{\partial u_1^*}{\partial\xi}-\frac{\partial u_1^*}{\partial\theta}\frac{\partial\mu}{\partial\xi}=0\quad(13)$$

$$u_1^*|_{\theta=0}=v_1^*|_{\theta=0}=w_1^*|_{\theta=0}=0,$$
$$w_1^*|_\xi=w_1^*|_{\xi+2\pi},v_1^*|_\xi=v_1^*|_{\xi+2\pi},u_1^*|_\xi=u_1^*|_{\xi+2\pi},$$
$$\frac{\partial u_1^*}{\partial\theta}|_{\theta\to\infty}\to\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}|_{\tau=0},\quad\frac{\partial u_1^*}{\partial\xi}|_{\theta\to\infty}\to\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}|_{\tau=0}\frac{\partial\mu}{\partial\xi},$$
$$\frac{\partial v_1^*}{\partial\theta}|_{\theta\to\infty}\to\frac{\partial\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}|_{\tau=0},\frac{\partial w_1^*}{\partial\theta}|_{\theta\to\infty}\to0.$$

Функция $\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}$, описывающая осцилляции скорости в классическом погранслое, есть решение краевой задачи

$$\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\Delta_{\xi,\tau}\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}=\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}\frac{\partial^2\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau^2}\quad(15)$$

$\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}|_{\tau=0}=\lim_{\theta\to\infty}\tilde{w}_1^*,\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}|_{\tau=0}\to0,\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}|_\xi=\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}|_{\xi+2\pi}.$

Функция $\overline{w}_2^{\mathrm{II}}$ определяется из равенства

$$\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}=\overline{w}_2^{\mathrm{II}}-\mu\overline{\frac{\partial\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}}.$$

Функции $\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}},\overline{u}_0^{\mathrm{II}},\overline{v}_0^{\mathrm{II}}$ являются решением системы уравнений

$$-\frac{\left(\overline{v}_0^{\mathrm{II}}\right)^2}{r}+\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}-\frac{\partial^2\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau^2}+\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial r}=0,\quad(15)$$

$$\frac{\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{r}+\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}\frac{\partial\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}-\frac{\partial^2\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{\partial\tau^2}+\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\frac{\partial\overline{v}_0^{\mathrm{II}}}{\partial r}=0,\quad(16)$$

$$\frac{\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{r}+\frac{\partial\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{\partial r}+\frac{\partial\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}=0\quad(17)$$

с граничными условиями $\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}|_{\tau=0}=0,\overline{u}_0^{\mathrm{II}}|_{\tau=0}=0,\overline{v}_0^{\mathrm{II}}|_{\tau=0}=r,\overline{u}_0^{\mathrm{II}}|_{\tau\to\infty}=\overline{v}_0^{\mathrm{II}}|_{\tau\to\infty}=0$. Из этой системы получаем значение скорости набегающего потока $\mathrm{u}_\infty=-\varepsilon\widehat{\overline{w}}_2^{\mathrm{II}}|_{\tau=\infty}$, см. [5].

Давление $\tilde{p}_2^{\mathrm{II}}$ определяется соотношением

$$\frac{\partial\tilde{p}_2^{\mathrm{II}}}{\partial\xi}=-\tilde{w}_1^{\mathrm{II}}\frac{d\overline{u}_0^{\mathrm{II}}}{d\tau}+\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\frac{\partial\mu}{\partial\xi}\frac{\partial\tilde{u}_1^{\mathrm{II}}}{\partial\tau}-\overline{u}_0^{\mathrm{II}}\frac{\partial\tilde{u}_2^{\mathrm{II}}}{\partial\xi}=0.$$

Отметим, что система уравнений тонкого погранслоя (11)-(13) – система уравнений типа Прандтля с самоиндуцированным давлением эффективно решается численно, равно как и уравнение типа Рэлея (15), которое исследовано в работе [4] – доказаны существование и единственность его решения.

Система уравнений (15)-(17) – классическая система уравнений пограничного слоя для вращающегося диска, см., например, [5].

Также отметим, что нашей целью является получение главных слагаемых асимптотического решения и уравнения на функцию w_2^{I} не рассматриваем, но используемый алгоритм позволяет получить любое число членов (уравнений на них) формального асимптотического решения.

Заключение

В данной работе получены главные члены асимптотического решения с двухпалубной структурой для стационарной задачи о течении несжимаемой жидкости вдоль поверхности вращающегося диска с малыми быстроосциллирующими (периодическими) неровностями на ней. Отметим, что наличие пространственной разномасштабности в рассматриваемой задаче не позволяет численно исследовать исходную систему уравнений Навье-Стокса (2)-(6) (наличие разных масштабов приводит к сеткам с очень большим количеством узлов, и соответствующие разностные схемы не решаются даже с применение параллельных вычислений за разумное время). Однако предложенный в работе подход – аналитическое построение асимптотического решения, а затем численное моделирование полученных систем уравнений на члены асимптотического решения – позволяет эффективно моделировать течения с учетом пространственной разномасштабности в окрестности обтекаемой поверхности.

Отметим, что в работе фактически построено решение для целой серии задач (зависящих от числа Рейнольдса), характеризующейся предельными параметрами – частотой $1/\varepsilon$ и амплитудой $\varepsilon^{4/3}$. Конечно, в этом семействе возмож-

ны малые возмущения, но такие, чтобы предельные соотношения не нарушались. Например, амплитуду можно увеличить в k раз (k - не зависящее от ε число). Если же k зависит от ε, то такая задача выпадет из этого семейства, и построенное асимптотическое решение для нее будет не справедливо. То же самое можно сказать и про частоту.

Также отметим, что подобное решение, может быть, построено и в случае малых локализованных неровностей (типа ямки, ступеньки, горбика и т.д.) с такими же характерными размерами (см. (1)) – высотой порядка $\varepsilon^{4/3}$ и шириной порядка 1/ε.

Полученные в данной работе результаты могут применяться в различных практических приложениях аэро- и гидродинамики, а также других областях, в частности, дисковый электрод активно используется в задачах электрохимии, а также, например, в области микроэлектроники при химическом шлифовании кремниевых пластин химически активной жидкостью.

Работа выполнена в рамках проектной группы «Асимптотические методы в задачах моделирования физических процессов».

Список литературы:

1. Gaydukov R.K, Fonareva A.V. A Compressible Fluid Flow with Double-Deck Structure Inside an Axially Symmetric Wavy-Wall Pipe // Russian Journal of Mathematical Physics – 2019. – Vol. 26(3) – P. 334-343.

2. Gaydukov R.K. Double-deck structure of the boundary layer in the problem of a compressible flow along a plate with small irregularities on the surface // Eur. J. of Mech. - B/Fluids – 2017. – Vol. 66 – P. 102-108.

3. Gaydukov R.K. Double-deck structure in the problem of a compressible flow along a plate with small localized irregularities on the surface // Eur. J. of Mech. - B/Fluids – 2018. – Vol. 71 – P. 59-65.

4. Гайдуков Р.К., Данилов В.Г. Асимптотики решений задач обтекания несжимаемой жидкостью поверхностей с малыми периодическими неровностями при больших числах Рейнольдса // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование – 2016. – Т. 15(1) – С. 5-102.

5. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – с. 699

ФЕРМИ-ПОЛЯРОН НА ЛЕСТНИЦЕ С ДВУМЯ НАПРАВЛЯЮЩИМИ В МОДЕЛИ ХАББАРДА

А.С. Потапова, Я.Э. Пиле
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе численно получена зависимость энергии Ферми-полярона в модели Хаббарда на лестничной решетке с двумя направляющими от числа частиц, амплитуды перескока электронов между направляющими и длины лестницы.

Введение

В последние годы появились экспериментальные исследования [1], иллюстрирующие существование сверхпроводящей фазы Фульде-Феррелла-Ларкина-Овчинникова [2,3] в одномерном Ферми-газе. Благодаря появлению достаточных вычислительных мощностей, системы в виде вытянутых оптических ловушек могут быть численно промоделированы с целью объяснения получаемых в эксперименте результатов. Так в работе [4] исследована фазовая диаграмма одномерной цепочки в координатах $\mu - h$ (химический потенциал – эффективное магнитное поле) в приближении локальной плотности. В работе [5] та же диаграмма построена методом DMRG для случая лестниц с двумя и тремя направляющими при одинаковых амплитудах продольного и поперечного перескока. При переходе через границу раздела между полностью поляризованной и частично поляризованной фазами, в поляризованной фазе появляется первый электрон с противоположным значением спина. Такая конфигурация системы представляет собой Ферми-полярон. В данной работе изучается зависимость его энергии связи от различных параметров системы.

Модель

В качестве модели выбрана модель Хаббарда с притягивающим взаимодействием на решетке в виде лестницы с двумя направляющими. Гамильтониан имеет вид:

$$\hat{H} = -t_{\parallel} \sum_{j=1,2} \sum_{i,\sigma} \left(c^{\dagger}_{i,j,\sigma} c_{i+1,j,\sigma} + h.c.\right) - t_{\perp} \sum_{i,\sigma} \left(c^{\dagger}_{i,j=1,\sigma} c_{i,j=2,\sigma} + h.c\right) + U \sum_{j-1,2} \sum_{i} n_{i,j,\uparrow} n_{i,j,\downarrow}$$

Здесь $c^{\dagger}_{i,j,\sigma}/c_{i,j,\sigma}$ −операторы рождения-уничтожения электрона на узле с индексом i в продольном направлении, индексом j в поперечном направлении и спином σ, $t_{\parallel}$ - амплитуда продольного перескока, $t_{\perp}$- амплитуда поперечного перескока, U −потенциал контактного взаимодействия электронов, а *h.c.* означает эрмитово сопряжение. Расчет энергии связи полярона производился методом DMRG (**D**ensity **M**atrix **R**enormalization **G**roup), успешно применяющимся для поиска основного и низколежащих возбужденных состояний в квазиодномерных системах [6]. Использована реализация метода в пакете ALPS (**Al**gorithms and **L**ibraries for **P**hysics **S**imulations) и интерфейс pyalps для языка python [7].

Расчеты

Для каждой точки на диаграмме зависимости энергии связи полярона от количества частиц произведен численный расчет энергии основного состояния системы в различных конфигурациях. Расчет энергии основного состояния производится при фиксированном количестве электронов со спинами вверх и вниз. Если обозначить энергию системы с $N_{\uparrow}$ электронами со спином вверх и $N_{\downarrow}$ электронами со спином вверх за $E(N_{\uparrow}, N_{\downarrow})$, то энергия связи полярона будет иметь вид:

$$E_{pol} = E(N_{\uparrow}, 1) - E(N_{\uparrow}, 0) - E(0,1)$$

Параметрами системы при расчете являются количество электронов со спином вверх $N_{\uparrow}$, отношение амплитуд перескока в поперечном и продольном направлениях $t_{\perp}/t_{\parallel}$, а также длина лестницы L.

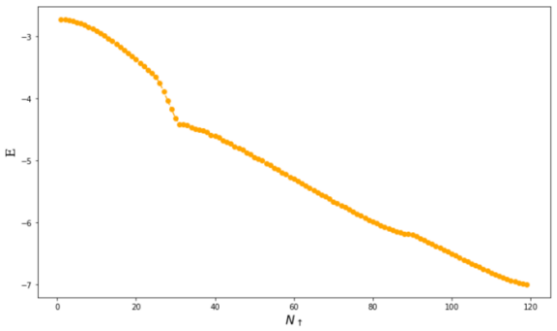


Рис.1. Зависимость энергии Ферми-полярона от $N_\uparrow$ на лестнице с двумя направляющими при L=60, $t_\parallel = 1$, $t_\perp = 1$, U=-7$t_\parallel$

На Рис.1 приведена зависимость $E_{pol}(N_\uparrow)$, она имеет два перелома: при $N_\uparrow = L/2$ и $N_\uparrow = 3L/2$. В первой начинает заполняться верхняя зона спектра, а во второй полностью заполняется нижняя. Уровни энергии при $N_\uparrow = L/2$ и $N_\uparrow = 3L/2$ на Рис.2 обозначены розовым и фиолетовым цветами соответственно.

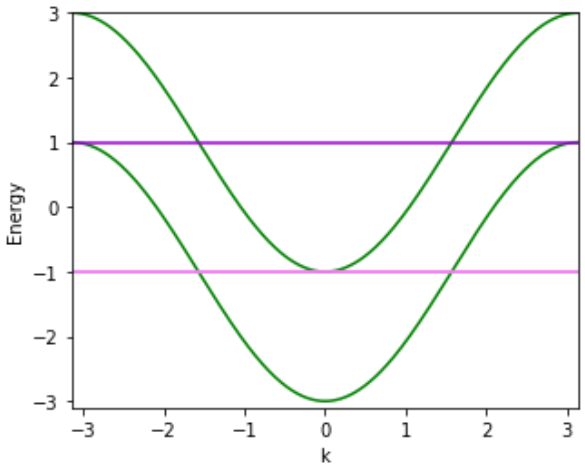


Рис.2. Две ветви спектра лестницы с двумя направляющими в модели Хаббарда при L=60, $t_\parallel = 1$, $t_\perp = 1$ в отсутствие взаимодействия.

Кроме того, $E_{pol}(N_\uparrow)$ зависит от отношения $t_\perp/t_\parallel$. При $t_\perp = 0$ система вырождается в две не связанные друг с другом одномерные цепочки, значит при уменьшении отношения $t_\perp/t_\parallel$ профиль энергии Ферми-полярона должен стремиться к одномерному случаю.

Качественные выводы, полученные в работе на лестницах с *L = 40 и L = 60* можно распространить и на большие длины лестниц, так значения энергий связи полярона можно получить линейной экстраполяцией $E_{pol}(1/L)$, вычисленной при постоянном $N_\uparrow/L$, для чего в нескольких точках с различными $N_\uparrow/L$ получена E_{pol} на двуногих лестницах с *L = 40,60,80,120*. Так при $N_\uparrow/L$=0.45 для бесконечной лестницы $E_{pol} = -3.972$. Отличие от полученного при *L = 40* результата в первом знаке после запятой.

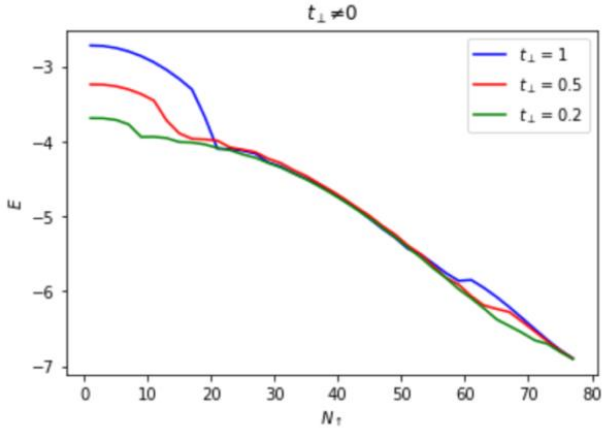


Рис.3. Зависимость энергии Ферми-полярона от $N_\uparrow$ на лестнице с двумя направляющими при L=40, $t_\parallel = 1$, U=-7 и различных $t_\perp$

Как и ожидалось, с уменьшением амплитуды перескока в поперечном направлении, зависимость становится более гладкой, как в одномерном случае.

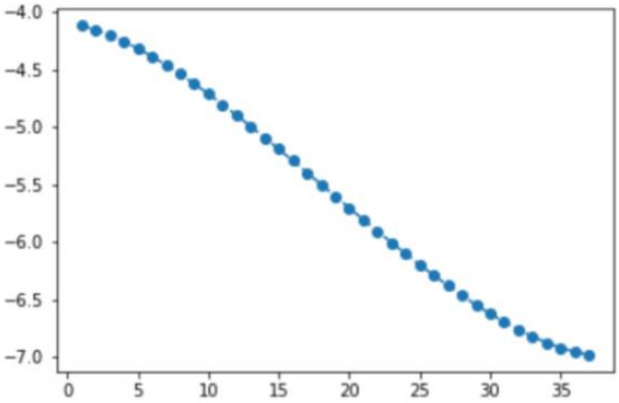


Рис.4. Зависимость энергии Ферми-полярона от $N_\uparrow$ для одномерной цепочки с L=40, $t_\parallel = 1$, U=-7

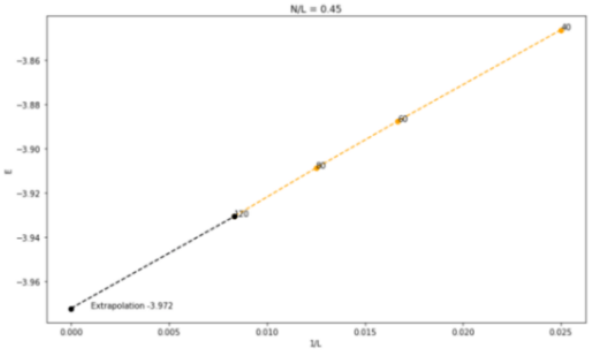


Рис.5. Линейная экстраполяция энергии связи Ферми-полярона при $N_\uparrow/L = 0.45$, $t_\parallel = t_\perp = 1$, U=-7

Заключение

Получена зависимость энергии связи Ферми-полярона на лестнице с двумя направляющими в модели Хаббарда от числа заполнения. Показано, что при уменьшении поперечной амплитуды профиль зависимости качественно приближается к одномерному случаю. Экстраполяцией зависимости $E_{pol}(1/L)$ при постоянной плотности показано, что выводы, полученные на лестницах длины *40 и 60* являются валидными и при больших значениях *L*. Исследование выполнено с использованием суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ при поддержке гранта РФФИ №21-57-53014.

Список литературы:

1. Y.-A. Liao. Spin imbalance in one-dimensional Fermi gas / Y.-A. Liao, A. S. C. Rittner, T. Paprotta, W. Li, G. B. Partridge, R. G. Hulet, S. K. Baur, and E. J. Mueller / Nature 467, 567 (2010).

2. Fulde, P. & Ferrell, R. A. Superconductivity in a Strong Spin-Exchange Field. *Phys. Rev.* 135, A550–A563 (1964).

3. Larkin, A. I. and Ovchinnikov, Y. N. Inhomogeneous state of superconductors. Sov. Phys. JETP 20, 762-769 (1965).

4. F. Heidrich-Meisner, G. Orso, and A. E. Feiguin. Phase separation of trapped spin-imbalanced fermi gases in one-dimensional optical lattices. Phys. Rev. A, 81(5):053602, May 2010.

5. Burovski E.A., Ikhsanov R.Sh., Kuznetsov A.A., Kagan M.Yu. Phase diagrams of polarized ultra-cold gases on attractive-U Hubbard ladders, International Conference on Computer Simulation and Beyond ed. L. Schur, Journal of Physics Conference Series 1163(5), UNSP 012046 (2019)

6. U. Schollwöck, The density-matrix renormalization group in the age of matrix product states, Annals of Physics, Volume 326, Issue 1, 2011, 96-192

7. A. Albuquerque, F. Alet, P. Corboz, P. Dayal, A. Feiguin, S. Fuchs, L. Gamper, E. Gull, S. Gürtler, A. Honecker, et al. (ALPS collaboration), J. Magn. Magn. Mater. 310, 1187 (2007).

О L^2 - ДИССИПАТИВНОСТИ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ НА РАЗНЕСЕННЫХ СЕТКАХ ДЛЯ РЕГУЛЯРИЗОВАННЫХ 1D БАРОТРОПНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ МАХА

А.А. Злотник, Т.А. Ломоносов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент математики, факультет экономических наук

Аннотация

Рассматриваются разностные схемы на разнесённых сетках для двух известных регуляризаций 1D баротропных уравнений газовой динамики. Выводятся критерии L^2-диссипативности в задаче Коши для их линеаризаций на постоянном решении с нулевой фоновой скоростью.

Введение

Квазигазодинамические (КГД) и квазигидродинамические (КГидД) системы уравнений [1-3] представляют собой регуляризованные системы уравнений Эйлера. От классических уравнений КГД и КГидД системы отличаются дополнительными диссипативными слагаемыми. Эти слагаемые содержат малый параметр регуляризации $\tau > 0$. Для линеаризаций указанных систем уравнений на постоянных решениях ранее было доказано свойство L^2-диссипативности. С КГД и КГидД системами связаны явные двухслойные по времени и симметричные по пространству разностные и конечно-объемные схемы, которые применяются при компьютерном моделировании разнообразных задач. В баротропной постановке эти схемы были использованы для уравнений мелкой воды, уравнений Эйлера в полярных координатах, уравнений Навье-Стокса-Кана-Хилларда изотермической сжимаемой жидкости и др., см., в частности, [4, 5]. При этом всегда использовались схемы на неразнесенных сетках, где основные искомые функции определены на одной и той же сетке (а на сдвинутых сетках аппроксимировались потоки). Недавно в [6] впервые была построена и успешно апробирована диссипативная по полной энергии дискретизация на разнесенных сетках для КГидД регуляризации 3D системы уравнений Навье-Стокса-Кана-Хилларда.

В этой связи в данной работе рассматриваются явные разностные схемы на разнесенных сетках для 1D баротропных КГД и КГидД уравнений газовой динамики. Спектральным методом [7] выводятся критерии (т.е. необходимые и достаточные условия) L^2-диссипативности в задаче Коши для их линеаризаций на постоянном решении с нулевой фоновой скоростью $u_* = 0$. В том числе рассмотрены КГидД схема из [6] и КГД схема, пространственная дискретизация которой обладает свойством диссипативности по полной энергии. Такие критерии могут быть полезны в компьюерном моделировании задач с малыми числами Маха. Ранее критерии, необходимые условия, достаточные условия L^2-диссипативности явных схем на неразнесенных сетках были выведены сначала при $u_* = 0$, а затем в общем случае, для баротропных 1D и многомерных КГД и КГидД систем (см. в том числе [8] для 1D случая).

Регуляризованные уравнения и разностные схемы

КГД 1D баротропная система уравнений движения вязкого сжимаемого газа включает в себя уравнения баланса массы и импульса (внешние силы не учитываются)

$$\partial_t \rho + \partial_x j = 0,\ \partial_t(\rho u) + \partial_x(ju) + \partial_x p(\rho) = \partial_x \Pi,$$

где $\rho > 0$ и u —плотность и скорость газа (искомые функции); они зависят от (x,t), где $x \in \mathrm{R}$ и $t..0$, а $\partial_t = \partial/\partial t$, $\partial_x = \partial/\partial x$. Также $p(\rho)$ — давление, $p'(\rho)$ непрерывна при $\rho > 0$, $p'(\rho) > 0$.

В уравнениях j (регуляризованный поток массы) и Π (вязкое напряжение) таковы

$$j = \rho(u - w),\ w = \frac{\tau}{\rho} u\partial_x(\rho u) + \hat{w},$$

$$\hat{w} = \tau[u\partial_x u + \frac{1}{\rho}\partial_x p(\rho)],$$

$$\Pi = \mu\partial_x u + \Pi^\tau,\ \Pi^\tau = \rho u\hat{w} + \tau p'(\rho)\partial_x(\rho u).$$

Здесь $\tau = \tau(\rho) > 0$ — параметр регуляризации, $\mu\partial_x u$ и Π^τ — вязкие типа Навье-Стокса и регуляризующее напряжения, а $\mu = \tau\rho p'(\rho)\alpha_s$ − коэффициент искусственной вязкости и $\alpha_s..0$ − число Шмидта.

КГидД регуляризация существенно проще: в ней $j = \rho(u - \hat{w})$, $\Pi^\tau = \rho u\hat{w}$.

Пусть ω_h - сетка с узлами $x_k = kh$, и ω_h^* - сдвинутая сетка с узлами $x_{k-1/2} = (k - 1/2)h$, $k \in \mathrm{Z}$, с шагом $h > 0$, а $\overline{\omega}^{\Delta t}$ - сетка с узлами $t_m = m\Delta t$, $m..0$ и шагом $\Delta t > 0$. На функциях v, w, y, заданных на сетках соответственно ω_h, ω_h^*, $\overline{\omega}^{\Delta t}$, определим операторы:

$$sv_{k-1/2} = \frac{v_{k-1} + v_k}{2},\ \delta v_{k-1/2} = \frac{v_k - v_{k-1}}{h},\ \hat{\delta} v_k = \frac{v_{k+1} - v_{k-1}}{2h},$$

$$s^* w_k = \frac{w_{k+1/2} + w_{k-1/2}}{2},\ \delta^* w_k = \frac{w_{k+1/2} - w_{k-1/2}}{h},$$

$$\delta_t y = \frac{y^+ - y}{\Delta t},\ y^{+,m} = y^{m+1}.$$

Введем известную первообразную функцию и ее разделенную разность

$$P_1(\rho) := \int_{r_0}^{\rho} \frac{p'(r)}{r}\,dr;\ P_1(r_1;r_2) := \frac{P_1(r_2)-P_1(r_1)}{r_2-r_1} > 0,$$

$$P_1(r;r) := P_1'(r) = \frac{p'(r)}{r},$$

где $r_i > 0$, $i = 0,1,2$, $r_1 \neq r_2$ и $r > 0$. В [6] была построена 3D КГидД разностная схема на разнесенных сетках, имеющая в 1D варианте вид

$$\delta_t \rho + \delta j = 0 \ \text{ на } \ \omega_h^*, \qquad (1)$$

$$\delta_t((s^*\rho)u) + \delta^*((sj)su) + (s^*\rho)\delta^* P_1(\rho) =$$

$$= \delta^*\Pi \ \text{ на } \ \omega_h, \qquad (2)$$

$$j = (s^*\rho)(u - \hat{w}),\ \hat{w} = \tau(us^*\delta u + \delta^* P_1(\rho)) \text{ на } \omega_h, \quad (3)$$

$$\Pi = \mu\delta u + \Pi^\tau,\ \Pi^\tau = s[u(s^*\rho)\hat{w}] \ \text{ на } \ \omega_h^* \qquad (4)$$

на $\overline{\omega}^{\Delta t}$. Здесь и ниже, например, $\tau = \tau(s^*\rho)$, $\mu = \mu(s^*\rho)$. Пространственная дискретизация в этой схеме диссипативна по полной энергии, хотя она неконсервативна по импульсу.

Ее можно обобщить на КГД случай многими способами (но при этом последующие линеаризации на постоянных решениях с $u_* = 0$ часто совпадают). Рассмотрим подробнее только две схемы. В схеме A величины j и Π^τ дискретизируем следующим образом

$$j = (s^*\rho)(u - w),\ \ w = \frac{\tau}{s^*\rho}u\delta^*(\rho su) + \hat{w} \ \text{ на } \ \omega_h,$$

$$\Pi^\tau = \rho s(u\hat{w}) + \tau p'(\rho)\delta[(s^*\rho)u] \ \text{ на } \ \omega_h^*.$$

В схеме B положим

$$j = (s^*\rho)(u - w),\ \ w = \frac{\tau}{s^*\rho}(s^*su)\delta^*(\rho su) + \hat{w} \text{ на } \omega_h,$$

$$\Pi^\tau = s[u(s^*\rho)\hat{w}] + s[\tau(s^*\rho)P_1(\rho_-;\rho_+)\delta^*(\rho su)]$$

на ω_h^*. Здесь $\rho_{\pm,k} = \rho_{k\pm1/2}$. Можно показать, что дискретизация по пространству в этой схеме диссипативна по полной энергии, однако в ней для u слагаемое $\delta^*\Pi^\tau$ использует 5-точечный шаблон

Анализ L^2- диссипативности линеаризованных разностных схем

Выполним линеаризацию схем A и B на постоянном решении $\rho_* = \text{const} > 0$ и $u_* \equiv 0$. Решения схем представим в виде $\rho = \rho_* + \rho_*\tilde{\rho}$, $u = c_*\tilde{u}$; здесь $\tilde{\rho}$, $\tilde{u}$ - нормированныне возмущения, а $c_* = \sqrt{p'(\rho_*)}$ – фоновая скорость звука. Эти решения подставим в уравнения схем и отбросим члены 2-го порядка малости по отношению к $\tilde{\rho}$, $\tilde{u}$. В итоге получим линеаризованные схему *A*

$$\delta_t\tilde{\rho} + c_*\delta\tilde{u} - \tau_* c_*^2\delta\delta^*\tilde{\rho} = 0 \ \text{ на } \ \omega_h^*, \qquad (5)$$

$$\delta_t\tilde{u} + c_*\delta^*\tilde{\rho} - (\hat{\nu} + \tau_* c_*^2)\delta^*\delta\tilde{u} = 0 \ \text{ на } \ \omega_h, \quad (6)$$

и схему *B*

$$\delta_t\tilde{\rho} + c_*\delta\tilde{u} - \tau_* c_*^2\delta\delta^*\tilde{\rho} = 0 \text{ на } \omega_h^*, \qquad (7)$$

$$\delta_t\tilde{u} + c_*\delta^*\tilde{\rho} - \hat{\nu}\delta^*\delta\tilde{u} - \tau_* c_*^2\hat{\delta}^2\tilde{u} = 0 \text{ на } \omega_h, \quad (8)$$

где $\hat{\nu} = \tau_* c_*^2\alpha_s$, $\tau_* = \tau(\rho_*)$. При этом линеаризация схемы (1)-(4) получается отбрасыванием слагаемого $\tau_* c_*^2$ в (6) (или отбрасыванием слагаемого с этим множителем в (8)) Подчеркнем, что в данной линеаризации аппроксимации слагаемых $(\tau/\rho)u\partial_x(\rho u)$ и $\rho u\hat{w}$ имеют 2-й порядок малости и поэтому не влияют на вид последних уравнений. Кроме того, выписанные уравнения не меняются при использовании стандартной аппроксимации $\partial_x p(\rho) \approx \delta^* p(\rho)$ в уравнениях исходной системы. Ниже тильды над $\tilde{\rho}$, $\tilde{u}$ опустим для упрощения обозначений.

Пусть $H(\omega)$ – гильбертово пространство комплекснозначных суммируемых с квадратом функций, определённых на сетке ω. Введём скалярные произведения в $H_h = H(\omega_h)$ и $H_{h^*} = H(\omega_h^*)$ соответственно:

$$(v,\tilde{v})_h = h\sum_{k=-\infty}^{\infty} v_k\tilde{v}_k^*,\ (w,\tilde{w})_{h^*} = h\sum_{k=-\infty}^{\infty} w_{k-1/2}\tilde{w}_{k-1/2}^*,$$

где $*$ обозначает комплексное сопряжение. Введем также гильбертово пространство пар функций $(\rho,u) \in \mathbf{H} := H_{h^*} \times H_h$ со скалярным произведением $((\rho,u),(\tilde{\rho},\tilde{u}))_{\mathbf{H}} = (\rho,\tilde{\rho})_{h^*} + (u,\tilde{u})_h$ и соответствующей нормой.

Нас интересует вопрос о критериях выполнения оценки

$$\sup_{m..0} \mathrm{P}(\rho^m,u^m)\,\mathrm{P}_{\mathbf{H}} \,,\, \mathrm{P}(\rho^0,u^0)\,\mathrm{P}_{\mathbf{H}}\ \forall(\rho^0,u^0) \in \mathbf{H}. \quad (9)$$

Эта оценка эквивалентна следующему свойству L^2-*диссипативности* схемы

$$\mathrm{P}(\rho^m,u^m)\,\mathrm{P}_{\mathbf{H}} \,,\, \mathrm{P}(\rho^{m-1},u^{m-1})\,\mathrm{P}_{\mathbf{H}} \,,\, \ldots,\, \mathrm{P}(\rho^0,u^0)\,\mathrm{P}_{\mathbf{H}}$$

$$\forall m \geq 1,\ \forall(\rho^0,u^0) \in \mathbf{H}.$$

Зададим Δt и τ_* обычными формулами

$$\Delta t = \frac{\beta h}{c_*},\ \ \tau_* = \frac{\alpha h}{c_*}$$

с параметрами $\beta > 0$ и $\alpha > 0$. Представим условия на β в зависимости от α, при которых оценка (9) верна для введенных схем на разнесенных сетках.

Теорема 1. 1. Для L^2-диссипативности схемы (5), (6) необходимо и достаточно, чтобы

$$\beta,, \overline{\beta}_A := \frac{2\alpha}{4\alpha^2(\alpha_S+1)+1}.$$

2. Для L^2-диссипативности схемы (7), (8) необходимо и достаточно, чтобы

$$\beta,, \overline{\beta}_B := \frac{2\alpha \min\{\alpha_s, 1\}}{4\alpha^2 \alpha_s + 1}. \qquad (10)$$

***Теорема* 2.** *Для L^2-диссипативности линеаризованной схемы (1)-(4) необходимо и достаточно выполнение неравенства (10).*

Заключение

Рассмотрены разностные схемы на разнесённых сетках для КГД и КГидД регуляризаций 1D баротропных уравнений газовой динамики. Выведены критерии L^2-диссипативности для их линеаризаций на постоянном решении с нулевой фоновой скоростью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 19-11-00169.

Список литературы:

1. Б.Н. Четверушкин. Кинетические схемы и квазигазодинамическая система уравнений. - М.: МАКС Пресс, 2004. – с. 332.

2. Т.Г. Елизарова. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений. - М.: Научный мир, 2007. – с. 352.

3. Ю.В. Шеретов. Динамика сплошных сред при пространственно–временном осреднении.− Москва–Ижевск: РХД, 2009. – с. 400.

4. О.В. Булатов, Т.Г. Елизарова. Регуляризованные уравнения мелкой воды и эффективный метод численного моделирования течений в неглубоких водоемах // Ж. вычисл. матем. матем. физ. - 2011. - Т. 51. - № 1. - С. 170–184.

5. Т.Г. Елизарова, А.А. Злотник, М.А. Истомина. Гидродинамические аспекты формирования спирально-вихревых структур во вращающихся газовых дисках // Астрон. журн. -2018. - Т. 95. - № 1. - С. 11–21.

6. V. Balashov, A. Zlotnik. An energy dissipative semi-discrete finite-difference method on staggered meshes for the 3D compressible isothermal Navier-Stokes-Cahn-Hilliard equations // J. Comput. Dynamics. 2020. V. 7. № 2. P. 291–312.

7. С.К. Годунов, В.С. Рябенький. Разностные схемы. - М.: Наука, 1977.

8. А.А. Злотник, Т.А Ломоносов. Условия L^2-диссипативности линеаризованных явных разностных схем с регуляризацией для уравнений 1D баротропной газовой динамики // Ж. вычисл. матем. матем. физ. - 2019. - Т. 59. - № 3. - С. 481–493.

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕСКОКА НА ПРОФИЛЬ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ В КВАЗИОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ХАББАРДА

А.С. Потапова, Я.Э. Пиле
Национальный исследовательский институт «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе численно получены и исследованы фазовые диаграммы модели Хаббарда на лестничных решетках с различными амплитудами перескока.

Введение

В настоящее время технологии позволяют проводить эксперименты по созданию сильно-коррелированных систем с использованием ультрахолодных газов в оптических ловушках различных форм и размерностей. В частности, интересны эксперименты [1,2], исследующие существование сверхпроводящей фазы Фульде-Феррела-Ларкина-Овчинникова [3,4] и работы, экспериментально иллюстрирующие переход между одномерным и трехмерным случаями [5]. В работе [6] были численно построены фазовые диаграммы ферми-газа, вид которых качественно отличается в случае одномерной цепочки и квазиодномерной решетки с двумя-тремя направляющими.

В данной работе рассматриваются квазиодномерные системы ферми-газа при низких температурах. А именно исследуются различные профили фазовых диаграмм для решеток лестничного типа при изменении одного из параметров системы: поперечной амплитуды перескока. Это с еще одной стороны помогает описать явление перехода от строго одномерной геометрии к трехмерной.

Модель и система

Рассматривалась система сильно-коррелированных фермионов, имеющая геометрию квадратной решетки с параметрами L и W, где L -длина решетки, W - количество направляющих (цепочек), которая описывается моделью Хаббарда. Гамильтониан имеет следующий вид:

$$\hat{H} = -t_{\parallel} \sum_{j=1,2} \sum_{i,\sigma} \left(c^{\dagger}_{i,j,\sigma} c_{i+1,j,\sigma} + h.c. \right) - \\ - t_{\perp} \sum_{i,\sigma} \left(c^{\dagger}_{i,j=1,\sigma} c_{i,j=2,\sigma} + h.c \right) \\ - U \sum_{i} n_{i\uparrow} n_{i\downarrow}$$

Первое и второе слагаемые гамильтониана описывают перескоки фермионов на узлах решетки с амплитудами $t_{\parallel}$ вдоль направляющих и поперечной амплитудой $t_{\perp}$ между направляющими. Здесь $c_{i,j,\sigma}$ и $c^{\dagger}_{i,j,\sigma}$ - операторы уничтожения и рождения соответственно, действующие на узле i, направляющей j и со спином $\sigma = \uparrow, \downarrow$. Последнее слагаемое отвечает за взаимодействие двух частиц с противоположными спинами на i-ом узле, здесь U – параметр величины притяжения на узле.

Расчеты

Для построения фазовых диаграмм рассчитывались энергии основных состояний системы $E(N_{\uparrow},\ N_{\downarrow})$ с различным количеством частиц со спином вверх и вниз. Расчет производился численным методом DMRG (**D**ensity **M**atrix **R**enormalization **G**roup), реализованном в пакете ALPS (http://alps.comp-phys.org/). Алгоритмы и методы ALPS доступны через модуль pyalps языка python. Посчитанные энергии основных состояний необходимы для получения значений эффективного магнитного поля h и химического потенциала μ, которые вычисляются по следующим разностным формулам, в зависимости от интересующей фазы:

1. Линия между вакуумом ($N_{\uparrow} = N_{\downarrow} = 0$) и неполяризованным газом ($N_{\uparrow} = N_{\downarrow}$):

$$\mu = \frac{E(1,1)}{2}$$

2. Линия между частично поляризованным ($N_{\uparrow} > N_{\downarrow}$) и неполяризованным газом:

$$\mu = \frac{E(N_{\uparrow}+1,\ N_{\downarrow}+1) - E(N_{\uparrow},\ N_{\downarrow})}{2}$$

$$h = \frac{E(N_{\uparrow}+1,\ N_{\downarrow}-1) - E(N_{\uparrow},\ N_{\downarrow})}{2}$$

3. Линия между полностью поляризованным газом ($N_{\uparrow} > 0, N_{\downarrow} = 0$) и частично поляризованным газом:

$$\mu = \frac{E(N_\uparrow + 1,\ 1) - E(N_\uparrow,\ 1)}{2}$$
$$h = \frac{E(N_\uparrow - 1,\ 1) - E(N_\uparrow,\ 1)}{-2}$$

4. Линия между вакуумом и полностью поляризованным газом:

$$\mu = -h + E(1,0)$$

5. Линия между одним полностью поляризованным газом ($0 < N_\uparrow < L \cdot W,\ N_\downarrow = 0$) и другим полностью поляризованным газом ($N_\uparrow = L \cdot W,\ N_\downarrow = 0$):

$$\mu = -h - E(1,0)$$

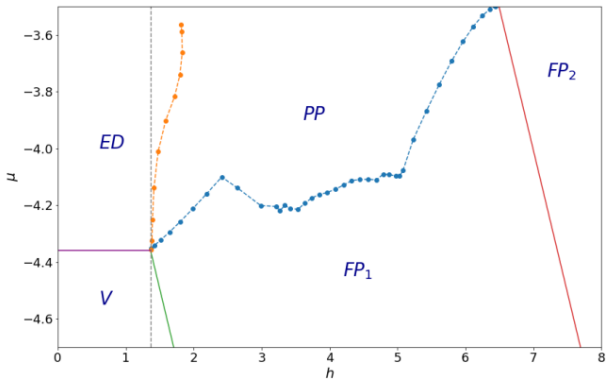


Рис.1. Фазовая диаграмма системы при $t_\parallel = t_\perp = 1$, U=-7, L=40, W=2. Синяя линия (PP-FP_1) – линия между частично поляризованным и полностью поляризованным газом 1; оранжевая (ED-PP) – между неполяризованным и частично поляризованным; зеленая линия (V-FP_1) – между вакуумом и полной поляризацией; фиолетовая (ED - V) – между неполяризованным газом и вакуумом; красная (FP_1-FP_2) – между различными фазами полной поляризации

Фазовая диаграмма лестницы с двумя направляющими представлена на рис.1. Здесь можно увидеть, что линия раздела фаз полностью поляризованного и частично поляризованного газа немонотонна в отличие от той же линии в случае одномерной цепочки. Излом линии обусловлен заполнением первой зоны спектра. Также существенно отличается линия, разделяющая неполяризованную и частично поляризованную фазы. При $t_\perp = 0$ система будет представлять собой две несвязанные одномерные цепочки и, следовательно, при уменьшении $t_\perp$ в случае *W*=2 фазовая диаграмма должна стремиться к одномерному случаю.

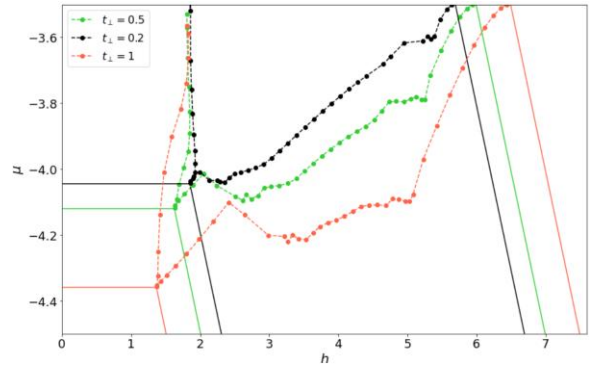


Рис.2. Фазовые диаграммы при различных поперечных амплитудах перескока $t_\perp$; красная линия $t_\perp = 1$, зеленая $t_\perp = 0.5$, черная $t_\perp = 0.2$

На рис. 2 можно увидеть, что линии *PP*-FP_1 и *ED*-*PP* при уменьшении $t_\perp$ стремятся к виду фазовой диаграммы для одномерного случая (рис.3). То же самое можно сказать о численном расположении диаграмм на осях и положении трикритической точки.

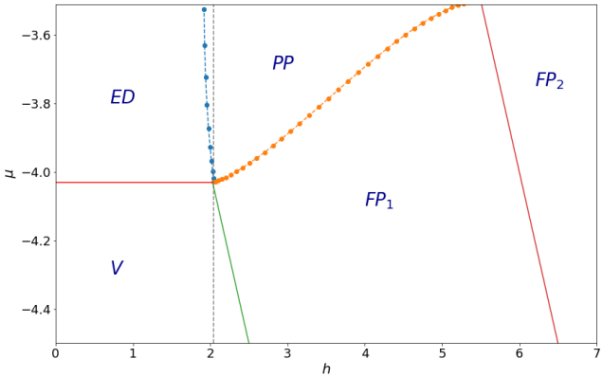


Рис.3. Фазовая диаграмма в случае W=1, L=40, U=-7, t=1

Заключение

Численно построены фазовые диаграммы систем с решетками лестничного типа модели Хаббарда с различным числом направляющих и различными значениями поперечной амплитуды перескока. Показано, что при уменьшении поперечной амплитуды фазовые диаграммы качественно и количественно стремятся к одномерному случаю.

Исследование выполнено с использованием суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ при поддержке гранта РФФИ №21-57-53014.

Список литературы:

1. Shin Y, Zwierlein M W, Schunck C Y et al 2006 Phys. Rev. Lett. 97 030401

2. Liao Y, Rittner A S C, Paprotta T et al 2010 Nature 467 567

3. Fulde P and Ferrell R A 1964 Phys. Rev. 135 A550

4. Larkin A I and Ovchinikov Yu N 1965 *Sov. Phys. JETP* 20 762

5. Revelle M C, Fry J A, Olsen B A and Hulet R G 2016 Phys. Rev. Lett. 117 235301

6. E.A. Burovski, R.Sh. Ikhsanov, A.A. Kuznetsov and M.Yu. Kagan, Phase diagrams of polarized ultra-cold gases on attractive-U Hubbard ladders.

КОГЕРЕНТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОПЕРАТОРА НА РЕЗОНАНСНОЙ АЛГЕБРЕ

С.В. Румянцева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается спектральная задача для оператора, заданного алгеброй со структурой рождения-уничтожения. Было получено численное решение задачи, основанное на диагонализации соответствующего разностного уравнения. Применяя когерентное преобразование, также было построено представление спектральной задачи в виде дифференциальных операторов.

Введение

В работе исследуются интегрируемые системы, заданные на некоммутативных алгебрах. В частности, предлагается исследовать конкретную модель, возникающую при рассмотрении частицы в резонансной электромагнитной ловушке [1].

В данной работе рассматривается алгебра, заданная операторами:

1) $\hat{B}y(x) = \sqrt{(x+h)(x+1+h)}y(x+h)$ – оператор уничтожения;

2) $\hat{B}^* y(x) = \sqrt{x(x+1)}y(x-h)$ – оператор рождения;

3) $\hat{A}y(x) = xy(x)$ – нейтральный оператор действия,

где h – малый положительный параметр.

Гамильтониан, рассматриваемой частицы, имеет вид:

$$\hat{H} = \frac{1}{2}\left(\hat{B} + \hat{B}^*\right) + \alpha(\hat{A} - \beta)^2, \qquad (1)$$

где α, β– действительные постоянные.

Цель работы заключается в построении асимптотических спектральных серий с учетом экспоненциальных эффектов для модельного гамильтониана (1), возникающего при усреднении резонансной квантовой системы.

Для данного Гамильтониана спектральная задача является разностным уравнением 4-ой степени:

$$\frac{1}{2}b_h(x+2h)y(x+2h) + \frac{1}{2}b_h(x)y(x-2h) + \alpha(x-\beta)^2 y(x) = \lambda y(x), \qquad (2)$$

$$b_h(x) = \sqrt{(x-h)(x+1-h)x(x+1)}$$

с граничными условиями:

$$y_1(-2h) = 0,\ y_1(+\infty) = 0,$$
$$y_2(-h) = 0,\ y_2(+\infty) = 0.$$

Для решения данной задачи можно применять последние результаты А. А. Федотова [2] о комплексных асимптотиках для разностных уравнений. Первым этапом решения является построение линий Стокса и канонических областей, в которых справедливы комплексные ВКБ оценки. Сложность данного подхода состоит в необходимости исследовать асимптотики решений разностного уравнения в окрестности особой точки при $x = 0$.

Другой подход к исследованию данной задачи состоит в том, чтобы применить когерентные преобразования (см. [3]), перейдя от разностного уравнения к дифференциальному уравнению, и исследовать полученное уравнение, используя методы комплексных ВКБ асимптотик [4].

Таким образом, спектральная задача (2) может быть решена несколькими способами. Преимущество решения разностного уравнения заключается в простоте построения численного решения. При этом возникают сложности при аналитическом исследовании. С другой стороны, для дифференциального уравнения, существует развитая техника построения асимптотик решений в комплексной плоскости, в том числе и при наличии особых точек.

В данной работе применяется комбинированный подход, когда численное решение строится для разностных уравнений, а аналитические свойства решений исследуются для соответствующего дифференциального уравнения, полученного при когерентном преобразовании.

Заметим, что в данной задаче затруднительно построение прямого численного решения дифференциального уравнения ввиду специальных ограничений на решения, так как решения должны обладать аналитичностью в круге и иметь специальный вид в особых точках.

Дифференциальное уравнение

После применения когерентных преобразований, описанных в [3], разностное уравнение (2) переходит в дифференциальное уравнение:

$$a_0(\overline{z})y''(\overline{z}) + a_1(\overline{z})y'(\overline{z}) + a_2(\overline{z})y(\overline{z}) = \lambda y(\overline{z}) \qquad (3)$$

$$a_0(\overline{z}) = \frac{1}{2}h^2\left(\overline{z}^4 + 2\alpha\overline{z}^2 + 1\right)$$
$$a_1(\overline{z}) = h\overline{z}\left(2h\overline{z}^2 + \overline{z}^2 + \alpha h - 2\alpha\beta\right)$$
$$a_2(\overline{z}) = \left(\frac{1}{2}(2h^2 + 3h + 1)\overline{z}^2 + \alpha\beta^2\right)$$

Для изначального разностного уравнения (2) решение $y(x)$ принадлежало пространству $l_2(h\mathbb{Z}_+)$. Для полученного дифференциального уравнения (3) решение принадлежит гильбертову пространству антиголоморфного представления $P_{s(a)}$ [3]:

$$y(\overline{z}) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{y_n}{\sqrt{s_n}}\overline{z}^n, \qquad (4)$$

где s_n определяется формулой:

$$s_n = \frac{n!\,\Gamma\left({}^1\!/_h + 1\right)}{\Gamma\left(n + 1 + {}^1\!/_h\right)}.$$

Норму элементов, принадлежащих пространству $P_{s(a)}$, можно представить в интегральном виде:

$$\left|\left|y\right|\right|^2_{P_{s(a)}} = \frac{1}{2\pi h}\oint_{|z|<1}(1-|z|^2)^{\frac{1-h}{h}}|y(\overline{z})|^2 dz\, d\overline{z}$$

Лемма

1) Если решение дифференциального уравнения (3) аналитично в окрестности круга единичного радиуса, то его норма конечна.

2) Если норма решения дифференциального уравнения (3) конечна, то оно аналитично в круге единичного радиуса.

Для исследования дифференциального уравнения (3) используется комплексный метод ВКБ [4]. Чтобы привести рассматриваемое уравнение к виду уравнения Шредингера, применяется преобразование Лиувилля:

$$y(\overline{z}) = L(\overline{z})u(\overline{z}).$$

$$L(\overline{z}) = [(\overline{z} - w_0^-)(\overline{z} - w_0^+)]^{\frac{-1+2h}{4h} + \frac{\alpha(1+2\beta+h)}{4h\sqrt{\alpha^2-1}}}$$
$$[(\overline{z} - w_1^-)(\overline{z} - w_1^+)]^{\frac{-1+2h}{4h} - \frac{\alpha(1+2\beta+h)}{4h\sqrt{\alpha^2-1}}},$$

где

$$w_0^{\pm} = \pm\sqrt{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 1}}$$

$$w_1^{\pm} = \pm\sqrt{-\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 1}}$$

Тогда уравнение (3) преобразуется к виду:

$$h^2 u''(\overline{z}) - Q(\overline{z})u(\overline{z}) = 0,$$

где $Q(\overline{z})$ гладко зависит от h:

$$Q(\overline{z}) = Q_0(\overline{z}) + hQ_1(\overline{z}) + O(h^2)$$

$$Q_0(\overline{z}) = -\frac{2\overline{z}^4(\alpha(\beta+1)^2 - \lambda)}{\left(\overline{z}^4 + 2\alpha\overline{z}^2 + 1\right)^2} - \frac{\overline{z}^2(1 - 4\alpha\lambda) + 2\alpha\beta^2 - 2\lambda}{(\overline{z}^4 + 2\alpha\overline{z}^2 + 1)^2}$$

$$Q_1(\overline{z}) = \frac{-2\alpha(\overline{z}^4(1+\beta) + \beta)}{(\overline{z}^4 + 2\alpha\overline{z}^2 + 1)^2}$$

Точки поворота находятся из уравнения:

$$Q_0(\overline{z}) = 0$$

Ниже представлена топология линий Стокса, точек поворота и особых точек в круге единичного радиуса для случая $\alpha = 1.2, \beta = 0, \lambda = -1$.

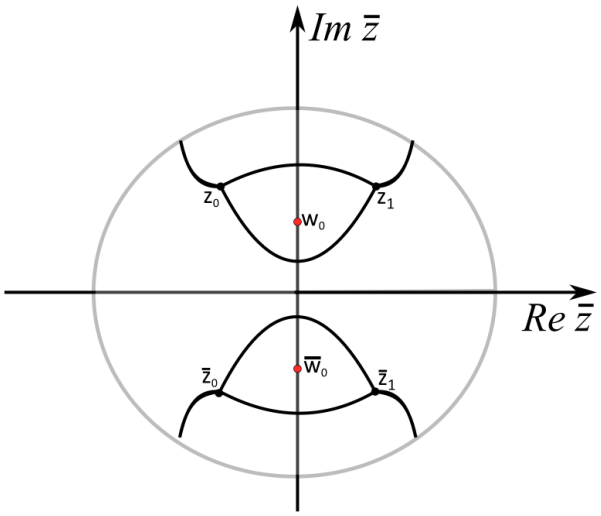
На рисунке изображены $w_0, \overline{w_0}$ – особые точки, $z_0, \overline{z_0}, z_1, \overline{z_1}$ – точки поворота.

Численное решение

Для различных параметров системы были получены численные решения разностного уравнения (2) при помощи построения редуцированного матричного представления и прямой диагонализации в среде «Wolfram Mathematica». Затем, используя преобразование (4), были получены численные приближенные решения для уравнения (3). Полученные решения являются аналитическими функция-

ми в круге и являются голоморфными в особых точках уравнения. Также когерентные преобразования сохраняют норму, что видно из численных расчетов.

Норма невязки полученного численного решения уравнения (3) в пространстве антиголоморфного представления оказывается несущественной (порядка машинной точности). Например, для заданных параметров $\alpha = 1.2, \beta = 0, \lambda = -0{,}93$ она составляет $6 \cdot 10^{-19}$.



Топология линий Стокса

Заключение

Данная работа позволила связать численные решения разностного уравнения с аналитическим исследованием решений дифференциального уравнения. Этот переход позволил применить богатую комплексную структуру, возникающую при рассмотрении комплексных ВКБ асимптотик для исследования данной задачи, при этом появилась возможность сравнения асимптотических решений с построенными численными решениями.

Также были выведены леммы о норме решений, следующие из ее интегрального представление в пространстве антиголоморфных представлений. Это позволило упростить исследование особенностей дифференциального уравнения (3).

Список литературы:

1. Vybornyi E., Karasev M. Bi-orbital states in hyperbolic traps // Russian Journal of Mathematical Physics. 2018. Vol. 25. No. 4. P. 500-508.

2. Fedotov A., Klopp F. WKB asymptotics of meromorphic solutions to difference equations // Applicable Analysis. – 2019. – С. 1-17.

3. M Karasev, E Novikova Non-Lie permutation representations, coherent states, and quantum embedding // Translations of the American Mathematical Society-Series 2 187, 1-202.

4. Федорюк М. В. Асимптотические методы для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. // URSS, 2009.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА АЭРОПОРТА

М.В. Самоделкина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Предложена методика для определения оптимального числа обслуживающего персонала аэропорта, которая позволяет сэкономить объем и время вычислений по сравнению с методом полного перебора. Для этого построена математическая модель обслуживания пассажиропотока аэропорта в виде сети массового обслуживания, позволяющая учитывать несколько этапов обслуживания пассажиров, сформулированы критерии эффективности и решена двухкритериальная задача оптимизации. В качестве примера с помощью предложенной методики получены результаты для выбранных аэропортов. Реализованная имитационная модель подтверждает корректность построенной математической модели.

Введение

Изучение авиасообщения необходимо в связи с растущими международными авиационными связями и важностью авиационного сообщения между странами. Подобные исследования имеют особое значение для России, что связано с большой территорией страны.

Одной из возникающих актуальных задач является оптимизация перевозок пассажиропотока, имеющая важное практическое значение. В связи с этим, целью данной работы является построение математической модели функционирования аэропорта, учитывающей различные операции обслуживания пассажиров, исследование построенной модели и ее оптимизация с точки зрения следующих критериев эффективности:

1) среднее время ожидания пассажира в очередях аэропорта, соответствующих различным операциям обслуживания;

2) затраты на обслуживающий персонал.

Выбор похода к моделированию работы аэропорта

В литературе применяются различные подходы к моделированию функционирования аэропорта: с точки зрения обслуживания летательных средств [1, 2] и пассажиров [3, 4, 5, 6].

В работах [1, 2, 5, 6] аэропорт представляется как система массового обслуживания (СМО), что не позволяет исследовать несколько последовательных операций обслуживания.

В статьях [3, 4] используется сеть массового обслуживания (СеМО) аэропорта. Однако в работе [3] рассматриваются только этапы регистрации и паспортного контроля совместно с досмотром, а в исследовании [4] - этапы регистрации и досмотра.

В связи с этим, предложено использовать методы анализа СеМО аэропорта. Дополняя работы [3, 4], в СеМО аэропорта предлагается учитывать этапы обслуживания, применяющиеся в международной системе оценки качества деятельности аэропортов Airport Service Quality (ASQ): регистрацию, паспортный контроль, досмотр. Предлагается также использовать методы численного решения однокритериальных задач оптимизации - такие методы решения не применялись ни в одной из указанных работ.

Модель обслуживания пассажиропотока аэропорта

Предложно рассмотреть модель аэропорта как сеть массового обслуживания с тремя узлами (этапами обслуживания) в соответствии с системой оценки ASQ: регистрация, паспортный контроль, досмотр. Каждый узел сети представляет собой СМО с несколькими каналами обслуживания (т. е. обслуживающим персоналом).

В научно-технической литературе [4, 5] на основе статистических данных проверяются и принимаются гипотезы о том, что время обслуживания одного пассажира на каждом этапе имеет экспоненциальное распределение, а входящий в сеть поток пассажиров является простейшим.

Отметим, что предлагаемая модель СеМО аэропорта обладает следующими свойствами:

1) входящий поток пассажиров в каждый i-ый узел сети на протяжении одного месяца можно считать простейшим с интенсивностью λ_i;

2) каждый узел сети представляет собой СМО без приоритета, имеет несколько обслуживающих каналов и бесконечную очередь;

3) в каждом узле сети реализован механизм прореживающего потока, отсутствуют нетерпеливые клиенты;

4) время обслуживания заявок одним каналом i-го узла сети распределено экспоненциально с параметром μ_i;

5) каналы, находящиеся в одном узле, обслуживают заявки с одинаковой интенсивностью;

6) используя символику Кэндалла, систему в i-ом узле можно описать как $M|M|n_i|\infty$, где n_i - число обслуживающих каналов в i-ом узле сети.

Критерии эффективности

Важными критериями эффективности работы сети аэропорта являются суммарное для всех трех узлов среднее время ожидания пассажира в очереди и затраты на обслуживающий персонал [1, 3]. Тогда двухкритериальная задача для определения оптимального числа каналов обслуживания в каждом узле сети аэропорта ставится следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{3} EY_i(n_i) \rightarrow \min_{n_1,n_2,n_3} \\ \sum_{i=1}^{3} C_i n_i \rightarrow \min_{n_1,n_2,n_3} \\ \sum_{i=1}^{3} EY_i(n_i) \le T, \sum_{i=1}^{3} C_i n_i \le S \\ n_i \in \left[n_i^{min}, n_i^{max}\right], n_i \in \mathbb{N}, i = \overline{1,3}, \end{cases} \quad (1)$$

где $Y_i(n_i)$ – случайное время ожидания заявки от поступления в i-ый узел до начала ее обслуживания одним из каналов; $C_i > 0$ - затраты на один канал i-го узла в месяц; параметры T, максимальное допустимое среднее время ожидания заявки в очередях СеМО, и S, максимальные допустимые затраты на обслуживающие каналы всех узлов, задаются руководством аэропорта. n_i^{min} - минимальное число каналов в каждом узле (при котором существует предельное распределение процесса, описывающего обслуживание в данном узле); n_i^{max} - максимальное количество каналов в каждом узле сети (определяется параметрами аэропорта).

Здесь $EY_i(n_i)$ вычисляется по следующей формуле:

$$EY_i(n_i) = \frac{n_i \pi_{n_i}}{\mu_i \left(n_i - \frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^2}$$

где π_{n_i}- предельная вероятность нахождения процесса, описывающего обслуживание i-го узла, в n_i-ом состоянии.

Методика для определения оптимального числа каналов обслуживания

Для решения поставленной задачи (1) значения критериев в целых точках аппроксимируются непрерывной функцией. Так, логарифм $EY_i(n_i)$ хорошо описывается полиномом. Тогда непрерывный вариант функции $EY_i(n_i)$ можно записать в таком виде:

$$EY_i(x_i) = \exp\left\{a_0 x_i^m + a_1 x_i^{m-1} + \cdots + a_{m-1} x_i + a_m\right\},$$

где m - степень полинома, подбирается экспериментально, а коэффициенты полинома $a_j, j = \overline{0,m}$ определяются с помощью методов интерполяции.

Задача (1), полученная с использованием непрерывных критериев, имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{3} EY_i(x_i) \rightarrow \min_{x_1,x_2,x_3} \\ \sum_{i=1}^{3} C_i x_i \rightarrow \min_{x_1,x_2,x_3} \\ \sum_{i=1}^{3} EY_i(x_i) \le T, \sum_{i=1}^{3} C_i x_i \le S \\ x_i \in \left[n_i^{min}, n_i^{max}\right], x_i \in \mathbb{R}, i = \overline{1,3}. \end{cases} \quad (2)$$

Далее задача (2) решается методами решения многокритериальных задач.

1. *Метод главного критерия* заключается в выборе одного наиболее важного критерия, который будет минимизироваться, при этом оставшиеся критерии записываются в виде ограничений [7].

2. *В методе свертки* критерий для минимизации представляет собой взвешенную сумму критериев [7].

3. *Метод идеальной точки* основан на минимизации расстояния от каждого критерия до точки, дающей этому критерию наилучшее значение [8].

После применения указанных методов возникает однокритериальная задача оптимизации с ограничениями, которая решается следующими численными методами.

1. *Метод последовательного квадратичного программирования*. В методе требуется, чтобы минимизируемый критерий и ограничения были непрерывно дифференцируемы. Метод подходит для решения задач, в которых число минимизируемых переменных меньше 200 [9].

2. *Метод внутренней точки*. Минимизируемый критерий и ограничения должны быть дважды непрерывно дифференцируемы. Метод подходит для решения задач большой размерности [10].

3. *Условная оптимизация с линейной интерполяцией*. Минимизируемый критерий и ограничения могут не быть непрерывно дифференцируемыми (данный метод не требует вычисления градиентов). Метод подходит для решения задач малой размерности [11].

Затем необходимо вернуться к исходной задаче (1) и получить целые значения числа каналов обслуживания сети. Для этого рассматриваются несколько ближайших к решению задачи (2) целых значений. После чего к отобранным значениям применяется метод полного перебора. В качестве решения выбираются значения числа каналов обслуживания, соответствующее минимуму рассматриваемого критерия.

Таким образом, сокращаются объем и время вычислений по сравнению с методом полного перебора.

Проведение вычислений

В работе используются открытые данные Федерального агентства воздушного транспорта о ежемесячном пассажиропотоке в Российских аэропортах [12] для определения интенсивности входящего потока в СеМО аэропорта. Для анализа выбраны аэропорты Пулково и Шереметьево (терминал С).

В анализируемых данных изменение интенсивности пассажиропотока происходит каждый месяц. В связи с этим, задача об определении оптимального числа обслуживающего персонала приобретает особую актуальность.

Расчеты проводились для месяца с максимальной интенсивностью входящего потока (август 2019 года). В результате применения различных методов решения задач для каждого аэропорта получилось 4 различных решения,

представленные в таблицах 1 и 2. Результат вычислений практически не зависит от выбора метода решения однокритериальной задачи.

Таблица 1. Решения для аэропорта Пулково

Метод	$\sum_{i=1}^{3} EY_i(n_i)$ сек.	$\sum_{i=1}^{3} C_i n_i$ чел.	Решение, чел.		
			n_1	n_2	n_3
Главный критерий	68,63	118	68	26	24
	146,11	65	30	11	24
Идеальная точка	87,89	68	32	12	24
Свертка	78,79	70	33	13	24

Таблица 2. Решения для аэропорта Шереметьево

Метод	$\sum_{i=1}^{3} EY_i(n_i)$ сек.	$\sum_{i=1}^{3} C_i n_i$ чел.	Решение, чел.		
			n_1	n_2	n_3
Главный критерий	0,21	40	15	11	14
	89,82	22	8	6	8
Идеальная точка	5,43	30	11	8	11
Свертка	1,55	34	13	9	12

Решение может быть принято в зависимости от системы предпочтений руководства аэропорта, основываясь на конкретных значениях критериев эффективности.

Дополнительно для подтверждения полученных результатов осуществлен полный перебор целых возможных значений числа каналов обслуживания. В результате применения метода полного перебора получаются решения, аналогичные предлагаемой методике.

Кроме того, реализована имитационная модель, с помощью которой вычисляется среднее время ожидания пассажира в очереди СеМО аэропорта. Проведен сравнительный анализ аналитического вычисления времени ожидания и вычислений, полученных с помощью имитационной модели. Результаты совпали, что подтвердило корректность предложенной математической модели.

Таким образом, можно сделать вывод о пригодности использования разработанной методики для нахождения оптимального числа каналов обслуживания в узлах СеМО аэропорта.

Заключение

В работе исследована СеМО аэропорта. Предложена методика для определения оптимального числа каналов обслуживания в каждом узле сети аэропорта, которая позволяет сэкономить объем и время вычислений по сравнению с методом полного перебора. В качестве примера с использованием предложенной методики проведены вычисления для двух выбранных аэропортов. Реализованная имитационная модель подтверждает корректность построенной математической модели.

Методика, разработанная в ходе выполнения работы, может использоваться для принятия управленческих решений, улучшающих качество обслуживания и сберегающих собственные средства аэропорта.

По итогам исследования может быть реализован программный продукт для интеграции с модулями планирования деятельности аэропорта.

Список литературы:

1. Романенко В.А. Оптимизация управления технологическими процессами узлового аэропорта как системы массового обслуживания с нестационарными потоками и частичной взаимопомощью каналов // Управление большими системами: сборник трудов. 2012. № 36. С. 209-247.
2. Вольсков Д.Г., Ривин Г.Л. Визуализация процессов работы аэропорта на основе системы массового обслуживания и компьютеризации управления полетами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 3-2. С. 424-429.
3. Яркова О.Н. Имитационное моделирование системы обслуживания пассажиров вылетающих рейсов на примере аэропорта «Оренбург» // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 4 (64). С. 103-114.
4. Li Y., Gao X., Xu Z., Zhou X. Network-based queuing model for simulating passenger throughput at an airport security checkpoint // Journal of Air Transport Management. 2018. V. 66. P. 13-24.
5. Романенко В.А. Расчет основных параметров пассажирских аэровокзалов: Учеб. пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2003. 60 с.
6. Шведов В., Мочалов А., Новиков А. Методика оценки пропускной способности аэровокзала международного аэропорта // Логистика. 2012. № 3. С. 44–46.
7. Юрьев В.Н., Шахдинаров Г.М., Кузин В.И. Методы и модели управления фирмой. СПб.: Питер, 2002. 431 с.
8. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. М.: Наука, 1984. 392 с.
9. Kraft D. A software package for sequential quadratic programming. 1988. 35 p.
10. Byrd R.H., Hribar M.E., Nocedal J. An interior point algorithm for large-scale nonlinear programming // SIAM Journal on Optimization. 1999. V. 9, N. 4. P. 877–900.
11. Powell M.J.D. A direct search optimization method that models the objective and constraint functions by linear interpolation // Advances in optimization and numerical analysis. 1994. P. 51–67.
12. Официальный Интернет-ресурс Федерального агентства воздушного транспорта. Статистические показатели по объемам перевозок пассажиров через аэропорты России. URL: https://favt.ru/opendata/7714549744-statperevaeroportpas/ (дата обращения: 07.07.2020).

СЛУЧАЙНЫЕ БЛУЖДАНИЯ НА РЕШЁТКАХ

А.В. Дашко, С.О. Михайлова, Е.С. Петухова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе задача о случайных блужданиях на решётках решается при помощи анализа непрерывной динамической системы, полученной при интерполяции исходной задачи на всё конфигурационное пространство. Разрабатываются методы решения уравнений на графах и сетках, основанные на анализе гамильтоновых систем, отвечающих интерполяции исходной задачи, а также исследуется

поведение решения в области больших уклонений (в области тени).

Введение

Целью данной работы является применение нового подхода к анализу случайных блужданий на конечномерных решётках, а именно разработка методов решения задачи о случайном блуждании на основе двух способов: построения фундаментального решения задачи Коши для продолженного уравнения и построения асимптотического решения с помощью неосциллирующего метода Вентцеля — Крамерса — Бриллюэна (далее ВКБ) в форме, пригодной для исследования псевдодифференциальных уравнений параболического типа. Построение фундаментального решения для дифференциальных уравнений хорошо изучено и описано в [1], поэтому углубляться в нашей работе в детали построения мы не будем, а воспользуемся готовыми результатами. В данной работе больше внимания уделено построению асимптотического решения с помощью метода ВКБ.

Задача о простейшем блуждании

Блуждание на целочисленной решётке с конечным числом шагов (вправо и влево) с некоторой вероятностью описывается разностными уравнениями вида:

$$U_i^{n+1} = a_{i,i-k}U_{i-k}^n + \cdots + a_{i,i+m}U_{i+m}^n + F_i^n, \qquad (1)$$
$$a_{i,j} \geq 0,\ \sum_{j=i-k}^{i+m} a_{i,j} = 1,$$

$a_{i,j}$ – вероятность перехода из состояния j в состояние i,

U_i^n – вероятность в момент времени n находиться в положении i,

$U_i^0 = {u_i}^0$, F_i^n – заданы.

В исходной постановке $F_i^n = 0$, но, так как мы предполагаем построение приближенного решения, удовлетворяющего уравнению с малой невязкой, необходимо рассматривать общее решение *(1)* при $F_i^n \neq 0$.

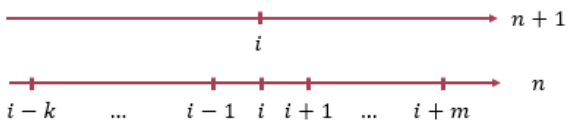


Рис.1. Случайное блуждание на целочисленной прямой

Мы рассматриваем задачу о случайных блужданиях на основе техники псевдодифференциальных уравнений. Функцию дискретного аргумента U_i^n мы заменяем на функцию $U(x,t)$ такую, что $U_i^n = U(n\Delta t, i\Delta x)$. А уравнение на решётке заменяем на псевдодифференциальное уравнение

$$e^{\tau\frac{\partial}{\partial t}}U = \left(\sum_{j=-k}^{m} a_j(x)e^{jh\frac{\partial}{\partial x}}\right)U + F(x,t), \qquad (2)$$

предполагая, что $a_j(ih) = a_{i,j}$, $F(ih,\ n\tau) = F_i^n$, $U_{t=0} = U_i^0$, и рассматривая псевдодифференциальное уравнение в точках $t_n = n\tau$, $x_i = ih$, получим уравнение *(1)*.

Параметры в уравнении *(2)* могут быть более общими.

Решение задачи *(1)* удовлетворяет оценке

$$\|U^{n+1}\|_c \leq \|U^0\|_c + \sum_{k=0}^{n}\left\|F^k\right\|_c. \qquad (3)$$

Построение асимптотического решения

Мы рассматриваем решение псевдодифференциальных уравнений при условии $\tau \to 0$, $h \to 0$, $\frac{\tau}{h} = const$. Решение задачи с неизменной длиной шага по сетке и фиксированным шагом во времени ищется в виде

$$U = e^{-\frac{1}{h}s(x,t)}\varphi(x,t). \qquad (4)$$

Рассматриваем задачу *(1)* со специальными начальными условиями $U_i^0 = \delta_{i0}$ (символ Кронекера).

Такая функция δ_{i0} может быть представлена в различных видах. Например, $U_i^0 = \frac{h\sin\left(\frac{i\pi x}{h}\right)}{i\pi x}$ можно записать в виде мнимой части от экспоненты: $Im\left(\frac{he^{-\frac{i\pi x}{h}}}{x}\right)$. Поэтому мы можем построить решения с начальными данными в виде осциллирующего ВКБ, а далее взять от него мнимую часть. В свою очередь, решение ВКБ можем построить с помощью фундаментального решения задачи Коши (естественный путь). С другой стороны, можем построить решение в виде

$$U = Im\left(e^{-\frac{1}{h}s(x,t)+2\pi kix}\varphi(x,t,h)\right), k \in \mathbb{Z} \qquad (5)$$
$$s_{t=0,\ x=0} = s_0,$$

где s_0– гладкая неотрицательная функция и $s_0(0) = 0$, $\varphi_{t=0,\ x=0} = 1$.

Подставляя функцию U в уравнение *(2)* при $F(x,t) = 0$ и приравнивая коэффициенты при h^0 и h^1 к 0, получим уравнение Гамильтона-Якоби и уравнение переноса. Решив эти уравнения, получим, что функция U_{as}, в которой $s(x,t)$ есть решение уравнения Гамильтона-Якоби, а $\varphi(x,t)$ есть решение уравнения переноса, удовлетворяет уравнению *(2)* с правой частью вида

$F(x,t,h) = r(x,t,h)h^2e^{-\frac{1}{h}s(x,t)}$, где $r(x,t,h)$-непрерывная равномерно ограниченная функция.

В силу оценки это означает, что мы построили решение задачи Коши на сетке *(1)* с точностью $O(h)$ в аддитивном смысле, то есть $U_{ex} - U_{as} = O(h)$, в смысле нормы max | |. Однако эта оценка не является оптимальной: не дает информации о точном решении в области $s(x,t) \geq \delta > 0$. Для получения “правильной” оценки следует рассмотреть функцию $W = e^{\frac{1}{h}s(x,t)}(U_{ex} - U_{as})$. Решение U_{as} можно получить с точность до $O(h^n)$, если решить не только уравнение Гамильтона-Якоби и первое уравнение переноса, но и $(n-1)$ следующее уравнение переноса.

Рассмотрим частный случай задачи *(1)*:

$$U_i^{n+1} = \frac{\lambda+1}{2}U_{i+1}^n + \frac{1-\lambda}{2}U_{i-1}^n, \text{где } \lambda \in [-1,1] \qquad (1)^*$$

Уравнение Гамильтона-Якоби в этом случае имеет вид при $k = 1$ в *(3)*:

$$e^{-s_t} - \frac{\lambda+1}{2}e^{-s_x} - \frac{1-\lambda}{2}e^{s_x} = 0, \qquad (6)$$

а уравнение переноса следующее:

$$P\varphi_0 =$$
$$e^{-s_t}\left(\varphi_{0_t} - \frac{1}{2}s_{tt}\varphi_0\right) - \frac{\lambda+1}{2}e^{-s_x}\left(\varphi_{0_x} - \frac{1}{2}s_{xx}\varphi_0\right) - \frac{1-\lambda}{2}e^{s_x}\left(\varphi_{0_x} - \frac{1}{2}s_{xx}\varphi_0\right), \qquad (7)$$

где через P обозначен оператор переноса, действующий на φ_0.

Следующее уравнение переноса (полученное приравниванием коэффициентов при h^2) имеет вид:

$$P\varphi_1 =$$

$$e^{-s_t}\left(\frac{s_{tt}^2\varphi_0}{8}-\frac{1}{2}s_{tt}\varphi_{0_t}+\frac{1}{2}\varphi_{0_{tt}}\right)-\frac{\lambda+1}{2}e^{-s_x}\left(\frac{s_{xx}^2\varphi_0}{8}-\frac{1}{2}s_{xx}\varphi_{0_x}+\frac{1}{2}\varphi_{0_{xx}}\right)-\frac{1-\lambda}{2}e^{s_x}\left(\frac{s_{xx}^2\varphi_0}{8}-\frac{1}{2}s_{xx}\varphi_{0_x}+\frac{1}{2}\varphi_{0_{xx}}\right). \quad (8)$$

Интересно добавить, что если U имеет вид

$U = Im(e^{-\frac{1}{h}s(x,t)+\pi kix}\varphi(x,t,h))$, то несмотря на то что при тех же предположениях, что и для *(5)*, функция U удовлетворяет начальному условию, но система уравнения Гамильтона-Якоби и уравнений переноса в этом случае неразрешима.

Решение задачи Коши для уравнения Гамильтона-Якоби строится на траекториях системы Гамильтона. Для уравнения Гамильтона-Якоби *(6)* проекции на конфигурационное пространство изображены на рисунках ниже. Эти проекции являются прямыми линиями, проходящими через любую точку полуплоскости *(x, t)*, попарно не пересекаясь. Последнее означает, что соответствующая задача лагранжевого многообразия диффеоморфно проектируется на полуплоскость *(x, t)*.

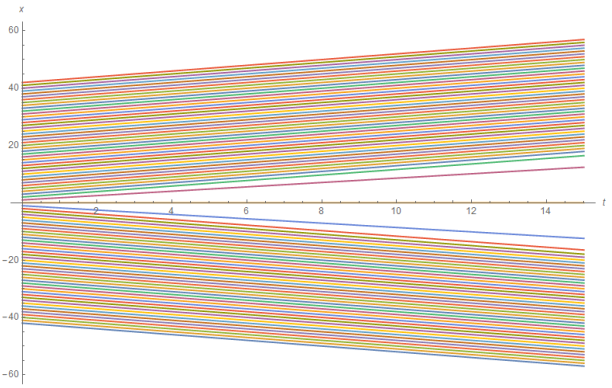


Рис.2. Траектории (проекции Гамильтонового потока), на которых строится решение уравнения Гамильтона-Якоби для простейшего случайного блуждания по целочисленной прямой с ненулевой вероятностью сделать шаг длины один влево и вправо для значения $\boldsymbol{\lambda = 0}$, $\boldsymbol{s_{t=0} = x^2}$.

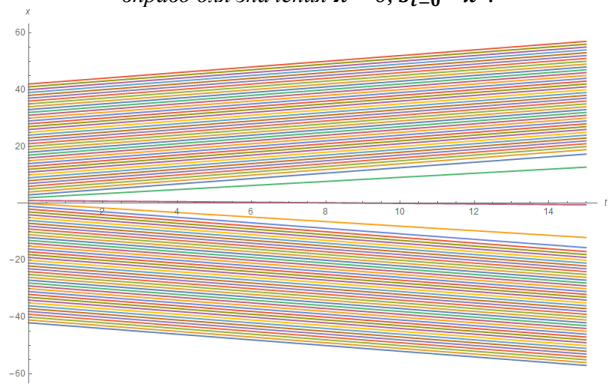


Рис.3. Траектории, на которых строится решение уравнения Гамильтона-Якоби для простейшего случайного блуждания по целочисленной прямой с ненулевой вероятностью сделать шаг длины один влево и вправо для значения $\boldsymbol{\lambda = 0{,}8}$, $\boldsymbol{s_{t=0} = x^2}$.

Область, в которой нет траекторий, на самом деле отсутствует, что можно увидеть при увеличении масштаба рисунка.

Заключение

Таким образом, предлагается новый подход для исследования задачи о блужданиях на конечномерных неоднородных решётках (коэффициенты уравнения a_{ij} – вероятности перехода – могут зависеть от точки решётки). Этот подход основан на преобразовании исходного уравнения для вероятностей (разностного уравнения) в псевдодифференциальное уравнение. Это позволяет использовать для исследования задачи о блужданиях неосциллирующий метод Вентцеля — Крамерса — Бриллюэна. В заключение авторы выражают благодарность В. Г. Данилову за полезные обсуждения.

Список литературы:

1. V. G. Danilov, A Representation of the Delta Function via Creation Operators and Gaussian Exponentials, and Multiplicative Fundamental Solution Asymptotics for Some Parabolic Pseudodifferential Equations, Russian Journal of Mathematical Physics vol. 3 no. 1 (1995), 25-40.

2. V.G. Danilov, Nonsmooth Nonoscillating Exponential-type Asymptotics for Linear Parabolic PDE, SIAM J. Math. Anal., 49(5), 3550–3572.

3. В. Феллер, Введение в теорию вероятностей и её приложения в 2-х томах., Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 738 с.

4. Ю. И. Кифер, “О спектре некоторых дифференциальных операторов с малым параметром при старших производных”, УМН, 32:5(197) (1977), 187–188

5. В. П. Маслов, В. Е. Назайкинский, Туннельный канонический оператор в термодинамике, Функц. анализ и его прил., 2006, том 40, выпуск 3, 12–29.

6. В. В. Белов, Е. М. Воробьёв, Сборник задач по дополнительным главам математической физики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 271 с.

7. А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. Уравнения математической физики. М: Изд-во Московского ун-та, 1999.

8. С. Г. Михлин, Курс математической физики, М, 1968 г, 576 стр.

9. В. П. Маслов, М. В. Федорюк, Квазиклассическое приближение для уравнений квантовой механики. - М., 1976.

АСИМПТОТИКА ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ И ВЫРОЖДЕНИЕМ

М.А. Рахель
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается метод построения асимптотики фундаментального решения задачи Коши для вырождающегося линейного параболического уравнения с малой диффузией. За основу берется алгоритм построения асимптотики функции Грина для невырождающихся уравнений, который после небольшой модификации распространяется на вырождающийся случай.

Введение

Построение асимптотических решений является одним из наиболее мощных методов конструктивного исследования дифференциальных уравнений в частных производных. В теории гиперболических уравнений такие методы хорошо известны, активно применяются и развиваются. Примерами здесь могут служить теория канонического оператора Маслова и теория интегральных операторов Фурье. Такие теории используют объекты и понятия симплектической геометрии, а именно лагранжевы многообразия и симплектические формы в фазовом пространстве. Для параболических уравнений подобные теории развиты слабее, и, хотя известен вариант теории канонического оператора Маслова, само направление в целом нуждается в исследовании. Все дело в том, что естественным аппаратом, который связывает гиперболические уравнения с объектами симплектической геометрии, являются интегральные преобразования, в частности преобразование Фурье. При использовании аналогичного аппарата в теории параболических уравнений возникают комплекснозначные функции, которые не являются естественными в данной области. Существует также другой подход, основанный на представлении дельта-функции Дирака в виде действия функции от операторов рождения и уничтожения на гауссову экспоненту в некотором абстрактном гильбертовом пространстве. Такой подход позволяет перенести развитую в теории гиперболических уравнений схему на случай параболических уравнений. Схожие задачи для случая невырожденной диффузии сравнительно недавно решались в классических работах С. Варадана [3], С. Молчанова [4], В. Маслова [5] и на современном уровне в статье В. Маслова и В. Назайкинского [6]. Свойство невырожденности метрики, отвечающей главному символу параболического уравнения, существенно использовавшееся в этих исследованиях, в нашей задаче отсутствует, в связи с чем применяется техника, упомянутая выше.

Операторное представление дельта-функции

Ключевую роль в построении асимптотики фундаментального решения играет операторное представление дельта-функции Дирака. Его можно представить в виде следующей леммы [1]

Лемма. Для любой функции $\varphi(x,h)$, равномерно ограниченной по x и удовлетворяющей условию Липшица $|\varphi(x_1,h)-\varphi(x_2,h)| \le k|x_1-x_2|$ для любого фиксированного $h \in (0,1)$, справедливо следующее соотношение:

$$\varphi(0,h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi h}} \lim_{\beta\to 1-0} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x,h)\, \langle e^{-\beta\frac{(x-a^+)^2}{2h}} e^{-\frac{\zeta^2}{h}}, \delta(\zeta)\rangle\, dx$$

где $a^+ = \zeta - \frac{h}{2}\frac{\partial}{\partial\zeta}$ - оператор рождения

Построение функции Грина

Фундаментальное решение $G(x,\xi,t)$ – решение задачи Коши

$$\begin{cases} -h\frac{\partial G}{\partial t} + \widehat{H}\left(x, -h\frac{\partial}{\partial x}\right) G = 0 \\ G|_{t=0} = \delta(x-\xi) \end{cases} \quad (1)$$

где $H(x,p)$ – Гамильтониан, вещественно аналитическая по p функция.

Тогда из приведенной выше леммы следует, что если функция, которая называется символом фундаментального решения, $V_\beta(x,\xi,y,t)$ – решение задачи

$$\begin{cases} -h\frac{\partial V_\beta}{\partial t} + \widehat{H}\left(x, -h\frac{\partial}{\partial x}\right) V_\beta = 0 \\ V_\beta|_{t=0} = e^{-\beta\frac{(x-\xi-y)^2}{2h}} \end{cases} \quad (2)$$

то

$$G(x,\xi,t) = \lim_{\beta\to 1-0} G_\beta(x,\xi,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi h}} \lim_{\beta\to 1-0} \langle V_\beta(x,\xi,a^+,t) e^{-\frac{\zeta^2}{h}}, \delta(\zeta)\rangle$$

Символ находится с помощью неосциллирующего метода ВКБ [2]

$$V_\beta = e^{-\frac{\Phi_\beta(x,\xi,y,t)}{h}} (\varphi_0(x,\xi,y,t) + O(h))$$

Тогда функция $\Phi_\beta(x,\xi,y,t)$ будет удовлетворять задаче Коши для уравнения Гамильтона-Якоби

$$\begin{cases} \frac{\partial\Phi_\beta}{\partial t} + H\left(x, \frac{\partial\Phi_\beta}{\partial x}\right) = 0 \\ \Phi_\beta|_{t=0} = \beta\frac{(x-\xi-y)^2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

А функция $\varphi_0(x,\xi,y,t)$ – задаче Коши для уравнения Переноса

$$\begin{cases} \Pi\varphi_0 = 0 \\ \varphi_0|_{t=0} = P(x) \end{cases} \quad (4)$$

Где $\Pi = \frac{\partial}{\partial t} + H_p\frac{\partial}{\partial x} + \frac{1}{2}H_{pp}(S_\beta)_{xx}$, а функция $P(x)$ равна нулю всюду, кроме малой окрестности точки $x = 0$.

Решение таких уравнений в общем виде хорошо известно, и формула для нахождения функции Грина будет выглядеть следующим образом:

$$G(x,\xi,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi h}} \lim_{\beta\to 1-0} \frac{e^{\frac{1}{h}\left(\frac{\hat{y}^2}{2} - \Phi_\beta(x,\xi,\hat{y},t)\right)}}{\sqrt{J_0}\sqrt{1 - \frac{\partial^2 S_\beta(x,\xi,y,t)}{\partial y^2}|_{y=\hat{y}}}} e^{\frac{1}{2}\int_0^t H_{xp}dt} \left(1 + O(h)\right)$$

где $J_0 = \left|\frac{\partial x}{\partial x_0}(x_0,\xi,y,t)\right|$ – Якобиан, а $\hat{y}$ – решение неявного уравнения $\hat{y} = \frac{\partial\Phi_\beta}{\partial y}(x,\xi,\hat{y},t)$ (5)

Новая геометрия

Более детально рассмотрение описанной выше конструкции указывает нам на наличие новой симплектической структуры, аналог которой возникает в теории интегральных операторов Фурье, а именно:

1) Специальное лагранжево многообразие (x,y,p_x,p_y) и расширенная система Гамильтона

$$\begin{cases} \dot{x} = H_p(x,p_x), & x|_{t=0} = x_0 \\ \dot{p_x} = -2xp^2, & p_x|_{t=0} = \beta(x_0-\xi-y) \\ \dot{y} = 0, & y|_{t=0} = y \\ \dot{p_y} = 0, & p_y|_{t=0} = -\beta(x_0-\xi-y) \end{cases}$$

2) Новая симплектическая форма

$$\omega_y \in T^*(\mathbb{R}^n_x) \times T^*(\mathbb{R}^n_y), \qquad \omega_y = p_x dx - p_y dy$$

3) Отображение - проекция

$$\pi: \Lambda^{2n}_t \to (\mathbb{R}^n_x, y = p_y)$$

которая является прямым произведением стандартной проекции на ось x с проекцией на диагональ $y = p_y$.

Новая фаза S_β находится путем интегрирования формы и применения обратного отображения

$$S_\beta = (\pi^{-1})^* \int \omega_y$$

Тогда фаза в новом представлении решения будет выглядеть следующим образом

$$S_\beta(x,t,\xi) = \left[S_\beta|_{t=0} - \int_0^y p_y dy + \int_0^t (p_x\frac{\partial H}{\partial p_x} - H)d\tau = \frac{\beta}{2}(x_0-\xi)^2 + \int_0^t (p_x\frac{\partial H}{\partial p_x} - H)d\tau \right]_{\substack{x_0=x_0(x,t,\xi) \\ y=y(x,t,\xi)}}$$

Если $p_x\frac{\partial H}{\partial p_x} - H \ge 0$ то для любых x и y: $S_\beta \ge 0$

Итак, в новых обозначениях формула для фундаментального решения принимает вид

$$G(x,\xi,t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi h}}\lim_{\beta\to 1-0}\frac{e^{-\frac{1}{h}S_\beta(x,t,\xi)}}{\sqrt{J}}\big(1+O(h)\big) \qquad (6)$$

где $J=\left|\frac{\partial(x,y-p_y)}{\partial(x_0,y)}\right|$- Якобиан расширенной системы

Линейное вырождающееся параболическое уравнение

Рассмотрим следующую задачу Коши

$$\begin{cases}\dfrac{\partial u}{\partial t}-h\dfrac{\partial}{\partial x}\left(x^2\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)=0\\ u|_{t=0}=u_0(x)\end{cases} \qquad (7)$$

Ее фундаментальное решение – функция $G(x,\xi,t)$, удовлетворяющая

$$\begin{cases}\dfrac{\partial G}{\partial t}-h\dfrac{\partial}{\partial x}\left(x^2\dfrac{\partial G}{\partial x}\right)=0\\ G|_{t=0}=\delta(x-\xi)\end{cases} \qquad (8)$$

Тогда решение исходной задачи определяется как свертка функции Грина с начальным условием

$$u(x,t)=\int_{-\infty}^{+\infty}G(x,\xi,t)u_0(\xi)d\xi$$

Заметим, что при $\xi=0$ решением (7) является дельта-функция от x. Этот факт показывает отсутствие сглаживания (в отличие от обычных параболических уравнений, например уравнения теплопроводности).

Задача для символа будет иметь вид

$$\begin{cases}\dfrac{\partial V_\beta}{\partial t}-hx^2\dfrac{\partial^2 V_\beta}{\partial x^2}-2hx\dfrac{\partial V_\beta}{\partial x}=0\\ V_\beta|_{t=0}=e^{-\beta\frac{(x-\xi-y)^2}{2h}}\end{cases} \qquad (9)$$

Применяя метод ВКБ, получим уравнения для нахождения фазы $\Phi_\beta(x,\xi,y,t)$

$$\begin{cases}\dfrac{\partial\Phi_\beta}{\partial t}+x^2\left(\dfrac{\partial\Phi_\beta}{\partial x}\right)^2=0\\ \Phi_\beta|_{t=0}=\beta\dfrac{(x-\xi-y)^2}{2}\end{cases} \qquad (10)$$

и амплитуды $\varphi_0(x,\xi,y,t)$

$$\begin{cases}\dfrac{\partial\varphi_0}{\partial t}+2x^2\big(S_\beta\big)_x\dfrac{\partial\varphi_0}{\partial x}+\Big(x^2\big(S_\beta\big)_{xx}+2x\big(S_\beta\big)_x\Big)\varphi_0=0\\ \varphi_0|_{t=0}=P(x)\end{cases}$$

Запишем характеристическую систему для получившегося уравнения Гамильтона-Якоби

$$\begin{cases}\dot{x}=2x^2p,\ x|_{t=0}=x_0\\ \dot{p}=-2xp^2,\ p|_{t=0}=\beta(x_0-\xi-y)\end{cases} \qquad (11)$$

Ее решение имеет вид

$$\begin{cases}x=x_0e^{2\beta x_0(x_0-\xi-y)t}\\ p=\beta(x_0-\xi-y)e^{-2\beta x_0(x_0-\xi-y)t}\end{cases}$$

Теперь чтобы найти фундаментально решение, нам необходимо выразить $x_0(x,\xi,\beta,t)$ и $\hat{y}(x,\xi,\beta,t)$ из системы

$$\begin{cases}x=x(x_0,\xi,y,\beta,t)=\ x_0e^{2\beta x_0(x_0-\xi-y)t}\\ y=\dfrac{\partial S_\beta}{\partial y}(x,\xi,y,\beta,t)=-\beta(x_0-\xi-y)\end{cases} \qquad (12)$$

Выражая $\hat{y}=\frac{-\beta(x_0-\xi)}{1-\beta}$ из второго уравнения системы (12) и подставляя в первое, получим

$$x=x_0e^{\frac{2\beta x_0(x_0-\xi)t}{1-\beta}} \qquad (13)$$

Выразить $x_0(x,\xi,\beta,t)$ явно не получится. Но можно рассмотреть Якобиан отображения после подстановки $\hat{y}$

$$J_0(x_0,\xi,\beta,t)=\ e^{\frac{2\beta x_0(x_0-\xi)t}{1-\beta}}\left(1+\frac{2\beta t}{1-\beta}(2x_0^2-x_0\xi)\right)$$

При $0<\beta<1$ для любых ограниченных по модулю x и ξ такой Якобиан нигде не обращается в ноль при достаточно малых t, а значит решение будет гладкой функцией.

При $\beta\to 1-0$ выражение для x определено только при двух значениях x_0: $x_0=0$ и $x_0=\xi$, и при каждом из этих значений якобиан определен и отличен от нуля, а значит решение также будет существовать в виде гладкой функции.

Так как $x=0\ \Leftrightarrow x_0=0$, эта точка является носителем дельта-функции, которая остается в точке $x=0$ при любых $t>0$.

Если же $x\neq 0$, то любое решение x^* уравнения характеристик будет лежать на траектории, выходящей из точки $x_0=\xi$, которая является носителем начальных данных.

1. Пусть $x_0-\xi=(1-\beta)z$. Тогда из (13) можно выразить $z=\frac{1}{2\xi t}\ln\frac{x}{\xi}$. Подставляя в (6), получим выражение для фазы

$$S(x,t,\xi)=\frac{1}{4t}(\ln|x|-\ln|\xi|)^2$$

(здесь мы перешли к пределу при $\beta\to 1-0$).

Якобиан в этом случае будет равен $J=2x\xi t$, а значит

$$\varphi_0(x,t,\xi)=\frac{1}{\sqrt{2x\xi t}}$$

Формула для главного члена асимптотики фундаментального решения в итоге принимает следующий вид

$$G_1(x,t,\xi,h)=\frac{1}{\sqrt{2\pi h}}\frac{1}{\sqrt{2x\xi t}}e^{-\frac{(\ln|x|-\ln|\xi|)^2}{4th}} \qquad (14)$$

Автор выражает благодарность Данилову В.Г. за плодотворные обсуждения.

Список литературы:

1. Danilov V.G., A Representation of the Delta Function via Creation Operators and Gaussian Exponentials, and Multiplicative Fundamental Solution Asymptotics for Some Parabolic Pseudodifferential Equations, Russian Journal of Mathematical Physics vol. 3 no. 1 (1995), 25-40

2. Kifer Yu. I.: On the Asymptotics of the Density of the Transition Probability for Processes with Small Diffusion, Teor. Veroyatnost. i primenen. (Theory Probab. Appl.) XXI, No. 3 (1976), pp. 527-536

3. Varadhan S.R.S.: On the Behavior of the Fundamental Solution of the Heat Equation with Variable Coefficients, Comm. Pure Appl. Math. 20, No. 2 (1967), pp. 431-455

4. Молчанов С.А.., Диффузионные процессы и риманова геометрия", УМН, 30:1(181) (1975), 3–59;

5. Maslov V.P.: Global Exponential Asymptotics of the Solution of the Tunnel Equations and the Large Deviations Problem, Trudy Mat. Inst. Steklov, Moscow 163 (1984), pp. 150-180.

6. Маслов В.П., Назайкинский Е.В., Туннельный канонический оператор в термодинамике, Функц. анализ и его прил., 2006, том 40, выпуск 3, 12–29

АТОМ ВОДОРОДА В СЛАБОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Н.А. Дьячкова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Методы квантового усреднения и когерентного преобразования применены к спектральной задаче об электроне в кулоновском и слабом внешнем электромагнитном полях. После квантового усреднения в первом порядке по величине внешнего поля гамильтониан системы выражен

через образующие алгебры с квадратичными коммутационными соотношениями. В неприводимом представлении этой алгебры спектральная задача сведена к ОДУ второго порядка в пространстве полиномов.

Введение

Рассматривается спектральная задача

$$H\psi = E\psi,\ \psi \in L^2(\mathbb{R}^3) \qquad (1)$$

для нерелятивистского гамильтониана атома водорода в однородном магнитном и неоднородном электрическом полях:

$$H = H_0 + \varepsilon M_3 + \varepsilon^2(W + V).$$

Здесь $\boldsymbol{H}_0 = -\Delta - \frac{1}{|x|}$ - это гамильтониан, описывающий атом водорода в отсутствии внешнего поля; вектор $\boldsymbol{M} = -i(x \times \nabla)$ - оператор момента количества движения, $\boldsymbol{W} = \frac{1}{4}(x_1^2 + x_2^2)$ - квадратичная часть магнитного поля (квадрат потенциала $\vec{A}$ магнитного поля), $\boldsymbol{V} = \sigma|x|$ – потенциал внешнего электрического поля. Число ε связано с напряженностью внешнего поля. Так как поле однородное, систему координат $\mathrm{x}_1, \mathrm{x}_2, \mathrm{x}_3$ можно выбрать так, чтобы ось x_3 была направлена вдоль вектора магнитного поля $\vec{\mathrm{H}}$. Тогда $\vec{\mathrm{H}} = (0,0,\varepsilon)^{\mathrm{T}}$, где $\varepsilon = const$. Векторный потенциал $\vec{\mathrm{A}} = \frac{1}{2}(\vec{\mathrm{H}} \times \vec{\mathrm{r}})$, где $\vec{\mathrm{r}} = (\mathrm{x}_1, \mathrm{x}_2, \mathrm{x}_3)^{\mathrm{T}}$, и тогда $\vec{\mathrm{A}} = \frac{1}{2}(-\varepsilon \mathrm{x}_2, \varepsilon \mathrm{x}_1, 0)^{\mathrm{T}}$. Постоянная Планка, заряд и масса частицы полагаем равными единице.

Потенциал, рассматриваемый в данной задаче, используется в квантовой хромодинамике при описании взаимодействия между статическим кварком и антикварком [1].

В отсутствие потенциала $\boldsymbol{V}$ случай магнитного поля невысокой напряженности рассматривается в очень большом количестве работ, в том числе математических, однако другими методами. Наиболее успешные результаты были получены Е. А. Соловьевым [2] и Д. Деландом и Дж. Геем [3]. Мы следуем подходу, разработанному М. В. Карасевым и Е. М. Новиковой в работе [4]. Основное отличие этого подхода заключается в использовании теории представлений нелиевских алгебр.

Квантовое усреднение

Первый шаг, который делается в исследовании уравнения (1), это регуляризация. А именно, после замены переменных и параметров

$$E = \varepsilon m - \frac{1}{4n^2\nu^2}, \qquad \mu = \varepsilon^2 n^6 \nu^3,$$
$$q = \frac{x}{n^2\nu}, \qquad \psi(x) = \frac{\Psi(q)}{n^2}$$

задача (1) сводится к следующей:

$$\begin{cases} \left(\hat{S}_0 + \mu\hat{S}_1\right)\Psi = \nu\Psi \\ \widehat{M}_3\Psi = hm\Psi. \end{cases} \qquad (2)$$

Здесь $\hat{S}_0 = |q|(\hat{p}^2 + \frac{1}{4})$ - это оператор действия с целочисленным спектром, $\widehat{M}_3 = -i(q_1\hat{p}_2 - \hat{q}_2\hat{p}_1)$, $\hat{S}_1 = \frac{1}{4}\nu|q|(q_1^2 + q_2^2) + h^2\sigma|q|^2$, $\hat{p} = -ih\,\partial/\partial q$. В случае несильного внешнего поля параметр μ, пропорциональный ε^2, можно считать малым. Тогда оператор $\hat{S}_1$ можно считать возмущающим оператором.

В этом случае к гамильтониану $\hat{S}_0 + \mu\hat{S}_1$ применяется метод квантового усреднения: разыскивается унитарное преобразование $\widehat{U}$, приводящее данный возмущенный гамильтониан к виду

$\widehat{U}^{-1}\left(\hat{S}_0 + \mu\hat{S}_1\right)\widehat{U} = \hat{S}_0 + \mu\underline{\hat{S}} + \mu^2 R$, $\left[\underline{\hat{S}}, \hat{S}_0\right] = 0$, где новый возмущающий гамильтониан $\underline{\hat{S}}$ уже коммутирует со старшей частью $\hat{S}_0$. Поэтому спектральная задача для оператора $\hat{S}_0 + \mu\hat{S}_1$ сводится к спектральной задаче для оператора $\underline{\hat{S}}$ на собственных подпространствах старшей части $\hat{S}_0$.

$$\begin{cases} \underline{\hat{S}}\Phi(q) = \lambda\Phi(q), \\ \widehat{M}_3\Phi(q) = mh\Phi(q), \\ \hat{S}_0\Phi(q) = nh\Phi(q), \end{cases} \quad \left[\underline{\hat{S}}, \hat{S}_0\right] = \left[\underline{\hat{S}}, \widehat{M}_3\right] = 0. \qquad (3)$$

Обратный переход к собственным функциям исходного гамильтониана осуществляется с помощью деусредняющего преобразования $\widehat{U}$: $\Psi == \widehat{U}\Phi$.

Чтобы реализовать эту идею, необходимо решить систему гомологических уравнений, из которых определяются операторы $\widehat{U}$ и $\underline{\hat{S}}$. В работе построено решение гомологических уравнений, то есть исходный гамильтониан сведен к усредненному гамильтониану $\underline{\hat{S}}$. Поскольку оператор $\underline{\hat{S}}$ коммутирует и с угловым моментом, и с оператором действие, то $\underline{\hat{S}}$ представим в виде функции от образующих алгебры F_{quant} квантовых первых интегралов пары коммутирующих гамильтонианов: $\widehat{M}_3$ и $\hat{S}_0$. Алгебра F_{quant} исследована в работе [4]. Она порождается четырьмя образующими $\hat{B}_0, \hat{B}_1, \hat{B}_2, \hat{B}_3$ с квадратичными коммутационными соотношениями

$$\left[\hat{B}_1, \hat{B}_2\right] = ih\hat{B}_0\hat{B}_3, \qquad \left[\hat{B}_0, \hat{B}_1\right] = 2ih\hat{B}_2,$$
$$\left[\hat{B}_2, \hat{B}_3\right] = -\frac{ih}{2}\left(\hat{B}_0\hat{B}_1 + \hat{B}_1\hat{B}_0\right), \quad \left[\hat{B}_0, \hat{B}_2\right] = -2ih\hat{B}_1,$$
$$\left[\hat{B}_3, \hat{B}_1\right] = -\frac{ih}{2}\left(\hat{B}_0\hat{B}_2 + \hat{B}_2\hat{B}_0\right), \ \left[\hat{B}_0, \hat{B}_3\right] = 0. \qquad (4)$$

Решение гомологических уравнений в первом порядке по внешнему полю приводит к следующей теореме.

Теорема 1. *Усредненный гамильтониан и деусредняющий оператор задаются следующим формулами:*

$$\underline{\hat{S}} = 6\sigma h^2\hat{S}_0^2 + 4\nu\left(h^2 - \widehat{M}_3^2\right)\hat{S}_0 - \\ -(8\nu\hat{S}_0 + 4\sigma h^2)\hat{B}_2 + \left(12\nu\hat{S}_0 - 4\sigma h^2\right)\hat{B}_3 + O(\mu),$$
$$\widehat{U} = \exp\left\{-\frac{i\mu\hat{S}_1^{\#}}{h} + O\left(\frac{\mu^2}{h}\right)\right\}, \qquad (5)$$
$$\hat{S}_1^{\#} = i\sum_{k=1}^{3}\frac{1}{k}\hat{S}_1^{(k)} - i\sum_{k=1}^{3}\frac{1}{k}\hat{S}_1^{(k)*} + O(\mu),$$
$$\hat{S}_1^{(1)} = \frac{1}{4}\nu((9\hat{S}_0^2 - 10\hat{B}_2 + 14\hat{B}_3 - 4\widehat{M}_3^2 + 11h\hat{S}_0 + \\ +4h^2)\hat{v} - \left(9\hat{S}_0\hat{B}_0 - 2i\hat{B}_1 + 11h\hat{B}_0\right)\hat{V}_3 + \\ +2\sigma h^2\left(2\hat{S}_0 + h\right)\hat{v},$$
$$\hat{S}_1^{(2)} = \frac{1}{2}\nu\left(\left(3\hat{S}_0 + 2h\right)\hat{v}^2 - 2\hat{B}_0\hat{v}\hat{V}_3 - \\ -\left(\hat{S}_0 + 2h\right)V_3^2\right) + \sigma h^2\hat{v}^2,$$
$$\hat{S}_1^{(3)} = \frac{1}{4}\nu\hat{v}\left(\hat{v}^2 - \hat{V}_3^2\right),$$

где $\hat{\mathrm{B}}_{\mathrm{j}}$ – образующие алгебры $\mathrm{F}_{\mathrm{quant}}$, операторы $\hat{\mathrm{v}}$, $\hat{\mathrm{V}}$ определены формулами

$$\hat{v} = |q|\left(\frac{1}{4} - \hat{p}^2\right) + \frac{i}{3}(2q \cdot \hat{p} + \hat{p} \cdot q),$$
$$\hat{V} = q\left(\frac{1}{4} - \hat{p}^2\right) + \left(\hat{p} \times \widehat{M}\right) - \left(\widehat{M} \times \hat{p}\right) + i|q|\hat{p},$$

*звездочка * обозначает сопряжение относительно скалярного произведения*

$$< \Phi, \Psi >_- = \frac{\pi}{4}\int_{\mathbb{R}^3}\frac{\Phi(q)\overline{\Psi}(q)}{|q|}dq.$$

Когерентное преобразование усредненной задачи

На совместных собственных подпространствах $L_{n,m} \subset L^2(\mathbb{R}^3)$ операторов $\hat{S}_0$ и $\widehat{M}_3$ (где $\hat{S}_0$ принимает значения hn, а $\widehat{M}_3$ – значения hm), вместо представления $\hat{B}_0$, $\hat{B}_1$, $\hat{B}_2$, $\hat{B}_3$ алгебры F_{quant} в пространстве $L^2(\mathbb{R}^3)$ можно использовать неприводимые представления алгебры F_{quant} обыкновенными дифференциальными операторами [4]:

$$\check{B}_0 = h(2\overline{z}\frac{\partial}{\partial\overline{z}} - n + |m| + 1),$$
$$\check{B}_1 = \frac{ih^2}{2}(\overline{z}\left(\overline{z}^2 - 1\right)\frac{\partial^2}{\partial\overline{z}^2} - ((2n - |m| - 3)\overline{z}^2 +$$

$$+|m|+1)\frac{\partial}{\partial\bar{z}}+(n-1)(n-|m|-1)\bar{z},$$

$$\check{B}_2=\frac{h^2}{2}(\bar{z}(\bar{z}^2+1)\frac{\partial^2}{\partial\bar{z}^2}-((2n-|m|-3)\bar{z}^2-$$

$$-|m|-1)\frac{\partial}{\partial\bar{z}}+(n-1)(n-|m|-1)\bar{z}),$$

$$\check{B}_3=-h^2(\bar{z}^2\frac{\partial^2}{\partial\bar{z}^2}-(n-|m|-2)\bar{z}\frac{\partial}{\partial\bar{z}}-$$

$$-\frac{1}{2}(n-1)(|m|+1)), \qquad (6)$$

действующими в пространствах $P_{n,m}$ антиголоморфных полиномов $\varphi=\varphi(\bar{z})$ со скалярным произведением

$$<\varphi,\psi\geq\sqrt{\int_{\mathbb{C}}\varphi(\bar{z})\overline{\psi(\bar{z})}d\mu_{m,n}},$$

$$d\mu_{m,n}=\frac{n(n-|m|)(|m|+1)_n}{2\pi(n+1)_{n+1}}|\bar{z}|^{2|m|}F(n+1,$$

$$n+|m|+1;2n+2;1-|\bar{z}|)d\bar{z}dz,$$

где F- гипергеометрический ряд [5], $(l)_n$ – символ Похгаммера.

В неприводимом представлении усредненный оператор (5) имеет вид

$$\underline{\check{S}}=6n^2\sigma h^4+4\nu n(1-m^2)h^3-$$

$$-(8\nu nh+4\sigma h^2)\check{B}_2+(12\nu nh-4\sigma h^2)\check{B}_3+O(\mu).$$

Представления алгебры F_{quant} в пространствах $L^2(\mathbb{R}^3)$ и $P_{n,m}$ связаны интегральным преобразованием [4]

$$B:P_{n,m}\to L^2(\mathbb{R}^3),\ \ B(\varphi)=\int_{\mathbb{C}}\ \varphi(\bar{z})K_z d\mu_{m,n}, \qquad (7)$$

ядром которого является семейство когерентных состояний $K_z(q)=\sum_{j=0}^{n-|m|-1}\overline{P_j(\bar{z})}\chi_j$. Здесь $\{P_j\}$ – ортонормированный базис в $P_{n,m}$: $P_j(\bar{z})=\sqrt{k_j}\overline{z^j}$, где $k_j=\frac{(n-j)_j(n-|m|-j)}{j!(1+|m|)_j}$, а векторы $\{\chi_j\}$ – ортонормированный базис в $L_{n,m}$:

$$\chi_j(q)=c_j(q_1+isgn(m)q_2)^{|m|}\times \qquad (8)$$

$$\times\exp\{-\frac{1}{2h}|q|\}L_j^{|m|}(\frac{|q|+q_3}{2h})L_{n-|m|-1-j}^{|m|}(\frac{|q|-q_3}{2h}),$$

где L_N^M - полиномы Лагерра [4], а нормировочная константа имеет вид

$$c_j=\frac{(-1)^j}{2^{|m|}\pi h^{|m|+1}\sqrt{(n-|m|-j)_{|m|}(1+j)_{|m|}}}.$$

Теорема 2. *В неприводимом представлении* (6) *алгебры* F_{quant} (4) *задача* (3) *в первом порядке по внешнему полю эквивалентна уравнению Гойна*

$$(a_1h^2\bar{z}(\bar{z}^2+1)+2a_2h^2\bar{z}^2)\frac{d^2\varphi}{d\bar{z}^2}-$$

$$-(a_1h^2((2n-|m|-3)\bar{z}^2-|m|-1)+ \qquad (9)$$

$$+2a_2h^2(n-|m|-2)\bar{z})\frac{d\varphi}{d\bar{z}}-$$

$$-(a_3-a_1h^2(n-1)(n-|m|-1)\bar{z}+$$

$$+a_2h^2(n-1)(|m|+1)-\lambda_k)\varphi=0,$$

где

$$a_1=2\sigma h^2+4\nu nh,\qquad a_2=-2\sigma h^2+6\nu nh,$$

$$a_3=6n^2\sigma h^4+4\nu n(1-m^2)h^3.$$

Собственные значения и асимптотические собственные функции задачи (3) связаны с решениями ζ_k,φ_k уравнения Гойна (9) по формулам:

$$\lambda_k=\zeta_k+O(\mu),\qquad \Phi_k(q)=B(\varphi_k(\bar{z}))+O(\mu).$$

Следствие

Пусть полиномы $\varphi_k(\bar{z})=\sum_{j=1}^{n-|m|-1}\varphi_k^j P_j(\bar{z})$ являются собственными функциями уравнения Гойна (9) (k принимает значения от 0 до $n-|m|-1$). Тогда асимптотические собственные функции усредненной задачи (3) задаются формулой

$$\Phi_k(q)=\sum_{j=1}^{n-|m|-1}\varphi_k^j\chi_j(q)+O(\mu), \qquad (10)$$

где χ_j определены в (8).

Теорема 3. Пусть $\varepsilon n^3\ll 1$. Тогда собственные значения задачи (1) имеют следующую асимптотику:

$$E=-\frac{1}{4n^2}+\varepsilon m+\frac{1}{2}\varepsilon^2n^4\zeta_k+O(\varepsilon^4n^{10}), \qquad (11)$$

соответствующие асимптотические функции задаются формулой:

$$\psi_{n,m,k}(x)=\frac{1}{n^2}\sum_{j=1}^{n-|m|-1}\varphi_k^j U\chi_j(n^2x)+O(\varepsilon^2n^6). \qquad (12)$$

Здесь ζ_k,φ_k^j определяются из уравнения Гойна (9), χ_j заданы в (8), U – деусредняющее преобразование (5).

Заключение

Основным результатом данной работы являются полученные асимптотические формулы (11) и (12) для спектра и соответствующих собственных функций задачи (1) об атоме водорода в электромагнитном поле.

Список литературы:

1. В. Г. Борняков, М. И. Поликарпов, Т. Судзуки, М. Н. Чернодуб, Г. Шиергольц. Невылетание цвета и структура адронов в решеточной хромодинамике. УНФ, 2004, т. 174, № 1.

2. Е. А. Соловьев. ЖЭТФ. 1982. Т. 82. № 6.

3. D. Delande, J. C. Gay. J. Phys. B.: At. Mol. Phys. 1984. V. 17.

4. М. В. Карасев, Е. М. Новикова. Представление точных и квазиклассических собственных функций через когерентные состояния. Атом водорода в магнитном поле, ТМФ, 1996, 108:3, 339–387.

5. Г. Бейтмен, А. Эрдейн. Высшие трансцендентные функции. М.: Наука. 1973. Т. 1.

СТАТИЧЕСКИЕ КОНФИГУРАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ВИХРЕЙ НА ПЛОСКОСТИ

Г.П. Баканов[1], А.Д. Вишневская[2], А.И. Липатов[1], П.О. Подкопаева [1]

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», [1]департамент компьютерной инженерии, [2]департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена изучению модели точечных вихрей на плоскости, предложенной Германом Гельмгольцем для описания двумерной идеальной несжимаемой жидкости при отсутствии потенциала скоростей. В результате исследования получены ранее не известные статические конфигурации точечных вихрей и необходимые условия их существования. Сформулировано и доказано утверждение о количестве точек покоя для таких конфигураций.

Введение

Движение M бесконечно тонких прямолинейных параллельных вихревых нитей с интенсивностями $\Gamma_1,...,\Gamma_M$ в безграничной идеальной жидкости описывается системой уравнений Гельмгольца [1]:

$$\frac{dz_k^*}{dt}=\frac{1}{2\pi i}\sum_{m=1}^{M}{}',\frac{\Gamma_m}{z_k-z_m},k=1,...,M \qquad (1)$$

Точки пересечения вихревых нитей с перпендикулярной плоскостью называют точечными вихрями. Положения точечных вихрей на плоскости определяются комплекснозначными функциями $z_1(t),...,z_M(t)$. Величины

$\Gamma_1,...,\Gamma_M$ называют интенсивностями точечных вихрей. Хорошо известно, что система (1) не интегрируема для четырёх и более вихрей при произвольном наборе их интенсивностей [2]. Движение вихрей в неинтегрируемых случаях, вообще говоря, хаотическое. Однако, среди хаотических траекторий существуют регулярные, к которым относят статические, равномерно движущиеся и равномерно вращательные конфигурации [2].

Данная работа посвящена поиску и классификации статических конфигураций для двух групп вихрей с интенсивностями $\Gamma_1, \Gamma_2 \in \Re$. Предполагается, что первая группа содержит три точечных вихря, а вторая группа – не более десяти. Статические конфигурации однозначно определены отношением интенсивностей ($\Gamma_1=\alpha\Gamma_2$) и координатами вихрей первой группы. Без ограничения общности два точечных вихря размещаются в точки (0+0*I) и (1+0*I) комплексной плоскости. Координату третьего точечного вихря обозначаем символом *c*. Также в работе рассматривается задача построения точек покоя для статических конфигураций. Точки покоя характеризуются нулевым значением скорости жидкости.

Нахождение статических конфигураций и точек покоя имеет теоретическую и практическую ценность. Результаты работы могут быть использованы в аналитической теории динамических систем, при численном моделировании гидродинамических задач, к примеру, для проектирования конструкций в регионах с высоким риском смерчей и торнадо. До настоящего времени были получены лишь некоторые статические конфигурации [3-4]. Классификация всех неэквивалентных статических конфигураций в заданной постановке не проводилась.

Статические конфигурации для двух групп точечных вихрей (3,N)

Одним из наиболее эффективных численно-аналитических методов построения и классификации равновесных конфигурации точечных вихрей, является полиномиальный метод [3, 4, 5]. Ключевой идеей данного метода является введение в рассмотрение полиномов с корнями в позициях вихрей.

Рассмотрим систему M точечных вихрей с интенсивностями $\Gamma_1,\Gamma_2,...,\Gamma_q$, $q \le M$. В уравнениях движения (1) положим $\frac{dz_k^*}{dt} = \frac{\lambda}{2\pi i}$. Обозначим позиции вихрей с интенсивностью Γ_j через $a_1^{(j)},...,a_{l_j}^{(j)}$, где $\sum_{j=1}^{q} l_j = M$. Введём характеристические полиномы:

$$P_j(z) = \prod_{i=1}^{l_j}(z - a_i^{(j)}), j = 1,...,q \qquad (2)$$

Точки $a_i^{(j)}$ при $\lambda \neq 0$ можно рассматривать как мгновенные позиции вихрей. Таким образом, случай $\lambda \neq 0$ соответствует равномерно движущимся конфигурациям, а случай $\lambda = 0$ – статическим. Полиномы $P_j(z)$ не должны иметь кратных и совпадающих корней.

В работе с помощью полиномиального метода проведена классификация статических конфигураций для двух групп вихрей, задаваемых полиномами $P_1(z)$ и $P_2(z)$, где $deg\ P_1 = 3$, $deg\ P_2 = N$, $N=1,..,10$. Полиномиальный метод позволяет найти следующее обыкновенное дифференциальное уравнение для полиномов $P_1(z)$ и $P_2(z)$:

$$P_{1,zz}P_2 + 2\alpha P_{1,z}P_{2,z} + \alpha^2 P_1 P_{2,zz} = 0,$$

где $\Gamma_1 = \Gamma, \Gamma_2 = \alpha\Gamma$. При α = –1 это уравнение называют уравнением Ткаченко [6].

Существование конфигураций доказывалось аналитически. Позиции вихрей в статическом равновесии определялись численно. В **Таблице 1** приведены примеры статических конфигураций.

Таблица 1. Пример классификации неэквивалентных статических конфигураций для **N=7.** Конфигурации однозначно задаются отношением интенсивностей α координатой с третьего точечного вихря из первой группы.

$\alpha = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{21}}{14}$	c_1 = 0.5000000000 + 2.087267406*I
	c_2 = 0.5000000000 – 2.087267406*I
	c_3 = 0.8914620873 – 0.4530952963*I
	c_4 = 0.1085379127 + 0.4530952963*I
	c_5 = 0.8914620873 + 0.4530952963*I
	c_6 = 0.1085379127 – 0.4530952963*I
	c_7 = 0.5000000000 + 0.8660254040*I
	c_8 = 0.5000000000 – 0.8660254040*I
$\alpha = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{21}}{14}$	c_1 = 0.5000000000 + 0.1633955010*I
	c_2 = 0.5000000000 – 0.1633955010*I
	c_3 = 1.807023674 – 0.5905190841*I
	c_4 = -0.8070236747 + 0.5905190841*I
	c_5 = 1.807023674 + 0.5905190841*I
	c_6 = -0.8070236747 – 0.5905190841*I
	c_7 = 0.5000000000 + 0.8660254040*I
	c_8 = 0.5000000000 – 0.8660254040*I

Точки покоя

Известно, что в гидродинамических задачах существуют такие области, где скорости частиц среды стремятся к нулю [2]. Большой интерес представляет задача поиска точек покоя в моделях точечных вихрей. Пусть точечные вихри разбиты на группы в соответствии со значениями интенсивностей $\Gamma_1,\Gamma_2,...,\Gamma_q \in \Re$: $P_1,P_2,...,P_q$, где $P_i = \prod_{k=1}^{\deg P_i}(z - z_k^{(i)})$, $q \le M$. Тогда уравнение для определения точек покоя можно записать следующим образом:

$$\sum_{k=1}^{\deg P_1}\frac{\Gamma_1}{z - z_k^{(1)}} + \sum_{k=1}^{\deg P_2}\frac{\Gamma_2}{z - z_k^{(2)}} + ... + \sum_{k=1}^{\deg P_q}\frac{\Gamma_q}{z - z_k^{(q)}} = 0, \qquad (3)$$

где $z_k^{(i)}$ – координата k-го вихря i-ой группы, $i = 1,2,...,q$. С помощью полиномиального метода было доказано следующее утверждение.

Утверждение 1.

Любая статическая конфигурация точечных вихрей имеет не более чем M-1 точку покоя, где M – суммарное число точечных вихрей в конфигурации.

Примеры статических конфигураций и точек покоя приведены на рисунках 1 и 2.

Заключение

В работе с помощью полиномиального метода классифицированы статические конфигурации точечных вихрей с интенсивностями Γ_1, Γ_2 при условии, что количество вихрей первой группы равно трем, а второй – не превышает десяти. Получены необходимые и достаточные условия существования таких конфигураций. Среди построенных конфигураций имеются новые. ля каждой статической конфигурации найдены точки покоя, сформулировано и доказано утверждение об их количестве.

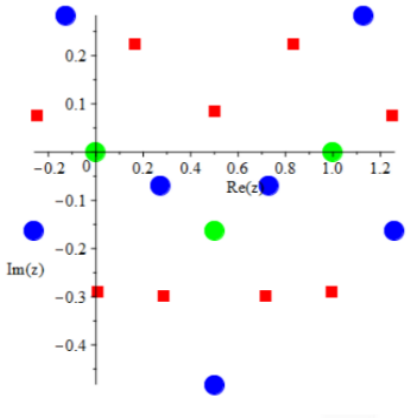


Рис.1. Точечные вихри в статическом равновесии, конфигурация из семейства (3, 7). Точечные вихри с интенсивностью Γ_1 обозначены зелёными кругами, точечные вихри с интенсивностью Γ_2 – синими кругами, точки покоя обозначены красными квадратами

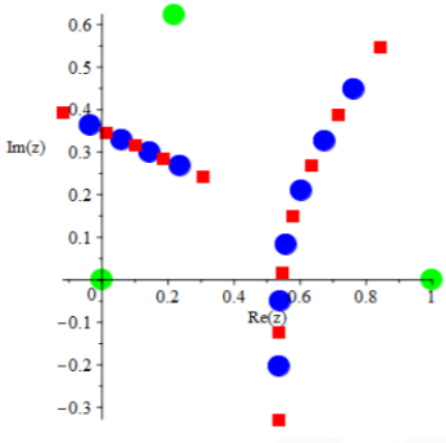


Рис.2. Точечные вихри в статическом равновесии, конфигурация из семейства (3, 10). Точечные вихри с интенсивностью Γ_1 обозначены зелёными кругами, точечные вихри с интенсивностью Γ_2 – синими кругами, точки покоя обозначены красными квадратами

Список литературы:

1. Helmholtz H 1858 Uber integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewe-gungen entsprechen Crelle's J. Math. 55, 25–55

2. Борисов А.В., Мамаев И.С. Математические методы динамики вихревых структур. Москва; Ижевск; 2005, с. 54, 127–138

3. M. V. Demina, N. A. Kudryashov, Polynomial Method for Constructing Equilibrium Configurations of Point Vortices in the Plane // Model. Anal. Inform. Sist., 2012, Volume 19, Number 5, 50–55

4. Aref H. Relative equilibria of point vortices and the fundamental theorem of algebra // Proc. R. Soc. A. 2011. 467. P. 2168–2184.

5. O'Neil K.A. Minimal polynomial systems for point vortex equilibria // Physica D. 2006. 219. P. 69–79.

6. Ткаченко В.К. О вихревых решетках // ЖЭТФ. 1965. Т. 49. Вып. 6(12). 1875– 1883.

КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ И ОСРЕДНЕНИЕ ДЛЯ КОНЕЧНЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМ

А.А. Булеков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена исследованию оператора модели одномолекулярного магнетика (single-molecule magnet, SMM) Mn_{12}-ацетата в состояниях, соответствующих максимальному магнитному моменту. В ходе работы исходный оператор модели проектируется на подпространство состояний с максимальным магнитным моментом. При заданном наборе параметров модели получена функциональная зависимость спроектированного оператора многочастичной модели молекулы в виде квадратичной функции спиновых операторов полного магнитного момента, оценена величина поправки. Предложенный подход позволяет получать дополнительные члены гамильтониана, отражающие анизотропию молекулы, в виде асимптотических рядов теории алгебраического осреднения.

Введение

В работе рассмотрена модель SMM Mn_{12}-ацетата $Mn_{12}O_{12}(CH_3COO)_{16}(H2O)_4$, представленная в [1, 2]. Спиновый кластер Mn_{12} состоит из восьми ионов Mn^{3+} спина 2 и четырех ионов Mn^{4+} спина 3/2, связанных обменным взаимодействием. Исходя из свойств соответствующих взаимодействий, см. [1], пары ионов Mn^{3+} и Mn^{4+}, связанные антиферромагнитным обменным взаимодействием, допустимо рассматривать как димеры с общим спином, равным 1/2. Тогда система состоит из восьми частиц: четырех со спином $s = \frac{1}{2}$ и еще четырех со спином $S = 2$.

Схематически систему можно представить следующим образом (рис. 1).

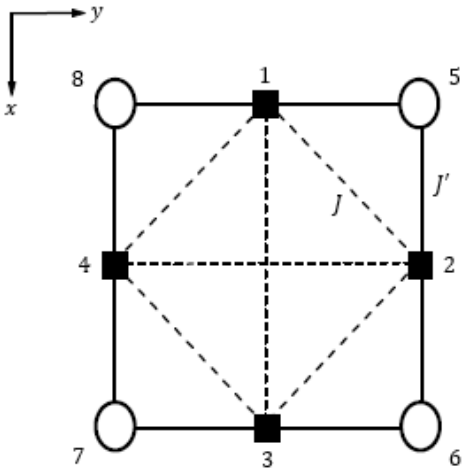


Рис.1. Спиновый кластер Mn_{12}

На рисунке квадратами обозначены спины $s = \frac{1}{2}$, окружностями – спины $S = 2$; J и J' обозначают величины энергий взаимодействия соответствующих связей, цифрами от 1 до 8 – индексы спинов.

Система рассматривается в $2^4 \cdot 5^4 = 10^4$-мерном гильбертовом пространстве. Определим сначала спиновые операторы в этом пространстве. Обозначим

$$s_i^\alpha = \underbrace{I_2}_{1} \otimes \dots \underbrace{I_2}_{i-1} \otimes \underbrace{s_\alpha^{1/2}}_{i} \otimes \underbrace{I_2}_{i+1} \otimes \underbrace{I_2}_{4} \otimes \bigotimes_{j=5}^{8} I_5 -$$

операторы для -го спина $s = \frac{1}{2}$, $s_\alpha^{1/2}$ – нормированные матрицами Паули, $i \in \{1, \dots, 4\}$;

$$S_i^\alpha = \bigotimes_{j=1}^{4} I_2 \otimes \underbrace{I_5}_{5} \otimes \dots \underbrace{I_5}_{i-1} \otimes \underbrace{S_\alpha^2}_{i} \otimes \underbrace{I_5}_{i+1} \otimes \underbrace{I_5}_{8} -$$

операторы для -го спина $S = 2$, S_α^2 – спиновые операторы для $S = 2$, $i \in \{5, \dots, 8\}$;

где I_n – единичная матрица размера $n \times n$, $\alpha \in \{x, y, z\}$.

Тогда операторы для суммарного спина задаются следующим образом

$$\mathbb{S}_\alpha = \sum_{i=1}^{4} s_i^\alpha + \sum_{j=5}^{8} S_j^\alpha,$$

где $\alpha \in \{x, y, z\}$.

В заданном гильбертовом пространстве определяется оператор модели

$$H = -J\left(\sum_{i=1}^{4} s_i\right)^2 - J' \sum_{\langle k,l \rangle} s_k S_l - K_z \sum_{i=5}^{8} (S_i^z)^2 + \sum_{\langle i,j \rangle} D^{i,j} \cdot \left[s_i \times S_j\right], \quad (1)$$

где $\boldsymbol{s}_i = \left(s_i^x, s_i^y, s_i^z\right)^T$, $\boldsymbol{S}_j = \left(S_i^x, S_i^y, S_i^z\right)^T$; J и J' – энергии обменного взаимодействия, K_z – энергия z-осевой анизотропии, $\boldsymbol{D}^{i,j} = \left(D_x^{i,j}, D_y^{i,j}, D_z^{i,j}\right)^T$ – вектор Дзялошинского–Мория, описывающий асимметрическое обменное взаимодействие i-го спина $s = \frac{1}{2}$ и j-го спина $S = 2$.

Неприводимые представления группы вращений операторов суммарного спина

В рамках рассматриваемой спиновой системы, алгебре Ли $SO(3)$ соответствует группа вращений, образуемая операторами $\mathbb{S}_\alpha$, $\alpha \in \{x, y, z\}$. Представление этой группы задается тензорным произведением представлений

$$\frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} \otimes 2 \otimes 2 \otimes 2 \otimes 2;$$

где цифрами обозначены неприводимые представления, соответствующие спинам указанной величины.

Данное представление является приводимым и может быть разложено на прямую сумму неприводимых, соответствующих величинам спинов от 0 до 10. Разлагая тензорные произведения представлений по правилу

$$s_1 \otimes s_2 = (|s_1 - s_2|) \oplus (|s_1 - s_2 + 1|) \oplus \dots \oplus (s_1 + s_2), \quad (2)$$

получаем набор неприводимых представлений (табл. 1)

Таблица 1. Неприводимые представления группы вращений $\mathbb{S}_\alpha$

s	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
количество	1	7	24	56	104	164	220	248	232	168	62
$\dim(s)$	21	19	17	15	13	11	9	7	5	2	1

Оператор модели в подпространстве с наибольшим магнитным моментом

Рассмотрим оператор спиновой системы в проекции на собственное подпространство с максимальным магнитным моментом.

Как показано ранее, исходное представление разбивается на прямую сумму неприводимых представлений, соответствующую различным величинам спинов, или, иначе говоря, различным магнитным моментам. Спроектируем оператор системы на пространство представления, соответствующего наибольшему магнитному моменту $s = 10$. Обозначим проекцию оператора модели как H_{10}.

Тогда матричные элементы H_{10} имеют следующий вид:

$$(H_{10})_{m_1,m_2} = \langle 10, m_1 | H | 10, m_2 \rangle, \quad (3)$$

где $|10, m\rangle$ – векторы перехода к новому базису, $m \in \{10, 9, \dots, -10\}$ – проекция магнитного момента на ось z; матричные элементы индексируются от 10 до -10.

Векторы $|10, m\rangle$ для исследуемой системы взаимодействующих спинов $\bigotimes_{i=1}^{8} s_i$ составляются следующим образом. Каждому отдельно взятому -му спину соответствует $(2s_i + 1)$ базисных вектора $|s_i, m_j^i\rangle$, $m_j^i \in \{s_i, s_i - 1, \dots, -s_i\}$. Берутся тензорные произведения базисных векторов $\bigotimes_{i=1}^{8} |s_i, m_j^i\rangle$ таких, что $\sum_{i=1}^{8} s_i = 10$ и $\sum_{i=1}^{8} m_j^i = m$. Суммируя получившиеся тензорные произведения, домноженные на соответствующие коэффициенты Клебша–Гордана, получим векторы перехода к новому базису $|10, m\rangle$.

Отметим также, что инвариантное подпространство состояний, соответствующее $s = 10$, в отличии от подпространств соответствующих другим магнитным моментам, единственно, поэтому неоднозначность в выборе базиса исключена и алгоритм его вычисления более простой.

Рассмотрим набор параметров модели $J = 3.6K$, $J' = 84K$, $K_z = 5.69K$, $\left(D_x^{1,8}, D_y^{1,8}, D_z^{1,8}\right) \equiv \left(D_x, D_y, D_z\right) = (25.3K, -0.6K, -2.0K)$ [2]. Следует указать, что вследствие возникающих в модели симметрий, каждый вектор $\boldsymbol{D}^{i,j}$ может быть выражен через $\boldsymbol{D}^{1,8}$, поэтому задаем только последний.

Вычисляя H_{10} при данном наборе параметров, удается выявить его функциональную зависимость от операторов S_α^{10}: $(S_\alpha^{10})_{m_1,m_2} = \langle 10, m_1 | \mathbb{S}_\alpha | 10, m_2 \rangle$, $\alpha \in \{x, y, z\}$.

$$H_{10} \approx -\frac{1.43747}{2} (S_z^{10})^2 - 712.76632\, I. \quad (4)$$

Получили, что H_{10} является функцией только от $\mathbb{S}_z$ и не включает в себя члены, которые описывают слабую анизотропию в направлениях x и y.

Поскольку $\mathbb{S}_z$ и единичный оператор – диагональные матрицы, то получаем также, что исходный оператор H в подпространстве, соответствующем $s = 10$ – диагональный.

Уравнение (4) с точностью до констант взаимодействия соответствует квадратичной части гамильтониана «большого спина» (“giant-spin” Hamiltonian), представленному в [3, 4].

Заключение

Из полученной функциональной зависимости H_{10} можно заключить следующее. Проекция оператора на подпространство с максимальным магнитным моментом зависит от $\mathbb{S}_z$ и только от него. При этом зависимость от $\mathbb{S}_x$ и $\mathbb{S}_y$ не устраняется из системы в силу ее свойств. Значит, эффективный гамильтониан SMM-молекулы в пространстве, соответствующем максимальному магнитному моменту, можно получить при проведении осреднения H по $\mathbb{S}_z$. Причем главный член ряда осреднения будет содержать $\mathbb{S}_z$, а последующие слагаемые уже будут включать в себя зависимость от $\mathbb{S}_x$ и $\mathbb{S}_y$.

Таким образом, точный вид гамильтониана в пространстве состояний с максимальным магнитным моментом можно получить в виде ряда операторного усреднения по $\mathbb{S}_z$.

Список литературы:

1. M. I. Katsnelson, V. V. Dobrovitski, and B. N. Harmon. Many-spin interactions and spin excitations in Mn_{12} // Phys. Rev. B 59, 6919 (1999)

2. M. Al-Saqer, V. V. Dobrovitski, B. N. Harmon, and M. I. Katsnelson. Many-spin effects and tunneling properties of

magnetic molecules // Journal of Applied Physics 87, 6268 (2000)

3. M. Dressel, B. Gorshunov, K. Rajagopal, S. Vongtragool, and A. A. Mukhin. Quantum tunneling and relaxation in Mn_{12}-acetate studied by magnetic spectroscopy // Phys. Rev. B 67, 060405(R) (2003)

4. A. Morello, O.N. Bakharev, H.B. Brom, L.J. de Jongh. Quantum tunnelling of magnetization in Mn_{12}-ac studied by ^{55}Mn NMR // Polyhedron, Volume 22, Issues 14–17, 15 July 2003, Pages 1745-1749

МОДЕЛЬ ИЗИНГА НА ДВУМЕРНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПОЧКЕ

К.Н. Файзуллина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе изучается модель Изинга на пространстве случайных блужданий на квадратной решетке. С помощью реализованного метода Монте-Карло получены структурные и термодинамические свойства модели, получено приближение точки фазового перехода между компактными и некомпактными структурами.

Введение

Одним из распространенных методов моделирования линейных полимеров является использование случайных блужданий без самопересечений. Классической моделью для описания упорядочения структуры является модель Изинга. Модель Изинга на пространстве случайных блужданий позволяет объединить в системе спинововые и структурные свойства.

В данной модели, конформация полимера представляет собой случайное блуждание из N вершин на решетке, а последовательность состоит из N спинов, принимающих значения +1 или -1. Тогда в случае отстутсвия внешнего поля энергия системы с фиксированными спиновой последовательностью s и конформацией u является суммой между всеми соседними парами <i, j> на решетке :

$$E(s,u) = -J\sum_{i,j} s_i\, s_j$$

Статистичская сумма берется по всем возможным последовательностям спинов s и конформациям u:

$$Z = \sum_s \sum_u exp\left(\frac{-E}{kT}\right)$$

где T — температура, k — постоянная Больцмана. Без потери общности можно считать kT = 1.

Для изучения свойств систем, в которых много степеней свободы, используются методы Монте-Карло. Исследуемая модель уже рассматривалась методами проведения спиновой динамики на сгенерированных конформациях [1, 2]. В нашей работе используется алгоритм, генерирующий блуждания и спиновые состояния одновременно.

Алгоритм

Алгоритм состоит из двух типов шагов: элементарных и смены соединений. Элементарные итерации состоят из удаления одного ребра с одного конца блуждания и добавления нового на другой. Эти шаги выполняются за константное время, но для эргодичности алгоритма их недостаточно, так как состояния цепочки с двумя завернутыми внутрь концами будут поглощающими. Смена соединений происходит засчет поворота одного ребра, после чего у части цепочки меняется порядок мономеров.

Реализация алгоритма следующая. Выбираются Ps>0 и Pr>0 — вероятности совершить элементарный или пересоединующий шаги соотвествтенно. Выбирать можно разные значения для разных температур, главное чтобы их сумма была равна 1.

Алгоритм состоит из следующих итераций:

I) Выбирается типа шага.

1. 1.Если это элементарный шаг, то выбирается начало или конец цепочки, откуда будет удаляться мономер.

1.2. Равновероятно выбирается один из соседних узлов решетки с другого конца конформации. Если нарушается условия отсутствия самопересечений, то попытка изменить состояние системы заканчивается.

1.3. Равновероятно выбирается тип спина. Таким образом, на каждом элементарном шаге алгоритм с равной вероятностью генерирует одно из 16 новых состояний (2 конца цепочки, 4 узла и 2 типа зарядов).

1.4. Вычисляется разность энергий между текущим состоянием C и новым состояние Cnew. Изменения принимаются согласно правилу Метрополиса.

$$p(C \to C_{new}) = min\big(1, exp(-(E_{Cnew} - E_C)/T)\big)$$

2.1. Если это смена соединений, то сначала равновероятно выбирается соседний узел решетки конца конформации. Проверяется, что в выбранном узле уже есть мономер и этот узел не является предпоследним мономером в цепочке. Если условие нарушено, то состоянии системы не меняется.

2.2. Если изменение возможно, то концом конформации становится выбранный узел. Идущее от этого узла ребро меняет направлению к предыдущему концу цепочки и направления в затронутой части конформации изменяются. Энергия не зависит от направления ребер, поэтому изменение энергии на таком шаге равно нулю, а вероятность принять новое состояние всегда 1.

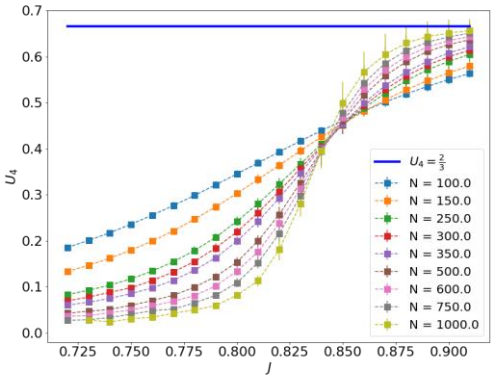
Мы реализуем алгоритм на языке C++(17). Так как требуется генерация решеток больших размеров, мы используем вычислительный кластер НИУ ВШЭ.

Свойства модели

Для исследования упорядоченности в Изингоподобных моделях вводится намагниченность на спин как сумма спиновых перменных:

$$m = \frac{1}{N}\sum_i s_i$$

Для поиска точки фазового перехода J используется кумулянт Биндера [3]:



$$U_4(J) = 1 - \frac{\langle m^4 \rangle}{\langle m^2 \rangle^2}$$

Рис.1. Кумулянты Биндера

По рисунку 1 видно, что Кумулянты Биндера пересекаются внутри отрезка [0.83; 0.86].

Для определения структурных свойств можно исследовать зависимость среднего квадрата расстояний между концами блуждания. Известно шкалирование при изменении длины конформации:

$$R^2 \sim N^{2\nu},$$

где ν — показатель, соответствующий классу универсальности модели в точке фазового структурного перехода. Известно, что для гомополимерных цепочек, состоящих из одинаковых мономеров, этот показатель равен 4/7. Мы предположим, что данный показатель соответствует исследуемой нами модели.

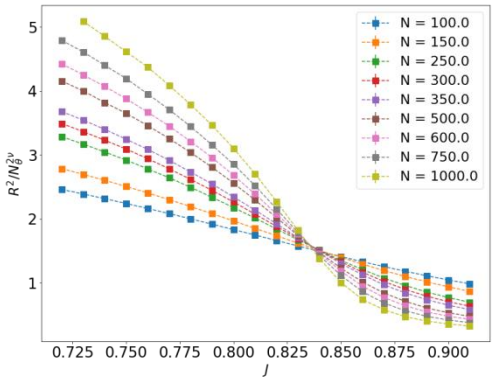


Рис.2. Шкалирование среднего квадрата расстояния между концами конформаций. По оси y отложено R^2/L^(2v)

По рисунку 2 видно, что графики пересекаются внутри того же отрезка [0.83; 0.86].

Заключение

В ходе работы была рассмотрена модель Изинга на полимерной цепочке на квадратной решетке. С помощью реализованного алгоритма Монте-Карло получены приближенные значения точек фазового перехода между компактными и развернутыми структурами, а также перехода между упорядоченным и неупорядоченным режимами.

Список литературы:

1. T. Garel, H. Orland, E. Orlandini, Phase diagram of magnetic polymers / T. Garel, H. Orland, E. Orlandini // The European physical journal B – 1999 – Vol 12 – P. 261 – 268.

2. A. Papale, A. Rosa, The Ising model in swollen vs. compact polymers: Mean-field / A. Papale, A. Rosa, // The European physical journal E – 2018 – Vol 41 – 44.

3. Binder, K. Finite size scaling analysis of Ising model block distribution functions / K. Binder // Z. Physik B - Condensed Matter – 1981 – Vol 43.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СМО С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ЗАЯВОК И КАНАЛОВ

А.Д. Романов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью работы является нахождение оптимальной стратегии управления в марковских системах массового обслуживания с различными типами заявок и каналов. Управление осуществляется определением правила распределения поступающих в систему заявок по доступным каналам. В качестве критериев эффективности используются средняя длина очереди в стационарном режиме, среднее время пребывания заявки в очереди в стационарном режиме, вероятность потери заявки в стационарном режиме.

Введение

В современном мире происходит стремительное развитие сферы предоставления услуг. Данный факт обуславливает наличие растущей конкуренции участников рынка. В связи с этим большое количество исследований посвящено теории управляемых систем массового обслуживания.

Процессы функционирования широкого класса реальных экономических и технических систем могут быть описаны моделями массового обслуживания. Однако часто такие системы предполагают наличие неоднородного входящего потока требований и каналов, каждый из которых обладает отличными от других каналов характеристиками и имеет возможность обслуживать лишь некоторое подмножество типов заявок. В качестве примеров можно привести сети банкоматов, заправочные станции. Следует отметить, что исследование таких систем актуально. Так, работа [1] посвящена моделированию функционирования отделения коммерческого банка с неоднородным входящим потоком и разделением каналов по выполняемым функциям. В работе [2] была построена модель, имитирующая работу АЗС, предполагающей наличие различных типов каналов, обеспечивающих подачу разных типов топлива. Работа [3] посвящена СМО, в которых каналы имеют разные интенсивности обслуживания.

Целью исследования является разработка метода нахождения оптимальной стратегии управления распределением поступающих заявок по каналам в системах массового обслуживания с различными типами заявок и каналов по заданным пользователем характеристикам системы. В качестве критериев эффективности используются средняя длина очереди в стационарном режиме, среднее время пребывания заявки в очереди в стационарном режиме, вероятность потери заявки в стационарном режиме. Выбор критериев эффективности был сделан исходя из предположений о том, что их минимизация позволит существенно улучшить качество обслуживания. Таким образом, следование оптимальной стратегии управления позволит организации наиболее качественным образом обслуживать клиентов и, следовательно, получить конкурентные преимущества. Так, в работе [4] были рассмотрены упомянутые критерии эффективности для повышения качества работы конкретного банка.

В рамках исследования предполагается решение ряда задач. Во-первых, необходимо доказать, что для рассматриваемых систем пересечение множества оптимальных стратегий с множеством вырожденных стратегий не пусто, если множество оптимальных стратегий не пусто. Это позволит сузить область поиска решения задачи. Во-вторых, необходим инструмент вычисления значений критериев эффективности системы с заданными характеристиками для произвольной стратегии управления, для того чтобы можно было сравнивать стратегии между собой. В-третьих, следует выработать методику определения оптимальной стратегии среди вырожденных.

В разделе «Математическая модель» описывается общая структура рассматриваемых систем массового обслуживания. Раздел «Структура оптимальной стратегии» посвящён описанию общей идеи сведения рассматриваемой задачи к поиску оптимальной стратегии на конечном множестве вырожденных стратегий. В разделе «Вычисление

значений критериев эффективности» рассматриваются используемые методы вычисления значений критериев эффективности. Раздел «Целенаправленный перебор стратегий» описывает методику поиска оптимальной стратегии среди вырожденных.

Математическая модель

Рассмотрим общие принципы функционирования рассматриваемых СМО. Входящий поток требований представляет собой совокупность m $(m \geq 1)$ простейших потоков однородных событий с разными параметрами, каждый из которых соответствует отдельному типу заявок. Таким образом, множество типов заявок имеет вид $Q = \{1,2,\dots,m\}$. Интенсивности поступления каждого типа заявок равны $\lambda_j,\ j = 1,\dots,m$. В системе имеется n $(n \geq 1)$ каналов, каждый из которых может обслуживать лишь некоторое подмножество типов заявок $Q_i \subseteq Q, i = 1,\dots,n$. Обозначим множество каналов $S = \{1,2,\dots,n\}$. При этом -й канал обслуживает каждый допустимый для него тип заявок за случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром $\mu_i^j,\ j \in Q_i$. Каждому каналу соответствует своя отдельная очередь, максимальная длина которой равна N $(N \geq 0)$. Функционирование данного класса СМО может быть описано марковским процессом с конечным множеством состояний E. Количество состояний соответствует количеству вариантов загруженности системы.

Управление осуществляется распределением приходящих заявок по допустимым для них каналам. Пусть приходящая в систему заявка типа $j \in Q$ застала в системе состояние $\propto\in E$. Тогда требование может быть направлено к одному из каналов, допустимых для данного типа заявки j в данном состоянии $\propto$. Обозначим множество таких каналов $S_\propto^j,\ S_\propto^j \subseteq S$. Введём $Q^{(\propto)} = \{j: j \in Q,\ S_\propto^j = \emptyset\}$ - множество типов заявок, принятие которых системой невозможно в состоянии $\propto$. Таким образом, каждой паре j и $\propto$ ставится в соответствие набор вероятностей $\left\{p_{\propto,j}^i, i \in S_\propto^j: p_{\propto,j}^i \geq 0,\ \sum_{i\in S_\propto^j} p_{\propto,j}^i = 1\right\}$, где $p_{\propto,j}^i$ – вероятность того, что заявка типа j, заставшая в системе состояние $\propto$, отправляется к -му каналу из множества $S_\propto^j$. Под стратегией будем понимать совокупность описанных наборов вероятностей.

Структура оптимальной стратегии

В ходе исследования было доказано, что рассматриваемые критерии эффективности, являющиеся функциями от описанных в разделе «Математическая модель» вероятностей, для любых $\propto\in E,\ j \in Q,\ i \in S_\propto^j$ могут быть представлены в виде (1):

$$K\left(p_{\propto,j}^i\right) = \frac{Ap_{\propto,j}^i + B}{Cp_{\propto,j}^i + D}, \qquad (1)$$

где A, B, C, D не зависят от $p_{\propto,j}^i$. Таким образом, критерии эффективности представляют собой дробно-линейные функционалы относительно мер, определяющих допустимые стратегии, и для данной задачи пересечение множества оптимальных решений с множеством решений, соответствующих вырожденным стратегиям, не пусто, если множество оптимальных решений не пусто [5]. Область поиска оптимальной стратегии управления может быть сужена до множества вырожденных стратегий.

Вычисление значений критериев эффективности

Вычисление значений рассматриваемых критериев эффективности производилось двумя способами: через предельное распределение марковского процесса и с помощью имитационного моделирования.

Заметим, что у однородных марковских процессов с конечным множеством состояний, вложенная марковская цепь которых имеет ровно один класс существенных состояний, существует предельное распределение. Для рассматриваемых СМО оно может быть найдено через систему линейных уравнений, полученную из системы дифференциальных уравнений Колмогорова при $t \to \infty$ [6]. Все критерии эффективности могут быть определены как линейные комбинации компонент предельного распределения соответствующего марковского процесса. Так, средняя длина очереди в стационарном режиме K_1 может быть представлена в виде (2):

$$K_1 = \sum_{\propto\in E} C(\propto)\pi_\propto, \qquad (2)$$

где $\pi_\propto$ - доля времени пребывания процесса в состоянии $\propto$ в стационарном режиме, $C(\propto)$ – длина суммарной очереди в состоянии $\propto$. Вероятность потери заявки в стационарном режиме K_2 может быть представлена в виде (3):

$$K_2 = \sum_{\propto\in E}\sum_{j=1}^m I(\propto,j)\pi_\propto \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \qquad (3)$$

где $\pi_\propto$ - доля времени пребывания процесса в состоянии $\propto$ в стационарном режиме,

$$I(\propto,j) = \begin{cases} 1, j \in Q^{(\propto)}, \\ 0, j \notin Q^{(\propto)}. \end{cases}$$

Среднее время ожидания начала обслуживания K_3 может быть представлено в виде (4):

$$K_3 = \frac{\sum_{\propto\in E}\sum_{j\in Q\setminus Q^{(\propto)}}\sum_{i\in S_\propto^j}\left(R(\propto,j,i)p_{\propto,j}^i \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}\pi_\propto\right)}{1-K_2}, \qquad (4)$$

где $\pi_\propto$ - доля времени пребывания процесса в состоянии $\propto$ в стационарном режиме, $R(\propto,j,i)$ – математическое ожидание времени пребывания заявки в очереди при условии, что заявка имеет тип j, заявка застала в системе состояние $\propto$, заявка была направлена к каналу i. Однако у данного метода есть существенное ограничение. С увеличением количества состояний процесса растёт размерность системы линейных уравнений для нахождения стационарного распределения, что влечёт за собой вычислительные трудности и необходимость хранения больших массивов данных.

Также оценки значений критериев эффективности могут быть получены с помощью имитационного моделирования [7]. На рисунке 1 приведён общий алгоритм построения траектории рассматриваемого процесса.

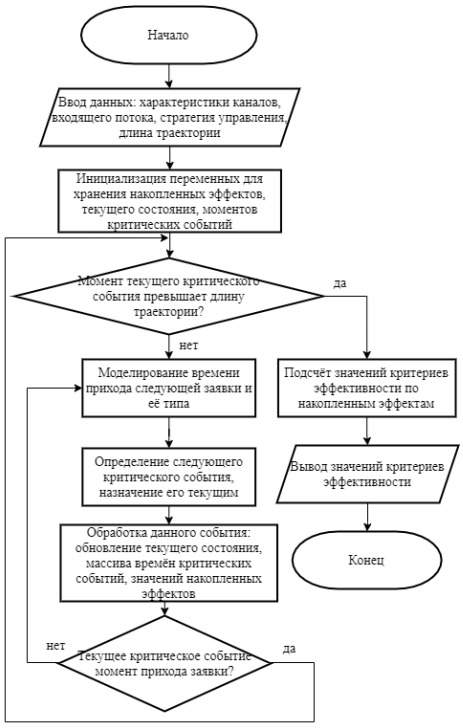


Рис.1. Алгоритм построения траектории рассматриваемого процесса

Целенаправленный перебор стратегий

Следует отметить, что количество вырожденных стратегий существенно возрастает с увеличением мощности множества E. Таким образом, перебор всех вырожденных стратегий для минимизации значения критерия эффективности не представляется возможным для сложных систем. Для средней длины очереди в стационарном режиме и вероятности потери заявки в стационарном режиме может быть применён итерационный алгоритм Ховарда, описанный в [8, 9]. Данный метод был реализован для упомянутых критериев эффективности, что позволило существенно уменьшить объем и время вычислений. Так, с помощью данного алгоритма была найдена оптимальная стратегия управления для математической модели функционирования сети банкоматов, то есть системы массового обслуживания, в которой присутствует два типа заявок и два типа каналов, один из которых может обслуживать оба типа требований, а второй только один из них.

Заключение

В ходе исследования было доказано, что для рассматриваемого класса систем массового обслуживания пересечение множества вырожденных стратегий и множества оптимальных стратегий для указанных критериев эффективности не пусто. Данный факт существенно упростил поиск оптимального управления распределением заявок по каналам. Кроме того, было разработано программное обеспечение для нахождения оптимальной вырожденной стратегии. Данное ПО может быть использовано на практике в организациях, функционирование которых может быть описано математической моделью, представленной в разделе «Математическая модель». В качестве примеров можно привести сеть банкоматов, заправочные станции.

Список литературы:

1. Короткая Л. И., Науменко Н. Ю., Имитационное моделирование работы коммерческого банка // Экономический вестник ДВНЗ УДХТУ. 2015. № 1. -с. 24-27.
2. Гринченко А. В., Коростелев А. А., Разработка модели автозаправочной станции в Липецке в среде AnyLogic // Транспорт России: проблемы и перспективы. 2019. -с. 270-274.
3. Нуриев Н. К., Печеный Е. А., Старыгина С. Д., Математическое моделирование системы массового обслуживания с каналами разной производительности // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. -с. 31-36.
4. Kiataramkul C., Neamprem K., Simulation of Queueing System for Commercial Bank in University: Case Study of Bangkok Bank at King Mongkut's University of Technology North Bangkok // Research, Invention, and Innovation Congress. Bangkok, Thailand. 2019. pp. 1-4, doi: 10.1109/RI2C48728.2019.8999935.
5. Каштанов В. А., Стратегия технического обслуживания на основе полумарковских процессов с конечным множеством состояний // Надёжность и качество сложных систем. 2013. № 1. -с. 41-46.
6. Карлин С., Основы теории случайных процессов. -М.: Мир, 1971. - с. 231-233.
7. Харин Ю. С., Малюгин В. И., Кирлица В. П. и др. Основы имитационного и статистического моделирования. -Минск: Издательство «Дизайн ПРО», 1997. -с. 48-71.
8. Ховард Р. А., Динамическое программирование и марковские процессы. -М.: Издательство «Советское радио», 1964. Пер. изд.: R. A. Howard, Dynamic programming and Markov processes. -Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1960.
9. Майн Х., Осаки С., Марковские процессы принятия решений. -М.: Издательство «Наука», 1977.

ЗАДАЧА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ XL ИЗ КЛАССИФИКАЦИИ ПЕНЛЕВЕ-ГАМБЬЕ

А.Р. Ищенко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается задача эквивалентности для уравнения XL из классификации Пенлеве-Гамбье. В качестве преобразований эквивалентности используются нелокальные преобразования, обобщающие преобразования Зундмана. В явном виде построен класс эквивалентности для рассматриваемого уравнения, являющийся новым интегрируемым семейством уравнений Льенара.

Введение

Рассмотрим семейство уравнений Льенара

$$y_{zz} + h(y)y_z^2 + f(y)y_z + g(y) = 0, \qquad (1)$$

где h, $f \neq 0$ и $g \neq 0$ произвольные достаточно гладкие функции. Представители данного семейства уравнений используются при описании процессов и явлений в физике, механике, химии и т.д. [см. 1-3]. Поэтому представляет интерес поиск новых интегрируемых уравнений вида (1). Одним из подходов к построению интегрируемых уравнений вида (1) является подход, оснований на построении класса эквивалентности для какого-либо интегрируемого представителя семейства (1).

Одними из самых известных интегрируемых представителей этого семейства являются уравнения типа Пенлеве. Обыкновенное дифференциальное уравнение обладает свойством Пенлеве, если его общее решение не имеет критических подвижных особых точек. Это гарантирует достаточно регулярное поведение общего решения уравнения на комплексной плоскости.

П. Пенлеве и его коллеги классифицировали все уравнения вида $y_{zz} = R(z, y, y_z)$ и обладающие свойством Пенлеве. Эта классификация проведена с точностью до преобразований $Y = \dfrac{l(z)y + m(z)}{p(z)y + q(z)}, Z = \phi(z),$ где l, m, p, q, ϕ аналитические функции z. Всего было найдено 50 канонических уравнений, которые обладают свойством Пенлеве. Эти уравнения составляют классификацию Пенлеве-Гамбье. Среди 50 уравнений этой классификации есть 6 особенных, общее решение которых являются существенно-трансцендентными функциями постоянных интегрирования. Они называются уравнениями Пенлеве I-VI.

В работах [4-6], с использованием нелокальных преобразований, рассмотрены задачи эквивалентности для уравнений типов I-III из классификации Пенлеве-Гамбье. С другой стороны, задачи эквивалентности для уравнений типа IV ранее рассмотрены не были.

Среди всех уравнений Пенлеве-Гамбье типа IV, только уравнение XL (2) принадлежит семейству (1). Таким образом, целью настоящей работы является построение класса эквивалентности для уравнения

$$w_{\zeta\zeta} - \left(\frac{1}{2w} + \frac{1}{w-1}\right) w_\zeta^2 - \frac{2(qw-r)}{w-1} w_\zeta - 2(q^2 - r^2)w = 0, \qquad (2)$$

с помощью обобщенных преобразований Зундмана

$$w = F(y), d\zeta = G(y)dz \quad (3)$$

Здесь $r, q, rq \neq 0$ - произвольные параметры, а $F(y), G(y), GF_y \neq 0$ достаточно гладкие функции, ζ и w - новые независимая и зависимая переменные.

Основные результаты

Прежде всего, покажем, что без ограничения общности можно считать, что $h(y) = 0$. Действительно, частный случай преобразований (3) отвечающий $F(y) = y, G(y) = \exp\{-\partial^{-1}h\}$, переводит (1) в

$$y_{zz} + \tilde{f}(y)y_z + \tilde{g}(y) = 0, \quad (4)$$

где $\tilde{f} = f\exp\{\partial^{-1}h\}, \tilde{g} = g\exp\{2\partial^{-1}h\}$. Таким образом, в дальнейшем будет рассматриваться уравнение (4) или уравнение (1) при $h(y) = 0$. Кроме того, будем предполагать, что $q = 0, r \neq 0$.

Теорема 1:

Уравнение (1) может быть преобразовано к уравнению (3) при $q = 0, r \neq 0$, тогда и только тогда, когда

$$-f^2g^2p_y^2 + 6p(fg_y + \frac{1}{3}p)fgp_y + 4p^3f^3 - 9p^2f^2g_y^2 - 6p^3fg_y - p^4 = 0$$

где $p = fg_y - f_yg$

При этом,

$$G = \frac{f(F-1)}{2r}$$

$$F = \frac{f^3p + fgp_y - 3fpg_y - p^2}{f^3p}$$

Доказательство:

Подставив преобразования (3) в (2) получим

$$\frac{F_y}{G^2}y_{zz} + \frac{F_{yy}G - F_yG_y}{G^3}y_z^2 - (\frac{1}{2F} + \frac{1}{F-1})\frac{F_y^2}{G^2}y_z^2 - \frac{2(qF-r)}{F-1}\frac{F_y}{G}y_z - 2(q^2-r^2)F = 0.$$

Таким образом, уравнение эквивалентное (2) с помощью (3) необходимо имеет вид (1).

Достаточные условия могут быть получен если рассмотреть следующую систему уравнений

$$-\frac{1}{2F} - \frac{1}{F-1} = -\frac{F_{yy}G^2 - F_yG_yG}{F_y^3}$$

$$-2\frac{qF-r}{F-1} = \frac{f}{G} \quad (4)$$

$$-2(q^2-r^2)F = \frac{gF_y}{G^2}$$

как переопределённую систему относительно функции $F(y)$ и $G(y)$. Условия совместности для системы (4) будут приводить к критерию эквивалентности для (1) и (2). Данные условия могут быть найдены следующим образом. На первом шаге из системы (4), с помощью второго уравнения из (4), исключается функция $G(y)$. Затем, последовательно дифференцируя оставшиеся два уравнения и исключая производные от $F(y)$ можно найти явное выражение для $F(y)$ через f, g и условия совместности, приведенные в формулировке теоремы, что завершает доказательство теоремы.

Пример

Можно показать, что следующие функции

$$f(y) = \frac{1}{(y^2-1)^2}$$

$$g(y) = \frac{y}{4(y^2-1)^2},$$

удовлетворяют условиям совместности, приведенным в Теореме 1. В этом случае $F = y^2$, $G = \frac{1}{2(y^2-1)r}$.

Таким образом, общее решение уравнения

$$y_{zz} + \frac{1}{(y^2-1)^2}y_z + \frac{y}{4(y^2-1)^2} = 0,$$

имеет вид

$$y = \sqrt{w}, \; z = 2r\int_0^{\zeta}(w-1)d\xi,$$

где w есть общее решение уравнения (3)

$$w = -\frac{(C_2Y_\alpha(x) + J_\alpha(x))^2}{(C_2Y_{-\alpha}(x) + J_{-\alpha}(x))^2},$$

$$\alpha = \frac{q}{r+q}, \; x = \frac{C_1e^{(r+q)z}}{r+q}.$$

Здесь $Y_\alpha(x)$ и $J_\alpha(x)$ - функции Бесселя второго и первого рода соответственно.

Заключение

В работе рассматривалась задача эквивалентности для уравнения XL из классификации Пенлеве-Гамбье и уравнений Льенара. В явном виде найдены соотношения на произвольные функции, определяющие семейство уравнений Льенара, задающие необходимые и достаточные условия эквивалентности. Полученные результаты проиллюстрированы примером рационального уравнение Льенара, эквивалентного уравнению XL из классификации Пенлеве-Гамбье.

Список литературы:

1. A.A. Andronov, A.A. Vitt, S.E. Khaikin, Theory of Oscillators, Dover Publications, New York, 2011.
2. P. Kumar, A. Kumar, S. Erlicher, A modified hybrid Van der Pol–Duffing–Rayleigh oscillator for modelling the lateral walking force on a rigid floor, Phys. D, Non-linear Phenom. 358 (2017) 1–14.
3. M.R. Cândido, J. Llibre, C. Valls, Non-existence, existence, and uniqueness of limit cycles for a generalization of the Van der Pol–Duffing and the Rayleigh–Duffing oscillators, Phys. D, Nonlinear Phenom. 407 (2020) 132458.
4. Kudryashov, N.A. and Sinelshchikov, D. I., On the Criteria for Integrability of the Lienard Equation, Appl. Math. Lett., 2016, vol. 57, pp. 114–120.
5. Kudryashov, N.A. and Sinelshchikov, D. I., On Connections of the Liénard equation with Some Equations of Painlevé–Gambier Type, submitted to J. Math. Anal. Appl.
6. Kudryashov, N.A. and Sinelshchikov, D. I., On the Integrability Conditions for a Family of Lienard-type Equations, Regul. Chaotic Dyn. 21 (2016) 548–555.

ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ КВАЗИГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ГОМОГЕННОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ И ЕЕ ДИССИПАТИВНОСТЬ

А.С. Федченко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент математики, факультет экономических наук

Аннотация

В работе для системы регуляризованных (квазигидродинамических) уравнений гомогенной многокомпонентной газовой смеси выполняется линеаризация на постоянном решении и дается анализ диссипативности линеаризованной системы.

Введение

Квазигазодинамическая и квазигидродинамическая (КГидД) системы уравнений достаточно широко применяются в компьютерном моделировании задач динамики однокомпонентного газа [1]. Существенный интерес построение и свойства подобных систем представляют также для целей численного моделирования течений многокомпонентных, в том числе бинарных, газовых смесей [1]-[4].

В данной работе выполняется линеаризация КГидД уравнений гомогенной многокомпонентной смеси и анализ L^2 −диссипативности линеаризованной системы. В однокомпонентном случае подобное было реализовано в [5].

КГидД уравнения многокомпонентной смеси неразреженных газов

КГидД система уравнений используется для описания течений смеси газов в случае умеренных чисел Маха. Она включает в себя уравнения баланса массы, баланса импульса и баланса полной энергии компонент смеси

$$\partial_t\rho_\alpha + \mathrm{div}\,[\rho_\alpha(\mathrm{u}_\alpha - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)] = 0, \quad (1)$$

$$\partial_t(\rho_\alpha \mathrm{u}_\alpha) + \mathrm{div}[\rho_\alpha(\mathrm{u}_\alpha - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)\otimes \mathrm{u}_\alpha] + \nabla p_\alpha = \\ = \mathrm{div}\Pi_\alpha + \rho_\alpha F_\alpha + S_{u,\alpha}, \quad (2)$$

$$\partial_t E_\alpha + \mathrm{div}[(E_\alpha + p_\alpha)(\mathrm{u}_\alpha - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)] = \mathrm{div}(-q_\alpha + \\ + \Pi_\alpha \mathrm{u}_\alpha) + \rho_\alpha(\mathrm{u}_\alpha - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)\cdot F_\alpha + Q_\alpha + S_{E,\alpha} \quad (3)$$

с $\alpha = \overline{1,K}$. Эта система формально расширяет КГидД систему уравнений для бинарных смесей из [2] на случай многих компонент $K \geq 2$. В системе ∂_t и ∂_i − частные производные по времени t и x_i, операторы дивергенции div и градиента ∇ берутся по пространственным координатам $x = (x_1, \dots, x_n)$, где $n = 1,2,3$. Кроме того, дивергенция тензора берется по его первому индексу, символы $\otimes$ и $\cdot$ служат для обозначения тензорного и скалярного произведения векторов.

Плотности $\rho_\alpha > 0$, скорости $\mathrm{u}_\alpha = (\mathrm{u}_{1\alpha}, \dots, \mathrm{u}_{n\alpha})$ и температуры $\theta_\alpha > 0$ компонент смеси, $\alpha = \overline{1,K}$, являются основными искомыми функциями. Они зависят от *x* и *t*. Компоненты смеси считаются совершенными политропными газами. Их давление, удельная внутренняя энергия, полная энергия, задаются формулами:

$$p_\alpha = R_\alpha\rho_\alpha\theta_\alpha,\ \varepsilon_\alpha = c_{V\alpha}\,\theta_\alpha, E_\alpha = \frac{1}{2}\rho_\alpha|\mathrm{u}_\alpha|^2 + \rho_\alpha\varepsilon_\alpha.$$

В них $R_\alpha = R_0/M_\alpha > 0$, R_0 − универсальная газовая постоянная, а $M_\alpha > 0$ − молекулярный вес газа α. Давление можно также представить в виде:

$$p_\alpha = (\gamma_\alpha - 1)\rho_\alpha\varepsilon_\alpha,\ \gamma_\alpha = \frac{c_{p\alpha}}{c_{V\alpha}} = \frac{R_\alpha}{c_{V\alpha}} + 1,$$

где $\gamma_\alpha > 1$, $c_{V\alpha}$ и $c_{p\alpha}$ − показатель адиабаты и удельные теплоемкости при постоянном объеме и давлении газа α.

В уравнениях (2), (3) тензоры вязких напряжений Π_α имеют вид $\Pi_\alpha = \Pi_\alpha^{NS} + \Pi_\alpha^{\tau}$, причем Π_α^{NS} − тензор вязких напряжений Навье-Стокса

$$\Pi_\alpha^{NS} = \mu_\alpha\left[2\mathbb{D}(\mathrm{u}_\alpha) - \frac{2}{3}(\mathrm{div}\mathrm{u}_\alpha)\mathbb{I}\right] + \lambda_\alpha(\mathrm{div}\mathrm{u}_\alpha)\mathbb{I},$$

$$\mathbb{D}_{ij}(\mathrm{u}_\alpha) = \frac{1}{2}\left(\partial_i u_{j\alpha} + \partial_j u_{i\alpha}\right),$$

а $\mu_\alpha = \mu_\alpha(\rho_\alpha, \theta_\alpha) > 0$, $\lambda_\alpha = \lambda_\alpha(\rho_\alpha, \theta_\alpha) \geq 0$ коэффициенты динамической и объемной вязкостей. Также $\mathbb{I}$ – единичный *n*-мерный тензор. Тензор Π_α^{τ} – регуляризующий; он выражается простой формулой

$$\Pi_\alpha^{\tau} = \rho_\alpha \mathrm{u}_\alpha \otimes \widehat{\mathrm{w}}_\alpha.$$

Величины F_α – это плотности массовой силы, а $Q_\alpha \geq 0$ – мощности тепловых источников. Данные функции считаются заданными.

В выписанных уравнениях $\boldsymbol{S}_{u,\alpha}$ и $S_{E,\alpha}$ являются обменными слагаемыми. Они связывают между собой уравнения для различных компонент смеси и могут зависеть от всех искомых функций. В данной работе их явный вид не играет роли. Достаточно предполагать, что в результате их суммирования получается соответственно нулевой вектор и ноль:

$$\sum_{\alpha=1}^{K} S_{u,\alpha} = 0, \sum_{\alpha=1}^{K} S_{E,\alpha} = 0.$$

Функции $\widehat{\mathrm{w}}_\alpha$ – это регуляризующие скорости вида

$$\widehat{\mathrm{w}}_\alpha = \frac{\tau}{\rho_\alpha}[\rho_\alpha(\mathrm{u}_\alpha\cdot\nabla)\mathrm{u}_\alpha + \nabla p_\alpha - \rho_\alpha F_\alpha],$$

с параметром регуляризации $\tau > 0$ (он может зависеть от всех искомых функций). Функция $\rho_\alpha(\mathrm{u}_\alpha - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)$ − это плотность потока массы газа α. Для потока тепла используется обычная формула:

$$-q_\alpha = æ_\alpha\nabla\theta_\alpha,$$

где $æ_\alpha = æ_\alpha(\rho_\alpha, \theta_\alpha) > 0, \alpha = \overline{1,K}$ - коэффициенты теплопроводности.

Система регуляризованных уравнений (1)-(3) записана относительно $K(n+2)$ искомых скалярных функций ρ_α, $\mathbf{u}_\alpha = (\mathrm{u}_{1\alpha}, \dots, \mathrm{u}_{n\alpha})$, θ_α, $\alpha = \overline{1,K}$. Она достаточно громоздка для целей компьютерного моделирования, и вследствие этого упрощенные системы уравнений движения газовой смеси играют важную роль.

КГидД уравнения гомогенной многокомпонентной смеси плотных газов

Модель гомогенной смеси является упрощенной. В ней скорости и температуры компонент берутся одинаковыми: $\mathrm{u}_1 = \dots = \mathrm{u}_K = \mathrm{u}$, $\theta_1 = \dots = \theta_K = \theta$. Это же относится и к массовым силам: $F_1 = \dots = F_K = F$. Выполним агрегирование уравнений баланса массы, импульса и полной энергии системы (1)-(3) по α. Уравнение баланса массы компоненты примет вид:

$$\partial_t\rho_\alpha + \mathrm{div}\,[\rho_\alpha(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)] = 0,$$

где

$$\widehat{\mathrm{w}}_\alpha = \frac{\tau}{\rho_\alpha}[\rho_\alpha(\mathrm{u}\cdot\nabla)\mathrm{u} + \nabla p_\alpha - \rho_\alpha F],\ p_\alpha = R_\alpha\rho_\alpha\theta.$$

Следуя [3, 4], заменим его уравнением

$$\partial_t\rho_\alpha + \mathrm{div}\,[\rho_\alpha(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}})] = 0. \quad (4)$$

Введем суммарные плотность и давление

$$\rho = \textstyle\sum_{\alpha=1}^{K}\rho_\alpha,\ p = \sum_{\alpha=1}^{K} p_\alpha.$$

Агрегированное уравнение баланса импульса таково:

$$\partial_t(\rho\mathrm{u}) + \mathrm{div}[\rho(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}})\otimes\mathrm{u}] + \nabla p = \mathrm{div}\Pi + \rho F. \quad (5)$$

В уравнениях (4) и (5) стоят суммарная регуляризующая скорость

$$\widehat{\mathrm{w}} := \sum_{\alpha=1}^{K}\frac{\rho_\alpha}{\rho}\widehat{\mathrm{w}}_\alpha = \frac{\tau}{\rho}[\rho(\mathrm{u}\cdot\nabla)\mathrm{u} + \nabla p - \rho F]$$

и тензор вязких напряжений $\Pi = \Pi^{NS} + \Pi^{\tau}$ со слагаемыми

$$\Pi^{NS} = \mu\left[2\mathbb{D}(\mathrm{u}) - \frac{2}{3}(\mathrm{divu})\mathbb{I}\right] + \lambda(\mathrm{divu})\mathbb{I},$$
$$\Pi^{\tau} := \rho \mathrm{u} \otimes \widehat{\mathrm{w}}.$$

Суммарные коэффициенты вязкости таковы

$$\mu := \sum_{\alpha=1}^{K} \mu_\alpha, \lambda := \sum_{\alpha=1}^{K} \lambda_\alpha.$$

Формулы для удельной внутренней энергии и коэффициент теплоемкости при постоянном объеме имеют вид

$$\varepsilon := \sum_{\alpha=1}^{K} \frac{\rho_\alpha}{\rho} \varepsilon_\alpha, \; c_V := \sum_{\alpha=1}^{K} \frac{\rho_\alpha}{\rho} c_{V\alpha}.$$

Уравнение баланса полной энергии в агрегированной форме таково

$$\partial_t E + \\ + \mathrm{div}\left[\frac{1}{2}\rho|\mathrm{u}|^2(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}}) + \sum_{\alpha=1}^{K}(\rho_\alpha \varepsilon_\alpha + p_\alpha)(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}}_\alpha)\right] = \\ = \mathrm{div}(-q + \Pi \mathrm{u}) + \rho(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}}) \cdot F + Q,$$

где $Q = \sum_{\alpha=1}^{K} Q_\alpha$. В нем полная энергия и тепловой поток задаются формулами:

$$E = \frac{1}{2}\rho|\mathrm{u}|^2 + \rho\varepsilon, \quad -q := æ\nabla\theta, \; æ := \sum_{\alpha=1}^{K} æ_\alpha.$$

Как и в [4], заменим последнее уравнение на более простое

$$\partial_t E + \mathrm{div}[(E + p)(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}})] = \\ = \mathrm{div}(-q + \Pi \mathrm{u}) + \rho(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}}) \cdot F + Q. \qquad (6)$$

В данной системе уравнений только $K+n+1$ искомых скалярных функций.

Отметим, что следствием уравнений (4) является уравнение баланса суммарной плотности

$$\partial_t \rho + \mathrm{div}\,[\rho(\mathrm{u} - \widehat{\mathrm{w}})] = 0. \qquad (7)$$

Линеаризация КГидД системы уравнений гомогенной многокомпонентной смеси и ее диссипативность

Пусть $F = 0$ и $Q = 0$. Линеаризуем систему уравнений (4)-(6) на постоянном решении $(\rho_1, \dots, \rho_K, u, \theta)(x,t) = (\rho_0^1, \dots, \rho_0^K, u_0, \theta_0)$, где $\rho_0^\alpha > 0, \alpha = \overline{1,K}$, $u_0 = (u_{01}, \dots, u_{0n})$, $\theta_0 > 0$. Для этого запишем решение в виде

$$\rho_\alpha = \rho_0^\alpha + \rho_*^\alpha \tilde{\rho}_\alpha, \; u = u_0 + u_* \tilde{u}, \; \theta = \theta_0 + \theta_* \tilde{\theta},$$

где $\rho_*^\alpha > 0, \alpha = \overline{1,K}, u_* \neq 0, \theta_* > 0$ – нормирующие обезразмеривающие параметры. Примем также, что

$$\mu = \tilde{\mu}_0 \tau_0, \qquad \lambda = \tilde{\lambda}_0 \tau_0, \qquad æ = \tilde{æ}_0 \tau_0$$

– фоновые искусственные коэффициенты вязкости и теплопроводности, а τ_0 – фоновое значение τ.

Следуя [6], линеаризацию удобнее выполнить посредством подстановки решения не в саму систему (4)-(6), а в систему, ей эквивалентную. В такую систему включим уравнения баланса массы компонент (4), уравнение, получающееся в результат вычитания из уравнения (5) уравнения (7), умноженного на u:

$$\rho\partial_t u + \rho\big((u - \widehat{\mathrm{w}}) \cdot \nabla\big)u + \nabla p = \mathrm{div}\Pi,$$

а также выводимое из уравнений (5) и (6) уравнение баланса внутренней энергии

$$\partial_t(\rho\varepsilon) + \mathrm{div}[\rho\varepsilon(u - \widehat{\mathrm{w}})] + p\mathrm{div}u = \\ = -\mathrm{div}q + \Pi_{ij}\partial_i u_j + \mathrm{div}(p\widehat{\mathrm{w}}).$$

По повторяющимся индексам i, j предполагается суммирование от 1 до n. Далее отбросим слагаемые 2-го порядка малости по отношению к $z = \big(\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_K, \tilde{u}, \tilde{\theta}\big)^T$ – вектору безразмерных малых возмущений. В результате такой процедуры получим следующую линеаризованную систему дифференциальных уравнений 1-го порядка по t и 2-го порядка по x с постоянными коэффициентами:

$$\partial_t \tilde{\rho}_\alpha + u_*(\hat{u}_0 \cdot \nabla\tilde{\rho}_\alpha + \hat{\rho}_{\alpha 0}\mathrm{div}\tilde{u}) = \\ = \tau_0 u_*^2[\frac{\hat{\rho}_{\alpha 0}\theta_0}{\rho_0 u_*^2} R_\beta \rho_*^\beta \Delta\hat{\rho}_{\beta 0} + \\ + \hat{\rho}_{\alpha 0}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\mathrm{div}\tilde{u} + \hat{\rho}_{\alpha 0}\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\Delta\tilde{\theta}],$$

$$\partial_t \tilde{u} + u_*\left[\frac{\theta_0}{\rho_0 u_*^2} R_\beta \rho_*^\beta \nabla\tilde{\rho}_\beta + (\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u} + \frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\nabla\tilde{\theta}\right] = \\ = \tau_0 u_*^2[\frac{\theta_0}{\rho_0 u_*^2}(\hat{u}_0 \cdot \nabla) R_\beta \rho_*^\beta \nabla\tilde{\rho}_\beta + \frac{\tilde{\mu}_0}{\rho_0 u_*^2}\Delta\tilde{u} + \\ + \frac{\chi_0}{\rho_0 u_*^2}\nabla\mathrm{div}\tilde{u} + (\hat{u}_0 \cdot \nabla)(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u} + \frac{R_0\theta_*}{u_*^2}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\nabla\tilde{\theta}],$$

$$\partial_t \tilde{\theta} + u_*(\frac{R_0\theta_0}{c_{V0}\theta_*}\mathrm{div}\tilde{u} + \hat{u}_0 \cdot \nabla\tilde{\theta}) = \\ = \tau_0 u_*^2[\frac{R_0\theta_0^2}{\rho_0 c_{V0}\theta_* u_*^2} R_\beta \rho_*^\beta \Delta\tilde{\rho}_\beta + \frac{R_0\theta_0}{c_{V0}\theta_*}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\mathrm{div}\tilde{u} + \\ + \left(\frac{\tilde{æ}_0}{\rho_0 c_{V0} u_*^2} + \frac{R_0^2\theta_0}{c_{V0} u_*^2}\right)\Delta\tilde{\theta}],$$

где

$$\hat{\rho}_{\alpha 0} = \frac{\rho_0^\alpha}{\rho_*^\alpha}, \hat{u}_0 = \frac{u_0}{u_*}, \; R_0 = \frac{\rho_0^\beta}{\rho_0} R_\beta,$$
$$c_{V0} = \frac{\rho_0^\beta}{\rho_0} c_{V\beta}, \quad \chi_0 = \tilde{\lambda}_0 + \frac{\tilde{\mu}_0}{3},$$

а по повторяющемуся индексу β предполагается суммирование от 1 до K. Наложив условия на нормирующие параметры

$$\hat{\rho}_{\alpha 0} = \frac{R_\alpha \rho_*^\alpha \theta_0}{\rho_0 u_*^2}, \qquad \frac{\theta_*^2}{u_*^2} = \frac{\theta_0}{c_{V0}},$$

линеаризованную систему можно записать в симметричном виде:

$$\partial_t \tilde{\rho}_\alpha + u_*(\hat{u}_0 \cdot \nabla\tilde{\rho}_\alpha + \hat{\rho}_{\alpha 0}\mathrm{div}\tilde{u}) = \tau_0 u_*^2[\hat{\rho}_{\alpha 0}\hat{\rho}_{\beta 0}\Delta\hat{\rho}_{\beta 0} + \\ + \hat{\rho}_{\alpha 0}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\mathrm{div}\tilde{u} + \hat{\rho}_{\alpha 0}\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\Delta\tilde{\theta}],$$

$$\partial_t \tilde{u} + u_*\left[\hat{\rho}_{\beta 0}\nabla\tilde{\rho}_\beta + (\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u} + \frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\nabla\tilde{\theta}\right] = \\ = \tau_0 u_*^2[\hat{\rho}_{\beta 0}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\nabla\tilde{\rho}_\beta + \frac{\tilde{\mu}_0}{\rho_0 u_*^2}\Delta\tilde{u} + \frac{\chi_0}{\rho_0 u_*^2}\nabla\mathrm{div}\tilde{u} + \\ + (\hat{u}_0 \cdot \nabla)(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u} + \frac{R_0\theta_*}{u_*^2}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\nabla\tilde{\theta}],$$

$$\partial_t \tilde{\theta} + u_*(\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\mathrm{div}\tilde{u} + \hat{u}_0 \cdot \nabla\tilde{\theta}) = \\ = \tau_0 u_*^2\{\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\hat{\rho}_{\beta 0}\Delta\tilde{\rho}_\beta + \frac{R_0\theta_*}{u_*^2}(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\mathrm{div}\tilde{u} + \\ + [\frac{\tilde{æ}_0}{\rho_0 c_{V0} u_*^2} + \left(\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}\right)^2]\Delta\tilde{\theta}\}.$$

В симметричной матричной форме эта система уравнений переписывается в виде

$$\partial_t z + u_* B^{(i)}\partial_i z - \tau u_*^2 A^{(ij)}\partial_i\partial_j z = 0, \qquad (8)$$

где $B^{(i)}$, $A^{(ij)}$ – симметричные квадратные матрицы порядка $K+n+1$ (их явный вид опускаем).

Рассмотрим задачу Коши для системы (8) для бых $x \in \mathbb{R}^n$ и $t \geq 0$ и ее решения z из пространства Соболева $H^1(\mathbb{R}^n \times [0,T])$ с любым $T > 0$. Сначала установим знакоопределенность квадратичной формы вязких слагаемых

$$\big(A^{(ij)}\partial_j z, \partial_i z\big) = \sum_{\alpha,\beta}\hat{\rho}_{\alpha 0}\hat{\rho}_{\beta 0}\left(\nabla\tilde{\rho}_\alpha, \nabla\tilde{\rho}_\beta\right) + \\ + 2\sum_{\alpha}\hat{\rho}_{\alpha 0}\big((\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u}, \nabla\tilde{\rho}_\alpha\big) + 2\sum_{\alpha}\hat{\rho}_{\alpha 0}\, a\big(\nabla\tilde{\rho}_\alpha, \nabla\tilde{\theta}\big) + \\ + \frac{\tilde{\mu}_0}{\rho_0 u_*^2}\sum_{k}(\nabla\tilde{u}_k, \nabla\tilde{u}_k) + \frac{\chi_0}{\rho_0 u_*^2}\|\mathrm{div}\tilde{u}\|^2 + \\ + \|(\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u}\|^2 + 2a\left((\hat{u}_0 \cdot \nabla)\tilde{u}, \nabla\tilde{\theta}\right) +$$

$$+\left(\frac{\tilde{\varkappa}_0}{\rho_0 c_{V0} u_*^2}+a^2\right)\|\nabla\tilde{\theta}\|^2 =$$

$$=\left\|\sum_\alpha \hat{\rho}_{\alpha 0}\nabla\tilde{\rho}_\alpha+(\hat{u}_0\cdot\nabla)\tilde{u}+a\nabla\tilde{\theta}\right\|^2+\frac{\tilde{\mu}_0}{\rho_0 u_*^2}\|\nabla\tilde{u}\|^2+$$

$$+\frac{\chi_0}{\rho_0 u_*^2}\|\mathrm{div}\tilde{u}\|^2+\frac{\tilde{\varkappa}_0}{\rho_0 c_{V0} u_*^2}\|\nabla\tilde{\theta}\|^2\geq 0,$$

где $(\cdot,\cdot)$ и $\|\cdot\|$ – скалярное произведение и норма в $L^2(\mathbb{R}^n)$, суммирование по индексу β указано явно и

$$a:=\frac{R_0\theta_*}{u_*^2}.$$

В силу симметрии матриц $B^{(i)}$ имеем также

$$\left(B^{(i)}\partial_i z, z\right)=0.$$

Поэтому из системы уравнений (8) следует неравенство

$$\partial_t(\|z\|^2)\leq 0 \quad \text{при} \quad t\geq 0,$$

т.е. решения задачи Коши для системы (8) обладают свойством $L^2(\mathbb{R}^n)$ – диссипативности.

Заключение

В работе построена линеаризованная на постоянном решении КГидД система уравнений гомогенной многокомпонентной газовой смеси и получена $L^2(\mathbb{R}^n)$ – диссипативность решений задачи Коши для этой системы.

Результаты работы получены совместно с проф. А.А. Злотником. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №19-01-00262.

Список литературы:

1. Елизарова Т.Г. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений. – М.: Научный мир, 2007. - с. 352.

2. Елизарова Т.Г., Злотник А.А., Четверушкин Б.Н. О квазигазо- и гидродинамических уравнениях бинарных смесей газов // Докл. АН. - 2014. - Т. 459. - № 4. - с. 395-399.

3. Балашов В.А., Савенков Е.Б. Многокомпонентная квазигидродинамическая модель для описания течений многофазной жидкости с учетом межфазного взаимодействия // Прикл. мех. техн. физ. - 2018. - Т. 59. - № 3. - с. 57-68.

4. Елизарова Т.Г., Злотник А.А., Шильников Е.В. Регуляризованные уравнения для численного моделирования течений гомогенных бинарных смесей вязких сжимаемых газов // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. - 2019. - Т. 59. - №. 11. - с. 1899-1914.

5. Злотник А.А. О параболичности квазигидродинамической системы уравнений и устойчивости малых возмущений для нее // Матем. заметки. - 2008. - Т. 83. - №5. - с. 667-682.

6. Злотник А.А., Четверушкин Б.Н. Устойчивость неявных разностных схем для линеаризованной гиперболической квазигазодинамической системы уравнений // Дифференц. уравн. 2020. - Т. 56. - №7. - с. 936-947.

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Fe-Ni В УСЛОВИЯХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

В.В. Миколаенко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Применение эффекта сверхпластичности при реализации процессов обработки материалов давлением позволяет осуществлять бездефектное формоизменение листовых заготовок для получения оболочечных деталей сложной геометрической формы. Данный эффект возникает в специальных и промышленных сплавах на основе титана и алюминия. При разработке новых сплавов, обладающих эффектом сверхпластичности, особое внимание уделяется их деформационному поведению при повышенных температурах. Модель, описывающая деформационное поведение материала при заданной температуре, связывает напряжение течения со скоростью и степенью деформации и содержит, как правило, большое количество параметров, определяемых на основе экспериментальных данных. В работе представлен способ построения модели деформационного поведения материала по результатам испытаний на одноосное растяжение образцов с постоянными скоростями деформации на примере экспериментального сплава на основе алюминия.

Введение

Современные технологии сверхпластической газовой формовки позволяют получить тонкостенные изделия сложной геометрической формы [1,2]. При проектировании таких процессов необходимо разрабатывать режим давления, учитывающий особенности деформационного поведения формуемого сплава [1–4]. Деформационное поведение сверхпластических материалов исследуется с помощью механических испытаний на растяжение плоских образцов [5–8] или технологических экспериментов по формовке листовых образцов [9–11].

Наиболее распространенным способом исследования деформационного поведения являются механические испытания на растяжение плоских образцов, поскольку они позволяют получить зависимости напряжения от деформации при различных постоянных скоростях деформации. Создание деформационной модели заключается в построении соотношений, аппроксимирующих данные зависимости [12–15]. Сложности, связанные с построением таких моделей, обусловлены, в первую очередь, большим количеством входящих в них констант материала, выбор которых должен обеспечивать согласование экспериментальных данных с результатами модели.

В данной работе осуществляется построение модели деформационного поведения экспериментального сплава системы Al-Mg-Fe-Ni [16], демонстрирующего высокоскоростную сверхпластичность. Кривые зависимости напряжения от деформации при постоянных скоростях деформации получены с помощью испытаний на растяжение. Предложен подход, позволяющий сократить количество параметров, по сравнению с используемыми в [15,17,18], и уменьшить отклонения между экспериментальными данными и моделью.

Модель деформационного поведения

Деформационное поведение материалов, подвергаемых сверхпластической деформации, может быть представлено в виде:

$$\sigma=f(\varepsilon,\dot{\varepsilon}), \tag{1}$$

где σ – напряжение, ε – деформация, $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации. Для построения функции $f(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$ используется модель уравнения состояния деформируемой среды [18]:

$$\dot{\varepsilon}=A_1\sigma^{\mathrm{n}}, \tag{2}$$

$$\dot{\varepsilon}=A_2\exp(b\sigma), \tag{3}$$

$$\dot{\varepsilon}=A_3(\sinh(\alpha\sigma))^{\gamma}, \tag{4}$$

где A_1, A_2, A_3, b, n, γ, a – константы материала, зависящие от деформации ε.

Для каждого значения деформации выполняется следующая процедура: сначала с помощью линейной регрессии определяется n из уравнения (2):

$$\ln\dot{\varepsilon} = \ln A_1 + n\ln\sigma \quad \Rightarrow \quad n = \left[\frac{\partial \ln\dot{\varepsilon}}{\partial \ln\sigma}\right]_T. \tag{5}$$

Далее с помощью линейной регрессии определяется b из уравнения (3):

$$\ln\dot{\varepsilon} = \ln A_2 + b\sigma \quad \Rightarrow \quad b = \left[\frac{\partial \ln\dot{\varepsilon}}{\partial \sigma}\right]_T. \tag{6}$$

После чего α из уравнения (4) определяется как $\alpha = \frac{b}{n}$, а остальные константы из этого уравнения вычисляются с помощью линейной регрессии:

$$\ln\dot{\varepsilon} = \ln A_3 + \gamma \ln\sinh(\alpha\sigma) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \gamma = \left[\frac{\partial \ln\dot{\varepsilon}}{\partial \sigma}\right]_T, \quad \beta = \ln A_3. \tag{7}$$

Константы, входящие в уравнение (7), вычисляются для дискретного набора значений деформации ε_i: $a_i = a(\varepsilon_i)$, $\beta_i = \beta(\varepsilon_i)$ и $\gamma_i = \gamma(\varepsilon_i)$. Чтобы получить непрерывную модель, полученные значения a_i, β_i и γ_i аппроксимируются полиномом пятой степени:

$$\begin{aligned}\alpha(\varepsilon) &= K_1 + \mathrm{K}_2\varepsilon + \mathrm{K}_3\varepsilon^2 + \mathrm{K}_4\varepsilon^3 + \mathrm{K}_5\varepsilon^4 + \mathrm{K}_6\varepsilon^5 \\ \beta(\varepsilon) &= \mathrm{K}_7 + \mathrm{K}_8\varepsilon + \mathrm{K}_9\varepsilon^2 + \mathrm{K}_{10}\varepsilon^3 + \mathrm{K}_{11}\varepsilon^4 + \mathrm{K}_{12}\varepsilon^5 \\ \gamma(\varepsilon) &= \mathrm{K}_{13} + \mathrm{K}_{14}\varepsilon + \mathrm{K}_{15}\varepsilon^2 + \mathrm{K}_{16}\varepsilon^3 + \mathrm{K}_{17}\varepsilon^4 + \mathrm{K}_{18}\varepsilon^5\end{aligned} \tag{8}$$

Уравнение модели, описывающей деформационное поведение материала, строится следующим образом:

$$\sigma(\varepsilon,\dot{\varepsilon}) = \frac{1}{\alpha(\varepsilon)}\ln\left\{\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\exp(\beta(\varepsilon))}\right)^{\frac{1}{\gamma(\varepsilon)}} + \left[\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\exp(\beta(\varepsilon))}\right)^{\frac{2}{\gamma(\varepsilon)}} + 1\right]^{\frac{1}{2}}\right\}. \tag{9}$$

Проблема такого подхода заключается в том, что значение α, найденное как отношение b к n, может не обеспечивать минимума отклонения построенной аппроксимации от экспериментальных данных. Для каждого значения (ε_i) это отклонение может быть охарактеризовано следующей функцией квадратичной ошибки:

$$F_i(\alpha_i,\beta_i,\gamma_i) = \sum_j\left(\sigma_{i,j} - \sigma(a_i,\beta_i,\gamma_i,\dot{\varepsilon}_j)\right)^2, \tag{10}$$

где $\sigma_{i,j}$ – экспериментально найденное значение напряжения, соответствующее степени деформации ε_i и скорости деформации $\dot{\varepsilon}_j$.

Для решения данной проблемы после вычисления $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ предлагается скорректировать их посредством минимизации функции (10) методом Нелдера-Мида. Опираясь на характер скорректированных значений $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$, следует построить аппроксимации $\alpha(\varepsilon)$, $\beta(\varepsilon)$ и $\gamma(\varepsilon)$. При этом аппроксимации предлагается производить последовательно, корректируя значения оставшихся констант посредством минимизации функции (10). Полученные в результате зависимости α, β, и γ от ε будут включать набор констант $K_1, \dots, K_n$, которые окончательно корректируются посредством минимизации совокупного квадратичного отклонения:

$$F(K_1,\dots,K_n) = \sum_i F_i. \tag{11}$$

Обработка экспериментальных данных

В данной работе было проведено исследование свойств экспериментального алюминиевого сплава системы Al-Mg-Fe-Ni. Геометрические параметры образца и установки, реализующей испытание на растяжение, представлены на рис. 1.

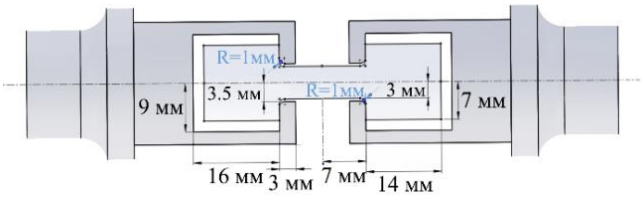


Рис.1. Исходная геометрия

Было проведено 5 испытаний на растяжение образца со следующими постоянными скоростями деформации $\dot{\varepsilon}$: $0.06, 0.03, 0.01, 0.005$ и $0.002\ s^{-1}$.

На рисунке 2 проиллюстрировано сравнение экспериментальных данных (пунктирной линией) с моделью (сплошной линией), полученной с помощью подхода, описанного в [17,18].

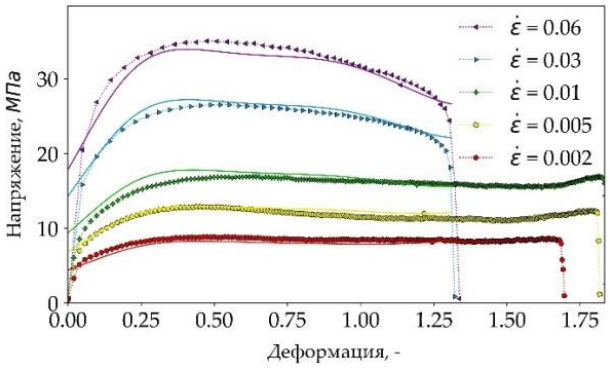


Рис.2. Сравнение экспериментальных данных с моделью, полученной из общепринятого подхода

Среднее отклонение найденной модели от экспериментальных данных оценивается с помощью функции из уравнения (12), что в данном случае соответствует значению 394.96… Н/мм^2.

$$D = \sum_{i,j}\left|\sigma_{i,j} - \sigma(\varepsilon_{ij},\dot{\varepsilon}_j)\right|. \tag{12}$$

На рисунке 3 приведено сравнение кривых, полученных с помощью полиномиальной аппроксимации значений α_i, β_i и γ_i, найденных посредством минимизации функции (10). Сами значения α_i, β_i и γ_i представлены на рисунках 4-6. Маркерами, помеченными как «Линейная регрессия», представлены зависимости, найденные с помощью подхода, описанного в [17,18]. Маркерами, помеченными как «1 этап», представлены значения, полученные путем минимизации функции (10). Можно видеть, что в данном случае наблюдается значительное отклонение модели от экспериментальных данных. Это объясняется существенным разбросом значений α_i, β_i, и γ_i, значительно снижающим качество полиномиальной аппроксимации.

С целью уменьшения ошибки аппроксимация зависимостей $\alpha(\varepsilon)$, $\beta(\varepsilon)$ и $\gamma(\varepsilon)$ производилась последовательно. Сначала была выполнена аппроксимация зависимости $\beta(\varepsilon)$, имеющей наибольший разброс. Как видно из рисунка 4, для описания данной зависимости оказалось достаточным использовать линейную функцию.

После построения аппроксимации $\beta(\varepsilon)$ был выполнен второй этап оптимизации, на котором при поиске минимума функции (10) варьировались только значения α_i и γ_i. Полученные значения проиллюстрированы на рисунках 5 и 6 маркерами, отмеченными как «2 этап». После чего производилась аппроксимация зависимости $\alpha(\varepsilon)$, для которой была выбрана экспоненциальная функция. Результаты аппроксимации представлены на рисунке 5.

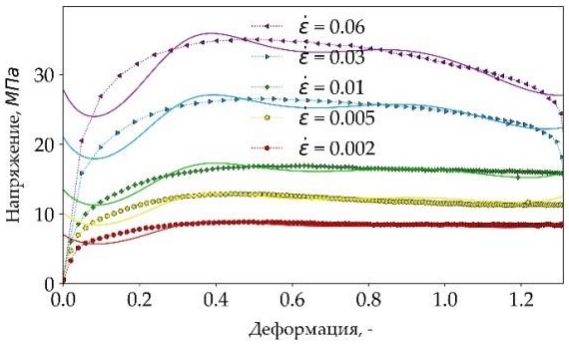


Рис.3. Сравнение экспериментальных данных с моделью, полученной после 1 этапа оптимизации

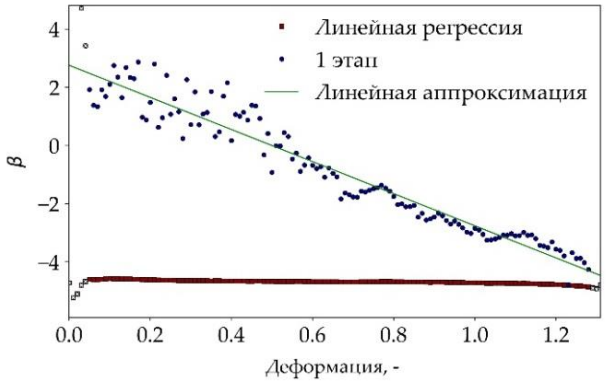


Рис.4. $\beta(\varepsilon)$ в сравнении с результатами линейной регрессии и 1 этапом оптимизации

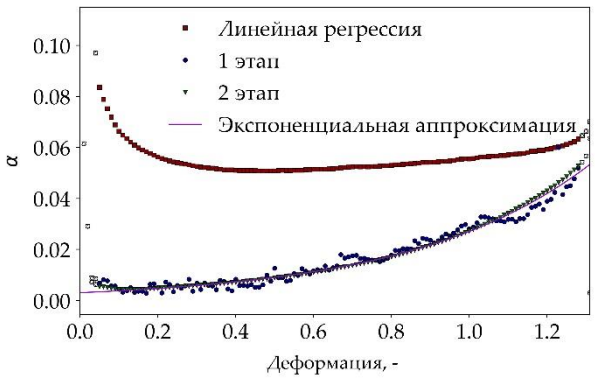


Рис.5. $\alpha(\varepsilon)$ в сравнении с результатами линейной регрессии, 1 и 2 этапом оптимизации

Аналогичным образом был выполнен третий этап оптимизации, на котором варьировались только значения γ_i, в то время как значения α_i и β_i рассчитывались с помощью аппроксимаций, построенных на предыдущих этапах оптимизации. Полученные значения представлены на рисунке 6 маркерами, обозначенными как «3 этап». Для их аппроксимации был использован полином пятой степени.

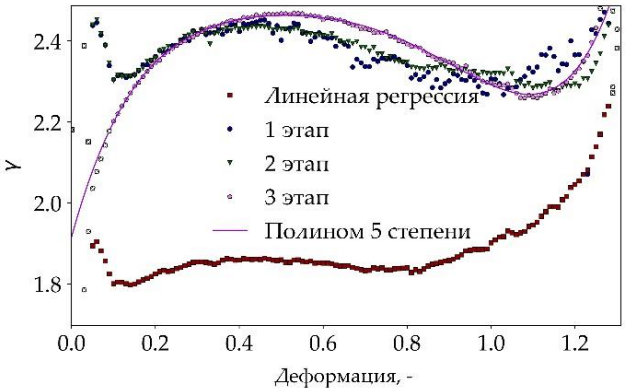


Рис.6. $\gamma(\varepsilon)$ в сравнении с результатами линейной регрессии, 1, 2 и 3 этапом оптимизации

Построенная модель материала состоит из уравнения (9) и соотношений, описывающих зависимости α, β, и γ от ε:

$$\alpha(\varepsilon) = K_1 + \mathrm{K}_2\varepsilon$$
$$\beta(\varepsilon) = \mathrm{K}_3 \exp(\mathrm{K}_4\varepsilon) \quad . (13)$$
$$\gamma(\varepsilon) = K_5 + \mathrm{K}_6\varepsilon + \mathrm{K}_7\varepsilon^2 + \mathrm{K}_8\varepsilon^3 + \mathrm{K}_9\varepsilon^4 + \mathrm{K}_{10}\varepsilon^5$$

Данная модель содержит 10 параметров. Представленный выше алгоритм их определения позволяет получить хорошее начальное приближение для последующей процедуры многомерной оптимизации функции (11). Окончательный результат представлен на рисунке 7, демонстрирующем сравнение построенной модели с экспериментальными данными. Среднее отклонение, полученное на финальном этапе, составило 145.67… Н/мм^2.

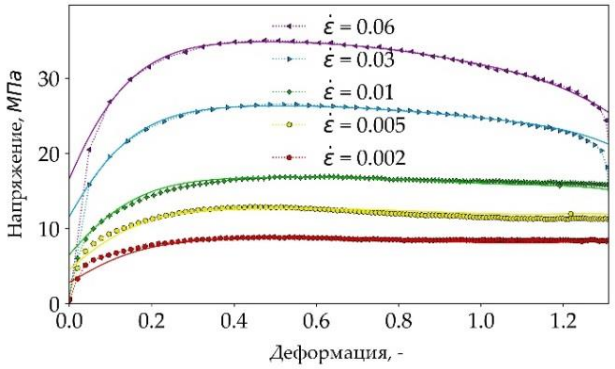


Рис.7. Сравнение экспериментальных данных с усовершенствованной моделью

Заключение

В данной работе продемонстрирован способ получения модели, описывающей деформационное поведение материала, подвергаемого деформации в условиях сверхпластичности. Применение данного способа к результатам испытаний экспериментального алюминиевого сплава системы Al-Mg-Fe-Ni позволило сократить количество параметров модели с 18 до 10, одновременно получив лучшее качественное сходство построенных аппроксимаций с экспериментальными данными и более чем двукратное уменьшение абсолютного отклонения.

Работа выполнена под руководством С.А.Аксенова в рамках проекта РНФ No. 2020ZDLGY01-05.

Список литературы:

1. Langdon T. G. The mechanical properties of superplastic materials. - 1982. - *Metall. Trans. A.*

2. Sherby O. D., Wadsworth J. Superplasticity-Recent advances and future directions. - 1989. - *Prog. Mater. Sci.*

3. Aksenov S. A., Kolesnikov A. V., Mikhaylovskaya A. V. Design of a gas forming technology using the material constants obtained by tensile and free bulging testing. - 2016. - *J. Mater. Process. Technol.* - № 237.

4. Jarrar F., Sorgente D., Aksenov S., Enikeev F. On the challenges and prospects of the superplastic forming process. - 2018. *Materials Science Forum*

5. Comley P. N. ASTM E2448—A Unified Test for Determining SPF Properties. - 2008. - *J. Mater. Eng. Perform.* - № 17. - с. 183–6.

6. Alabort E., Putman D., Reed R. C. Superplasticity in Ti–6Al–4V: Characterisation, modelling and applications. - 2015. - *Acta Mater.* - № 95. - с. 428–42.

7. Yasmeen T., Shao Z., Zhao L., Gao P., Lin J., Jiang J. Constitutive modeling for the simulation of the superplastic forming of TA15 titanium alloy. - 2019. - *Int. J. Mech. Sci.*

8. Yang J., Wu J., Zhang Q., Han R., Wang K. Investigation of flow behavior and microstructure of Ti–6Al–4V with annealing treatment during superplastic forming. - 2020. - *Mater. Sci. Eng. A.*

9. Enikeev F. U., Kruglov A. A. An analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm. - 1995. - *Int. J. Mech. Sci.*

10. Giuliano G., Franchitti S. On the evaluation of superplastic characteristics using the finite element method. - 2007. - *Int. J. Mach. Tools Manuf.*

11. Aksenov S., Sorgente D. Determination of biaxial stress–strain curves for superplastic materials by means of bulge forming tests at constant stress. - 2020. - *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* - № 31. - с. 618–27.

12. Sellars C. M., McTegart W. J. On the mechanism of hot deformation. - 1966. - *Acta Metall.*

13. Zener C., Hollomon J. H. Effect of strain rate upon plastic flow of steel. - 1944. - *J. Appl. Phys.*

14. Mosleh A. O., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Kwame J. S. Experimental, modelling and simulation of an approach for optimizing the superplastic forming of Ti-6%Al-4%V titanium alloy. - 2019. - *J. Manuf. Process.*

15. Mosleh A., Mikhaylovskaya A., Kotov A., Pourcelot T., Aksenov S., Kwame J., Portnoy V. Modelling of the superplastic deformation of the near-a titanium alloy (Ti-2.5AL-1.8MN) using arrhenius-type constitutive model and artificial neural network. - 2017. - *Metals (Basel).*

16. Kishchik A. A., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Rofman O. V., Portnoy V. K. Al-Mg-Fe-Ni based alloy for high strain rate superplastic forming. - 2018. - *Mater. Sci. Eng. A.* - № 718. - с. 190–7.

17. Mosleh A. O., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Kwame J. S., Aksenov S. A. Superplasticity of Ti-6Al-4V titanium alloy: Microstructure evolution and constitutive modelling. - 2019. - *Materials (Basel).* - № 12.

18. Mosleh A. O., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Portnoy V. K. Arrhenius-type constitutive equation model of superplastic deformation behaviour of titanium-based alloys. - 2018. *Defect and Diffusion Forum*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВАЛИДАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТОДА НЕИНВАЗИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШЕНИЯ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА ПО ЭКГ

М.А. Сидоров
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается валидация выборки с данными ЭКГ пациентов на основании принимаемых ими лекарств для сравнения работы методов неинвазивного обнаружения нарушений углеводного обмена (далее - НУО) по показаниям ЭКГ. Результаты, полученные в данной работе, могут в дальнейшем заложить основу для нового стандарта неинвазивного скрининга НУО.

Введение

Сахарный диабет - заболевание, которое продолжает распространяться по всему миру (в том числе в России). Чрезвычайно важно для людей с диабетом регулярно проверять уровень глюкозы в крови несколько раз в день.

На данный момент в качестве основных методов определения уровня глюкозы в крови используются инвазивные, т.е. включающие в себя прокалывание кожи. Например, при использовании глюкометра. Устройства этого типа достаточно компактны, поэтому их можно использовать где угодно. Однако у этого метода есть много недостатков. Во-первых, во время контроля уровня глюкозы пациентам необходимо часто прокалывать кожу, что приносит пациенту как неудобства, так и риски заражения. Во-вторых, тест-полоски для глюкометра одноразовые, следовательно, для отслеживания уровня глюкозы пациенту необходимо их постоянно покупать. Таким образом, у большого количества людей с сахарным диабетом есть потребность в системе неинвазивного мониторинга гликемии, которая будет использовать более удобные и безопасные способы получения данных о состоянии человека. Одним из таких способов получения данных может стать съем данных ЭКГ с последующим вычислением показателей вариабельности сердечного ритма.

Обзор проблемы

На сегодняшний момент существует компьютеризированный способ выявления НУО по ЭКГ [1], позволяющий проводить более доступный, безопасный и дешевый скрининг (обследование групп клинически бессимптомных лиц с целью выявления случаев заболевания) относительно существующих скрининговых тестов. Однако данный способ имеет серьезный недостаток - точность выявления НУО ниже, чем для инвазивных тестов. Возможная причина низкой точности состоит в неправильном формировании выборки пациентов для построения модели обнаружения НУО. В выборке могут содержаться пациенты, которые принимали препараты из определенных групп лекарств, которые могут влиять на показатели ЭКГ. В связи с этим выдвинута гипотеза, что на точность моделей могут влиять показания ЭКГ пациентов, которые принимали препараты из определенных групп, влияющие на параметры ЭКГ.

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка программы валидации выборки пациентов по принимаемым лекарствам; оценка методов неинвазивного обнаружения признаков нарушения углеводного обмена пациентов до и после валидации выборки; обучение дополнительных мо-

делей, учитывающих фактор принимаемых лекарств, и их оценка.

Для достижения данной цели и проверки выдвинутой гипотезы необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить общий набор данных пациентов;
2. Определить пациентов, которые принимают лекарства, влияющие на работу сердца, путем синтаксического анализа эпикризов;
3. Оценить и сравнить модели на общей выборке и на выборке после удаления пациентов, принимающих препараты, влияющих на работу сердца;
4. Построить дополнительные модели и применить их для проверки выдвинутой гипотезы.

Набор данных

Набор данных предоставлен ЗАО «ЕС-лизинг» и получен в ходе проведения научно-исследовательской работы [2]. Данная выборка состоит из 2844 записей ЭКГ 189 пациентов. По каждому пациенту известны такие данные, как возраст, пол, наличие/отсутствие сахарного диабета, названия принимаемых лекарств.

Группировка лекарственных препаратов

В качестве группировки лекарственных препаратов использовалась Анатомо-терапевтическо-химическая классификация [3].

Синтаксический анализ эпикризов пациентов

Для синтаксического анализа текста с применением библиотек **re** [4] и **docx** [5] была написана программа на Python, которая определяет, существует ли рассматриваемый препарат в тексте. Если этот препарат присутствует в тексте эпикриза определенного пациента, программа удаляет данные этого пациента из общей выборки. В результате синтаксического анализа были обнаружены 17 пациентов, принимающих лекарства, влияющие на работу сердца. Например, препараты из групп бета-адреноблокаторов, бета-адреномиметиков и других.

Метрики для оценки качества построенных моделей.

Для оценки качества показателей построенных моделей будут использоваться чувствительность и специфичность:

Чувствительность [6] - статистическая мера, которая определяет долю правильно идентифицированных положительных результатов.

Специфичность [6] - статистическая мера, которая определяет долю правильно идентифицированных негативов.

Чувствительность и специфичность рассчитываются по формулам ниже:

$$sensitivity = \frac{A}{A+C} * 100\%,$$

$$specificity = \frac{D}{B+D} * 100\%,$$

где

A - количество больных, признанных больными;

B - количество здоровых, признанных больными;

C - количество больных, признанных здоровыми;

D - количество здоровых, признанных здоровыми.

Расчет чувствительности и специфичности на общей выборке и на выборке после удаления пациентов, принимающих лекарства

Представленные модели были построены с применением открытой нелинейной автоколебательной системы, характеризующейся автовозвратом Ферми–Паста–Улама [1,7]. Данные модели на входе принимали 3-минутные ЭКГ первого стандартного отведения в виде дискретной последовательности напряжений на электродах, а на выходе выдавали бинарную переменную, которая выражает наличие/отсутствие признака НУО. Результаты расчета показаний чувствительности и специфичности моделей представлены ниже в таблице:

Общий набор данных		
Модель	Чувствительность	Специфичность
1	76%	90%
2	81%	86%
3	88%	82%
4	82%	86%
Набор данных после удаления пациентов, принимающих препараты		
Модель	Чувствительность	Специфичность
1	74%	90%
2	80%	86%
3	88%	82%
4	81%	86%

Также были построены графики ROC кривых и посчитана площадь под ними:

ROC-AUC		
Модель	Общий набор данных	Набор данных после удаления пациентов, принимающих препараты
1	0.8850	0.8784
2	0.8931	0.8886
3	0.8931	0.8886
4	0.9031	0.8994

Дополнительные модели для проверки выдвинутой гипотезы

В ходе данной работы также были обучены 4 дополнительные модели, учитывающие прием лекарственных препаратов пациентов:

- логистическая регрессия;
- дерево решений;
- градиентный бустинг по алгоритму XGBoost;
- градиентный бустинг по алгоритму LightGBM;

Обучение моделей проводилось на подвыборке, в которой пациенты не принимают препараты. Для предотвращения переобучения моделей, данная подвыборка была поделена на обучающуюся и тестовую часть в соотношении 0.73 на 0.27 (соотношение больных к здоровым в каждой части соответственно 0.68 на 0.32). Логистическая регрессия и дерево решений были построены с использованием библиотеки scikit-learn [8,9], модели с использованием градиентного бустинга были в свою очередь построены с использованием библиотек XGBoost [10] и LightGBM [11]. Входные параметры включают возраст пациента, пол, а также значения 56 параметров ЭКГ (показатели усредненно-

го кардиоцикла, вариабельности сердечного ритма и другие). В качестве метрики качества моделей использовалась F1-score. Значения гиперпараметров моделей были настроены таким образом, чтобы оценки F1-score на обучающей и тестовой части были максимальными.

После обучения моделей были оценены метрики качества на подвыборках, в которых соответственно пациенты принимают и не принимают препараты. Результаты представлены в таблице ниже:

F1-score		
Модель	Подвыборка, в которой пациенты не принимают препараты	Подвыборка, в которой пациенты принимают препараты
Log regression	0.8992	0.9712
DecisionTreeClassifier	0.8066	0.8994
XGBClassifier	0.9029	0.9732
LGBMClassifier	0.9121	0.9692

Исходя из полученных значений метрик видно, что выдвинутая гипотеза, что на точность моделей могут влиять показания ЭКГ пациентов, принимающих лекарства, влияющих на сердце, также подтверждается и на дополнительных моделях.

Заключение

После анализа эпикризов пациентов были обнаружены 17 пациентов, которые употребляют лекарственные средства, которые имеют влияние на работу сердца. Сравнены полученные метрики достоверности моделей (чувствительность и специфичность) на общей и очищенной от 17 пациентов выборках, построены дополнительные модели и проверена выдвинутая гипотеза.

В дальнейшем планируется проводить дополнительные исследования моделей, как они учитывают пациентов, которые принимают и не принимают лекарственные препараты из определенных групп.

Список литературы:

1. Компьютеризированный способ неинвазивного выявления нарушений углеводного обмена по электрокардиограмме: Пат. 2728869 Рос. Федерация. МПК A61B 5/0402, G06F 17/14, G16H 50/20, G16H 50/70 / А.В. ШМИД, А.А. БЕРЕЗИН, М.А. НОВОПАШИН, Р.С. НОВИКОВ, Б.А. ПОЗИН, А.М. МКРТУМЯН, Т.Н. МАРКОВА; № 2019127394; заявл. 30.08.2019; опубл. 31.07.2020, Бюл. № 22. http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN417.pdf

2. A. Shmid and A. Mkrtumyan, "Remote Noninvasive Detection of Carbohydrate Metabolism Disorders by First-Lead ECG Screening in CardioQVARK Project," 2019 Actual Problems of Systems and Software Engineering (APSSE), 2019, pp. 139-145, doi: 10.1109/APSSE47353.2019.00025.

3. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology, URL: https://www.whocc.no/atc_ddd_index/

4. Regular expression operations,
URL: https://docs.python.org/3/library/re.html

5. Python library for creating and updating Microsoft Word, URL: https://python-docx.readthedocs.io/en/latest/

6. ГОСТ Р 53022.3-2008 Технологии лабораторные клинические. Требования к качеству клинических лабораторных исследований. Часть 3. Правила оценки клинической информативности лабораторных тестов / ГОСТ Р от 18 декабря 2008 г. № 53022.3-2008

7. Novopashin MA, Shmid AV, Berezin AA. Fermi-Pasta-Ulam auto recurrence in the description of the electrical activity of the heart. Med Hypotheses. 2017 Apr;101:12-16. doi: 10.1016/j.mehy.2017.02.002. Epub 2017 Feb 8. PMID: 28351482.

8. Logistic Regression classifier URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LogisticRegression.html

9. Decision tree classifier URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.tree.DecisionTreeClassifier.html

10. XGBoost library, URL: https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/#

11. LightGBM library, URL: https://lightgbm.readthedocs.io/en/latest/

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «ПЕРЕВЕРНУТЫЙ МАЯТНИК»

П.А. Жданов, Ю.Г. Таранченко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа направлена на сравнение двух подходов стабилизации перевернутого маятника: классический линейный квадратичный регулятор для системы, линеаризованной около некоторого положения, и регулятор с параметрами, зависящими от состояния системы в конкретный момент времени.

Введение

Одним из популярных методов решения задачи стабилизации является построение управления по линеаризованной модели системы [1], однако, он может не учитывать особенности динамики нелинейного объекта вне окрестности точки линеаризации. Существует алгоритм синтеза закона управления, предусматривающий специфику поведения нелинейных систем путем постоянного изменения коэффициента усиления управления в зависимости от состояния системы.

В данной статье рассматриваются линейно-квадратичный регулятор и регулятор с дискретно изменяющимися параметрами (SDC), как способы стабилизации лабораторной установки «перевернутый маятник». Также проводится анализ их эффективности с помощью моделирования системы в MatLab SIMULINK и использованием полученных результатов в экспериментальных исследованиях.

Постановка задачи

Лабораторная установка представлена в виде перевернутого маятника, закрепленного на тележке, которая движется по рельсам благодаря двигателю.

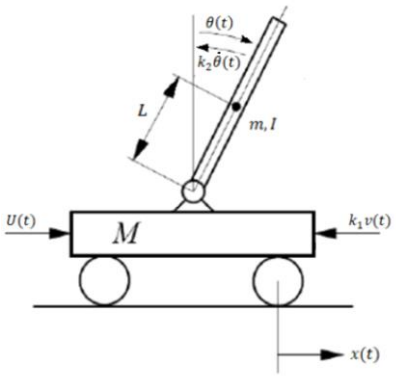


Рис.1. Схема установки "перевернутый маятник"

Поведение объекта представляется в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{gathered}\left(\frac{d}{dt}\omega(t)\right)\cos\theta(t)\,lm-\omega^2(t)\,sin\theta(t)\,lm+\\+\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)(M+m)=U(t)-k_1\left(\frac{d}{dt}x(t)\right),\\(l^2m+I)\left(\frac{d}{dt}\omega(t)\right)+\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)cos\theta(t)\,lm-\\-sin\theta(t)\,mgl=-k_2\omega(t),\end{gathered}\qquad(1)$$

где $x(t)$ - положение каретки, $v(t)$ - скорость каретки, $\theta(t)$ - угол отклонения от вертикали, $\omega(t)$ - угловая скорость, k_1 и k_2 - коэффициенты силы трения, m - масса маятника, M - масса каретки, $U(t)$ - управление, I - момент инерции, l - длина до центра масс маятника, g - ускорение свободного падения.

Линейно-квадратичный регулятор

Для системы (1) проведем линеаризацию и приведем ее к стандартному виду $\frac{d}{dt}X=AX+BU$:

$$A=\begin{pmatrix}0&1&0&0\\0&A^{22}&A^{23}&A^{24}\\0&0&0&1\\0&A^{42}&A^{43}&A^{44}\end{pmatrix},B=\begin{pmatrix}0\\B_2\\0\\B_4\end{pmatrix}$$

$$A^{22}=\frac{-(k_1L^2m+k_1I)}{ML^2m+IM+Im},\ A^{42}=\frac{k_1Lm}{ML^2m+IM+Im},$$

$$A^{23}=\frac{-gL^2m^2}{ML^2m+IM+Im},\ A^{24}=\frac{k_2Lm}{ML^2m+IM+Im},$$

$$A^{43}=\frac{MgLm+gLm^2}{ML^2m+IM+Im},\ A^{44}=\frac{-k_2M-k_2m}{ML^2m+IM+Im},$$

$$B_2=\frac{L^2m+I}{ML^2m+IM+Im},\ B_4=\frac{-Lm}{ML^2m+IM+Im};$$

Введем квадратичный функционал [2]:

$$J=\int_0^\infty(X^TQX+U^TRU)dt,\qquad(2)$$

$$U=-KX=-R^{-1}B^TSX,\qquad(3)$$

X – вектор состояния системы, Q – положительно полуопределенная матрица, R – положительно определенная матрица, матрица коэффициентов обратной связи K минимизирует квадратичный функционал, S – решение уравнения Риккати: $SA+A^TS-SBR^{-1}B^TS+Q=0$.

При построении линейно-квадратичного регулятора для синтеза закона управления системы (1) получены матрицы:

$$Q=\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix},\quad R=1,\quad K=\begin{pmatrix}-1\\-1.92\\-18.21\\-4.01\end{pmatrix},$$

$$A=\begin{pmatrix}0&1&0&0\\0&-0.07&-3.42&0\\0&0&1&1\\0&0.137&24.92&1\end{pmatrix},\quad B=\begin{pmatrix}0\\2.44\\0\\-4.57\end{pmatrix}.$$

Построение регулятора с дискретно изменяющимися параметрами (SDC)

Для построения управления, учитывающего нелинейность математической модели, воспользуемся алгоритмом SDC, который подробно описан в [3]. Предлагается добавить следующий после линейного член из разложения в ряд Тейлора системы (1):

$$\frac{d}{dt}X=\big(A+A_n\big(X(t)\big)\big)X(t)+(B+B_n(X(t)))U(t)$$

Теперь, помимо матриц A и B, в систему входят матрицы A_n и B_n зависящие от состояния системы:

$$A_n=\begin{pmatrix}0&1&0&0\\0&A_n^{22}&A_n^{23}&A_n^{24}\\0&0&1&1\\0&A_n^{42}&A_n^{43}&A_n^{44}\end{pmatrix},\quad B_n=\begin{pmatrix}0\\B_n^2\\0\\B_n^4\end{pmatrix},$$

$$A_n^{22}=\frac{-k_1(L^2m+I)L^2m^2\theta^2}{(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$A_n^{24}=\frac{-k_2Lm(ML^2m+2L^2m^2+IM+Im)\theta^2}{2(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$A_n^{23}=\frac{gL^2m^2(2ML^2m+3L^2m^2+2JM+2Jm)\theta^2}{3(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$A_n^{42}=\frac{-k_1Lm(ML^2m+2L^2m^2+IM+Im)\theta^2}{2(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$A_n^{43}=(-gLm(M^2L^2m+7L^2m^2M+6L^2m^3+IM^2+\\+2IMm+Im^2)\theta^2)\times\frac{1}{6(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$A_n^{44}=\frac{k_2(M+m)L^2m^2\theta^2}{(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$B_n^2=\frac{-(L^2m+I)L^2m^2\theta^2}{(ML^2m+IM+Im)^2},$$

$$B_n^4=\frac{Lm(ML^2m+2L^2m+IM+Im)\theta^2}{2(ML^2m+IM+Im)^2}.$$

Заметим, что состояния нашей системы ограничены, так, например, углы принадлежат интервалу $[-\pi;\pi]$, а $x\in\left[-\frac{d}{2};\frac{d}{2}\right]$, d – длина рельс.

Выбираем шаг дискретизации (дробления состояний) с точностью до десятых, коэффициент усиления K меняется в зависимости от того, насколько точно данное положение системы соответствует заданному состоянию.

Тогда управление, согласно [4], представляется в виде:

$$U_i=K(X_i)X_i=-R^{-1}B^T(X_i)S(X_i)X_i\qquad(4)$$

где $S(X_i)$- решение уравнения Риккати вида $S(X_i)A(X_i)+A^T(X_i)S(X_i)-S(X_i)B(X_i)R^{-1}B^T(X_i)S(X_i)+Q=0$.

X_i – дискретизированное состояние системы (1).

Моделирование

Пример 1. Проведем моделирование поведения системы (1) под управлением линейно-квадратичного регулятора (3). На рисунках 2.1 и 2.2 продемонстрированы графики изменения состояния системы при начальных углах 1 и 3 радиан соответственно.

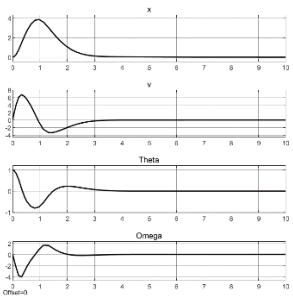


Рис.2.1.

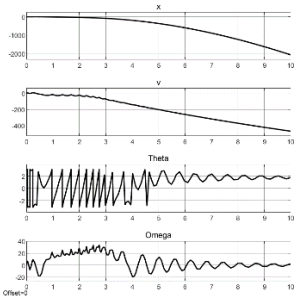


Рис.2.2.

Заметим, что управление не способно стабилизировать маятник из нижней точки равновесия.

Пример 2. Рассмотрим поведение системы под управлением регулятора с дискретно изменяющимися параметрами (4). На рисунках 3.1 и 3.2 изображены графики изменения вектора состояния X с течением времени.

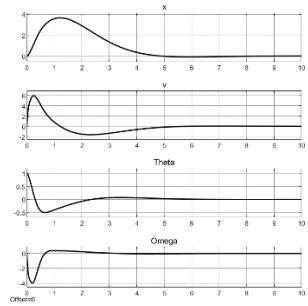


Рис. 3.1.

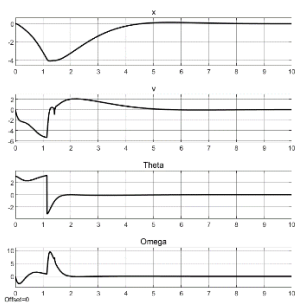


Рис. 3.2.

Модель стабилизируется из угла отклонения 1 и 3 радиана соответственно. В обоих примерах максимальная сила $U(t)$ ограничена 40Н.

Изменение некоторых элементов вектора K показано на рисунке 4.

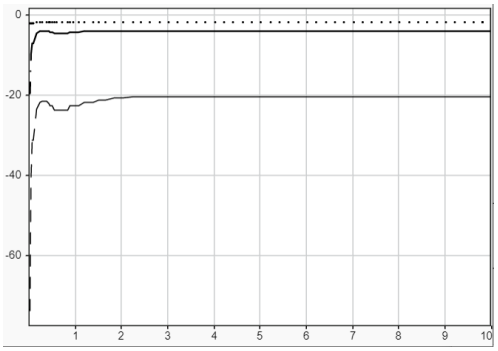


Рис.4.

На рисунке 5 представлено поведение функционала (2) для разных моделей:

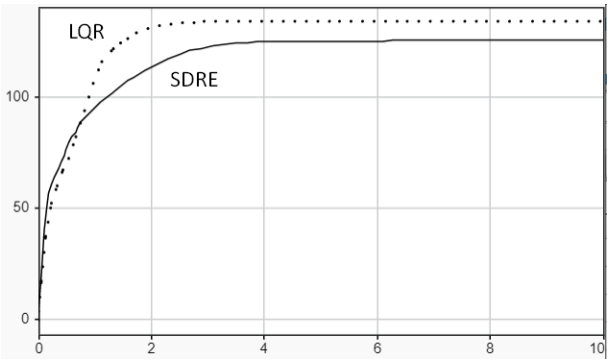


Рис.5.

Из графика видно, что SDC управление приводит функционал к меньшему значению по сравнению с LQR.

Заключение

В данной работе представлены алгоритмы автоматического управления лабораторной установкой для исследования их различий и анализа эффективности.

Вычисления показали, что использование регулятора с дискретно изменяющимися параметрами для решения задачи стабилизации показывает более убедительные результаты, чем построение линейно-квадратичного регулятора. Так, например, SDC управление справляется не только с задачей стабилизации маятники, но также реализует алгоритм раскачки маятника из нижнего положения. В данный момент результаты исследования проверяются на практике для стабилизации перевернутого маятника на каретке.

Список литературы:

1. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов // АиТ. 1960 № 4

С. 436–443; № 5 С. 561–568; № 6 С. 661–665.

2. А.А.Алексеев, Д.Х.Имаев, Н.Н.Кузьмин, В.Б.Яковлев. Теория управления: Учеб./СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 1999. – 435 с.

3. Афанасьев В. Н., Семион А. А. РЕГУЛЯТОР С ДИСКРЕТНО ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ // Проблемы управления. 2014. № 5. С. 14-19.

4. Семион А. А. Метод использования памяти микроконтроллера при реализации нелинейных регуляторов, с коэффициентами, зависящими от состояния // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 4. С. 64-70.

БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕЛЕТА ЗЕМЛЯ – ЛУНА

Н.И. Шапошникова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящее время некоторые страны, например, США и Россия, снова начали активно интересоваться исследованиями такого космического тела, как Луна. В настоящей работе представлены решения следующих задач: отправка космического аппарата (КА) с низкой околоземной орбиты на близкую к полярной круговую окололунную орбиту и его возвращение с данной орбиты до момента входа в атмосферу Земли. Описываются полученные параметры промежуточной опорной орбиты, итоговой окололунной

орбиты, входа КА в атмосферу нашей планеты; время нахождения на перелетных траекториях от Земли к Луне и обратно. Вычисляются оптимальные окна запуска КА с нашей планеты и ее естественного спутника; а также стартовые и тормозные импульсы. Эти расчеты могут быть полезны разработчикам космических миссий для отправки межпланетного аппарата к Луне для ее изучения.

Введение

С давних времен люди интересовались ближайшим к Земле космическим объектом - Луной. СК 2 века до н.э., ученые начали изучать особенности движения спутника Земли, его поверхность. После выхода человечества в космос, с 1958 года начались отправки космических миссий к Луне. Первопроходцами стали такие страны, как СССР и США.

В настоящее время планируются такие российские миссии Научно-Производственного Объединения им. С.А. Лавочкина, как Луна-Глоб для изучения поверхности Луны в области Южного полюса (разведка природных ресурсов), Луна-Ресурс-ОА ("проведение контактных научных исследований в приполярной области Луны"), Луна-Ресурс-ПА ("проведения дистанционных исследований поверхности Луны") и Луна-Грунт ("доставка лунного грунта из района Южного полюса Луны. Наряду с решением научных задач в ходе данного проекта планируется отработать технологию высокоточной посадки на радиомаяк") [1, 2].

В данной работе представлены расчеты параметров для прямого перелета космической миссии к Луне и ее возвращения на Землю и результаты проведенных исследований для запланированных НПО им. Лавочкина космических миссий на 2022 год и решены следующие задачи: перевод космического аппарата (далее КА) СК стартовой траектории на круговую орбиту около Земли; нахождение места старта с круговой околоземной орбиты и подбор такого отлетного импульса для полета к Луне, чтобы космический аппарат достиг близкой к полярной окололунной орбиты (85-95 градусов); расчет тормозного импульса у Луны, при котором космический аппарат оказывается на близкой к полярной орбите Луны (высота = 100 км ± 1 км); подбор отлетного импульса для перелета к Земле; вычисление углов входа в атмосферу Земли при перелете между полярной окололунной орбитой и Землей в течение лунного месяца.

Исходные данные

Начальные данные и требования, накладываемые на получающиеся орбиты и траектории, были предоставлены Научно-Производственным Объединением им. С.А. Лавочкина.

Характеристики стартовой траектории КА при запуске с космодрома «Восточный» в Гринвичской системе координат (далее, СК) приведены в Таблице 1:

Таблица 1. Вектор состояния КА на момент отделения связки КА от ракетоносителя

Время от старта, с			563.370		
a, км	e	i, °	Ω, °	ω, °	θ, °
5974.4	0.102	51.73	10.51	270.89	171.98

Характеристики околоземной орбиты:

- высота - $h_E \approx 200$ км,
- форма орбиты - круговая

Максимальное количество топлива, которое может быть использовано для осуществления тормозного импульса у Луны: $\Delta v_{\text{тормозной}} = 0.87$ км/с.

Характеристики окололунной орбиты:

- высота - $h_M = 100 \pm 5$ км,
- форма орбиты - круговая,
- наклонение - $Inc_M = 90 \pm 5°$

Координаты точки входа в атмосферу Земли для приземления на полигоне "Капустин Яр":

- широта = 47.941°,
- долгота = 46.632°,
- угол входа КА в атмосферу Земли: $\alpha = 60 \pm 15°$.

Постановка задачи и методы решения

В работе используются следующие системы координат:

- Инерциальная система координат J2000 (ICRF)
- Гринвичская вращающаяся система координат с центром в Земле, эквивалентная International Terrestrial Reference System (*EarthFixed*)
- Синодическая вращающаяся система координат Земля-Луна с центром в Земле (*EarthMoon*)
- Локальная система координат космического аппарата (*VNB*)

Система уравнений движения в СК *J2000* записывается следующим образом:

$$\ddot{\mathrm{R}} = \mathrm{G}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{m_i}\frac{\mathrm{R_i} - \mathrm{R}}{|\mathrm{R_i} - \mathrm{R}|^3}$$

где G – гравитационная постоянная, $\boldsymbol{R}$ – радиус-вектор космического аппарата, m_i и $\boldsymbol{R}_i$ – масса и радиус-вектор -го притягивающего центра.

Притягивающими центрами являлись Солнце, Земля, Луна. Неравномерность гравитационного потенциала Земли и Луны, давление солнечного ветра не учитывались.

В работе решены следующие задачи:

1. Задача поиска окон старта с низкой околоземной орбиты минимизирующих тормозной импульс при переходе на окололунную орбиту (прямой перелет)
2. Задача поиска окон старта с окололунной орбиты (обратный перелет), которые:
   a. минимизируют разгонный импульс,
   b. позволяют осуществить вход в атмосферу:
      i. с заданным углом входа,
      ii. на заданной широте.

Методы решения задач:

1. Численное интегрирование систем ОДУ методом Рунге-Кутты 8 порядка [3];
2. Расчет положения притягивающих центров с использованием эфемерид DE430 [4];
3. Построение дискретного представления минимизируемой функции в заданном интервале изменения аргумента с заданным шагом и поиск её минимумов;
4. Метод пристрелки (differential corrections) для поиска нуля векторной функции многих переменных [5], [6].

Инструментом решения задач являлось программное обеспечение General Mission Analysis Tool (GMAT) разработки JPL NASA [7].

Прямой перелет Земля-Луна

После старта с космодрома "Восточный" ракетоноситель и разгонный блок выводят КА на стартовую траекторию. В ее апоцентре осуществляется маневр в локальной СК *VNB* $\Delta v_{0x} = 0.1$ км/с, благодаря чему КА переходит на орбиту у Земли с эксцентриситетом ≈ 0.

Характеристики получившейся опорной околоземной орбиты в Гринвичской СК представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Элементы опорной орбиты

Дата			06.02.2022 19:00:0.288			
h_E, км	a, км	e	i, °	Ω, °	ω, °	θ, °
210.17	6988.3	0.06	52.2	311	67.3	180

Прямой перелет Земля-Луна предполагает проведение двух маневров: первый выведет КА с опорной околоземной орбиты на перелетную траекторию к Луне, второй предназначен для торможения у Луны и перевода КА на окололунную орбиту. Точное время выполнения маневров зависит от положения КА на опорной орбите относительно Луны и параметров перелетной орбиты, полученной по итогам выведения.

Задача поиска окон старта с низкой околоземной орбиты решалась путем численного построения зависимости величины тормозного импульса для перехода на окололунную орбиту от времени старта и анализа минимумов этой зависимости. Построение выполнено следующим образом:

1. Интегрирование движения КА до пересечения траектории движения с плоскостью XY системы координат *EarthMoon* (плоскость орбиты Луны);

2. Задается начальное значение стартового импульса (на следующей итерации применяются поправки);

3. Интегрируется движение КА до достижения периселения;

4. Рассчитывается промах по требуемому расстоянию до поверхности Луны (100 км) и величина поправки для следующей итерации;

5. Метод пристрелки повторяет шаги 1-4 для сведения промаха к нулю с заданной точностью;

6. Выполняется расчет необходимого тормозного импульса методом пристрелки по условию достижения эксцентриситета окололунной орбиты нуля с заданной точностью.

Анализ построенной зависимости выполняется в диапазоне дат 2022 года с шагом в 1 час.

На рис. 1 представлен график зависимости величины тормозного импульса у Луны от даты старта для 2022 года (Рис. 1).

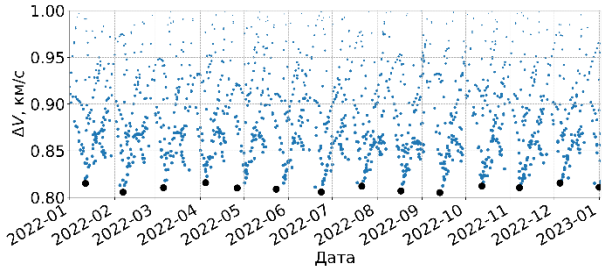


Рис.1. График зависимости тормозного импульса от даты старта

Из графика видно, что в каждый сидерический период Луны имеется стартовое окно (отмечены жирными точками) с минимальным импульсом, величиной 800 – 825 м/с. Среди этих дат можно выделить две, которым соответствуют минимальные тормозные импульсы в локальной СК *VNB* за 2022 год: 06.02.2022 19:00:0.288 (величина импульса составляет 0.8053 км/с) и 13.09.2022 04:00:00 (величина импульса - 0.8048км/с).

Средняя продолжительность перелета Земля - Луна на 2022 год для полученных в этой работе траекторий составляет 5 суток.

Обратный перелет КА Луна-Земля

Были рассчитаны характеристики обратного перелета КА с круговой окололунной орбиты с наклонением 90 ± 5° к Земле и построены графики на один сидерический лунный период в январе 2022 года. Очевидно, что для других периодов картина будет схожа с данной.

Решение задачи обратного перелета, т.е. поиска окон старта с окололунной орбиты, решалась схожим с прямым перелетом образом. Зависимость величины разгонного импульса у Луны от времени старта была построена численно с использованием метода пристрелки. Для этой задачи варьировалась величина разгонного импульса и время старта и выполнялся поиск нуля векторной функции, заданной условиями: широта входа в атмосферу Земли должна совпадать с 47.941 градусами северной широты, высота точки входа должна быть равна 100 км. Разгонный импульс выполнялся также при пересечении плоскости XY СК *EarthMoon*. Для построенной зависимости рассчитано дискретное представление с шагом в 1 час в течение января 2022 года.

Были построены графики для окололунных орбит с наклонением в 85, 90 и 95 градусов и долготой восходящего узла, равной 90 градусов. Они отображают зависимость стартовых импульсов от дат старта, начиная с 01.01.2022 года, при которых КА войдет в атмосферу Земли над 47.941 параллелью.

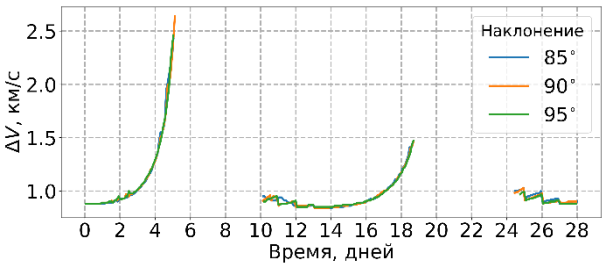


Рис.2. Зависимость стартового импульса с окололунной орбиты с долготой восходящего узла 90° от продолжительности нахождения на окололунной орбите

Согласно рисунку 2, окна старта с окололунной орбиты для КА открываются с периодичностью в половину сидерического периода Луны, а также величина импульса практически не чувствительна к изменению наклонения в пределах 85° – 95°.

Для изучения зависимости величины угла входа КА в атмосферу Земли от стартового импульса у Луны, при котором широта точки входа в атмосферу Земли = 47.941°, были построены графики для окололунных орбит с теми же наклонениями и долготой восходящего узла в 90° и 270° (рис. 3).

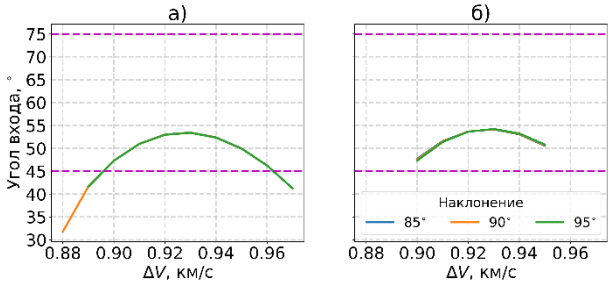


Рис.3. Зависимость величины угла входа в атмосферу Земли от импульса с окололунной орбиты с долготой восходящего узла: а) 90°, б) 270° в СК EarthFixed

Из графиков на Рис. 3 видно, что для достижения угла входа в атмосферу Земли, наиболее близкого к 60 градусам, требуется выполнить разгонный маневр в локальной СК *VNB* около 0.93 км/с, при этом снижение требования на

угол входа до 45 градусов позволяет снизить величину маневра до 0.89 км/с.

При построении Рисунков 2 и 3 не учитывалось такое требование к области входа в атмосферу нашей планеты, как значение меридиана, равное 46.632 градусам. Это объясняется тем, что для достижения желаемой долготы, при возможности попасть на требуемую широту, необходимо немного изменить время старта с окололунной орбиты и стартовый импульс. Период обращения КА на окололунной орбите составляет 1.95 часа, поэтому выбор долготы входа в атмосферу возможен с шагом примерно в 15 градусов (оптимальный отлет возможен два раза за период).

Средняя продолжительность перелета от Луны к Земле для полученных на январь 2022 года траекторий составляет 5 суток, оптимальность которого по критерию минимальных затрат характеристической скорости показано в работе [8].

Заключение

В работе выполнен расчет баллистических параметров для совершения космическим аппаратом перелета от Земли к Луне и обратно на 2022 год. Пример перелета изображен на рисунке 4; черными точками и числами отмечены дни полета.

Результаты показали, что возможно совершить перелет от Земли к Луне в 2022 году с близкой к круговой околоземной орбиты ($h_E = 210.17$ км, $e = 0.06$) с тормозным импульсом, меньшим чем 0.87 км/с (максимальное количество топлива, которое предусматривается НПО им. Лавочкина на совершение коррекционного импульса на перелетной траектории к естественному спутнику нашей планеты). Были подобраны оптимальные даты старта с минимальными тормозными импульсами, переводящими КА на близкую к полярной круговую окололунную орбиту, возникающие во второй четверти каждого лунного сидерического периода, начиная с 01 января 2022 года.

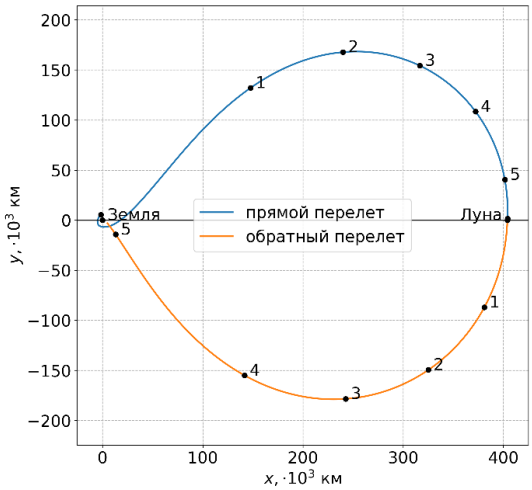


Рис.4. Траектории перелета Земля-Луна и Луна-Земля в СК EarthMoon

Для обратного перелета от Луны к Земле были найдены оптимальные окна запуска КА с окололунной орбиты на январь 2022 года, открывающиеся с периодичностью в 13.45 суток, а также минимальные величины стартового импульса, позволяющие аппарату войти в атмосферу нашей планеты (на высоте в 100 км) на 47.941 параллели, на долготе, близкой к 46.632° и под углом, расположенным в диапазоне от 45° до 75°, равные примерно 0.93 км/с.

Таким образом, в этой работе был реализован баллистический расчет, результаты которого помогут разработчикам космических миссий отправить новый аппарат для дальнейшего изучения Луны и, возможно, создать на естественном спутнике Земли лунную базу.

Список литературы:

1. Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина. – Режим доступа: https://www.laspace.ru/projects/, свободный. (дата обращения: 23.03.2021). – Сайт
2. The vision of the Russian Space Agency on the robotic settlements in the Moon. Maxim Litvak, IKI/Roscosmos. 2016. – Режим доступа: http://www.mat.ucm.es/~aegora/eventos/escorial2016/IKI%20-%20Maxim%20Litvak.pdf, свободный (дата обращения: 23.03.2021). - Сайт
3. Hairer E., Noersett S. P., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems: With 105 Figures. – Springer-Verlag, 1987.
4. Folkner W. M. et al. The planetary and lunar ephemerides DE430 and DE431 //Interplanetary Network Progress Report. – 2014. – Т. 196. – №. 1.
5. McInnes Allan. An Introduction To Libration Point Orbits. July 5, 2009 - 19 с. - Статья
6. McInnes Allan IS. Strategies for solar sail mission design in the circular restricted three-body problem // MSE Thesis, School of Aeronautics and Astronautics, Purdue University,2000 - 141 с. – Книга
7. General Mission Analysis Tool. – Режим доступа: https://sourceforge.net/projects/gmat/, свободный (дата обращения: 23.03.2021). – Сайт
8. Miele A., Mancuso S. Optimal trajectories for earth–moon–earth flight //Acta Astronautica. – 2001. – Т. 49. – №. 2. – С. 59-71.

РАСЧЕТ СЕМЕЙСТВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОРБИТ ВОКРУГ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ L1 И L2

Д.Р. Гафурова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе изучаются периодические орбиты в ограниченной круговой задаче трех тел. Внимание уделяется расчету основных семейств периодических орбит около точек либрации L_1 и L_2 в системе Солнце-Земля с помощью полуаналитических методов, описанных в [1] и реализованных в ПО AUTO [7], а также расчету орбит, получаемых из этих семейств бифуркациями типа умножение периода на n. В результате, наряду с основными семействами периодических орбит, численными методами были рассчитаны периодические орбиты, являющиеся бифуркацией горизонтальных орбит Ляпунова типа умножения периода на 3. Также были найдены начальные условия для этих орбит и исследованы мультипликаторы Флоке горизонтальных орбит Ляпунова.

Введение

Ограниченная круговая задача трёх тел [2] изучает движение трех объектов, взаимодействующих в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона: двух тел большой массы и тела, масса которого пренебрежимо мала по сравнению с первыми двумя. В этой задаче есть 5 особых точек, или точек либрации, вокруг которых существуют различные ограниченные орбиты. Основными периодическими орбитами являются гало орбиты, горизон-

тальные орбиты Ляпунова, вертикальные орбиты Ляпунова и аксиальные орбиты.

Основная же задача данного исследования - расчет основных семейств периодических орбит вокруг точек либрации L_1 и L_2 для системы Солнце-Земля. В отличии от работы [1], в которой показаны основные периодические семейства в ограниченной круговой задаче трех тел для системы Земля-Луна, это исследование также изучает периодические орбиты, являющиеся бифуркациями типа умножение периода на n для семейств горизонтальных орбит Ляпунова. Более того, планируется расчет орбит, получаемых бифуркациями этого типа из гало орбит и вертикальных орбит Ляпунова.

В работе используется ПО AUTO [7], в котором реализован метод продолжения по параметру для расчета семейств периодических орбит и для получения периодических решений решается краевая задача методом ортогональных коллокаций [1]. Для расчета квазигоризонтальных орбит был использован численный метод, который является модификацией метода разделения плоскостей [9] с использованием поверхности вращения, образованной вращением горизонтальной орбиты Ляпунова [10], и алгоритм уточнения начальных условий для периодических орбит. Оба метода реализованы в программном модуле OrbiPy[8].

В первом разделе кратко описаны методы, используемые в работе, во втором разделе рассказывается об исследовании бифуркаций при помощи мультипликаторов Флоке, в третьем разделе представлены текущие результаты исследования.

Расчет периодических орбит в AUTO

AUTO – программное обеспечение для решения задач продолжения семейств решений и поиска бифуркаций в обыкновенных дифференциальных уравнениях. Его основные методы направлены на продолжение решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$u(t) = f'(u(t), \mu, \lambda), f(\cdot,\cdot), u(\cdot) \in R^n, \lambda \in R, \mu \in R^{n_\mu}$$

с учетом граничных условий и интегральных ограничений. Интегральное ограничение позволяет найти новое решение, отличное от уже найденного при расчете семейства, а граничные условия вида $u(0) = u(T)$ используются для поиска периодических орбит.

Для расчета семейств решений используется численный метод продолжения решения Келлера по длине дуги [3]. Пусть (u_0, λ_0) решение системы уравнений $G(u, \lambda) = 0$ $(u, G \in \mathbb{R}^n,\ \lambda \in \mathbb{R})$ такое, что оно продолжает существовать в своей окрестности как единственное одномерное семейство решений. В этом случае решение (u_0, λ_0) называется регулярным. Метод продолжения решения по длине дуги позволяет находить решение (u_1, λ_1) системы $G(u, \lambda) = 0$, имея регулярное решение (u_0, λ_0). Для продолжения решения вводится новый параметр, длина дуги Δs, от которого зависят $u = u(\Delta s)$ и $\lambda = \lambda(\Delta s)$. Затем решается следующая система уравнений относительно (u_1, λ_1) (здесь $\dot{u}$ и $\dot{\lambda}$ – производные по Δs)

$$\begin{cases} G(u_1, \lambda_1) = 0 \\ (u_1 - u_0)^T \dot{u}_0 + (\lambda_1 - \lambda_0)^T \dot{\lambda}_0 - \Delta s = 0 \end{cases}$$

Эта система может быть решена итерационно методом Ньютона. За счет того, что продолжение решения производится по новому параметру, метод Келлера позволяет продолжать решение даже в случае простой складки (simple fold), когда Якобиан G_u вырожден.

На каждом шаге продолжения решения используется метод ортогональных коллокаций [4] для аппроксимации решений систем дифференциальных уравнений кусочно-заданными многочленами. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений вида

$$u'(t) - f(u(t), \mu, \lambda) = 0, \qquad t \in [0,1]$$

Здесь $u'(t)$ – производная по t, $u(\cdot), f(\cdot) \in \mathbb{R}^n, \lambda \in \mathbb{R}, \mu \in \mathbb{R}^{n_\mu}$. Так как рассматриваются периодические решения, заменой $t \to \frac{t}{T}$ можно свести произвольный интервал периодичности $[0; T]$ к интервалу $[0; 1]$, после этого рассматривая период как одну из неизвестных. На отрезке $[0; 1]$ вводится сетка

$$\{0 = t_0 < t_1 \ldots < t_N = 1\},\ h_j \equiv t_j - t_{j-1}$$

На каждом промежутке сетки идет поиск полинома p_h такого, что его степень меньше заданного m, $p_h \in C[0; 1]$ и $p_h'(z_{j,i}) = f(p_h(z_{j,i}), \mu, \lambda),\ j = 1, \ldots, N,\ i = 1, \ldots, m.$

Также полином должен удовлетворять интегральным и граничным условиям. Здесь $z_{j,i}$ - корни ортогонального многочлена m-й степени.

В работе использовался алгоритм уточнения начального условия периодических орбит при расчете орбит, получаемых из горизонтальных орбит бифуркацией типа умножение периода на n. В этом алгоритме задается функция нормы разности начальных координат и координат через несколько полуоборотов. Для бифуркаций типа умножение периода на 3 учитывалось положение через 6 полуоборотов. Алгоритм основан на поиске минимума этой функции на множестве, которое является дугой окружности. На каждом шаге центром окружности является точка, найденная на предыдущем шаге, а радиус окружности является постоянным. Дуга окружности, на которой ведется поиск следующей точки, задается двумя углами: углом между двумя радиусами, ограничивающими дугу, и углом, задающим направление поиска, который меняется на каждом шаге.

Исследование бифуркаций

Каждому решению системы дифференциальных уравнений можно сопоставить матрицу перехода $\Phi(t,\ t_0)$, линейно связывающую изменение вектора состояния в начальный $\delta\bar{x}(t_0)$ и какой-то последующий момент времени $\delta\bar{x}(t)$: $\delta\bar{x}(t) = \Phi(t,\ t_0)\delta\bar{x}(t_0)$. Матрица монодромии — это матрица перехода, рассчитанная для момента времени равному минимальному положительному периоду.

По собственным значениям матрицы монодромии – мультипликаторам Флоке, можно определить устойчивость решения и найти точки бифуркаций. Функционал ПО AUTO позволяет рассчитывать для каждого периодического решения мультипликаторы Флоке. Собственные числа с модулем большим единицы представляют неустойчивость решения, собственные числа с модулем меньше единицы представляют устойчивость решения.

Если мультипликаторы Флоке для некоторого решения являются корнями уравнения $\lambda^n = 1$, то в этой точке происходит бифуркация типа умножение периода на n, при которой образуется новое семейство периодических решений [5]. В отличии от работы [1], в которой исследовались только транскритические бифуркации и вилки, будут исследованы бифуркации типа умножение периода на n.

Расчет периодических орбит для системы Солнце-Земля

С помощью AUTO были посчитаны горизонтальные и вертикальные орбиты Ляпунова около точек либрации L_1 и L_2 системы Солнце-Земля (Рис. 1, 2).

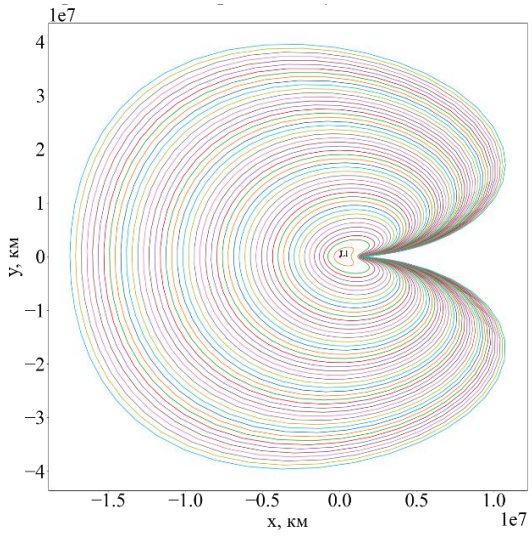


Рис.1. Горизонтальные орбиты Ляпунова вокруг точки либрации L_1 системы Солнце-Земля

Затем с помощью программного модуля Orbipy [8] было проведено прямое численное интегрирование этих орбит методом 8-го порядка. За начальные условия брались точки на орбитах, рассчитанных AUTO, близких к плоскости $y = 0$. Далее орбита интегрировалась на период и считалось расстояние между начальной точкой и конечной. Погрешность для горизонтальных орбит в среднем составляет 0.332% от общего размера орбиты по оси X.

После этого были получены орбиты из семейств аксиальных и гало орбит, как бифуркации горизонтальных орбит Ляпунова (Рис. 3, 4). Обе бифуркации соответствуют типу касательных бифуркаций, то есть пара собственных значений матрицы монодромии, двигаясь по единичной окружности, достигла вещественной оси в точке +1 и продолжила движение по ней.

Погрешность при расчете аксиальных орбит в среднем равна 0.794% от общего размера орбиты по оси X, а при расчете гало орбит эта величина в среднем равна 0.315%.

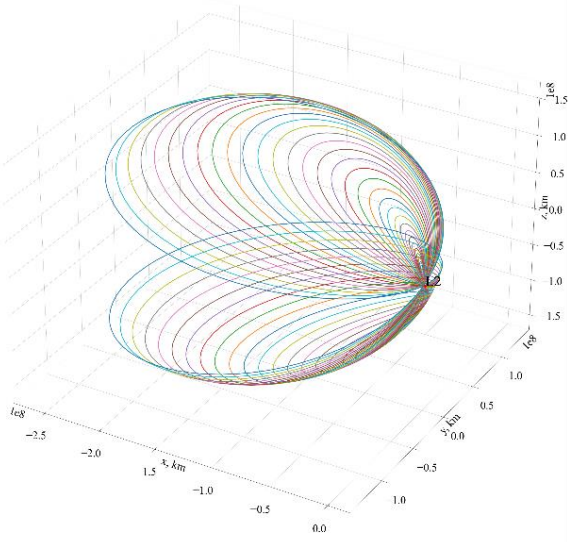


Рис.2. Вертикальные орбиты вокруг точки либрации L_2 системы Солнце-Земля

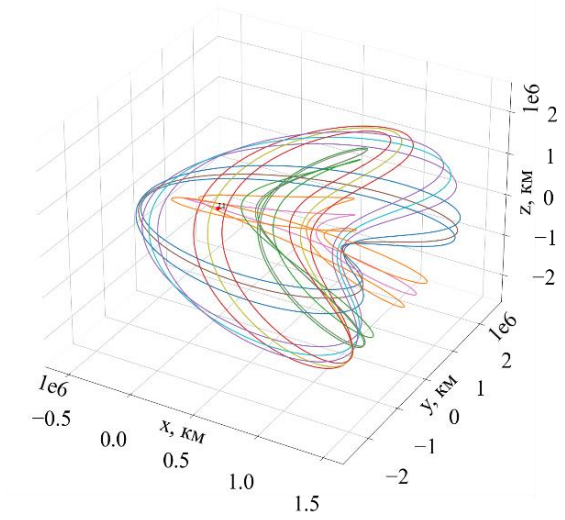


Рис.3. Аксиальные орбиты округ точки либрации L_1 системы Солнце-Земля

Для рассчитанных орбит были найдены точки ортогонального пересечения плоскости XZ и проведено сравнение с аналогичными точками, полученными методом дифференциальных коррекций [6]. Начальные точки совпали с достаточной точностью, а скорость работы AUTO на два порядка выше метода дифференциальных коррекций.

Численным методом, который является модификацией метода разделения плоскостей [9] с использованием поверхности вращения, образованной вращением горизонтальной орбиты Ляпунова, рассчитана часть семейства периодических орбит, являющихся бифуркациями типа умножение периода на 3 из горизонтальных орбит Ляпунова (Рис. 5). Однако этот метод позволил рассчитать только часть семейства, полное семейство планируется рассчитать в дальнейшем с использованием AUTO.

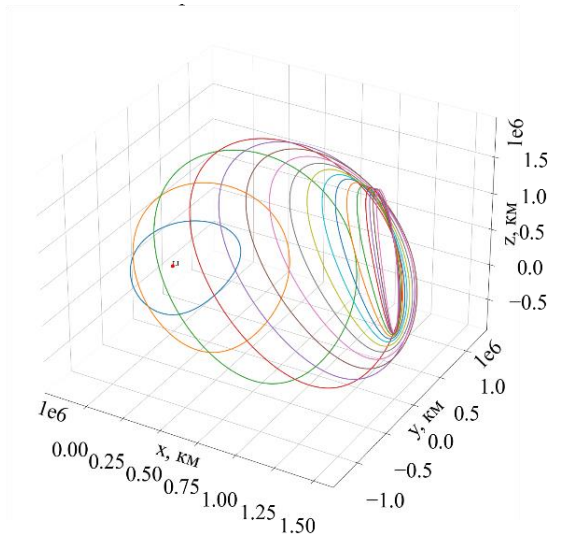


Рис.4. Гало орбиты вокруг точки либрации L_1 системы Солнце-Земля

Заключение

В работе рассчитаны основные семейства периодических орбит для системы Солнце-Земля с использованием полуаналитических методов, реализованных в ПО AUTO. Проведено сравнение полученных орбит с прямым численным интегрированием. Начальные условия в плоскости

XZ совпали с начальными условиями, полученными методом дифференциальных коррекций.

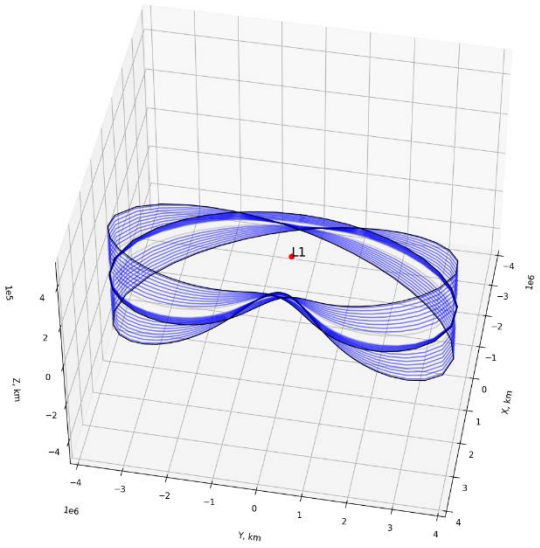


Рис.5. Квазигоризонтальные орбиты около точки L1

В работе рассчитаны орбиты, являющиеся бифуркациями типа умножение периода на 3 из горизонтальных орбит Ляпунова, которые пока не представлены в научной литературе. Следующей задачей является нахождение полуаналитическими методами начальных условий для всего семейства квазигоризонтальных орбит, а также для орбит, являющихся бифуркациями типа умножение периода на n из семейств гало орбит и вертикальных орбит Ляпунова.

Список литературы:

1. Doedel E. J. et al. Elemental periodic orbits associated with the libration points in the circular restricted 3-body problem //International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2007. – Т. 17. – №. 08. – С. 2625-2677.

2. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы / Пер. с англ. под ред. И. И. Шевченко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 588 с. - ISBN 978-5-9221-1121-8.

3. Keller, Herbert B., and KELLER HB. "Numerical solution of bifurcation and nonlinear eigenvalue problems." (1977).

4. De Boor, Carl, and Blâir Swartz. "Collocation at Gaussian points." SIAM Journal on numerical analysis 10.4 (1973): 582-606.

5. Campbell, Eric Thomas. "Bifurcations from families of periodic solutions in the circular restricted problem with application to trajectory design." (2000): 5625-5625.

6. Howell K. C. Three-dimensional, periodic,‘halo’orbits //Celestial mechanics. – 1984. – Т. 32. – №. 1. – С. 53-71

7. AUTO: SOFTWARE FOR CONTINUATION AND BIFURCATION PROBLEMS IN ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS. Дата обращения: 20.02.2021. URL: http://indy.cs.concordia.ca/auto/

8. Bober Stanislav, Aksenov Sergey, & Guskova Mariia. (2020, February 17). OrbiPy (Version 0.2.4). Zenodo. http://doi.org/10.5281/zenodo.4301584

9. Aksenov S. A., Bober S. A. Calculation and Study of Limited Orbits around the L 2 Libration Point of the Sun–Earth System //Cosmic Research. – 2018. – Т. 56. – №. 2. – С. 144-150.

10. Zhang H., Li S. A general method for the generation and extension of collinear libration point orbits //Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. – 2016. – Т. 126. – №. 4. – С. 339-367.

КОМПАКТНЫЕ РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ БЮРГЕРСА, ФКПП

В.А. Гордин[1], А.С. Романов[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]факультет экономических наук,
[2]факультет компьютерных наук,
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Аннотация

Эксперименты проводились на двух важных известных примерах уравнений: ФКПП (нелинейность без производных) и Бюргерса – Бейтмана (нелинейность под первой производной), но разработанный метод применим к широкому классу параболических уравнений со слабой нелинейностью. Введение поправок по компактной схеме приводит к расширению пределов устойчивости для упомянутых явных схем и, как правило, к заметному уменьшению погрешностей решения. Даны рекомендации, какой вариант солвера (например, в зависимости от шагов схемы и коэффициента диффузии) предпочтителен.

Введение

Простейшая модель газо- и гидро-динамики - уравнение Бюргерса, [4]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - D\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial f}{\partial x} \quad (1)$$

где D - коэффициент вязкости. $u = u(t,x)$ - скорость.

Рассматриваются переодические граничные условия $u(t,0) = u(t,2p)\cdot$

Уравнение ФКПП описывает распространение гена [2-3]:

$\frac{\partial u}{\partial t} = D\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \phi(u), D = const > 0, \phi(u) = u(1-u)$ (2)

$u = u(t,x)$ - плотность распределения числа особей с доминантным геном, $x \in R$.

Рассмотрим выход на автомодельное решение волны плотности из начальной функции:

$$u_0(x) = \begin{Bmatrix} 1, x \in [-10,0] \\ cos(x), x \in [0,\pi/2] \\ 0, x \in [\pi/2,10] \end{Bmatrix}$$

Компактная разностная аппроксимация

Аппроксимируются уравнение (2) неявной однослойной схемой

$$\begin{aligned} &a_1 u_{j-1}^{n+1} + b_1 u_j^{n+1} + c_1 u_{j+1}^{n+1} + a_0 u_{j-1}^{n} + b_0 u_j^{n} + c_0 u_{j+1}^{n} = \\ &= p_1 f_{j-1}^{n+1} + q_1 f_j^{n+1} + r_1 f_{j+1}^{n+1} + p_0 f_{j-1}^{n} + q_0 f_j^{n} + r_0 f_{j+1}^{n} \end{aligned} \quad (3)$$

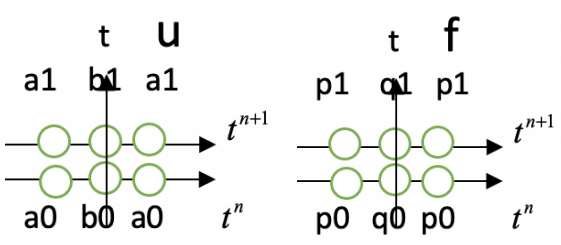


Рис.1. Шаблоны для решения u и правой части f компактной схемы

Для выбора 8 коэффициентов рассмотрим набор тестовых функций $\langle u_\alpha(x), f_\alpha(x)\rangle,\ \alpha = 1,\ldots,7$

Для аппроксимации (1) нужно 11 тестовых функций и 12 коэффициентов. Чтобы решить (1) или (2) численно, используется $M = T/t$ шагов по времени. На каждом

шаге по времени применяется явная схема Адамса – Бэшфорта, Лакса – Вендроффа или Мак-Кормака, а затем компактная «корректировка».

Для решения (3) на каждом шаге по времени вводим малые поправки $\{e_j\}_{j=1}^{N}$ к $\tilde{u}_j^{n+1}$, т.е. $u_j^{n+1} = \tilde{u}_j^{n+1} + \varepsilon_j$ и, пренебрегая квадратами, получаем СЛАУ $A\vec{\varepsilon} = \vec{F}$, где A - трехдиагональная матрица, полученная из (3), $\vec{F}$ - вектор невязок. Затем следующий шаг по явной схеме. Подробнее про компактные схемы [1].

Шаблоны

В качестве тестовых функций для уравнения Бюргерса выбраны мономы:

$x^m t^k, m \le 4, k \le 2, m + k \le 4$ и

$x^{2m} t^k, m \le 2, k \le 2$, для уравнения ФКПП.

В таблице 1 приведен набор тестовых функций для уравнения ФКПП, по которым составлена система из 7 уравнений. Ее решение $a_1 = c_1 = 12\nu - 2, b_1 = -24\nu - 20,\ a_0 = c_0 = 12\nu + 2,\ b_0 = -24\nu + 20, p_0 = p_1 = r_0 = r_1 = -\tau, q_0 = q_1 = -10\tau$.

Таблица 1. Расчет коэффициентов компактной схемы для уравнения ФКПП

№	u	f	Уравнение
1	1	0	$2a_0 + b_0 + 2a_1 + b_1 = 0$
2	t	1	$(2a_1 + b_1)\tau = 2p_0 + q_0 + 2p_1 + q_1$
3	t^2	2t	$(2a_1 + b_1)\tau^2 = 2(2p_1 + q_1)\tau$
4	x^2	-2D	$(2a_0 + 2a_1)h^2 = -2D(2p_0 + q_0 + 2p_1 + q_1)$
5	x^4	-12Dx^2	$(2a_0 + 2a_1)h^4 = -12D(2p_0 + 2p_1)\ h^2$
6	$x^2 t$	$x^2 - 2Dt$	$2a_1 h^2\tau = (2p_0 + 2p_1)\ h^2$-$2D(2p_0 + q_0)\tau$
7	$x^2 t^2$	-$2x^2 t - 2Dt^2$	$2a_1 h^2\tau^2 = 4p_0\ h^2\tau$-$2D\tau^2(2p_0 + q_0)$

Таблица 2. Расчет коэффициентов компактной схемы для уравнения Бюргерса

№	u	f	Уравнение
1	1	0	$a_0 + b_0 + c_0 + a_1 + b_1 + c_1 = 0$
2	0	1	$p_0 + q_0 + r_0 + p_1 + q_1 + r_1 = 0$
3	0	t	$(p_1 + q_1 + r_1)\tau = 0$
4	t	x	$(a_1 + b_1 + c_1)\tau = (r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h$
5	t^2	2tx	$(a_1 + b_1 + c_1)\tau^2 = 2h\tau(r_1 - p_1)$
6	x	0	$(c_0 + c_1 - a_0 - a_1)h = 0$
7	x^2	-2Dx	$(c_0 + c_1 + a_0 + a_1)h^2 = -2D(r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h$
8	x^3	-3Dx^2	$(c_0 + c_1 - a_0 - a_1)h^3 = -3D(r_0 + r_1 + p_0 + p_1)h^2$
9	tx	$x^2/2$	$(c_1 - a_1)\tau h = (r_0 + r_1 + p_0 + p_1)h^2/2$
10	tx^2	x^3/3-2Dtx	$(c_1 + a_1)h^2 = (r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h^3/3 - 2Dh\tau(r_1 - p_1)$
11	xt^2	tx^2	$(c_1 - a_1)h\tau^2 = \tau h^2(r_1 + p_1)$

Численные эксперименты

Оценим порядок точности компактной схемы для уравнения Бюргерса в зависимости от N. Начальные значения $u(0,x) = \sin(x),\ x \in [0, 2\pi]$Сначала вычислялось эталонное решение u_{etal} на мелкой сетке при $N = 400, M = 4096, D = 0.06$.

($N = 400, M = 4096, D = 1$ для ФКПП). Затем для грубых разрешений N_i вычислялись решения u_i. Далее u_{etal} и u_i ограничиваются на грубую сетку ($N = 25, M = 16$), и вычислялась погрешность $err_i = \left\| u_{etal} - u_i \right\|$. Рассматривалась С-норма. График $error(N)$ в билогарифмической шкале – почти прямая, а ее тангенс угла наклона прямой равен порядку схемы.

На Рис. 2. Приведены графики в зависимости от N для уравнения Бюргерса [1]. Графики приведены нелинейной функции f: $f = -u^2/2$

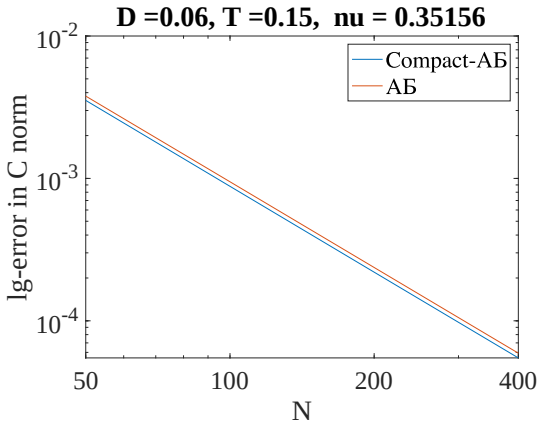


Рис.2. Графики погрешности разностной схемы в норме С *для Бюргерса (красная - по схеме АБ, синяя – ее компактная поправка) в зависимости от числа точек сетки N. Здесь D=0.06, π=0.351, N = 50, M = 64*

(График построен по сетке: N увеличивается в 2 раза, M увеличивается в 4. До N = 400, M = 4096).

Из Рис.2 видно, что порядок схемы в норме **C** примерно 2-й. Компактная схема лучше явной.

На Рис. 3. Приведены графики погрешности в норме **C** в зависимости от *N* для уравнения ФКПП.

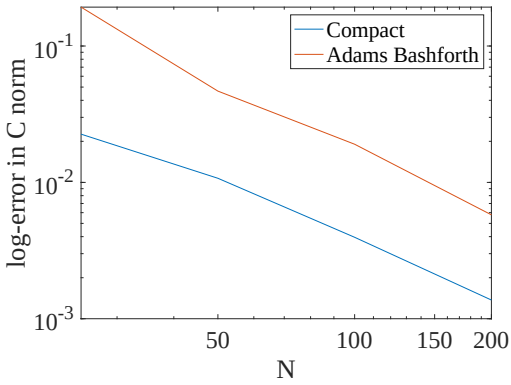


Рис.3. Графики погрешности разностной схемы для ФКПП по схеме АБ (красная линия и ее компактной модификации – синяя). в зависимости от N .D=1, π=0.488, N=50, M = 64.(График построен по сетке:. N увеличивается в 2 раза, M увеличивается в 4. До N = 400, M = 4096).

На рис. 4 приведен график в зависимости от N уравнения Бюргерса для схемы Мак-Кормака.

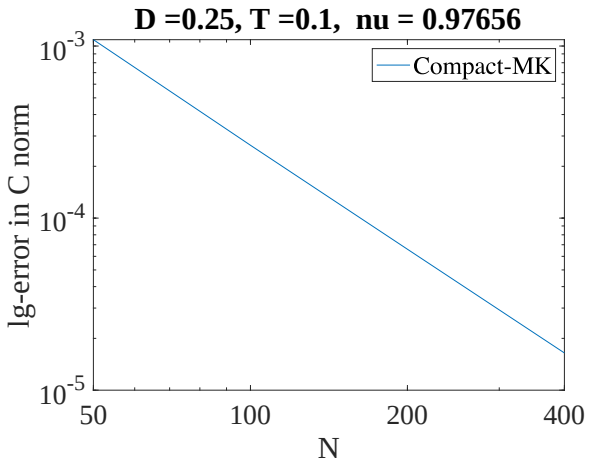


Рис.4. Графики погрешности разностной схемы для Бюргерса по схеме Мак-Кормака (красная линия и ее компактной модификации – синяя). в зависимости от N *.D=0.25,* t=0.1/M, *N=50, M = 64.(График построен по сетке:.N увеличивается в 2 раза, M увеличивается в 4. До N = 400, M = 4096).*

Из графика 4 видно, что порядок схемы в норме **C** примерно 4. Классическая схема для этих входных параметров неустойчива.

Заключение

Разработаны компактные схемы для решения задач Бюргерса, ФКПП для уравнений (1, 2), существенно повышающие точность классических явных схем.

Работа подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2020 — 2021 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Список литературы:

1. Дж. Уизем. Линейные и нелинейные волны, с 99-100, 1977.

2. R. A. Fisher, “The wave of advance of advantageous genes,” Annals of eugenics, vol. 7, no. 4, pp. 355-369, 1937.

3. A. Kolmogorov, I. Petrovskii, and N. Piscunov, “A study of the equation of diffusion with increase in the equality of matter, and its application to a biological problem,” Byul. Moskovskogo Gos. Univ., vol. 1, no. 6, pp. 1-25, 1937.

4. Гордин В. А. Компактные разностные схемы для аппроксимации дифференциальных соотношений. Матем. Моделирование. 2019, т.31 (7), СС.58-74.

КОМПАКТНАЯ РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ

В.А. Гордин, Д.А. Шадрин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет экономических наук, факультет математики, ФГБУ «Гидрометцентр России»

Аннотация

Построена компактная схема 3-го порядка для 2-мерной задачи Дирихле для уравнений Пуассона и Гельмгольца с разрывным коэффициентом. Линия скачка коэффициента содержит углы, где компактная аппроксимация использует обобщенные собственные функции дифференциального оператора.

Введение

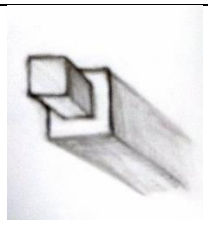
В технике, геофизике (см. [3, 5]) часто используют уравнения вида

$$div(\vartheta(x,y)grad(u(x,y))) = f(x,y) \quad (1)$$

$$div(\vartheta(x,y)grad(u(x,y))) + \rho u(x,y) = f(x,y) \quad (2)$$

где коэффициенты ϑ, ρ разрывны на кусочно-гладкой линии Γ, ρ может быть комплексным.

Рис.1 →



Решаем 2D краевую задачу для (1) или (2) в области Ω - квадрате $[0,\pi]\times[0,\pi]$, разделенном линией Γ на две подобласти Ω_1, Ω_2 (см. Рис.1, 2), коэффициент ϑ постоянен в каждой.

На линии стыка Γ ставятся условия Кирхгофа:

$[u]=0$ (3a), $[\vartheta\partial_n u]=0$ (3b).

Здесь [ ] – скачок функции в точках Γ, ∂_n - производная по нормали к Γ.

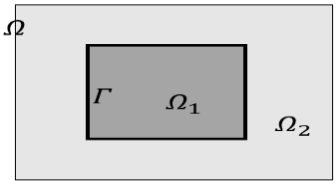


Рис.2. Область Ω *разделена линией* Γ *на однородные подобласти* Ω_1, Ω_2.

Компактная аппроксимация. Квадрат Ω разбит равномерной сеткой на $(N+1)^2$ узлов (шаг сетки $h=\pi/N$). В каждом узле с координатами (*i, j*) подбираем пару разностных операторов P_{ij} и T_{ij}, аппроксимирующих с 4-м порядком точности, т.е. $P_{ij}(\vec{U}) = T_{ij}(\vec{F}) + o(h^4)$. Здесь $\vec{U}$, $\vec{F}$ - векторы со значениями решения *u* и правой части *f* в узлах сетки. Операторы P_{ij} и T_{ij} имеют нулевые коэффициенты везде, кроме конечного числа узлов (на шаблонах операторов). Коэф-

фициенты P_{ij} и T_{ij} определяются на тестовых функциях (u_k, f_k) условиями: $P_{ij}(u_k) = T_{ij}(f_k)$, *для* $\forall k \le K$, где $f_k = L[u_k]$, L - дифф. оператор из (1) или (2). После определения операторов P_{ij} и T_{ij} «локальных» СЛАУ порядка *K*+1 для всех узлов (*i*, *j*), включая Γ, составляем "глобальную" СЛАУ для вектора $\vec{U}$:

$$A\vec{U} = B\vec{F} \quad . \qquad (4)$$

Строки матрицы *A* отвечают узлам сетки и состоят из коэффициентов операторов P_{ij}, строки *B* – из коэффициентов T_{ij}. Подробнее про компактные схемы см. [1, 2].

Удалось добиться слабой зависимости числа обусловленности матрицы A от амплитуды скачка ϑ. Спектр A строго положителен, число обусловленности растет как N^2, что согласуется с теорией в случае постоянного ϑ, [4].

Аппроксимация в точках, далеких от Γ.

В точках, не соседствующих с Γ, решение *u* – аналитическая функция в окрестности шаблона. Тестовые функции – мономы степени ≤ 4. Использовались шаблоны типа "квадрат" -"крест" (см. Рис.3), дающие 4-й порядок точности для задачи с кусочно-гладкой границей.

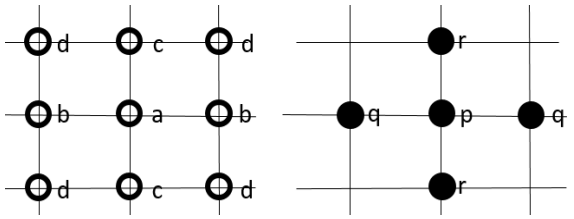


Рис.3. Шаблон типа квадрат-крест для внутренних точек (в центре шаблона). Слева шаблон для решения u, справа – для правой части f.

Аппроксимация в узлах на гладких участках Γ

На Γ решение *u* – кусочно-аналитическая функция, удовлетворяющая условиям 3 (а,б), а в качестве тестовых функций возьмем мономы вида:

$x^\alpha y^\beta (sign(x))^\varepsilon \quad \alpha \ge 2,\ \varepsilon \in \{0,1\},\ \alpha + \beta \le 4,$ и также: $xy^\beta / \vartheta(x)$ *при* $\beta \le 3$ *и* y^β *при* $\beta \le 4$

Правая часть *f* – разрывна на Γ, и определены только её левые и правые пределы. На Рис.4 шаблон для узлов на гладких участках Γ. Для правой части *f* используем 2 коэффициента на Γ.

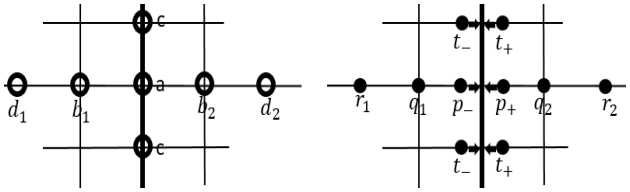


Рис.4. Шаблоны для u и f в узле на вертикальном участке Γ. Линия скачка Γ жирная. Веса для правой части на Γ - двойные

Аппроксимация в угловых узлах

В углах решение *u* раскладывается по обобщенным собственным функциям $L[\tilde{u}] = \lambda \vartheta \tilde{u}$. Шаблон для угла показан на Рис.5.

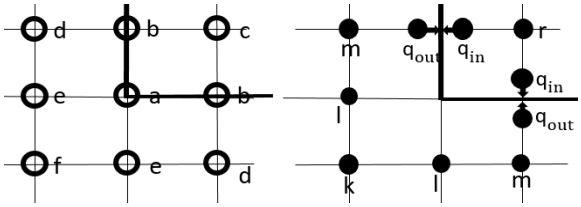


Рис.5. Шаблоны для левого нижнего угла Γ. В самом угле правая часть не определена, поэтому там нулевой коэффициент

Аппроксимация в узлах около угла

Для высокого порядка разностной схемы подобраны специальные шаблоны в точках, соседствующих с углом, и используются смешанные наборы тестовых функций (мономы и обобщенные собственные). Применение в таких точках обычных шаблонов Рис. 3, 4 дает максимум 2-й порядок.

Численные эксперименты

Оценен порядок точности компактной схемы в зависимости от числа узлов N. Сначала вычисляем эталонное решение U_{fin} на мелкой сетке при $N_{fin} = 1024$. Затем для грубых разрешений N_i вычислим решения U_i. Далее U_{fin} и U_i ограничиваются на грубую сетку ($N_c = 16$) и вычисляется погрешность $err_i = \|U_{fin} - U_i\|$. Рассматривались L_2 - норма и С-норма. График $err(N)$ в билогарифмической шкале – почти прямая, а тангенс угла наклона прямой равен порядку схемы. Ограничение решения на грубую сетку (N_c) для С-нормы существенно, так как около точки угла $|U_{fin} - U_i|$ убывает с ростом N медленно, это схоже с явлением Уилбрахама - Гиббса.

На Рис. 6. графики погрешности в обоих нормах в зависимости от N для уравнения Пуассона (1) для

$$f = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Omega_1 \\ 2 & (x,y) \in \Omega_2 \end{cases}, \vartheta = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Omega_1 \\ 10000 & (x,y) \in \Omega_2 \end{cases}.$$

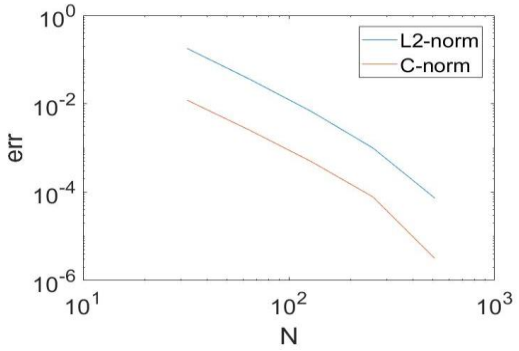


Рис.6. Графики погрешности разностной схемы в зависимости от N. Порядок схемы примерно 3-й

Заключение

Разработан численный алгоритм решения краевых задач для уравнений (1, 2) в случае негладкой линии скачка коэффициента Γ. Получен 3-й порядок точности схемы, в то время как большая часть лучших известных численных методов (если порядок можно оценить) для подобных задач дает примерно 2-й.

Работа подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2020 — 2021 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Список литературы:

1. Гордин В.А., Цымбалов Е.А. Компактная разностная схема для дифференциального уравнения с кусочно-постоянным коэффициентом. Матем. моделирование. 2017, т.29 (12), СС.16-28.

2. Гордин В.А. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики – 2-е изд.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 628с.

3. В. М. Бабич, Скин-эффект в случае провода произвольного поперечного сечения, Зап. Научн. сем. ЛОМИ, (1983), том 128, 13–20.

4. А. А. Самарский Е. С. Николаев, Методы решения сеточных уравнений. «Наука*, М., (1978)

5. Phys. 351, Supplement C, 80–107. Scheck M., Bayer U. (1999) Evolution of the Northeast German Basin – inferences from a 3D structural model and subsidence analysis, Tectonophysics 3, 3, 145–169.

ОПТИМАЛЬНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ПОЛЕЙ ПРИЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАСШИРЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ф.Л. Быков
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Аннотация

Оптимальная интерполяция (ОИ), [1], широко применяется в математической метеорологии, используя оценку корреляционной функции (КФ) интерполируемого поля в области $\Omega \subset \mathbb{R}^2$. Задача оценки КФ, как правило, решается в предположении об однородности и изотропности случайного поля, но реальные метеорологические поля не однородны и анизотропны. Из теоремы Мерсера [2] следует, что для любого случайного поля существует выравнивающее отображение из Ω в бесконечномерное гильбертово пространство *H*, в котором случайное поле однородно и изотропно. Для аппроксимации выравнивающего отображения для приземных метеополей применены нейронные сети.

Введение. Интерполяция метеорологических полей из точек наблюдения в точки регулярной сетки одна из важнейших в прогнозе погоды, см. [1, 4, 5]. Интерполируем в точку $\vec{y} \in \Omega$. скалярное поле $X(\vec{x})$, значения которого известны на множестве точек $\{\vec{x}_i | i = 1...N\} \subset \Omega \subset \mathbf{R}^2$. Рассмотрим линейную интерполяционную формулу:

$$\hat{X}(\vec{y}) = \sum_{i \in I} w(\vec{x}_i, \vec{y}) \left[X(\vec{x}_i) - b(\vec{x}_i, \vec{y}) \right], \quad (1)$$

где $\hat{X}(\vec{y})$ – результат интерполяции; *w* – интерполяционные веса; *b* – интерполяционные смещения. Минимизируем среднюю по *i* ошибку интерполяции (1) в пропущенную *i*-ю точку, т.е.

$$L(w,b) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} e\left(\hat{X}_i(\vec{x}_i, w, b), X(\vec{x}_i) \right) \to \min_{w,b}, \quad (2)$$

где e – функция потерь (штрафная функция); $\hat{X}_i(\vec{x}_i)$ – результат применения интерполяции без учета значения $X(\vec{x}_i)$, т.е. при нулевом весе $w(\vec{x}_i, \vec{x}_i) = 0$.

Если известны средние $\mu(\vec{x})$, дисперсии $\sigma^2(\vec{x})$ и КФ $K(\vec{x}, \vec{y})$ случайного поля $X(\vec{x})$, то ОИ обеспечивает, [1], минимум среднеквадратической погрешности интерполяции (2) среди всех линейных формул (1). Вектор весов $\vec{w}$ ОИ и смещения *b* можно найти из формул многомерной линейной регрессии:

$$\begin{aligned} b(\vec{x}_i, \vec{y}) &= \mu(\vec{y}) - \mu(\vec{x}_j), \\ \vec{w}(\{\vec{x}\}, \vec{y}) &= \sigma^{-1}(\{\vec{x}\}) \circ K(\{\vec{x}\}, \{\vec{x}\})^{-1} K(\{\vec{x}\}, \vec{y}) \circ \sigma(\vec{y}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $K(\{\vec{x}\}, \{\vec{x}\})$ – корреляционная матрица значений поля *X* в точках множества $\{\vec{x}_i\}$; $\sigma^{-1}(\{\vec{x}\})$ – столбец, состоящий из чисел, обратных к $\sigma(\vec{x}_i)$. Необходимо оценить НКФ *K*, средние μ и дисперсии σ^2.

Выравнивающее отображение

Из теоремы Мерсера [2] следует, что если $K(\vec{x}, \vec{y})$ – КФ случайного поля $X(\vec{x})$, то существует выравнивающее отображение $g: \Omega \to H$ в гильбертово пространство *H*, которое переводит поле $X(\vec{x})$ в однородное и изотропное полена *H* с КФ:

$$K(\vec{x}, \vec{y}) = K\left(\left| g(\vec{x}) - g(\vec{y}) \right| \right) = K(r).$$

Мы не можем заранее определить размерность пространства *H*. Согласно второй теореме Шёнберга, [3], непрерывная функция $K(r)$, $r \in [0, +\infty)$ является КФ во всех пространствах $\mathbb{R}^d, d \in \mathbb{N}$ тогда и только тогда, когда она представима в виде

$$K(r) = \int_0^{+\infty} \exp\left(-r^2 t^2\right) d\xi(t), \quad (4)$$

где $\xi(t)$ – некоторая вероятностная мера.

Постановка задачи оптимизации

Причины неоднородности и анизотропности реальных атмосферных полей могут быть как внешние: неоднородность подстилающей поверхности Земли, космического излучения, так и внутренними (атмосферные фронты, ударные волны). При этом многие из причин и их влияние непостоянно: например, влияние орографии зависит от направления ветра, а положение Солнца и фронтов меняется. Оценить совместное влияние различных причин сложно. Допустим нам известен набор параметров $\gamma(\vec{x}, t)$, влияющих на неоднородность интерполируемого поля.

Будем оценивать средние $\mu(\vec{x}, t)$ и стандартные отклонения $\sigma(\vec{x}, t)$ нейронными сетями от γ. Выравнивающее отображение $g: \Omega \to H$ приблизим отображением в расширенное пространство $g: \Omega \to \hat{H} = \Omega \times \mathbb{R}^d$ в виде

графика некоторой нейронной сети ϖ от параметров $\gamma(\vec{x},t)$:

$$g(\vec{x},t)=\left(\vec{x},\varpi\left(\gamma(\vec{x},t)\right)\right).$$

КФ в пространстве $\hat{H}$ будем искать среди четырехпараметрического семейства функций из (4):

$$K(r,\vec{\upsilon})=\varepsilon I_0(r)+(1-\varepsilon)\left[\beta\exp\left(-r^2/2R_2^2\right)+\right.$$
$$\left.+(1-\beta)(1+r/R_1)\exp(-r/R_1)\right] \quad (5)$$

где $\vec{\upsilon}=(\varepsilon,\beta,R_1,R_2)$ – вектор параметров семейства КФ; $R_1,R_2>0$ – радиусы корреляции; $0\le\varepsilon,\beta\le1$; $I_0(r)$ – индикатор 0 (КФ белого шума). При оптимизации использовались начальные значения параметров: $\varepsilon=1/3,\beta=0.8$, $R_1=100км,R_2=200км$.

Минимизацию погрешности интерполяции (2) будем осуществлять напрямую:

$$L(\vec{\theta},\vec{\upsilon})=L\left(\hat{X}\left(\varpi(\vec{\theta}),\mu(\vec{\theta}),\sigma(\vec{\theta}),\vec{\upsilon}\right)\right)\to\min_{\vec{\theta},\vec{\upsilon}},$$

где $\vec{\theta}$ – оптимизируемые параметры нейронных сетей ϖ, μ, σ; $\vec{\upsilon}$ – оптимизируемые параметры семейства (5).

Численные эксперименты

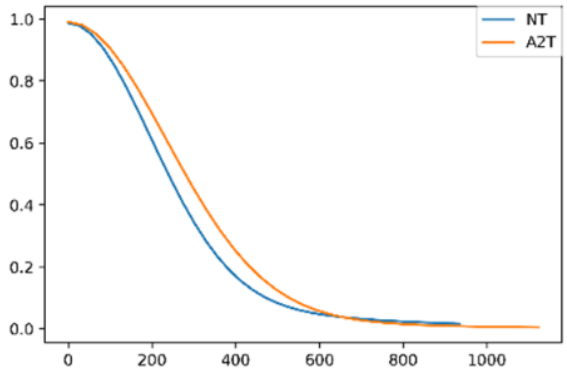
Рассматривались параметры $X(\vec{x},t)$, измеряемые на метеостанциях: 1. температура воздуха на высоте 2м T2m; 2. высота снежного покрова SD; 3. запасы продуктивной влаги в верхнем 20см слое почвы W20. Особенности конфигураций метода для интерполяции различных параметров приведены в таблице. Для T2m и W20 интерполировались отклонения от первых приближений: прогнозов модели COSMO-Ru [4] и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) прибором ASCAT соответственно.

Таблица. Конфигурации для различных метеорологических параметров

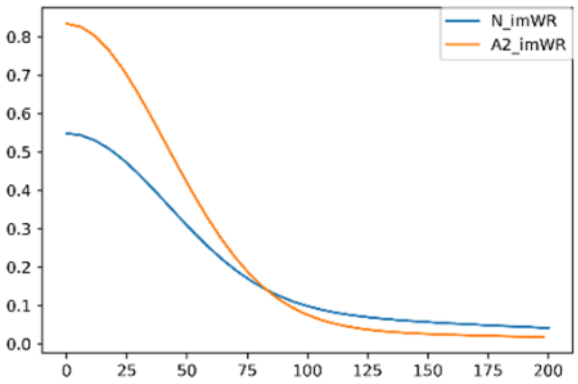
	T2m	SD	W20
dim γ	4	4	5
Размерность d	0 или 2	0 или 2	0 или 2
Первое приближение	COSMO-Ru [4]	-	ДЗЗ ASCAT
μ – нейронная сеть (НС)	НС	$\mu\equiv0$	$\mu\equiv0$
σ – НС	$\sigma\equiv1$	НС	$\sigma\equiv1$
RMSE тест d=0	0.61^{O}C	10.2см	9.5мм
RMSE тест d=2	0.30^{O}C	8.8см	9.2мм

Использовались следующие параметры $\gamma(\vec{x},t)$, влияющие на неоднородность: 1. высота поверхности Земли над уровнем моря; 2. синус и косинус юлианского дня $\sin(2\pi t/365)$, $\cos(2\pi t/365)$; 3. высота Солнца над горизонтом; 4. первое приближение (только для T2m и W20). Все нейронные сети представляли собой двухслойный персептрон с 32 нейронами на скрытом слое и функцией активации ReLU.

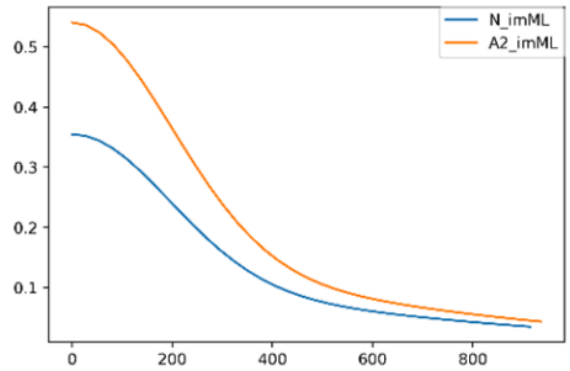
На Рис. приведены найденные оптимальные НКФ при d=2 дополнительных размерностях (оранжевые линии) и при d=0, то есть в предположении однородности и изотропности исходного поля ($g(\vec{x})=\vec{x}$, синие линии). Кроме случая T2m предел $1-\varepsilon=\lim_{r\to0}K(r)$ существенно меньше при d=0, т.е. при d=2 коэффициент ε, стоящий в (5) при НКФ белого шума $I_0(r)$, существенно меньше. Таким образом выравнивающее отображение помогает объяснить большую часть вариации полей SD и W20.



а



б



в

Рис. Нормированные КФ в зависимости от расстояния r (км) в расширенном пространстве при d=2 дополнительных размерностях (оранжевые линии) и при d=0, т.е. в предположении однородности и изотропности исходного поля (синие линии): а. для T2м; б. для SD; в. для W20

В случае T2m предложенный подход позволил уменьшить погрешность интерполяции вдвое при близкой КФ: выравнивающее отображение помогает отделить метеостанции, информативные для данного узла сетки от неинформативных.

В таблице приведены среднеквадратические погрешности RMSE на независимой выборке при $d=2$ и при $d=0$. Следует ожидать, что после учета дополнительных полей, влияющих на неоднородность, выигрыш еще увеличится.

Выводы. Предложен новый подход к построению алгоритма оптимальной интерполяции неоднородных анизотропных случайных полей, неоднородность которых зависит от некоторых известных полей. Показано, что предложенный подход позволяет объяснить существенно большую часть вариации рассмотренных полей и заметно увеличить точность их интерполяции.

Список литературы:

1. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей // Гидрометеоиздат – 1963.

2. Mercer J. Functions of positive and negative type and their connection with the theory of integral equations // Philosophical Transactions of the Royal Society A – 1909 – 441-458:209 – p. 415-446.

2. Schoenberg I.J. Metric spaces and completely monotone functions // Ann. Math – 1938 – vol. 39 – p. 811-841.

3. Ривин Г.С. и др. Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: второй этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. 2015, № 6. с. 58-70.

4. Быков Ф.Л., Василенко Е.В., Гордин В.А., Тарасова Л.Л. Статистическая структура поля влажности верхнего слоя почвы по данным наземных и спутниковых наблюдений. Метеорология и гидрология, 2017, №6, с. 68-84.

5. А.Н. Багров, Ф. Л. Быков, В. А. Гордин. Схема оперативного краткосрочного комплексного прогноза приземной температуры и влажности воздуха. Метеорология и гидрология. 2018, №8, с.5-18

Работа подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2020 — 2021 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

ПОПУЛЯЦИЯ КООПЕРАТОРОВ В АСИНХРОННОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ИГРЕ

Б.Д. Зиннуров
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Социальные дилеммы основаны на столкновении индивидуумов, в которых они вынуждены выбрать что лучше для них, а что лучше для общества. Подобные задачи рассматриваются в рамках общепринятой теории эволюционных игр, и изучение популяции кооператоров является одним из основных способов исследования [1, 2]. Умение сотрудничать, ключевая особенность кооператоров, помогает им перевесить потери против дефекторов.

Введение

Наибольшее внимание получила дилемма заключённого. Перед двумя игроками стоит выбор – принять роль кооператора или дефектора. Суть неоднозначности решения в том, что взаимная кооперация, сотрудничество, позволит обоим получить наибольший суммарный выигрыш, когда как выбор дефектора - получить наибольший индивидуальный выигрыш, но только в том случае, когда второй игрок выбрал кооператора.

Расширив охват проблемы до размеров популяции, мы получаем задачу о жизнеспособности этой популяции и в частности, жизнеспособности кооператоров как главной её составляющей. Внесение модификаций в получившуюся систему призвано лучше понять природу сотрудничества, и в контексте этой глобальной цели мы вводим асинхронность ходов [3, 6].

Модель

Мы проводим игру на квадратной решётке с периодическими граничными условиями с N агентами, расположенными на узлах этой решётки. В начале каждый агент с равной вероятностью выбирает стратегию кооператора C или дефектора D. Кооператоры в игре друг с другом получают выигрыш 1; дефектор в игре с кооператором получает выигрыш $b > 1$, кооператор получает 0; дефекторы при игре друг с другом получают 0.

Мы симулируем процесс эволюции, используя метод Монте-Карло. Элементарный шаг состоит из трёх пунктов. Первое, случайно выбирается игрок x, который получает Π_x как сумму выигрышей в игре с собой и с восемью соседями вокруг себя. Второе, x случайно выбирает одного из своих соседей y, который по таким же правилам получает Π_y. Третье, если $\Pi_y > \Pi_x$, игрок x берёт стратегию y.

Один шаг метода включает в себя N элементарных шагов, описанных выше, которые выполняются последовательно друг за другом. Таким образом, каждый агент получает шанс сыграть и поменять стратегию. Рассматриваются результаты после достижения системы стационарного состояния, которое характеризуется неизменной во времени численностью кооператоров. Для получения этого состояния мы проводим отжиг величиной в $2 \cdot 10^4$ шагов Монте-Карло и усредняем полученные данные по 50 независимым реализациям игры.

Результаты

Работы, посвящённые иным модификациям игры показали, что численность кооператоров может быть одна и та же при различных значениях параметра выигрыша b. Такое происходит, когда эти значения находятся в одном интервале, называемом режимом игры [7, 8]. Внутри одного режима система ведёт себя одинаково, когда как при разных режимах, как правило, имеют место отличия не только в численности кооператоров, но и в картине игрового поля. Численность кооператоров, нормированная на численность всей популяции, называется плотностью. Изменение плотности для нашей модификации мы демонстрируем на рис.1.

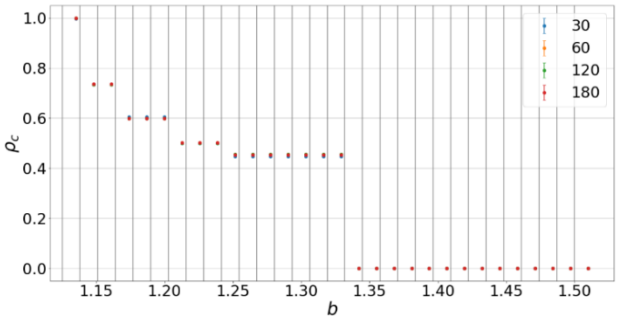


Рис.1. График зависимости плотности кооператоров от значения параметра выигрыша b. Измерения велись для решёток размером 30×30, 60×60, 120×120 и 180×180

Мы обнаруживаем наличие шести режимов игры, причём накладывание графиков для решёток разных размеров помогает нам предположить, что поведение системы качественно не зависит от размера популяции. Отличием от предыдущих работ [7, 8] является смещение режимов в стороны меньших значений параметра выигрыша – уже в районе $b \approx 1.33$ виден стремительный спад численности кооператоров вплоть до полного вымирания. Для более детального анализа зависимости плотности кооператоров от размера решётки рассматриваются соответствующие графики для каждого из режимов игры. Некоторые из них представлены на рис.2.

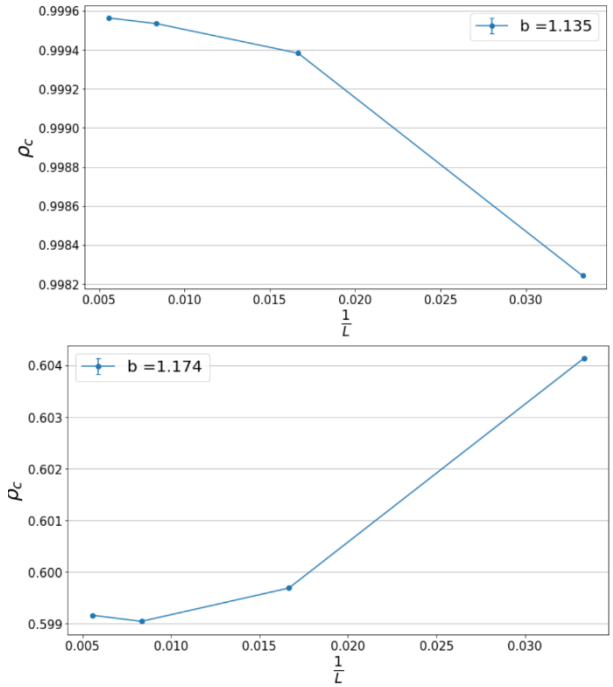


Рис.2. Графики зависимости плотности кооператоров от величины, обратной размеру решётки для первого (верхняя панель) и третьего режимов (нижняя панель). Точки на графике соответствуют размерам решётки слева направо: 180×180, 120×120, 60×60, 30×30

Наблюдение за плотностью кооператоров в каждом из режимов даёт нам право сказать, что для достижения менее зависимых от размера самой решётки результатов, дальнейшие вычисления стоит проводить между *60×60* и *120×120*, где кривая плотности сглаживается.

Заключение

Игра с асинхронными ходами, модификация, которая стала изучаться сравнительно недавно [3, 4], привносит свои правила, сложности в выживании популяции кооператоров. Эту модель отличает бóльшая реалистичность, и её изучение будет продолжено.

Список литературы:

1. Nowak M. Evolutionary Dynamics // Harvard University Press, Cambridge, MA, 2006.
2. Nowak M., May R. Evolutionary games and spatial chaos // Nature, 1992. – N.359. P.826
3. Wang Z., Szolnoki A. and Perc M. Different perceptions of social dilemmas: Evolutionary multigames in structured populations // Phys. Rev. E, 2014. – Vol.90. 032813.
4. Wu Z.-X. and Rong Z. Boosting cooperation by involving extortion in spatial Prisoner's dilemma // Phys. Rev. E, 2014. – Vol.90. 062102.
5. Szolnoki A. and Chen X. Environmental feedback drives cooperation in spatial social dilemmas // EPL, 2017. – Vol.120. 58001
6. Yang H.-X. and Yang J. Cooperation percolation in spatial evolutionary games // EPL, 2018. – Vol.124. 60005
7. Kolotev S., Malyutin A., Burovski E., Krashakov S., Shchur L. Dynamic fractals in spatial evolutionary games // Physica A, 2018. – Vol.499. P.142-147
8. Burovski E., Malyutin A., Shchur L. On the geometric structures in evolutionary games on square and triangular lattices // Journal of Physics: Conference Series, 2019. – Vol. 1290. No. 012027. P. 1-6.

ОБОБЩЕННАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ И МОДЕЛЬ SARIMA ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19

М.А. Головкин, М.В. Платонов, А.В. Ясафов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе построена математическая модель распространения инфекции COVID-19 на основе обобщенной логистической кривой и авторегрессионной модели SARIMA.

Введение

Возникшая чуть более года назад эпидемия COVID-19, вызвала появление огромного числа работ, в которых исследователи предлагают различные подходы к описанию процесса распространения вируса и разрабатывают модели, способные прогнозировать качественное поведение процесса ([1]-[8]). Для моделирования эпидемии широко применяются как стандартные эпидемиологические модели (SIR, SEIR) [1], так и их различные модификации [2], [4]. Применение моделей временных рядов позволяют выявить закономерности, скрытые периодичности и прогнозировать моменты появления пиков эпидемии. Однако, очевидны и возникающие проблемы, а именно, неполная статистика, воздействие непредсказуемых (неслучайных) факторов часто оказывают влияние на качество модели и точность прогноза. В [3] построена статистическая модель для краткосрочного прогноза эпидемии COVID-19. Модель предсказывает два основных показателя: кумулятивное число зараженных и смертность. В [5] для описания динамики распространения вируса применяются модели байесовских структурных временных рядов (BSTS). В [6] проводится сравнительный анализ возможностей прогнозирования эпидемии пяти самых популярных алгоритмов глубокого машинного обучения, выявлены преимущества алгоритма Variational autoencoders (VAE).

Основной задачей нашего исследования является построение модели предсказания распространения инфекции с помощью выделения тренда по числу зараженных на основе обобщенной логистической кривой и применение модели SARIMA для случайной составляющей временного ряда.

1. Построение модели для накопленного (кумулятивного) числа зараженных

В данной работе мы используем официальные данные по распространению коронавирусной инфекции COVID-19 для Москвы [9].

1.1. Выделение тренда.

Для выявления детерминированной составляющей временного ряда суммарного числа заболевших будем использовать обобщенную логистическую кривую вида [10]-[11]:

$N(t)=K[1+ae-ar(t-\tau)]-1a,$

где $N(t)$ – суммарное число зарегистрированных случаев к моменту t, r – внутренняя скорость роста, K – финальный размер эпидемии, a – показатель асимптоты максимального роста, τ - поворотный момент заболевания (момент, когда прирост числа заболевших в день максимальный). Преимуществом обобщенной логистической кривой перед классической [12], является большая гибкость, возможность аппроксимировать несимметричные кривые.

В данной работе проведена оценка параметров обобщенной логистической кривой по числу, заболевших в городе Москва во вторую волну эпидемии COVID-19 (с 01.09.2020 до 14.11.2020). Оценка параметров производилась при помощи методов компьютерного моделирования. Применяя метод наименьших квадратов, мы получили следующие оценки параметров обобщенной логистической кривой: r = 5.847, K = 611200, a = 0.004326, τ = 72. Смысл значения параметров состоит в следующем: оценка суммарного числа выявленных зараженных во вторую волну (параметр K) -- порядка 6·10^5, оценка пика заболеваемости во второй волне -- примерно 70-ый день (параметр τ). Согласно фактическим данным, общее число зараженных во вторую волну эпидемии равняется 7·10^5, а максимальный прирост заболевших отмечается в районе 85 дня. Ошибку предсказания можно объяснить тем, что на пике эпидемии показатель ежедневного прироста заболевших менялся незначительно. На рис.1 представлена соответствующая обобщенная логистическая кривая для полученных значений параметров. Используя полученные значения параметров, построим обобщенную логистическую кривую на 30 дней вперед. Полученные в модели значения рассматриваются в качестве прогноза числа заболевших в Москве с 15.11.2020 по 14.12.2020 (Рис.2).

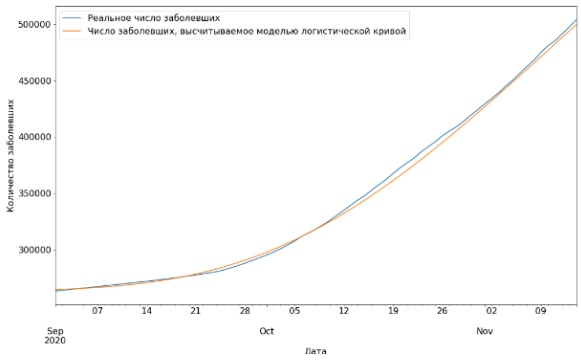


Рис.1. Суммарное число заболевших от начала 2-ой волны эпидемии (с 01.09.20 до 14.11.20) для Москвы. Среднеквадратическая ошибка: RMSE=4799 Коэффициент детерминации: 0.99827

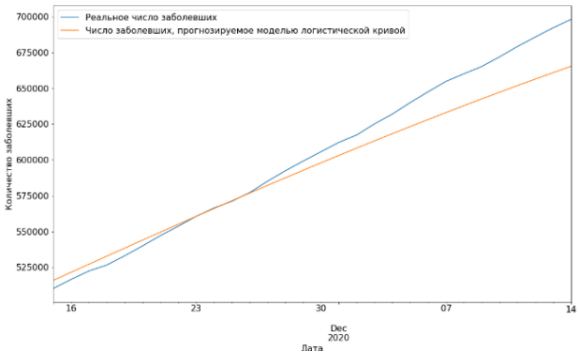


Рис.2. График фактического числа зараженных и график обобщенной логистической кривой (прогноз суммарного числа заболевших от начала 2-ой волны эпидемии (с 15.11.2020 по 14.12.2020). Среднеквадратическая ошибка: RMSE = 15464

Полученные результаты (около 7% ошибки при прогнозировании на 30 дней и менее 3% при прогнозировании на 15 дней) показывают, что обобщенную логистическую кривую можно использовать в качестве детерминированной составляющей (тренда) временного ряда.

1.2. Модель SARIMA

Логистическая кривая позволяет построить тренд временного ряда для общего количества зараженных. Проанализируем получаемые при этом остатки $y(t)=Nf\ (t)-N(t)$ -- разность между фактическими данными и значениями построенной обобщенной логистической кривой. Рисунок 3 показывает, что данные остатки не похожи на реализацию независимых одинаково распределенных случайных величин, т.е. в остатках содержится полезная информация, которую можно использовать для улучшения прогноза. Применим регрессионную модель SARIMA [13]-[16]. Рассмотрим основные этапы построения модели SARIMA:

1.2.1. Подготовка данных

Подготовка данных заключалась в формировании временного ряда остатков $y(t)$ и его предварительном анализе.

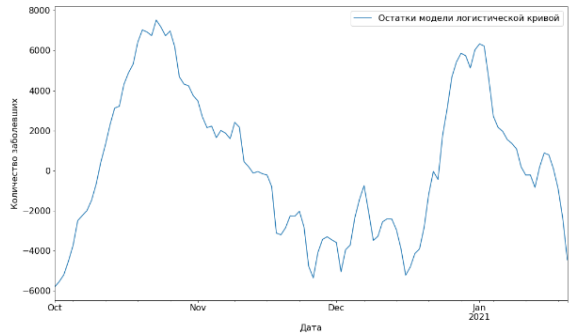


Рис.3. Остатки модели, построенные на данных суммарного числа заболевших в г. Москва (с 01.10.2020 по 20.01.2020) за вычетом тренда

Подбор оптимальных внутренних параметров модели SARIMA осуществляется на основе регрессии, поэтому все выбросы и сильно отклоняющиеся значения отсчетов сильно влияют на получаемые параметры, а, следовательно, и прогноз. Поэтому в подготовку данных следует включить этап избавления от аномальных значений. При этом следует обращать внимание на то, чтобы сохранялось свойство равенства временного интервала между всеми соседними значениями.

1.2.2 Подбор начальных приближений для гиперпараметров модели SARIMA

Класс моделей SARIMA имеет 7 гиперпараметров (p, d, q, P, D, Q, S), кратко опишем смысл этих параметров (более подробно с особенностями данной модели можно ознакомиться, например, в [13]). Итак, модель SARIMA (p, d, q, P, D, Q, S) представляет собой сезонную модель ARIMA (p, d, q), в которой дополнительно еще имеется сезонное дифференцирование (D раз), P сезонных авторегрессионных компонент и Q сезонных компонент скользящего среднего, и S – размер сезонности:

yt = b1*yt-1 + b2* yt-2 + … + bp*yt-p + a1*εt-1 + a2* εt-2 + … + aq*εt-q + bS*yt-S + b2S*yt-2S + … + bPS*yt-PS+ aS*εt-S + a2S*εt-2S + … + aQS*εt-QS + εt + c, где: yt – значение временного ряда в момент времени t;

b1 … bp – авторегрессионные параметры, постоянные, не зависящие от t;

bS … bPS – сезонные авторегрессионные параметры, постоянные, не зависящие от t;

a1 … aq – параметры скользящего среднего, постоянные, не зависящие от t;

aS … aQS – параметры сезонного скользящего среднего, постоянные, не зависящие от t;

εt – последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин (белый шум);

c – некоторая константа.

Оценка параметров P и p (которые отвечают за порядок авторегрессии в модели) производится на основе анализа автокорреляционной функции. Оценка параметров Q и q (определяют порядок скользящего среднего MA) проводится на основе анализа частичной автокорреляции. На рисунке 4 представлен временной ряд, приведенный к стационарному виду (параметры D = 0, d = 2).

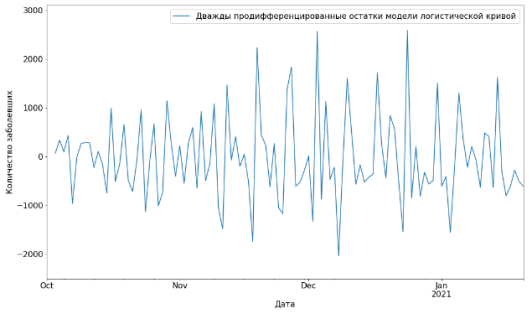


Рис.4. Временной ряд остатков числа заболевших в г. Москва (с 01.10.2020 по 20.01.2020) за вычетом тренда с учетом двойного дифференцирования

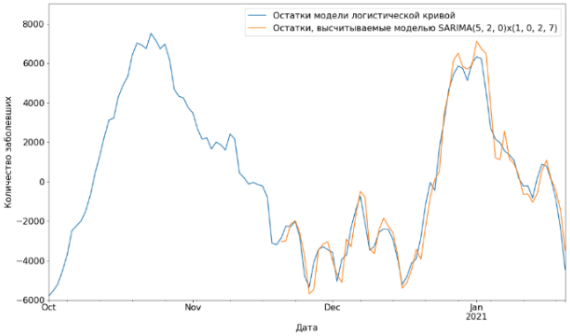


Рис.5. Модель SARIMA (5, 2, 0, 1, 0, 2, 7) для периода с 20.11.2020 по 20.01.2020, наложенная на остатки модели, построенной на данных суммарного числа заболевших в г. Москве (с 01.10.2020 по 20.01.2020)

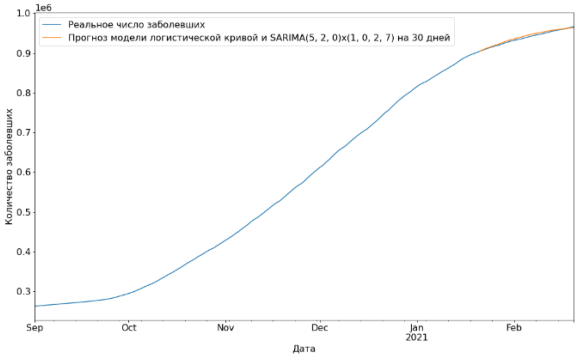


Рис.6. График числа фактических заболевших и численности заболевших, вычисленных согласно математической модели, построенной по данным в г. Москве с 01.10.2020 по 20.01.2021. Прогнозировались значения на период с 21.01.2021 по 20.02.2021. Среднеквадратичная ошибка для прогноза общего числа заболевших RMSE = 652

1.2.3 Подбор оптимальной модели

После выбора начальных приближений для гиперпараметров следует этап подбора оптимальной модели. Этот подбор осуществляется полным перебором моделей, со всевозможными комбинациями гиперпараметров, где значение каждого гиперпараметра варьируется от 0 до соответствующего начального приближения. Затем осуществляется выбор оптимальной модели на основе информационного критерия Акаике. В результате мы получаем наиболее подходящую модель с точки зрения описания данных и ее сложности [14].

1.2.4. Построение прогноза при помощи модели

С использованием Python была построена регрессионная модель SARIMA, и подобраны оптимальные параметры. Критерием качества моделей был выбран информационный критерий Акаике [13, 17]. В результате подбора моделей наилучшей оказалась модель SARIMA (5, 2, 0, 1, 0, 2, 7).

2. Построение прогноза

Заключительным этапом работы является построение прогноза на основе обобщенной логистической функции и регрессионной модели SARIMA (Рис.6).

Заключение

В результате работы была построена математическая модель развития эпидемии на период одной волны в городе Москве с помощью выделения тренда по числу зараженных на основе обобщенной логистической кривой и использования регрессионной модели SARIMA для случайной составляющей временного ряда. По сравнению с прогнозированием, основанным только на обобщенной логистической кривой (Рис.2), при использовании авторегрессионной модели SARIMA, ошибка прогноза уменьшается почти в 24 раза.

Список литературы:

1. Tamm M.V. COVID-19 in Moscow: prognoses and scenarios. FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomic and Pharmacoepidemiology. 2020;13(1):43-51. https://doi.org/10.17749/2070-4909.2020.13.1.43-51

2. Peng L., Yang W., Zhang D., Zhuge C., Hong L. Epidemic analysis of COVID-19 in China by dynamical modeling. arXiv preprint. 2020; arXiv:2002.06563. https://arxiv.org/abs/2002.06563

3. Petropoulosa F., Makridakis S., Neophytos S., COVID-19: Forecasting confirmed cases and deaths with a simple time

series model, International Journal of Forecasting, 2020 https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.11.010

4. Piccolomini E.L., Zama F. Monitoring Italian COVID-19 spread by a forced SEIRD model. Plos One. 2020; 15(8)

5. Feroze N., Forecasting the patterns of COVID-19 and causal impacts of lockdown in top five affected countries using Bayesian Structural Time Series Models; Chaos, Solitons & Fractals, 140 (2020), https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110196

6. Abdelhafid Z., Fouzi H., Abdelkader D., Ying S., Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-Series data: A Comparative study; Chaos, Solitons & Fractals, 140 (2020), https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110121

7. Wu, K., Darcet, D., Wang, Q. et al. Generalized logistic growth modeling of the COVID-19 outbreak: comparing the dynamics in the 29 provinces in China and in the rest of the world. Nonlinear Dyn 101, 1561–1581 (2020). ttps://link.springer.com/article/10.1007/s11071-020-05862-6

8. Tjørve, Even & Tjørve, Kathleen. (2010). A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. Journal of theoretical biology. 267. 417-25.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519310004741?via%3Dihub

9. Коронавирус. Дашборд и данные [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://cloud.yandex.ru/marketplace/products/f2eb8io5l5q4rp84feo1 (дата обращения: 18.02.2021).

10. Smirnova A. & Chowell G., A primer on stable parameter estimation andforecasting in epidemiology by a problem-oriented regularized least squares algorithm, Infectious Disease Modelling (2017), doi: 10.1016/j.idm.2017.05.004

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468042717300088

11. Liying Cao, Liying Cao Pei-Jian Shi, Lin Li, Guifen Chen, A New Flexible Sigmoidal Growth Model (2019), https://doi.org/10.3390/sym11020204

12. Malcolm E.Turner Jr., Edwin L.Bradley Jr., Katherine A.Kirk, Kenneth M.Pruitt, A theory of growth, Mathematical Biosciences (1976), https://doi.org/10.1016/0025-5564(76)90112-7

13. Xingyu Zhang, Yuanyuan Liu, Min Yang, Tao Zhang, Alistair A. Young, Xiaosong Li,/ Comparative Study of Four Time Series Methods in Forecasting Typhoid Fever Incidence in China, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063116

14. Rob J Hyndman, George Athanasopoulos Forecasting: principles and practice. OTexts, 2012. https://otexts.com/fpp2/

15. Box G. E. P. and Jenkins G. M. Time Series Analysis, Forecasting and Control, rev. Ed., San Francisco: Holden-Day, 1976.

16. Канторович Г.Г Анализ временных рядов // Экономический журнал ВШЭ. 2002. №1.

https://ej.hse.ru/2002-6-1/26549758.html

17. A Gentle Introduction to SARIMA for Time Series Forecasting in Python // machine learning mastery URL: https://machinelearningmastery.com/sarima-for-time-series-forecasting-in-python.

Секция
«Информационно-коммуникационные технологии»

ГРАФЫ ПЭЛИ И ДЕКАРТОВО ПРОИЗВЕДЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЙ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Э.Р. Рзаев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Основной целью данной работы является исследование перспективных топологий сетей на кристалле. Классические топологии сетей на кристалле, например, mesh, ring и torus, хорошо изучены, но их конфигурационные параметры не являются лучшими среди всех существующих. В данном исследовании проводится изучение циркулянтных топологий и их модификаций, также оценка их параметров в контексте проектирования сетей на кристалле (СтнК).

Введение

В последние годы все чаще происходит интеграция систем на кристалле (СнК) в архитектуры современных встроенных систем. СнК – это СБИС, объединяющая на одном чипе различные функциональные блоки, которые образуют законченное изделие для автономного применения в электронной аппаратуре [1]. Сеть на кристалле (СтнК) – это СнК представляющая собой множество вычислительных модулей, объединенных общей подсистемой связи, состоящей из маршрутизаторов и соединений между ними. Топология СтнК – это конфигурация графа, вершинам которого соответствуют узлы сети (маршрутизаторы), а ребрам – соединения между вершинами узлами.

Обзор предметной области исследования

В последнее время в ряде работ [2,3] появилось предложение использовать циркулянтные топологии для проектирования СтнК. Циркулянтным графом называется граф, состоящий из множества вершин и ребер таких, что способ соединения вершин ребрами можно выразить однозначно в виде сигнатуры циркулянтного графа вида $C(N;\ s_1, s_2, \dots,\ s_n)$, где C – обозначения циркулянтного графа, N – количество вершин, $s_1, s_2, \dots, s_n$ – образующие циркулянтного графа.

Образующими циркулянтного графа называются числа, определяющие шаг, с которым будут соединены соседние вершины графа. Например, по сигнатуре $C(5;\ 1, 2)$ строится граф, приведенный на рисунке 1.

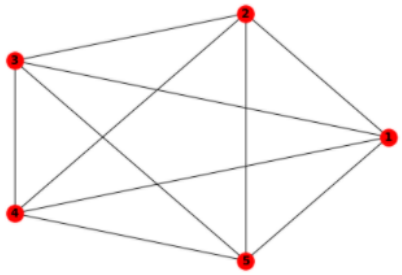


Рис.1. Граф $C(5;\ 1, 2)$

Применение новой топологии, имеющей лучше параметры диаметра и среднего расстояния по сравнению с классическими регулярными топологиями (mesh, torus, ring) позволило значительно продвинуться в решении задачи поиска «оптимальных» топологических структур. В то же время использование циркулянтных топологий тоже имеет ряд недостатков, связанных с необходимостью поиска оптимальных алгоритмов маршрутизации и борьбы с явлением дедлоков и лайвлоков в сети. Также существует проблема поиска семейств оптимальных циркулянтных графов для количества узлов больше 100 и степени вершин больше 4 [4]. Таким образом, как показал опыт предыдущих исследований, топологический подход к улучшению конечных характеристик СтнК за счет использования боле эффективных топологий, дает хорошие результаты, и его следует развивать путем поиска новых топологий, которые могут быть использованы в СтнК.

Основными параметрами, которые являются наиболее важными в рамках исследования, являются следующие:

– диаметр графа – число, обозначающее наибольшее расстояние между всеми парами вершин графа;

– средняя длина путей графа;

– плотность графа – отношение количества ребер рассматриваемого графа на N вершинах к количеству ребер полного графа на N вершинах.

Необходимость поиска «оптимальных» структур графа обусловлена необходимостью обеспечения наилучшего пути между отдельными маршрутизаторами. Именно по причине необходимости учета количества маршрутизаторов, а также количества соединений между ними невозможно создать такую топологию СтнК, прототипом которой является бесконечно большой и полный граф, у которого диаметр и средняя длина путей будут минимальными. По этой же причине при поиске «оптимальных» структур графов необходимо учитывать параметр плотности графов: если диаметр графа и средняя длина путей стремятся к 1, то количество ребер будет стремиться к $\frac{N(N-1)}{2}$, где N – количество вершин графа, то есть к количеству ребер полного графа. Параметр плотности является важным, поскольку характеризует насколько граф близок к полному. С одной стороны, чем плотнее граф, тем больше существует альтернативных путей для доставки пакетов в графе, но чем больше ребер в графе топологии СтнК, тем выше затраты площади чипа. Поэтому необходимо искать компромиссные решения, и характеристика плотности графа является удобным параметром для сравнения графов.

Рассмотрим несколько вариантов поиска новых топологий в рамках топологического подхода к проектированию СтнК на примере Графов Пэли [5] и операции прямого произведения графов [6].

Графы Пэли

Графы Пэли – неориентированные графы, у которых количество ребер близко к количеству ребер полного графа и построенные из членов подходящего конечного поля путем соединения пар элементов, отличающихся на значение квадратичного вычета.

Целое число a называется квадратичным вычетом по модулю m, если разрешимо сравнение [7]:

$$x^2 \equiv a\ (mod\ m). \qquad (1)$$

Рассмотрим случай q = 17. Поле F_q образуется числами по модулю 17. Числа, имеющие квадратные корни по модулю 17:

– ±1 (квадратные корни ±1 для +1, ±4 для −1);

– ±2 (квадратные корни ±6 для +2, ±7 для −2);
– ±4 (квадратные корни ±15 для +4, ±8 для −4);
– ±8 (квадратные корни ±5 для +8, ±14 для −8).

Исходя из полученных чисел, граф Пэли образуется вершинами, соответствующими числам из интервала [0, 16]. При этом каждая вершина x соединена с шестью соседями: $x \pm 1\ (mod\ 17)$, $x \pm 2\ (mod\ 17)$, и $x \pm 8\ (mod\ 17)$. Графическое представление данного графа приведено на рисунке 2. $QR(N)$ – обозначение графа Пэли на N вершинах.

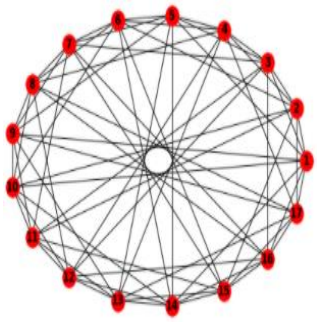


Рис.2. Граф QR (17)

Прямое (декартово) произведение графов

Прямое (декартово) произведение двух графов G и H, обозначаемое $G\square H$, представляет собой граф с множеством вершин

$$V(G\square H) = V(G) \times V(H), \qquad (2)$$

то есть множество $\{(g,\ h) \mid g \in G,\ h \in H\}$.

Множество ребер прямого произведения графов $G\square H$ состоит из всех пар $[(g_1,\ h_1),(g_2,\ h_2)]$ вершин с $[g_1,\ g_2] \in E(G)$ и $h_1 = h_2$, или $g_1 = g_2$ и $[h_1, h_2] \in E(G)$ [6].

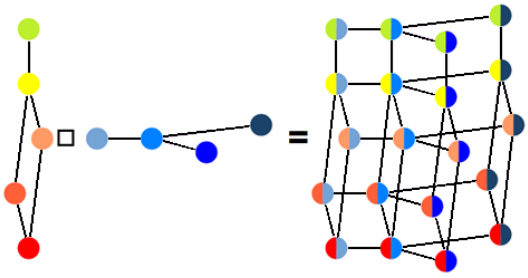
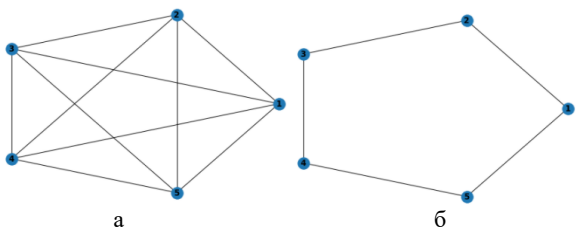


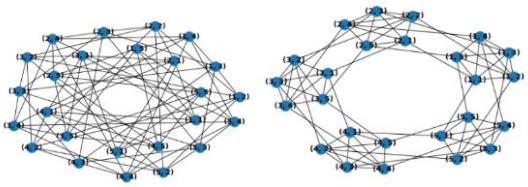
Рис.3. Прямое произведение графов

На рисунке 4(а) представлен граф G, а на рисунке 4(б) изображен граф H. Результат прямого произведения графов $G \times H$ приведен на рисунке 5(а). А результат прямого произведения графов $H \times G$ приведен на рисунке 5(б).



а б

Рис.4. Граф G (а), граф H (б) [8]



а б

Рис.5. Прямое произведение $G \times H$ (а), прямое произведение $H \times G$ (б) [8]

Результат прямого произведения графов H и G лучше всего показан на рисунке 5(б), так как данная структура топологии графа более понятно передает смысл данной операции по сравнению с результатом, представленным на рисунке 5(а). На рисунке 5(б) отчетливо выделяется замещение вершин графа H отдельными кластерами вершин – структурами графа G.

Идея применения прямого произведения графов применяется в ряде задач, в частности, в работе [9] описан подход, используемый для вывода аппроксимационной схемы для произвольного графа G с матрицей смежности A (наложение округлости на факторные графы с помощью прямого произведения для многомерного вейвлет-анализа графов).

Анализ графов Пэли и прямого произведения графов

В результате проведенного исследования графов Пэли и прямого произведения графов можно сделать вывод об их применимости при проектировании СтнК.

Основные преимущества предлагаемого метода генерации топологий:

– Для построения графа Пэли необходимо одно число N – количество вершин графа. Образующие графа Пэли однозначно определены для каждого количества вершин.

– Синтезируемые графы имеют лучшие показатели диаметра и средней длины расстояний между узлами графа в сравнении с циркулянтными топологиями.

Недостатки:

– Скорость роста количества ребер значительно больше, чем у циркулянтных графов, что способствует возникновению возможных трудностей при синтезе топологии для СтнК и приводит к усложнению маршрутизаторов.

В случае рассмотрения прямого (декартового) произведения можно сделать следующие выводы об его преимуществах:

– Показатели количества ребер и плотности графа для прямого произведения графов Пэли между собой и прямого произведения графов Пэли на кольцевые графы имеют меньшие скорости роста по сравнению с этими же показателями у графов Пэли и примерно равные в сравнении с оптимальными циркулянтами [10].

Недостатки:

– Необходимость дополнительного отбора среди всего множества полученных графов наиболее подходящих графов для участия в прямом произведении.

– Показатели диаметра и средней длины путей графов прямых произведений уступают аналогичным показателям оптимальных циркулянтных графов.

Заключение

В результате проведенного исследования рассмотрены новые подходы к синтезу топологий для проектирования СтнК, а также предложены новые идеи и методы конфигурации структур топологий. Основной акцент исследования сделан на анализе ранее неиспользовавшихся для проектирования СтнК графах Пэли. В результате проведенного

анализа полученных данных сделан вывод о потенциальной возможности применения графов Пэли и метода прямого произведения графов как топологической основы при проектировании новых топологий СтнК. Описаны преимущества и недостатков каждого из предложенных методов, а также ограничения, которые для них существуют.

Список литературы:

1. Шагурин И. Системы на кристалле. Особенности реализации и перспективы применения. 2009. С. 37–39.
2. Monakhova E.A. et al. Analytical Routing Algorithm for Networks-on-Chip with the Three-dimensional Circulant Topology // 2020 Moscow Work. Electron. Netw. Technol. IEEE, 2020. No. 9067418.
3. Alaei M., Yazdanpanah F. A high-performance FPGA-based multicrossbar prioritized network-on-chip // Concurr. Comput. John Wiley and Sons Ltd, 2020. P. 2–3.
4. Монахов О.Г., Монахова Э. А. Улучшение характеристик класса регулярных сетей с помощью алгоритма эволюционного синтеза //Наука и образование. No. 10, 2014. С. 273-283, DOI: 10.7463/1014.0728878.
5. Munir M. et al. Some Invariants of Circulant Graphs // Symmetry (Basel). MDPI AG, 2016. Vol. 8, No. 134. P. 1-8.
6. Imrich W., Rall D.F. Topics in graph theory: Graphs and their cartesian product. 2008. P.3–15.
7. Виноградов И. М. Математическая энциклопедия. Том 2. 1977. С. 797-800.
8. Rzaev E. EternalExodus/Circulant-graphs [Electronic resource]. URL: https://github.com/EternalExodus/Circulant-graphs (accessed: 12.12.2020).
9. Kotzagiannidis M.S., Dragotti P.L. The graph FRI framework-spline wavelet theory and sampling on circulant graphs // 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2016. P. 6375–6379.
10. Romanov A.Y., Romanova I.I., Glukhikh A.Y. Development of a Universal Adaptive Fast Algorithm for the Synthesis of Circulant Topologies for Networks-on-Chip Implementations // 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE, 2018. P. 110–115.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КЛАССИФИКАТОРА КОРОТКИХ ТЕКСТОВ

А.В. Алмакаев[2] , И.К. Кусакин[1], А.М. Цурупа[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Цель данной работы – исследование и разработка классификаторов аннотаций научных статей по кодам отделов ВИНИТИ РАН с применением алгоритмов векторизации текста и машинного обучения. В работе рассматриваются логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг, модели, основанные на методе опорных векторов, и нейросети. Задачей является нахождение оптимального сочетания метода векторизации слов, классификатора и его гиперпараметров обучения.

Введение

В настоящее время, сфера обработки естественного языка переживает бурный рост благодаря развитию технологий машинного обучения. Среди прочих категорий задач в Natural Language Processing (NLP) классификация текстов является одной из наиболее часто встречающихся. Проект нацелен на исследование подходов к классификации коротких научных текстов, содержащих заголовок, краткую аннотацию и ключевые слова по теме. Нетривиальность задачи классификации научных текстов объясняется большим количеством классов в рубрикаторе, неравномерностью их распределения, возможностью причисления текста сразу к нескольким категориям, наличием спецсимволов с семантикой, не относящейся к тексту аннотации. Автоматизация классификации позволяет решить проблему ручной категоризации.

Целью проекта является модификация существующего программного обеспечения, которое было разработано в рамках ВКР и НИРС Е. Козловой и К. Ломотиным [1], которое позволяет классифицировать аннотации научных статей. Предполагается, что исследование новых подходов к предобработке текста, векторизации и их применения в совокупности с усовершенствованными моделями классификаторов позволит добиться расширения функционала системы тестирования классификации.

По результатам экспериментов составляется сводная таблица метрик для различных комбинаций из алгоритма векторизации, классификатора и его гиперпараметров. На основании анализа данной таблицы можно получить выводы об эффективности различных семейств моделей, методов векторизации текстов и выбрать подходы, дающие наилучшие результаты. Наиболее удачные модели, с точки зрения полученных метрик, впоследствии будут встроены в существующее программное обеспечение, используемое ВИНИТИ.

Исследуемые алгоритмы векторизации

В настоящее время существует несколько способов векторизации текстовой информации. Наиболее простыми из них являются Bag of words и Tf-Idf [2]. Эти два алгоритма не затратные по вычислениям, легко интерпретируются и являются базовыми в сфере обработки текстов.

Более продвинутыми средствами векторизации являются Word2Vec [3] и Fasttext [4]. Данные алгоритмы требуют значительно больших временных затрат на вычисления, но позволяют скрывать внутри численного представления информацию о контексте в предложении и семантику однокоренных слов. Одна из гипотез состоит в том, что Word2Vec и Fasttext в силу своих особенностей могут стать точкой роста качества классификаторов.

Модели классификаторов

В исследовании рассматриваются Random forest, SVM и логистическая регрессия [5] в качестве базовых алгоритмов классификации классического машинного обучения. Данные модели не требует больших временных затрат на обучение, что позволяет проводить множество экспериментов на широком спектре гиперпараметров и является неоспоримым преимуществом перед другими типами классификаторов. Стоит также отметить такие преимущества алгоритмов, как устойчивость к переобучению у Random forest, позволяющая уменьшить влияние дисбаланса в обучающих данных, и интерпретируемость обучаемых параметров логистической регрессии.

Помимо классических алгоритмов проект занимается исследованием применимости глубоких нейросетевых моделей в задачах классификации коротких текстов. За последнее десятилетие нейросети совершили значительный технологический прорыв и получили широкое применение в компьютерном зрении, рекомендательных системах, обработке естественного языка, в распознавании речи. В работе рассматриваются полносвязные и рекуррентные нейросетевые модели [6]. Их обучение значительно более временизатратный процесс в сравнении с линейными моделями. По этой причине очень важен предварительный

подбор диапазона гиперпараметров для снижения комбинационной их вариативности.

Еще одним классом сильных моделей в машинном обучении являются классификаторы, основанные на алгоритме градиентного бустинга [7]. Считается, что применение таких моделей особенно эффективно на табличных данных, в то время как на текстовых данных их преимущества не столь очевидны. В сравнении с информацией, записанной в таблицу, векторизованные тексты не обладают настолько же ясной интерпретацией численных значений. Но на данный момент именно на модели градиентного бустинга было достигнуто наилучшее качество классификации (f1=0.82, 15 классов).

Выводы по полученным результатам

Таким образом в результате проведенного исследования и разработок получено несколько важных выводов:

– Установлено, что классические модели-классификаторы (RF, SVM, LogReg) достигают наилучших результатов на разреженных эмбеддингах (BoW, Tf-Idf).

– Выбор алгоритма векторизации текста для модели градиентного бустинга не так важен, как для классических моделей. Разница в полученных метриках f1 для классификации на различных типах эмбеддингов не значительна.

– Нейросети очень чувствительны к дисбалансу в обучающей выборке, требуется устранять несбалансированность данных путем коррекции весов функции ошибки или расширением датасета при помощи oversampling'a. Установлено, что для перцептрона более эффективна балансировка функции ошибки.

– Наиболее репрезентативной частью данных являются ключевые слова. Обученные на них классификаторы выдают более высокие метрики, в сравнении с моделями, обученными на заголовке или теле аннотации.

Заключение

Результатом работы является нахождение наилучших гиперпараметров для каждого типа классификаторов в сочетании с методами векторизации текста. Итогом станет встраивание наиболее качественных моделей в программное обеспечение ВИНИТИ, что позволит расширить его функционал и улучшить качество классификации аннотаций научных статей.

Список литературы:

1. Romanov A., Kozlova E., Lomotin K. Application of NLP algorithms: automatic text classifier tool // International Conference on Digital Transformation and Global Society. – Springer, Cham, 2018. – P. 310-323.

2. Das B., Chakraborty S. An improved text sentiment classification model using TF-IDF and next word negation // arXiv preprint arXiv:1806.06407. – 2018.

3. Mikolov T. et al. Efficient estimation of word representations in vector space // arXiv preprint arXiv:1301.3781. – 2013.

4. Bojanowski P. et al. Enriching word vectors with subword information // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Vol. 5. – P. 135-146.

5. Pranckevičius T., Marcinkevičius V. Comparison of naive bayes, random forest, decision tree, support vector machines, and logistic regression classifiers for text reviews classification // Baltic Journal of Modern Computing. – 2017. – Vol. 5. – No. 2. – P. 221-232.

6. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. – 1997. – Vol. 9. – No. 8. – P. 1735-1780.

7. Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, a tutorial // Frontiers in neurorobotics. – 2013. – Vol. 7. – P. 1-21.

ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

А.А. Опекунова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена исследованию более 100 высокоуровневых моделей сетей на чипе. Информация о них собрана в сводную таблицу [1], что позволило в одном месте в компактном и структурированном виде собрать информацию по предметной области высокоуровневого моделирования СтнК и выделить различные признаки моделей, что является основой их классификации.

Введение

СтнК представляют собой весьма сложную структуру, которая требует существенных расходов на верификацию, а также проектирование. По этой причине на разных стадиях разработки необходимо оценивать те или иные решения с помощью различных симуляторов. При этом существует сотни различных моделей СтнК, имеющих различное предназначение, реализацию, структуру, быстродействие и разработанных на различных языках программирования. Ввиду такого разнообразия необходимо провести обзор наиболее значимых высокоуровневых моделей СтнК и предложить различные критерии их классификации, что облегчит разработчикам выбор тех или иных моделей для задач разработки СтнК, а также позволит определить какие существуют проблемы в данной области знаний.

Доступность моделей в сети Интернет

Среди рассмотренных моделей СтнК есть модели в открытом доступе, то есть для них имеется довольно исчерпывающая документация или же исходный код, но есть и симуляторы, доступ к которым ограничен. Если разделить все исследованные модели в зависимости от доступности в сети Интернет, то получится три основных группы. Первая имеет открытый исходный код, в основном они расположены в репозитариях github.com. Вторая группа высокоуровневых моделей СтнК имеет только документацию в виде научных статей или глав в книгах. Третья категория – это модели, у которых и документация и исходный код находятся в открытом доступе. Высокая доступность симулятора, хорошая документация, и поддержка сообществом разработчиков, повышает полезность и функциональность модели.

Модифицируемость моделей

Среди рассмотренных моделей СтнК есть модели в открытом доступе, что дает возможность их модификации под определенные цели и проведение исследований по проектированию СтнК с заданными характеристиками.

Примером может послужить модификация симулятора gpNoCSim [2], который был создан на языке Java. Он был взят за основу и переработан группой исследователей, которые добавили графический интерфейс и возможность моделировать нерегулярные топологии СтнК, а также поддержку различных алгоритмов маршрутизации в них, дополнительные средства автоматизации на Python, обеспечивающие множественный запуск модели и обработку результатов моделирования. В 2020 г. появилась четвертая версия симулятора, в которой он получил серверную версию, обеспечивающую дистанционный запуск модели через Web интерфейс.

Языки программирования

Высокоуровневые СтнК обычно разрабатываются на таких языках программирования как C/C++ (и его производных), а также Python и Java (рис. 1).

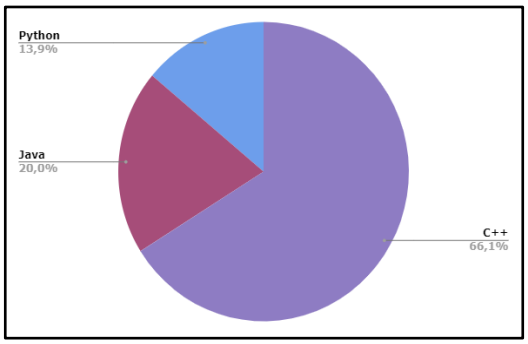


Рис.1. Соотношение высокоуровневых моделей СтнК по языкам программирования

Выбор метода программирования зависит от цели и задач, которые стоят перед исследователем. C/C++ – это один из наиболее распространенных языков программирования, мощный и универсальный инструмент, поддерживающий различные стили и техники программирования, поэтому он часто выбирается для создания описания моделей СтнК. Нередко модели СтнК являются частью какого-то сервиса или программного обеспечения с Web-реализацией. По этой причине Java хоть и кажется не самым удачным языком для реализации моделей СтнК (по причине низкой производительность из-за компиляции и абстракции с помощью виртуальной машины), тем не менее он является основным языком разработки для значительного количества моделей. Python также приобретает широкое распространение, потому что это легкий в освоении язык программирования, который позволяет решать широкий круг задач, и очень распространен в разных сферах. Большое количество специализированных библиотек данного языка программирования включает множество уже готовых программных конструкций.

Функциональная классификация

Все симуляторы СтнК в зависимости от цели их применения можно разделить на две категории:

1) Симуляторы сетей общего назначения, которые предназначены для моделирования любых сетей в целом, но могут быть использованы и для СтнК (например, [3]).

2) Симуляторы, разработанные специально для моделирования (например, [4]).

Оба подхода к созданию моделей СтнК имеют свои преимущества и недостатки.

Поддерживаемые топологии

Моделирование любых топологий является существенным преимуществом симулятора. Поэтому многие разработчики, сначала реализовав несколько базовых топологий, пытаются модернизировать свои симуляторы, чтобы расширить количество поддерживаемых топологий.

Согласно таблице [1] только 22 % моделей СтнК могут моделировать любые виды топологий. Наиболее распространенным и простым в реализации видом регулярной топологии является mesh (реализована поддержка в 67 % исследованных моделей). Попыткой уменьшить диаметр СтнК за счет дополнительных затрат ресурсов является использование топологии torus, полученной путем соединения крайних узлов mesh с противоположными. Данная топология занимает второе место по ее поддержке (35%). Также достаточно много моделей способны моделировать топологии ring, 3D-mesh, Butterfly, Fat tree и Crossbar.

В различных научных работах периодически появляются предложения по использованию в СтнК новых топологических решений. Например, это циркулянтные топологии, упоминание которых есть в работах других исследователей [5]. Моделирование новых топологий требует переработки модели, или использования модели, которая имеет возможность проводить моделирование любых топологий. Таким образом это является важным преимуществом модели, и проектирование новых симуляторов СтнК должно осуществляться с учетом необходимости обеспечения универсальности модели еще на архитектурном уровне.

Методы коммутации

В общем случае решение задач коммутации – это определение метода управления потоком данных, структуры маршрутов, контроля потоков данных и передачи данных между его интерфейсами. Все эти параметры в комплексе определяют фундаментальные свойства симулятора. Использование разных методов коммутации в реализации симуляторов можно рассматривать как еще один признак для их классификации. Так коммутация на уровне пакетов наиболее распространена и используется в 86 % изученных моделях СтнК. Таким образом, можно сказать, что такое распределение моделей отражает общую тенденцию использования методов коммутации в СтнК.

Архитектуры маршрутизаторов

Wormhole – это самая популярная реализованная архитектура среди исследованных моделей (около 64 % симуляторов реализуют ее). При моделировании данной архитектуры маршрутизаторов пакеты разбиваются на флиты, которые хранятся во входных буферах маршрутизаторов. В отличии от разделяемых очередей, здесь размер буферов небольшой, что не позволяет хранить весь пакет в маршрутизаторе. За счет этого пакет растягивается по нескольким маршрутизаторам на своем пути. Это позволяет достичь высокой экономии памяти. Также данная архитектура позволяет реализовать виртуальные каналы, когда на входе маршрутизатора не одна большая очередь, а несколько коротких, что позволяет обходить блокировки в сети.

Алгоритмы маршрутизации

В ходе исследования выявлено, что сети с коммутацией пакетов в основном используют детерминированную маршрутизацию (около 70 %). Наибольшее распространение имеет алгоритм XY (38 из 100 симуляторов), ввиду широкого распространения топологий mesh и torus, где он применяется. В то же время алгоритмы вроде North-Last, Negative-First, West-First, являющиеся попытками преодолеть недостатки XY, используются значительно реже. Адаптивные алгоритмы (17 симуляторов) и со случайным выбором альтернативного направления движения (10 симуляторов), составляют вторую большую группу, представляющую недетерминированные алгоритмы.

Типы трафика

В результате исследования высокоуровневых моделей [1] выяснено, что наиболее широко распространен hotspot traffic (19 % симуляторов), за которым следуют uniform (15 % симуляторов), random (15 % симуляторов) и transpose (8 % симуляторов). Такой выбор разработчиков основан на преимуществах данных типов трафика: более точного и быстрого моделирования, потребление меньшего количества аппаратных ресурсов, возможностью реализации с определенными топологиями или алгоритмами маршрутизации. Значительная часть моделей (20 %) поддерживает любые виды трафика, что позволяет проводить сравнительные исследования в этой области и оценить возможности моделей. Это следует учитывать на этапе проектирования симулятора и закладывать такую универсальность еще на этапе создания модели.

Алгоритмы арбитража

Моделирование процедуры арбитража имеет важное значение, поскольку неподходящий арбитраж может забирать на себя часть пропускной способности сети. В результате проведенного анализа моделей наиболее распространенным является алгоритм round-robin (обслуживание по очереди), реализованный в 21 % моделей из [1]. Более сложный случай арбитража и при этом довольно часто используемый в реальных разработках СтнК – priority, он прост в реализации и также не требует много ресурсных затрат, но его поддерживает значительно меньше симуляторов (6 %). Этот метод имеет еще и существенный недостаток –наличие вероятности неравного распределения пропускной способности из-за назначения приоритета каждому устройству. Все это может говорить о том, что в зависимости от нужной скорости передачи данных и возможности пропускной способности имеется определенное количество моделей, способных реализовать определенный алгоритм арбитража.

Области применения

Высокоуровневые модели используются для моделирования как самих СтнК, так и их составляющих, например, топологий. В некоторых случаях реализованы дополнительно оценка потребляемой мощности и производительности вычислительной системы для функционирования модели. Другие модели используются для промышленного моделирования. Для исследований или академических целей существует определенная группа моделей СтнК которые составляют 12 % от общего количества исследованных моделей.

Заключение

Таким образом, проведенный обзор наиболее известных высокоуровневых моделей СтнК показал, что существует огромное количество решений и подходов, причем нет универсальных симуляторов, и зачастую они не совместимы друг с другом. Для того чтобы провести моделирование СтнК с собственной комбинацией параметров необходимо создавать собственную модель или дорабатывать существующую. Также практически отсутствуют средства автоматизации моделирования, которые бы облегчали обработку результатов, проведение множественного запуска модели с различными параметрами и т. д. Выявленные проблемы в этой области знаний определяют необходимость разработки таких средств, позволяющих решить их, и проведенная классификация высокоуровневых моделей СтнК является первым шагом в этом направлении.

Список литературы:

1. Romanov A.Yu., Opekunova A.A. NoC_High_Level_Models_2020 [Electronic resource]. URL: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1IUwYoQHOmhp_0tq0HPFFPYP6fPScNbPz34G71JbOBKQ/edit#gid=0.

2. Hossain H. et al. gpNoCsim – A General Purpose Simulator for Network-On-Chip // 2007 International Conference on Information and Communication Technology. IEEE, 2007. P. 254–257.

3. Saad E.S.M. et al. PPNOCS: Performance and Power Network on Chip Simulator based on SystemC // IJCSI Int. J. Comput. Sci. Issues. 2011. Vol. 8(3), No. 6. P. 169–179.

4. Tran A., Baas B. NoCTweak: A highly parameterizable simulator for early exploration of performance and energy of networks-on-chip // VLSI Computation Lab. 2012. 12 p.

5. Романов А.Ю., Ведмидь Е.А., Монахова Э.А. Проектирование сетей на кристалле с топологией кольцевой циркулянт с тремя образующими: разработка алгоритмов маршрутизации // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 9. С. 522–530.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ INTEL OPENVINO TOOLKIT

В.В. Зунин, В.В. Нечаев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проводится обзор современного состояния реализации нейронных сетей, а также фреймворка Intel® Distribution of OpenVINO™ Toolkit 2020.3 для их инференса на различных аппаратных платформах компании Intel. Дается анализ производительности генеративно-состязательных сетей с использованием данного фреймворка в обычном режиме, а также с параллельным инференсом на нескольких подключенных устройствах.

Введение

В настоящее время растет потребность в нейронных сетях, как быстром и надежном инструменте для решения множества различных задач. Они применяются как в системах видеонаблюдения, системах компьютерного зрения, для распознавания объектов, так и в обычных смартфонах для улучшения качества фотографий или предсказаний действий пользователя. Но для их успешного внедрения они должны быть разработаны в соответствии с предъявляемыми требованиями. Данный процесс состоит из их обучения, выбора аппаратной платформы и последующей работы с использованием выбранного устройства.

Обучение предполагает разработку нейронной сети под конкретную задачу или выбор существующей сети и ее последующую настройку для обеспечения требуемых показателей точности. Данная задача выполняется разработчиками с использованием высокоуровневых языков программирования (например, Python), поддерживающих библиотеки разработки искусственных нейронных сетей (TensorFlow и др.). Такой подход позволяет облегчить разработку и обучение сети. Для сокращения необходимого времени обучения и тестирования требуется большая вычислительная мощность, поэтому такая задача выполняется с использованием мощных процессоров или видеокарт (CUDA Toolkit для видеокарт Nvidia и др.).

Выбор аппаратной платформы предполагает подбор аппаратного устройства, программного обеспечения и других устройств для корректной работы нейронной сети и предоставления достаточной вычислительной мощности. Таким образом, подбор подходящей аппаратной платформы является одной из главных задач при проектировании и применении нейронной сети.

Использование нейронной сети, как и ее обучение, требует достаточную вычислительную мощность для работы с требуемой скоростью. В этой области можно выделить два основных подхода для запуска сетей. Во-первых, это разработка программ на языках высокого уровня и их выполнение на процессоре или видеокарте. Во-вторых, это разработка специализированного модуля на языке описания аппаратуры и запуск нейронной сети на специализированном чипе. Нейронный сети, работающие на высокоуровневых языках, просты в разработке и легко внедряются на аппаратном уровне. Сети, спроектированные для работы на специализированных чипах, сложны и дороги в разработке и внедрении, но имеют большую отказоустойчивость и производительность.

Таким образом, в работе предлагаются результаты исследования производительности нейронных сетей типа

GAN. Показано, что OpenVINO Toolkit позволяет запускать нейронные сети на различных устройствах без использования сторонних библиотек, а также обеспечивает существенный прирост производительности при использовании видеопроцессора вместо центрального процессора устройства.

Intel® Distribution of OpenVINO™ Toolkit

В 2018 году компания Intel выпустила новый продукт – Intel® Distribution of OpenVINO™ Toolkit [1], основанный на сверточных нейронных сетях. Это новый шаг в применении искусственных нейронных сетей, позволяющий объединить разработку на высоком уровне и выполнение на аппаратных вычислительных платформах Intel.

Для проведения эксперимента был выбран OpenVINO Toolkit 2020.3. После установки и настройки имеются все необходимые библиотеки и инструменты для запуска нейронных сетей на аппаратных платформах Intel. Основным компонентом OpenVINO Toolkit является Deep Learning Deployment Toolkit. Он включает в себя: Deep Learning Model Optimizer; Deep Learning Inference Engine; инструменты и примеры.

Model Optimizer выполняет анализ обученных моделей нейронных сетей поддерживаемого формата (TensorFlow, Caffe, ONNX и др.), настраивает и преобразует их для оптимального выполнения на целевых устройствах. Таким образом генерируется промежуточное представление (Intermediate Representation, IR), которое сохраняется в специальный формат для последующего использования при запуске.

Inference Engine выполняет инференс модели в промежуточном представлении на заданном устройстве (CPU, Integrated Graphics, Movidius Neural Compute Stick, Neural Compute Stick 2, Vision Accelerator Design with Intel® Movidius™ vision processing unit (VPU), FPGA). Более того, при наличии на заданном устройстве нескольких поддерживаемых вычислительных устройств можно реализовать автоматическое разделение инференса между устройствами (Heterogeneous Plugin) или запуск одной сети на нескольких устройствах параллельно (Multi-Device Plugin).

Сведения об организации эксперимента

Некоторые исследователи уже анализировали данный фреймворк. В работе [2] содержится анализ производительности обученной нейронной сети SSD_MobileNet_V2, специализирующейся на компьютерном зрении. В другой работе [3] рассматриваются средства для оптимизации инференса в рамках фреймворка OpenVINO и тестируется три распространенные нейронные сети. При этом фреймворк используется не только для компьютерного зрения, но и инференса любых нейронных сетей, состоящих из поддерживаемых слоев нейронной сети.

Нами для тестирования были отобраны генеративно-состязательные сети (GAN), представленные в поддерживаемом формате и имеющие поддерживаемые слои. Из данного класса сетей для тестирования были выбраны следующие [4]: Candy, Mosaic, Pointilism, Rain Princess, Udnie. В дополнение к ним были выбраны изображения для проведения эксперимента: одна тысяча фотографий из базы данных COCO 2017 Test images [5]. В качестве аппаратных платформ для инференса сетей был выбран компьютер с операционной системой Windows 10 (64 бит). Целевыми устройствами были:

- CPU: Intel® Core™ i5-8250U CPU @ 1.60GHz;
- GPU: Intel® UHD Graphics 620.

Для анализа производительности была разработана программа на языке Python3, использующая фреймворк OpenVINO и нейронные сети типа GAN. В качестве входных данных подается предобученная модель в поддерживаемом фреймворком формате. В тестировании использовались модели нейронных сетей в формате ONNX, которые были выполнены с использованием подходящей библиотеки на CPU. Модели были преобразованы в формат OpenVINO и загружены на указанное устройство (CPU, GPU) и выполнены с использованием тестовых данных. В результате выполнения программа получены значения количества кадров в секунду (FPS), которые были вычислены во время инференса сети. Программа для запуска каждой нейронной сети была переведена в исполняемый файл для тестирования на целевом устройстве. Запуск каждой нейронной сети был произведен с минимальным количеством фоновых процессов.

Анализ производительности

На тестовом устройстве программы для каждой нейронной сети были выполнены и получены результаты в виде количества FPS (Табл. 1, 2).

Таблица 1. Результаты тестирования

Тип запуска	Средний FPS		
	Candy	Mosaic	Udnie
ONNX CPU	6.99	6.94	6.88
OpenVINO CPU	6.22	6.37	6.26
OpenVINO CPU, GPU	6.33	6.35	6.32
OpenVINO GPU	13.26	13.21	13.26
OpenVINO GPU, CPU	12.88	13.18	13.17

Таблица 2. Результаты тестирования

Тип запуска	Средний FPS	
	Rain Princess	Pointilism
ONNX CPU	6.87	6.96
OpenVINO CPU	5.98	6.25
OpenVINO CPU, GPU	6.17	6.21
OpenVINO GPU	13.27	13.24
OpenVINO GPU, CPU	13.21	13.18

На основе полученных данных с использованием фреймворка OpenVINO и без был проведен анализ полученных результатов. В результате анализа было показано, что производительность инференса нейронной сети с использованием фреймворка на идентичном устройстве в среднем ниже на 11%. А при использовании встроенного в процессор GPU производительность возрастает на 89.6%, что является существенным приростом в производительности. Используя возможность параллельного исполнения на CPU и GPU с CPU в виде главного и GPU в виде дополнительного, производительность увеличивается в среднем на 1% по сравнению с выполнением на CPU. А при использовании в качестве главного устройства GPU, производительность падает на 0.9%.

Заключение

Таким образом, в результате исследования было показано, что применение OpenVINO Toolkit для инференса генеративно-состязательных нейронных сетей на одинаковых устройства уступает стандартным библиотекам, но при этом их выполнение на встроенном графическом процессоре увеличивает производительность на 89.6%. А параллельное выполнение на обоих устройствах снижает производительность на 1%. Таким образом использование фреймворка OpenVINO позволяет повысить производительность инференса при использовании GPU в качестве устройства исполнения нейронной сети.

Список литературы:

1. Intel® Distribution of OpenVINO™ Toolkit [Электронный ресурс]. URL: https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/tools/openvino-toolkit.html.

2. Андриянов Н. А. Анализ ускорения логического вывода нейронных сетей на процессорах Intel с использованием инструментария OpenVINO Toolkit // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2020. Т. 11, № 4. С. 32–39.

3. Демидовский А.В. Особенности программных и аппаратных средств для оптимизации инференса обученных нейронных сетей в рамках среды OpenVINO // XXI Международная научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2019». 2019. С. 204–212.

4. Repository of GAN app [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/itlab-vision/OpenVINO-GAN-DEMO.

5. COCO Dataset - Common Objects in Context [Электронный ресурс]. URL: https://cocodataset.org/#download.

ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО АЛГОРИТМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИЕЙ МНОГОКАМЕРНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ВИДЕОАНАЛИТИКИ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Д.А. Николаев, Е.В. Лебеденко
ФКОУ ВПО Академия ФСО России

Аннотация

В статье представлен анализ и обобщение известных архитектурных решений проектирования программного обеспеченья (ПО) распределенных вычислительных систем. Определены особенности архитектуры ПО в зависимости от типа управления функциями распределенной вычислительной системы (РВС). Рассмотрены архитектурные шаблоны и предложены варианты их применения при проектировании ПО децентрализованного управления функцией многокамерного сопровождения (МС) для автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и интеллектуальных камер (ИК) подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения.

Введение

Под влиянием парадигмы edge computing [1] и благодаря развитию ряда информационных технологий, таких как computer vision, P2P, DHT, Mesh-сети, сформировалась концепция построения системы видеонаблюдения с подсистемой видеоаналитики реализующей децентрализованное управление функцией МС. Структура такой системы описана в статье [2] и фактически представляет собой РВС с децентрализованным управлением. Ее достоинствами по отношению к аналогичным системам с централизованным управлением является отказоустойчивость и масштабируемость.

Задачи, решаемые в рамках проектирования такой системы, можно разделить на два класса:

– задачи однокамерной видеоаналитики (детектирование, идентификация и сопровождение объектов в пределах поля зрения одной камеры);

– задачи организации взаимодействия интеллектуальных камер между собой и с АРМ операторов системы.

Задачам первого класса посвящено много работ наших и зарубежных ученых [3, 4]. Задачам второго класса на сегодня уделяется недостаточное внимание. В статье [5] предложен алгоритм децентрализованного управления функцией МС.

Доведение предложенной концепции до реализации требует принятия решений в отношении архитектуры ПО, в том числе той его части, которая отвечает за децентрализованное управление функцией МС. Поскольку разрабатываемая система относится к РВС, целесообразно провести анализ существующих архитектурных решений проектирования ПО РВС. Кроме того, необходимо определить особенности архитектуры ПО в зависимости от типа управления функциями РВС.

Анализ архитектурных решений проектирования ПО РВС

Согласно определению данному в [6]: «РВС — это набор соединенных каналами связи независимых компьютеров, которые с точки зрения пользователя некоторого ПО выглядят единым целым». Исходя из этого определения РВС представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для решения определенных задач.

Под термином «архитектура ПО РВС» будем понимать [8]: совокупность важнейших решений об организации программной системы, являющейся частью единого программно-аппаратного комплекса. В общем случае архитектура ПО РВС задается:

– структурными элементами (например, функциональными модулями) и их интерфейсами;

– связями структурных элементов;

– расположением структурных элементов относительно аппаратных устройств (компьютеров);

– общим архитектурным стилем.

Следуя принципу иерархического деления, целесообразно проектировать ПО РВС сначала разбивая его на крупные функциональные модули, затем полученные модули, анализировать более детально и, в свою очередь, делить на подмодули.

Как видно из рисунка 1, ПО компьютеров из состава РВС в общем случае разделено на два уровня [9]: распределенные приложения, промежуточное ПО. Функциональные возможности распределенных приложений, отвечающих за решение прикладных задач, с целью обеспечения прозрачности работы РВС, базируются на промежуточном ПО. Оно формирует необходимую инфраструктуру для функционирования распределенных приложений и взаимодействует с локальными операционными системами. В случае, когда функциональности локальных ОС достаточно для требуемого функционирования распределённых приложений, промежуточное ПО может не разворачиваться.



Рис.1. Обобщенная структура ПО РВС

Типовыми функциональными компонентами ПО РВС являются [6]:

– интерфейс взаимодействия пользователя (ИВП);

– бизнес-логика (БЛ);

– управление данными (УД).

В зависимости от баланса распределения типовых функциональных компонент ПО между компьютерами РВС [6, 7], порождающего демаркацию их предназначения, архитектура ПО РВС бывает следующих видов (см. рисунок 2):

– одноуровневая или одноранговая архитектура;

– многоуровневая архитектура.

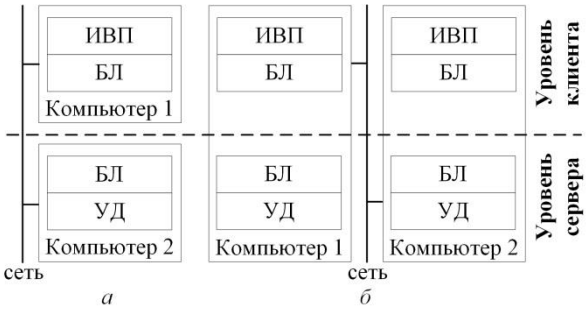


Рис.2. Архитектура ПО РВС в зависимости от распределения типовых функциональных компонент между компьютерами РВС: а – двухуровневая (частный случай многоуровневой) архитектура; б – одноуровневая архитектура

Для одноранговой архитектуры характерно то, что каждый из компьютеров может выступать как в роли сервера (предоставляет некоторый ресурс), так и клиента (потребляет ресурс). Для многоуровневой архитектуры характерно, строгое разделение компьютеров из состава РВС на клиенты и серверы. При этом существует несколько шаблонов распределения ряда типовых функциональных компонент между клиентом и сервером называемых тонкий и толстый клиент.

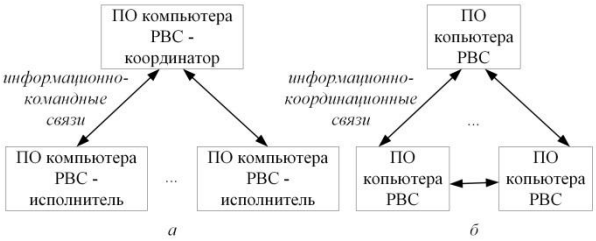


Рис.3. Подходы к построению ПО РВС в зависимости от типа управления их функциями: а – централизованное управление
б –децентрализованное управление

Одной из задач проектирования РВС, определяющей архитектуру ее ПО, является выбор типа управления ее функциями [10]. Так для централизованного управления характерна многоуровневая, а для децентрализованного одноранговая архитектура ПО. В рамках парадигмы децентрализованного управления могут рассматриваться следующие решения: децентрализация с множеством локальных центров и полная децентрализация. Критерием, определяющим различия архитектур, является наличие иерархии ролей компьютеров системы и, как следствие, виды их информационного взаимодействия между собой. Информационное взаимодействие, в зависимости от его целей можно разделить на информационно-командное и информационно-координационное. На рисунке 3 представлены подходы к построению ПО РВС, определяемые типом управления функциями РВС.

В [10, 11] описаны базовые архитектурные шаблоны проектирования ПО, применяемые для проектирования ПО как отдельных компьютеров, так и РВС в целом, что указывает на соответствие некоторых из них приведенному выше обобщению для архитектуры ПО РВС. Наиболее известными шаблонами являются:

– Многоуровневый шаблон. Данный шаблон позволяет структурировать ПО, которое можно разделить на группы подзадач, каждая из которых соответствует одному из уровней абстракции.

– Шаблон посредника. Данный шаблон используется для структурирования распределенных систем с разделенными компонентами, которые взаимодействуют через удаленный вызов сервисов.

– Шаблон Модель-Представление-Контроллер (МПК). Этот шаблон разделяет ПО на три взаимодействующие части: модель – содержит функциональность и данные предметной области; представление – отображает информацию для пользователя; контроллер – интерпретирует действия пользователя.

– Клиент-серверный шаблон. В данном шаблоне серверные компоненты предоставляют сервисы для клиентских компонент.

– Шаблон ведущий-ведомый. Ведущий компонент распределяет задачи между идентичными ведомыми компонентами и вычисляет финальный результат на основе полученных частных результатов от ведомых компонент.

– Одноранговый шаблон. Данный шаблон может рассматриваться как симметричный клиент-серверный шаблон.

Архитектура ПО децентрализованного управления функцией МС подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения

Поскольку рассматриваемая в [2] РВС, представляющая собой подсистему видеоаналитики системы видеонаблюдения, реализующую алгоритм децентрализованного управления функцией МС описанный в [5], состоит из двух типов элементов: ИК и автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов, необходимо определить из каких элементов состоит ПО каждого из них.

В наиболее общем виде архитектуру ПО такой РВС можно представить в виде комбинации двух типовых шаблонов (см. рисунок 4): клиент-серверный – АРМ операторов в роли клиентов запрашивают сервис МС у ИК выполняющих роль серверов; одноранговый – ИК формируют одноранговую сеть распределенного хранения данных, обеспечивающую логическую инфраструктуру для алгоритма децентрализованного управления функцией МС.

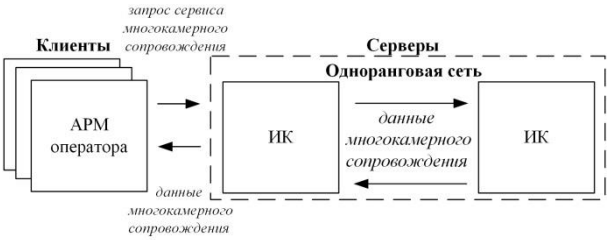


Рис.4. Вариант архитектур ПО подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения

Для разработки ПО АРМ оператора может быть использована модульная структура, представленная на рисунке 5, фактически являющаяся вариантом шаблона МПК. Так модуль интерфейса пользователя относится к абстракции-представления и обеспечивает отображение информации о процессе МС оператору. Модуль МС относится к абстракции-контроллера и обеспечивает запрос сервиса МС у ИК. Роль абстракции-модели выполняют ИК, предоставляющие заказанный сервис в виде данных о процессе МС.



Рис.5. Модульная структура ПО подсистемы видеоаналитики с функцией МС для АРМ оператора

На рисунке 6 представлен вариант модульной двухуровневой структуры ПО подсистемы видеоаналитики с функцией МС для ИК.

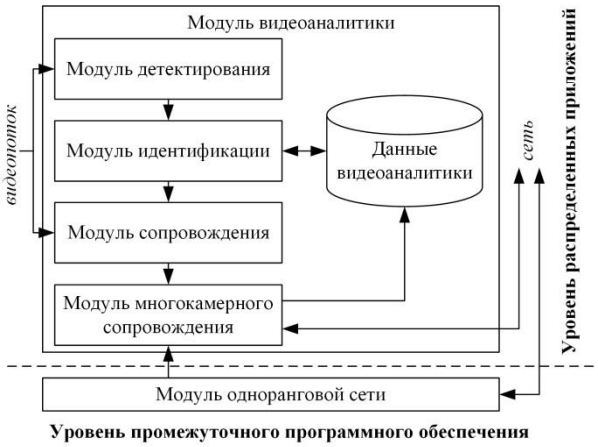


Рис.6. Модульная двухуровневая структура ПО подсистемы видеоаналитики с функцией МС

Модуль видеоаналитики относящийся к уровню распределенных приложений и содержит логику выполнения функции МС. Состоит из модулей, реализующих алгоритмы однокамерной видеоаналитики и алгоритм децентрализованного управления функцией МС.

Модуль одноранговой сети, относящийся к уровню промежуточного ПО и осуществляет прозрачный доступ к распределенным ресурсам РВС. Выполняет роль логической инфраструктуры для реализации децентрализованного управления функцией МС.

Заключение

В статье проведен анализ архитектурных решений проектирования ПО РВС. Выбраны архитектурные шаблоны и предложены варианты их применения при проектировании ПО децентрализованным управлением функцией МС АРМ операторов и ИК подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения.

Результаты данной работы могут быть использованы для разработки ПО АРМ операторов и ИК подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения с децентрализованным управлением функцией МС.

Список литературы:

1. Barthélemy J. et al. Edge-computing video analytics for real-time traffic monitoring in a smart city //Sensors. – 2019. – Т. 19. – №. 9. – С. 2048.

2. Лебеденко Е. В., Николаев Д. А. Моделирование процесса децентрализованного управления многокамерным сопровождением объектов в подсистеме видеоаналитики системы видеонаблюдения //Системы управления и информационные технологии. – 2019. – №. 4. – С. 41-46.

3. Cheng G., Han J. A survey on object detection in optical remote sensing images //ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2016. – Т. 117. – С. 11-28.

4. Yilmaz A., Javed O., Shah M. Object tracking: A survey //Acm computing surveys (CSUR). – 2006. – Т. 38. – №. 4. – С. 13-es.

5. Николаев Д. А., Лебеденко Е. В., Пимонов Р. В. Подходы к имитационному моделированию системы видеонаблюдения с децентрализованной структурой //Системы управления и информационные технологии. – 2020. – №. 2. – С. 9-14.

6. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы //Принципы и парадигмы. СПб.: Питер. – 2003. – Т. 1.

7. Радченко Г. И. Распределенные вычислительные системы //Челябинск: Фотохудожник. – 2012. – С. 184.

8. Clements P. et al. Documenting software architectures: views and beyond //25th International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings. – IEEE, 2003. – С. 740-741.

9. Коньков К. А., Бабичев С. Л. Распределенные системы. – 2019.

10. Сираж Р. Децентрализованные приложения. Технология Blockchain в действии. – " Издательский дом"" Питер""", 2016.

11. Burns B. Designing Distributed Systems: Patterns and Paradigms for Scalable, Reliable Services. – " O'Reilly Media, Inc.", 2018.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ НА КРИСТАЛЛЕ

О.А. Волгина, А.В. Рогулина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Исследуется применение алгоритмов маршрутизации, используемых в беспроводных самоорганизующихся сетях, в новой области – сетях на кристалле. Показано, что поскольку структура связей ядер зафиксирована, сеть остается статической, что обуславливает целесообразность применения виртуальных координат по аналогии с беспроводными самоорганизующимися сетями.

Введение

Одной из основных научных проблем современности является повышение производительности многоядерных систем на кристалле (СнК). В условиях, когда тактовая частота чипа почти достигла теоретических пределов, единственным путем остается экстенсивное повышение числа независимых вычислительных ядер в рамках одного чипа. При этом производительность, достигаемая от одновременной работы многочисленных вычислительных ядер, может быть высокой только при наличии эффективной коммуникации между ними. Высокая пропускная способность подсистемы связи такой многоядерной системы на кристалле может быть достигнута только при построении высокопроизводительной сети на кристалле (СтнК). При этом сама подсистема связи может занимать до 30% площади чипа и до 40% его энергопотребления. Поэтому к подсистеме связи СтнК предъявляются такие требования, как простота устройства встроенных маршрутизаторов, сверхмалые сетевые задержки, низкое энергопотребление, высокая пропускная способность при как можно меньших

аппаратных затратах. Исследования показывают, что СтнК представляет собой развитие текущих тенденций внутричиповой коммуникации, а не явную новую альтернативу [1]. При этом некоторые принципы ее построения и решения могут быть заимствованы из классической теории самоорганизующихся локальных сетей.

Современное состояние исследований данной области

В настоящее время СтнК – самый популярный механизм межсоединения, используемый для систем, требующих гибкость, расширяемость и низкое энергопотребление. При этом производительность подсистемы связи во многом зависит от алгоритма маршрутизации, который используется в СтнК. Наиболее важными проблемами в процессе маршрутизации являются: тупик, постоянная блокировка, перегрузка и сбои. Наиболее распространенной классификацией протоколов маршрутизации СтнК является метод на основе решаемых ими проблемами, на основе которого выделяют два основных семейства: одноцелевые и многоцелевые [2]. Также показано, что с помощью классических методов трудно одновременно достичь всех целей, демонстрируя сильные стороны многоцелевых подходов.

Еще одним вопросом, поднимаемый в исследованиях, является проблема эффективной организации соединений на чипе многоядерного микропроцессора с распределенным общим кэшем. От сети соединений требуются высокая частота передачи пакетов, низкие задержки, поддержка качества обслуживания и сохранение порядка пакетов. Предлагается решение на основе топологии mesh, деления сети на строки и столбцы и экспресс-виртуальных каналов с доработками их механизма предотвращения «голодания». Предложенная схема демонстрирует все требуемые качества в сочетании с хорошей масштабируемостью [3].

Беспроводные технологии

Связь внутри кристалла в современных многопроцессорных чипах и многопроцессорных СнК в основном основана на парадигме проектирования сети на кристалле СтнК. При этом обычные архитектуры СтнК не могут удовлетворить требования к производительности, мощности и надежности, которые предъявляются к следующему поколению многоядерных архитектур [4]. Появившиеся сравнительно недавно внутрикристальные технологии связи, такие как беспроводные СтнК, были предложены в качестве возможных решений для устранения ограничений масштабируемости традиционных многоузловых архитектур СтнК.

Беспроводная связь на кристалле является многообещающим кандидатом для решения проблем производительности и эффективности, возникающих при масштабировании существующих технологий СтнК на многоядерные процессоры. В существующих архитектурах беспроводных СтнК обычно используются антенны миллиметрового диапазона без значительного усиления направленности, а также протокол передачи токенов для доступа к общей беспроводной среде. Антенны обеспечивают встроенную беспроводную связь для передачи данных, минимизируя задержку передачи и рассеивание энергии [5]. При этом существует ограничение достижимого преимущества в производительности, поскольку единовременно может обмениваться данными только одна беспроводная пара иначе беспроводная связь может вызвать помехи.

Беспроводная СтнК может обслуживать глобальный и широковещательный трафик со сверхмалой задержкой даже в микросхемах с тысячами ядер, тем самым действуя как естественное дополнение к традиционным и ориентированным на пропускную способность проводным СтнК [6].

Методы самоорганизующейся маршрутизации

В контексте беспроводных ячеистых сетей требования к масштабируемости, неоднородности и неконтролируемому развертыванию требуют введения самоорганизации. Разработка протокола маршрутизации, который действительно использует специфические особенности самоорганизованной беспроводной сети, остается сложной задачей. Статическая природа потенциальных магистральных узлов и отсутствие ограничений по мощности позволяет предлагать некоторые полезные функции для достижения этой цели, такие как поддержка нескольких радиоканалов и нескольких каналов, статические магистральные узлы и увеличенные возможности центрального процессора и хранилища. Ожидаемым дополнительным преимуществом по отношению к тем, кто не использует или не может их использовать, является увеличение общей пропускной способности, поддерживаемой сетью. Следовательно, на уровне маршрутизации исследования в основном сосредоточены на разработке методов маршрутизации с низкими накладными расходами на управление, чтобы справиться с частыми нарушениями маршрута из-за мобильности или сбоев узлов [7].

Изучение метода маршрутизации – это комплексная задача, которая требует проведения целого ряда фундаментальных и поисковых исследований. Прежде всего, требуется разработать алгоритм маршрутизации, который предусматривает возможность связи между удаленными вычислительными ядрами при значительном росте их количества. В таком случае требуется ввести понятие расстояния между узлами сети для того, чтобы при проекции графа вычислительной задачи по построению маршрута на топологию сети коммуникация осуществлялась по наикратчайшим путям. Этот подход уменьшает потери на коммуникации при вычислениях.

В классической теории компьютерных сетей разработано множество алгоритмов, методов и протоколов связи, которые могли бы стать основой для СтнК. В настоящем время все больше внимание привлекает идея применения для СтнК алгоритмов и методов маршрутизации, которые были разработаны для беспроводных самоорганизующихся сетей [8]. Подобные методы основаны на применении виртуальных координат для однозначного построения адресации узлов сети.

Отдельное внимание стоит обратить на проработку математических аспектов методов самоорганизующейся маршрутизации. Одним из таких методов является выбор центров иерархий, которые будут служить в качестве точек отсчета виртуальных координат, а также определение их количества для однозначного задания координат. При этом существует потенциальная проблема наличия «горячих точек» [9], которую нужно учитывать при выборе центров иерархии. Методы самоорганизующейся маршрутизации для СтнК удовлетворяют высоким требованиям к пропускной способности и устойчивости связи.

Заключение

Производительность сети на кристалле зависит от различных факторов, но пропускная способность является наиболее доминирующей характеристикой. Для преодоления узкого места производительности и надежности системы, вызванного особенностями внутрикристалльного межсоединения, ведется активная разработка механизмов, использующих преимущества беспроводной связи. Новейшие исследования в этой области рассматривают применение алгоритмов маршрутизации, используемых в беспроводных самоорганизующихся сетях, в новой области – сетях на кристалле.

Список литературы:

1. Bjerregaard T., Mahadevan S. A survey of research and practices of network-on-chip //ACM Computing Surveys (CSUR). – 2006. – Т. 38. – №. 1. – С. 1-es.
2. Gabis A. B., Koudil M. NoC routing protocols–objective-based classification //Journal of Systems Architecture. – 2016. – Vol. 66. – P. 14-32.
3. Недбайло Ю.А. Разработка сети на кристалле для перспективных многоядерных микропроцессоров // Труды Московского физико-технического института. – 2017. – Т. 9. – № 2 (34).
4. Catania V. et al. Cycle-accurate network on chip simulation with noxim // ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS). – 2016. – Vol. 27. – No. 1. – P. 1–25.
5. Wang C., Hu W. H., Bagherzadeh N. A wireless network-on-chip design for multicore platforms //2011 19th international euromicro conference on parallel, distributed and network-based processing. – IEEE, 2011. – P. 409-416.
6. Abadal S. et al. Medium access control in wireless network-on-chip: A context analysis // IEEE Communications Magazine. – 2018. – Vol. 56. – No. 6. – P. 172–178.
7. Núñez-Martínez J., Mangues-Bafalluy J. A Survey on Routing Protocols that really Exploit Wireless Mesh Network Features //JCM. – 2010. – Vol. 5. – No 3. – P. 211-231.
8. Kumar S. et al. A network on chip architecture and design methodology //Proceedings IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI. New Paradigms for VLSI Systems Design. ISVLSI 2002. – IEEE, 2002. – С. 117–124.
9. Романов, А.Ю. Исследование сетей на кристалле с топологией mesh с помощью модели NoCTweak // Информационные технологии. – М.: Издательство «Новые технологии», 2016. – Т. 22. – № 7. – С. 498–503.

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

А.С. Пономарев, А.А. Американов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описывается применение единой среды для высокоуровневого моделирования сетей на кристалле (СтнК) с помощью симуляторов различных типов. Подобный подход позволяет провести более точный и всесторонний анализ характеристик проектируемых сетей на этапе проведения их высокоуровневого моделирования.

Введение

С каждым годом увеличивается сложность вычислительных задач и растут объемы информации, которые нужно обрабатывать. В связи с этим неуклонно возрастают требования к производительности электронных систем. Наиболее результативным подходом к решению данной задачи является использование многоядерных систем. При этом возникает необходимость организации эффективного взаимодействия между их многочисленными элементами.

В работе рассматривается подход к проектированию многопроцессорных систем с применением СтнК. В частности, рассматривается этап высокоуровневого моделирования СтнК. Также, приводится краткое описание некоторых наиболее эффективных моделей и предлагается особый подход к проведению высокоуровневого моделирования с целью уменьшения количества ошибок на этом этапе и снижения вероятности их появления.

Проектирование сетей на кристалле

Производительность СтнК определяется большим количеством различных параметров. Наиболее значимым из них является топология сети – способ соединения функциональных узлов данной сети между собой [1].

Топологии можно разделить на две подгруппы: нерегулярные и регулярные. *Нерегулярные топологии* требуют для каждого из узлов хранить информацию, необходимую для передачи данных в остальные узлы. При увеличении количества узлов сети использование подобных топологий приводит к значительным затратам ресурсов и усложняет проектирование, что делает затруднительным их использование в больших системах [2]. *Регулярные топологии* лишены этих недостатков, так как связи между узлами и алгоритмы маршрутизации могут быть математически описаны. В настоящее время топологии этого вида, такие как ячеистые топологии и циркулянтные топологии [3], чаще всего применяются в реальных многоядерных системах.

Другим фактором, имеющим серьезное влияние на характеристики сети, является алгоритм маршрутизации, определяющий путь передачи данных от одного узла топологии к другому. Существуют как алгоритмы, применимые к любым графам (например, алгоритм Дейкстры), так и специфические методы маршрутизации в ячеистых топологиях (например, алгоритм XY) и циркулянтных топологиях (например, адаптивный алгоритм [2]).

В связи с разнообразием топологий и алгоритмов маршрутизации в них, при решении задач проектирования существует необходимость проведения анализа различных конфигураций сетей. Для этого применяются специальные программные средства – высокоуровневые симуляторы СтнК.

Описание высокоуровневых моделей

В настоящее время разработано значительное количество программ для моделирования сетей на кристалле. Большая часть моделей не обладает универсальностью и предназначена для симуляции работы ограниченного количества топологий.

Так, консольное приложение Booksim [4], разработанное на языке C++ и предназначенное для работы в UNIX-подобных системах, позволяет симулировать ряд ячеистых и древовидных топологий. Исходный код данной модели является открытым, что дает возможность ее модификации [5].

Другой высокоуровневый симулятор, Noxim, реализованный на SystemC, интересен возможностью задавать различные параметры симуляции и применять ряд алгоритмов маршрутизации [6]. Но он позволяет моделировать только сети с топологией Mesh.

Одним из наиболее универсальных симуляторов, поддерживающих произвольные топологии и имеющих широкий спектр входных и выходных параметров, является Universal on-Chip Network Simulator (UOCNS) [7]. Эта модель, реализованная на языке программирования Java, позволяет проводить моделирование таких топологий, как Mesh, Torus, Circulant. Для ячеистых топологий в данной модели применяется алгоритм маршрутизации XY, а для циркулянтных можно использовать алгоритм Дейкстры, почасового обхода или адаптивный. Также, данная программа позволяет моделировать произвольные топологии. Еще одной особенностью UOCNS является возможность работы с ним как из командной строки, так и с использованием графического интерфейса. У UOCNS есть специальная адаптированная версия для сервера UOCNS-SE

[8], в которую была внедрена поддержка многопоточности, что позволяет проводить несколько моделирований одновременно.

Концепция единой среды моделирования

Разрабатываемая среда для одновременного моделирования СтнК призвана решить ряд проблем, возникающих при попытке провести комплексный анализ характеристик проектируемой сети.

Во-первых, СтнК имеют большое количество характеристик, а модели зачастую вычисляют только некоторые из них. Проведение же моделирования с использованием нескольких симуляторов вручную является довольно трудоемким и длительным процессом. Поэтому одна из задач единой среды моделирования заключается в предоставлении возможности автоматической симуляции СтнК с использованием выбранных моделей и сборе результатов от всех используемых моделей. Таким образом, станет возможным получение наиболее полного набора сведений о производительности исследуемой сети.

Во-вторых, нужно отметить, что ошибки на этапе высокоуровневого моделирования приводят к потерям большого количества времени и затратам ресурсов при попытке проведения низкоуровневого моделирования [9]. Разрабатываемая среда может уменьшить вероятность возникновения таких ошибок путем сравнения результатов расчетов одной и той же характеристики сети несколькими моделями.

Реализация единой среды моделирования

Для разработки был выбран язык программирования C#. При проектировании программного обеспечения применен объектно-ориентированный подход, так как классы логически подходят для хранения информации об элементах системы.

Для хранения информации о моделируемых сетях различных топологий предназначены специальные классы, наследуемые от одного абстрактного класса. Для хранения информации об используемых моделях предназначены объекты другого класса, содержащего такие поля, как имя модели, тип модели, путь к исполняемому файлу модели, путь к результатам работы модели.

За графический интерфейс и взаимодействие с пользователем также отвечает отдельный класс. Пользователь имеет возможность выбрать интересующую топологию, алгоритм маршрутизации и настроить некоторые другие параметры симуляции. Далее производится подключение моделей, после чего может быть запущено моделирование СтнК выбранной конфигурации.

При запуске симуляции среда проводит обработку введенной пользователем информации, генерирует требуемые для работы моделей данные в нужном формате в зависимости от их типа, после чего начинается непосредственно симуляция. По окончании симуляции среда считывает результаты работы всех моделей и выводит пользователю.

Заключение

Использование единой среды для проведения высокоуровневого моделирования СтнК является эффективным способом получения наиболее полной информации о характеристиках исследуемой сети на кристалле и позволяет избежать ошибок при моделировании. Кроме того, предлагаемый подход упрощает и ускоряет процесс моделирования.

Список литературы:

1. Coppola M., Grammatikakis M.D., Locatelli R. Design of Cost Efficient Interconnect Processing Units Spidergon. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – 265 p.
2. Neeb C., Wehn N., Designing efficient irregular networks for heterogeneous systems-on-chip, Journal of Systems Architecture, Volume 54, Issues 3–4, 2008, Pages 384-396.
3. Монахова Е.А. Структурные и коммуникативные свойства циркулянтных сетей // Прикладная дискретная математика. Новосибирск, 2011. –Т. 3. – № 13. – С. 92–115.
4. Jiang N. et al. BookSim 2.0 User's Guide. 2013. 11 p.
5. Michelogiannakis G., Sanchez D., Dally W.J., Kozyrakis C. Evaluating Bufferless Flow Control for On-chip Networks // Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Symposium on Networks-on-Chip (NOCS 2010). – ACM, 2010. – P. 9–16.
6. Catania V., Mineo A., Monteleone S., Palesi M., Patti D. Noxim: An open extensible and cycle-accurate network on chip simulator // *Application-specific Systems Architectures and Processors (ASAP) 2015 IEEE 26th International Conference*. – IEEE, 2015. – P. 162–163.
7. А.Ю. Романов Универсальная высокоуровневая программная модель сетей на кристалле Universal On-Chip Network Simulator (UOCNS). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019616754, 29.05.2019. Заявка № 2019615566 от 18.05.2019.
8. UOCNS_SE [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/RomeoMe5/UOCNS-SE (дата обращения 13.02.2021).
9. Соколов Ю.М., Фахми Ш.С., Хасан Я.А. Актуальные вопросы развития способов сквозного проектирования систем на кристалле // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2019. – Т. 1. – С. 436–438.

УСКОРЕНИЕ ОПЕРАЦИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ В APACHE SPARK

Е.С. Тырышкина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье рассмотрены особенности вычислений в распределенных системах на основе MapReduce, проанализированы типовые методы объединения наборов данных, даны основные рекомендации по оптимизации операции объединения данных, а также предложен алгоритм выполнения операции объединения для распределенных хранилищ данных, который берет лучшие характеристики известных подходов и объединяет их таким образом, чтобы увеличить скорость обработки в частном случае объединения данных. Предлагаемый метод реализован в среде обработки данных Apache Spark. Результаты экспериментов показывают, что предлагаемый метод позволяет значительно улучшить производительность операции по сравнению с существующими решениями. Для данных размером 2 ТБ метод позволил выполнить операцию объединения данных на ~ 37% быстрее, чем стандартный алгоритм, предлагаемый библиотекой Spark SQL, для данных 7 ТБ уже на ~ 47%.

Введение

Компании испытывают растущие потребности в хранении и анализе больших наборов данных, зачастую сегодня крупные аналитические платформы обрабатывают десятки терабайт данных ежедневно (например, logs, click streams), сложность многих приложений, интенсивно использующие большие объемы данных, повышается, обостряется необходимость в применении специальных вычислительных алгоритмов. Эта проблема и подобные ей привели к появлению новых файловых систем и систем управления базами данных [1]. Одной из таких является Google File

System (GFS) [2] или Hadoop Distributed File System (HDFS) [3]. Долгое время самым мощным решением для создания приложений в этой файловой системе был Google MapReduce, который является основным компонентом Hadoop и обеспечивает обработку данных. [4]. Hadoop работает со структурированными, неструктурированными и полуструктурированными данными.

MapReduce – это мощный инструмент для распределенных вычислений, выполняемых на тысячах узлов, себестоимость которых относительно низкая, что обеспечивает огромную емкость хранилища [5]. MapReduce также называет модель программирования для разработки масштабируемых параллельных приложений обработки больших данных в вычислительных кластерах [6].

Концепция MapReduce заключается в том, что процесс обработки данных, хранящихся в одном или нескольких файлах, разбивается на две фазы: map и reduce. В результате получаются пары ключ-значение. Каждая фаза имеет значение ключа в качестве входа и выхода. Ключи и значения не являются внутренними свойствами данных, но они выбираются пользователем, анализирующим данные. Генерация пары ключ-значение в Hadoop зависит от набора данных и требуемого вывода. Основная задача первой фазы (map) состоит в том, чтобы фильтровать данные и предоставлять возможность группировки данных на основе ключа, т.е (k1, v1) → List (k2, v2). Вторая фаза (Reduce) применяют другую функцию для объединения значений, связанных с одним ключом, для получения единственного результата для этого ключа, т. е (k2, List(v2)) → List (k3, v3). Ключ – это поле или объект, по которому на стадии Reduce будет производиться группировка и агрегация. Значение – это поле или объект, над которым будет применяться функция агрегации.

Было сделано много предложений по ускорению операции объединения в MapReduce (например, [7]), тем не менее, они все вынуждены производить масштабные перемещения данных на стадии shuffle. Также предлагались реализации тета-объединений [8] и их многоплановые реализации, предполагающие расчет длительности вычислений и вариантов декомпозиций, далее выбирая наиболее эффективный на основе числа вычислительных блоков и пула возможных заданий [9].

Особенности параллельной обработки данных

Первая проблема, с которой приходится сталкиваться при оптимизации запроса на объединение данных в распределенных базах данных, это вынужденная сортировка данных и их перемещение, что повышает нагрузку на сеть, которая несмотря на технологический прогресс, остается одним из узких мест в кластерных системах. Вторая проблема заключается в том, что чаще всего невозможно поместить весь набор данных в оперативную память, в результате часть данных многократно записывается и читается из диска, что также, как и в случае с сетью, сильно замедляет процесс обработки. Третья проблема вызвана особенностью данных, а именно тем фактором, что некоторые значения в данных встречаются намного чаще других, простая стратегия объединения в таком случае будет приводить к неравномерному разбиению данных на разделы, получаемых узлами кластера. Затраты на обработку таких смещенных данных будут приводить в лучшем случае к сильной задержке общего времени выполнения операции, в худшем – к полной невозможности успешного выполнения запроса.

Рекомендации по оптимизации объединений в Apache Spark

В первую очередь необходимо убедиться, что все базовые рекомендации к выполнению операции объединения уже выполнены. Зачастую для того, чтобы сократить время выполнения достаточно правильно подготовить данные перед объединением:

- когда оба RDD имеют дубликаты ключей партиционирования, объединение может привести к значительному увеличению размера данных. Если есть такая возможность, то лучше предварительно выполнить отдельную операцию агрегирования или операцию combByKey или использовать cogroup
- если в одном RDD имеется некоторое легко определяемое подмножество ключей, в другом вам лучше будет отфильтровать или сократить набор данных перед объединением, чтобы избежать большого перемешивания данных, которые вы в конечном итоге выбросите.
- чтобы выполнить объединение данных, Spark необходимо, чтобы данные, основанные на одинаковом ключе, располагались в одном разделе.

Наличие слишком малого и слишком большого количества партиций имеет определенные преимущества и недостатки. Поэтому рекомендуется разумно разбивать разделы в зависимости от конфигурации и требований кластера. Меньшее количество партиций не позволяет в полной мере распараллелить выполнение вычислений. С другой стороны, при слишком большом количестве партиций планирование задач может занять больше времени, чем фактическое выполнение. Кроме того, если данные будут сильно перекошены по ключу в одном разделе [10], это приведет к ситуации, когда один исполнитель может работать дольше, чем все другие, и, следовательно, задерживать общее выполнение задачи.

Производительность соединений Spark зависит от стратегии, используемой для решения каждого сценария, которая, в свою очередь, зависит от размера таблиц. Можно выделить три главные стратегии: либо с помощью sort merge join или shuffle hash join, если мы объединяем две большие таблицы, либо broadcast join, если хотя бы один из задействованных наборов данных является достаточно маленьким, чтобы храниться в оперативной памяти одного исполнителя.

Broadcast Join. Соединения такого типа обеспечивают максимальную производительность в Spark. Однако это актуально только для небольших наборов данных, необходимо убедиться какой максимальный размер набора данных позволяет передавать конкретная версия Spark, с которой вы работаете. Возможно, потребуется дать подсказку интерпретатору Spark, что стоит использовать широковещательное объединение. Для автоматического применения данного подхода к объединению необходимо, чтобы объем таблицы был меньше некоторого значения, регулируемого через конфигурацию контекста «spark.sql.autoBroadcastJoinThreshold», который по умолчанию составляет всего 10 Мб. Таким образом, целесообразно использовать широковещательные объединения, когда это возможно. Данный тип объединения также решает проблемы неравномерного шардинга и ограниченного параллелизма.

Shuffle Hash Join. Shuffle Hash – это самый простой способ объединения таблиц в Spark, он работает на основе концепции MapReduce. На стадии map на основе данных вычисляются ключи, по которым будет производиться объединение. Эти значения используются как ключи в key-value паре и как ключи партиционирования. Далее производится перемещение данных на основе этих ключей. Такой подход гарантирует, что данные, относящиеся к одному ключу, будут располагаться на одной и той же вычислительной машине кластера. Spark выбирает Shuffle Hash join, когда Sort-Merge join выключен или если ключ не подходит для Sort-Merge join. Возможность применить Sort-Merge join проверяется функцией [11]:

```
def canBuildLocalHashMap (plan: LogicalPlan): Boolean = {
plan.statistics.sizeInBytes
<conf.autoBroadcastJoinThreshold * conf.numShufflePartitions
}
```

Как видно из названия функции, Spark использует ее, чтобы убедиться, что Shuffle Hash join лучше подходит для данного набора данных, чем широковещательное соединение. Но может быть несколько ситуаций, когда некоторые сценарии присоединения будут превосходить по производительности Shuffle Hash. В этот момент мы можем увеличить размер порога автоматического широковещательного соединения («spark.sql.autoBroadcastJoinThreshold»), чтобы обмануть оптимизатор и использовать Broadcast join [12]:

```
def muchSmaller (a: LogicalPlan, b: LogicalPlan): Boolean = {
a.statistics.sizeInBytes * 3 <= b.statistics.sizeInBytes
}
```

Создание хеш-таблиц является дорогостоящей операцией, и это может быть сделано только тогда, когда средний размер одного раздела достаточно мал, чтобы построить хеш-таблицу.

Sort-Merge join. Объединение с Sort Merge join является очень хорошим кандидатом в большинстве случаев, так как оно может записывать данные на диск и не нужно хранить все в памяти, как их аналог Shuffle Hash join. Объединение Sort-Merge состоит из 2 шагов. Первым шагом является сортировка наборов данных (эта операция, очевидно, сама по себе тяжелая), а второй операцией является объединение отсортированных данных в разделе путем итерации по элементам и в соответствии с ключом соединения соединяются строки, имеющие одинаковое значение. В Spark выше версии 2.3 Sort-Merge join используется как алгоритм по умолчанию, однако это можно отключить, использую параметр конфигурации «spark.sql.join.preferSortMergeJoin».

Важное замечание, прежде чем углубляться в некоторые идеи по оптимизации объединений: на самом деле, более низкое абсолютное время выполнения не означает, что один метод абсолютно лучше, чем другой. Производительность также зависит от конфигурации сеанса Spark, нагрузки на кластер и синергии между конфигурацией и реальным кодом.

Тогда в процессе обработки RDD2, можно сделать репартиционирование с использованием того же алгоритма, что и в RDD1 (customPartitioner), а затем внутри функцию mapPartitionsWithIndex() обратиться по индексу к конкретному файлу первого набора и загрузить его в память напрямую.

Таким образом, программный код объединения будет выглядеть так:

```
val data = RDD2.partitionBy(customPartitioner)
val res = data.mapPartitionsWithIndex((index, partition) = {
val conf = confBroadcast.value.value
val partitionRDD1 = readFromHDFS(conf, path + index)
val partitionData = partitionRDD1.map {
case Array(k, v) => k -> v.toLong;
case _ => “” -> “”}
}.toMap

val newPartition = partition.map(
    record => partitionRDD1(record._1))
new Partition
})
```

Результаты экспериментов

Экспериментальные расчеты проводились над текстовыми данными, сжатыми алгоритмом Deflate. Для проведения вычислений было задействовано 128 исполнителей по 4 ядра, 16Gb памяти на исполнителях и 8G на драйвере.

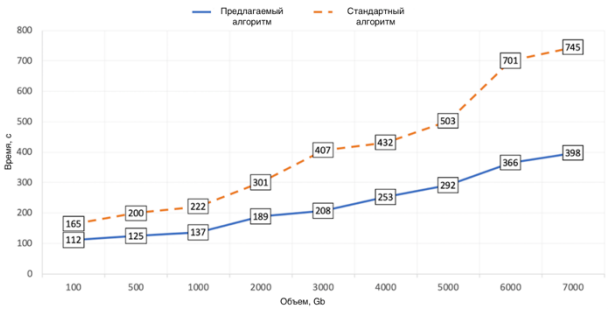


Рис.1. Сравнение времени выполнения расчета относительно объема входных данных для алгоритма, предлагаемого в работе (сплошная линия) и в стандартном Spark SQL (пунктирная линия)

Было проведено несколько тестов нового подхода слияния и проведено их сравнение со стандартным объединением сортировка-слияние, используемым в Spark SQL (рисунок 1). Измерения затраченного времени проводились стандартным методом spark.time() на объемах текстовых неструктурированных данных от 100 ГБ до 7 ТБ. Каждое измерение выполнялось 5 раз, а время выполнения усреднялось.

Заключение

Таким образом, были рассмотрены особенности распределенных вычислений в Spark и основные стратегии операции объединения. Был представлен алгоритм, решающего частный случай операции объединения. На основе представленных экспериментальных дынных видно, что, чем больше объем входных данных, тем более эффективен предложенный в статье алгоритм. Таким образом, это позволило для данных размером 2 ТБ выполнять совместную операцию на ~ 37% быстрее, чем стандартный алгоритм, предлагаемый библиотекой Spark SQL, а для данных размером 7 ТБ уже на ~ 47%. Это ускорение можно считать весьма значимым, так как на сегодняшний день среди механизмов, работающих с распределенными наборами данных, Spark считается наиболее эффективным по скорости вычислений.

Список литературы:

1 1.Afrati, Foto N. and Ullman, Jeffrey D. Optimizing Joins in a Map-Reduce Environment. [In Proc. of the “13th International Conference on Extending Database Technology”]. Lausanne Switzerland, 2010, pp. 99-110.

2. S. Ghemawat, H. Gobioff, , and S.-T. Leung. The google file system. [In Proc. of the “19th ACM Symposium on Operating Systems Principles”]. Bolton Landing NY USA, 2003, pp. 29–43.

3. Apache. Hadoop. http://hadoop.apache.org (accessed: 10.02.2021).

4. J. Dean and S. Ghemawat. Mapreduce: simplified data processing on large clusters. Communications of the ACM, 2008, vol. 51, no. 1, pp. 107–113. doi:10.1145/1327452.1327492

5. M. D. Dikaiakos, D. Katsaros, P. Mehra, G. Pallis, and A. Vakali. Cloud computing: distributed internet computing for IT and scientific research. IEEE Internet Computing, 2009, vol. 13, no. 5, pp. 10–13. doi:10.1109/MIC.2009.103

6. K. Shim. MapReduce algorithms for big data analysis. VLDB Endowment, 2012, vol. 5, no. 12, pp. 2016–2017. doi:10.14778/2367502.2367563

7. J. Dittrich, J. Quian´e-Ruiz, A. Jindal, Y. Kargin, V. Setty, and J. Schad. Hadoop++: Making a yellow elephant run like a cheetah (without it even noticing). PVLDB, 2010, vol. 3, no. 1-2, pp. 515-529. doi: 10.14778/1920841.1920908

8. A. Okcan and M. Riedewald. Processing Theta-Joins using MapReduce. [In Proc. of the "2011 ACM SIGMOD/PODS Conference"]. Athens, Greece, 2011. doi:10.1145/1989323.1989423

9. X. Zhang, L. Chen, and M. Wang. Efficient Multi-way Theta-Join Processing Using MapReduce. VLDB Endowment, 2012, vol. 5, no. 11, pp. 1184–1195. doi: 10.14778/2350229.2350238

10. Y. C. Kwon, M. Balazinska, B. Howe, and J. Rolia. A study of skew in mapreduce applications. [In Proc. of "Open Cirrus Summit"]. Moscow, 2011.

11. Optimize Spark SQL Joins. https://medium.com/datakaresolutions/optimize-spark-sql-joins-c81b4e3ed7da (accessed: 10.02.2021)

12. Spark SQL Guide. Performance Tuning. https://spark.apache.org/docs/latest/sql-performance-tuning.html (accessed: 10.02.2021)

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

А.А. Овчинникова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В этой работе представлена система дистанционного управления роботизированными устройствами на базе аппаратной платформы Arduino, реализованная с помощью средств операционной системы Android с использованием технологии передачи данных Bluetooth. Для реализации этой работы используются среда разработки Android Studio, СУБД SQLite.

Введение

Системы управления роботами обычно представляют собой сложные комплексы, пользователи которых должны быть предварительно обучены их использованию. Кроме того, процесс управления часто осуществляется с помощью проводных соединений или специальных компонент (пульт дистанционного управления). Использование смартфона на базе операционной системы Android является популярным способом беспроводного управления роботизированными устройствами. Разработано множество программ управления, использующих технологию Bluetooth, которые реализуют собственные структуры пакетов данных для обмена информацией между управляющим и управляемым устройством, что делает невозможным их применение для управления устройствами с другой структурой пакета данных. Также такие программы в основном ориентированы на управление единственным устройством. Существует потребность в решении, которое может обеспечить удобное и интуитивно понятное управление роботом с легкой регулировкой и одновременным контролем задач движения робота [1].

Несмотря на то, что данная задача является хрестоматийной, представленное решение имеет некоторые отличия от распространенной реализации. Целью работы и конечным результатом проекта является мобильное приложение, удовлетворяющее нескольким установленным критериям. Во-первых, возможность взаимодействовать с большим разнообразием устройств, с помощью возможности добавления описания структуры пакетов, передаваемых между смартфоном и роботизированным устройством. Далее, интерпретация сигналов, принимаемых от роботизированного устройства, в понятные пользователю сообщения.

Во-вторых, возможность одновременного управления группой однотипных устройств..

В первом разделе статьи рассматривается общая структура предлагаемого решения. Во втором разделе приведена более подробная информация об используемой структуре передаваемых пакетов данных.

Структура мобильного приложения

С учетом распространения использования различных версий операционной системы Android, для разработки была выбрана версия Android 8.0 Oreo.

Приложение было разработано с помощью Android Studio v4.1 с поддержкой некоторых встроенных независимых инструментов, включая ADT (Android Development Tools) и Java Development Kit (JDK), которые шли в комплекте с Android Studio. Пользовательский интерфейс приложения был в основном разработан с использованием xml-редактора, предоставленного внутри Android Studio [2].

Существует множество архитектурных шаблонов проектирования, которые могут быть использованы при разработке мобильных приложений на базе Android. Однако, в конце концов, из-за популярности использования при разработке мобильного приложения, для реализации был выбран шаблон проектирования MVP. Выбор основан на структуре шаблона, которая является гибкой для реализации функции в целевом классе и облегчает создание различных сценариев тестирования, поскольку одним из факторов, которые могут улучшить ремонтопригодность, является простота создания и запуска сценариев тестирования.

View не может принимать какие-либо данные из модели и остается полностью пассивным, пока presenter не уведомит или не прикажет view что-либо сделать. Presenter сильно привязан к одному представлению и выступает посредником между model и view. Presenter получает данные от model и дает команду view визуализировать полученные данные, которые, в свою очередь, будут обрабатывать действия, выполняемые пользователем. При этом сценарии компоненты view и model связаны слабо, что может облегчить изменение, добавление и тестирование кода [3].

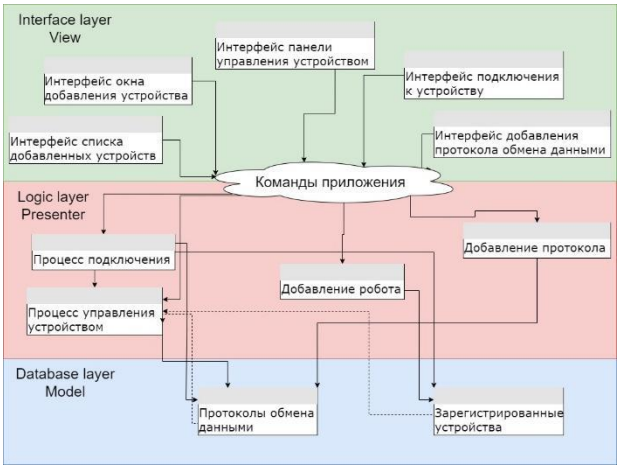


Рис.1. Бизнес логика приложения с использованием паттерна MVP

Добавление нового устройства пользователь выполняет с помощью отдельного интерфейса. Необходимо ввести уникальное имя, а также MAC-адрес, который возможно ввести вручную, либо выбрать один из подключенных к Android устройству через переход в стандартные настройки. Протокол передачи данных для каждого устройства выбирается отдельно. Этот функционал реализован через элемент интерфейса Spinner, который заполняется названиями протоколов, хранящихся в соответствующей базе данных. После корректного заполнения всех полей, пользователь подтверждает ввод нового устройства, и система заносит введенную информацию в базу данных устройств.

Пользователь также может ввести свой протокол передачи данных, элементы которого, такие как имя, длина пересылаемого сообщения и специальные коды действий робота, хранятся в отдельной базе данных. Ввод данных планируется производить через xml файл со специальной структурой.

SQLite был использован для создания баз данных из-за долговечности и простоты работы с данными текстовой формы. Кроме того, SQLite автоматически управляется платформой Android, и для его запуска не требуется большая память. В данной работе базы данных хранят информацию о добавленных устройствах и об используемых структурах пакетов для передачи данных.

Для связи между моделью и мобильным устройством встал выбор между использованием Bluetooth или Wi-Fi. Что касается скорости передачи, то связь по Bluetooth, которая в асинхронном режиме может обрабатывать 720 кбит/с, на несколько порядков медленнее, чем Wi-Fi с 11 Мбит/с. Wi-Fi также имеет большую досягаемость, но для целей этой работы это было не важно. С другой стороны, Bluetooth имеет более низкие требования к питанию, чем Wi-Fi. По этой причине он намного меньше, поэтому внешний модуль Wi-Fi далеко не всегда входит в комплектацию роботизированного устройства. Таким образом, для связи между мобильным устройством и роботом использовалась технология Bluetooth [4].

Структура пакетов передаваемых данных

Для описания процесса обмена данными между роботом и приложением, их систему можно представить в виде одноранговой сети. Одноранговые сети представляют собой распределенные среды с равноправными по отношению друг к другу узлами, которые могут выступать как в роли клиентов, так и в роли серверов. В условиях одноранговых сетей затруднено решение вопросов защиты информации. Поэтому такой способ организации сети используется для сетей с небольшим количеством компьютеров и там, где вопрос защиты данных не является принципиальным [5].

В соответствии с используемым протоколом, длина передаваемого пакета составляет 32 байта. Первые 4 байта задают класс и тип устройства отправления и устройства назначения соответственно, которыми могут быть Android устройство, а также роботы на базе Arduino, или робот Darwin Mini. Следующий 1 байт занимает метка, отвечающая за указание какая отправляется команда: новая или повтор предыдущей. Далее 1 байт занимает один из 3 типов команды: перемещение, телеметрия и калибровка (калибровка либо установка скорости сервомоторов). Тип задается в старших четырех битах, а 4-х младших указывается количество байт, последующих далее данных. Ими могут быть закодированы команды перемещения, данные телеметрии и калибровки.

Заключение

Таким образом, была реализована система дистанционного Bluetooth управления мобильным роботом на ОС Android. Особенностью разработки является возможность ввести собственный протокол передачи данных для «общения» с устройством. Тестирование и использование приложения планируется проводить в рамках учебной лаборатории САПР МИЭМ. Его функционал может быть полезен для любого аппаратного проекта на стадии тестирования, так как для разработки собственной системы управления требуется время. Оно существенно сокращается, если у команды есть Android смартфон и возможность скачать приложение. В дополнение, разработка обладает простотой управления и интерактивностью, что позволяет ее использование, например, на Дне открытых дверей МИЭМ. Любой желающий сможет провзаимодействовать с интересующим роботом и оставить яркие воспоминания от мероприятия.

Список литературы:

1. M. Lutovac Banduka Remote Monitoring and Control of Industrial Robot based on Android Device and Wi-Fi Communication // Automatika. – 2015. – Vol.56, br. 3 pp. 281-291.
2. gs.statcounter.com, [online] Available: https://www.google.com/url?q=https://gs.statcounter.com/android-version-market-share/mobile-tablet/worldwide&sa=D&source=editors&ust=1613403567950000&usg=AOvVaw0TNMYfJJQywj77Mn5uCXhb
3. G. Prabowo, H. Suryotrisongko and A. Tjahyanto A Tale of Two Development Approach: Empirical Study on The Maintainability and Modularity of Android Mobile Application with Anti-Pattern and Model-View-Presenter Design Pattern // 2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs). – 2018. – pp. 149-154.
4. J. Nádvorník and P. Smutný Remote control robot using Android mobile device // Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC). – 2014. – pp. 373-378.
5. Приходько И.В., Антонова Н.И. Разработка модели передачи данных между роботом и оператором по открытому каналу, защищённому посредством применения алгоритма шифрования AES // Научно-практические исследования. – 2017. – № 9. – С. 8-12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ И СИНТЕЗА RTL-ПРОЕКТОВ

А.О. Завьялов, Е.В. Лежнев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проведено сравнение различных способов создания окружения для моделирования RTL-проектов с использованием симулятора Modelsim [1], их преимущества и недостатки, а также примеры использования. В частности, это команды CMD Windows [2], TCL [3] и Python [4] на семействе операционных систем Windows NT.

Введение

Разработка RTL-проектов является одним из этапов создания полупроводниковых устройств. Для проверки их работоспособности на функциональном уровне используются симуляторы. Такие проекты зачастую содержат множество параметров, например, как ширина шины данных, пути к файлам инициализации памяти и тому подобное. Также обычно хранятся только файлы с исходным кодом,

без файлов проекта. Для их быстрой генерации с требуемой конфигурацией создается набор скриптов, выполняющий это автоматически.

Общую структуру запуска процесса симуляции можно описать следующими шагами:

1. Подготовка среды запуска. В нее входят создание директории и подготовка дополнительных файлов.
2. Запуск симулятора. Он может отличаться в зависимости от используемого ПО. На этом этапе передаются параметры симуляции и макросы.
3. Выполнение tcl-команд в симуляторе. Это команды старта симуляции, добавления сигналов на вейвформу и так далее.
4. Заключительная обработка. В больших дизайнах сложно визуально отслеживать все сообщения отладки и оценивать правильность их работы, поэтому проще сделать это дополнительными скриптами.

Далее идет сравнение более известного подхода использования встроенных средств в операционную систему с использованием дополнительных скриптов и переход на высокоуровневые скриптовые языки. В данной работе использовалась ОС Windows 10, ее скриптовый язык CMD, язык Python как альтернатива и симулятор Modelsim.

Использование встроенных средств Windows

Для разработки скриптов на языке CMD используются файлы с расширением bat. В ОС Linux это будут скрипты sh либо другие, в зависимости от выбранного интерпретатора команд. Это удобно для работы с файловой системой, но не подходит для генерации файлов или других сложных задач, потому что, как правило, встроенные скриптовые языки достаточно громоздкие по синтаксису, а значит, реализовать алгоритм с высокой структурированностью будет более трудоемкой задачей. Для этого все равно потребуется использовать дополнительные утилиты, разработанные на других языках. Удаление предыдущего запуска, создание папки и переход в нее происходит с использованием команд rd, md и cd.

После подготовки среды запускается сам симулятор. Это происходит с использованием команды vsim с tcl-скриптом в качестве аргумента. В нем командой vlib work создается рабочая библиотека, vlog компилируются файлы с исходным кодом, а add wave – сигналы тестбенча добавляются на график для отслеживания логики работы [5]. Использование более сложного набора команд, например сохранение дополнительных результатов моделирования в файлы, отслеживая требуемые состояния сигналов, описано в документе [6]. В конце можно вызвать отдельный скрипт для обработки результатов, сохраненных в логах.

Общая структура генерации проекта представлена на рисунке 1.

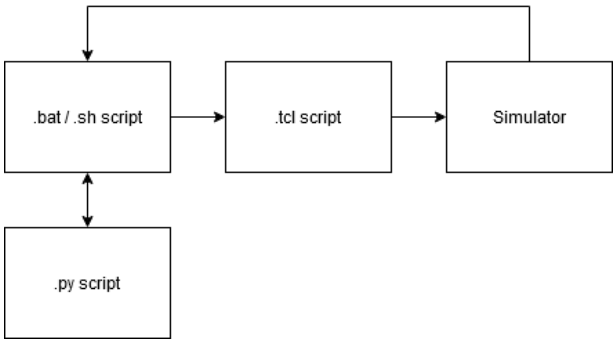


Рис.1. Блок-схема компонентов симуляции с использованием встроенных средств ОС.

Такой скрипт исполняется 6,39 секунды на используемом компьютере с запуском Modelsim, но без симуляции проекта. Преимущество такого подхода в том, что он позволяет легко использовать стандартные команды, но более сложные функции приходится реализовывать на других языках программирования. Команды vlib, vsim и vlog работают не только в tcl, поэтому перенос их в bat-скрипт позволяет ускорить работу программы до 6,03 секунд. Также в таком скрипте сложно реализовать парсинг аргументов или конфигурационных файлов. Для каждой операционной системы придется разрабатывать свой скрипт.

Симуляция с использованием языка Python

В Python все эти недостатки устранены. Он является кроссплатформенным, поэтому запустится на любой ОС, где установлен интерпретатор нужной версии. Для парсинга аргументов можно использовать встроенную библиотеку argparse [7].

Все сложные алгоритмы можно реализовать на том же языке. Так как интерпретатор не будет вызываться несколько раз, это сократит время работы программы. Код представляется в виде библиотек и легко используется повторно. Это позволяет свести код простого скрипта симуляции к одной строке с разницей в файлах компиляции и топ-файла проекта.

С использованием библиотек os [8] и shutil [9] можно работать с файловой системой. При этом код простых операций выходит более сложным, чем в cmd или shell. Для запуска программ требуется использовать библиотеку subprocess [10].

Возможные проблемы могут быть в дополнительной настройке среды Python, если в коде используются нестандартные библиотеки. Например, выявление каких-то зависимостей или аппроксимация может потребовать математических библиотек или реализаций алгоритмов машинного обучения. Но это также и плюс, потому что такие реализации существуют и их установка и настройка несопоставима с разработкой с нуля.

Одним из примеров проектов, использующих Python, является [11]. Здесь с помощью скриптов генерируется HDL-код и файлы симуляции. Подобный подход является хорошей иллюстрацией преимуществ использования высокоуровневых ЯП. Этот метод используется авторами статьи в своих текущих проектах.

Схема компонентов представлена на рисунке 2. Время выполнения скрипта составляет 5,75 секунд.

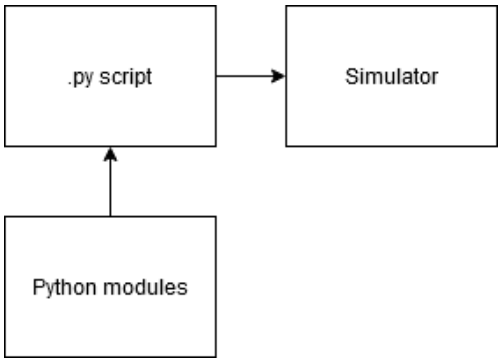


Рис.2. Блок-схема компонентов симуляции с использованием языка Python.

Заключение

В результате сравнения двух подходов к запуску симуляции RTL-проектов сделан вывод, что использование высокоуровневых языков является более удобным решени-

ем. В нем не требуется совершать лишних действий, легче реализуются алгоритмы обработки данных и он работает быстрее. С другой стороны, это наиболее заметно в крупных проектах [12], где используются файлы инициализации и разные параметры запуска. При простых проверках достаточно использовать встроенные средства ОС.

Таким образом, рекомендуется оформлять новые проекты именно на высокоуровневых языках типа Python чтобы их легче было улучшить или перенести на другую платформу. Благодаря этому можно использовать все возможности существующих библиотек и экономить время на обработку данных и разработку.

Список литературы:

1. ModelSim ASIC and FPGA Design – Siemens EDA [Электронный ресурс]. URL: https://www.mentor.com/products/fv/modelsim
2. An A-Z Index of Windows CMD commands [Электронный ресурс]. URL: https://ss64.com/nt
3. Tcl Developer Site [Электронный ресурс]. URL: https://tcl.tk
4. Welcome to Python.org [Электронный ресурс]. URL: https://www.python.org
5. ModelSim ® Command Reference Manual. Software Version 10.4c // Mentor Graphics Corporation, 2015. – 560 p.
6. ModelSim® Tutorial. Software Version 10.1c // Mentor Graphics Corporation, 2012. – 76 p.
7. argparse – Parser for command-line options, arguments and sub-commands – Python 3.9.1 documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.python.org/3/library/argparse.html
8. os – Miscellaneous operating system interfaces – Python 3.9.1 documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.python.org/3/library/os.html
9. shutil – High-level file operations – Python 3.9.1 documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.python.org/3/library/shutil.html
10. subprocess – Subprocess management – Python 3.9.1 documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.python.org/3/library/subprocess.html
11. Mahajan D. et al. Design Automation of Network-on-Chip Prototype on FPGA // 2019 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER). – IEEE, 2019. – P. 1–4.
12. Kahng A.B., Lin B., Nath S. Explicit modeling of control and data for improved NoC router estimation // Dac design automation conference 2012. – IEEE, 2012. – P. 392–397.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА И УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ

Л.Г. Измайлова, А.М. Белоруков, Д.Р. Гареев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью работы является улучшение системы мониторинга и ухода за растениями (СМУЗР) путем добавления новых функций, тем самым повышение качества индивидуального ухода за растениями. На базе уже разработанной системы были внедрены дополнительные модули для обеспечения благоприятных условий для выращиваемых сельскохозяйственных культур. Добавление теплицы в СМУЗР позволяет изолировать растения от воздействий окружающей среды, поэтому внутри теплицы можно создавать практически любые погодные условия. Реализованный пользовательский интерфейс делает систему более удобной для работы, в том числе для людей, которые плохо разбираются в агрономии. СМУЗР подсказывает совместимость растений при посадке, тем самым позволяет получить максимальную выгоду от выращивания нескольких видов одновременно. Дальнейшая разработка СМУЗР направлена на получение исследовательских данных о влиянии определенных климатических условий на урожайность.

Введение

Растения играют одну из ключевых ролей в создании жизни для других живых организмов, также они участвуют практически во всех пищевых цепочках. Выращивание растений, как основы для питания, было одной из главных задач для человека на протяжении всей истории человечества [1]. На данный момент уже хорошо известно как те или иные параметры окружающей среды влияют на рост и развитие растений, в частности сельскохозяйственных культур.

Для улучшения работы СМУЗР требуется применять основные принципы из агрометеорологии [2, 3], науке которая занимается описанием климатических условий и их влияния на развитие растений. Так, например, свет играет большую роль в развитии растений, так как именно воздействие солнечного света влияет на фотосинтез. На протяжении всего роста сельскохозяйственных культур важно отслеживать не только количество поступаемого света, но и продолжительность светового дня. Контроль освещенности особенно актуален в зимний период средней полосы, так как в это время солнечного света крайне мало, как и продолжительности попадания лучей солнца.

Отслеживание и контроль уровня углекислого газа (CO_2) во время роста растений также крайне важно, так как CO_2 необходим для образования органического вещества в период фотосинтеза. При этом высокое содержание углекислого газа в воздухе означает, что уменьшается уровень кислорода (O_2) и азота (N_2), которые участвуют в дыхании и питании сельскохозяйственных культур, поэтому нужно иногда делать проветривание в теплице, чтобы уменьшить количество CO_2 и увеличить концентрацию O_2 и N_2 в воздухе.

Контроль температурного режима в теплице тоже необходим для успешного получения урожая. Именно температура воздуха и почвы напрямую влияют на вегетативный период развития растений. Чем выше температура (до определенного предела), тем быстрее протекают биофизические и биохимические процессы в растениях.

Аналоги разрабатываемой системы

Использование роботизированных систем в сельском хозяйстве имеет высокую актуальность, так как это облегчает человеческий труд. Так, например, робот Angus от Iron Ox [4], стартапа из Калифорнии, США, способен выращивать различные виды зеленых культур. В системе предусмотрен анализ и контроль полива, а также показателей освещенности и температуры воздуха/почвы. Робот может удобрять растения с высокой точностью. А сама роботизированная ферма основана на гидропонике, что позволяет избавиться от сорняков. Но при этом масса кассет с рассадой составляет около 350 кг, что не позволяет системы быть мобильной и компактной. К недостаткам системы также можно отнести возможность выращивания только различных видов зелени и салатов. На данный момент робот не продается в открытом доступе.

Еще один вариант робота для выращивания растений является роботизированная система Genesis от компании FarmBot [5] (производство находится в Калифорнии,

США). Робот способен произвести полный цикл выращивания сельскохозяйственных культур от посадки семян до получения урожая, сбор которого уже осуществляется человеком. В системе предусмотрена возможность борьбы с сорняками, которые обнаруживаются за счет выделения области произрастания (между растениями, которые были посажены), с помощью специальной насадки происходит удаление нежелательных растений. Система может работать как на открытом воздухе, так и в теплице, так как робот крепится непосредственно к грядке, которая имеет определенные параметры, но не позволяет делать произвольный размер грядок. К недостаткам также можно отнести то, что осложнено выращивание раскидистых и высоких растений, так как перемещение робота происходит в плоскости над растениями.

Предлагаемое решение

Реализованное решение для улучшения качества ухода за растениями в уже разработанной системе представляет собой теплицу, каркас которой выполнен из алюминиевых профилей, обшитых прозрачным оргстеклом. Высота данного каркаса в наивысшей точке составляет 0,8 м, а объем порядка 0,5 м^3. Крыша теплицы выполнена со скошенными углами, что делает каркас привлекательным, а также позволяет удобно расположить систему вентиляции. Высота теплицы выбрана такой не случайно, поскольку данный параметр позволяет выращивать достаточно высокие растения, например огурцы, помидоры, горох и другие виды. В каркасе теплицы предусмотрены 4 дверцы по длинным сторонам, по 2 дверцы с каждой стороны. Дверцы обеспечивают доступ к посаженным растениям и к манипулятору. Дверцы так же сделаны из оргстекла, имеют удобные ручки и магнитные замки, которые не допускают случайного открытия дверей.

Система вентиляции представлена в виде вентилятора, расположенного на свесе крыши. Данное расположение было выбрано так, чтобы направить поток воздушных масс к растениям. В случае охлаждения воздуха ниже заданного значения в СМУЗР предусмотрен модуль с нагревом. Нагревание воздуха происходит с помощью нагревательного элемента и вентилятора, который распределяет теплый воздух по всей теплице, для более равномерного и быстрого распределения теплых потоков воздуха, включается вентилятор, который помогает перемещать воздушные массы.

СМУЗР может располагаться в плохо освещаемых помещениях, так как в системе предусмотрены светодиодные модули 2 шт. Модули включаются независимо друг от друга. Каждый модуль представляет собой светодиодную ленту, расположенную по всей длине грядки под крышей. Световое излучение лент расположено в фиолетовом спектре видимого излучения и специально подобранно для выращивания растений. При недостатке солнечного света включается один из модулей; если количества света все еще не хватает, то включается второй модуль. Свет автоматически выключается после заверения светового дня для сельскохозяйственных культур, и не включается до наступления следующего периода освещения.

В СМУЗР есть специальные нагревательные коврики, которые при необходимости производят нагрев почвы, а избежать охлаждения грунта во время полива позволяет функция нагревания воды. За счет этого у корней сельскохозяйственных культур не будет перепадов температур, что позволяет обеспечить благоприятный климат для развития растений.

Расположение датчика влажности почвы чуть ниже шланга для подачи воды на манипуляторе позволяет производить измерения влажности почвы без повреждения шланга, так как он не опускается в землю в момент измерений. Полив происходит в несколько этапов. После получения первых данных о влажности почвы управляющая часть анализирует их на необходимость полива, если полив требуется, то проверяется уровень воды в емкости, а также температуру воды для полива. При недостатке воды пользователь получает уведомление для пополнения емкости с водой. Если температура воды низкая, то активируется нагрев воды, система в этот момент ожидает достижения заданной температуры воды. Нагревание воды происходит непосредственно в емкости с помощью саморегулирующегося нагревательного кабеля. После нагрева управляющая часть активизирует подачу небольшой порции воды, после чего цикл повторяется пока значение влажности почвы не достигнет нормального значения.

Программный интерфейс представлен в виде сайта, на котором хранится информация о проекте. В личном кабинете есть возможность отслеживания климата в теплице в режиме реального времени, просматривать карту посадок. При посадке растений система отслеживает, чтобы совместимые сорта высаживались вместе, а сорта с плохой совместимостью не размещались в пределах одной грядки.

Питание всей системы происходит от стандартной европейской розетки на 220 В, далее питание распределяется по всем модулям в зависимости от их напряжения, для чего в системе предусмотрен блок питания и понижающие преобразователи.

Заключение

В результате применения ряда новых решений достигнуто значительное повышение возможностей СМУЗР и обеспечена возможность поддержания любого климата. Использованные модули являются общедоступными, что позволяет сохранить низкую стоимость СМУЗР при значительном повышении ее функциональности. Таким образом, за счет встраиваемых модулей в СМУЗР значительно повышены эффективность и качество выращивания растений.

Исследования на базе разработанной системы позволят производить опыты с выращиванием растений и выведением новых сортов.

Список литературы:

1. Тараканов Г.И., Мухин В.Д., Шуин К.А. Овощеводство. – М: КолосС, 2003. – 472 с.

2. Грингоф И.Г. и др. Практикум по агрометеорологии. – ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2018. – 384 с.

3. Синицины Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. – Л.: Гидрометиздат, 1987. – 362 с.

4. Iron Ox [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: https://ironox.com/.

5. Farmbot. FarmBot | Open-Source CNC Farming [Электронный ресурс] // Farmbot. – 2021. – URL: https://farm.bot/.

МЕТОД БОРЬБЫ С ДЕДЛОКАМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЦИКЛИЧНОЙ ПОДСЕТИ ДЛЯ ОБХОДА ТУПИКОВЫХ СИТУАЦИЙ В ЦИРКУЛЯНТНЫХ ТОПОЛОГИЯХ

Н.М. Мячин

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассмотрена разработка программного симулятора сетей на кристалле, на основе модели с открытым исходным кодом Noxim, и методов обхода тупиковых си-

туаций в сетях с различными комбинациями топологий и алгоритмов маршрутизации.

Введение

Современные многопроцессорные системы содержат большое количество ядер [1,2], которые требуют организации между собой эффективного обмена данными по принципу сетей на кристалле (СтнК). В связи с этим, большой интерес вызывает оптимизация топологий СтнК, являющихся одним их основных параметров подсистемы связи сети. Несмотря на то, что топология может оказывать значительное влияние на общую пропускную способность сети, применение ее невозможно без алгоритма маршрутизации, гарантирующего стабильную работу и отсутствие тупиковых ситуаций (дедлоков). ***Целью исследования*** является разработка программного симулятора СтнК с поддержкой моделирования сетей, в основе которых лежат произвольные топологии, а также, поиск решения проблемы с возникающими тупиковыми ситуациями при маршрутизации в циркулянтах.

Разработка симулятора

В настоящее время создано большое количество симуляторов СтнК с открытым исходным кодом, но, ни один из них не предоставляет необходимой гибкости для исследования циркулянтных топологий. В связи с этим, было принято решение о разработке своей программной модели на основе Noxim [3], которая обладает гибкой архитектурой и показала свою эффективность. Поддержка произвольных топологий потребовала внесения значительных изменений в исходный симулятор. В процессе исследования различных алгоритмов маршрутизации [4] в сетях на кристалле с циркулянтными топологиями было выявлено постепенное снижение пропускной способности сети в процессе работы. Обусловлено это большим количеством циклов, что приводит к возникновению дедлоков, и полной остановке передачи данных.

Борьба с тупиковыми ситуациями

Поскольку возникновение дедлоков является причиной уменьшения пропускной способности СтнК вплоть до ее полного останова, необходимы механизмы по предотвращению тупиковых ситуаций или обхода заблокированных участков. Структура циркулянта не дает возможности арбитража пакетов с отсутствием циклически зависимых маршрутов, соответственно, необходимо предоставить возможность выхода из тупиковой ситуации. Для этого был реализован алгоритм, предлагающий использовать ацикличную подсеть в качестве обходного пути для заблокированных фрагментов пакетов (флитов) [5]. Все флиты, буфер роутера перед которыми заполнен, перенаправляются в подсеть, являющуюся деревом, и гарантированно свободную от тупиковых ситуаций. Дерево может быть организованно при помощи виртуальных каналов, или же при помощи дублирующих связей. При этом нами показано, что при использовании виртуальных каналов падение пиковой производительности относительно физических связей очень мало. Это объясняется тем, что основной вклад в производительность вносит непосредственно сеть, а подсеть только разрешает возникающие тупиковые ситуации.

Пиковая производительность СтнК

При увеличении количества флитов, поступающих в сеть, начинает возникать все больше тупиковых ситуаций, и в момент, когда их количество потребляет пропускную способность, превышающую возможности подсети, наблюдается резкое падение пропускной способности всей сети на уровень, близкий к уровню самой подсети. Из этого следует, что при использовании рассматриваемого метода, необходимо также учитывать общую нагрузку на сеть для поддержания ее в наиболее производительном (не перегруженном) состоянии.

Вклад структуры дерева в пропускную способность СтнК

В результате проведенных экспериментов показано, что структура дерева имеет большое влияние на пропускную способность сети. Это связанно с тем, что не все остовные деревья графа сети являются оптимальными. Наилучшие результаты достигаются путем использования деревьев с минимальной стоимостью маршрутизации, или же остовные деревья с минимальным индексом Винера [6].

Заключение

В результате проведенного исследования была модифицирован симулятор СтнК общего назначения Noxim для моделирования циркулянтных топологий и предложен метод борьбы с дедлоками на основе использования ацикличной подсети для обхода тупиковых ситуаций. Исследовано влияние такой подсети на пропускную способность СтнК и показано, что наиболее эффективным является использовать в качестве такой подсети деревья с минимальной стоимостью маршрутизации или остовные деревья с минимальным индексом Винера.

Список литературы:

1. ZiiLABS official website. ZiiLABS ZMS-40 100-Core Quad ARM Cortex-A9 [Electronic resource]. URL: http://www.ziilabs.com/products/processors/zms40.php.
2. Howard J. et al. A 48-Core IA-32 Processor in 45 nm CMOS Using On-Die Message-Passing and DVFS for Performance and Power Scaling // IEEE J. Solid-State Circuits. 2011. Vol. 46, No. 1. P. 173–183.
3. Palesi M., Patti D., Fazzino F. Noxim – the NoC simulator [Electronic resource]. 2010. URL: http://noxim.sourceforge.net.
4. Monakhova E.A., Romanov A.Y., Lezhnev E.V. Shortest Path Search Algorithm in Optimal Two-Dimensional Circulant Networks: Implementation for Networks-on-Chip // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 215010–215019.
5. Монахов О.Г., Монахова Э.А. Параллельные системы с распределенной памятью: структуры и организация взаимодействий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 241 с.
6. Fischetti M., Lancia G., Serafini P. Exact algorithms for minimum routing cost trees // Networks. 2002. Vol. 39, No. 3. P. 161–173.

АНАЛИЗ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

С.А. Солопченко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Основными целями исследования являются: анализ рынка онлайн-торговли в России, поиск и исследование существующих решений крупных технологичных компаний и стартапов, использующих анализ данных в своих рекомендательных системах; исследование возможности применения найденных решений в системах электронной коммерции на примере крупной онлайн-площадки по продаже электроники, бытовой техники и товаров для дома, с целью увеличения продаж и прибыли компании.

Введение

Онлайн-торговля динамично развивается в настоящее время. По данным исследования «Интернет-торговля в России 2018» компании Data Insight каждый год объем

прироста рынка интернет-торговли в России и мире увеличивается: если в 2017 году рынок интернет-торговли в России вырос на 165 млрд. рублей, то при сохранении существующих трендов к 2023 году рынок вырастет более чем в 2 раза до 2,4 трлн. рублей при среднегодовых темпах роста 16% (2019-2023 гг.). Основным драйвером роста рынка интернет-продаж является рост числа онлайн-покупателей по мере накопления ими опыта использования интернета. Покупатели, имеющие опыт покупок через интернет, делают это чаще и в большем количестве категорий [1].

Поэтому онлайн-магазинам очень важно уделять большое внимание пользовательскому опыту. Компании должны понимать своих клиентов, знать их предпочтения и интересы, чтобы обеспечивать лучший сервис и мотивировать клиентов возвращаться за покупками в свой интернет-магазин снова и снова.

Анализ рынка электронной коммерции

В 2019-2020 годах драйвером роста онлайн-торговли стала пандемия коронавируса (COVID-19), которая затронула весь мир и заставила бизнес трансформировать свои процессы и каналы продаж в онлайн.

Тинькофф банк начал публиковать индекс деловой и потребительской активности в России (Tinkoff CoronaIndex). Согласно данным Тинькофф банк доля онлайн-платежей в 2020 году выросла на 2,1 раз по сравнению с аналогичным периодом 2019 года, потребительская активность также выросла на 13% за аналогичный период [2].

Кроме того, по данным компании Advantshop число новых онлайн-магазинов в апреле 2020 года выросло почти в 2 раза (на 99,02%), чем за январь-март 2020 года и в 1,5 раза по сравнению с апрелем 2019 года. Стоит отметить, что закрываться магазины стали также чаще на 39,17%, но в целом тенденция идет на увеличение количества игроков на рынке. [3]

В 2019 году объем российского рынка онлайн-торговли в денежном выражении составил $16,3 млрд (+58% к 2018 году). Количество заказов составило 375 млн штук (+66%) при снижении среднего чека на 12% — до 2,6 тыс. рублей, следует из данных Национальной ассоциации дистанционной торговли (НАДТ) [4].

Пандемия COVID-19 поспособствовала пересмотру отношений потребителей к онлайн-покупкам: часть потребительского спроса естественным образом перешла в онлайн, и для интернет-магазинов это отличная возможность расширить свою аудиторию покупателей.

Данные в системах электронной коммерции

Ежедневно посетители онлайн-магазина генерируют большое количество данных о своей активности на сайте интернет-магазина: просмотры товаров и услуг, поиск товаров, размещение и оплата заказов, участие в различных акциях и специальных предложениях, участие в программе лояльности. Собранные данные вместе с информацией из открытых источников позволят компаниям получать дополнительную прибыль за счет последующего их анализа. Более того, с развитием машинного обучения возможности искусственного интеллекта стали доступны практически для любого бизнеса. В первую очередь это облегченная работа с большими объемами данных и персонализированное обслуживание.

Например, с помощью анализа данных о действиях пользователей можно лучше узнать своих клиентов, а именно их предпочтения и ожидания, что в свою очередь позволит персонализировать процессы выбора и покупки товаров и услуг на сайте интернет-магазина.

К сожалению, сегодня не все компании понимают ценность этой информации. В настоящее время интернет-магазины используют простые и малоэффективные инструменты для увеличения прибыли (роста размера среднего чека и увеличения конверсии). Например, показывают товары и услуги, которые важны с точки зрения бизнеса; показывают недавно просмотренные товары; показывают самые продаваемые и самые просматриваемые товары без учёта интересов клиента; показывают товары с высокой оценкой пользователей; показывают товары из списка желаний пользователя.

Данные инструменты не используют сложные алгоритмы анализа данных, а зачастую агрегируют данные по товарам и услугам. Такой примитивный анализ обусловлен тем, что перечисленные инструменты разрабатывались давно, когда возможности анализа данных были ограничены стоимостью ресурсов, вычислительными мощностями серверов, ценой программного обеспечения, а также малым количеством разработчиков, занимающихся анализом данных, и недостаточным качеством их подготовки.

В дополнение, перечисленные выше инструменты анализируют данные в разрезе товаров, а не клиентов, что не позволяет персонализировать процессы выбора и покупки товаров и услуг на сайте интернет-магазина. Всем посетителям интернет-магазина предлагается приобрести одинаковый набор товаров и услуг без учета их предпочтений и ожиданий. Такой подход нисколько не улучшает опыт взаимодействия покупателя с интернет-площадкой, более того в исследовании Gartner говорится, что 74% посетителей негативно относятся к неуместному контенту [5].

Несмотря на это даже упомянутые выше простые инструменты без сложного анализа данных способствуют росту прибыли и других показателей компании. Повысить ценность таких инструментов, а следовательно, и прибыль компании можно с помощью анализа информации о действиях пользователей на сайте, истории покупок пользователя, информации об участии пользователя в программе лояльности и данных из открытых источников.

Примеры использования рекомендательных систем на онлайн-площадках

Большие успехи в области персональных рекомендаций демонстрируют компании Amazon и Netflix. Исследования компании McKinsey показывают, что 35% того, что потребители покупают на Amazon и 75% того, что смотрят пользователи в Netflix поступает из персональных рекомендаций, основанных алгоритмах анализа данных [6].

В 1998 году Amazon.com запустил свой алгоритм персональных рекомендаций товаров в своем интернет-магазине. А в 2003 году в журнале IEEE Internet Computing исследователи Greg Linden, Brent Smith и Jeremy York опубликовали статья «Amazon.com recommendations: item-to-item collaborative filtering» [7], в которой описывается алгоритм совместной фильтрации элементов данных (item-to-item collaborative filtering), используемый в Amazon для персональных рекомендаций.

Есть три подхода к решению задачи эффективных персональных рекомендаций: колоборативная фильтрация, кластерный анализ и поисковые методы. Как правило, к алгоритмам рекомендаций предъявляются высокие требования, например:

• работа с большими объёмами данных; работа в режиме реального времени, когда результат работы алгоритма возвращается сразу;

• работа в режиме нехватки информации: в случае, когда новые клиенты имеют очень мало покупок и маленький накопленный опыт пользования интернет-магазином или сервисом;

• избыток информации: обратная ситуация, когда у клиентов есть огромное количество покупок, отзывов и оценок, накопленных за время пользования магазином или сервисом;

• алгоритм должен немедленно реагировать на новую информацию.

Исследователи Greg Linden, Brent Smith и Jeremy York в свой статье сравнивают предложенный алгоритм совместной фильтрации элементов данных с классическими методами и подходами машинного обучения: коллаборативная фильтрация, кластерный анализ и поисковые методы.

Большинство алгоритмов персональных рекомендаций начинаются с поиска набора клиентов, которые купили или оценили одни и те же товары. Алгоритм объединяет товары этих клиентов и исключает из них товары, которые уже купил или оценил пользователь. Далее товары могут быть ранжированы в зависимости от того, сколько похожих клиентов купили его. На этом принципе основана работа коллаборативной фильтрации и кластерного анализа. Другие же алгоритмы, например, поисковые методы и алгоритм совместной фильтрации элементов данных, разработанный в Amazon сосредоточен на поиске похожих товаров, а не похожих клиентов. Для каждой покупки или оценки товара пользователем алгоритм пытается найти похожий товар, объединяет все эти товары и аналогичные им, а затем рекомендует пользователю. Однако с ростом объема информации возникает проблема производительности алгоритма, решить которую можно путем уменьшения набора данных, например, случайно выбирать товары, оценённые пользователем. Однако это может привести к снижению результативности рекомендаций.

Кластерный анализ

Кластерный анализ направлен на поиск клиентов, похожих на пользователя. Для этого все клиенты разбиваются на сегменты, то есть решается задача классификации. Цель алгоритма – определить пользователя наиболее подходящему сегменту на основе совершенных покупок. Сегменты обычно создаются на основе алгоритмов кластеризации или других алгоритмах машинного обучения без учителя. Используя метрику подобия кластерные алгоритмы объединяют пользователей в группы, и уже на основе покупок и оценок пользователей этой группы определяются товары для рекомендаций. Однако, при больших объемах данных оптимальная кластеризация пользователей невозможна. Однако, кластерный анализ имеет лучшую производительность и масштабируемость по сравнению с коллаборативной фильтрацией, потому что сравнение происходит с контролируемым количеством сегментов, а не всей базой клиентов. [7] Стоить отметить, что за счет определения пользователя к определённому кластеру клиентов уменьшается эффективность рекомендаций. Для повышения качества рекомендаций можно увеличивать количество кластеров клиентов, но тогда это решение сведется к коллаборативной фильтрации и присущим ей проблемам производительности на больших объемах данных.

Помимо Amazon и Netflix существуют другие компании, специализирующиеся на анализе данных интернет-магазинов и информации из открытых источников о посетителях веб-сайта с целю персонализации маркетинговых рассылок и контента интернет-магазина. Примерами компаний, которые оказывают услуги персонализации онлайн-площадок могут быть Retail Rocket и Dynamic Yield. Однако, данные компании не публикуют информации об особенностях реализации своих алгоритмов, а предоставляют свои услуги по модели «черного ящика».

Компания Retail Rocket занимается выявлением потребностей посетителей интернет-магазина путем анализа их поведения на сайте и товарной матрицы магазина. В своих решения Retail Rocket использует следующие подходы и методы [8]:

• контентная фильтрация;

• коллаборативная фильтрация;

• предсказательные модели на основе машинного обучения и цепей Маркова;

• байесовская статистика;

• алгоритмы гибридной персонализации в режиме реального времени.

Retail Rocket не раскрывает деталей реализации своих алгоритмов. Известно, что сервис интегрируется в интернет-магазин путем установки трекинг-кодов, и настройки передачи данных о действиях клиентов на сайте интернет-магазина.

С одной стороны, использование систем персонализации как сервиса избавляет компании от поддержки системы сбора и анализа данных, поиска высококвалифицированных специалистов и заботы о хранении данных. Такой подход в персонализации веб-сайта кажется наиболее простым и выгодным.

С другой стороны, использование услуг сторонних компаний для персонализации страниц интернет-магазина это риск утечки конфиденциальной информации об объемах продаж, предпочтениях клиентов и полного товарного каталога с ценами, поскольку услугами персонализации одной компании могут пользоваться прямые конкуренты.

Заключение

В настоящее время интернет-магазины не до конца оценивают ценность своих данных о поведении пользователей и истории их заказов. Компании используют простые и малоэффективные инструменты рекомендаций, без учета интересов и предпочтений своих клиентов. Такая упущенная возможность не позволяет онлайн-магазинам увеличивать конверсию продаж и прибыль компании.

С развитием машинного обучения возможности искусственного интеллекта стали доступнее для бизнеса. Известно, что чем больше данных удастся собрать о клиентах, тем точнее можно выявить их потребности, а значит подобрать эффективные рекомендации, что в свою очередь, положительно скажется на финансовых результатах компании. Благодаря анализу данных невозможная ранее идея персонализированного маркетинга становится реальностью. Онлайн-площадки будут знать своих клиентов также хорошо, как некоторое время назад владельцы мелких лавок поименно знали каждого покупателя и его предпочтения.

Среди технологичных компаний появляются стартапы, предлагающие решения в области персонализации страниц интернет-магазинов, подобно тем, что использует Amazon и Netflix.

Список литературы:

1. Интернет-торговля в России 2018 // Data Insight. URL: http://datainsight.ru/sites/default/files/DI_Ecommerce 2018.pdf (дата обращения:10.01.2020).

2. Tinkoff CoronaIndex // АО «Тинькофф Банк». URL: https://index.tinkoff.ru/?region=all&type=business (дата обращения 30.08.2020).

3. Аналитика по онлайн-продажам в период карантина // AdvantShop. URL: https://www.advantshop.net/blog/common/analitika-po-onlain-prodazham-v-period-karantina (дата обращения: 30.08.2020).

4. Е. Перцева, Личное отсутствие: онлайн-продажи продуктов резко выросли на фоне эпидемии // Известия. URL: https://iz.ru/986495/evgeniia-pertceva/lichnoe-otsutstvie-onlain-prodazhi-produktov-rezko-vyrosli-na-fone-epidemii (дата обращения: 30.08.2020).

5. Mike Lowndes, Hype Cycle for Digital Commerce // Gartner, Inc. 31 июля 2017. URL: https://www.gartner.com/doc/3774663/hype-cycle- digital-commerce-2017 (дата обращения: 10.01.2020).

6. I. MacKenzie, Ch. Mayer, S. Nobele, How retailers can keep up with customers // McKinsey Insights. URL:

https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/how-retailers-can-keep-up-with-consumers (дата обращения 30.08.2020).

7. G. Linden, B. Smith, J. York, Amazon.com recommendations: item-to-item collaborative filtering // IEEE Internet Computing (volume: 7, issue: 1, Jan.-Feb. 2003). URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/1167344 (дата обращения 30.08.2020).

8. Технологии Retail Rocket // Retail Rocket. URL: https://retailrocket.ru/technologies/ (дата обращения: 10.01.2020).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ АППАРАТУРЫ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.С. Лукина, И.С. Целищев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается алгоритм формирования ВДС восстанавливаемой РЭА для расчета показателей надежности при имитационном моделировании. Данное исследование проводится в рамках разработки программы для расчета надежности резервированной РЭА по «сложным» ССН.

Введение

В условиях глобальной автоматизации все более актуальной становится задача повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1]. Например, отказ информационной системы оборонного объекта влечет за собой серьезный материальный ущерб, а иногда может стать причиной катастрофы. Одним из способов повышения надежности РЭА является восстановление ее работоспособности путем замены отказавших составных частей (СЧ) [2].

Разрабатываемая программа позволит проводить расчет показателей надежности для восстанавливаемой РЭА.

В данной работе описывается имитационная модель восстанавливаемой аппаратуры с «последовательной» структурной схемой надежности (ССН) при следующих допущениях и ограничениях:

- отказы СЧ обнаруживаются мгновенно;
- восстановление неограниченное;
- отказы и восстановления СЧ – независимые события;
- при восстановлении одной СЧ остальные СЧ остаются в нагруженном режиме.

Под нагруженным режимом понимается то, что при отказе одной СЧ остальные продолжают работать, а не переходят в режим ожидания на время восстановления отказавшей СЧ.

Аналитический метод расчета показателей надежности РЭА

В практике расчетов надежности РЭА обычно принимают допущения о том, что время восстановления компонента ($t_{\text{В}}$) является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с параметром μ [2].

В этом случае среднее время восстановления аппаратуры ($T_{\text{В}}$) рассчитывается по формуле стандарта [3]:

$$T_{\text{В}} = T_{\text{Н}} \frac{1-K_{\Gamma}}{K_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{Н}}$ – средняя наработка на отказ аппаратуры; K_{Γ} – стационарный коэффициент готовности.

Средняя наработка на отказ аппаратуры, в свою очередь, рассчитывается по формуле стандарта [3]:

$$T_{\text{Н}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{I} \lambda_{\text{Э}i}}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{Э}i}$ – эксплуатационная интенсивность отказов *i*-ой СЧ; *I* – количество СЧ в ССН.

Стационарный коэффициент готовности рассчитывается по формуле стандарта [3]:

$$K_{\Gamma} = \prod_{i=1}^{I} K_{\Gamma i}, \quad (3)$$

где $K_{\Gamma i}$ – стационарный коэффициент готовности *i*-ой СЧ.

$$K_{\Gamma i} = \frac{T_{\text{Н}i}}{T_{\text{Н}i} + T_{\text{В}i}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{Н}i}$ – средняя наработка на отказ *i*-ой СЧ (7); $T_{\text{В}i}$ – среднее время восстановления *i*-ой СЧ.

$$T_{\text{Н}i} = \frac{1}{\lambda_{\text{Э}i}} \quad (5)$$

$$T_{\text{В}i} = \frac{1}{\mu_i}, \quad (6)$$

где μ_i – интенсивность восстановления *i*-ой СЧ.

Однако в ТУ на СЧ приводят максимально-допустимое время восстановления ($T_{\text{В}max}$) – детерминированную величину, среднее время восстановления СЧ ($T_{\text{В}i}$), в т.ч. с допуском на него ($T_{\text{В}i} \pm \delta_i$) или временной интервал [$T_{\text{В}i\text{н}}$, $T_{\text{В}i\text{в}}$]. В последних двух случаях в стандарте [4] для расчета вероятности восстановления СЧ ($P_{\text{В}i}$) рекомендовано использовать усеченное нормальное распределение:

$$P_{\text{В}i} = \frac{C_i}{\sqrt{2\pi}} \int_{T_{\text{В}i\text{н}}}^{T_{\text{В}i\text{в}}} e^{\frac{[t_{\text{В}i} - m(t_{\text{В}i})]^2}{2\sigma(t_{\text{В}i})^2}} dt_{\text{В}i}, \quad (7)$$

где: C_i – нормирующий коэффициент; $m(t_{\text{В}i})$ и $\sigma(t_{\text{В}i})$ – параметры распределения.

Очевидно, что если распределение $t_{\text{В}i}$ существенно отличается от экспоненциального, то использование стандарта [3] для расчета $T_{\text{В}}$ может привести к погрешности, величину которой трудно оценить [5].

Вместе с тем в стандарте [6] указано, что «Универсальным методом расчета … служит метод статистического моделирования». Поэтому рассмотрим возможность использования формальной модели получения реализации процесса функционирования восстанавливаемой РЭА в течение времени $t_{\text{Э}}$ для приведенной выше ССН при независимом восстановлении СЧ в течение которого остальные СЧ остаются в режиме работы, приведенной в [7]. В качестве значения $t_{\text{Э}}$ принимаем срок службы РЭА.

Формальная модель формирования реализации процесса функционирования восстанавливаемой РЭА

В этом случае, реализацию времени восстановления компонента можно получить аналогично расчету наработки СЧ ($t_{\text{Н}}$):

$$t_{\text{Н}} = -\frac{\ln y}{\lambda}, \quad (8)$$

где *y* – реализация базовой случайной величины (БСВ), λ – эксплуатационная интенсивность отказов СЧ.

$$t_{\text{В}} = -\frac{\ln z}{\mu}, \quad (9)$$

где *z* – реализация БСВ, μ – интенсивность восстановления СЧ.

Очевидно, что при $t_{\text{Э}} = 0$, вероятность безотказной работы каждой СЧ (P_i) равно 1, а, следовательно, и $K_{\Gamma i} = 1$. Однако допустим, что при $t_{\text{Э}} = 0$ $K_{\Gamma i} \neq 1$, а их значения рассчитываются по формуле (6).

В результате можно сформировать массив $K_{\Gamma\text{СЧ}} = [K_{\Gamma 1}, \dots, K_{\Gamma i}, \dots, K_{\Gamma I}]$, который необходим для определения состояний СЧ в начальный момент времени (работает или восстанавливается) для каждого имитационного эксперимента, что определяется из условия (10):

$$s = \begin{cases} 0, & x > K_{\Gamma i} - \text{восстанавливается} \\ 1, & x \leq K_{\Gamma i} - \text{работает} \end{cases}, \quad (10)$$

где x – реализация БСВ.

Далее, для каждой СЧ рассчитывается реализация ее временной диаграммы состояния (ВДС).

Формирование ВДС СЧ

Если при $t_Э = 0$ $s = 1$, то рассчитывается реализация наработки ($t_Н$) по формуле (1).

Затем вычисляется суммарное время $t_\Sigma = t_Н$ и проверяется условие (11):

$$t_\Sigma \geq t_Э \qquad (11)$$

Если условие (11) выполняется, то реализация ВДС имеет вид, показанный на рис. 1, в противном случае рассчитывается реализация времени восстановления ($t_В$) по формуле (2).

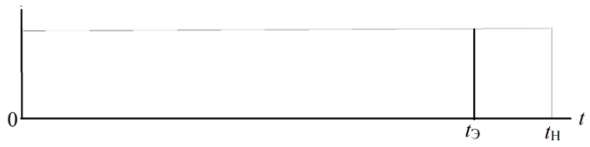


Рис.1. Реализация ВДС СЧ

Затем вычисляется суммарное время $t_\Sigma = t_Н + t_В$ и вновь проверяется условие (11).

Если условие (11) выполняется, то реализация ВДС имеет вид, показанный на рис. 2.



Рис.2. Реализация ВДС СЧ

Если условие (11) не выполняется, то рассчитывается новая реализация наработки, вычисляется t_Σ, проверяется условие (11) и т.д., то тех пор, пока условие (11) не выполнится. В этом случае реализация ВДС будет имеет вид, показанный на рис. 3.

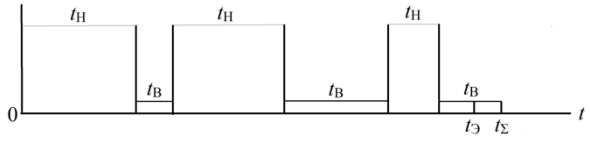


Рис.3. Реализация ВДС СЧ

Если при $t_Э = 0$ $s = 0$, то сначала рассчитывается реализация времени восстановления ($t_В$), а затем строится ВДС СЧ рассмотренным выше способом.

Формирование ВДС РЭА

Для группы «Последовательное соединение компонентов» критерием отказа является отказ любого ее компонента. В связи с этим при восстановлении одной из СЧ РЭА переходит в режим восстановления.

После расчета реализаций ВДС для всех СЧ, рассчитывается реализация ВДС для РЭА путем последовательного «наложения» ВДС (см. рис. 4).

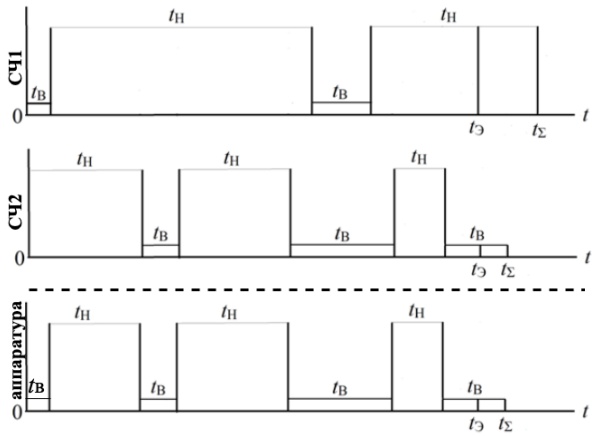


Рис.4. Формирование реализации ВДС восстанавливаемой РЭА с «последовательной» ССН

Как видно из рис. 4, t_Σ РЭА равно минимальному значению t_Σ ВДС СЧ.

Приведенные выше соотношения представляют собой формальную модель, позволяющую получить реализацию ВДС РЭА.

Программная модель формирования ВДС РЭА

Для создания программной модели был разработан алгоритм формирования ВДС восстанавливаемой РЭА с «последовательной» ССН, который показан на рис. 5.

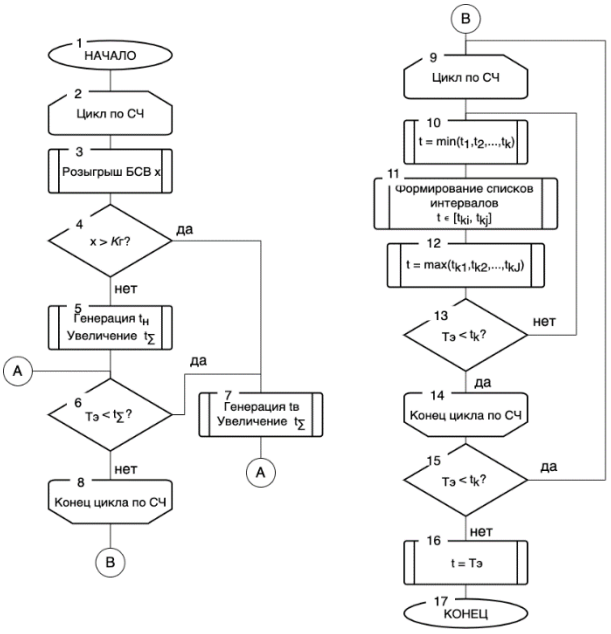


Рис.5. Алгоритм формирования ВДС восстанавливаемой аппаратуры с «последовательной» ССН

На рис. 6 приведен результат работы программы, реализующей предложенный алгоритм формирования ВДС РЭА, которая состоит из 5 СЧ.

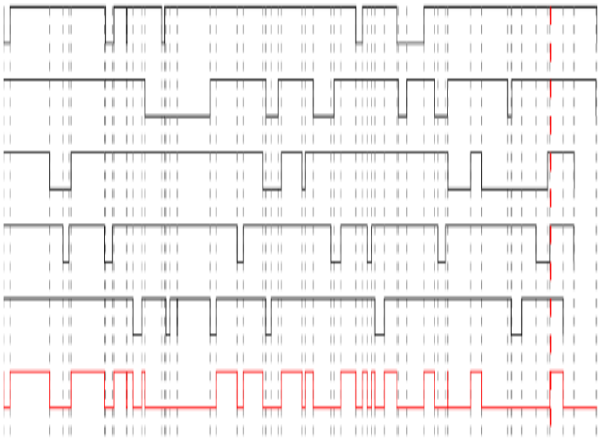


Рис.6. Пример расчета ВДС восстанавливаемой РЭА с «последовательной» ССН

Расчет показателей надежности РЭА

После расчета реализации ВДС РЭА рассчитываются средняя наработка РЭА ($T_{\text{Н}n}$) по формуле (12) и среднее время восстановления РЭА ($T_{\text{В}n}$) по формуле (13) в данном имитационном эксперименте.

$$T_{\text{Н}n} = \frac{1}{K_n}\sum_{k=1}^{K_n} t_{\text{Н}nk}, \quad (13)$$

где K_n – количество интервалов, в которых аппаратура находится в режиме работы (см. рис. 4).

$$T_{\text{В}n} = \frac{1}{L_n}\sum_{l=1}^{L_n} t_{\text{В}nl}, \quad (13)$$

где L_n – количество интервалов, в которых аппаратура находится в режиме восстановления (см. рис. 4).

После проведения всех имитационных экспериментов рассчитываются средняя наработка аппаратуры ($T_{\text{Н}}$) по формуле (14) и среднее время восстановления аппаратуры ($T_{\text{В}}$) по формуле (15).

$$T_{\text{Н}} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} T_{\text{Н}n}, \quad (14)$$

где N – количество имитационных экспериментов.

$$T_{\text{В}} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} T_{\text{В}n} \quad (15)$$

Коэффициент готовности аппаратуры ($K_{\text{Г}}$) рассчитывается по формуле (16), стационарный коэффициент готовности аппаратуры – по формуле (17).

$$K_{\text{Г}}(t = t_{\text{Э}}) = \frac{R}{N}, \quad (16)$$

где R – количество экспериментов, завершившихся во время работы аппаратуры.

$$K_{\text{Г}} = \frac{T_{\text{Н}}}{T_{\text{Н}}+T_{\text{В}}} \quad (17)$$

Заключение

Таким образом, разработанная программа реализует формальную модель формирования реализаций ВДС РЭА, которая позволяет рассчитать показатели надежности восстанавливаемой аппаратуры с «последовательной» ССН, у которой отказы и восстановления СЧ – независимые события и при восстановлении одной СЧ остальные СЧ остаются в нагруженном режиме.

Разработанная программа будет включена в состав программного обеспечения новой версии системы АСОНИКА-К- СИ программного комплекса АСОНИКА-К.

Список литературы:

1. Четин А.Н. Методы повышения безотказности централизованной части системы вторичного электропитания аппаратуры вычислительной техники: дис. … канд. техн. наук. - М., 2018. - с. 157

2. Разработка методов и средств для проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры: Отчет по II этапу «Разработка моделей надежности для проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры». / В.В. Жаднов (науч. рук.), С.Н. Полесский (отв. исп.). - М.: МИЭМ, 2010.

3. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности. - Введ. 01.01.86. - М.: ВНИИ, 1985. - 49 с.

4. MIL-HDBK-472. Maintainability Prediction. - USA: DoD, 1984. - 122 p. - n. 1.

5. Жаднов В.В., Жаднов И.В., Полесский С.Н. Современные проблемы автоматизации расчётов надёжности. // Надёжность. - 2007. - № 2. - с. 3-12.

6. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. Введ. 01.01.97. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. - III, 15 с.

7. Zhadnov V.V. Evaluation of the Dependability Indicators of the Restored Equipment by the Simulation Method. / Information Innovative Technologies: Materials of the International Scientific – Practical Conference. // Ed. by S.U. Uvaysov, I. Ivanov. - M.: Association of Graduates and Employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2021. (in print).

АНАЛИЗ И ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КАРТИНЫ РАСТЕКАНИЯ ТОКОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ПО «SATELLITE-MIEM»

А.А. Романов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Исследованию подлежит актуальная проблема электризации поверхности космического аппарата. Вследствие прямого воздействия как положительных, так и отрицательных ионов на обшивку корабля, может образоваться электростатический разряд, который способен привести к сбою оборудование или к полному выходу отдельных частей из строя. Для решения данной задачи необходимо представить информацию по картине растекания токов по поверхности в виде матрицы.

Введение

На сегодняшний день проблема влияния электростатического разряда на обшивку космического аппарата является наиболее актуальной. Как показывают исследования, около 25-30% случаев отказа оборудования связанно именно с воздействием космических частиц. Поверхность космического корабля постоянно находится под облучением разряженной плазмы, заряженные частицы которой, накапливаясь на разных участках обшивки, создают разность потенциалов между компонентами оборудования, а на его местах генерируется электростатический разряд величиной до 100 А [1]. Данные помехи способны не только помешать работе аппарата, но и полностью вывести его из строя.

Для перспективного решения данной проблемы необходимо разработать и рассчитать картину возможных растеканий тока по поверхности космических аппаратов, для быстрого отклика на возникшие неполадки, которые помогут выяснить причину или даже устранить неисправности.

Электризация космических аппаратов

Явление электростатического разряда (ESD) представляет большую угрозу для всех электронных устройств и микросхем. Электрический заряд, быстро переходящий от заряженного тела к другому, может серьезно повредить последнему [2]. Понимание характеристик бомбардировки электронным пучком, которые вызывают электростатический разряд изоляционных материалов, имеет решающее значение для создания электрически устойчивого космического корабля. Система измерения была разработана для определения энергии пучка и плотности потока заряда, при которых типичные материалы космических аппаратов, предназначенные для космического телескопа Джеймса Уэбба, подвергаются электростатическому разряду. Поскольку события разряда происходят во временных интервалах от наносекунд до минут, использовались несколько методов обнаружения по мере накопления заряда на поверхности образца. Эти методы включали мониторинг тока образца и оптического излучения с поверхности образца. Каждый образец был также исследован до и после тестирования, чтобы определить необратимые изменения в материалах. Обзор распространения электростатического разряда для всех материалов представлен в зависимости от условий пучка и состава материала. Наблюдались два режима разряда: внезапно возникающий, длительный, экспоненциально затухающий ток образца, сопровождающийся высвобождением интенсивных синих фотонов, и внезапный всплеск или дуга в токе со вспышкой белого света [3].

Цепи защиты от электростатического разряда встроены в каждый вывод интегральной схемы для защиты основных рабочих схем. Многие различные группы стандартизации взяли на себя ответственность за разработку стандартов испытаний на электростатические разряды для индустрии ИС. Качество испытаний ESD и их стандарты страдают из-за отсутствия обновлений измерений без усилий для периодических исследований реальной угрозы от ESD. Измерения для определения реальных параметров угрозы электростатического разряда слишком долго игнорировались [4].

Солнечное освещение влияет на дифференциальный потенциал, генерируемый на поверхностях корпуса космического корабля в космосе. Рассматриваются два геометрических случая: цилиндрическая симметрия и наклонные металлические пластины, образующие угол с прилегающей стороной. Емкость, необходимая для оценки потенциала тела, вычисляется методом момента. Дифференциальный потенциал, создаваемый на поверхностях геометрического тела за счет фотоэлектрического эффекта, приводит к электростатическому разряду. В случае наклонных пластин дифференциальный потенциал при различных углах наклона вычисляется вместе с вычислением емкости. В случае цилиндрического объекта демонстрируется оценка потенциала на границе день-ночь. Проводится анализ изменения потенциала при различных углах падения солнечных фотонов. Достоверность анализа подтверждается данными, полученными в открытой литературе [5]. Однако отсутствует линейный математический подход, который позволил бы разработать схему, способную формировать такую сложную форму волны тока. Общепринятая форма кривой тока электростатического разряда — это форма, установленная IEC 61000-4-2. Рассматривая форму волны тока электростатического разряда IEC 61000-4-2 в качестве эталона, разработан и применяется метод аппроксимации, основанный на методе Прони [2], для получения отклика линейной системы. С учетом известного входа представлен метод разработки схемы, способной генерировать эту форму волны тока электростатического разряда. Синтез схемы предполагает идеальные активные элементы.

Разреженные матрицы и форматы их хранения в памяти вычислительных устройств

Существует множество прикладных проблем, возникающих в областях инженерного моделирования, научных вычислений, поиска информации и экономики, которые используют матрицы, где ненулевые элементы составляют значительное меньшинство с менее чем 10% [6]. Они универсальны во многих математических и научных приложениях. Эти матрицы позволяют сократить объем памяти и вычислительные ресурсы за счет хранения и выполнения арифметических операций только с ненулевыми элементами. Это разреженная матрица, которую необходимо сжать для этих приложений. Сжатие разреженной матрицы представляет собой ненулевые элементы матрицы. Разработанный алгоритм сжатия разреженной матрицы включает три шага. Разделение разреженной матрицы на подматрицы; проведение преобразований; кодирование. Новый алгоритм получил название сворачивание. Сжатая матрица снижает требования к памяти с хорошей скоростью по сравнению с исходной разреженной матрицей [6]. Для представления разреженных матриц было предложено множество форматов хранения. Были произведены оценка и сравнение эффективности хранения различных форматов с разреженными матрицами и рассмотрены результаты производительности умножения матрицы на вектор с использованием этих форматов хранения.

Последовательный алгоритм умножения разреженных матриц

Новый последовательный алгоритм умножения разреженных матриц получен с использованием простой комбинации комбинаторной идеи и существующих быстрых алгоритмов умножения прямоугольных матриц. Также получены улучшенные способы умножения более двух разреженных матриц. Поскольку известные алгоритмы быстрого умножения прямоугольных матриц далеки от практического применения, результат, на данный момент, имеет только теоретическое значение [7].

Алгоритмы умножения разреженных матриц

Эволюционные алгоритмы для решения задач оптимизации страдают от проблемы размерности, что означает, что их производительность ухудшается так же быстро, как увеличивается размерность пространства поиска. Эта особенность усложняет исследования производительности для задач очень большого размера. Кроме того, эти исследования имеют дело с ограниченным количеством времени [8]. Большинство систем в области высокопроизводительных вычислений имеют иерархическую структуру оборудования: узлы с общей памятью с несколькими многоядерными процессорами соединены через сетевую инфраструктуру. Параллельное программирование должно сочетать распараллеливание распределенной памяти на межсоединения узлов с распараллеливанием разделяемой памяти внутри каждого узла. Модель гибридного программирования действительно может быть лучшим решением из-за снижения потребностей в связи и потребления памяти или улучшения баланса нагрузки. Кроме того, топология машины оказывает значительное влияние на производительность для всех стратегий распараллеливания и что в будущем информация о топологии должна быть встроена во все приложения [9].

Заключение

Работа космических аппаратов зависит от множества факторов, но неизменно остаётся проблема с электризацией обшивки. Для преодоления узкого места в работе будет разработан линейный экспресс-метод, учитывающий особенности модели.

Список литературы:

1. Новиков Л. С. и др. Руководство для конструкторов //ЦНИИМАШ, г. Королев. – 1995.

2. Katsivelis P. K. et al. Electrostatic discharge current linear approach and circuit design method //Energies. – 2010. – Т. 3. – №. 11. – С. 1728-1740.

3. Roth J. et al. Electrostatic Discharge in Spacecraft Materials. – 2009.

4. Barth J. Measurements of real ESD threats have been ignored too long //IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. – 2005. – Т. 8. – №. 4. – С. 61-63.

5. Alad R. H. et al. Effect of solar illumination on ESD for structure used in spacecraft //Progress In Electromagnetics Research. – 2017. – Т. 55. – С. 25-36.

6. Stanimirovic I. P., Tasic M. B. Performance comparison of storage formats for sparse matrices //Ser. Mathematics and Informatics. – 2009. – Т. 24. – №. 1. – С. 39-51.

7. Yuster R., Zwick U. Fast sparse matrix multiplication //ACM Transactions On Algorithms (TALG). – 2005. – Т. 1. – №. 1. – С. 2-13.

8. Cardenas-Montes M. et al. Accelerating particle swarm algorithm with GPGPU //2011 19th International Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing. – IEEE, 2011. – С. 560-564.

9. Rabenseifner R., Hager G., Jost G. Hybrid MPI/OpenMP parallel programming on clusters of multi-core SMP nodes //2009 17th Euromicro international conference on parallel, distributed and network-based processing. – IEEE, 2009. – С. 427-436.

10. Востриков А. В. Приближенный метод расчета растекания токов по элементам конструкции космического аппарата при электростатических разрядах // Технологии электромагнитной совместимости. 2010. № 2 (33). С. 75-79.

ВИДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

В.А. Мордвинов, Д.И. Санников, М.В. Кузнецов
РТУ МИРЭА, Москва

Значительное разнообразие видов информационных ресурсов по формам представления информации, организационным решениям, используемым технологиям и другим параметрам до сих пор обычно приводило к тому, что проблемы различных видов информационных ресурсов рассматривались в отрыве друг от друга.

В то же время многие проблемы являются общими для всей сферы информационных ресурсов и управления развитием страны. Большое значение имеют взаимодействие различных информационных ресурсов в ходе их формирования и использования при решении многообразных задач государственного управления, экономического и социального развития. Наибольшее значение имеют информационные ресурсы, принадлежащим государству.

Государственные информационные организации имеются в подчинении всех ведомств и всех региональных администраций. Это библиотечная сеть России, Архивный фонд Российской Федерации, Государственная система статистики и Государственная система научно-технической информации (ГСНТИ) .

В настоящее время начала складываться и система правовой информации, призванная объединить неэффективно функционирующие ведомственные и региональные системы информирования о нормативно-правовых актах.

Для многих комплексных задач государственного и хозяйственного управления, особенно на муниципальном и территориальном уровнях, необходимо объединение разнообразных, собираемых организациями разных ведомств сведений, относящихся к определенным участкам местности, объектам или субъектам, то есть построение кадастров или регистров.

Построение единой системы государственных кадастров и регистров Российской Федерации, учета информационных ресурсов - шаг к укреплению экономики страны и более эффективному управлению

В настоящее время имеет место ведомственное дублирование информации и НИР и ОКР, которое приводит к многократному повторению и затратам на одни и те же работы. В то же время такая технология не гарантирует полноту необходимых данных для каждого конкретного ведомства. Отсутствует единого регистра федерального уровня нарушает согласованность развития систем региональных информационных ресурсов, не позволяет оперативно использовать сопоставимую (по семантическим и технологическим параметрам) информацию из разных регионов. Это препятствует созданию единого информационного пространства страны и создает информационную основу для центробежных тенденций в экономике и политике.

Государственное управление и регулирование процессов формирования и использования всех этих видов информационных ресурсов осуществляется, в основном, через ведомственные и территориальные системы управления соответствующими отраслями.

Внутренние информационные ресурсы используются в основном "внутри" отдельных организаций, однако многие из них представляют значительный общественный интерес в связи с тем, что могут служить источником производства и получения продукции для других организаций и отраслей. Большинство государственных органов и организаций, обладающих информационными ресурсами, содержащими сведения, интересующие массового пользователя, не специализируются на ведении массового информационного обслуживания и не имеют соответствующих технологических, кадровых, организационных и финансовых возможностей.

Государственная система научно-технической информации. В состав ГСНТИ входят федеральные органы научно-технической информации (НТИ) и научно-технические библиотеки, отраслевые органы НТИ, региональные центры НТИ. К федеральным органам НТИ и научно-техническим библиотекам, обеспечивающим формирование, ведение и организацию использования федеральных информационных фондов, баз и банков данных по различным видам источников НТИ и направлениям науки и техники, относятся более 30 организаций информационного профиля.

Основной принцип функционирования ГСНТИ - централизованная одноразовая обработка мирового информационного потока документов в области науки и техники федеральными органами НТИ и научно-техническими библиотеками и многократное использование потребителями информации из федеральных фондов через сеть информационных организаций в отраслях и регионах.

Важной составной частью ГСНТИ являются центры научно-технической информации, действующие в субъектах Российской Федерации. Вместе с головной организацией они образуют объединение "Росинформресурс" - специализированную федеральную информационную сеть с

общей телекоммуникационной средой и единым информационным ресурсом.

Поступление зарубежных первоисточников в фонды государственных структур научной и технической информации характеризуется устойчивой тенденцией к сокращению. С 1992 г. в России прекращено выделение централизованных валютных средств для закупки зарубежной литературы. В результате объем поступлений иностранной научной литературы в крупнейшие информационные центры (ГПНТБ России и ВИНИТИ) к 1998 г. сократился на 44% (по наименованиям зарубежных журналов – примерно втрое). Использование зарубежных электронных изданий, прежде всего баз данных на CD-ROM, при формировании отечественных информационных ресурсов НТИ также весьма ограничено по экономическим причинам.

Основной продукцией крупнейших центров НТИ и одновременно основой информационных ресурсов всей системы органов НТИ, а также важнейшей составляющей информационных ресурсов любых научных и научно-технических организаций являются вторичные информационные издания: реферативные журналы, библиографические указатели, экспресс-информация, сигнальная информация, обзорно-аналитическая информация. Всего выпускается около 400 реферативных и библиографических изданий (из них 312 – ВИНИТИ РАН (РАО). Ряд этих изданий формируется в электронной форме, подготавливаясь на основе баз данных ведущих органов НТИ федерального уровня.

Информационные ресурсы Государственной системы статистики включают:

- информационные фонды по отраслям статистики;
- информационные фонды интегрированных баз данных, Единый государственный регистр предприятий и организаций (ЕГРПО);
- статистическую информацию первичных отчетов.

Информационные ресурсы регионального уровня формируются региональными комитетами государственной статистики на основе средств электронной обработки данных с последующей загрузкой в региональные базы данных, регистры и субрегистры по основным направлениям статистики. На федеральном уровне обеспечивается формирование информационных ресурсов, характеризующих макроэкономические показатели и экономические балансы, основные показатели деятельности отраслей экономики, институциальные преобразования в экономике и развитие негосударственного сектора, инвестиции, цены и тарифы, трудовые ресурсы, заработную плату и занятость населения, финансы, внешнеэкономическую деятельность, доходы и уровень жизни населения, демографические показатели, правонарушения, природные ресурсы и охрана окружающей среды, социально-экономическое положение регионов Российской Федерации, статистическую информацию федеральных органов исполнительной власти.

В локальной вычислительной сети Госкомстата России представлены интегрированная база федерального уровня, содержащая значения статистических показателей и Банк готовых документов (БГД), содержащий официальные публикации (документы) Госкомстата России федерального и регионального уровней. Актуализация БГД осуществляется посредством телекоммуникаций через компьютерный узел связи Госкомстата России.

Основной формой распространения статистической информации является публикация статистических сборников и пресс-выпусков для средств массовой информации. Для распространения содержащихся в БГД статистических публикаций в электронном виде Госкомстат России отрабатывает три направления: на основе собственных телекоммуникационных средств, через сеть Интернет, на CD-ROM.

Информация, предоставляемая Госкомстатом России является основой для формирования значительной части информационных ресурсов органов государственной власти. Одна из наиболее острых проблем использования информационных ресурсов Государственной системы статистики - это потребность различных категорий пользователей в данных первичного статистического учета, которой противоречит отнесение этих данных к конфиденциальной информации. Решение проблемы видится в создании модифицированных версий информационных ресурсов первичного статистического учета на основе обезличивания этих данных. Кроме того, ресурсы на основе многих статистических форм могут быть открыты без всякого ущерба для субъектов этих сведений.

Государственная система правовой информации. В соответствии с Президентской программой "Правовая информатизация федеральных органов государственной власти", утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 4 августа 1995 г. № 808, задачи сбора, обработки, хранения, анализа правовой информации и организации ее использования возложены на Минюст России.

Информационные ресурсы органов государственной власти и местного самоуправления. Особый характер и значение имеют информационные ресурсы органов власти и управления. Здесь имеются две схемы формирования информационных ресурсов:

- централизованное информационное обеспечение органов государственной власти федерального и регионального уровней, осуществляемое ФАПСИ;
- самостоятельное формирование необходимых информационных ресурсов - федеральными, региональными и муниципальными органами власти и подчиненными им организациями.

Система централизованного информационного обеспечения базируется на использовании крупных политематических информационных ресурсов, включающих: фонд социально-экономической информации о Российской Федерации и ее регионах, фонд информации о чрезвычайных ситуациях на территории Российской Федерации и фонд правовой информации. Основными источниками информации являются Госкомстат России, министерства и ведомства (МВД России, МЧС России, Минтопэнерго России, Минатом России и др.), а также информационно-справочные системы, содержащие акты палат Федерального Собрания Российской Федерации, решений Конституционного Суда, вестники и бюллетени Верховного Суда и Высшего Арбитражного Суда Российской Федерации.

В последнее время происходит смещение приоритетов из сферы разработки функциональных систем для отдельных подразделений аппарата управления в сферу создания единых систем первичных информационных ресурсов региона. Особенно динамично развиваются сейчас процессы создания баз данных кадастрового типа, в которых собирается первичная информация об объектах и субъектах социально-экономических отношений.

Для органов власти всех уровней остаются характерными слабое "горизонтальное" информационное взаимодействие и слабое развитие информационных ресурсов, предназначенных для массового информационного обслуживания населения по вопросам, связанным с деятельностью этих органов. Это способствует консервации закрытости и недемократичности российской власти. С другой стороны, организация регулярного информационного обслуживания граждан требует ресурсов, которых, как правило, у органов власти не хватает.

Наиболее перспективным способом решения этих проблем является размещение всех открытых информацион-

ных ресурсов органов власти на общедоступных сайтах Интернет либо передача их для организации информационного обслуживания в соответствующие федеральные и региональные библиотеки.

По-видимому, приведённые выше тенденции во всё большей мере будут проявляться и в ресурсном обеспечении системы образования.

Список литературы:

1. Информационные ресурсы ГПНТБ СО РАН: базы данных. Справочник пользователя / Сост. В.Г. Свирюкова, Г.В. Ремизова. Ред.: Е.Б. Соболева, Л.К. Бобров - Новосибирск.-1997.- 52с.

2. Когаловский М. Р. Тенденции развития технологий управления информационными ресурсами в электронных библиотеках //Тр. VIII Всероссийской научн. конф. Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии. –Суздаль, Россия. – 2006. – С. 46-55.

3. Цветков В.Я., Козлов А.В. Синергетика субсидиарных систем // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – с. 77-85.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ 3D МОДЕЛЕЙ ЛАБОРАТОРИИ САПР ДЛЯ FREECAD, AUTODESK FUSION 360 И SOLIDWORKS

К.И. Ивлев, М.П. Селин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа посвящена проекту по разработке базы твердотельных 3D моделей конструктивных элементов УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ, для использования студентами в различных CAD-системах. Важной частью проекта является интеграция в сервисы Онлайн-МИЭМ для возможности дальнейшего использования базы моделей при выполнение проектных работ.

Введение

В текущих условиях, связанных с большим объемом дистанционной работы у студентов, у многих могли возникнуть проблемы при выполнении проектных или курсовых и дипломных работ. Примером может быть ситуация, когда у студента нет возможности посетить лабораторию из-за карантинных мер. Из-за этого возникает необходимость в разработке открытой онлайн библиотеки твердотельных моделей, благодаря которой студенты МИЭМ смогут делать сборки для своих проектов, даже не имея физического доступа к деталям. Также это должно упростить моделирование различных деталей для 3D печати.

Главной целью проекта является создание базы твердотельных моделей конструктивных элементов учебных лабораторий.

Основные задачи проекта:

– общий обзор и анализ существующих решений;

– разработка архива 3D моделей конструктивных элементов;

– добавление возможность быстрого просмотра перед скачиванием и использованием.

Также важными задачами являются:

– интеграция архива в сервисы Онлайн-МИЭМ;

– создание руководства пользователя по работе с базой 3D моделей.

В основных разделах данной работы дано описание выбора базы для хранения моделей и дано обоснование архитектуры решения и использование определенных САПР.

Архитектура хранения

При выборе архитектуры хранения учитывались следующие факторы: насколько часто используется среда проектирования, основные форматы файлов для хранения, наличие обратной совместимости между CAD-системами для переноса моделей между ними.

Важными факторами при выборе являлись популярность CAD-систем среди студентов и удобность их использования. Из проведенного обзора сред проектирования были выбраны следующие: FreeCAD [1], Autodesk Fusion 360 [2], SolidWorks [3].

Несмотря на нюансы обратной совместимости различных версий SolidWorks, данная система проектирования не была исключена из проекта ввиду ее распространенности среди студентов.

Autodesk Fusion 360 был выбран исходя из удобства работы с ним, наличием возможности получить студенческую лицензию Autodesk на все ее продукты. Это можно и отнести к FreeCAD, который является бесплатным.

Исходная разработка большинства конструктивных элементов для библиотеки велась с использованием Fusion 360.

В ходе работы были исследованы основные форматы файлов, использующихся для хранения элементов и сборок из элементов. Среди них были выбраны те форматы, которые поддерживаются используемыми САПР.

Для хранения объектов используется формат stl. Каждая модель хранится в формате stl и форматах каждой из выбранных сред проектирования. Если модель сборная, то она хранится в виде отдельных файлов и файла сборки FreeCAD, Fusion, 360 и SolidWorks. Также для составных деталей имеется их аналоги в виде монолитной конструкции, которые можно использовать, если для проектирования конструкции нужны только размеры. Предполагаемая архитектура хранения представлена на рисунке 1.

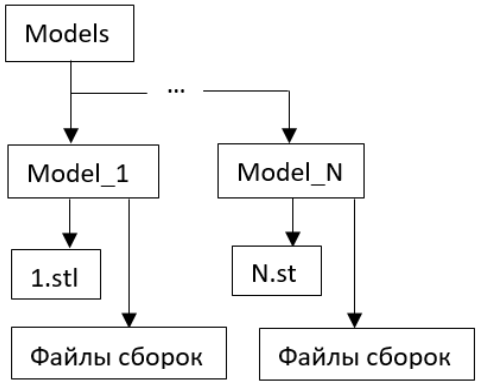


Рис.1. Предполагаемая архитектура хранения моделей.

Для переноса файлов между средами проектирования необходим стандартный формат, который поддерживался бы всеми выбранными CAD-средами. Для этой цели был проведен анализ нескольких различных стандартов. В ходе проведенного анализа были выбраны форматы файлов, описывающие общепринятые стандарты IGES и STEP. В ходе изучения данных форматов [4] было принято решение использовать формат step, так как он позволяет не только описать полный жизненный цикл изделия и хранить конструктивный элемент, разбитый на компоненты, но предоставляет более широкие возможности хранения, чем IGES, который в последнее время за счет этого всё больше вытесняется из использования.

Выбор базы

Выбранная база должна поддерживать предпочтенные нами форматы файлов и архитектуру хранения, а также быть общедоступной. В ходе исследования готовых решений выяснилось, что подобная организация хранения данных хорошо бы выглядела в виде онлайн репозитория. В первую очередь была проверена возможность создания чего-то подобного на базе GitHub. Была обнаружена способность к предпросмотру stl файлов в 3D виде (см. рисунок 2) с возможностью приближения и вращения, что является удобным способом предпросмотра детали. Такая же возможность имеется и в GitLab.

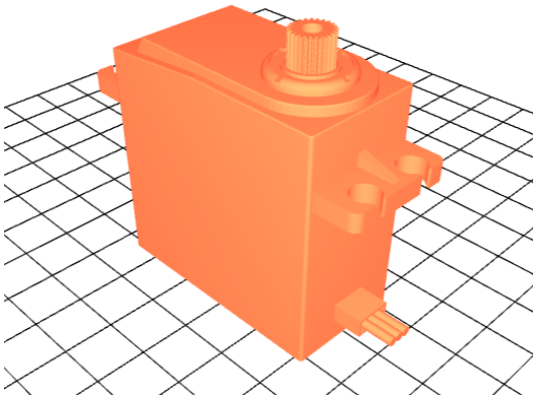


Рис.2. Открытая .stl модель сервопривода TD-8130MG на GitLab

Окончательный выбор был сделан в пользу GitLab, так как он уже является частью онлайн среды МИЭМ, что особенно актуально в вопросе интеграции базы моделей в проектную среду.

Данный сервис позволит хранить необходимый объем (на данный момент более 40 моделей) различных моделей и конструктивных элементов, поддерживать выбранную архитектуру хранения, а также быстро получать доступ к базе моделей для предпросмотра, скачивания и просмотра документации по выбранной модели.

Заключение

Данный проект актуален для реализации онлайн-формата обучения, так как направлен на помощь в организации работы во время учебной и проектной деятельности, что является особенно актуальным в сложившейся в текущем учебном году ситуации. База моделей будет иметь возможность расширения и доработки в случае необходимости. В перспективе развития проекта в будущем может быть создана система бронирования и обзора моделей, которая будет использовать нашу базу и поможет студентам точно знать, что они в данный момент могут получить для работы в лаборатории.

Список литературы:

1. Manual: Import and export to other filetypes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.freecadweb.org/Manual:Import_and_export_to_other_filetypes. Дата доступа – 14.02.2021
2. Verma G. Autodesk fusion 360 black book. – BPB Publications, 2018. – С. 253-263.
3. Lombard M. SolidWorks 2013 bible. – John Wiley & Sons, 2013. – С. 576-599.
4. Marjudi S. et al. A Review and Comparison of IGES and STEP //Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology. – 2010. – Т. 62. – С. 1013-1017.

ИНТЕРАКТИВНАЯ LED-ПАНЕЛЬ С ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИМ

Р.А. Шадько, М.В. Пантелеев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается разработка алгоритма работы блока управления для интерактивной LED-панели с динамическим управлением на основе устройства с операционной системой (ОС) Android.

Введение

В условиях современного мира существует множество исполненных решений по производству LED-панелей и управлению ими. Такие панели обычно имеют большие габариты и не имеют динамического изменения выводимой информации имея блоки управления, которые программируются с персонального компьютера (ПК) и для внесения изменений выводимой информации необходимо изменить код программы и загрузить его в блок управления. Такие решения не пригодны для более компактных задач.

Цель данной работы — это разработать решение, которое позволит динамически управлять блоком управления при помощи мобильного устройства с ОС Android. Также разработать комплекс, состоящий из гибкой светодиодной матрицы и блока управления.

В ходе реализации поставленной цели необходимо выполнить ряд задач: в первом разделе было выполнено обоснование выбора операционной системы и языка программирования; во втором разделе описана архитектура мобильного приложения; в третьем разделе описан алгоритм работы комплекса; в четвёртом разделе произведен обзор аппаратной части комплекса; раздел пятый посвящен обзору функционала комплекса.

Обоснование выбора операционной системы и языка программирования

В качестве операционной системы под разработку приложения была выбрана Android OS. Причинами выбора данной системы послужили распространённость среди мобильных устройств, а также простота размещения готового проекта в магазин приложений.

В качестве языка программирования (ЯП) для написания Android-приложения был выбран язык высокого уровня Kotlin. В сравнении с прямым конкурентом для Android-разработки ЯП Java он имеет ряд существенных преимуществ. В связи с особенностями языка, которых отсутствуют у конкурента, код на ЯП Kotlin получается более коротким и понятным, в результате чего разработка и тестирование становятся более быстрыми, допускается меньше ошибок и быстрее исправляются. Плюсом является наличие огромного числа библиотек и возможность использования Java-библиотек.

Kotlin является достаточно молодым ЯП, но стремительно набирающим популярность. На сегодняшний день более 70% приложений из самых популярных в Google Play написаны с использованием Kotlin [1].

Архитектура мобильного приложения

В приложении для взаимодействия пользовательского интерфейса и данных используется архитектурный принцип разделения ответственности, представленный на рисунке 1.

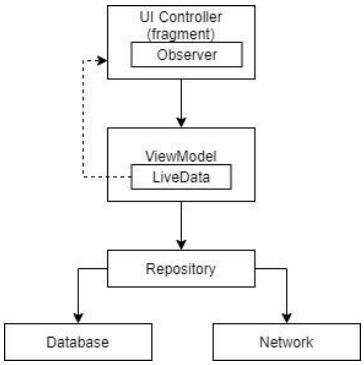


Рис.1. Архитектурный принцип разделения ответственности

Данный принцип позволяет разделить задачи между классами. Каждый компонент зависит только от компонента на один уровень ниже его [4].

Класс контроллера пользовательского интерфейса отвечает все задачи, связанные с пользовательским интерфейсом, такие как, отображение видов и захват пользовательского ввода. Класс модель хранит, изменяет и готовит данные к выводу на дисплей. Класс LiveData – важный элемент, позволяющий взаимодействовать модели и пользовательского интерфейса. База данных служит для восстановления крайних настроек при запуске приложения.

Алгоритм работы комплекса

При запуске приложения из базы данных подгружаются последние сохранённые настройки. Далее пользователь выбирает режим вывода информации из предложенных и вводит данные для вывода, которые в виде строки передаются по беспроводному каналу связи Bluetooth на блок управления. Он обрабатывает полученную строку, получая данные для вывода и зажигает необходимые светодиоды на LED-панели.

Последовательность работы комплекса представлена на рисунке 2.

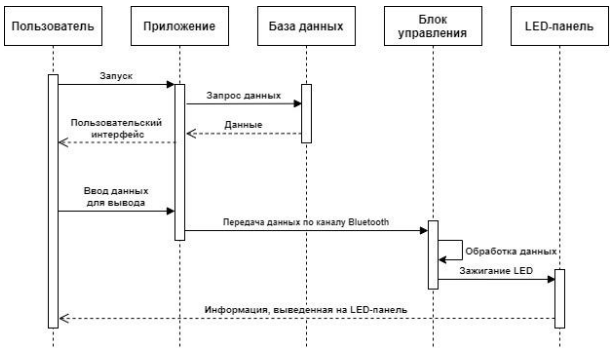


Рис.2. Диаграмма последовательности

На рисунке 3 представлен пример пользовательского интерфейса.

Обзор аппаратной части комплекса

В реализации аппаратной части комплекса использованы следующие элементы: Гибкая светодиодная матрица с адресными диодами, в роли блока управления использовано устройство Arduino UNO, модуль беспроводного канала связи Bluetooth и мобильное устройство с ОС Android.

Гибкая LED-панель имеет 256 адресных диодов, именно поэтому панель запитана независимым питанием, поскольку питания от платы Arduino недостаточно для корректной работы комплекса.

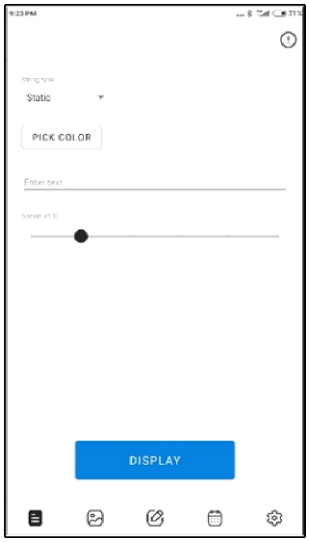


Рис.3. Пользовательский интерфейс приложения

Стандарт для беспроводной передачи данных выбран Bluetooth. Он соответствует требованиям быстрого соединения между двумя и более устройствами. Также приёмопередатчики Bluetooth в силу малой мощности являются энергоэффективными. Ещё одним из плюсов является, что приёмопередатчики отлично продолжают работать при условии интенсивных, сторонних и взаимных помех [2].

Для осуществления динамического управления необходимо мобильное устройство с ОС Android, не позднее версии Android 8.0 [3].

Функционал комплекса

Аппаратно-программный комплекс будет выполнять ряд функций:

- Бегущая/статическая строка;
- Визуализация времени (цифровые/аналоговые часы);
- Вывод картинки (загрузка с телефона/ссылки, пикселизация изображения, загрузка на панель);
- Рисование в реальном времени;
- Очередь/Расписание (смена по времени/желанию);
- Использование готовых вспомогательных средств в строке и добавление своих с помощью рисования.

Алгоритмы данного функционала разрабатываются в интегрированной среде разработки Arduino IDE на ЯП C/C++.

Заключение

В будущем будет разработан прототип комплекса, который позволит студентам лаборатории более подробно исследовать принцип работы всех элементов комплекса.

Список литературы:

1. Сравнение языков Java и Kotlin для разработки приложений Android [Электронный ресурс]. URL: https://skillbox.ru/media/code/java_ili_kotlin_chto_vybrat_nachinayushchemu_android_razrabotchiku/ (дата обращения 08.02.2021)

2. Bluetooth [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Принцип_действия_Bluetooth (дата обращения 04.02.2021)

3.Android version history. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Android_version_history (дата обращения: 05.02.2021).

4. Руководство по организации архитектуры Android приложения [Электронный ресурс] URL: https://habr.com/ru/post/456256/ (дата обращения 06.02.2021)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО ГРАФА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

П.А. Алексеева, Д.Р. Ганина, Д.И. Минниханова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе исследуется поведения пользователя социальной сети путем визуализации собранных данных в виде социального графа. В работе затрагивается анализ наиболее популярных в наше время социальных сетей, изучаются математические основы анализа данных интернет-ресурсов, а в частности теория графов, алгоритмы и принципы их построения и визуализации, также демонстрируются технические способы взаимодействия с социальными сетями, такими как ВКонтакте и Одноклассники.

Введение

В последние годы социальные сети имеют большое значение в повседневной жизни человека. Пользователей социальных сетей становится все больше с каждым годом. В связи с данной тенденцией пользователь оставляет большой цифровой след в сети Интернет.

Помимо обычных пользователей, в социальных сетях существуют коммерческие аккаунты различных магазинов и сервисов, предоставляющих виртуальные услуги. Для продвижения подобных аккаунтов требуется сжатая информация о пользователе для дальнейшей таргетированной рекламы.

Кроме того, в настоящее время многие компании при приеме на работу ориентируются на страницы пользователей социальной сети. Краткие сведения которых могут ускорить поиск соискателя.

Также в связи с цифровизацией общения возникает потребность в поиске старых знакомых или новых знакомств в сети Интернет. Ручной поиск, встроенными в социальную сеть инструментами, может занять долгое время.

Поэтому появляется необходимость обработки и визуализации информации, оставленной пользователем в сети Интернет, для дальнейшего внедрения в работу, как для оптимизации бизнес-процессов компании, так и для личного пользования.

Анализ существующих решений

На данный момент существует множество работ, посвященных социальным сетям. Авторы работ делают акцент на взаимодействие пользователей, как единичных, так и групп, организаций и других субъектов социальных отношений [1]. Кроме того, существует множество программных решений по сбору данных пользователя социальной сети. Подобные приложения, как правило, уже встроены в определенные социальные сети.

Алгоритмы построения социальных графов

Социальная сеть с математической точки зрения состоит из множества вершин, которыми являются социальные субъекты: участники сети, и социальные связи между ними. Таким образом, субъекты в социальной сети группируются по принципу сходства связей, кругов общения, интересов, географического положения и других сведений [2].

Математическим базисом данной структуры является теория графов. Социальную сеть можно математически смоделировать в виде графа, где вершины представляют субъектов (участников) сети, а ребра — взаимосвязи между ними [3]. В нашей работе фигурируют неориентированные графы.

Существует множество методов визуализации ненаправленных графов, наиболее популярные из них: силовая модель и модель на основе энергии *(force-directed and energy-based)*, модель, направленная на уменьшение размеров (*dimension reduction)*, модель, направленная на изучение особенностей вершин *(node features)* [4]. Данные алгоритмы лежат в основе улучшенных алгоритмов визуализации неориентированных графов.

Для поставленной задачи мы будем использовать алгоритмы силовой модели, так как представленные алгоритмы позволяют осуществить высокую читаемость графа, поведение графов благодаря высокой теоретической основе можно будет четко интерпретировать, алгоритмы позволяют гибко подстроиться под различные входные данные.

Анализ социальных сетей

При выборе социальных сетей учитывалось: популярность в России, способы взаимодействия аккаунтов, доступ к основной информации на странице пользователя, возможность осуществления поиска пользователя по заданным фильтрам.

Были рассмотрены такие социальные сети, как ВКонтакте, Instagram, Facebook, Tik-Tok, Одноклассники и YouTube.

Мы ориентировались на WEB-Index [5], где был проведен анализ социальных сетей в России за ноябрь 2020 года.

В ходе исследования выяснилось, что наиболее популярные социальные сети в России – это YouTube, ВКонтакте, Instagram. Социальные сети, имеющие наиболее полные данные о пользователе – это ВКонтакте, Facebook и Одноклассники.

Однако, Facebook не подходит для нашего исследования ввиду своей непопулярности среди российских социальных сетей и рассмотрение данной социальной сети представляется нецелесообразным. Instagram – не имеет поиска пользователя по заданным фильтрам, так как данная социальная сеть не предполагает наличие заполненной данных пользователя.

Логика взаимодействия между блоками приложения

Приложение состоит из четырех частей: серверная часть, клиент, API ВКонтакте и API Одноклассники.

Клиентская часть приложения формирует запрос к серверу, который в свою очередь обращается к API социальных сетей. После обработки предварительных данных от API сервер передает данные клиенту, где происходит контакт с пользователем (выбор нужного ID), далее через сервер происходит обращение к API с верным ID, API обрабатывает запрос и возвращает собранные данные о пользователе, его социальные связи к клиенту через сервер для дальнейшего построения и визуализации социального графа пользователя социальной сети.

Заключение

Таким образом, были проанализированы популярные социальные сети и аналоги существующих решений, изучены алгоритмы построения и визуализации социальных графов. На основе анализа выбран силовой алгоритм визуализации социального графа. Результатом работы станет программный комплекс, способный построить и визуализировать социальный граф пользователя в социальных сетях. Информация, построенного социального графа, поможет сжато получить сведения о пользователях в удобном виде.

Список литературы:

1. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. – М.: МЦНМО, 2018. –

224 с.

2. Абрамов М. В., Тулупьев А. Л., Сулейманов А. А. Задачи анализа защищенности пользователей от социоинженерных атак: построение социального графа по сведениям из социальных сетей. - СПб: Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2018. - Том 18 №2.

3. Гарин Е. В., Мещеряков Р. В. Социальный граф общества //Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2015. – №. 4. – С. 11.

4. Способы визуализации графов. Силовые алгоритмы визуализации графов [Лекция]. Intellect.icu. Искусственный разум. URL: https://intellect.icu/sposoby-vizualizatsii-grafov-silovye-algoritmy-vizualizatsii-grafov-9034 (дата обращения: 12.02.2021)

5. Аудитория интернета в России. WEB-Index [Интернет-ресурс]. URL: https://webindex.mediascope.net/ (дата обращения: 11.02.2021)

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ

В.А. Балескин, А.Н. Косинов,
Л.А. Романов, И.А. Мотайленко
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается возможность реализации системы моделирования полета малого космического аппарата на околоземной орбите на основе клиент-серверной архитектуры.

Введение

В современных реалиях активно растет интерес людей к исследованию космоса, в частности в сфере разработок спутниковых технологий. Возрастает и спрос на профессионалов в данной сфере, из чего следует и рост спроса на образовательные ресурсы по данной тематике. Создание программного обеспечения, моделирующего полет малого космического аппарата на околоземной орбите, позволяет повысить доступность необходимых знаний для людей, желающих развиваться в данной сфере в дальнейшем. Однако, в современном мире не у всех есть возможность использовать программное обеспечение, требующее производительное оборудование. Существует несколько вариантов реализации, и одним их самых доступных является клиент-серверная модель, позволяющая перенести часть нагрузки с клиента на сервер за счет удаленного вызова клиентом процедур обработки данных на сервере. Это позволяет снизить системные требования для клиента, и тем самым расширить потенциальную целевую аудиторию. Свою работоспособность и полезность показали существующие аналоги таких приложений, например САПР Autodesk [1], однако на данный момент все сервисы такого рода относятся к другим областям. Целью данной работы является рассмотрение решения задачи моделирования полета малого космического аппарата на низкой околоземной орбите на основе клиент-серверной модели.

Методология

В данной работе рассматриваются три основных класса сущностей: клиент, производящий запрос на вычисления; сервер, производящий вычисления в ответ на запросы, и моделируемая система. Подобное взаимодействие можно описать в виде удаленных вызовов процедур (Remote Procedure Call — RPC), следующих заданному интерфейсу. Для реализации была выбрана технология gRPC [2].

Одним из наиболее простых способов реализации передачи и отображения состояния системы с использованием RPC является организация на основе запросов состояний системы в отображаемые моменты времени. Это предусматривает явную дискретизацию состояния по времени. Таким образом, каждому периоду времени $[t_0 + idt; t_0 + (i+1)dt]$ ставится в соответствие дискретное значение t_i. Каждому значению t_i ставится в соответствие состояние системы. Появляется последовательность состояний S_n. Если определен механизм перехода $F: S_i \rightarrow S_{i+1}$, и определено начальное (для моделирования) состояние S_0, становится возможным моделирование дальнейших состояний.

Кадры состояния системы, в таком случае, можно разделить на кадры состояния аппарата (и его подсистем) и кадры состояния окружающей среды. При этом, новое состояние аппарата, создаваемое на каждом этапе нестабильно вплоть до окончания текущей итерации. Состояние окружающей среды, напротив, является стабильным. Таким образом, переход к следующему состоянию аппарата основывается и на новых данных о состоянии внешней среды.

При моделировании полета космического аппарата многие вычисления могут происходить параллельно. Так, например моделирование положения космического аппарата и некоторых параметров окружающей среды может происходить независимо от вычисления состояния самого аппарата. Это позволяет выделить в отдельные компоненты вычисления, требуемые практически для каждого кадра, но не требующие информации о состоянии аппарата для вычисления, что позволяет запрашивать данные пакетно.

При моделировании работы системы нередко считается, что внутреннее устройство системы известно лишь до определенной степени. Система может рассматриваться как черный ящик, для которого определено понятие «состояние» и существует функция перехода между ними на основе состояния внешней среды. Рассмотрение на более низком уровне представляет множество взаимодействующих подсистем - черных ящиков, наподобие описанного ранее. При этом и каждую подсистему тоже можно рассмотреть, как множество черных ящиков. С увеличением «глубины» растет количество элементов системы, и сложность ее моделирования. При клиент-серверной реализации, с учетом большого числа пользователей, необходим компромисс между количеством ресурсов, требуемых на одного пользователя, скоростью симуляции и глубиной моделирования системы.

В рамках данной работы исследуется моделирование полета космического аппарата архитектуры cubesat [3] форм-факторов от 1 до 3 юнитов (1-3U) на низкой околоземной орбите. Стандарт cubesat фиксирует размеры таких аппаратов, и можно принять какой-то размер модуля за единицу — “слот” — и рассчитать вместимость аппарата каждого форм-фактора. Самим модулям, присваивается размер равный целому числу “слотов”. В совокупности это позволяет обращаться к модулям и информации о них по номеру слота.

Модульный характер системы позволяет описать каждый компонент образом, аналогичным всей системе — через понятие состояния и функцию перехода между ними.

Если состояние аппарата включает состояния модулей, а функции перехода для модулей могут изменять состояние аппарата, переход между состояниями аппарата сводится к обновлению общих параметров аппарата и обходу модулей. Как ранее упоминалось, новое состояние аппарата является нестабильным, и взаимодействие с ним нежелательно. Это усложняет моделирование одновременной работы одинаковых элементов.

При обмене данными между клиентом и сервером, особое значение имеют временные характеристики. Для частоты кадров f и числа пользователей n, доля времени, приходящаяся на кадр равна $1/(fn)$. Учитывая, что время с начала симуляции, измеряемое на сервере, может отличаться от того же времени, измеренного клиентом, вследствие, например, ошибок при отображении и потери кадров, имеет смысл генерировать кадры с частотой, превышающей частоту отображения. При этом, при частоте генерации кадров, превышающей частоту отображения в m раз, в среднем, на каждый отображаемый кадр будет теряться m полученных. Однако, это позволит повысить точность симуляции и плавность отображения на стороне клиента.

Можно рассмотреть число кадров, запрашиваемых клиентом единоразово. Запрос многих кадров за раз позволяет избежать части задержек, если средний размер кадра меньше предельного размера пакета. При этом возникает проблема, реальный момент отправки команды пользователем для сервера может не соответствовать последнему рассчитанному состоянию. Тем не менее, при отправке команд в реальных условиях, до исполнения команды также проходит значительное (относительно длительности кадра) время.

Количество запрашиваемых за раз кадров можно вывести на основе данных о времени t_r, прошедшем с последнего запроса, числе N использованных кадров и ожидаемом времени t_e, на которое производится планирование. Становится возможным получить оценку $n = N(t_e/t_r)$ необходимого количества кадров. Также можно вывести минимальный размер буфера на стороне клиента - он всегда должен содержать достаточно кадров для нормального функционирования на время запроса новых кадров. Это число N_{cr} можно найти как отношение времени на запрос к скорости использования кадров. Также, можно использовать два буфера с целью снижения накопленной ошибки. Когда в одном из буферов не остается кадров, происходит обмен на другой буфер, первый очищается и в него происходит запрос новых кадров.

Таким образом, размер буфера в любой момент времени должен быть больше N_{cr}, а также больше суммы всяких N и N_{cr} или n и N_{cr}. Это можно обеспечить, сделав буфер динамическим, и храня кадры с резервированием. Можно отправлять запрос на кадры, когда до опустошения буфера остается kN_{cr} кадров, где k — коэффициент резервирования. Его значение можно изначально задать равным двум, а после корректировать после каждого запроса. Если к моменту получения данных оставалось меньше N_{cr} кадров, k увеличивается на некое dk, иначе — уменьшается на него же. Когда после увеличения k остается меньше N_{cr} кадров, dk увеличивается вдвое; в обратной ситуации — уменьшается вдвое. Начальным значением dk можно взять 0.5, а максимальное значение k определить как 16.5.

Результаты

В ходе моделирования на примере модели SGP4 были измерены затраты времени на расчеты без агрегации кадров и с различными ее уровнями. Результаты, приведенные в таблице 1, соответствуют расположению серверной части на одном устройстве с клиентской, и показывают падение удельной задержки на кадр с ростом степени агрегации. Такая конфигурация отражает картину, аналогичную общей, поскольку задержки между клиентом и сервером, в целом, не изменяются за время симуляции. Результаты показывают, что затраты на вычисление ниже затрат на формирование запроса и ответа. Однако, поскольку общая задержка растет, а на каждого пользователя системы можно выделить лишь ограниченную долю времени, существует лимит на количество агрегируемых кадров. Тем не менее, при 100 пользователей одновременно, предел — 10 мс в секунду, чего достаточно для генерации нужного числа кадров.

Таблица 1. Зависимость задержек от количества кадров в запросе для модели SGP4

Количество кадров	Задержка (мкс)	Задержка на кадр (мкс)
1	57.8857	57.8857
10	71.5283	7.15283
25	95.9283	3.83713
50	128.01	2.5602
75	163.585	2.18113
100	193.436	1.93436
150	258.443	1.72295
200	321.611	1.60806
300	464.759	1.5492

Для других моделей различных параметров окружающей среды результаты аналогичны, и потому не приводятся отдельно. Для симуляции также наблюдается подобная ситуация, поскольку взаимодействие пользователя с моделью в процессе симуляции ограничено, а следовательно сами расчеты происходят на сервере независимо.

Произведенное моделирование наглядно показывает задержки передачи информации пользовательскому устройству. При обычной работе типичный пользователь может встречаться с переменной задержкой, зависящей от взаимного расположения сервера и клиента и качества связи. Агрегация позволяет сгладить эту задержку, но вызывает проблему несоответствия времени подачи команды и моделируемого времени, если у клиента есть возможность подавать команды. Данную проблему можно не считать значимой, если в программном обеспечении не подразумевается прямое взаимодействие пользователя с моделью в процессе симуляции — это сглаживает большую часть негативных аспектов, связанных с пользовательским опытом при работе с удаленными устройствами. Однако, при добавлении подобного функционала проблема задержки по кадрам может быть устранена остановкой расчета кадров для внесения корректив.

Заключение

Возрастающий интерес окружающих в области спутниковых разработок, а также всеобщий рост планетарных запусков, связанных, в частности, с развитием микроэлектроники и популярности наноспутников, влечет за собой рост в спросе на профессионалов в области. Результаты данной работы демонстрируют выгоду использования клиент-серверной реализация в решении задачи моделирова-

ния полета малого космического аппарата на околоземной орбите в целях повышения общей доступности программных средств как для обучения, так и для профессиональной работы. Последствия пандемии в сфере IT выявили явный недостаток у пользователей устройств, способных даже на банальный видеозвонок, не говоря уже о CPU-зависимых вычислениях, который привел к невозможности поставщиков удовлетворить спрос покупателей, в лице офисных работников, переходящих на дистанционную работу. Проблема доступности ПО обычному пользователю не останавливается на лицензионном соглашении, а напрямую зависит от оснащенности пользователя соответствующим техническим обеспечением. Подобная работа может послужить примером повышения доступности образовательного, профессионального и полупрофессионального оборудования.

Корректность работы полученной системы подразумевает возможность разработки профессионального программного обеспечения для моделирования полета малого космического аппарата на околоземной орбите. Подобная задача со временем будет только усложняться, поскольку рост количества космического мусора космического пространства уже начал влиять на дизайн новейших аппаратов, оснащенных функционалом самоуничтожения посредством сожжения в атмосфере [4]. Вопрос сохранности аппарата на орбите перестает сводиться к выбору орбиты и в скором времени для этого придется не только производить реализацию орбитальной навигации, но учитывать подобный функционал у других аппаратов, что требует учета огромного количества параметров и внешних воздействий, который возможен только при полноценном компьютерном моделировании.

Список литературы:

1. Облачная САПР | САПР онлайн | Autodesk [электронный ресурс]. - режим доступа: https://www.autodesk.ru/solutions/cloud-based-online-cad-software (дата обращения 15.02.2021)
2. gRPC [электронный ресурс]. - режим доступа: https://grpc.io/ (дата обращения 15.02.2021)
3. CubeSat Design Specification Rev. 13, The CubeSat Program, Cal Poly SLO [электронный ресурс]. - режим доступа: https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf (дата обращения 15.02.2021)
4. Liou J. C. The 2019 US government orbital debris mitigation standard practices. – 2020 [электронный ресурс]. - режим доступа: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/usg_od_standard_practices.pdf (дата обращения 15.02.2021)

МОДУЛЬ ДЛЯ ВЫБОРА ТОЧКИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА И ДЕТАЛИЗАЦИИ КАРТИНЫ РАСТЕКАНИЯ ТОКОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С.В. Иртюга
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электроники и математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Цель работы – разработка модуля для выбора точки электростатического разряда и детализации картины на поверхности космического аппарата. Модуль помогает выбрать точку разряда на поверхности космического аппарата в месте скопления электростатического заряда, что предотвращает аппарат от неожиданной поломки. Также модуль позволяет детализировать картину растекания токов с помощью увеличения шага сетки.

Введение

Космические аппараты (КА) используются для выполнения множества различных задач в космическом пространстве. Соответственно, они должны иметь долгий срок эксплуатации, так как ремонт КА, находящегося вне Земли, практически невозможен. Поэтому до запуска устройства необходимо предусматривать его защиту от факторов воздействия в космическом пространстве, негативно влияющих на работоспособность КА. Один из наиболее распространённых факторов накопление губительного электростатического заряда на поверхности устройства [1].

Задача данной работы: разработать модуль для выбора точки электростатического разряда и для предотвращения образования новых на поверхности КА, чтобы сгладить большие скопления заряда и не допустить дестабилизацию оборудования.

Электризация поверхности КА

Основной фактор воздействия, который рассматривается в данной работе, – электростатический заряд, который скапливается на поверхности КА. Он является наиболее распространенной причиной выхода из строя устройств, находящихся вне Земли.

В космическом пространстве КА подвергается воздействию потоков плазмы и электромагнитных излучений, длины волн которых могут сильно различаться. Вследствие такого воздействия на поверхности КА образуется электрический заряд, значение которого зависит от свойств окружающей среды, а также от свойств устройства, которое находится в этой среде. Также на поверхности КА образуется сопутствующий заряду электрический потенциал, который также зависит от вышеперечисленных факторов.

Различие величин электрического заряда на поверхности КА обусловлено внешними факторами, а также разными электрофизическими свойствами разных материалов, находящихся на различных областях поверхности КА. Например, разное освещение разных участков поверхности приведет к тому, что эти участки будут заряжаться поразному. С учётом того, что в настоящее время количество диэлектрических материалов, входящих в состав поверхности КА, может достигать 90%, потенциалы участков, которые имеют разные заряды, не могут выровняться. Явление, при котором на поверхности КА между его различными областями появляются электрические напряжения, называется дифференциальным заряжением [2].

На некоторых участках потенциалы крайне малы, тогда как на других значения возникающих потенциалов могут варьироваться от 1 до 20 кВ. Результатом такой внушительности электризации поверхности КА становятся электростатические разряды (ЭСР), вследствие воздействия которых, само устройство или некоторые его элементы могут быть выведены из строя [3].

Опасность космического мусора для КА

Вышедший из строя КА становится техногенным «космическим мусором». Количество которого растет с каждым годом.

На данный момент можно определить как крупные объекты, так и мелкие частицы – осколки космического мусора (ОКМ). Даже с учетом того, что информация о крупных объектах находится в специальных каталогах и во избежание столкновения с такими объектами КА отклоняется путем корректировки орбиты, невозможно исключить полностью риск столкновения действующего КА с космическим мусором. Мелкие частицы также представляют

большую опасность для КА. В большей степени негативные столкновения с ОКМ – столкновения на скоростях до 15 км/с, при среднем значении скорости мусора чуть больше 10 км/с [4].

Именно поэтому необходимо обеспечить максимально продолжительную работу КА, исключая возможность поражения его ЭСР.

Метод выбора точки

Первоначально структурная электрофизическая модель (СЭМ) поверхности КА использовалась для измерения потенциалов областей поверхности КА, находящихся под воздействием частиц из космической плазмы. На данный момент СЭМ электризации КА необходима для получения картины растекания токов [5].

Визуально СЭМ представляет из себя полигональную сетку. Чем меньше шаг сетки, тем подробнее картина, но при этом тратится больше ресурсов для её построения. Уязвимые участки, требующие внимания, выделяются ярким цветом.

В данной работе планируется анализ показателей СЭМ электризации поверхностей различных КА с помощью методов машинного обучения для более полного представления картины, а также для выявления возможных закономерностей образования губительного заряда. Это поможет в дальнейшем предотвращении образования новых случаев электризации поверхности КА.

Изменение шага сетки

Как было упомянуто в предыдущем пункте, шаг сетки можно изменять в зависимости того, насколько подробная необходима картина. При этом подробная картина может вызвать некоторые затруднения и нехватку ресурсов для её построения.

В данном случае необходим алгоритм, который уменьшает шаг сетки только на определенном участке, а не на всей СЭМ. Это поможет уменьшить энергозатраты при проектировании более подробной картины растекания токов. Область для уменьшения шага сетки может выбираться как на основе анализа показателей СЭМ, так и вручную пользователем.

Функция изменения шага сетки на определенном участке необходима для предсказывания и предотвращения образования новых участков с большими значениями электрического потенциала.

Заключение

Несмотря на множество различных причин дестабилизации космического оборудования, проблема электризации поверхности КА до сих пор имеет большую актуальность. Так как ремонт космических устройств, находящихся вне Земли практически невозможно, необходимо заранее учитывать возможную защиту КА до запуска, а также средства его удаленного управления и защиты с Земли.

В противном случае, выведенные из строя КА будут представлять угрозу для других космических объектов, находящихся в космическом пространстве, а большое количество космического мусора может повлечь за собой катастрофу.

Список литературы:

1. Востриков А. В. Приближенный метод расчета растекания токов по элементам конструкции космического аппарата при электростатических разрядах // Технологии электромагнитной совместимости. 2010. № 2 (33). С. 75-79.

2. Акишин А. И., Новиков Л. С. Электризация космических аппаратов // М.: Знание. – 1985. – Т. 64.

3. Дорофеев Р. Ю. Создание системы контроля электризации поверхности космического аппарата для обеспечения оценки и управления электростатической обстановкой в орбитальных условиях // Труды МАИ. – 2012. – №. 51. – С. 12-12.

4. Юдин Е. Ю. Математическое моделирование ударного воздействия метеороидов и осколков космического мусора на защитные конструкции космических аппаратов : дис. – Московский государственный авиационный институт, 2013.

5. Измайлов А. С. и др. Структурная электрофизическая модель электризации космических аппаратов //Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2005. – Т. 102. – С. 210-219.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРАФА ДИАЛОГОВ

А.Е. Подчезерцев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проведен анализ методов обработки текстовой информации. Разработан и описан метод построения графа диалога, который позволяет продолжать диалоги, анализировать последовательности фраз.

Введение

Важность обработки текстовой информации растет с каждым годом [1]. Разрабатывается все больше алгоритмов машинного обучения для выполнения различных задач обработки текста, например классификации текстов, ответы на текстовые вопросы, определение семантической близости фраз, продолжение фраз и т. д. Без применения алгоритмов машинного обучения на решение обозначенных задач требуется значительное количество ресурсов. Широкое использование методов обработки текстовой информации позволяет сэкономить время решения задач и улучшить их качество выполнения.

Алгоритмы машинного обучения основаны на поиске закономерностей в данных. Существует несколько типов алгоритмов для обучения моделей. Так, различают обучение с учителем, в котором алгоритму заранее известен ответ на тот или иной вопрос. Выделяют и алгоритмы с обучением без учителя, которые не требуют разметки данных для обучения.

Для разметки текстов под некоторую задачу, использующую большой объем данных, требуется значительное количество времени и финансов. В связи с этим, подход к обработке текстов с применением обучения с учителем не всегда эффективен.

Поэтому широко используются алгоритмы обучения без учителя. Такие алгоритмы способны извлечь информацию из текста и применить полученную в ходе обучения модель для получения признаков из корпуса фраз. Выбранные признаки используются для последующего применения к конкретным задачам обработки текстов.

Целью данной работы является исследование методов для обработки текстовой информации и построения графа диалога.

Полученный в работе граф позволяет создавать возможные пути следования в диалоге, проводить симуляции диалогов, классифицировать фразы или последовательности фраз. Результаты данного исследования могут применяться для улучшения метрик качества в задачах обработки текстов.

Для построения графа взят корпус драм русского языка [2]. В данном корпусе содержатся книги, охватыва-

ющие большой промежуток времени, поэтому исследуемые фразы обладают стилистическим разнообразием.

Методы подготовки данных

В работе предлагается использовать векторное представление фраз для их дальнейшей обработки. Такое представление позволяет заменить каждую текстовую фразу на вектор определенной длины. В качестве реализации применяется трансформер [3] multilingual universal sentence encoder [4], который основан на механизме bidirectional self-attention [5]. Такой механизм позволяет учитывать контекст и позицию слов в предложении. Трансформер сопоставляет каждый токен с каждым, из-за чего метод имеет алгоритмическую сложность $O(n^2)$, где n – длина последовательности.

Альтернативой трансформерам являются сверточные нейронные сети, в которых происходит умножение последовательности векторных представлений токенов на дополнительные матрицы небольшого размера. Алгоритмическая сложность данного метода линейная – $O(n)$; сверточные сети работают быстрее трансформеров, однако уступают по метрикам качества [4]. Было принято решение использовать модель трансформера – применение модели требуется один раз, а качество модели выше.

Метод кластеризации векторов

Объединение фраз по тематикам происходит с использованием методов кластеризации, применяющихся к векторному представлению фразы. Методы кластеризации векторов позволяют сгруппировать близкие вектора в один кластер. Далее рассмотрим метод k-means, наиболее применимые к поставленной задаче. Метод k-means делит все пространство на k заранее заданных кластеров. В начале работы метода случайным образом выбираются k векторов центров кластеров. Затем для каждого вектора находится ближайший центр кластера, после чего рассчитываются новые центры кластеров. Так, метод k-means позволяет отнести каждый вектор к одному из k кластеров.

Для выбора параметров кластеризации алгоритмов используют метрики качества, которые позволяют численно оценить результат кластеризации.

Метрика инерции (Inertia) показывает, насколько далеко в среднем удалены точки от центра кластера. Чем ниже значение метрики, тем лучше качество кластеризации. Однако при чрезмерно большом количестве кластеров метрика будет близка к нулю, а полученная кластеризация будет не пригодна для дальнейшего использования. Для решения этой проблемы дополнительно применяют метод локтя (elbow point) – выбирается количество кластеров, после которого падение метрики инерции перестает быть значимым. На рис. 1 показан результат подбора числа кластеров для метрики инерции.

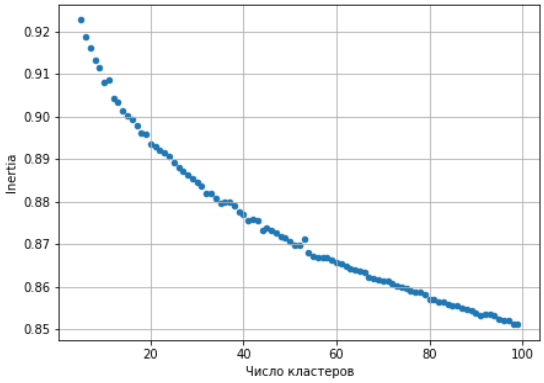


Рис.1. Зависимость метрики инерции от количества кластеров

Метрика оценки качества кластеризации силуэт (Silhouette) [6], показывает насколько далеко вектора одного кластера находятся от векторов другого кластера. Сначала для каждого объекта $a(i)$ в кластере C_i вычисляется среднее расстояние до каждого объекта в данном кластере (1), затем для каждого объекта вычисляется среднее расстояние до объектов его ближайшего соседнего кластера (2), после чего рассчитывается значение метрики (3).

$$a(i) = \frac{1}{|C_i|-1}\sum_{j\in C_i, i\neq j} d(i,j) \quad (1)$$

$$b(i) = \min_{k\neq i} \frac{1}{|C_k|}\sum_{j\in C_k} d(i,j) \quad (2)$$

$$s(i) = \begin{cases} \frac{b(i)-a(i)}{\max\{a(i),b(i)\}}, & |C_i| > 1 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

Метрика вычисляется для каждого объекта отдельно, затем усредняется для получения итогового результата. Чем выше ее значение, тем лучше качество кластеризации. На рис. 2 показан результат подбора числа кластеров для метрики силуэт.

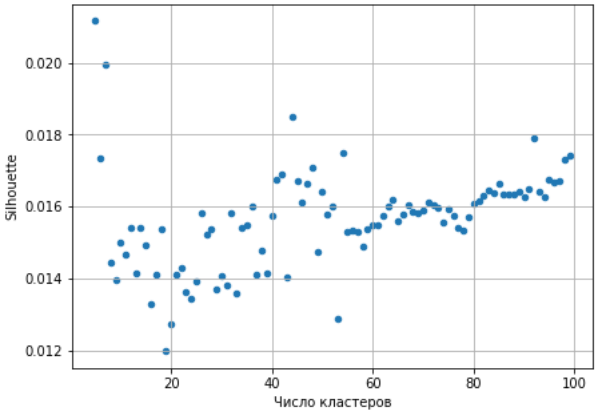


Рис.2. Зависимость метрики силуэт от количества кластеров

Метод построения графа

В работе разработан метод на основе рекуррентных нейронных сетей для построения направленного графа возможных диалогов. На вход методу подается последовательность из векторных представлений фраз и векторное представление фразы, следующее за данной последовательностью, после чего обучается модель рекуррентной сети. При применении модели к последовательности векторных представлений фраз получается векторное представление следующей фразы. Итоговое векторное представление используется для определения следующей фразы, для этого производится поиск ближайших к нему векторных представлений. В предложенном методе узлами графа являются векторные представления фраз, а ребрами – переходы между векторными представлениями фраз.

Для построения графа используется рекуррентная LSTM сеть [7] реализации tensorflow. На стадии обучении на вход модели подается последовательность векторов, которые соответствуют последовательности фраз из исходного текста. Выходом сети является вектор следующей фразы. Выходной вектор модели проверяется на косинусное сходство с предполагаемым вектором, сравниваются ожидаемые и полученные кластера векторов.

Для применения метода к новому тексту необходимо выполнить следующие этапы. Во-первых, применяется модель трансформера к каждой фразе в новом тексте. Во-вторых, получают номера кластеров для новых векторов с

помощью модели кластеризации. Затем полученные вектора передаются в модель графа, чтобы получить новые вектора. После среди известных векторов выполняется поиск ближайших к полученным, которые сопоставляются с соответствующим им текстом.

Заключение

В работе проведен анализ методов обработки текстовой информации, кластеризации объектов и выбора оптимального размера кластера. Был предложен метод построения графа диалога, который позволяет продолжать последовательность фраз. Предложенный метод может быть полезен при генерации и анализе текстов.

Список литературы:

1. Pikuliak M., Šimko M., Bieliková M. Cross-lingual learning for text processing: A survey //Expert Systems with Applications. – Т. 165. – С. 113765.
2. Fischer F., Börner, I. Programmable Corpora: Introducing DraCor, an Infrastructure for the Research on European Drama // Proceedings of DH2019: "Complexities". – 2019
3. Vaswani A. et al. Attention is all you need //Advances in neural information processing systems. – 2017. – С. 5998-6008.
4. Yang Y. et al. Multilingual universal sentence encoder for semantic retrieval //arXiv preprint arXiv:1907.04307. – 2019.
5. Bahdanau D., Cho K., Bengio Y. Neural machine translation by jointly learning to align and translate //arXiv preprint arXiv:1409.0473. – 2014.
6. De Amorim R. C., Hennig C. Recovering the number of clusters in data sets with noise features using feature rescaling factors //Information Sciences. – 2015. – Т. 324. – С. 126-145.
7. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory //Neural computation. – 1997. – Т. 9. – №. 8. – С. 1735-1780.

РАЗРАБОТКА МАКЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО IBM SPSS

Д.А. Баранов, Д.А. Богомолов,
А.Р. Губайдуллина, Е.Ю. Зимина
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается создание макета автоматизированной системы (АС) по анализу медицинских данных, результатом которого является вычисленная вероятность наличия или отсутствия у человека респираторных заболеваний на основании данных электрокардиограмм (ЭКГ). Также в работе описываются математические модели, с помощью которых производится анализ данных.

Введение

Медицина является одной из важнейших сфер человеческой деятельности, в которую активно внедряется применение технологии Больших данных. Актуальным становится обеспечение персонифицированного мониторинга, анализа и прогнозирования развития состояния пациента в реальном времени до его первого появления в лечебно-профилактическом учреждении (ЛПУ), а также сопровождение пациентов после выписки из ЛПУ [1].

Для анализа данных ЭКГ и выявления зависимости между значениями параметров ЭКГ и наличием признаков респираторных заболеваний были построены несколько моделей с использованием следующих математических алгоритмов: логистической регрессии и деревьев решений. На основании созданных моделей разрабатывается макет АС, способной на основании введенных пользователем данных вычислить вероятность наличия у последнего респираторных заболеваний.

Аналоги систем анализа медицинских данных

В настоящее время идет активная разработка телемедицинских систем. Подобные системы позволяют удаленно собирать медицинские данные пациентов и сразу же проводить базовую диагностику. В перспективе это позволит разгрузить медицинских работников и увеличить возможность первичной диагностики заболеваний у людей, проживающих в отдаленных районах.

Так, авторы одного из исследований [2], посвященного проблеме прогнозирования сердечных заболеваний на основе пиков и интервалов оцифрованной ЭКГ добились создания математической модели, определяющей шанс наличия у пациента заболевания с точностью в 91%. Кроме этого, в данный момент существует развивающаяся система, которая удаленно получает данные от датчиков, чтобы контролировать состояние сердца и прогнозировать наличие заболевания [3].

Разрабатываемая в ходе данной работы система отличается от существующих типом определяемого заболевания. Так, большинство конкурентных аналогов производят поиск заболеваний сердечно-сосудистой системы, а данная разрабатываемая АС производит анализ и выявление наличия не заболеваний сердца, а заболеваний совершенно другого направления – респираторных. Выявление респираторных заболеваний по параметрам ЭКГ является новым направлением в разработке АС по анализу медицинских данных.

Обзор данных

Данные были собраны с помощью мобильного кардиомонитора CardioQVARK Базовой Кафедрой Информационно-Аналитических Систем ЗАО "ЕС-лизинг" в пульмонологическом отделении московской больницы. Структура данных следующая:

- общие данные о пациенте (рост, вес, возраст);
- показатели кардиоцикла;
- показатели вариабельности сердца;
- флаг о наличии или отсутствии респираторного заболевания.

На основании полученных параметров ЭКГ построена математическая модель для первичной диагностики респираторного заболевания.

Исходный датасет был разделен для большей эффективности на несколько выборок:

- пациенты с сердечно-сосудистыми заболеваниями;
- пациенты без сердечно-сосудистых заболеваний.

Регрессионный анализ

Для создания математической модели расчета вероятности наличия или отсутствия у человека признаков респираторных заболеваний по параметрам ЭКГ сначала была использована логистическая регрессия.

Логистическая регрессия или логит-модель — это статистическая модель, используемая для прогнозирования вероятности возникновения некоторого события путём его сравнения с логистической кривой. Это уравнение выдаёт ответ в виде вероятности бинарного события. [4]

Метод логистической регрессии позволил построить модель с чувствительностью и специфичностью 71% и 80% соответственно. Где чувствительность – это процент верно определенных моделью «больных» людей, а специфичность – это процент верно определенных «здоровых»

людей. Логистическая регрессия была построена на языке программирования Python.

Ниже представлены логит-кривые, описывающие этапы обучения логистической регрессии.

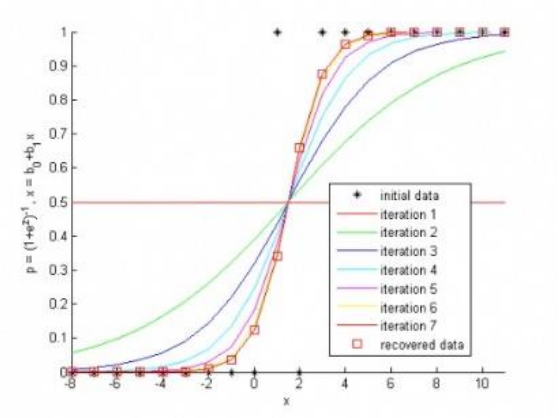


Рис.1. Построение логистической кривой

Деревья решений

Также для создания математической модели расчета вероятности наличия признаков респираторных заболеваний использовался метод построения деревьев решений.

Метод представления решающих правил в виде иерархической структуры, которая состоит из узлов и листьев. Решающие правила находятся в узлах, представляя из себя условие, которому соответствует или не соответствует пример по признаку, атрибуту. Листья – конечные узлы дерева, его решения, состоящие из подмножества объектов, удовлетворяющих всем правилам ветви. [5]

Метод деревьев решений позволил построить модель с чувствительностью и специфичностью 84% и 82% соответственно. На рисунке ниже представлен фрагмент полученного дерева решений.

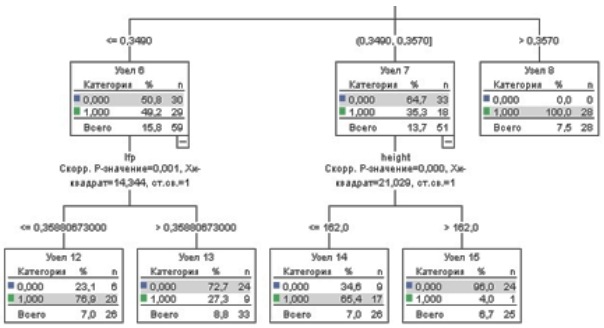


Рис.2. Фрагмент решающего дерева на ПО IBM SPSS

Проектирование автоматизированной системы

Проектирование разрабатываемого макета системы было сделано с использованием диаграмм UML. Преимуществами спроектированного макета являются: статистически значимая модель, реализованная в виде встраиваемого модуля, а также удобный в использовании веб-интерфейс для внесения данных и получения прогноза. Предложенное решение было реализовано на основе микросервисной архитектуры.

При описании архитектуры учитывались следующие критерии:

- Масштабируемость нагрузки (при повышении вычислительной нагрузки к системе можно достаточно быстро добавить новые сервера обработки клиентских запросов или расчета модели);
- Сопровождаемость и тестируемость (сложность организации системы упрощается за счет явного разделения на более простые микросервисы в сравнении с монолитной архитектурой);
- Безопасность (базы медицинских данных пользователей и информация о пользователях находятся в двух разных базах данных и при утечке одной из них возможность сопоставить медицинские данные и их владельца уменьшается);
- Скорость развертывания (при развертывании на предприятии за счет модульной структуры будет проще подключить к существующей системе внутренней авторизации пользователей предприятия).

Ниже описана диаграмма компонентов системы:

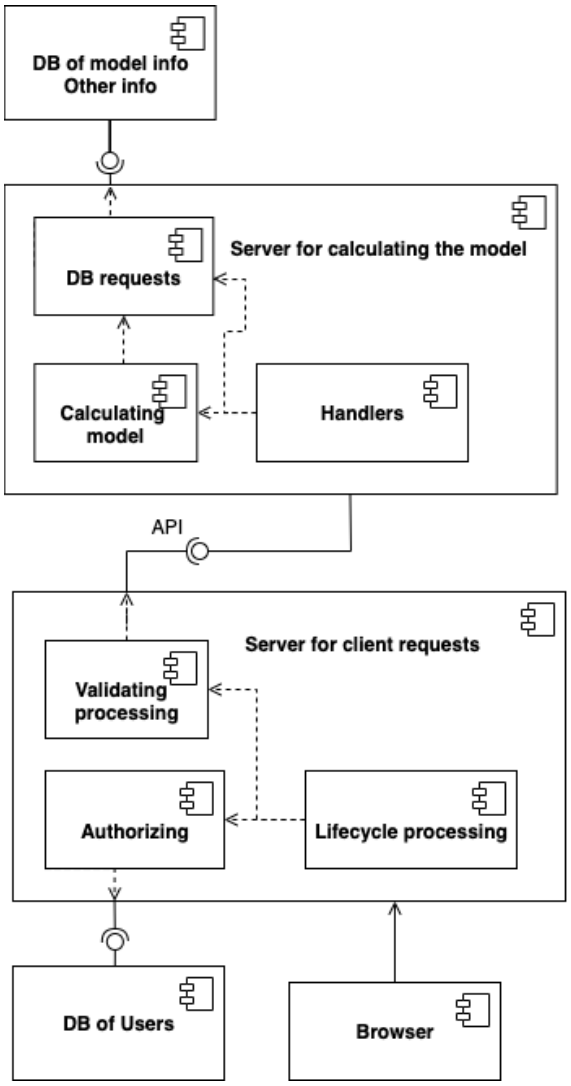


Рис.3. UML диаграмма компонентов системы

Пользователь при помощи браузера (в диаграмме - Browser) отправляет запрос на сервер обработки запросов пользователя и ему отправляется ответ с веб страницей, с которой далее происходит взаимодействие: пользователь может авторизоваться, отправить данные ЭКГ и получить результат расчета модели.

Сервер обработки клиентских запросов реализует:

- Обработку запросов пользователя;
- Авторизацию;
- Валидацию отправленных данных для расчета модели;

• Взаимодействие с сервером расчета модели и БД пользователей.

Сервер обработки модели реализует:

• Обработчики запросов от клиентского сервера в соответствии с API;

• Расчет модели и связь с БД параметров моделей;

• Логирование запросов.

Заключение

Возможность выявления наличия у человека респираторных заболеваний вне пределов ЛПУ на основании данных ЭКГ позволяет улучшить общую диагностику заболеваний у населения и избежать появления осложнений в результате позднего начала лечения.

Построенные математические модели получили достаточно высокую точность в выявлении наличия признаков респираторных заболеваний по параметрам ЭКГ , а разрабатываемый макет АС может послужить основанием для полноценной АС по выявлению наличия у пациента респираторных заболеваний на начальном этапе.

Список литературы:

1. Телемедицина: книга / А. К. Блажис [и др.]; под редакцией А. К. Блажиса. – Москва : Издательство СпецЛит, 2020. – 144 с. – Текст : электронный // Google Books [сайт]. – URL: https://books.google.ru/books?id=BzKdCgAAQBAJ&lpg

2. Use of machine learning for early pre-clinical diagnostics of heart diseases / Abdiakhmetova, Z., Alimbayeva, B., and Omarova, P. — International Journal Of Mathematics And Physics, 2017 (дата обращения: 01.02.2021)

3. Patient Health Monitoring using IoT / Rajendra Prasad. — International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2018 (дата обращения: 01.02.2021)

4. Статистика: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. С. Мхитарян [и др.] ; под редакцией В. С. Мхитаряна. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 464 с. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/401832 (дата обращения: 01.02.2021)

5. Анализ данных : учебник для академического бакалавриата / В. С. Мхитарян [и др.] ; под редакцией В. С. Мхитаряна. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 490 с. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/412967 (дата обращения: 01.02.2021)

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Р.К. Бадалян, С.В. Эфендиев, М.А. Сафронов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса автоматизации процесса 3D-печати в части подготовки стола принтера к печати и сбора готовых деталей после ее завершения.

Введение

В настоящее время 3D-технологии и 3D-печать активно применяется во многих сферах жизни человека (архитектура, строительство, промышленное производство, медицина и пр.). Главные плюсы 3D-печати – экономия времени и денежных средств, так как для работы современных принтеров достаточно быть подключенным к источнику питания. Также нужны сотрудники, которые будут заниматься обслуживанием устройства. Но несмотря на все эти преимущества, персонал должен забирать готовое изделие и подготавливать принтер для печати нового. Это, так или иначе, сказывается на скорости производства изделий, и как следствие - снижает эффективность работы. Необходима интеграция систем автоматизации 3D-печати во все возможные этапы, что увеличит производительность, автономность работы 3D-принтеров, а также сэкономит время подготовки к печати. Более того, подобную систему можно интегрировать в любое другое полуавтоматическое устройство, например: станок с ЧПУ. В разработке есть устройство со схожей целью, но у него наблюдаются проблемы с точностью печати. Так же данное устройство занимает немалое количество места и требует большого бюджета для покупки. В работе рассматривается автоматизация 3D-печати на этапе подготовки принтера к очередной печати.

Аналоги разрабатываемой системы

В настоящее время еще не существует полноценной конструкции, обеспечивающей автоматизированную 3D-печать. На данный момент существует лишь один прототип принтера – Powerbelt Zero, который может работать в полуавтоматическом режиме. Подавляющее большинство используемых принтеров имеет классическую (картезианскую) конфигурацию, то есть экструдер и рабочая поверхность расположены на параллельных плоскостях, а на принтере Powerbelt Zero – под углом друг другу [1]. Производитель заявляет, что система позволяет печатать навесные элементы под любым углом в направлении движения конвейерной ленты. Но у такого решения есть два существенных недостатка: подобная конфигурация и взаимное расположение экструдера и рабочей области на данном этапе не могут обеспечивать качественную печать, чем выше деталь, тем больше вероятность того, верхние слои будут неравномерно уложены, напечатанные модели никак не складируются, а падают с конвейера в контейнер, что увеличивает риск деформировать изделие. Также подобный принтер имеет большие габариты, которые много превышают габариты наиболее распространенных 3D-принтеров [5].

Разработка 3D моделей системы подготовки области печати

У подавляющего числа принтеров поверхность печати представляет собой закаленное стекло, которое крепится на подогреваемой основе зажимами. Таким образом есть возможность производить замену стекла с напечатанной деталью на новое пустое стекло.

Система подготовки области печати состоит из двух простых конструкций:

- Башня с одним подвижным модулем и катком, который задвигает стекло с первой башни на вторую;

- Башня, которая хранит несколько готовых изделий (количество данных секций зависит от высоты).

Система, обеспечивающая автоматизированную печать, будет представлять из себя единую конструкцию. Большинство механизмов и компонентов, необходимых для сборки системы уже используются в современных принтерах (винтовая передача, шаговый двигатель, шлифованные направляющие и т. д.), следовательно соблюдается принцип унификации конструкции, что дает возможность адаптировать конструкцию под необходимые размеры. Готовое изделие, напечатанное на стекле (рабочей области) за счет передаточного механизма, в основе которого лежат два шкива и ремень, будет задвигаться на «башню доставки», после чего перемещаться на «башню хранения», где будет складироваться, пока оператор не освободит «ячейки хранения» для будущих деталей. Также раз-

меры платформ, где будут храниться изделия можно менять под различные размеры стекол, не затрачивая много ресурсов, поэтому конструкцию возможно интегрировать ко всем принтерам, основанным на картезианской системе. Механизм замены стекла представляет следующую конструкцию: первая башня перемещает систему захвата стекла и выравнивает ее по высоте со стеклом принтера. Далее происходит процесс переноса стекла с 3D-принтера в башню для дальнейшего перемещения. Затем стекло поднимается на верхнюю точку башни, после чего задвигает на вторую башню, которая хранит стекла с напечатанными деталями. Ниже представлена 3D-модель нашего устройства (рис. 1).



Рис.1. 3D-модель устройства

Схемотехническое моделирование

Все электронные компоненты будут разделены на два отдельных узла:

1. Первый отвечает за работу механизма замены стекла, он управляется платой Arduino Mega 2560. При помощи драйверов A4988 происходит управление двумя шаговыми двигателями, которые отвечают за движение площадки со стеклом по вертикали, а также за замену стекла на 3D-принтере [2].
2. Второй схемотехнический узел отвечает за работу конструкции хранения напечатанных изделий. Данная система управляется платой Arduino UNO, т.к. его задачи проще в реализации: плата через драйвер управляет одним шаговым двигателем, который отвечает за опускание платформы для хранения стекол с напечатанными деталями.

Разработка программы управления системой

Для унификации процесса передачи команд программа управления механической частью основана на определенном наборе команд языка программирования G-CODE, который был создан компанией Electronic Industries Alliance в 1960-х годах. G-CODE как правило, является основной системой команд управления механизмами 3D-принтеров. G-CODE представляет собой набор примитивных команд по управлению периферией. Структура команд выглядит следующим образом: G01 X(координата X) Y(координата Y) F(скорость перемещения), данная команда отвечает за перемещение по координатам. Или, например: G00(быстрое перемещение) X0 Y0, эта строка возвращает на исходную точку, команда G02 I(радиус) F(скорость перемещения) отвечает за движение по окружности [3].

Задача разработанного программного обеспечения заключается в перемещении платформы на определенную высоту и перемещении стекла, опираясь на количество вращений шагового двигателя. Данное решение реализовано на языке wiring, путем получения стоковых команд по физическому протоколу передачи данных UART от компьютера [4].

Управление шаговыми двигателями системы подготовки области печати и системы хранения распечатанных деталей осуществляется в два этапа:

1. Программа получения и преобразования команд от управляющего устройства.
2. Низкоуровневое ПО: написанная программа преобразует сигналы шага и направления (step/dir) для шаговых двигателей либо скорость/направление для серводвигателей в значения напряжения и тока, подаваемые на обмотки двигателей [6]. В конструкции задействовано 4 шаговых моторов, которые отвечают за перемещение стекла. На башнях двигатели вращаются достаточно быстро, ведь особая аккуратность не требуется, до момента выравнивания по высоте со столом 3D принтера. Также башни будут обладать свойством «плавного выхода», то есть скорость вращения постепенно будет понижаться при поднятии платформы на вершину башни, это необходимо для погашения инерции [7].

Заключение

Результатом разработки является система, позволяющая экономить время, необходимое для подготовки 3D-принтера к печати. На данный момент напечатаны компоненты будущей модели, собрана бета версия конструкции, написан скетч управления, протестирована работа двух башен и хранение стекла на башне складирования. В будущем наш проект сможет использоваться как для решения производственных задач, так и для личного пользования.

Список литературы:

1. Декартова (Картезианская) система координат [Электронный ресурс]. URL: https:// studopedia.ru/3_67835_dekartova-kartezia nskaya-sistema-koordinat.html (дата обращения 10.02.2021).
2. 3D MC2 printer [Электронный ресурс] URL: https://masterkit.ru/ shop/1920960 (дата обращения 10.02.2021).
3. G-CODE по-русски [Электронный ресурс] URL: https://3dnote.ru/threads/g-code-po-russki-sprav ochnik-3 d-shnika.177/ (дата обращения 10.02.2021).
4. UART – Последовательный интерфейс передачи данных [Электронный ресурс]. URL: https://voltiq.ru/wiki/uart-interface/ (дата обращения 10.02.2021).
5. UART – Последовательный интерфейс передачи данных [Электронный ресурс]. URL: https://voltiq.ru/wiki/uart-interface/ (дата обращения 10.02.2021).
6. Brown A. C., De Beer D. Development of a stereolithography (STL) slicing and G-code generation algorithm for an entry level 3-D printer //2013 Africon. – IEEE, 2013. – С. 1-5.
7. Пайвин А. С., Чикова О. А. Основы программирования станков с ЧПУ: учебное пособие. – 2015.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА

Р.Р. Хасянов, В.Г. Трабун, М.К. Матвиенко, Д.В. Багров, И.Д. Маляев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Цель данной работы - разработка бионического робота-компаньона, который сможет: коммуницировать с пользователем (при помощи дистанционного управления через разработанное приложение), передвигаться, ориентироваться в пространстве, измерять пульс и выполнять определенные команды. Задачи проекта: спроектировать детали корпуса, рассчитать нагрузку на конструкцию и смоделировать систему движений деталей корпуса робота, разработать системы управления исполнительными устройствами и датчиками роботизированного устройства, разработать программное обеспечение

Введение

В современном, высокотехнологичном мире роботы становятся обыденностью. Люди создают себе компаньонов, совершенствуя их и подгоняя под текущие реалии, которые постоянно меняются. К примеру, пожилые люди часто нуждаются в дополнительном уходе и помощи, особенно в вопросах, касающихся здоровья.

Именно этим мотивировано создание робота со структурой тела собаки, способного передвигаться, коммуницировать с человеком и напоминать ему о принятии нужных таблеток, тем самым облегчая жизнь престарелым людям. Аналогом платформы является японский робот Asus Zenbo, обеспечивающий поддержку в доме и дружественную атмосферу.

Разработка корпуса платформы

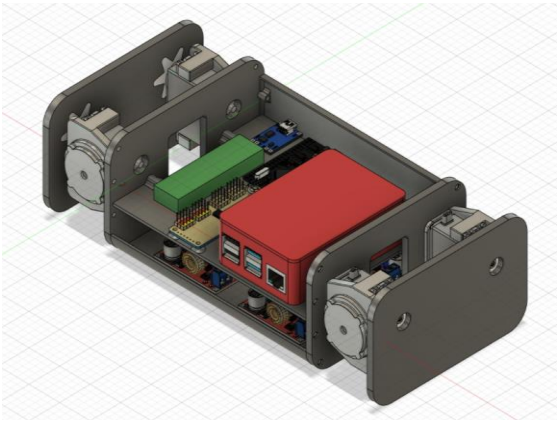


Рис.1. Модель корпуса в Fusion 360

В роли основной программы для 3d-моделирования была выбрана программа САПР Autodesk Fusion 360. Предпочтение этому ПО было отдано за счет интуитивности интерфейса и возможности удобного параметрического моделирования.

В качестве прототипа для нашего робота использовался многофункциональный робот Spot Micro [1]. Принципиальным отличием системы, разработанной нашей командой, от прототипа является изменение габаритов: корпус был увеличен до 270мм в длину, 77.5мм в высоту и 126мм в ширину; для дальнейшего интегрирования компонентов, позволяющих отслеживать показания жизнедеятельности пользователя и оказывать медицинскую поддержку, например, датчика пульса или таблетницу. Модель финальной версии корпуса приведена на рисунке 1.

Основными задачами при моделировании корпуса были равномерное распределение массы электроники: одноплатного компьютера - Raspberry Pi 4, аккумулятора, преобразователей напряжения постоянного тока и др., для повышения стабильности системы при движении, а также минимизация габаритов роботизированной платформы. Для корректного выполнения этих задач разработчики 3D-моделей обращались к Fusion 360 for Makers [2] - пособию по работе в используемом ПО.

Разработка конечностей.

Модель конечности приведена на рисунке 2.



Рис.2. Модель конечности во Fusion 360

Размеры конечностей робота изменились пропорционально корпусу, сохраняя исходные размеры в соединениях деталей с сервоприводами. Таким образом длина вытянутой лапы, содержащей в себе 2 основные детали, составила 260мм. Максимальная толщина детали составляет одинаковую величину с длиной используемого сервопривода - 37 мм. Высота лежащей детали варьируется от 15мм в самом узком месте конечности до 40 мм у ее основания соединения с плечевым механизмом.

Для более точного моделирования использовались 3D модели сервоприводов из галереи Autodesk [3] .

Основной задачей в разработке ног являлось достижение равновесия при подвижности сервоприводов. Помимо пособия разработки 3D моделей [2] использовались теоретические знания физики о положении равновесия.

Для достижения наилучшего результата были проведены расчеты и сравнения, вследствие которых, были получены нужные размеры.

Разработка приложения для дистанционного управления

В качестве среды разработки для создания приложения использовалась Android Studio, опираясь на источник Android Programming [4], благодаря гибкости и большому набору функций. Разработанное приложение представляет собой набор нескольких окон, связанных друг с другом, которые содержат информацию о проекте, участниках, набор команд для передвижения и средства для подключения Bluetooth на устройстве и сопряжения с микроконтроллером. Удобный интерфейс и подсказки для пользователя позволяют управлять роботизированной шагающей платформой.

Действия пользователя обрабатываются с помощью алгоритмов, написанных на языке Java, и поступают при надобности на прототип, который совершает команды перемещения. Вид интерфейса программы управления приведен на рисунке 3.

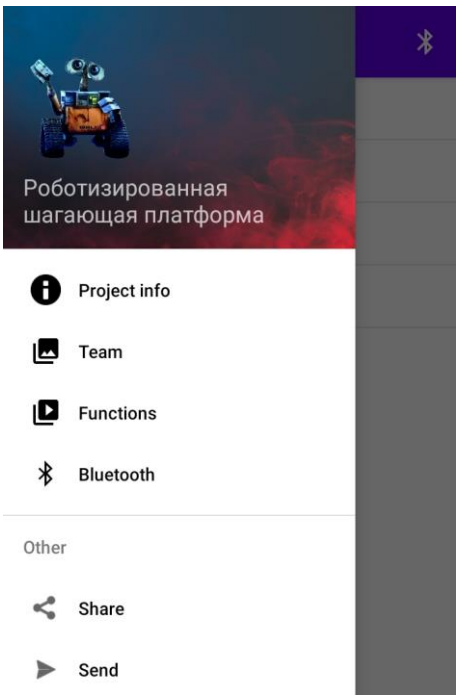


Рис.3. Внешний вид приложения

Разработка программного кода для передвижения робота.

В качестве среды разработки для создания программного кода движения робота использовалась Visual Studio. Выбор был сделан, основываясь на широком спектре возможностей для реализации необходимых задач и удобному интерфейсу. Для поиска справочной информации использовался электронный ресурс [5].

Разработанный код отвечает за передвижение робота по 4 направлениям (вперед, назад, вправо, влево). Программа ответственна за управление сервоприводами робота, которое осуществляется с помощью контроллера arduino uno. Листинг части кода приведен на рисунке 4.

```
34  void setup() {
35    Serial.begin(9600);
36    Serial.println("8 channel Servo test!");
37
38    pwm.begin();
39
40    pwm.setOscillatorFrequency(27000000);
41    pwm.setPWMFreq(SERVO_FREQ);  // Analog servos run at ~50 Hz updates
42
43    delay(10);
44  }
45
46  void loop() {
47    // Drive each servo one at a time using setPWM()
48    Serial.println(servonum);
49      pwm.setPWM(0, 0, default0);//передняя левая
```

Рис.4. Листинг части кода

Заключение

Таким образом, результатом разработки является система программного обеспечения, электроники и деталей, распечатанных с помощью метода аддитивных технологий. Использование производительности Android Studio вместе с гибкостью программного кода на С-подобном языке и библиотеками Arduino позволило реализовать многие идеи.

Предлагаемое решение позволит улучшить жизнь людям в пожилом и преклонном возрасте.

Список литературы:

1. Robot-dog Spot Micro [Электронный ресурс] URL: https://www.thingiverse.com/thing:3445283.

2. Sloan Cline L. Fusion 360 for Makers: Design Your Own Digital Models for 3D Printing and CNC Fabrication - 2018 - P. 95-254.

3. Gallery Autodesk [Электронный ресурс] URL: https://gallery.autodesk.com.

4. Phillips W. N., Stewart C., Marsicano K. Android Programming. The Big Nerd Ranch Guide - 2013 - Pearson Publishing - P. 298-420.

5. Arduino.ru [Электронный ресурс] URL: http://arduino.ru/Reference/Library/Servo

РАЗРАБОТКА НА ЯЗЫКЕ PYTHON И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Г.Б. Барков, А.А. Журкина,
Б.О. Мартиросян, Е.Ю. Зимина
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа является продолжением работы над проектом, который был завершен в прошлом учебном году. Результатом работы над проектом были разработанные математические модели по расчету вероятности наличия или отсутствия у человека признаков респираторных заболеваний по параметрам ЭКГ.

Результатом данной работы экспериментальный макет системы по автоматизированному анализу медицинских данных в виде web-приложения, где на входе будут подаваться данные ЭКГ в виде параметров, далее пользователь сможет выбрать одну из реализованных математических моделей (другими словами, способ расчета предсказания), тем самым настроить систему. На выходе получится вероятность наличия у обследуемого признаков респираторных заболеваний.

Введение

Вопрос своевременной диагностики заболеваний является одним из первостепенных для человечества. Сейчас с помощью переносного персонального электрокардиографа и других “умных” гаджетов можно получать данные по кардиограмме в домашних условиях. С распространением этих устройств появилась возможность собирать медицинские данные у обследуемых пациентов по месту их проживания, передавать их по интернету, а анализировать их в центре обработки и анализа. Результаты анализа контролируются высококвалифицированными специалистами – медиками и доводятся до пациента и медперсонала по месту жительства пациента.

Разрабатываемая информационно-аналитическая система на основе математических моделей позволит прогнозировать наличие или отсутствие у обследуемого респираторных заболеваний. Такая система может быть использована в первичном звене медицинского обслуживания, тем самым снизив нагрузку на медицинских работников и повышая качество обслуживания населения.

Существуют аналоги разрабатываемой системы, но они проводят анализ медицинских данных с целью автоматизации выявления заболеваний сердечно-сосудистой системы. Данная разрабатываемая система отличается от аналогов тем, что выявляет наличие не заболеваний сердца, а

респираторных заболеваний. Поэтому данный разрабатываемый макет является актуальным.

Автоматизированные системы в медицине

В 1987 году состоялась коллаборация между акушерским отделением медицинского факультета Порту и электротехнического отделения инженерного факультета для разработки автоматизированной системы анализа кардиотокографии на основе недорогого персонального компьютера [1]. В то время похожих систем не было. Система считывала сигналы частоты сердечных сокращений плода и сокращения матки и определял исходный уровень сердечного ритма плода, что позволяло анализировать ускорения и замедления, а также оценивать долгосрочно вариабельность.

Также, были разработаны ряд автоматизированных систем сбора и анализа данных о пациенте и способу диагностики и мониторинга респираторной недостаточности и ее результатов [2], ишемии миокарда и ее исходов [3].

Изменение статуса пациента определяется путем сравнения, по меньшей мере, одного записанного показателя из каждого из наборов мониторинга, по меньшей мере, с одним другим зарегистрированным показателем. Оба записанных показателя относятся к одному и тому же типу информации о пациенте. Каждое изменение статуса пациента проверяется с помощью порогового значения индикатора, соответствующего тому же типу информации о пациенте, что и сравниваемые записанные показатели. Пороговое значение индикатора соответствует количественному физиологическому показателю патофизиологии.

Экспериментальный макет

Макет системы разработан на языке программирования Python. Изучаемая выборка состоит примерно из 2000 ЭКГ с аннотированными заболеваниями легких у пациентов, из которых 1800 ЭКГ людей, имеющих респираторные заболевания, и 200 ЭКГ людей здоровых относительно респираторных заболеваний.

Макет имеет параметры предобработки: метода фильтрации признаков и метода балансировки классов. Для решения поставленной задачи необходимо сбалансировать классы. Для этого используется один из двух методов: oversampling, когда dataset дополняется дублирующимися данными из представителей меньшего класса, или undersampling, когда число представителей большего класса урезается. Цель обоих методов добиться того, чтобы размеры классов были одинаковыми. Для отбора признаков, имеющих наибольший вклад в результат, используются методы: метод-фильтрация, метод backward elimination, метод recursive feature elimination.

Полученное качество модели выражается в 4 метриках: accuracy (1), precision (2), recall (3) и f_score (4). Матрица ошибок (confusion matrix) - концепция, которая позволяет продемонстрировать эффективность классификации путем сравнения прогнозируемого значения целевой переменной с ее реальным значением.

Таблица 1. Матрица ошибок

	y=1	y=0
ŷ=1	True Positive (TP)	False Positive (FP)
ŷ=0	False Negative (FN)	True Negative (TN)

$$accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F_\beta = (1+\beta^2) \cdot \frac{precision \cdot recall}{(\beta^2 \cdot precision) + recall} \quad (4)$$

Здесь β определяет вес точности в метрике, и при $\beta = 1$ это среднее гармоническое (с множителем 2, чтобы при precision = 1 и recall = 1 иметь F = 1).

Для обучения макета были использованы следующие модели SVM (F-мера = 0.98), LinearSVM (F-мера = 0.59), LogisticRegression (F-мера = 0.66), KNeighbors (F-мера = 0.89), DecisionTree (F-мера = 0.94) и RandomForest (F-мера = 0.98). После проведения обучения и оценки полученных результатов явным лидером среди используемых моделей стал RandomForest.

На рисунке ниже представлен алгоритм работы реализуемого макета автоматизированной системы анализа медицинских данных.

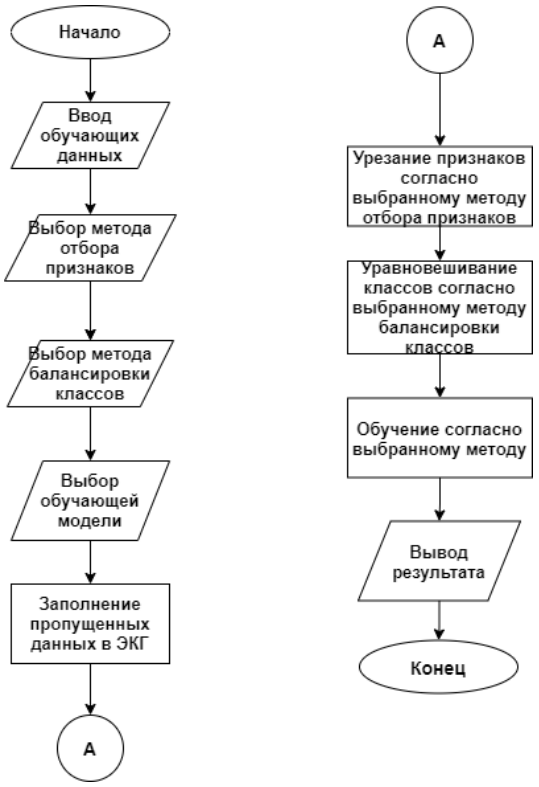


Рис.1. Алгоритм работы экспериментального макета системы

Оптимизация макета и разработка приложения

Оптимизация экспериментального макета состоит в добавлении ролей пользователя и администратора. Для пользователя (пациента) доступны окна регистрации и авторизации. Функционал работы следующий: ввод его персональных данных, которые будут использоваться алгоритмом для предсказания, и само предсказание болен он или нет. Администрирование включает в себя функции по настройке моделей: просмотр истории обучения моделей, обучение новой модели, установка рабочей модели и изменение обучающей выборки. Также, к оптимизации относится и создание удобного для пользователя интерфейса. Интерфейс реализован с помощью фреймворка Angular. Взаимодействие с сервером осуществляется с помощью http-запросов. Для организации работы с массивом данных спроектирована и реализована БД на Postgres.

Заключение

С помощью переносного персонального электрокардиографа можно получать данные по кардиограмме в домашних условиях. А анализ ЭКГ является наиболее распространенный вид скрининга здоровья.

Разрабатываемый макет системы позволит при наличии данных ЭКГ, зарегистрированных с помощью различных устройств, таких как CardioQvark, Apple Watch, Холтера, CardioJet, персонально пациенту отслеживать свои показатели по здоровью. Система имеет интуитивно понятный интерфейс для пользователя. Авторизация пользователей позволит сохранять данные и результаты расчетов конфиденциальными. Система также имеет обширный функционал для поддержки и улучшения работы алгоритмов для администратора.

Таким образом, с помощью регулярной практики и работе в системе можно также выявлять некоторые отклонения по здоровью и делать выводы о наличии респираторных заболеваний. Автоматизированный анализ медицинских данных сделает раннюю диагностику здоровья человека доступной.

Список литературы:

1. Bernardes J, Moura C, Marques de Sá J, Pereira Leite L. The Porto system for automated cardiotocographic signal analysis. J Perinat Med 1991; 19: 61–65.

2. GH Bardy - US Patent 6,368,284, 2002 - Google Patents.

3. GH Bardy - US Patent 6,336,903, 2002 - Google Patents.

СОЗДАНИЕ ПОИСКОВОГО СЕРВИСА НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕМ, ОБСУЖДАЕМЫХ В КОРПОРАТИВНОМ ЧАТЕ

Г.А. Хромов, В.Г. Ригвава, В.А. Плаксин, А.В. Колчанова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В рамках работы проводится разработка сервиса, предоставляющего пользователю возможность производить поиск компетентных людей. Компетенции выявляются исходя из сообщений, написанных пользователями в открытых каналах корпоративного чата. Поиск производится по запросу – тематическому произвольному набору слов, выражающего желаемый набор компетенций.

Введение

Для создания успешной проектной системы в крупной корпоративной среде необходимо не только наличие инструментов для создания, ведения, управления и отслеживания проектов, но и сервисы для создания профессиональной среды. Под профессиональной средой подразумевается информационное поле, представляющее собой набор инструментов и сервисов для коммуникации большого числа сотрудников с целью обмена профессиональными знаниями и навыками, а также для совместного ведения проектов.

Примером профессиональной среды может послужить корпоративный чат – программное обеспечение, систематизирующее коммуникацию и обеспечивающее взаимодействие внутри организации. Несмотря на открытость такого сервиса, поиск компетентных людей для решения проектных задач различного масштаба затруднителен, так как далеко не все сотрудники знают о навыках и умениях всех остальных участников проектной деятельности. Для решения этой проблемы был разработан сервис под названием *«Поисковик компетенций»*. Данный сервис создан в рамках развития Цифровой среды МИЭМ НИУ ВШЭ на основе данных корпоративного чата *Zulip*. В целях улучшения качества поиска планируется использование таких сервисов *Цифрового МИЭМа*, как *Личный кабинет*, где находится информация о проектах и их участниках, и *Wiki МИЭМ*, где хранится проектная документация и статьи, описывающие исследования и рабочие проблемы в проектах. Однако в данной статье будут рассмотрены только особенности работы с данными *Zulip*.

Использование чата как источника информации для поисковика возможно при условии его открытости и участия в нём большинства сотрудников, поскольку таким образом будет обеспечено достаточное количество информации о задачах, решаемых в проектах, а также о компетенциях сотрудников, которые эти задачи решают.

Данный сервис использует сообщения из открытых каналов корпоративного чата для выявления заинтересованных людей по определенным темам с помощью алгоритмов машинного обучения. Предполагается, что заинтересованные люди либо являются компетентными в области, указанной в поисковом запросе, либо знают таких людей.

«Поисковик компетенций» также может быть использован как сервис для поиска сотрудников при создании нового проекта. Данный подход поможет сократить время на отбор людей, ответивших на заявку, предоставив информацию о компетенциях каждого человека.

Методология

Задачу поиска компетенций в цифровых сервисах можно рассмотреть как задачу поиска тем в корпусе текстовых данных. Слова и сообщения из корпоративного чата (далее будем называть их документами) можно представить в виде n-размерных векторов (*embeddings*). Более того, данные вектора могут находиться в одном векторном пространстве, где расположение документов и векторов относительно друг друга несет в себе семантический смысл [1]. Задачу выделения произвольного набора тем среди документов можно рассмотреть как задачу кластеризации векторов документов, где центроиды кластеров – это векторные представления тем. Подобная методология тематического моделирования, названная *top2vec*, была предложена Д. Ангеловым [2].

Существует множество подходов к созданию векторных представлений слов и документов. В данной работе имеет смысл рассматривать два метода, которые имеют свойство располагать семантически похожие документы ближе друг к другу в векторном пространстве: *doc2vec* [1] и *Sentence-BERT* [3]. В первом случае обучение модели производится только на данном корпусе документов (сообщения из открытых каналов корпоративного чата), и семантические связи между векторами формируются только из документов, находящихся внутри данного корпуса. Во втором случае используется предобученная на большом объеме внешних данных нейросеть-трансформер. Для создания поисковой системы была выбрана модель, использующая *Sentence-BERT*, так как она позволяет осуществлять поиск даже по запросу из слов, которые не встречались среди сообщений в чате. Такое свойство может дать преимущество в условиях ограниченного количества данных для обучения модели.

Модель *top2vec* сначала уменьшает размерность векторного пространства документов с помощью алгоритма *UMAP* [4], после чего производит кластеризацию получившихся векторов алгоритмом *HDBSCAN* [5], затем находит центроиды каждого кластера документов, формируя таким образом векторные представления тем. Для каждого

кластера (темы) можно выделить наиболее репрезентативно описывающие его слова. Одним из способов является нахождение ближайших к центроиду векторов слов, взяв в качестве меры сходства *косинусное сходство* [6], часто использующееся в подобных задачах:

$$similarity = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{|A||B|} \quad (1)$$

Другим способом может быть нахождение *class-based TF-IDF* меры [7] для каждого слова в кластере документов Отличие данной меры от стандартного *TF-IDF* [8] заключается в том, что все сообщения из одного кластера рассматриваются в качестве единого документа. В итоге большее значение показателя свидетельствует о важности слова в конкретном кластере.

При поиске подходящих пользователей по ключевому запросу (желаемым компетенциям) формируется список наиболее релевантных тем, из которых отбираются наиболее близкие к центроидам документы. Наиболее подходящим будет такой пользователь, который чаще всех встречается в качестве автора документа, а сами документы являются наиболее релевантными. Точная формула расчета релевантности документов приведена ниже:

$$Rel_{d \to q} = Rel_{t \to q} Rel_{d \to t} \quad (2)$$

Rel обозначает значение релевантности, а *d*, *q* и *t* – документ, запрос и тему, соответственно. Нижний индекс обозначает отношение релевантности одной сущности к другой. Например, $Rel_{d \to q}$ обозначает релевантность документа к запросу.

$Rel_{t \to q}$ и $Rel_{d \to q}$ вычисляются по следующим формулам:

$$Rel_{t \to q} = cosine\_sim(\vec{q}, \vec{t}) \quad (3)$$

$$Rel_{d \to q} = cosine\_sim(\vec{t}, \vec{d}) \quad (4)$$

В формулах (3) и (4), *cosine_sim* обозначает *косинусное сходство* между двумя векторами, а $\vec{q}$, $\vec{t}$ и $\vec{d}$ – векторные представления запроса, темы и документа соответственно.

Релевантность пользователя выражается в виде суммы релевантности всех документов его авторства.

Оценивание качества модели

Информативность выдаваемых сервисом ответов может зависеть от множества факторов и настраиваемых параметров модели. Некоторыми из них являются:

1) Архитектура нейросети, составляющей векторные представления документов;

2) Параметры алгоритма уменьшения размерности векторов;

3) Параметры алгоритма кластеризации;

4) Предобработка исходного корпуса текстов (сообщений).

В рамках работы мы исследовали, как на качество модели влияет предобработка текстового корпуса сообщений. В ходе предварительного исследования данных сообщений корпоративного чата было выявлено, что существенная часть сообщений не несет в себе никакой тематической информации. Часто в текстах сообщений встречаются неинформативные, и потому, вероятно, лишние для модели слова. Другой проблемой оказался недостаток информации в исходных сообщениях, даже среди тех, что были написаны в ходе обсуждения некоторой темы или области знаний.

Исходя из перечисленных выше особенностей было решено исследовать влияние исключения из текстов исходного корпуса сообщений стоп-слов (шумовых слов), а также добавлении названия темы обсуждения к тексту каждого сообщения.

Разрабатываемый сервис возвращает пользователю результат в виде списка наиболее компетентных людей и их сообщений в чате, тематически связанных с заданным запросом. В таком случае, наиболее прямолинейным решением для автоматизированного оценивания информативности результатов было бы собирать статистику отзывов пользователей о работе сервиса. Однако на практике такой подход требует не только большого числа активно пользующихся сервисом людей, но и их активного участия в тестировании сервиса.

Для оценки качества модели в статье о *top2vec* [2] предлагается использовать метрику *взаимной информации* (5): для каждой темы *t* считается взаимная информация, полученная по словам W_t и документам D_t, где W_t – *n* ближайших к центроиду слов, а D_t – все документы, которые входят в данный кластер (тему). Полученные значения взаимной информации суммируются для всех тем, найденных в корпусе документов.

$$I(T) = \sum_{t \in T} \sum_{d \epsilon D_t} \sum_{w \epsilon W_t} P(d,w) \log\left(\frac{P(d,w)}{P(d)P(w)}\right) \quad (5)$$

Данная метрика позволяет оценить количество полученной информации о документах, принадлежащих определенной теме, если описывать их словами, которыми эта тема характеризуется. Однако оценка по формуле (5) будет некорректной для решаемой задачи.

Во-первых, нашем случае количество кластеров не является постоянным значением, и, следовательно, оценка по формуле (5) будет расти линейно с числом формируемых моделью кластеров. Чтобы решить данную проблему, можно поделить итоговый результат на число кластеров модели, получив таким образом *удельную взаимную информацию*.

Во-вторых, при удалении стоп-слов из исходных сообщений могут образоваться «пустые» документы, которые также удаляются из корпуса перед обучением модели. В таком случае и количество документов, передаваемых модели, не будет постоянным. Нивелировать эту проблему можно, если в каждом кластере зафиксировать число документов, по которым будет проводится оценка. Таким образом, для оценки информативности кластера будем брать *m* ближайших к центроиду документов, при этом $m \leq |t|, \forall\, t \in T$. Получим итоговую формулу для оценки информативности модели:

$$I(T) = \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} \sum_{d \epsilon D_t} \sum_{w \epsilon W_t} P(d,w) \log\left(\frac{P(d,w)}{P(d)P(w)}\right) \quad (6)$$

Полученные результаты

По формуле (6) была проведена оценка моделей четырех видов: обучавшихся на оригинальном корпусе сообщений (*data*), на корпусе с добавленными темами сообщений (*data_t*), на корпусе с убранными стоп-словами (*data_sw*), а также на корпусе с добавленными темами и удалением стоп-слов (*data_sw_t*). Следует отметить, что результат работы алгоритма *UMAP* не является детерминированным. Вследствие этого при каждом запуске результат модели отличается. В целях исключения случайности в результатах, каждая модель обучалась на одном и том же корпусе 30 раз. В результате был получен список средних значений оценки *удельной взаимной информации* (Таблица 1). Распределение оценок показано на рис. 1. Также было исследовано влияние предобработки данных на количество формируемых моделью тем, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1. Средняя оценка модели в зависимости от предобработки текстовых данных

Удельная взаимная информация, 10^{-4}			
data	data_t	data_sw	data_sw_t
2,22	2,31	2,08	2,47

Таблица 2. Среднее количество кластеров в модели в зависимости от предобработки текстовых данных

Среднее количество кластеров (тем)			
data	data_t	data_sw	data_sw_t
324	310	457	334

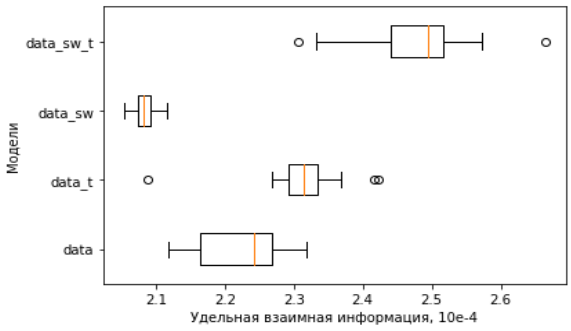


Рис.1. Распределение оценок моделей в зависимости от предобработки текстовых данных

Добавление тем обобщает сообщения за счет добавления общего набора слов – самой темы. Вследствие этого векторные представления документов становятся более схожими друг с другом и количество кластеров уменьшается (несмотря на фактическое добавление к документам информации), при этом информативность каждого кластера возрастает.

С другой стороны, исключение стоп-слов снижает количество шума в документах и близость векторов с одинаковыми стоп-словами в оригинальном тексте, повышая их семантическое различие. Это приводит к тому, что большие кластеры разбиваются на несколько кластеров меньших размеров.

Исходя из приведенных выше данных, можно сделать вывод, что добавление дополнительной информации о названии темы корпоративного чата, в которой было написано сообщение, вкупе с удалением из сообщений стоп-слов может оказать положительный результат на итоговую информативность модели.

Заключение

Таким образом, был предложен подход для нахождения компетенций пользователей корпоративного чата. Были описаны различные методы реализации модели нахождения тем в корпусе документов, методы оценки информативности модели, а также получены и сопоставлены результаты оценки в зависимости от предобработки входных текстовых данных.

Список литературы:

1. Le Q., Mikolov T. Distributed representations of sentences and documents // International conference on machine learning. – PMLR, 2014. – С. 1188-1196.

2. Angelov D. Top2Vec: Distributed Representations of Topics // arXiv preprint arXiv:2008.09470. – 2020.

3. Reimers N., Gurevych I. Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks // arXiv preprint arXiv:1908.10084. – 2019.

4. McInnes L., Healy J., Melville J. Umap: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction // arXiv preprint arXiv:1802.03426. – 2018.

5. Campello R. J. G. B., Moulavi D., Sander J. Density-based clustering based on hierarchical density estimates // Pacific-Asia conference on knowledge discovery and data mining. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – С. 160-172.

6. Singhal A. et al. Modern information retrieval: A brief overview // IEEE Data Eng. Bull. – 2001. – Т. 24. – №. 4. – С. 35-43.

7. Maarten Grootendorst. Creating a class-based TF-IDF with Scikit-Learn // Towards Data Science: электронное издание, 19.10.2020. URL: https://towardsdatascience.com/creating-a-class-based-tf-idf-with-scikit-learn-caea7b15b858 (дата обращения: 15.02.2020).

8. Jones K. S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of documentation. – 1972.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА EMOTIV INSIGHT ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

В.В. Бестаева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа посвящена разработке системы управления роботом на базе нейроинтерфейса Emotiv Insight. Реализовано распознавание ментальных команд направления движения на основе SSVEP - устойчивого зрительно вызванного потенциала. Работа проводится в рамках разработки робота-гида.

Введение

Потребность в дистанционном взаимодействии, внедрение виртуальной реальности в повседневную жизнь и необходимость в использовании hands-free устройств обуславливают востребованность нейроинтерфейсов мозг-компьютер. Эти устройства основаны на методе электроэнцефалографии (ЭЭГ) - позволяют записать электрическую активность головного мозга и детектировать сигналы, которые ассоциируются с интенциями.

Цель этой работы - нейроуправление роботом с помощью нейроинтерфейса Emotiv Insight. Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Экспортировать ЭЭГ-данные через Bluetooth
2. Провести предобработку полученных данных, очистить от артефактов
3. Провести анализ подходов и выбрать подходящий для Emotiv Insight, учитывая ограничения
4. Спланировать эксперимент
5. Классифицировать ЭЭГ-активность
6. Осуществить передачу ментальной команды на робота

Предобработка данных

Методология данного исследования включает в себя использование бюджетного нейроинтерфейса Emotiv Insight с пятью активными каналами и двумя референсными датчиками (см рис.1).

Для улучшения проводимости в качестве контактной среды использовался электродный гель. Передача не обработанного сигнала происходит через Bluetooth в режиме реального времени. Сигнал оцифровывается и фильтруется полосовым фильтром на частоте 128Гц.

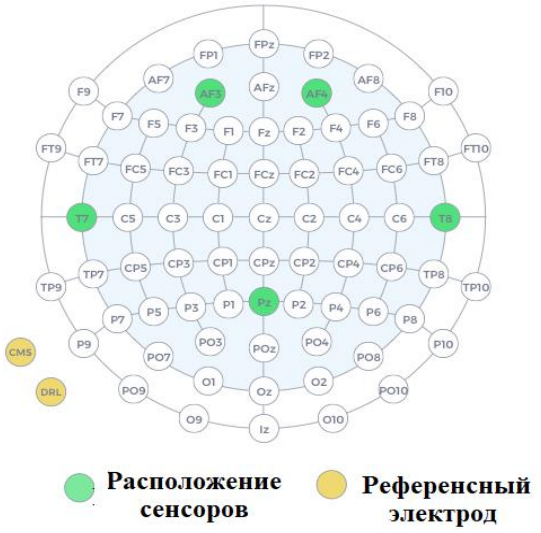


Рис.1. Расположение электродов

Предобработка ЭЭГ – данных осуществляется с помощью Python библиотек MNE. Она включала в себя фильтрацию сетевой наводки на частоте 50Гц, фильтрацию в диапазоне 0,1-30 Гц с использованием фильтра Баттерворта 4-го порядка. Поскольку канал Pz оказался зашумленным, его пришлось исключить из анализа электроэнцефалографических данных. Далее проведены поиск и удаление артефактов, связанных с движением глаз относительно электрода AF3 при помощи анализа независимых компонент (ICA). На рис.2 представлен график суммарной электрической активности головного мозга в состоянии покоя с 4-х каналов с глазодвигательными артефактами.

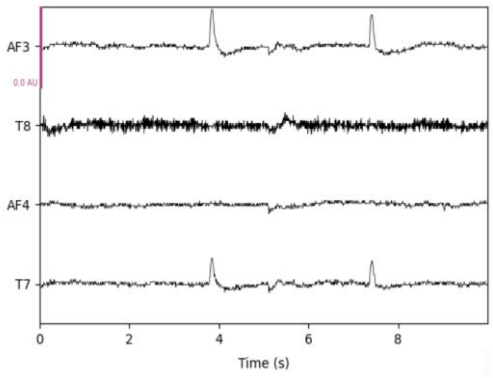


Рис.2. Электроэнцефалограмма четырех каналов

Обзор существующих подходов

Распознавание воображаемых движений руки, указывающих на направление движением робота, основано на классификации ЭЭГ-сигнала от двигательного намерения. Для этого, как правило, используется анализ ритмической активности, связанной с событием. Так, показано, что воображение движения ассоциировано с изменением спектральной мощности в мю и бета частотных диапазонах. Wolpaw и авторы работы [1] для нейроуправления курсором мыши в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно используют спектральный анализ мю- и бета-ритмов соответственно. Преимуществом этого способа является невысокое влияние артефактов на качество данных в силу того, что используется сигнал с высокой амплитудой осцилляций (8-12Гц для мю-ритма и 18-26Гц для беты ритма). Поэтому соотношение сигнала к шуму высокое [2]. Этот способ подразумевает считывание данных с сенсомоторной коры [2], но так как нейроинтерфейс Emotiv Insight не предусматривает наличие электродов, которые могли бы покрыть ее, метод воображения движения не подходит под цели этой работы.

Устойчивый визуально вызванный потенциал - активность головного мозга (SSVEP), вызванная возбуждением сетчатки вспышками частотой 3.5-75 Гц. Спектральная мощность электрической активности головного мозга оказывается кратна частоте мигания вспышек. Теменная и затылочная области наиболее чувствительны для обнаружения SSVEP [3], причем Emotiv Insight имеет T7 и T8 электроды, которые покрывают эти зоны. Также методика обеспечивает быструю тренировку, поскольку она является биоэлектрической реакцией головного мозга. Таким образом было решено использовать выделение SSVEP для классификации ЭЭГ сигнала.

Выделение SSVEP и классификация

Сначала проводится запись ЭЭГ в состоянии покоя с открытыми глазами в течении пяти минут. Пользователь смотрит на черный крест на белом экране. Затем ему предъявляются стимулы – мигающие группы светодиодов, соответствующие направлению сторон: вперед, назад, влево, вправо.

Для того, чтобы найти SSVEP рассчитывается критическое значение, то есть значение, при котором подтверждается нулевая гипотеза H0 для спектрального F-теста (SFT) [4]. Этот тест согласно критериям параметрической статистики сравнивает данные, полученные в состоянии покоя и спектральную мощность сигнала при предъявлении стимулов.

Так предиктором направления движения является спектральная мощность с частотой, большей критического значения.

Для распознавания паттернов ЭЭГ использовался классический метод машинного обучения, который хорошо себя зарекомендовал в работе с SSVEP - дерево решений [5].

Передача ментальной команды

Отправка данных нейроинтерфейсом Emotiv Insight осуществляется через Bluetooth на плату Raspberry Pi на ОС Linux. На плате происходит чтение, декодирование и предобработка ЭЭГ-сигналов, выделение SSVEP и классификация. Затем команда отправляется на сервер на Heroku, написанный на Python фреймворке Flask, откуда происходит переадресация на робота.

Обсуждение

Важнейшим ограничением данного исследования является тот факт, что электроды low-cost нейроинтерфейсов не покрывают всю поверхность головы и обладают существенно меньшей точностью, нежели электроэнцефалографы. В силу этих допущений пользователь во время записи электроэнцефалограммы регулярно наносить электродный гель на датчики или поверхность кожи. Одним из факторов, снижающих точность распознавания ментальных команд является отсутствие электродов, которые могли бы считывать суммарную активность нейронов моторной коры. Также планируется ввести изменение скорости робота на основании оценки внимания.

Вывод

Бюджетные нейроинтерфейсы могут быть использованы для такой задачи, как нейроуправление роботом. В ходе работы над проектом была разработана система управления роботом через нейроинтерфейс на базе SSVEP.

Список литературы:

1. Wolpaw J. R., McFarland D. J. Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans //Proceedings of the national academy of sciences. – 2004. – Т. 101. – №. 51. – С. 17849-17854.
2. Wang Y. et al. Implementation of a brain-computer interface based on three states of motor imagery //2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – IEEE, 2007. – С. 5059-5062.
3. Bin G. et al. An online multi-channel SSVEP-based brain–computer interface using a canonical correlation analysis method //Journal of neural engineering. – 2009. – Т. 6. – №. 4. – С. 046002.
4. Sá A. M. F. L. et al. Spectral F-Test power evaluation in the EEG during intermittent photic stimulaton //Arquivos de neuro-psiquiatria. – 2006. – Т. 64. – №. 2A. – С. 228-232.
5. Müller S. M. T., Bastos-Filho T. F., Sarcinelli-Filho M. Incremental SSVEP analysis for BCI implementation //2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology. – IEEE, 2010. – С. 3333-3336.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ROBOT OPERATING SYSTEM ДЛЯ ОРИЕНТИРОВАНИЯ РОБОТА В ЗАКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Д.В. Костиков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе присутствуют основные методы и их описания, которые позволяют реализовать ориентирование робота в закрытом пространстве, используя robot operating system (ROS) и лидар. Данная работа выполнена в рамках проекта по созданию интеллектуального робота-гида.

Введение

ROS – это операционная система для управления роботизированными системами. Он позволяет намного проще решать множество задач (работа с манипуляторами, датчиками, моторами и т. д. и т. п.), так как создаёт единую экосистему, благодаря которой, робот становится единым целым, а не набором компонентов. Одна из таких задач, это ориентирование в пространстве. В ROS уже интегрированно множество средств для решения этой проблемы.

Решение задачи ориентирования, используя ROS, можно разбить на несколько пунктов: создание карты, локализация, глобальное и локальное планирование.

Создание карты

Первое что нужно для ориентирования робота в закрытом пространстве это карта. Основные инструменты для решения этой проблемы с помощью ROS – это gmapping и map server. Gmapping используется для создания карты, а map_server для сохранение и последующие загрузки этой карты. Gmaping [1] – это пакет для ROS, который использует данные с лидара и одометрию робота, для построения карты. Эта цель достигается фильтрацией частиц Рао — Блэквелла. Данная модель строит карту, для каждой отдельной частицы и главная задача данной фильтрации, это уменьшение количества этих самых частиц. Для этого используются методы машинного обучения. Пакет map_server [2] позволяет сохранить карту. Карта сохраняется в два файла, один формата изображения, а другой формата yaml. Изображение хранит в себе информацию занятых, не занятых и неизведанных точках (чёрные, белые и серые пиксели соответственно).



Рис.1. Пример карты построенной с помощью gmapping.

Файл формата yaml содержит информацию о разрешении файла с изображением, пути к нему (может быть локальным, а может быть глобальным), координату нижнего левого пикселя, коэффициент вероятности занятости пиксели ниже которого он считается полностью свободным, и последний пункт, нужно ли переводить карту в негатив. После сохранения мы сможем загрузить эту карту и любую другую (такого же формата) с помощью этого же пакета, предоставив в виде аргумента путь к yaml файлу этой карты.

Локализация

Для локализации с помощью ROS используется пакет amcl [3], что расшифровывается как адаптивная локализация методом Монте-Карло. На рис. 2 видно множество стрелок, эти стрелки – это возможное положения робота, далее алгоритм, пытается определить какая из этих стрелок это реальное расположение робота. Как раз для этого используется локализация методом Монте-Карло.

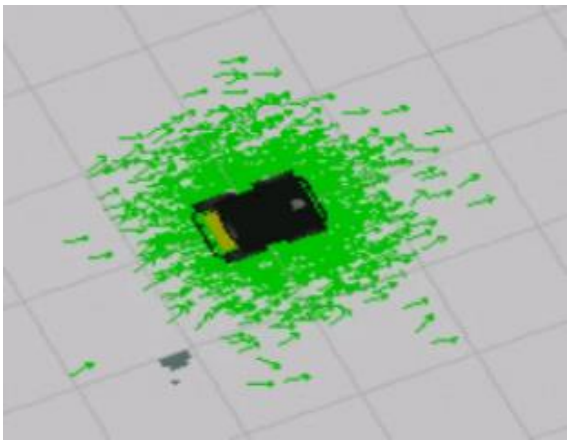


Рис.2. Визуализация локализации робота.

Каждая из этих стрелок, это предсказание будущей позиции робота. Отсеивает не нужные стрелки он с помощью данных полученных от лидара, данных одометрии робота и метода Монте-Карло, так как имея карту и всё вышеперечисленное, мы можем сказать с какой вероятностью стрелка предсказала правильное перемещение. Качество локализации сильно зависит от подаваемых данных, поэтому очень важно озаботиться вопросом одометрии и хорошего лидара. Пакет amcl имеет два главных режима, это глобальная и не глобальная локализация. При режиме глобальной локализации алгоритм сам раскидывает эти стрелки по случайным местам карты, и далее идёт та же схема с отсеиваем неподходящих. В другом режиме, который как раз показан на рисунке 2 (не глобальная локализация) мы указываем предполагаемое место робота и алгоритм изначально ставит в это место большое количество стрелок. Первый вариант удобен, так как при использовании робота без интерфейса (или в месте, где мы не можем по каким-либо причинам знать его точное местоположение), мы не должны устанавливать ему никаких координат, мы просто можем впустить робота в помещение и заставить немного покататься, далее он сам определит, где находиться при

достаточном наборе данных. Но второй способ работает в целом быстрее, так как алгоритм получает наводку о местоположении робота.

Глобальное и локальное планирование.

Теперь, когда робот имеет на своём борту карту и чётко понимает, где находиться, он готов двигаться. В этом нам поможет пакет move base [4]. Данный пакет принимает карту, положение робота (которые мы получили благодаря локализации), его одометрию и конечную цель. Таким образом строиться маршрут. Вот тут и начинается разделение на локальное и глобальное планирование. Глобальный маршрут строиться сразу после подачи конечной цели, но в итоге корректировать его будет локальный маршрут (опираясь на показания лидара).

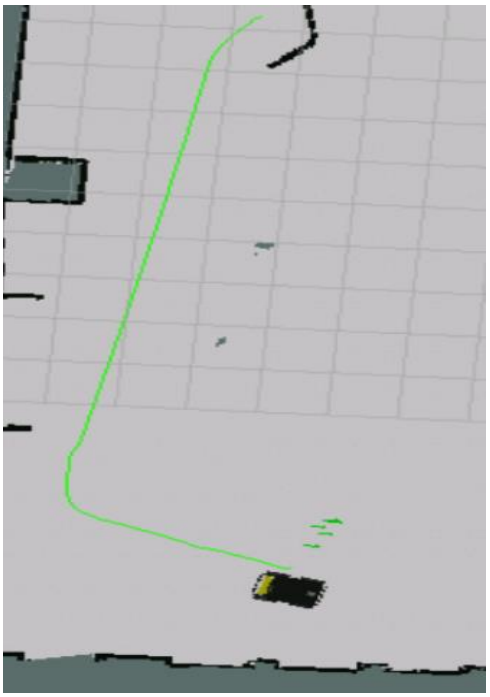


Рис.3. Путь, который проложил себе робот с учётом его динамики

Глобальное планирование использует несколько основным методов постройки маршрута. Самый обычный и чаще всего используемый это Navfn [5]. Данный метод использует алгоритм Дейкстры, который используя метод графов может помочь найти кратчайший путь до точки. Другой используемый алгоритм это carrot planner [6]. Его преимущество, это то, что цель может быть установлена в препятствии. Но данный алгоритм работает довольно плохо в сложных помещения. В итоге при выборе глобального планировщика лучше использовать Navfn, но при специфических задачах, где нужно следовать за объектом или максимально приблизиться к нему, придётся использовать carrot planner. Локальных планировщиков тоже бывает несколько. Самый базовый – это base local planner [7], он использует подход с динамическим окном и trajectory rollout. Основой принцип их работы — это создания множества возможных траекторий и дальнейшего просчёта результата при их выполнении. Далее происходит выбор траектории которая наиболее близка к глобальной и при этом не приведёт к столкновению. Но лучше всё-таки использовать dwa local planner. Фактически это тот же самый base local planner, но с одним важным отличием, он переписан так, что код намного более читаем, и если вы захотите внести правки в алгоритм, то вам намного легче будет это сделать и из-за этого плюса это алгоритм используется в большинстве случаев. Ещё есть eband local planner и teb local planner.

Заключение

ROS предоставляет очень серьёзный набор хорошо конфигурируемых элементов для создания автономного робота способного избегать препятствий и добираться до точек на карте. В ходе работы был написан код для рабочей системы автономного управления интеллектуального робота-помощника.

Список литературы:

1. Описание пакета gmapping [Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/gmapping
2. Описание пакета map_server[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/map_server
3. Описание пакета amcl[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/amcl
4. Описание пакета move_base[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/move_base
5. Описание пакета Navfn[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/navfn
6. Описание пакета carrot_planner[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/carrot_planner
7. Описание пакета base_local_planner[Электронный ресурс],URL: http://wiki.ros.org/base_local_planner

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ОДИНОЧНОГО КОМПЛЕКТА ЗИП ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ

С.Ю. Татунов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В статье рассматривается применение методики оптимизации единого комплекта запчастей по критерию надежности на примере серверного оборудования.

Введение

В современной теории надежности радиоэлектронных средств активно используются комплекты ЗИП, но большинство применяемых методов ориентированы на повышение показателей технического обслуживания и как следствия при решении задачи оптимизации ЗИП используют показатели достаточности. Однако наиболее частой причиной использования комплектов ЗИП является повышение показателей надежности (далее – ПН) системы согласно требованиям технического задания. Если ТЗ не подразумевает требований к достаточности ЗИП, то как подобрать комплект запасных частей, который бы повысил ПН до требуемого уровня? Для решения подобной задачи ГОСТ 27.507-2015 [1] предлагает производить оптимизацию ЗИП по показателям надежности – вероятности безотказной работы и наработки на отказ.

Описание методики

При оценке алгоритмов расчета оптимального ЗИП всегда можно выделить общие пункты [2-3]:

1) Определение начальных данных
2) Расчет базового комплекта
3) Пошаговая оптимизация
4) Расчет итоговых затрат

Таблица 1. Формуляр

i_0	k_{i0}	λ_{i0}	c_{i0}	α_{i0}	T_{i0}	β_{i0}	L_{i0}	A_{i0}	$R_{io}(A_i,$	$R_{io}(A_i,$ $+1)$	Δ_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	k_1	λ_1	c_1	α_1	T_1	β_1	L_1	A_1			
…	…	…	…	…	…	…	…	…			
N	k_N	λ_N	c_N	α_N	T_N	β_N	L_N	A_N			

Методика предложенная в ГОСТе для оптимизации ЗИП-О по показателям надежности также следует этому шаблону (рис. 1) [1]:

1. Формируются исходные данные для таблицы формуляров (таблица 1) – заполняются первые семь граф.

2. Задается требуемое значение показателя надежности (p^0, K_r^0, K_{or}^0) [4] и вычисляют:

$$D = R^0 = -lnP_i^0 \quad (1)$$
$$D = R^0 = -lnK_{ri}^0 \quad (2)$$
$$D = R^0 = -lnK_{ori}^0 \quad (3)$$

3. Вычисляется норма расхода - $A_i = n_i\lambda_i T_i$ и записывают в графу 9

4. Для каждого i вычисляется промежуточный показатель $R_{io}(A_i, L_i)$ и записывают в графу 10

5. Для каждого i вычисляется промежуточный показатель с увеличенным запасом $R_{io}(A_i, L_i + 1)$ и записывают в графу 11

6. Вычисляется приращение ПН к стоимости - Δ_i и записывают в графу 12:

$$\Delta_i = \big(R_{io}(A_i L_i) - R_{io}(A_i, L_i + 1)\big)/C_i \quad (4)$$

7. Выбирается строка с наибольшим приращением ПН к стоимости - i^*.

8. В строке с номером i^* запас увеличивается на единицу (графа 8), в графу 10 ставится число из графы 11, а для граф 11 и 12 повторяются действие 5 и 6

9. Вычисляется сумма промежуточных значений (графа 10) для шага оптимизации l:

$$R^l = R^{l-1} - C_i\Delta_{i^*}^{l-1} \quad (5)$$

10. Если условие $R^l \le D$ не выполняется, необходимо вернуться к пункту 7. Если условие выполняется, то требование к ПН выполнено и получен оптимальный комплект запаса.

11. На полученный комплект вычисляются суммарные затраты:

$$C_{\sum ЗИП} = \sum_{i=1}^{N} C_i L_i \quad (6)$$

Решение типовой задачи

Одна из наиболее актуальных задач с которой сталкивается каждая компания, которая имеет/строит свою ИТ инфраструктуру – подбор оборудования серверов. Большинство компаний поставщиков подобного оборудования гарантируют работу поставляемых средств в течении гарантийного срока, а также ремонт и обслуживание в случае отказа. Однако, если техническое задание требует вероятность безотказной работы одной серверной стойки в 0,9999, то может быть проблематично найти компанию, которая сможет предоставить оборудование, которое подойдет по данному критерию. В таком случае, недостаток в показателях надежности предоставляемого оборудования можно компенсировать комплектом ЗИП, в частности одиночным комплектом, под каждую стойку.

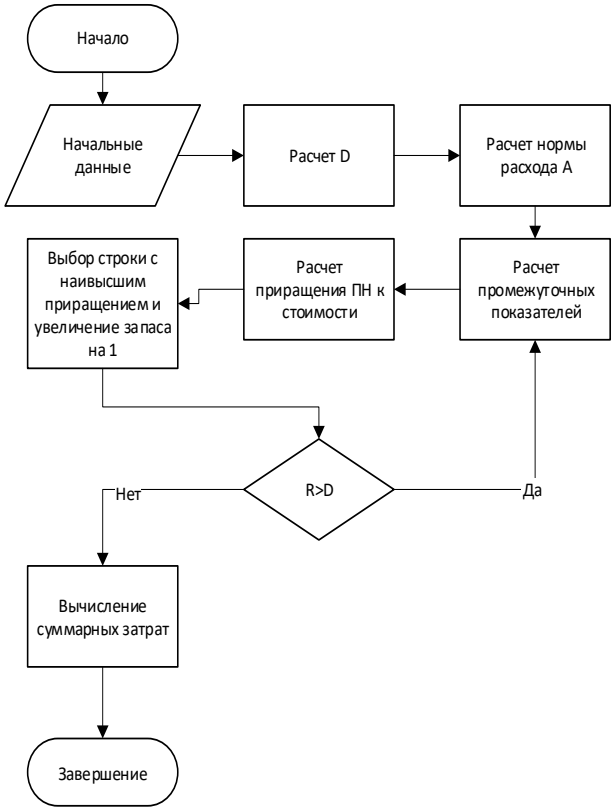


Рис.1. Алгоритм расчета оптимального ЗИП-О по показателю надежности

Предположим, некая компания предоставляет нам серверную стойку, состоящую из материнских плат, процессоров, оперативной памяти, блоков питания, твердотельных накопителей, сетевых карт и вентиляторов. Базовый комплект стойки не позволяет удовлетворить заданное требование в вероятность безотказной работы в 0,9999 и решено собрать комплект ЗИП. Оценивается две стратегии пополнения:

1) Периодическая с периодом пополнения в 5 лет (срок службы серверов)

2) Непрерывная со средним временем доставки в 2 месяца (однако данный показатель можно изменить, чтобы снизить стоимость)

Применяя описанную ранее методологию, заполним формуляр (таблица 2).

Повторяя пункты 4-9 получаются шаги оптимизации пока условие в пункте 9 не выполнится. Количество шагов оптимизации может быть значительным, поэтому стоит автоматизировать данный процесс, особенно если по его итогу может появиться необходимость внести правки во входные данные (изменить комплектующие). Итоговое количество шагов оптимизации для периодической стратегии – 55, а для непрерывной – 15. Количество шагов оптимизации в данном случае равно суммарному количеству запасных частей.

Таблица 2. Входные данные серверной стойки (в скобках указаны значения для непрерывной стратегии пополнения)

Наименование	i_0	k_{i0}	$\lambda_{i0} * 10^6$, 1/ч	c_{i0}, руб	α_{i0}	T_{i0}
	1	2	3	4	5	6
Материнская плата	1	3	9,20827	15000	1 (3)	43800 (1460)
Процессор	2	3	2,23577	30000	1 (3)	43800 (1460)
Память DDR4	3	12	0,32343	15000	1 (3)	43800 (1460)
Блок питания	4	3	10	10000	1 (3)	43800 (1460)
Твердотельный накопитель	5	9	0,53136	35000	1 (3)	43800 (1460)
Сетевая карта	6	3	8,30427	12000	1 (3)	43800 (1460)
Вентилятор	7	12	19,0258	900	1 (3)	43800 (1460)

Далее определяем искомый показатель надежности и норму расхода (таблица 3):

$$D = R^0 = -lnP_i^0 = 0{,}0001000050003 \quad (7)$$

Таблица 3. Норма расхода

Наименование	i_0	A_{i0}
	1	9
Материнская плата	1	1,209966 (0,0403322)
Процессор	2	0,293780 (0,0097926)
Память DDR4	3	0,169994 (0,0056664)
Блок питания	4	1,314 (0,0438)
Твердотельный накопитель	5	0,209462 (0,0069820)
Сетевая карта	6	1,091181 (0,0363727)
Вентилятор	7	9,999960 (0,3333320)

Таблица 4. Запас

Наименование	i_0	L_{i0}
	1	8
Материнская плата	1	7 (2)
Процессор	2	4 (2)
Память DDR4	3	3 (1)
Блок питания	4	7 (2)
Твердотельный накопитель	5	3 (1)
Сетевая карта	6	6 (2)
Вентилятор	7	25 (5)
Сумма		55 (15)

Итоговая сумма затрат на комплект ЗИП-О для одной стойки при периодической стратегии пополнения:

$$C_{\sum ЗИП} = \sum_{i=1}^{N} C_i L_i = 539500 \text{рублей} \quad (8)$$

И аналогично, сумма затрат при непрерывной стратегии пополнения:

$$C_{\sum ЗИП} = \sum_{i=1}^{N} C_i L_i = 188500 \text{рублей} \quad (9)$$

Несмотря на то, что обе стратегии позволяют получить требуемое значение показателей надежности, необходимо учитывать, что в случае с периодическим пополнением в 5 лет, несмотря на повышенную стоимость, стойка обеспеченная запасом на весь период эксплуатации, в то время как при непрерывной стратегии, запас может иссякнуть до удовлетворения заявки на пополнения. Кроме того, если изменить значение среднего времени удовлетворения заявок (например, путем смены поставщика), можно попробовать снизить стоимость запаса (рис. 2).

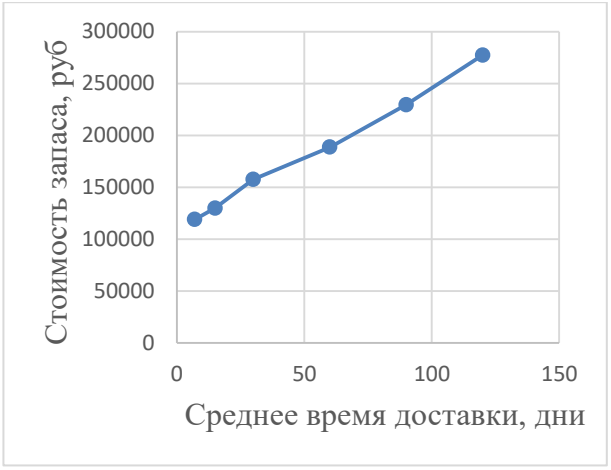


Рис.2. Зависимость стоимости запаса от среднего времени доставки при непрерывном методе пополнения

Как видно из графика, если найти поставщика с наименьшим временем доставки, можно стоимость комплекта ЗИП-О за счет снижения количества запасных частей для деталей с наибольшей частотой отказа.

Заключение

Несмотря на то, что методология оптимизации ЗИП по показателям достаточности существует множество примеров и литературы, применение данных показателей в случае, когда нужно повысить показатели надежности системы может быть затруднительно. Поэтому в ГОСТ и в наиболее современных пособиях по ЗИП была описана методология оптимизации по показателям надежности, но данной методологии не хватает примеров реального использования, для чего и была написана данная статья с расчетом оптимального ЗИП-О для серверной стойки. В дальнейшем, для применения данной методологии целесообразно разработать ПО для удобного ввода, анализа шагов оптимизации и получения итоговых характеристик запаса.

Список литературы:

1. ГОСТ РВ 27.3.03-2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
2. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП. – СПб: изд-во БХВ–Петербург, 2012.– 480 с.
3. Черкесов Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью. – М.: Сов. радио, 1974.–296 с.
4. Черкесов Г.Н. О критериях выбора комплектов зип. Надежность. 2013;(2):3-33.

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ПОМЕЩЕНИИ

А.В. Карманов, И.И. Нигметзянов, Д.М. Петин, И.Ю. Яценко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Рассматривается разработка клиентской части системы управления микроклиматом в помещении. Система состоит из приложений iOS и Android, веб-сервера для связи между мобильными приложениями и микроконтроллерами, целью которых является управление микроклиматом в помещении.

Введение

Системы умного дома становятся все более популярными в наши дни. На рынке существует огромное количество умных устройств в виде отдельных и интегрированных систем [1]. Многие из них не являются многофункциональными и удобными для пользователя. Часто они ограничиваются простыми мобильными приложениями с несколькими функциями. Кроме того, не все умные домашние устройства на рынке позволяют пользователям управлять ими удаленно. Они часто ограничиваются работой Bluetooth.

Наши приложения и сервисы для управления устройствами умного дома могут решить эти проблемы.

Оригинальность проекта заключается в уникальности созданной системы сценариев для управления устройствами умного дома. Отличительной особенностью является модульность системы. Приложения и микроконтроллер работают независимо друг от друга. Они подключаются через сервер с помощью разработанного API [2].

Приложения для iOS и Android, а также веб-приложение отражают данные, поступающие с устройств, в удобном виде. В отличие от многих приложений для управления умным домом [3], наше приложение имеет доступ к данным в режиме реального времени.

Архитектура системы

Основным компонентом системы является веб-сервер. Он обеспечивает взаимодействие клиентских приложений непосредственно с устройством, а также всех компонентов системы с базой данных через API [4].

Остальные части системы являются клиентскими приложениями. Приложения iOS и Android (см. “Мобильные приложения”) содержат общую информацию об управляемой системе и основные функции управления ей (см. “Система сценариев”)

Веб-приложение включает те же возможности, что и мобильное приложение, а также включает возможности для разработчиков системы: расширенные настройки системы, логи, аналитика работы системы.

Также в систему был интегрирован голосовой помощник Яндекс Алиса как клиентское приложение. Он позволяет использовать часть возможностей мобильных приложений, которые можно сформулировать в виде голосового запроса.

Общая архитектура, разработанной системы представлена на рис.1.

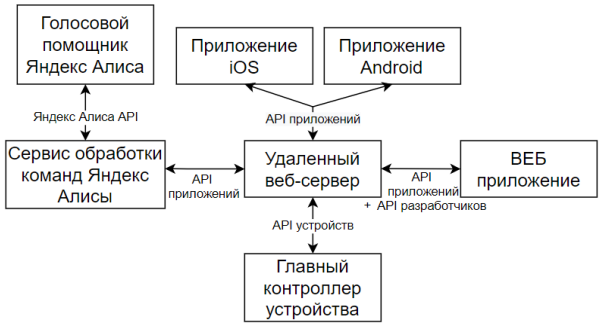


Рис.1. Архитектура системы

Система сценариев

Система сценариев была создана нами для упрощения управления устройством контроля климата в помещении. Она избавляет пользователя от необходимости вручную настраивать режим работы каждого устройства, поддерживающего климат. Вместо этого он задает желаемые параметры климата в помещении (температура, влажность, концентрация CO_2) для каждого помещения, каждого дня недели и любого времени суток. Алгоритмы системы управления климатом самостоятельно используют имеющиеся у них устройства для поддержки заданных параметров.

Для создания системы сценариев используется алгоритм представленный на рис.2

Алгоритм состоит из трех основных этапов:

- выбор комнат, которых будут применены настройки
- выбор дней недели, по которым будут действовать настройки
- непосредственно выбор временных настроек

В результате должен получиться сценарий, где для каждой комнаты, в каждый день недели, в каждый момент времени действует определенная настройка.

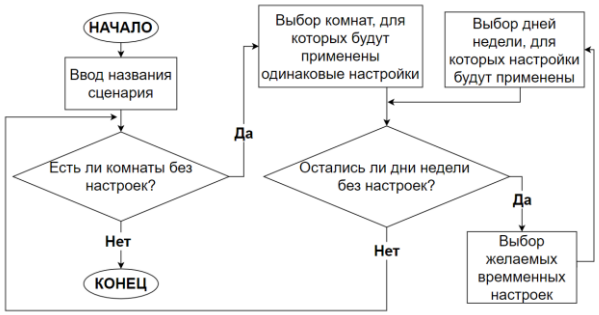


Рис.2. Алгоритм создания сценария

Веб-сервер

Веб-сервер разработан для взаимодействия между клиентскими приложениями и устройством умного дома. Программное обеспечение веб-сервера написано на микрофреймворке Flask [5]. В качестве СУБД выбрана mySQL [6].

Для взаимодействия разработано API для http запросов. API можно разделить на 3 группы:

- API приложений. Позволяет запрашивать клиентским приложениям текущие показатели датчиков, статистику, создавать и изменять сценарии и базовые настройки
- API устройств. Позволяет устройствам запрашивать данные по сценариям, отправлять показатели датчиков, синхронизировать время и некоторые другие сервисные возможности
- API разработчиков. Позволяет разработчикам систе-

мы все данные из БД, логи, аналитические данные и проводить расширенные настройки системы.

На рис. 3 представлена структура базы данных.

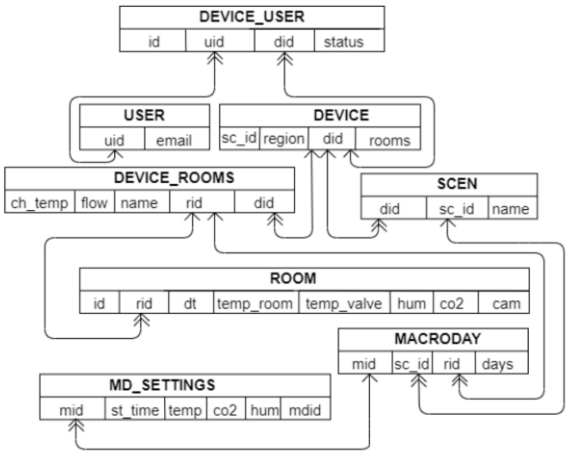


Рис. 3. Структура базы данных

Таблица *User* отвечает за хранение данных пользователей.

Таблица Device отвечает за хранение данных устройств. *Device_User* связывает пользователя с одним устройством. *Device_Rooms* представляют комнаты для одного устройства. Таблица *Room* хранит показатели датчиков с устройства для одной комнаты.

Таблицы Scen, Macroday и *Md_Settings* хранят настройки сценария. *Scen* - основная информация по сценарию, *Macroday* - связь комнат и настроенных дней, *Md_Settings* - непосредственно настройки сценария.

Мобильные приложения

Были разработаны приложения на платформах Android и iOS для управления системами умного дома. Приложения являются основным способом взаимодействия пользователя и устройства.

Мобильные приложения взаимодействуют с управляемым устройством через удаленный сервер при помощи API.

A. Авторизация

Чтобы идентифицировать пользователя, в приложение была добавлена функция авторизации Google [7],[8],[9],[10]. При регистрации пользователя приложение получает уникальный токен, который будет использоваться для всех последующих запросов к серверу. После первой авторизации учетная запись пользователя будет сохранена, и при следующем запуске приложения автоматически откроется главное окно.

B. Главное окно

На главном экране отображаются все комнаты, к которым подключено устройство умного дома. Для каждой комнаты отображается ее название, температура, влажность, содержание CO_2 в воздухе и количество людей в ней.

C. Окно подробных данных о комнате

Окно данных комнаты показывает более подробную информацию, чем главное окно (рис. 4). В дополнение к информации в главном окне к окну выбранного помещения добавляются данные о заданном пользователем режиме работы устройства. Также пользователи могут выбрать режим проветривания комнаты и изменить температу.

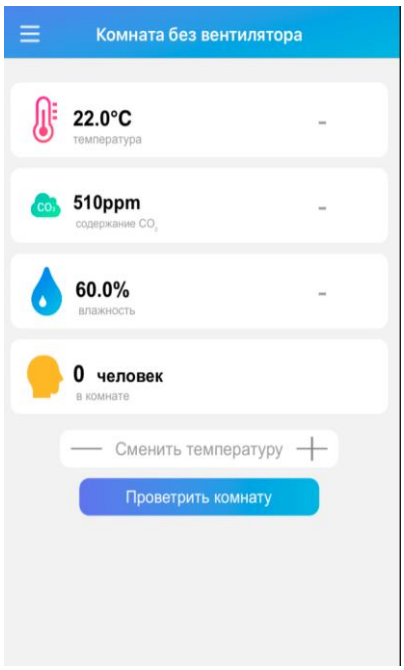


Рис.4. Окно подробных данных о комнате

D. Боковое меню

Боковое меню [11] можно открыть в главном окне и окнах данных о комнатах, нажав на кнопку в левой верхней части экрана. В заголовке меню отображена почта пользователя и кнопка выхода, которая возвращает пользователя в меню авторизации. Тело меню состоит из кнопок, которые открывают другие окна приложения.

E. Окно выбора сценариев

Все созданные сценарии загружаются с сервера и отображаются в специальных ячейках. Эти ячейки состоят из названий сценария и кнопок. Нажав на эти кнопки, пользователь может выбрать, в каком режиме будет работать микроконтроллер. В правой верхней части экрана есть кнопка, которая открывает систему для создания новых сценариев.

F. Система создания новых сценариев

Система создания новых сценариев состоит из четырех окон. Первое окно предназначено для присвоения имени сценарию.

Второе окно необходимо для выбора комнат, к которым будет применен сценарий. Также это окно имеет отдельный интерфейс, где отображаются все комнаты. Комнаты могут быть сгруппированы по желанию пользователя.

Третье окно открывается, когда клиент нажимает на ячейку с названиями комнат. Это окно имеет тот же функционал, но вместо комнат пользователь выбирает дни недели.

Следующее окно позволяет клиентам установить настройки для выбранных дней и выбранных комнат (рис. 5). Пользователи могут выбрать время, влажность, температуру и количество CO_2. Также пользователь может выбрать бесшумный режим работы устройства или режим работы, когда нет дома. Кроме того, клиент может выбрать устройства, которые будут использоваться при работе микроконтроллера.

Пользователи могут переключаться между всеми окнами и выходить из создания нового сценария в главное окно или окно со всеми сценариями.

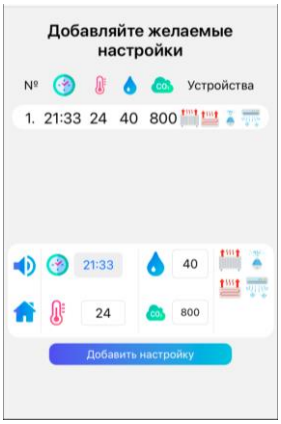


Рис.5. Окно установки настроек

Веб-приложение

Веб-приложение является полным аналогом мобильных приложений с точки зрения разработанных возможностей, а также она использует то же API, что и мобильные приложения. Его важным преимуществом доступность из любого браузера, с любого устройства. Например, создание сценария может быть удобнее сделать с экрана компьютера.

Ключевым отличием веб-приложения от мобильного приложения является наличие панели для разработчиков. Панель дает доступ к таким возможностям как логи запросов, аналитика (отклонения в работе устройств) и продвинутые настройки системы.

Голосовой помощник Яндекс Алиса

Голосовой помощник Яндекс Алиса был интегрирован как клиентское приложение. Для взаимодействия с голосовым помощником был разработан сервис обработки голосовых команд. Он получает команду через API Яндексах [12], в зависимости от команды делает нужный http запрос на сервер и формирует текст ответа для голосового помощника.

Реализованные команды позволяют выполнять быстрое проветривание помещения, изменить сценарную температуру и некоторые другие возможности.

Заключение

В ходе работ была разработана клиентская система внутреннего климат-контроля. Были достигнуты следующие цели:

- разработано мобильное приложение на Android;
- разработано мобильное приложение для iOS;
- разработанное веб-приложение;
- разработанный веб-сервер;
- разработаны проприетарные интерфейсы прикладного программирования (API) для взаимодействия клиент-сервер и сервер-управляемое устройство;
- разработана собственная система управления устройствами в виде сценариев и алгоритмов их создания;
- Яндекс Алиса голосовой помощник был интегрирован как клиентское приложение;

В результате мы разработали уникальную клиентскую систему управления умными домашними устройствами. В будущем система может быть улучшена путем добавления новых функций (например, google home, apple homekit) или интегрирована в другие системы умного дома.

Список литературы:

1. M. Hasan, M. H. Anik, and S. Islam, “Microcontroller Based Smart Home System with Enhanced Appliance Switching Capacity,” ITT 2018 - Inf. Technol. Trends Emerg. Technol. Artif. Intell., pp. 364–367, 2019, doi: 10.1109/CTIT.2018.8649518.

2. Masse M., REST API Design Rulebook: O’Reilly Media, 2012 – C. 2-10

3. S. Kumar and S. R. Lee, “Android based smart home system with control via Bluetooth and internet connectivity,” 2014, doi: 10.1109/ISCE.2014.6884302.

4. YAN Wenbo, WANG Quanyu, GAO Zhenwei “Smart Home Implementation Based on Internet and WiFi Technology.” 2015

5. Grienberg M., Flask Web Development: O’Reilly Media, 2018

6. Sotirios Kontogiannis , Christodoulos Asiminidis , George Kokkonis, “Comparing Relational and NoSQL Databases for carrying IoT data.”, 2019, The Journal of Scientific and Engineering Research

7. T. Hang, L. Thao, L. Hieu, N. Khoe, T. Thuong, and V. Uyen, “GOOGLE SIGN-IN FOR IOS,” vol. 2, no. 16, pp. 23–25, 2017.

8. Q. Ye, G. Bai, K. Wang, and J. S. Dong, “Formal Analysis of a Single Sign-On Protocol Implementation for Android,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems, ICECCS, Jan. 2016, vol. 2016-January, pp. 90–99, doi: 10.1109/ICECCS.2015.20.

9. S. Holla and M. M. Katti, “Android based mobile application development and its security,” Int. J. Comput. Trends Technol., vol. 3, no. 3, p. 5, 2012, doi: 10.1080/10304312.2012.706462.

10. S. Kumar, “Ubiquitous Smart Home System Using Android Application,” Int. J. Comput. Networks Commun., vol. 6, no. 1, pp. 33–43, Feb. 2014, doi: 10.5121/ijcnc.2014.6103

11. I. C. Morgado and A. C. R. Paiva, “Test patterns for android mobile applications,” in ACM International Conference Proceeding Series, Jul. 2015, vol. 08-12-July-2015, pp. 1–7, doi: 10.1145/2855321.2855354.

12. Alice Voice Assistant API (Yandex) - Навыки Алисы.(https://yandex.ru/dev/dialogs/alice/doc/about.html)

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА AGILENT 4263B

К.О. Калинин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе представлена разработка программно-аппаратного комплекса для измерения определенных характеристик пассивных изделий электронной компонентной базы в программной среде «NI LabVIEW 2018». Контрольно-измерительной аппаратурой является прибор AGILENT 4263B. Результатом работы является программно-аппаратный комплекс, адаптированный для многофункционального использования в лаборатории аттестаций элементов электронной компонентной базы. Данный комплекс показал высокую скорость измерения параметров и передачи информации на ПК.

Введение

Современная экономика производства и тестирования изделий электронной компонентной базы требует применения новых технологий, и испытательные лаборатории не являются исключением из данной области промышленных производств. Производимые изделия электронной компо-

нентной базы для нужд Министерства Обороны и Роскосмоса являются технически сложными устройствами, требующими строгого контроля на всех этапах производства. В попытках решить поставленную задачу, предприятие увеличивает количество нанятых сотрудников и повторяет их обязанности, что незамедлительно ведет к увеличению затрат на заработные платы. Современные измерительные приборы помогают автоматизировать процесс проверки и уменьшить затрачиваемое сотрудником время на проведение испытаний.

Анализ ситуации на рынке труда различных промышленных предприятий показал, что огромный процент закупленного современного оборудования, используется не в полном объеме. Очевидно, проблема состоит в невысокой степени обученности персонала и отсутствием в штате предприятий специалистов в области автоматизации процессов.

Учитывая вышеперечисленные факторы, становится очевидно, что использование средств автоматизации позволяет значительно увеличить объемы испытаний, за счет сокращения времени, затраченного пользователем на проведения измерений для каждого элемента ЭКБ.

Таким образом, разработка программно-аппаратного комплекса для проверки основных параметров пассивных изделий электронной компонентной базы является актуальной задачей.

Раздел I.

Краткий обзор используемого оборудования

Проверка основных параметров пассивных изделий электронной компонентной базы производится с помощью измерителя LCR Agilent Technologies 4263B.

В ходе подготовительного этапа выполнения выпускной квалификационной работы были изучены способы взаимодействия программы LabVIEW с измерительным прибором через интерфейсы GPIB и VISA.

VISA (Virtual Instrument Software Architecture) — довольно часто используемый стандартный интерфейс для ввода-вывода информации в области тестирования и измерений. Данный интерфейс используется для управления приборами с персонального компьютера сотрудника [1].

GPIB (General Purpose Interface Bus) — стандарт, который описывает перечень команд, посылаемых измерительному виртуальному прибору, а также формат и кодировку ответов прибора на посылаемые запросы [2].

Измеритель LCR Agilent Technologies 4263B является экономически выгодным и уникальным измерителем LCR, созданным специально для производственных испытаний и для оценки параметров пассивных компонентов электронной компонентной базы.

Измерительный прибор помогает проводить измерения характеристик элементов с большой скоростью. AGILENT 4263B оптимизирован для использования в ситуациях, требующих точности и гибкости. Прибор имеет возможность проводить испытания от измерений импеданса общего назначения до измерения параметров трансформаторов, катушек и электролитических конденсаторов.

В ходе разработки программно-аппаратного комплекса была предложена схема, расположенная на рисунке 1.



Рис.1. Схема программно-аппаратного комплекса

Раздел II.

Программная часть

Разработка программы для программно-аппаратного комплекса проводилась в программной оболочке «NI LabVIEW 2018».

LabVIEW (производитель National Instruments) является средой разработки и платформой для выполнения различных программ адаптированных и упрощенных для работы с разнообразными интерфейсами [3].

Программа выстроена на основе цикла, в котором расположена структура, которая определяет по событию, какую из подпрограмм вызывать. Упрощенная блок-схема приведена ниже на рисунке 2.

Для упрощения работы с программно-аппаратным комплексом был разработан интуитивно понятный для пользователя интерфейс, который имитирует панель управления прибором (Рисунок 3). На лицевой панели размещены различные элементы управления и отображения.



Рис.2. Упрощенная блок-схема программы

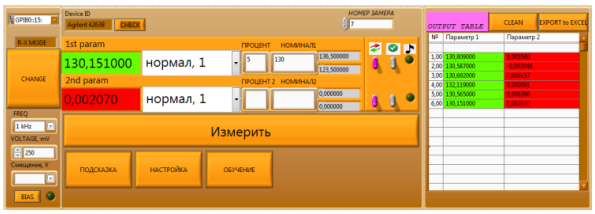


Рис.3. Панель управления прибором

Раздел III.
Результаты работы

Разработанный программно-аппаратный комплекс предназначен для проверки соответствия параметров изделий электронной компонентной базы требованиям технических условий конкретного изделия.

В основе стенда используется измеритель RLC AGILENT 4263B, который управляется программой через протоколы VISA и GPIB. Данный программно-аппаратный комплекс адаптирован под AGILENT 4263B и может быть перенастроен под другой измерительный прибор.

На данный момент, разработанный программно-аппаратный комплекс используется в испытательной лаборатории «АКНИИПО» в ходе проведения типовых испытаний электронной компонентной базы.

На практике было зафиксировано время, затрачиваемое на один цикл испытаний партии резисторов, состоящей из 100 штук в рамках технических условий. Все испытания проводились согласно методам ГОСТ 21342.0-75 [4], ГОСТ 21342.13 [5], ГОСТ 21342.15 [6], ГОСТ 21342.17 [7], ГОСТ 21342.18 [8].

Было проведено два эксперимента. В одном все измерения производились вручную, что составило 25 минут, с учетом выгрузки отчета. В другом эксперименте был использован разработанный программно-аппаратный комплекс, и время испытаний заняло 5 минут, что в 5 раз меньше времени по сравнению с ручными измерениями, которые проводились в первом эксперименте.

Заключение

При создании программно-аппаратного комплекса были проанализированы требования, выставленные испытательной лабораторией, оценены ошибки и недочеты предыдущих измерительных систем. Было проведено тестирование данного программно-аппаратного комплекса, а также сформирован перечень отчетов о проделанной работе. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволил повысить работоспособность лаборатории, сократить временные и финансовые затраты.

Список литературы:

1. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/VISA_(программная_архитектура) (дата обращения: 15.02.2021).
2. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE-488 (дата обращения: 10.02.2021).
3. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW (дата обращения: 09.02.2021).
4. ГОСТ 21342.0-75 Резисторы. Общие требования при измерении электрических параметров. URL: https://docinfo.ru/gost/gost-21342-0-75/ (дата обращения: 08.02.2021).
5. ГОСТ 21342.13-78. Резисторы. Метод измерения сопротивления изоляции. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/15241/ (дата обращения: 08.02.2021).
6. ГОСТ 21342.15-78. Резисторы. Метод определения температурной зависимости сопротивления. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/15166/ (дата обращения: 08.02.2021).
7. ГОСТ 21342.17-78. Резисторы. Метод определения изменения сопротивления от изменения напряжения. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/40237/ (дата обращения: 08.02.2021).
8. ГОСТ 21342.18-78. Резисторы. Метод проверки электрической прочности изоляции. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/32424/ (дата обращения: 08.02.2021).

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Р.Д. Головин, В.В. Зунин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проводится обзор различных способов реализации нейронной сети для распознавания изображения на примере набора данных MNIST. Дается анализ используемых библиотек и методов их применения в области распознавания объектов.

Введение

В настоящее время в связи с накоплением больших объемов информации (Big Data) вновь приобрели популярность нейронные сети. Нейронные сети – это математическая модель совокупности биологических нейронов, которая часто используется в задачах распознавания образов и кластеризации. В связи с этой растущей популярностью возникло множество различных реализаций нейронных сетей, как на разных языках программирования (ЯП), так и в пределах одного ЯП с помощью использования различных библиотек. Кроме того, существует множество разновидностей самих нейросетей с точки зрения структуры [1].

Можно предположить, что решения для разработки нейронных сетей будут иметь различия в производительности при работе с различными задачами. Поэтому важной задачей является выбор лучшего языка программирования и библиотеки для разработки нейронной сети в выбранной области – распознавание образов.

Таким образом, в данной работе предлагаются результаты анализа реализаций нейронной сети при решении задач распознавания образов с использованием трех различных библиотек ЯП Python: Scikit-learn, Keras и PyTorch. Выбор языка Python основан на его частом использовании для работы с нейронными сетями по сравнению с другими ЯП, а выбранные для анализа библиотеки разработки нейронных сетей являются наиболее популярными для этого языка. Для анализа производительности библиотек разработки нейронных сетей для распознавания объектов используется трехслойный перцептрон [2], кроме того, сравнение было проведено с использованием одного и того же набора данных MNIST [3], содержащего рукописные цифры, которые требуется распознать.

Scikit-learn

Scikit-learn [4] (или Sklearn) – это одна из наиболее популярных библиотек Python среди библиотек для Data Science и Machine Learning. Она предоставляет инструменты для широкого спектра задач: предварительной обработки данных, построения регрессий, кластеризации. Данная библиотека не имеет встроенной поддержки нейронных сетей, поэтому необходимо сначала реализовать функции для обучения нейронной сети и ее использования на тестовых данных. Эта необходимость, с одной стороны, усложняет и замедляет использование данной библиотеки, а с другой, позволяет более гибко настроить нейронную сеть.

Используя построенную нейронную сеть, были получены результаты зависимости точности распознавания рукописных цифр от числа пройденных итераций (эпох) на тестовых данных (Рис. 1).

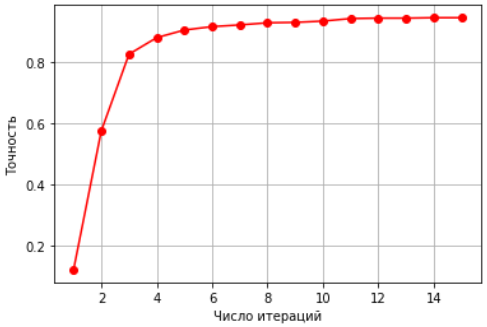


Рис.1. Зависимость точности распознавания цифр от числа пройденных итераций

На основе полученных данных можно выделить, что после четвертой эпохи точность перестала существенно расти и в итоге после 15-й итерации точность составляет около 95 %. Кроме показателей точности распознавания цифр, важной составляющей результатов разработки нейронной сети является функция потерь (Рис. 2).

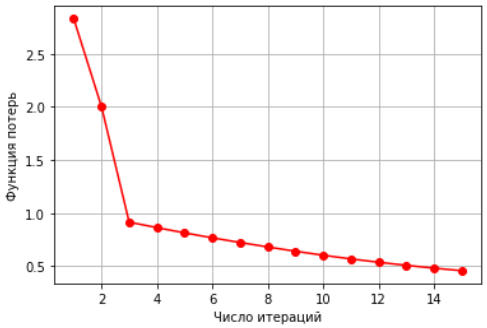


Рис.2. Зависимость функции потерь от числа пройденных итераций

Аналогично графику на рис. 1, изменения функции потерь после третьей итерации значительно ниже по сравнению с начальным изменением.

Keras

Keras [5] – это надстройка над библиотеками Deeplearning4j, TensorFlow и Theano (по этой причине они не участвуют в сравнении), предоставляющую сравнительно простой синтаксис для работы с нейронными сетями. Используя этот фреймворк для создания такой же по структуре нейронной сети, работающей с тем же набором данных, что и нейронная сеть на основе Sklearn, были получены результаты зависимости точности (Рис. 3) и потерь (Рис. 4) нейронной сети от числа пройденных итерации.

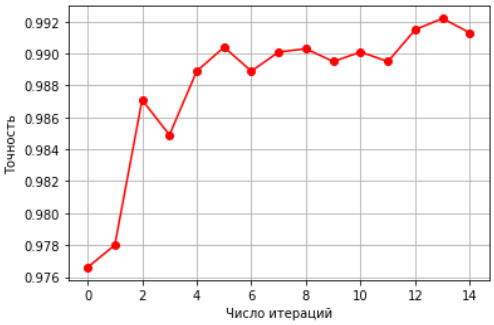


Рис.3. Зависимость точности распознавания цифр от числа пройденных итераций

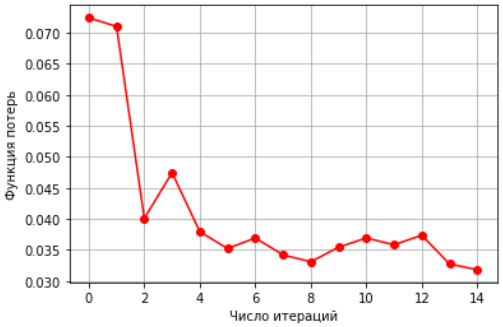


Рис.4. Зависимость функции потерь от числа пройденных итераций

На основе полученных данных можно сделать вывод, что значимые изменения в точности и потерях перестали происходить после пятой эпохи. При этом стоит отметить, что уже после первой эпохи точность была довольно высокой (97,6 %), а в дальнейшем достигла 99,2 %, что является отличным показателем. Рассматривая график потерь, после четвертой эпохи результаты практически не меняются.

PyTorch

Pytorch [6] – библиотека, используемая для машинного обучения для решения различных задач: компьютерного зрения, обработки текстов и т.д.

Используя построенную нейронную сеть для набора данных MNIST [3], были получены следующие графики зависимости точности (Рис. 5) и потерь (Рис. 6) от числа итераций на тестовых данных.

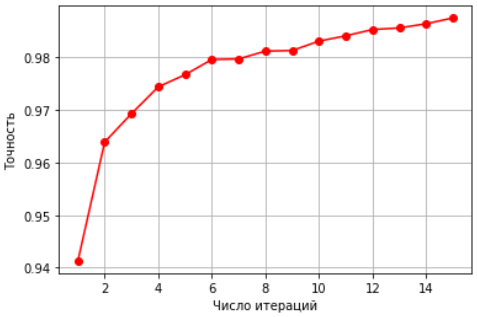


Рис.5. Зависимость точности распознавания цифр от числа пройденных итераций

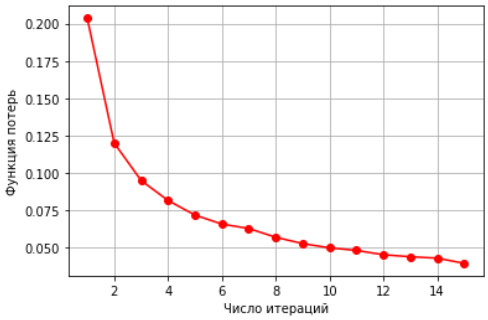


Рис.6. Зависимость функции потерь от числа пройденных итераций

Необходимо отметить, что приведенные результаты работы библиотеки отличаются от результатов работы библиотек Scikit-learn и Keras. Функция потерь нейронной сети изменяется схожим образом, но нельзя выделить номер эпохи, после которого значения точности стабили-

зируются. Напротив, эти значения довольно сильно улучшаются.

Сравнение результатов тестирования

Используя полученные результаты, была составлена сравнительная таблица используемых библиотек (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты сравнения

	Sklearn	**Keras**	**Pytorch**
Число строк кода	110	46	87
$t_{абс}$, с	1038	3334	1041
$t_{отн}$, %	100	321	100
$t_{дост\_абс}$, с	346	1111,33	1041
$t_{дост\_отн}$, %	100	321	300
Итоговая точность, %	94,17	98,84	98,75
Итоговые потери	0,4586	0,0432	0,0394

Число строк кода – не главный, но все-таки важный параметр. Многие аналитики выбирают Python именно за его простоту в разработке, поэтому объем кода может быть важен. Кроме того, чем более лаконичной является структура нейронной сети, тем проще ее может быть редактировать в дальнейшем при необходимости.

$t_{абс}$ – время обработки кода. Это одна из двух (наряду с точностью модели) важнейших характеристик нейронной сети. При этом абсолютное время представляет мало интереса, поскольку может зависеть от устройства, на котором исполняется код.

$t_{отн}$ – относительное время кода. Эта характеристика введена для компенсации недостатка использования времени в абсолютном выражении в качестве характеристики нейронной сети. Оно рассчитывается как отношение времени выполнения данного кода к минимальному из времен выполнений среди имеющихся.

На основе полученных результатов сравнения библиотек, в двух из трех нейронных сетей значения точности вышли на «плато», то есть практически не изменялись при дальнейшем обучении. Значит, время обучения сети можно уменьшить, если ограничиться только достаточным числом эпох. Это время в абсолютном и относительном выражении показаны в метриках $t_{дост\_абс}$ и $t_{дост\_отн.}$

Второй важнейшей метрикой качества модели – точность, рассчитанная как accuracy, соответствующая итоговой точности модели. Аналогично рассчитано значение функции потерь.

Заключение

Таким образом, в результате исследования библиотек для разработки нейронных сетей на ЯП Python можно сделать несколько основных выводов.

Во-первых, если требуется наиболее быстро обучающаяся модель, то следует выбрать Sklearn. Тем не менее, несмотря на наибольшую скорость работы, скорость разработки будет наименьшей, т.к. необходимо всю архитектуру создавать с нуля.

Во-вторых, при необходимости наиболее точной модели следует выбрать библиотеку Keras. Но время работы будет примерно в 3 раза превышать время работы конкурентов.

В-третьих, модель на основе Pytorch оказалась самой прогрессирующей от эпохи к эпохе в отношении точности распознавания, что означает, что в случае использования этой модели нельзя незначительно снизить точность ради значительного уменьшения времени работы, как это можно сделать с двумя другими моделями. В то же время итоговые точность (на момент выбранных 15 эпох) и потери оказались сопоставимы с моделью на базе Keras и лучше, чем у модели на базе Sklearn.

Список литературы:

1. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.
2. Заенцев И. В. Нейронные сети. Основные модели. – Воронеж: 1999. – 76 с.
3. The MNIST Database of handwritten digits [Электронный ресурс]. URL: http://yann.lecun.com/exdb/mnist/
4. Documentation of scikit-learn 0.19.1 [Электронный ресурс]. URL: https://www.sklearn.org/documentation.html
5. Федяев О.И. Параметрическое описание моделей глубоких нейронных сетей в библиотеке Keras // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем. – 2018. – С. 261-262.
6. PyTorch documentation [Электронный ресурс]. URL: https//pytorch.org/docs/stable/index.html

IT-ИНСТРУМЕНТЫ В УПРАВЛЕНИИ ОПАСНЫМИ ПРИРОДНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

С.Р. Беляков[2], Н.Е. Брагин[3], Е.И. Иванова[3], М.О. Мальцев[1]

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», [1]департамент компьютерной инженерии, [2]департамент прикладной математики, [3]департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Развитие современных IT-инструментов выступает ключевым вектором развития в управлении опасными природными явлениями и георисками. Благодаря созданию и внедрению геоинформационных систем (ГИС) и технологий значительно облегчается мониторинг местности и становится упорядоченным ведение учета природных ресурсов. ГИС-инструменты – это не одна программа, а пакет программ, несколько различающихся не только интерфейсом, но и возможностями работы с данными. Обычно из этого па-кета программ выбирается та, которая позволяет наилучшим образом решить поставленную задачу. Пример выбора эффективных инструментов и смежные исследования в рамках работы с BigGeoData на примере аэромониторинга представлены в статье.

Введение

Основные цели современного геомониторинга направлены на обеспечение своевременной и достоверной информации позволяющей:

- оценить показатели состояния экосистемы и среды обитания человека;
- выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений;
- определить корректирующие меры в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются;
- создать предпосылки для определения мер по исправлению возникающих негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб.

Система мониторинга опасных природных процессов предназначена для непрерывного контроля состояния объектов наблюдения: гидрогеологических (реки, водоемы),

эндогенных геологических (землетрясения) и экзогенных геологических (смещения грунта на оползнеопасных участках). Каждая из систем мониторинга автономна и взаимодействует только с собственными периферийными постами наблюдения, размещенными в потенциально опасных районах (территориях).

Для реализации обозначенных целей и задач необходимо применение интегрированных информационно-аналитических моделей и системы качественно-количественных методов и инструментов [1-5].

Анализ инструментов мониторинга

На основе использование статических данных от различных источников можно провести анализ и прогноз геоэкологического риска и повлиять на исход предстоящего события.. Можно провести анализ геоэкологического риска и повлиять на исход предстоящего события.

При помощи аэросъемки поверхности земли можно определить различные георискии. Например, с помощью БПЛА (беспилотных летательных аппаратов), можно получить точное изображение различных катастроф. Правда, такой метод работает не во всех случаях, а лишь когда такие опасности не препятствуют полету этих аппаратов.

Достаточно актуальным способом оценки рисков для земли является космический мониторинг. Это система современного анализа, контроля происходящих на земле процессов с помощью дистанционного зондирования. Такой метод позволяет оперативно выявлять аварии, катастрофы и стихийные бедствиях различного характера, контролировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, обнаруживать пожар или вырубку леса. А также с помощью получаемых статистических данных предсказывать предстоящие события, особенно в сфере геоэкологии. Космический мониторинг является перспективным направлением, однако сейчас является, достаточно, ресурсоемким для запуска и поддержания такой системы ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) [6-9].

Задачу мониторинга и прогнозирования природных рисков может решить разработка базы данных, отслеживающей определенные показатели, от которых зависит вероятность природных катаклизмов, при помощи вышеописанных способов.

Выбор инструментов работы с данными

Результирующее загрязнение зависит от модели пилотируемого средства, и, учитывая конструкционные особенности самолета, данные от полетов будут отличаться – следовательно, невозможно определять какую-то «усредненную» модель загрязнения вследствие погрешности.

Для вычислений уровня загрязнения окружающей среды требуется информация о тактико-технических характеристиках (ТТХ) моделей самолетов. Для упрощения расчетов и адаптации под существующую международную формулу, в данный момент характеристики самолетов разделены на две группы: основные параметры, такие как Название, Число и Модель двигателей, и габариты, которые также объединены с полезной нагрузкой. Данные группы можно представить как структурированные связанные сущности, следовательно, в этом случае для реализации хранения данных подойдет реляционная модель данных.

Нормализация данных

Преобразование ER–диаграммы в схему БД выполняется путем сопоставления каждой сущности и каждой связи, имеющей атрибуты, отношения (таблицы) БД. Связь типа 1:n (один-ко-многим) между отношениями реализуется через внешний ключ. Ключ вводится для того отношения, к которому осуществляется множественная связь. Внешнему ключу должен соответствовать первичный или уникальный ключ основного (родительского) отношения.

Рассмотрим необходимые атрибуты для каждой сущности на рисунке 1.

Рис. 1 Распределение атрибутов по сущностям

Рассмотрим процесс нормализации:

1) Отношение находится в Первой нормальной форме (1НФ), если все его атрибуты являются простыми, все используемые домены должны содержать только скалярные значения.

Отношение «модель самолета»: атрибут «двигатель» имеет несколько значений – число моторов и их модель. Очевидно, что число двигателей прямо влияет на расход топлива, поэтому этот атрибут разбивается на два обязательных: модель двигателя (varchar) и число двигателей (numeric).

Отношение «Габариты»: атрибут «масса» имеет много ключевых значений, влияющих на самолет и выбросы в окружающую среду, таких как грузоподъемность и пассажировместимость. Было принято решение разбить этот атрибут на три обязательных: масса (пустого самолета, numeric), грузоподъемность (numeric), пассажировместимость (numeric)

2) Отношение находится во Второй нормальной форме (2НФ), если оно находится в 1НФ и каждый неключевой атрибут неприводимо зависит от Первичного Ключа(ПК).

В нашем случае все неключевые параметры однозначно зависят от Первичного ключа, следовательно, 2НФ соблюдена.

3) Ликвидация сквозных зависимостей (Третья НФ)

В нашей БД отсутствуют сквозные (транзитивные) зависимости, при которых один атрибут косвенно зависел от другого, следовательно, 3НФ соблюдена. Кроме этого, оно соответствует частному случаю Нормальной формы Бойса-Кодда, так как в отношениях только один потенциальный первичный ключ (ПК) – искусственный идентификатор ID. Он дан, так как невозможно выделить название самолета в ПК вследствие возможных повторений названий. Также, ни один из показателей размеров самолета не является превалирующим над остальными, а значит, не может быть ПК.

4) Уточнение многозначностей (Четвертая НФ)

Все нетривиальные многозначные зависимости фактически являются функциональными зависимостями от ее потенциальных ключей, то есть невозможно такого, чтобы какая-либо сущность зависела от чего иного, нежели первичный ключ внутри ее отношения. Следовательно, 4НФ соблюдена.

5) Отношения находятся в Пятой нормальной форме (5НФ), если оно находится в 4НФ и отсутствуют сложные зависимые соединения между атрибутами.

В описываемом случае каждые зависящие друг от друга элементы находятся в разных сущностях, следовательно, пятая нормальная форма соблюдена.

6) Переменная отношения находится в шестой нормальной форме тогда и только тогда, когда она удовлетворяет всем нетривиальным зависимостям соединения. Из определения следует, что переменная находится в 6НФ тогда и только тогда, когда она неприводима, то есть не может быть подвергнута дальнейшей декомпозиции без потерь. В приводимом случае данная зависимость соблюдена, следовательно, БД находится в 6НФ.

Для сбора данных и их агрегации в модель было принято решение воспользоваться краулерным методом.

Построение интерфейса

Данные о выбросах углекислого газа, хранящиеся в модели, описанной выше, удобно визуализировать в виде карты с обозначением зон разной степени загрязненности, полученной в результате перелетов самолетов. Данный принцип совместной работы базы данных и ее визуализации можно эффективно реализовать средствами веб-

программирования, которое предоставляет современные многофункциональные инструменты в виде активно развивающейся связки: HTML, CSS, JavaScript --, которую поддерживают большинство популярных интернет-браузеров. В частности, для разработки интерактивной карты была использована такая особенность языка JavaScript, как возможность работы с JSON-структурами, которые участвуют в процессе передачи данных от модели при помощи AJAX-запроса, использующегося для ускорения работы пользовательского интерфейса. Например, информация о 9004 перелетах отображается на интерактивной карте приблизительно за 13 секунд, что можно считать быстрым ответом на запрос, учитывая то, что 7 секунд тратится на отрисовку данных и что индексация в базу данных о перелетах пока не была добавлена, что, конечно, планируется сделать в будущем.

Кроме вышеописанных преимуществ визуализации геоданных средствами веб-программирования, можно также говорить о том, что браузерное решение доступно большему количеству пользователей, что потенциально может помочь популяризации и коммерциализации проекта. Это особенно актуально на фоне ведущихся в последние годы переговоров экономистов и экологов о введении углеродного налога не только в европейских странах, но и в России. Таким образом, веб-ресурс, эффективно и эффектно демонстрирующий данные о выбросах самолетами углерода, потенциально может быть, например, куплен в качестве консалтингового сервиса авиакомпанией или государственной структурой.

Заключение

Современная трансформация геопространственной индустрии под цели цифровой экономики – расширение спектра фундаментальных и прикладных исследований, разработка технологий для решения задач планирования и принятия оперативных решений, интеграция, управление, анализ, распространение и использование географическую, временную и пространственную информацию и знания.

Современному специалисту необходимо быть готовым к непрерывному восприятию и освоению новых областей деятельности, комплексных знаний и практических навыков в широком научно-технологическом спектре [10-11]. Рассмотренные инструментальные решения для применения в области геомонтиторинга выбросов углекислого газа самолетами на данном этапе разработки уже показывает свою практическую эффективность согласно концептуальному тестированию, что определяется работой заданного варианта базы данных и ключевыми индикаторами, оперативностью ответа от нее и пользовательскими отчётами, а также аналитикой в работе с интерфейсом. Однако, эти показатели еще нуждаются в усовершенствовании, что и является целью дальнейших этапов разработки.

Список литературы:

1. Информационно-аналитический портал. Документация. https://gis-lab.info/docs.html (17.02.2021)

2. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Shapovalenko G. N., Alvarez A. The development of effective geomonitoring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.

3. Гончаренко С.Н., Коростелев Д.Б. Системный анализ и прогноз показателей и индикаторов эффективности деятельности в сфере охраны окружающей среды и природопользования// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. No 9. С. 104–110.

4. Гончаренко С. Н., Коростелев Д. Б. Методы и модели комплексной оценки системной связи эффективности природоохранной политики и управленческих решений в сфере использования природных ресурсов// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. No 11. С. 70–76.

5. Open Geospatial Consortium (открытый геопространственный консорциум OGC)
http://www.opengeospatial.org/ (17.02.2021)

6. Хранилище пространственных данных PostGIS на основе OpenSource сервера данных PostgreSQL http://www.postgis.org/ (17.02.2021)

7. Библиотека GDAL http://www.gdal.org/ (17.02.2021)

8. Библиотека Proj 4 http://trac.osgeo.org/proj/ (17.02.2021)

9. Рабочее место пользователя ГИС Quantum GIS (QGIS) http://www.qgis.org/ (17.02.2021)

10. Информационно-аналитический портал. https://www.geoscan.aero/ru (17.02.2021)

11. Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2006. (17.02.2021)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ RIGOL

А.Ю. Билалов, М.Г. Джамалутдинов, А.А. Чернецкий
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проведен анализ требуемого состава оборудования измерительного комплекса, необходимого для проведения исследований в области диагностики рельсового полотна ультразвуковыми, вихретоковыми и оптическими датчиками.

Выполнено исследование требуемого функционала ПО.

Осуществлен поиск существующих решений измерительных комплексов по сбору и обработке данных.

Разработана архитектура измерительного комплекса.

Разработано программное обеспечение для автоматизированного дистанционного проведения комплекса измерений.

Приведены результаты измерения параметров оптического датчика, сделаны выводы и сформулированы задачи последующих исследований.

Введение

Данная работа ведется в рамках темы ВКР по разработке измерительного модуля установки контроля рельсового полотна железных дорог. Немаловажной задачей разработки является увеличение скорости и точности методов проведения реальных измерений показаний датчиков.

В вопросах проведения полевых экспериментов очень важен фактор надежности и простоты использования: без данных, которым можно доверять, невозможно судить о точности полученных результатов, а при трудной эксплуатации системы реальное проведение измерений становится слишком долгим и трудоемким.

В случае с дефектоскопией железнодорожных путей возникает проблема автоматизации измерительного процесса.

Целями данной работы являются как анализ существующих практик по решению данного вопроса, так и разработка собственного измерительного комплекса на основе возможностей приборов Rigol и библиотеки NI-VISA.

Работа состоит из введения, формирования требований к составу измерительного комплекса, постановки задачи,

обзора существующих решений в области автоматизации измерений, оценки перспектив использования виртуальных измерительных приборов и приведения результата разработки. В заключении приведен вывод работы.

Формирование требований к составу измерительного комплекса

В рамках ВКР, посвященной диагностике рельсового полотна железных дорог, необходимо провести обоснованный отбор датчиков, пригодных к измерению характеристик рельсов.

Для эффективного тестирования датчиков требуется проводить большое количество практических экспериментов с измерением их показаний, что связано с большим объемом статистической обработки. Вручную это делать чрезвычайно утомительно и долго, также такой подход не всегда гарантирует должную надежность получаемых результатов. Возникает задача автоматизировать процесс проведения трудоемких экспериментов и сформировать требования к составу измерительного комплекса.

В рамках ВКР проведено исследование, на основе которого были выбраны первичные датчики для изучения: вихретоковые, оптические и ультразвуковые.

Для тестирования вихретоковых датчиков необходим генератор сигналов и осциллограф с мультиметром.

Тестирование оптических датчиков требует наличия источника питания и осциллографа с мультиметром.

Наконец, тестирование ультразвуковых датчиков требует наличие генератора сигналов, источника питания и осциллографа.

В рамках работы над ВКР студентам было предоставлено все доступное оборудование учебной лаборатории интеллектуальных систем управления и робототехники. В его список входили:

- прецизионный мультиметр Rigol DM3068;
- осциллограф цифровой RIGOLMSO1104Z;
- универсальный генератор сигналов RIGOLDG1032Z;
- источник питания программируемый Rigol DP832A.

Все вышеперечисленные приборы имеют интерфейс подключения USB, что делает возможным их использование в паре с персональным компьютером.

Для автоматизации процесса проведения измерительных экспериментов необходимо наличие персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения для управления приборами. Структурная схема комплекса представлена на Рис. 1.



Рис.1. Структурная схема комплекса

Постановка задачи

С помощью имеющегося оборудования учебной лаборатории необходимо создать автоматизированный измерительный комплекс на основе дистанционного управления приборами Rigol с персонального компьютера.

Программная часть комплекса должна обладать следующим функционалом:

- автоматизированный сбор измерительных данных с мультиметра и осциллографа (постоянный и переменный ток, постоянное и переменное напряжение, сопротивление, частота);
- дистанционная настройка приборов;
- скорость опроса мультиметра и осциллографа должна составлять менее 100 мс на 1 измерение;
- сохранение измеренных значений для дальнейшей обработки;
- статистическая обработка полученных данных;
- представление информации в графическом виде;
- возможность отображение нескольких результатов на одном графике;
- возможность проводить математические операции над результатом измерения и отображать их на графике.

Обзор существующих решений в области автоматизации измерений

Возможности современных средств измерения в полной мере предоставляют инструменты для решения поставленных задач и позволяют в должной степени автоматизировать проведение реальных тестирований.

Одним из самых популярных решений в области автоматизации измерительных систем и сбора измерительных данных для последующей обработки является среда LabVIEW от компании National Instruments. Компания специализируется в области разработки встраиваемых и распределенных технических средств для сбора данных (DAQ) и программных драйверов к ним [1].

LabVIEW позволяет проводить измерения с помощью автономных цифровых приборов. Пример системы измерения сопротивления с помощью мультиметра приведен на Рис. 2, ее блок схема приведена на Рис. 3. Подобную систему можно преобразовать для измерения любых других показателей на автономном мультиметре.

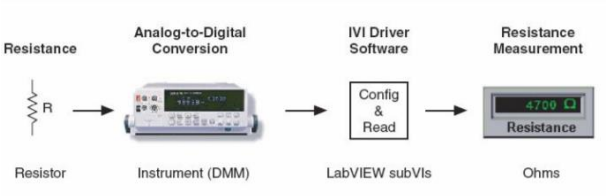


Рис.2. Система измерения сопротивления с помощью мультиметра

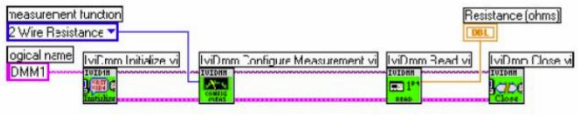


Рис.3. Блок-диаграмма измерения сопротивления с помощью автономного прибора

Преимущества LabVIEW:

- простота использования;
- широкая драйверная поддержка различных измерительных устройств;
- готовое решение.

Главным недостатком LabVIEW является непозволительная для команды стоимость, из-за чего было принято решение разработать собственное программное решение для управления имеющимися приборами Rigol и последующей статистической и математической обработки дан-

ных. Такой подход позволяет сократить финансовые расходы команды и получить дополнительный опыт разработки в области виртуальных измерительных систем.

Перспективы использования виртуальных измерительных приборов для решения задач ВКР

Виртуальный прибор – концепция, в соответствии с которой организуются программно-управляемые системы сбора данных и управления техническими объектами и технологическими процессами, при которой система организуется в виде программной модели некоторого реально существующего или гипотетического прибора, причём программно реализуются не только средства управления (рукоятки, кнопки, лампочки и т. п.), но и логика работы прибора [2].

Виртуальные приборы создаются с помощью программных средств, что предоставляет практически неограниченные возможности для настройки интерфейса, эмулирующего панели управления традиционных приборов или для визуального представления операций управления процессом [3].

Связь компьютера с приборами Rigol осуществляется через широко используемый стандартизированный интерфейс ввода-вывода NI-VISA, предназначенный для управления приборами с персонального компьютера.

Команды, передающиеся приборам Rigol, выполнены в стандарте SCPI. SCPI определяет стандартные правила сокращения ключевых слов, используемых в качестве команд. Ключевые слова могут быть использованы либо в длинной (например, MEASure — измерить), либо в короткой прописной форме (MEAS). Команды в формате SCPI префиксируются двоеточием. Аргументы команд разделяются запятой [4].

Таким образом, концепция виртуального прибора создает хорошую перспективу для разработки собственного автоматизированного измерительного комплекса и реализации задач ВКР.

Результаты разработки

В качестве языка разработки программного обеспечения измерительного комплекса был выбран C++, а в качестве среды разработки – Qt.

На данный момент времени реализовано программное обеспечение с функционалом дистанционного управления мультиметром Rigol DM3068, подключенному к компьютеру через USB интерфейс. Связь между компьютером и мультиметром обеспечивает библиотека NI-VISA для C++. Программа отправляет прибору SCPI команды с различными запросами. Удалось достигнуть результата скорости опроса мультиметра в 62 мс, что, вероятнее всего, является пределом для данного измерительного прибора.

Программа автоматизирует процесс сбора показаний мультиметра и сохраняет результаты измерений в отдельный CSV файл с указанием пройденного времени с начала отсчета.

Также удалось реализовать функционал построения графика измеряемой величины в реальном времени при помощи библиотеки QCustomPlot.

Программное обеспечение протестировано на практике: с помощью него удалось провести несколько отсчетов с оптического датчика и получить графики по измеряемой величине. Один из них приведен на Рис. 4.

Достоверность полученных данных была проверена вручную: они совпадают с реальными измерениями, проведенными собственными силами.

Заключение

Разработанное на данный момент программное обеспечение измерительного комплекса выполняет базовый функционал по автоматизации измерений с мультиметра Rigol DM3068: команде успешно удалось снять несколько отсчетов с оптического датчика и получить достоверные графики по полученным данным.

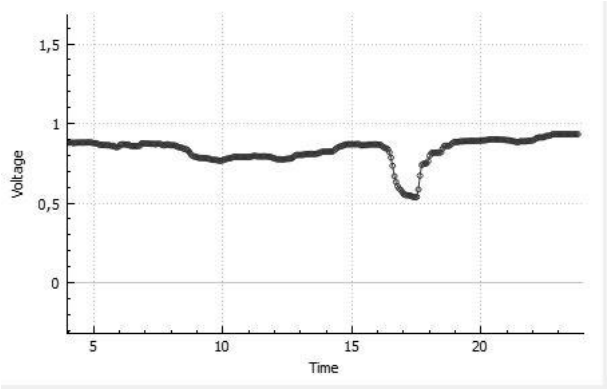


Рис.4. График, полученный по результатам измерения оптического датчика

Программа значительно ускорила процесс проведения тестирования датчиков и в целом повысила надежность полученных результатов измерений.

В дальнейшем планируется добавить поддержку остальных устройств Rigol, доработать функционал отображения нескольких графиков и добавить статистическую и математическую обработку полученных данных. Также планируется исследовать интерфейс подключения LAN (LXI class C), присутствующий на всех имеющихся приборах Rigol, чтобы добавить возможность удаленного управления устройствами.

Список литературы:

1. National Instruments**.** LabVIEW Measurements Manual. [Электронный ресурс] – URL: http://fy.chalmers.se/~f7xlh/LV_Kurs/LV_Meas_Man_2003.pdf (дата обращения: 09.02.2021 г.).

2. Виртуальный прибор. [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вирутальный_прибор (дата обращения: 13.02.2021 г.).

3. Control Engineering Россия. Виртуальные приборы. [Электронный ресурс] – URL: https://controlengrussia.com/programmnye-sredstva/virtualnye-pribory/ (дата обращения 13.02.2021 г.).

4. IEEE-488. [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE-488 (дата обращения 15.02.2021 г.).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ПОМЕЩЕНИИ

Н.А. Алиев, Д.Д. Клюваков, А.Ю. Пасынков, А.С. Тонков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Рассматривается подход к проектированию и разработке системы управления микроклиматом в помещении. Её ключевая особенность – возможность добавления дополнительных устройств в рамках системы «Умный дом». Также рассмотрена возможность добавления технологий компьютерного зрения при создании вентиляции помещения.

Введение

При создании нового продукта в рамках системы «Умный дом» [1] необходимо учитывать его адаптируемость под другие устройства, актуальность, значимость для потребителя. Сегодня на рынке присутствует множество решений по автоматизации освещения [2], по созданию мониторинговых систем для отслеживания показаний устройств в доме [3]. Система управления микроклиматом занимает особое место в умном доме, потому что она напрямую влияет на здоровье жильцов. Возможность интеграции такой системы в систему, построенной в рамках концепции «Умный дом», позволит расширить вариации контроля за состоянием микроклимата в помещениях и улучшить его качество.

Описание системы

Пользователь имеет в распоряжении полностью контролируемую и настраиваемую систему управления микроклиматом в помещении. Архитектура системы приведена на Рис.4.

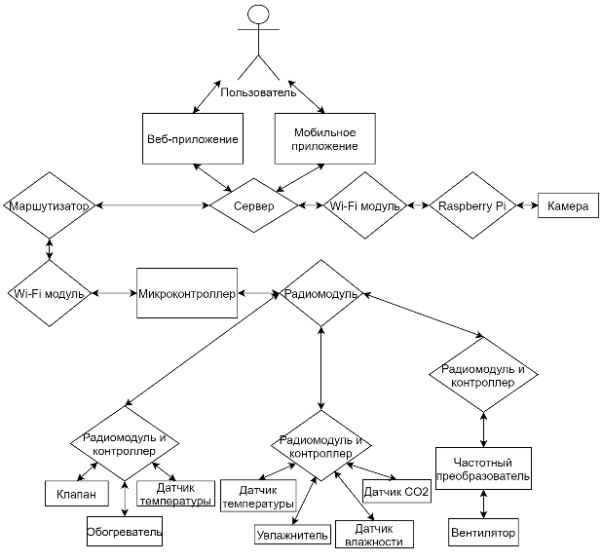


Рис.4. Архитектура системы

Архитектура является большой сетью устройств, находящихся во всех помещениях. Основной микроконтроллер дополнен маленькими вычислительными устройствами во всех помещениях для получения показаний с датчиков. Обширная система устройств позволяет увеличить количество исполняемых и считывающих устройств. Дополнительные элементы системы могут быть установлены в помещении и подключены к уже имеющимся контроллерам. Например, в имеющуюся систему возможно встроить устройства умного освещения. Требуется добавить необходимые датчики, подключить их к уже имеющимся контроллерам, а также добавить электроуправляемое реле на источник света. Таким образом, система позволяет расширять её сферу управления, что является основным ее достоинством.

Пользователь через мобильное или веб-приложение может отслеживать и изменять несколько параметров воздуха в помещении: концентрацию углекислого газа, влажность, температуру. Желаемые данные пользователя передаются на контроллер, который активирует исполняемые устройства – вентилятор и стеновые клапаны. Взаимодействие вентилятора и клапанов позволяет настраивать воздухообмен в помещении, который требуется в текущий момент времени. Измерительные датчики окружающей среды производят постоянный контроль параметров микроклимата. Важной особенностью является возможность создания сценариев работы системы. Сценарий — это алгоритм, по которому система автоматически будет работать исходя из задаваемых пользователем параметров. Например, каждое утро температура воздуха в помещении может устанавливаться равной 18°C. Такой принцип работы позволяет настраивать комфортный микроклимат в помещении для каждого человека в зависимости от его предпочтений.

Использование компьютерного зрения

Вариантом улучшения системы является установка камер видеонаблюдения в помещения и одноплатного компьютера Raspberry Pi [4, 5]. В него загружается нейронная сеть, которая анализирует изображение, и с помощью технологий компьютерного зрения [6] определяет количество людей в помещении (рис. 2). Получив информацию о количестве человек в помещении, контроллер может самостоятельно принять решение по необходимому воздухообмену. Решение принимается на основе санитарного правила 54.13330 «СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные» [7]. Принятие решения осуществляется исходя из общей площади помещения и количества людей. При общей площади квартиры на одного человека более 20 м^2, значение воздухообмена = 30 м^3/ч на одного человека. При общей площади квартиры на одного человека менее 20 м^2, значение воздухообмена = 3 м^3/ч на 1 м^2 жилой площади.



Рис.5. Определение человека нейронной сетью

Микроконтроллер

Микроконтроллер является одним из ключевых компонентов в построении системы. В его задачи входят:

- сбор и анализ данных с измерительных датчиков.
- принятие решений по активации различных исполнительных устройств на основании анализа данных.
- обмен данными с сервером для вывода информации в мобильное и веб-приложения.
- получение данных с сервера и контроль за поддержанием показателей микроклимата.

В качестве основного контроллера в результате исследования рынка [8] был выбран контроллер на базе STM32. По характеристикам и цене данный контроллер существенно превосходит популярный контроллер Arduino [9].

Датчик потока воздуха

Для корректного функционирования разрабатываемой системы необходимо проанализировать рынок имеющихся датчиков измерения скорости потока воздуха и выбрать наилучший. Данный датчик позволит измерять скорость приточного и вытяжного воздуха, что необходимо для корректного расчёта воздухообмена в помещении на человека в час. Расчет воздухообмена производится в соответствие с выражением (1):

$$Q = 3600 * V * \pi * R^2, \quad (1)$$

где Q – расход воздуха, м^2/час; V – скорость потока воздуха через датчик, м/с; 3600 – время, с; R – радиус трубы, м.

Данный датчик расположен в трубе, которая установлена в стене в определенном помещении. На конце трубы

расположен клапан, который посредством шагового двигателя регулирует количество входящего с улицы воздуха в помещение. Наиболее подходящим под требуемые условия цены и размещения являются термоанемометрические датчики. Они обладают малыми размерами, имеют большой диапазон измерений, могут полностью управляться электрической схемой.

Данный тип датчика работает по принципу теплообмена между датчиком и окружающей средой. Увеличение скорости потока воздуха приводит к увеличению потерь тепловой энергии нагревательного резистора. Нагревательный резистор охлаждается, что приводит к изменению коэффициента теплопередачи. Следовательно, зная коэффициент охлаждения нагревательного резистора, можно вывести функцию скорости потока воздуха в окружающей среде. Путем корректировки входного напряжения на датчике можно обеспечить постоянную разницу температур между нагревательным элементом и датчиком температуры. Разницу температур необходимо преобразовать в функцию скорости потока.

После анализа места расположения датчика потока была разработана схема и печатная плата для него размером 40x30 мм (Рис.6).

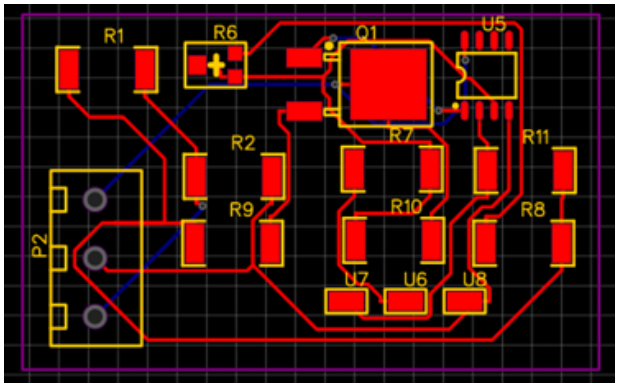


Рис.6. Печатная плата для датчика потока

А также была спроектирована 3D-модель печатной платы (Рис.7).

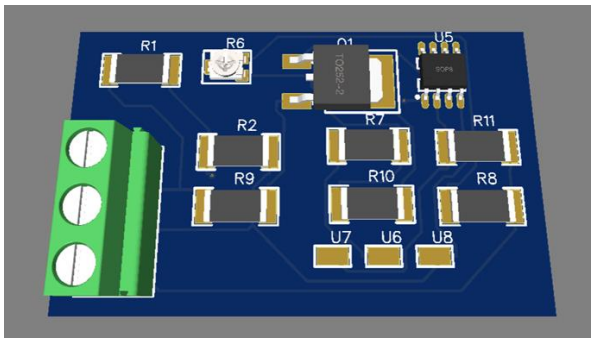


Рис.7. 3D-модель печатной платы

Коннектор в левой части платы служит для подключения к плате источника питания, а также для подключения вывода микроконтроллера для считывания показаний с датчика потока.

К контактам U7, U8, U9 должны быть припаяны контакты датчика потока – GND, RT и RH.

Заключение

Таким образом, была спроектирована система управления микроклиматом в помещении, изучена возможность модификаций базовой системы и добавления в нее дополнительных устройств. Также исследовано применение компьютерного зрения как дополнительный модуль системы.

Подготовлена проектная документация датчика потока воздуха.

В систему могут быть также добавлены устройства из других отраслей умного дома. Такая система подразумевает наличие датчиков и исполняемых устройств во всех помещениях. Это позволяет при малых затратах добавлять другие устройства.

В перспективе проектируемая система управления микроклиматом может являться ядром системы «Умный дом», в которую будут интегрироваться другие устройства интернета-вещей.

Список литературы:

1. Байгозин Д. В., Первухин Д. Н., Захарова Г. Б. Разработка принципов интеллектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом» //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2008. – Т. 313. – №. 5. С. 169-173.

2. Казакевич А. В., Кораченцов А. А. Способ автоматического управления освещением в помещении с использованием датчиков движения в системах «Умный дом» //В сборнике: Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции. Санкт-Петербург. – 2019. – С. 106-110.

3. Веретехин А. В. и др. Система «Умный дом» //Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 04-07 декабря 2017 г., г. Томск. —Томск, 2017. – 2017. – С. 124-125.

4. Patchava V., Kandala H. B., Babu P. R. A smart home automation technique with raspberry pi using iot: 2015 International conference on smart sensors and systems (IC-SSS), 2015, pp. 1-4.

5. Pajankar A. Raspberry Pi computer vision programming: Packt Publishing Ltd, 2015, pp. 133-142.

6. Upton E. Halfacree G. Raspberry Pi user guide: John Wiley & Sons, 2014, pp. 233-249.

7. СНиП 31-01-2003 Здания многоквартирные / Госстрой России. — М.: ФГУП ЦПП., 2007. – 24 с.

8. Smeti A., Chagra W. Implementation of a predictive controller on the STM32 board: 2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2013, pp. 250-253.

9. Vavilov E. D. Review of the use of the STM32 microcontroller as a replacement for the use of Arduino: Postulate, 2020, pp. 3-5.

СПОСОБЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ АЭРОМОНИТОРИНГА

А.С. Осипов, И.С. Геворков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа посвящена способам извлечения информации с сайтов. Этот метод продемонстрирован на примере веб-скрапинга данных.

Введение

Интернет – источник огромного количества информации и с каждым годом ее становится все больше. И если надо получить информацию об одном объекте, то время извлечения ручным способом будет незначительным, од-

нако, когда надо получить данные о множестве объектов, или это необходимо делать постоянно, время увеличивается многократно. Для решения этой проблемы нужно написать программу, которая в автоматическом режиме обходит все нужные страницы нужного сайта и забирать целевые данные с каждой страницы. В нашем случае это технические характеристики различных самолетов.

Анализ существующих решений

После анализа решений, изложенных в других работах, они были поделены в зависимости от сложности парсинга и требований конечного результата. Так, согласно изученным данным извлечение данных из веб-страниц было поделено на 2 большие задачи. Первая задача включает в себя определение страниц, содержащих нужную информацию, вторая – самому извлечению данных. В других источниках процесс извлечения представлен несколько более сложным. Кроме вышеперечисленных задач там фигурируют и дополнительные, вызванные требованиями поставленных целей, например, задача поиска общей структуры данных, или задача обеспечения однородности, нужная для отсеивания лишней информации, или задача объединения данных, соединяющая данные, полученные из разных источников [1-2].

Также задача определения веб-страниц, которые содержат нужные данные, может быть выполнена совершенно разными способами исходя из знаний о нахождении информации в интернете. Первый метод опирается на знание особенностей сайта, содержащего нужную информацию и состоит в том, что при обходе стартовой страницы определяются все страницы с необходимой информацией путем анализа имени ссылки (она содержит какую-то особую последовательность символов, характерную только искомым объектам) или ее местоположения. Второй метод используется при полном незнании о нахождении какой-либо вероятности в интернете. В его основе лежит теория, говорящая, что сайт определенной тематики будет ссылаться на сайт по этой же теме. Таким образом, если нужной информации нет на какой-либо странице, то она может быть на другой странице по этой же теме. Таким образом, идет непрерывный поиск информации до тех пор, пока не будет найдена необходимая информация путем перехода на случайную внешнюю ссылку, при наличии таковой.

Анализ инструментов

Одним из самых популярных инструментов для веб-скрапинга является фреймворк Scrapy [3]. Он позволяет получить доступ к веб-странице, а затем необходимые данные из HTML кода при помощи XPath/CSS запросов [4]. Является самым быстрым среди конкурентов, что очень полезно при обработке большого количества страниц. Разница во времени работы между запросами через Scrapy и запросами через Requests[5] составила троекратную разницу при обходе всех нужных страниц.

Еще один часто используемый инструмент в разработке веб-скрапера – это совместное использование библиотек Requests в сочетание с Beautiful Soup [6]. При помощи первой библиотеки можно загрузить веб-страницу из интернета, а при помощи Beautiful Soup произвести дальнейший разбор HTML кода.

Разработка прототипа

Порядок извлечения информации на основе проведенного обзора можно выстроить следующим образом: сначала перебираются все внутренние ссылки, находящиеся на главной странице. Из них отсеиваются все, не содержащие самолеты, а подходящие записываются в файл. Если в процессе отбора встречаются повторяющиеся ссылки, они также отсеиваются. После получения всех ссылок работу начинает второй краулер. Он последовательно перебирает все ссылки из файла и на каждой странице собирает данные из таблицы. Можно сказать, что этот краулер работает с почти структурированной информацией: его целью являются только данные из одной таблицы, которая есть на каждой странице. Однако само содержимое таблицы может различаться, в ней могут присутствовать или, наоборот, отсутствовать некоторые поля, которые присутствуют в таблицах на других страницах. Также таблица может содержать несколько моделей самолетов. Для этого был создан шаблон данных, который содержит все возможные поля во всех таблицах. По мере разбора очередной таблицы найденные значения заносятся в эту структуру, другие поля остаются пустыми. Единый шаблон сильно облегчает дальнейшую работу с данными.

Проблемы и решения

Несмотря на многофункциональность инструментов, получить HTML не всегда получается. Некоторые сайты защищены от ботов, они блокируют их, не давая получить доступ к содержимому. Кроме того, встречаются сайты, на которых контент динамически генерируется при помощи JavaScrip, в результате чего полученный HTML код не будет соответствовать увиденному в браузере и не позволит получить нужные данные [7]. Для обхода этих ограничений существуют свои инструменты и способы: возможность передачи заголовков вместе с запросом, обработка и сохранение cookies, искусственное уменьшение скорости обхода сайта, для того чтобы сайт не распознал робота или использование сторонних библиотек для обработки JavaScript.

Другой основной проблемой является отсутствие единого стандарта. Есть разные, но очень похожие данные, которые используются в разных странах – например, запас топлива может измеряться как в литрах, так и в килограммах, рейсы самолетов могут обозначаться в разных системах, а то и в двух одновременно [8-15]. Поэтому при начальном сборе все данные были записаны в соответствующие поля для последующей идентификации. Однако у данного подхода есть и свои проблемы – из-за необходимости универсальности шаблона на каждый экземпляр выделяется больше памяти, чем необходимо.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующее заключение. Неструктурированность - обратная сторона большого количества данных, содержащихся в интернете. Из-за этого становится невозможным “слепо” извлечь требуемую в рамках концептуального запроса информацию и приходиться ее находить и структурировать для дальнейшего качественного использования. Одним из способов получить заданные данные и аналитику, не потеряв полноту, выступают описания посредством использования сформированных шаблонов. Этот метод, кратко описанный в работе, позволяет успешно получать и представлять требуемый объём данных и структурировать информацию под заданные требования.

Список литературы:

1. Airlines Inform Airbus A320 - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/airbus-a320.html (дата обращения 18.02.2021).

2. Airlines Inform Boeing 747-100 - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-747-100.html (дата обращения 18.02.2021).

3. Scrapy - URL: https://scrapy.org/ (дата обращения 18.02.2021).

4. Примеры xpath-запросов к html - URL: https://habr.com/ru/post/114772/ (дата обращения 18.02.2021).

5. Requests: HTTP for Humans - URL: https://requests.readthedocs.io/en/master/ (дата обращения 18.02.2021).

6. Beautiful Soup Documentation - URL: https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/ (дата обращения 18.02.2021).

7. Не защищайте сайт от скрапинга: сопротивление бесполезно - URL: https://habr.com/ru/post/353348/ (дата обращения 18.02.2021).

8. Open Geospatial Consortium (открытый геопространственный консорциум OGC) - URL: http://www.opengeospatial.org/ (дата обращения 18.02.2021).

9. Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) - URL: http://www.osgeo.org/ (дата обращения 18.02.2021).

10. Хранилище пространственных данных PostGIS на основе OpenSource сервера данных PostgreSQL - URL: http://www.postgis.org/ (дата обращения 18.02.2021).

11. Библиотека GDAL - URL: http://www.gdal.org/ (дата обращения 18.02.2021).

12. Библиотека Proj 4 - URL: http://trac.osgeo.org/proj/ (дата обращения 18.02.2021).

13. WMS сервер для отображения пространственных данных MapServer - URL: http://www.mapserver.org/ (дата обращения 18.02.2021).

13. Набор скриптов OpenLayers - URL: http://openlayers.org/ (дата обращения 18.02.2021).

14. Рабочее место пользователя ГИС Quantum GIS (QGIS) - URL: http://www.qgis.org/ (дата обращения 18.02.2021).

15. Информационно-аналитический портал. Документация. - URL: https://gis-lab.info/docs.html (дата обращения 18.02.2021).

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ФИЗИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ДЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Д.А. Калинин, А.Н. Кикбаева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассмотрен процесс разработки и конструирования устройства захвата, а также способ его подключения к роботу DARwIn-OP2 [1] или аналогичному.

Введение

В нашу жизнь постепенно начинают внедряться роботизированные системы, они находят применение во многих сферах жизни человека, могут выполнять, как простую монотонную работу, так и сложные механические действия, которые необходимы на производстве или в медицине. Разработка аппаратно-программного комплекса велась под робота DARwIn-OP2. Этот робот может стать отличным помощником в повседневных делах, но у него отсутствует устройство захвата, что заметно уменьшает его функционал и делает невозможным взаимодействие с физическими объектами. Также можно отметить, что проблема подключения подобных устройств возникает и при подключении к другим аналогичным роботизированным системам.

В предложенном решении используются бюджетные варианты сервоприводов, которые существенно снижают стоимость устройства. Составляющие захвата разработаны и распечатаны с помощью технологии 3D-печати, что заметно ускоряет процесс разработки и сборки механизма. В качестве управляющего устройства используется Arduino Nano, размеры которого позволяют расположить его на руке робота, а значит устройство не будет слишком громоздким и никак не помешает функционированию робота. В перспективе данный механизм будет функционировать не только с роботом модели DARwIn-OP2, но и с другими аналогичными, то есть будет универсальным устройством.

Процесс разработки можно разбить на следующие этапы:

– Выбор оптимальной конструкции;

– Разработка схемы подключения микроконтроллера и сервоприводов;

– Моделирование деталей устройства захвата;

– Печать составляющих при помощи 3D принтера;

– Сборка компонентов устройства;

– Крепление к руке робота.

Программное обеспечение

Выбор производился между тремя ПО: «SketchUp», «Fusion360», «SOLIDWORKS». В ходе обзора был выбран «SOLIDWORKS» [2], так как он имеет те, ключевые особенности, которые были необходимы для процесса моделирования в нашем проекте: удобные настраиваемые среда проектирования, удобный пользовательский интерфейс, подробная документация на русском языке, возможность сохранения деталей в формате пожерживаемым 3D-принтером. Учитывая это и интуитивно понятные принципы проектирования в «SOLIDWORKS» требуется совсем не много времени на освоение программы и получение конечной конструкторской документации. Стоит отметить, что первые версии захватов были спроектированы в других средах проектирования, для более глубокого изучения возможностей всех рассматриваемых сред твердотельного проектирования.

3D-модели прототипов устройств захвата

На Рис.1 изображен первый прототип конструкции. Моделирование производилось в программе Fusion360, в основе использовался сервопривод MG-995. Данная конструкция не нашла дальнейшего применения из-за сложности 3D-печати ее компонентов. Также стоит отметить, что ввиду своих размеров распечатанные на 3D принтере шестеренки, задействованные в механизме, будут быстро изнашиваться и выходить из строя.

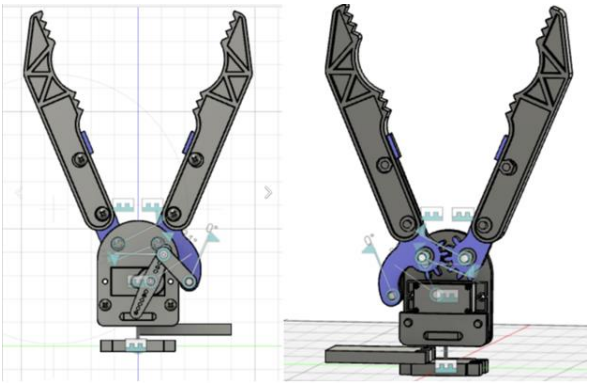


Рис.1. Первый прототип захвата

На Рис.2 изображен второй прототип конструкции. Моделирование производилось в программе SketchUp, в основе конструкции использовался сервопривод RSD5115. В ходе тестирования разработанного прототипа было выяснено, что элементы захвата манипулятора не достаточно и их толщину нужно нарастить.

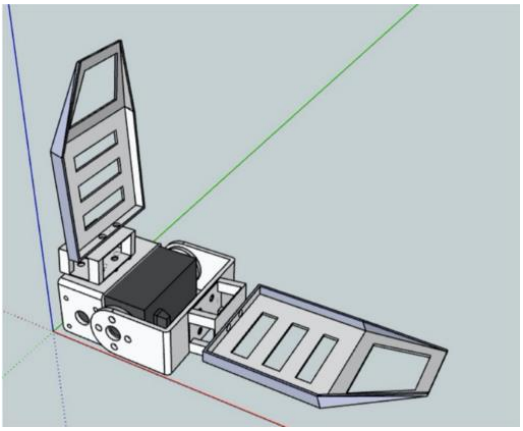


Рис.2. Второй прототип захвата

На Рис.3 изображена модификация клешни для второго прототипа захвата. Моделирование производилось в программе SOLIDWORKS. Было произведено утолщение по всему периметру клешни.

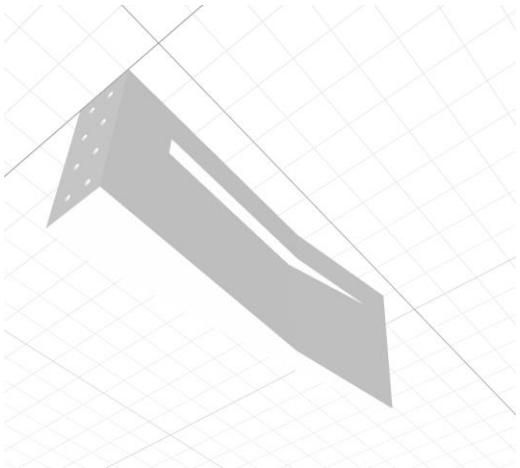


Рис.3. Модификация клешни (SOLIDWORKS)

Выбор сервопривода

Изначально в качестве сервопривода рассматривали две модели: MG-995 и RSD5115 [3], но было решено использовать RSD5115. Данный сервопривод обладает высоким крутящим моментом, чем MG-995. Второй важной характеристикой при выборе сервопривода была скорость вращения. Это величина, показывающая, с какой максимальной угловой скоростью может вращаться привод. RSD5115

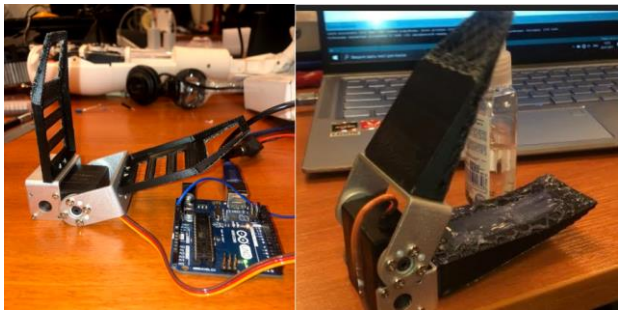


Рис.4. Устройство захвата

Способ подключения к компьютеру

Составляющие робота связаны с использованием протокола RS485 [4]. К одноплатному компьютеру подключён контроллер, с помощью которого передаются команды на сервоприводы. Они же в свою очередь связаны последовательно друг с другом. Разрабатываемый способ заключается в том, чтобы с помощью Arduino Nano и протокола RS485, подключится к крайнему сервоприводу на руке робота, для того чтобы наше устройство воспринималось, как еще один оригинальный сервомотор. Питание устройства будет производиться от основного аккумулятора.

Заключение

Разрабатываемое устройство должно решить задачу взаимодействия робота с физическими объектами, а также облегчить дальнейшее подключение подобных устройств к роботизированным системам.

На данный момент реализовано несколько вариантов устройств захвата. Планируется усовершенствование конструкции для более детального взаимодействия с физическими объектам, а также разработка нового механизма для расширения способностей робота.

Список литературы:

1. Сайт компании ROBOTIS [Электронный ресурс]. URL: http://en.robotis.com/
2. Программный комплекс «SOLIDWORKS» [Электронный ресурс]. URL: https://www.solidworks.com/ru/support/community-download#no-back
3. Сервопривод RDS5115 [Электронный ресурс]. URL: https://amperkot.ru/products/servoprivod_rds3115mg_270_gradusov_15kg/24329120.html
4. Передача данных по RS485 [Электронный ресурс]. URL: https://robotclass.ru/tutorials/_arduino-rs485/

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДХОДОВ В РАЗРАБОТКЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ВНУТРЕННИМИ СЕРВИСАМИ И ОБОРУДОВАНИЕМ УНИВЕРСИТЕТА

А.Н. Куркин, М.В. Николенко, Т.А. Фёдоров
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается подход к разработке и тестированию клиент-серверного приложения для мобильных устройств под работой операционных систем iOS и Android и обслуживающего сервера на базе ядра Linux. Данное исследование проводится в рамках разработки единого приложения для взаимодействия с внутренними цифровыми сервисами МИЭМ НИУ ВШЭ.

Введение

В условиях создания большого количества электронных сервисов внутри института актуальной задачей стало появление единой точки входа для удобной работы с ними. Одним из таких решений является разработка модульного клиент-серверного мобильного приложения, которое будет иметь возможность дополняться новыми модулями для работы с новыми сервисами, поддерживающие общую аутентификации. Благодаря чему повысится комфорт конечного пользователя данных сервисов.

Архитектура клиентского приложения

Для обеспечения работы клиент-серверной архитектуры в основе заложено понятие REST API [1], в котором посредством HTTP-запросов происходят обращения к различным веб-сервисам. В связи с потребностью доступа к оборудованию в закрытой от внешнего доступа сети, а

также для уменьшения размеров мобильного приложения, в качестве прокси выступает сервер, имеющий доступ к установленным в учебных помещениях камерам и студийному программному микшеру vMix, благодаря установленным и настроенным на них OpenVPN. На рис. 1 приведена общая схема архитектуры проекта.

При разработке возникла потребность в создании выделенного Kurento [2] медиа-сервера, с помощью которого осуществляется передача и преобразование протокола из RTSP в WebRTC видеопотока с камер.

С остальными сервисами, как Кабинет проектной работы МИЭМ (веб-сервис ведение проектной деятельности) и NVR (веб-сервис для автоматической съёмки, записи и компоновки занятий из аудиторий, оснащенных камера), клиентское приложение взаимодействует посредством собственных открытых API.

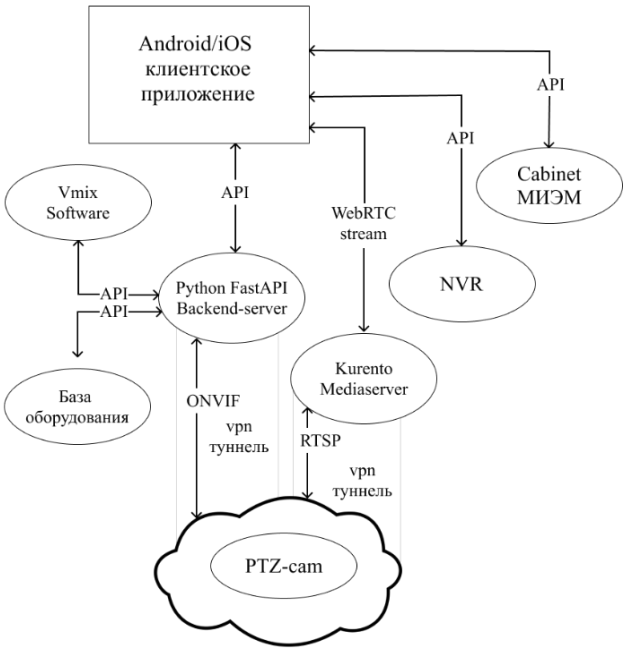


Рис.1. Архитектура проекта

Клиентское приложение было разработано для операционных систем: iOS и Android. Оба приложения строятся на архитектуре клиентского приложения, которое практически не несёт в себе бизнес-логики. Все решения принимаются на стороне сервера. Это обеспечивает достаточную безопасность сервиса, так как валидация токена от любого запроса будет осуществлена сервером.

Приложение имеет несколько экранов, которые переключаются кнопками в нижней навигационной панели. Так же имеется дополнительное меню для менее значимых экранов. В приложении реализован основной навигационный скелет, в который подставляется какой-либо экран. Такой подход позволяет быстро разрабатывать новые модули без привязки друг к другу.

На экране управления камерой имеется видео-превью. Оно реализовано при помощи системных WebView (для iOS – WKWebView, для Android – webkit.WebView). Такой подход позволяет упростить разработку, относительно использования нативных библиотек для работы с WebRTC. В WebView загружается HTML-страница с JavaScript, которая позволяют установить соединение с медиа-сервером и отобразить видеопоток. Этот HTML-файл также занимает гораздо меньше места, чем нативная библиотека, что также позволяет еще и оптимизировать размер приложения.

При разработке приложения для iOS был использован язык программирования Swift, как более современный, удобный и безопасный аналог Objective-C [3]. Для графического интерфейса использован системный фреймворк UIKit. Более современный SwiftUI был отклонен по причине того, что он не поддерживается iOS 12, которая до сих пор установлена на большом количестве девайсов. Для хранения данных приложения используются стандартные UserDefaults для не конфиденциальных данных и Keychain для конфиденциальных. Для более комфортного взаимодействия с сетью используется сторонний фреймворк Alamofire.

При разработке приложения для Android был использован язык Kotlin, так как он удобнее и предоставляет больше функциональности чем Java. Графический интерфейс разработан с использованием системных компонентов Material Components. Данные хранятся в SharedPreferences. Сетевое взаимодействие реализовано посредством сторонней библиотеки OkHTTP, так как она более удобна, чем системные средства.

Архитектура серверов

Сервер делится на две части. Первая отвечает за авторизацию и дальнейшую верификацию запросов, приходящих для управления камерами или vMix. Второй отвечает за передачу видеопотока с камер по WebRTC протоколу вместо RTSP-протокола.

При выборе стека технологий для реализации первого сервера было дано предпочтение стеку Python и СУБД PostgreSQL. Сервер работает под ОС Ubuntu 18.04 или старше. На нём запускается скрипты, написанные на Python 3.7 или старше. Данные о пользователях, оборудования (камеры и микшеры) и логах взаимодействия с оборудованием хранятся на запущенном сервере PostgreSQL.

Язык Python был выбран для решения задач благодаря его универсальности [5], низкого порога входа для будущих участников, которые смогут поддерживать и развивать проект. Уже существующая библиотека для управления камерами по протоколу ONVIF (протокол для совместной работы IP камер) также была написана на Python. Из широкого списка вариантов веб-фреймворков для реализации REST API был выбран FastAPI, в связи с его поддержкой нативной асинхронности (asyncio) [6], подробной документации для разработки, автоматической генерации документации для API посредством Swagger и ReDoc, а также скорости работы, по сравнению с некоторыми другими популярными фреймворками на языке Python.

Предпочтение PostgresSQL было дано в связи с его возможностями хранить различные типы данных и создавать собственные [7], также манипулирование данными сосредоточено на своем собственном процессе-сервере и СУБД не приходится контролировать многочисленных клиентов, получающих доступ в совместно используемый каталог сервера, также PostgreSQL может поддерживать целостность данных даже при одновременном доступе большого количества пользователей.

Для удобства и автоматизации процессов запуска и обновления программного обеспечения, весь процесс запускается в контейнере с помощью технологий развёртывания и управления Docker [8]. Общая схема взаимодействия серверных процессов представлена на рис. 2.

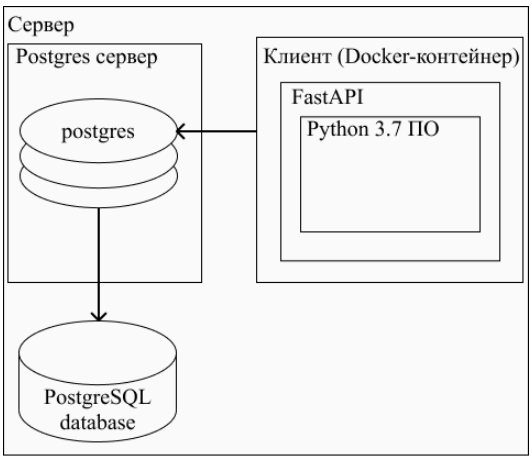


Рис.2. Внутреннее устройство Python FastAPI сервера

Медиа-сервер для передачи видеопотока от камер до мобильного клиента реализован при помощи Kurento медиа-сервера, который управляется с помощью специального Kurento протокола.

Данный медиа-сервер — это мощный инструмент для создания сложных WebRTC приложений. Именно он был выбран для реализации мультимедийной части проекта, так как WebRTC технология имеет одну из наименьших задержек [9] при передаче потоковых данных среди себе подобных и позволяет передавать потоковые данные в веб-браузеры, что может быть полезным при дальнейшей разработке.

Для управления медиа-сервером был выбран фреймворк Spring на языке Java, так как он имеет уже готовый модуль для составления и отправки команд по Kurento-протоколу.

Итоговая схема взаимодействия медиа сервера с клиентом отображена на Рис. 3

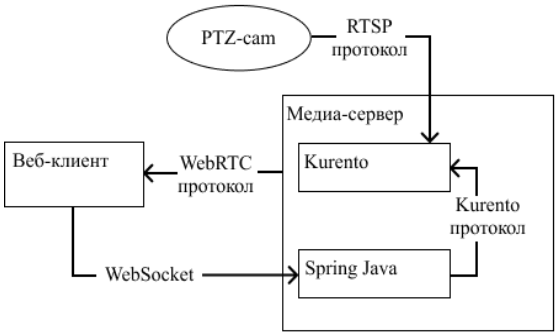


Рис.3. Внутреннее устройство Kurento медиа-сервера

Мобильный клиент присылает на Spring-сервер по установившемуся WebSocket-соединению запрос на получение видеопотока с камеры, где камера идентифицируется ссылкой на её RTSP-поток. Spring-сервер формирует команду для медиа-сервера на создание объекта pipeline, который принимает данные с по RTSP-протоколу с камеры и отдаёт его через WebRTC мобильному клиенту. В случае, если RTSP-поток камеры недоступен, Spring-сервер вернет клиенту сообщение об ошибке.

Заключение

Таким образом удалось создать проект на клиент-серверной архитектуре с применением широкого спектра технологий. В процессе, сталкиваясь с различными тупиковыми вариантами, удалось найти и применить на практике пригодные для реализации решения поставленных задач. Был налажен процесс взаимодействия многих различных систем. Созданы условия для дальнейшего удобного расширения функций и интеграции других проектов.

Список литературы:

1. Patni, S. Pro RESTful APIs. / S. Patni // Springer Nature Customer Service Center LLC, 2017. — С. 11-31. — ISBN 978-1484226643.

2. Kurento: The Swiss Army Knife of WebRTC Media Servers. / B. Garcia, L. Lopez-Fernandez, M. Gallego, F. Gortazar // IEEE Communications Standards Magazine. — 2017. — С. 44-51.

3. Garrett, W. The Future of iOS Development: Evaluating the Swift Programming Language. / W. Garrett // CMC Senior Theses, 2015. — 17 с.

4. Schwermer, P. Performance Evaluation of Kotlin and Java on Android Runtime. / P. Schwermer. // KTH Royal Institute of Technology School of Electrical Engineering and Computer Science. — Stockholm, 2018. — С. 53-68.

5. Прохоренок, Н.А. Python 3 Самое необходимое / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов // — СПб Санкт-Петербург «БХВ-Петербург». — 2016. — 461 с. — ISBN 978-5-9775-3994-4.

6. Gorelick, M. High Performance Python: Practical Performant Programming for Humans / I. Ozsvald, M. Gorelick. — 2020. — С. 218-225. — ISBN 978-1492055020.

7. Juba, S. Learning PostgreSQL 11 / S. Juba, A. Volkov. Packt Publishing, — 2019. — С. 303-327. — ISBN 978-1789535464.

8. Merkel, D. Docker: Lightweight Linux Containers for Consistent Development and Deployment / D. Merkel // — 2014. — С. 4-5.

9. Santos-González, I. Implementation and Analysis of Real-Time Streaming Protocols. / I. Santos-González, A. Rivero-García, J. Molina-Gil, P. Caballero-Gil // Sensors. — 2017. — С. 9-10.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА В МЕТОДИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РТУ ДЛЯ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ

А.Н. Зотов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», аспирантская школа по техническим наукам, МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Обсуждаются недостатки современного алгоритма проектирования РТУ для систем лазерной дальнометрии, предлагается использование экспертной системы как один из инструментов повышения качества проектирования. Рассматриваются проблемы создания такой системы для применения в методике проектирования РТУ систем лазерной дальнометрии.

Введение

Постоянный рост уровня технологий приводит к увеличению функционала радиотехнических устройств (РТУ) и, соответственно, к усложнению их структуры. К каждому новому поколению аппаратуры выдвигаются все большие требования к их характеристикам и параметрам, в том числе и надежностным. Технологии проникают во все большее количество сфер деятельности человека, позволяя автоматизировать или в принципе выполнять ту или иную деятельность. Не исключением является и сфера лазерной дальнометрии, аппаратура которой позволяет повысить качество применения систем спутниковой навигации.

Системы глобальной спутниковой навигации показали свою пригодность для выполнения множества задач: геодезия, навигация, спутниковый мониторинг транспорта, сотовая связь, а их применение в военной сфере сложно недооценить. Одной из главных характеристик любой спутниковой системы навигации является ее точность. Для достижения высокой точности геопозиционирования требуется точное геодезическое, эфемеридное и частотно-временное обеспечения системы спутниковой навигации, и для обеспечения этих параметров нет системы лучше лазерного дальномера. Лазерный дальномер позволяет как и измерять расстояние до спутника, так и синхронизировать или передавать точное время на спутник. Для обеспечения высокой точности геопозиционирования к современным системам лазерной дальнометрии выдвигаются все более жесткие требования по точности измерений дальности и регистрации времени. Кроме того, частые неблагоприятные погодные условия и жесткое расписание работы со спутниками делает каждый сеанс измерений дальности ответственной задачей, и отказ аппаратуры перед или во время сеанса недопустим. Быстрый ремонт или замена неисправной составной части (СЧ) также не гарантирует выполнение измерений, т. к. длительность сеанса измерений зачастую ограничивается минутами. Соответственно, для работы в таких условиях требуется сложная, высокоточная, надежная и отказоустойчивая аппаратура.

Развитие технологий преобразило процесс проектирования на предприятиях. Появление систем автоматизированного проектирования (САПР), CAE, CAD, CAM систем, PLM и PDM систем, а также других автоматизированных средств, позволило упростить и ускорить проектирование РТУ и других изделий. Предприятия стремятся построить оптимальный и эффективный жизненный цикл изделия, от ТЗ до поддержки в течение всего срока службы устройства. Создание такого цикла, результатом выполнения которого является быстрая и дешевая разработка качественного изделия, является целью любого производственного предприятия.

Современный инженер-проектировщик должен обладать глубокими знаниями из многих наук, имеющих отношение к процессу проектирования, а также знаниями, специфичными в предметной области работы предприятия. Обилие различных современных программных средств позволило упростить и автоматизировать процесс разработки, но также и привело к проблеме узкой специализации инженеров. Инженеру, а особенно начинающему, для выполнения его прямых обязанностей достаточно знаний в его области, а зачастую вообще простого навыка работы с какой-либо программой. Только большой опыт позволит инженеру проектировать с учетом влияния, например, тепла, вибраций, радиации, помех, а также с учетом обеспечения надежностных характеристик. Хотя эти параметры так или иначе проверяются и контролируются другими специалистами из других отделов на более поздних этапах проектирования, обеспечение надежностных характеристик на ранних этапах позволит выделить больше времени на доводку изделия, что позволит создавать более надежные изделия. Отсутствие у разработчика необходимых знаний в сфере надёжности приводит к затормаживанию процесса проектирования, т.к. расчет параметров надёжности обычно производится специалистами области надёжности, находящимися в другом отделе, и для выполнения моделирования надежности разработчику необходимо передать большое количество информации о разрабатываемом изделии в отдел надежности. Эта разобщённость, а также недооценённость требуемого уровня качества и количества исходных данных для расчета надёжности, приводят к увеличению дороговизны, сроков разработки и негативно сказываются на надёжности финального устройства [1,2].

Анализ журнала эксплуатации станции лазерной дальнометрии показал, что около трети всех отказов являются конструктивными. Для решения этой проблемы в [3] предлагается усовершенствовать современный метод проектирования. Предложенное улучшение направлено на то, чтобы добиться повышения качества проектирования путем введения некоторого уровня автоматизации в процесс управления характеристиками надежности. Наиболее подходящим для этого инструментом является экспертная система.

Использование экспертных систем в инженерном процессе.

Экспертные системы нашли применение во многих областях [4]. ЭС хранят в себе формализованные знания о какой-либо предметной области и могут делать обоснованные выводы на основе информации, введенной пользователем в процессе работы.

Для того, чтобы ЭС имела возможность давать рекомендации, которые улучшили бы конструкцию с точки зрения надежности, база знаний ЭС должна состоять из данных, относящихся к системе, для которой проектируется оборудование. Например, технические условия для какого-то спутника будут отличаться от технических условий для МРТ сканера. Несомненно, есть сходство, оба устройства используются электрические компоненты, они могут даже иметь общие компоненты, и процессы внутри этих компонентов и между ними хорошо известны, но структура, условия работы и многое другое различны. И эти различия делают невозможным использование одной экспертной системы для всех целей и задач. Чем больше нюансов знает ЭС, тем ближе она будет к предоставлению значимого и актуального решения [5].

Задачу автоматизации расчета параметров надежности взяли на себя различные программные комплексы, такие как Windchill Risk and Reliability, Lambda Predict, iQT или АСОНИКА. Эти комплексы позволяют автоматически производить расчеты. Основным недостатком этих систем является потребность в большом количестве исходных расчетных данных, что несколько усложняет процесс прогнозирования надежности [1,2,3].

Разработка ЭС для данной предметной области требует решения ряда проблем.

Поскольку экспертная система должна давать рекомендации по повышению надежности РТУ, у нее должен быть способ оценки их показателей надежности. На этапе разработки есть несколько способов повысить надежность:

- облегчение режимов работы компонентов;
- замена электрического компонента на более надежный;
- резервирование элементов.

А для того, чтобы экспертная система могла выполнять большую часть вычислений, необходимых для выбора наиболее подходящего метода повышения надежности, наиболее разумным способом действий является присоединение экспертной системы к программному пакету для прогнозирования надежности. Таким образом, ЭС получит доступ ко всем математическим моделям и базам данных характеристик электрических компонентов, тем самым увеличив количество инструментов и информации, доступных для использования в процессе синтеза рекомендации. Хотя некоторые математические модели обязательно должны быть включены в ЭС, например, модели для расчета теплового излучения и теплопередачи.

Экспертная система также должна иметь графический пользовательский интерфейс для взаимодействия с ней. ЭС должен содержать формализованную структуру РТУ системы лазерной дальнометрии в той или иной форме. И

чем больше деталей ЭС содержит в своей базе знаний, тем точнее будут ее прогнозы.

Таким образом, для качественного представления реального оборудования графический интерфейс пользователя должен предлагать удобные элементы управления для ввода информации. Приобретение знаний также должно включать в себя прошлые отказы оборудования. Учитывая это, подходящим инструментом для построения экспертной системы является CLIPS. Для создания экспертных систем CLIPS использует две основные конструкции: правила и факты. Факты могут быть как упорядоченными, так и неупорядоченными. Мощный инструмент создания правил включает в себя возможность устанавливать приоритеты правил. CLIPS позволяет взаимодействовать с несколькими традиционными языками программирования, такими как C++, C#, Java и т. д. [6]. Хотя его механизм вывода использует прямой вывод, можно реализовать алгоритм обратного вывода. CLIPS в сочетании с графическим интерфейсом пользователя и пакетом программного обеспечения для прогнозирования надежности отвечает всем требованиям инструмента, который позволит инженерам проектировать надежное оборудование.

Разработка ЭС

Система расчета надежности АСОНИКА-К-СЧ была выбрана в качестве программного пакета для прогнозирования надежности, поскольку она позволяет использовать свой механизм расчета надежности и базы данных электрических компонентов через интерфейс прикладного программирования (API). Графический интерфейс пользователя построен с использованием графической подсистемы Windows Presentation Foundation (WPF).

Полученные от экспертов знания были формализованы и внесены в базу знаний. Полная структура системы лазерной дальнометрии, подсистемы, модули, отправляемые и получаемые сигналы, проекты расчета надежности, прошлые отказы и их причины были введены в экспертную систему для заполнения ее базы знаний. Данные были собраны у экспертов-людей, которые работали в этой области в течение значительного времени. Полученные данные были затем классифицированы, формализованы и введены в базу знаний инженером по знаниям. Поскольку CLIPS использует производственную модель для хранения правил, все данные нужно было преобразовать в структуру «IF => THEN».

В графическом интерфейсе экспертной системы используются «блоки» для представления элементов системы. Блоки расположены в древовидной форме, от верхнего до нижнего уровней абстракции (от стоек до электронных модулей 1-го уровня), поэтому каждый элемент имеет родительский и дочерние блоки. Блоки имеют набор свойств, которые содержат информацию об используемых им сигналах, ошибках и отказах, которые были в прошлом, и другие соответствующие данные. Эта структура преобразуется в код CLIPS. Поскольку по умолчанию CLIPS использует алгоритм рассуждений с прямым выводом, можно только прогнозировать сбои на основе расчета надежности подмодуля и предыдущих сбоев, но с включением алгоритма обратной цепочки позволяет ЭС выполнить обратную операцию и найти причину уже произошедшей неисправности.

После расчета надежности пользователь может запросить анализ результатов. Экспертная система затем начинает оценивать возможные изменения конструкции. Она пересчитывает показатели надежности с использованием всех значений ранжированных коэффициентов и находит, какое изменение проще всего реализовать, но которое окажет наибольшее влияние. Например, если расчет показал, что регулятор напряжения D1 имеет высокое значение интенсивности отказов, то экспертная система может предложить снизить температуру D1 на определенное количество градусов. Но если сложность понижения температуры слишком высока, например температура компонента составляет 32 °C, а температура окружающей среды - 30 °C, ЭС поставит это решение ниже в списке ранжированных решений. В конце этот список предоставляется пользователю, и он может выбрать из него подходящее решение.

Экспертная система также позволяет отслеживать отказы подсистем или модулей до компонентов, которые, возможно, вышли из строя и остановили работу системы. Это делается путем объединения данных из предыдущих отказов, информации о взаимосвязи подмодулей и данных прогноза надежности (например, электрические компоненты с самой высокой интенсивностью отказов могли вызвать отказ). При этом пользователь выбирает неисправный блок в древовидной структуре модулей и отвечает на вопросы экспертной системы ответами «да» или «нет». ЭС попросит пользователя выполнить несколько реальных проверок (например, проверку уровня напряжения электрического сигнала). Состояние операции и текущий сеанс можно сохранить, загрузить и продолжить позже.

Одним из наиболее важных аспектов использования экспертной системы является то, что она может отобразить логическую цепочку синтеза решения, например, какие и в каком порядке были задействованы правила и какие факты были синтезированы в процессе. Это повышает уровень доверия к экспертной системе. Для проверки правильности работы системы, процесс рассуждений и выводы ЭС сравнивались с выводами, сделанными экспертом-человеком, когда он сталкивался с той же проблемой.

Заключение

Использование инженером экспертной системы в качестве инструмента для контроля надежности оборудования на этапе проектирования улучшит конечные характеристики надежности, поскольку сведет к минимуму количество проектных отказов системы. Экспертная система должна использовать набор внешних инструментов, чтобы давать точные прогнозы в области расчета надежности. Объединение ЭС с программным пакетом для прогнозирования надежности дает преимущества обоим: экспертная система получает доступ к базе данных электрических компонентов и математическим моделям расчета надежности, а программное обеспечение для прогнозирования надежности теперь может предоставить четкие и краткие рекомендации по улучшению характеристик надежности. Разработанная экспертная система вместе со средствами преобразования данных [3] органично интегрируется в современный процесс проектирования и позволяет добиться лучшего качества оборудования за счет умеренного изменения инженерного алгоритма.

Список литературы:

1. S. Pokorni, "Problems of reliability prediction of electronic equipment," 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH, 2014, C. 835-838.

2. Жаднов В. В., Жаднов И. В., Полесский С. Н. Современные проблемы автоматизации расчётов надёжности / Надёжность. 2007. № 2. С. 3-12.

3. Жаднов В. В., Зотов А. Н. Импорт данных из САПР Altium Designer в систему АСОНИКА-К-СЧ для автоматизации исследований надежности радиоэлектронных средств // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2020. Т. 17. № 6. С. 31-41

4. W.P. Wagner, "Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies," Expert Systems with Applications, Volume 76, 2017, C. 85-96

5. Principles of Expert Systems / Peter J.F. Lucas, Linda C. van der Gaag / Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam / 2004.

6. J.C. Giarratano, G.D. Riley "Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition," I.D. Williams / 2007

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДКЛЮЧЕННОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

В.Г. Степанянц
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе проводится анализ современных достижений и проблем в области интеллектуальных транспортных систем и систем подключенного транспорта и проблем, требующих решения для их дальнейшего развития. Системы подключенного транспорта основываются на возможности близкорасположенных транспортных средств обмениваться между собой информацией о движении по беспроводным каналам связи. Ожидается, что такие системы станут следующим этапом развития в транспортной сфере. По результатам анализа определяется необходимость и возможность при моделировании использовать физическое описание распространения сигналов, передаваемых между транспортными средствами. Данное улучшение направлено на облегчение проектирования и тестирования систем подключенного транспорта.

Введение

Автомобили и прочие транспортные средства являются неотъемлемой частью современной жизни. В процессе урбанизации городов транспортные системы со временем оказываются все более загруженными и требуют обновления подходов к управлению и проектированию для сокращения временных и экономических потерь, а также уменьшению загрязнения окружающей среды выхлопными газами [1].

Целью данной работы является проведение анализа современных достижений в области технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и систем подключенного транспорта. Анализ проводится с целью определить актуальность систем подключенного транспорта в развитии транспортных систем в ближайшем будущем.

Также проводится анализ проблем, возникающих при использовании, проектировании и тестировании устройств связи на подключенном транспорте, и выявляется необходимость и возможность совместного использования поведенческих моделей и физического моделирования каналов передачи данных таких систем для решения описанных проблем.

В дальнейших разделах будут представлены:

- обзор различных технологий ИТС и анализ их влияния на характеристики транспортных систем;
- обзор технологий подключенного транспорта и анализ их влияния на характеристики транспортных систем;
- обзор и анализ проблем, связанных технологиями систем подключенного транспорта и их проектированием.

Технологии ИТС и их влияние на характеристики транспортных систем

К технологиям ИТС относятся различные системы сбора, обработки и обмена информацией, направленные на оптимизацию управления транспортной системой в целом (макроуровень) или отдельными транспортными средствами или участками дороги (микроуровень).

При управлении на макроуровне (на уровне города или отдельной его части) используется сбор информации о скорости на определенных участках дороги, их пропускной способности и т.д. Данная информация обрабатывается с помощью математических моделей и позволяет либо сразу скорректировать работу транспортной сети, например, управляя переключением светофоров, либо принять решение об изменении топологии транспортной сети в будущем. В частности, моделирование может предсказать парадокс Браеса, когда перекрытие одной из дорог в сети может сократить среднее время перемещения из точки А в точку Б благодаря более равномерному распределению водителей по другим путям [2].

Для управления на микроуровне используются системы, встроенные в каждый или в некоторые автомобили. Например, в работе [3] представлена идея использования нескольких автомобилей, оборудованных системой автоматического управления, для регулирования общей пропускной способности прямого участка дороги. Для исследования подобных способов управления трафиком и влияния распространенности беспилотного и подключенного транспорта на характеристики транспортных систем используется эмпирическое моделирование рассматриваемых ситуаций с помощью моделей, описывающих поведение каждого транспортного средства [4,5].

Системы подключенного транспорта

Подключенным транспортом называют транспортные средства, оборудованные системами беспроводной связи, позволяющие им взаимодействовать с другими подобными объектами, например, другими автомобилями, дорожной инфраструктурой или ретрансляторами, связывающими локальную систему с общей сетью. Дальность прямой связи между двумя устройствами для таких систем на открытой местности может достигать 2 км.

Ожидается, что развитие технологий подключенного транспорта окажет значительное влияние на то, какими будут транспортные системы в будущем. Даже без использования информации, передаваемой подключенной дорожной инфраструктурой, наличие связи между транспортными средствами поможет заранее предупреждать водителей об опасности столкновения, а также подсказывать им оптимальные варианты маневрирования в плотном автомобильном потоке [6].

Данные системы позволяют лучше информировать участников дорожного движения о происходящем, координировать их движение и сообщать об опасных ситуациях на дорогах [7,8].

Для расчета влияния подключенного транспорта на характеристики транспортной сети используются эмпирические модели, описывающие поведение автоматической системы управления или водителя в случае, когда им доступна информация, передаваемая другими автомобилями. При этом в работе [9] показано, что существующие на данный момент модели не позволяют корректно описывать взаимодействие между беспилотными, подключенными и обычными (управляемыми водителями без помощи оборудования системы подключенного транспорта) транспортными средствами.

В данной работе также рассматривается необходимость и возможность включения в модель, описывающую систему подключенного транспорта, уточненной информации о физическом распространении сигналов, передаваемых между транспортными средствами.

Проблемы, связанные с проектированием систем подключенного транспорта

В работе [10] показано, что наиболее сложной проблемой, которую приходится решать при проектировании систем подключенного транспорта, является учет влияния эффектов окружающей среды и ее объектов на распространение сигналов по беспроводным каналам связи.

На распространение сигналов влияют в том числе препятствия, например, крупные транспортные средства [11], погодные условия и доплеровское растяжение, возникающее из-за того, что относительное расстояние между двумя транспортными средствами, обменивающимися информацией, может быстро изменяться. Роль в создании помех для передаваемых сигналов также играет интерференция, возникающая в случае передачи сигналов одновременно большим количеством транспортных средств.

Точное моделирование эффектов окружающей среды необходимо для создания надежных систем связи для подключенного транспорта. Для этого также необходимо разрабатывать более точные модели для описания каналов связи [12,13], учитывать используемые протоколы связи и оборудование [10,12], а также объекты окружающей среды, которые могут поглощать или отражать распространяющиеся сигналы [11,14].

На основе определенных в работе эффектов, влияющих на распространение сигналов между объектами систем подключенного транспорта, предложено при моделировании совместить модели, описывающие движение транспорта, оборудованного системами связи и обладающего соответствующими особенностями поведения на дороге, и модели, описывающие распространение электромагнитных волн с учетом влияния на них различных эффектов окружающей среды и используемого оборудования и протоколов.

Заключение

В данной работе проведен обзор технологий ИТС и технологий подключенного транспорта. Также выделены некоторые проблемы, связанные с проектированием систем подключенного транспорта.

В качестве решения предложено при моделировании совместить модели, описывающие поведение транспорта, и модели, описывающие распространение электромагнитных волн с учетом влияния на них различных эффектов окружающей среды, используемого оборудования и протоколов.

Полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки моделей и программного обеспечения, предназначенного для описания работы систем подключенного транспорта и облегчения их проектирования.

Список литературы:

1.Schrank D., Eisele B., Lomax T. TTI's 2012 Urban Mobility Report. Texas, 2012.

2.Braess D., Nagurney A., Wakolbinger T. On a paradox of traffic planning // Transp. Sci. INFORMS Inst. for Operations Res. and the Management Sciences, 2005. Vol. 39, No. 4. P. 446–450.

3.Goldental A., Kanter I. A minority of self-organizing autonomous vehicles significantly increase freeway traffic flow // J. Phys. A Math. Theor. IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 53, No. 41. P. 1–11.

4.He S. et al. Freeway Traffic Speed Estimation of Mixed Traffic Using Data from Connected and Autonomous Vehicles with a Low Penetration Rate // J. Adv. Transp. Hindawi Limited, 2020. Vol. 2020. P. 1–13.

5.Ding J. et al. Penetration effect of connected and automated vehicles on cooperative on-ramp merging // IET Intell. Transp. Syst. Institution of Engineering and Technology, 2020. Vol. 14, No. 1. P. 56–64.

6.Bai F., Krishnamachari B. Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric VANETs // IEEE Commun. Mag. 2010. Vol. 48, No. 5. P. 138–146.

7.Anda J. et al. VGrid: Vehicular adhoc networking and computing grid for intelligent traffic control // IEEE Vehicular Technology Conference. Stockholm: IEEE, 2005. Vol. 61, No. 5. P. 2905–2909.

8.Olaverri-Monreal C. et al. The see-through system: A VANET-enabled assistant for overtaking maneuvers // IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings. La Jolla: IEEE, 2010. P. 123–128.

9.Talebpour A., Mahmassani H.S. Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput // Transp. Res. Part C Emerg. Technol. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 71. P. 143–163.

10. Lu N. et al. Connected Vehicles: Solutions and Challenges // IEEE Internet Things J. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014. Vol. 1, No. 4. P. 289–299.

11. Li G. et al. Connected Vehicle Channels: On the Consideration of Electromagnetic Scattering From Local Scatterers // IEEE Trans. Veh. Technol. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. Vol. 67, No. 9. P. 7910–7923.

12. Matolak D.W. Channel Modeling for Vehicle-To-Vehicle Communications // IEEE Commun. Mag. 2008. Vol. 46, No. 5. P. 76–83.

13. Jiang T. et al. Channel Modeling and Inter-Carrier Interference Analysis for V2V Communication Systems in Frequency-Dispersive Channels // Mob. Networks Appl. Springer, 2010. Vol. 15. P. 4–12.

14. Reichardt L. et al. Virtual Drive: A Complete V2X Communication and Radar System Simulator for Optimization of Multiple Antenna Systems // Proc. IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2011. Vol. 99, No. 7. P. 1295–1310.

ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ КАМНЕЙ НА КОНВЕЙЕРЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

М.Ю. Румянцева
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования

Аннотация

В данной работе рассматривается автоматизация сбора данных о процессе автоматизации гранулометрического анализа с помощью методов компьютерного зрения. Рассмотрен базовый метод с помощью классических алгоритмом компьютерного зрения, с помощью которого подготовлена обучающая выборка для нейросетевого метода.

Введение

Гранулометрический анализ – процесс анализа характеристик руды по распределению крупности, характеризующуюся в процентных выходах от массы или количества кусков руды.

Гранулометрический состав – важный физический показатель качества руды. Состав руды влияет на дальнейшее дробление и измельчение, так как при преобладании крупных камней мельницу необходимо убыстрять, при преобладании мелких – замедлять для повышения эффективности работы агрегата.

В настоящий момент в ряде предприятиях переработки руды управление мельницей для дробления реализовано за счёт ситового анализа: берётся проба в 1 $м^3$ из контейнера, просеивается через несколько сит с разными размерами ячеек. Точность данного метода низкая, так как он работает на допущении, что распределение камней в пробе и кон-

тейнере совпадают. Дорогостоящими методами, требующими дополнительного оборудования, являются инфракрасная трёхмерная съемка, трёхмерное лазерное сканирование, флуоресцентный рентгенорадиометрический анализ. Продукты для гранулометрического анализа конфигурируются для конкретного производства в связи с отличающимися условиями. Чаще всего предприятия предлагается готовый аппаратно-программный комплекс, сконфигурированный под конкретное предприятие, однако, это не всегда допустимо[1]. В данной работе исследуется возможность автоматизации построения распределения камней по размеру с помощью применения компьютерного зрения к существующим данным, которым является видео с конвейера.

Основная проблема исследования – определение камней на конвейере. Для решения этой задачи необходимо произвести сегментацию изображения, выделив пиксели, принадлежащие камням или фону (к фону так же относятся элементы конвейера). Существуют два ключевых подхода к сегментации: на основе выделения границ и на основе метода выращивания регионов. В качестве базового метода выбран метод водораздела.

Базовый метод

Простые методы не могут полностью решить задачу детектирования камней на плоскости, однако, их использование эффективно в качестве этапов сегментации. Метод водораздела [2] относится к методам выращивания регионов и является одним из самых популярных и эффективных методов сегментации.

Суть метода водораздела заключается в обнаружении маркеров [3], которые будут являться точками локального минимума, точек, находящихся на возвышенности и точек, находящихся на склоне, с которых вода разных цветов будет сливаться к центру водоёма.

a. В местах локального минимума образуются отверстия, через которые вода начинает заполнять поверхность.

b. Если вода с двух сторон возвышенности готова слиться в один бассейн, то необходимо установит перегородку между бассейнами.

c. Когда вода заполнит всё изображение, то алгоритм можно остановить.

Использование водораздела часто приводит к сильной сегментации, поэтому чаще всего используют водораздел на основе маркеров. Маркер являет собой точку локального минимума, на основе которого будет выбран бассейн (рис. 1). Маркеры возможно расставлять как вручную, так и автоматически.



Рис.1. Процесс расстановки маркеров и вычисление маски

Метод водораздела выделяет большое количество лишних объектов, таких как детали конвейера. Таким образом, метод водораздела не подходит для определения камней на конвейере, однако его можно использовать как базовый метод для обучения нейросети.

Нейросетевой метод

В качестве нейронной сети выбрана сеть U-Net [4], которая считается одной из стандартных архитектур свёрточных нейронных сетей, используемых для задач сегментации изображений . Особенность данной нейронной сети в том, что она позволяет сегментировать область по классу, т.е., создать маску, позволяющую разделить изображение на несколько классов [5].

Изображения обучающей выборки, полученные с помощью метода водораздела, были модифицированы с использованием графического редактора. Убраны ошибочно выделенные объекты, такие как детали конвейера, убраны распознанные как крупные камни области песка (ошибка разделения мелких частиц), выделены границы для нескольких камней, распознанных как один, или убраны для камней, распознанных как несколько.

Оценка точности определения камней на конвейере была произведена с помощью матрицы ошибок (таблица 1), в которой сравнивались маски сегментации, построенные вручную и с помощью нейронной сетью. Если пересечение между реальной и сегментированной маской превышало 70%, то сегментация признается истинно положительной (TP, True positive), иначе результат признавался ложноположительным (FP, False positive). Истинно отрицательный результат (TN, true negative) не применим к данной задаче, и на всех изображениях равен нулю.

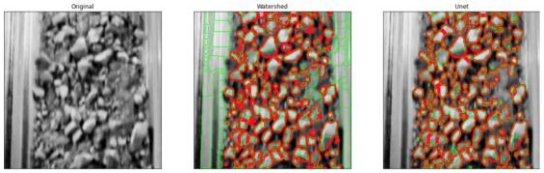


Рис.2. Сравнение результатов сегментации

Выделенный объект классифицировался как ложноотрицательный результат (FN, False negative), если камень был определён как фон, т.е. не определён вообще. Вычисление происходило на основе 10 случайно выбранных изображений конвейера. На основе этих данных были вычислены следующие метрики: точность (1) и полнота (2). Точность позволяет определить долю верно определённых объектов относительно всех объектов. Полнота характеризует долю определённых объектов относительно всех объектов.

$$precision = TP/(TP + FP) \quad (1)$$

$$recall = TP/(TP + FN) \quad (2)$$

Экспериментальным образом было подобрано время обучение в течение 5 эпох и 2000 шагов в каждой эпохе. Полученное значение функции потерь 0.15, полученная точность - 98.5%. Проверим результат работы алгоритма на тестовой выборке, не пересекающейся с обучающей. Согласно таблице 1, достигнута точность около 95%, что значительно превышает метод водораздела. Относительно классических методов компьютерного зрения, нейронная сеть обучена таким образом, что не выделяет области мелких камней как один большой камень (ошибка разграничения частиц), что является плюсом (рис.2). Однако, при использовании этого метода, как и все методов, использующие двумерные изображения, сложно избежать ошибку профиля, то есть неправильного определения реального размера камни из-за тени.

Временные затраты на вычисление маски одного изображения (аппаратное обеспечение CPU Xeon Processors @2.3Ghz, GPU Tesla K80 12GB VRAM, RAM 13 GB) можно разделить на следующие: метод водораздела – 0,04 с, нейронная сеть – 0,09 с. Согласно построенной матрице ошибок и вычисленным метрикам по 10 изображениям (таблицы 1) можно сделать вывод, что нейронная сеть Unet обеспечивает точность детектирования, превосходящую метод водораздела в 1,57 раза, а время обработки одного изображения продолжительностью 0,09 с позволяет работать в реальном времени.

Таблица 1. Матрица ошибок и метрики нейронной сети

	Камни	Фон	
Камни	TP = 947	FP = 56	Точность 94,4%
Фон	FN = 23	TN = 0	Полнота 94,9%

Заключение

В результате данной работы получен метод для автоматизации гранулометрического анализа, в том числе для детектирования камней на конвейере и определения частоты детектирования. Наилучший результат детектированиия показало использование нейронной сети Unet, предназначенной для семантической сегментации изображений. Нейронная сеть была обучена на выборке, созданной с помощью метода водораздела, скорректированного вручную. Результаты данной работы могут быть применены для автоматизации гранулометрического анализа на металлургических комбинатах.

Список литературы:

1. Hamzeloo, E., Massinaei, M., Mehrshad, N. Estimation of particle size distribution on an industrial conveyor belt using image analysis and neural networks // Powder Technology. – 2014. – Vol. 261. – P. 185–190.
2. PratimAcharjya, P., Ghoshal, D. Watershed Segmentation based on Distance Transform and Edge Detection Techniques // International Journal of Computer Applications. – 2012, Aug. – Vol. 52. – P. 6–10. – DOI: 10.5120/ 8259-1792.
3. Gonzalez, M., Ballarin, V. Automatic marker determination algorithm for watershed segmentation using clustering // Latin American Applied Research. – 2009, July. – Vol. 39. – P. 225–229.
4. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). – Vol. 9351. – Springer, 2015. – P. 234–241. – (LNCS). – URL: http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/ Publications/2015/RFB15a (дата обращения 05.05.2020).
5. Liu, X., Ore image segmentation method using U-Net and Res_Unet convolutional networks // RSC Adv. – 2020. – Vol. 10, Is. 16. – P. 9396–9406. — URL: http://dx.doi.org/10.1039/C9RA05877J

ФОРМИРОВАНИЕ КОРПУСА КИТАЙСКИХ ТЕКСТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА

М.Д. Никандров, А.А. Полунин
ФГКВОУВО «Академия ФСО России»

Аннотация

В статье описывается создание размеченного корпуса китайских текстов для поддержки разработки системы китайско-русского машинного перевода «Нефрит». Приводятся параметры отобранных текстов, описывается процесс создания корпуса, программа для разметки частей речи, сегментации, подсчета статистики иероглифов, которая может быть использована при реализации корпусов китайского языка, а также характеристика существующих на данный момент массивов китайских текстов.

Введение

В ходе комплекса мероприятий по совершенствованию системы китайско-русского машинного перевода «Нефрит» [1] возникла потребность в создании нового корпуса. Перечень текстов позволит выявить регулярные конструкции языка, оптимизировать существующие словари и в дальнейшем даст возможность перейти к модели статического машинного перевода.

Во время разработки корпуса предстояло выполнить следующее:

- выявить недостатки существующих корпусов для программного обеспечения «Нефрит»;
- представить требования для создания нового корпуса;
- найти источник текстов для нового корпуса;
- провести отбор и начальный ввод текстов;
- использовать существующие программы автоматической разметки корпуса [2];
- довести объем корпуса до нужного стандарта.

Определение спектра задач

Цель разработки корпуса – создать лингвистическую платформу китайского языка для дальнейшего улучшения системы машинного перевода «Нефрит».

Корпус должен характеризоваться следующими параметрами:

- корпус содержит тексты гуманитарных наук из следующих областей: политика, экономика, международные отношения;
- корпус обладает частеречной разметкой;
- имеется возможность пополнения корпуса новыми текстами;
- большой объем корпуса;
- корпус является современным;
- текстовый материал в корпусе представлен в естественной контекстной среде.

Главное преимущество корпуса, что один раз, сделанный и представленный текстовый материал, может исследоваться многократно и для различных целей.

Специалисты в области лингвистики используют корпус для различных целей. Для автоматизации программ, например, таких как машинный перевод, чаще всего используется корпус текста, который способствует улучшению качества перевода, путем выявления лингвистических и структурных закономерностей языка.

Наличие текста в корпусе является недостаточным для реализации профессиональных задач, которые лингвисты хотят достичь. Как известно, существует два вида разметок: внутренние и внешние [3]. В данном корпусе для системы машинного перевода «Нефрит» используется внутренняя разметка, которая представляет собой совокупность тэгов, правила присваивания, а также характеристик их значений, табл.1. Также наличие увеличенного объема тэгов, дает возможность провести более подробные исследования языка.

Создание корпуса для системы «Нефрит»

В настоящее время для рассматриваемой языковой пары существует несколько корпусов с определенным жанром, разметкой, объемом [4]. Ранее обязательным требованием для объема корпуса был размер не менее 1 млн. слов. На данный момент корпус должен иметь не менее 100 млн. слов [5]. На основе анализа доступных публикаций по лингвистике и структурной типологии была представлена характеристика основных корпусов китайского языка, табл. 2.

Таблица 1. Основной набор тэгов разметки в корпусе

№	Часть речи	Тэг
1	Имя существительное	n
2	Топоним	NS
3	Этноним	NN
4	Глагол	v
5	Глагол направленного действия	vd
6	Глагол-связка	vl
7	Модальный глагол	vu
8	Прилагательное	a
9	Числительное	m
10	Нумератив	q
11	Наречие	d
12	Местоимение	r
13	Предлог	p
14	Союз	c
15	Частица	u
16	Звукоподражание	o
17	Идиома	i
18	Аббревиатура	j
19	Морфема	g
20	Пунктуационный знак	w
21	Не кандзи (иероглифы) строки	ws, wu
22	Существительное времени	nt
23	Существительное, означающее азимутальное направление	nd
24	Существительное, указывающее местонахождение	nl
25	Имя собственное	nh, nz
26	Фамилия	nhf
27	Названия учреждений, организаций и компаний	ni
28	Отдельные иероглифы, компоненты какого-либо слова	f,k,h,x
29	Междометие	e

Корпус для системы машинного перевода «Нефрит» должен обладать большим объемом китайских иероглифов, частеречной разметкой, однотипностью жанров групп текстов, официальным, а также современным, следовательно, существующие на данный момент корпусы не подходят для данного программного обеспечения. В качестве источника текстов китайского языка была использована официальная китайская газета «Жэньминь Жибао»: http://www.icl.pku.edu.cn. Для разметки текста использовалась специализированная программа сайта http://corpus.zhonghuayuwen.org, представленная на рис.1.

Таблица 2. Характеристика основных корпусов китайского языка

Название корпуса	Наличие разметки в корпусе	Жанр корпуса	Объем корпуса	Актуальность версий
Корпус общего современного китайского языка URL: corpus.zhonghuayuwen.org/resources.aspx	Отсутствует	Материал гуманитарных и общественных наук (50%), естественных наук (30%), другие группы текстов (20%)	100 млн. иероглифов	Корпус устарел
Корпус CCL при Пекинском университете URL: ccl.pku.edu.cn:8080/ccl_corpus	Отсутствует	Материал газет (98,72%), (1,28%) другие группы текстов	600 млн. иероглифов	Современный корпус
Корпус BCC Корпусный центр при Пекинском университете языка и культуры URL: http://bcc.blcu.edu.cn	Присутствует сегментация слов, частеречная разметка	Художественной материал (20%), социальных сетей (20%), научные сведения(20%), газеты (13.3%), общественные науки (6.7%) и других групп текстов (20%)	15 млрд. иероглифов	Современный корпус
Корпус Синика URL: http://app.sinica.edu.tw	Присутствует частеречная разметка	Философия (8%), Наука (8%), Общество (38%), Искусство (5%), Жизнь (28%), Литература (13%)	17 млн. иероглифов	Корпус устарел



Рис.1. Экранная форма главной страницы частеречной разметки корпуса китайских текстов (программа сайта http://corpus.zhonghuayuwen.org)

Заключение

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что для того, чтобы улучшать различные системы перевода, нужен корпус, который будет обладать большим объемом, однотипной группой текстов, а также должен быть официальным и современным. Корпусная лингвистика позволяет проверить результаты и выводы тех или иных исследований речи или текста, проводить новые, более обширные и системные эксперименты. Благодаря использованию программ разметки и источника китайских текстов был построен размеченный корпус языка объемом 500 тыс. словоупотреблений, который способствует улучшению качества машинного перевода с китайского языка на русский, а именно ранее созданного программного обеспечения «Нефрит». Данный корпус по сравнению с другими имеет маленький объем, эта проблема остается актуальной в настоящее время, поэтому продолжается активная работа по увеличению перечня текстов китайского языка.

Список литературы:

1.Гращенко, Л.А. Система китайско-русского машинного перевода «Нефрит» / Л.А. Гращенко, А.В. Федоров // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019617292, 05.06.2019.

2.Лу, Исинь. Принципы создания корпусов китайского языка / Исинь Лу // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2016. № 181.

3.Амиева, А.М. Инструменты корпусной лингвистики / А.М. Амиева, В.В. Филимонов и др. // Известия Уральского Федерального Университета – Екатеринбург, 2015.– С. 251-260.

4.Фэн, Юэ Специфика корпусных исследований в современном китайском языкознании / Фэн Юэ // Вестник МГЛУ. Гуманитарные науки. – 2020. – Вып. 3 (832) – С. 159-179.

5.Захаров, В.П. Корпусная лингвистика / В.П. Захаров // Учебно-метод. пособие. – СПб.: СПбГУ, 2005. – 48 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ В РЕДАКТОРЕ DRAW.IO

А.М. Елисеенко, Е.А. Карелина, А.А. Фёдоров
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье рассматривается создание системы автоматической проверки схем, выполняемых в графическом редакторе draw.io. В статье описана архитектура системы, методы проверки XML-строк, которыми являются draw.io диаграммы, а также автоматизация и реализация пользовательского интерфейса для генерации draw.io библиотек.

Введение

Целью данной работы является разработка веб-приложения для автоматической проверки функциональных схем, нарисованных в редакторе draw.io, которые состоят из графических элементов, представляющих аналогово-цифровые устройства. При выполнении работы решались следующие задачи:

1. Установка на сервер редактора draw.io
2. Доработка клиентской части draw.io для отображения комментариев автоматической проверки
3. Разработка части системы, осуществляющей автоматическую проверку и формирование комментариев к работе, выполняемой на сервере
4. Разработка генератора библиотек draw.io, используемых при выполнении задания для корректной автоматической проверки

Данный доклад организован следующим образом. В разделе «Обзор аналогов» рассматриваются существующие подходы к оцениванию различных графических заданий. В разделе «Описание разработанной системы» приводится работы системы и ее функциональности. В разделе «Особенности редактора draw.io» рассматриваются, значимые для рассматриваемой системы особенности редак-

тора draw.io. В разделе «Архитектура системы» описаны основные компоненты системы и принципы ее работы. В разделе «Метод проверки схем» приведено описания метода проверки схем draw.io. В разделе «Заключение» описана практическая значимость работы.

Обзор аналогов

Системы автоматической проверки применяются в разных областях знаний, в том числе и в компьютерных науках. Так как в данной работе рассматривается автоматическая проверка связей между графическими объектами, приведем описание систем, которые оценивают именно графические объекты. Одним из основных подходов, описанных в [1], при оценивании правильности двухмерного RGB-изображения является вычитание изображения-ответа к заданию из эталонного изображения. Если результатом вычитания является изображение, у которого каждый пиксель имеет значение (0, 0, 0), то такой ответ считается полностью правильным.

Схожий подход может быть использован и при оценивании трехмерных объектов. Например, в [2] описывается система автоматической проверки заданий, ответом на которые является 3D модель, в основе которой лежит вычисление евклидова расстояния между основными параметрами, записанными в файл, хранящий 3D модель, и параметрами эталонной 3D модели, указанной в системе как правильный ответ. Еще одна система автопроверки, использующая схожий подход, рассматривается в [3]. Однако в этой работе авторы измеряют схожесть работы студента и эталона путем простого сравнения параметров работы студента и эталона.

Еще одной областью графики, в которой применяются системы автоматической проверки, являются начертательная геометрия и инженерная графика. Система автоматической проверки заданий этой области описывается в [4]. Автор описывает разработанную систему проверки чертежей проекций моделей, выполненных в программе AutoCAD, в основе которой также лежит сравнение чертежа студента с эталонным чертежом. Перед выполнением сравнения данная система применяет некоторые преобразования начертательной геометрии для того, чтобы убрать из работы студента незначительные отклонения от эталона, которые не влияют на правильность решения, но могут быть засчитаны как неверные при сравнении.

Из приведенного выше обзора можно сделать вывод, что к настоящему моменту разработано некоторое количество систем автоматической проверки заданий, ответом на которые является графическое изображение. Данные системы способны проверять различные форматы графических объектов. Основной метод, используемый во всех этих системах, это метод сравнения работы студента с эталонной работой. Следует отметить, что методы сравнения различаются в зависимости от специфики графического объекта.

Описание разработанной системы

В качестве графического редактора, в котором выполняются графические схемы, был выбран редактор диаграмм с открытым исходным кодом draw.io. Этот редактор установлен на сервер приложения. Для системы в интерфейс редактора добавлена панель для вывода комментариев к проверенной работе. После каждого изменения нарисованной схемы в интерфейсе редактора появляются комментарии к нарисованной схеме, правильно соединенные объекты раскрашиваются в зеленый цвет, а неправильно – в красный. На рис. 1 представлен пользовательский интерфейс разработанной системы и комментарии к проверке.

Для решения задания в редакторе необходимо пользоваться графическими объектами из заранее сгенерированной библиотеки draw.io. Графические объекты библиотек представляют собой законченные объекты определенной сущности, причем эта сущность может быть любой, с ограничением на то, что объекты должны иметь входы и выходы, через которые объект может соединяться с другими объектами.

Разработанная система потенциально подходит для проверки связей между любыми объектами, обладающими входами и выходами. Это могут быть как аналоговые и цифровые устройства, например коммутатор, IP-камера, так и абстрактные объекты из других областей знаний, например, процессы в планировании проектных работ, экономические агенты.

В настоящий момент рассматриваемая система реализует проверку только функциональных схем аналого-цифровых устройств, однако в будущем планируется реализация проверки схем и других объектов, описанных выше. В последующих разделах описывается только уже реализованная система. В ней каждый библиотечный объект условно обозначает некое законченное аналоговое или цифровое электронное устройство. Каждый объект содержит порты – разъемы, для которых указаны тип коннектора, направленность порта, интерфейс, сигнал, кабель и протокол. На рис. 1 представлен пример библиотечного объекта с информацией об одном его порте.

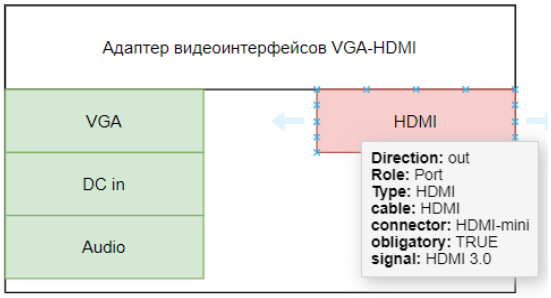


Рис.1. Объект библиотеки draw.io

Отдельным типом графических объектов являются стрелочки, обозначающие кабели. Для них, как и для портов, также указываются типы коннекторов и название кабелей.

Особенности редактора draw.io

В данном разделе приведены особенности используемого редактора draw.io, которые определяют реализацию системы. Нарисованная в редакторе схема по умолчанию сохраняется в формате XML. При этом над полученной строкой применяются операции кодирования по алгоритмам EncodeURI и Base64, а также операция сжатия без потерь по алгоритму Deflate. Помимо информации о графическом отображении каждого объекта, данная строка может хранить любые данные об объекте в формате свойств тега.

Графический редактор также поддерживает функцию подключения библиотек графических объектов, сохраненных в файл в формате JSON. В этом файле записано название каждого объекта, некоторые его свойства, а также XML-строка, которая описывает графическое отображение объекта в редакторе и его свойства.

Архитектура системы

В основе системы лежит клиент-серверная архитектура. Клиентская часть приложения, реализованная на языке JavaScript с использованием фреймворка Vue.js, включает в себя интерфейс графического редактора вместе с функциями по получению нарисованной схемы и выводу результатов проверки. На стороне сервера осуществляется проверка полученной схемы и формирование комментария

к решению студента. Серверная часть реализована на языке Java с использованием фреймворка Spring. После каждого изменения диаграммы клиентская часть с помощью draw.io API отправляет на сервер POST-запрос, в теле которого находится строка, хранящая нарисованную схему, в сжатом и закодированном виде. На сервере полученная строка приводится к первоначальному виду несжатой XML, после чего осуществляется проверка нарисованной схемы. Подробнее проверка схемы рассматривается в следующем разделе. В результате проверки сервер формирует ответ в формате JSON и отправляет его как ответ на запрос. В строке-ответе в качестве ключей указываются идентификаторы нарисованных стрелок и портов, а в качестве значений – информация о том, правильно или неправильно они подключены. Также в данном файле хранится дополнительное свойство, которое является комментарием для студента. Клиентская сторона выводит в интерфейс комментарий от сервера, а также с использованием draw.io API раскрашивает стрелки и порты в зеленый или красный цвет, если они указаны верно или неверно.

Для задачи генерации библиотек используются Google Sheets: интерфейс Google Sheet используется для ввода пользователем названия объектов, их портов и кабелей, а также основных их свойств. Встроенный в таблицу интерпретатор скриптов языка Google Apps Script исполняет скрипт генерации библиотеки, результатом работы которого является строка, хранящая библиотеку, записанную в формате XML. Из-за отсутствия в языке Google Apps Script необходимых функций кодирования и сжатия строки привести данный файл к формату библиотеки draw.io не представляется возможным. По этой причине для приведения полученной строки к необходимому формату на языке Java разработан специальный модуль кодирования в библиотеки в нужный формат. Этот модуль получает XML-строку библиотеки через POST-запрос от скрипта генерации, применяет объектам алгоритмы кодирования и сжатия, после чего сохраняет полученную библиотеку в файл на сервере и в файл на гугл-диск.

Метод проверки схем

Как было сказано выше, выполненная студентом схема сохраняется в формате XML, в котором описывается ее отображение и свойства объектов. Описанные в обзоре аналогов методы проверки рассматриваемых в данной работе графических объектов сравнением с эталоном могут ошибочно считать верные схемы неверными по нескольким причинам. Во-первых, одна и та же графическая задача может быть решена большим количеством способов, перебор которых займет большое количество времени. Во-вторых, у правильного решения могут не совпадать некоторые свойства объектов с эталонным решением. Самым простым примером такого свойства являются координаты объектов: в случае, когда в правильно решенной работе объекты размещены не в том месте, где они расположены на эталонном решении, сравнение строк покажет, что ответ неверный. Соответственно, при проверке схемы необходимо производить более глубокий анализ XML-строки нарисованной схемы.

Данная система перед началом проверки с помощью средств языка Java приводит XML-строку к массиву объектов Java. Эти объекты являются объектами класса Object, который был реализован в рамках разработки системы. Этот класс позволяет хранить следующую информацию об объекте: идентификатор объекта, список портов объекта. Порты также являются объектами реализованного нами класса Port, который позволяет хранить всю информацию о каждом порте: его идентификатор, тип коннектора, тип кабеля, протокол, направленность. Для заполнения информации про объекты и порты в конструкторе объектов используются специально разработанные функции, которые получают свойство XML-тега.

Аналогично система обрабатывает объекты-кабели, для хранения которых также реализован класс Arrow, который хранит информацию о портах, к которым подключена стрелочка. Поле source указывает на порт, из которого подключен кабель, а поле target – порт, в который подключен кабель. Заполнение полей каждого объекта этого класса производится аналогичным с портами и объектами методом. Также у всех классов присутствует поле, которое хранит текущую информацию о правильности его подключения. Таким образом, XML-строка нарисованной схемы раскладывается в набор объектов, хранящих всю необходимую для проверки информацию об устройствах, портах и кабелях. Проверка схемы осуществляется путем анализа портов, к которым подключена каждая стрелочка. Осуществляются следующие проверки:

1. Проверка, что каждый кабель подключен к двум разным устройствам
2. Проверка, что каждый кабель соединяет совместимые порты (порты имеют одинаковый тип кабеля и тип сигнала)
3. Проверка, что каждый кабель совместим с портами, к которым он подключен

По результатам проверок формируется комментарий с указанием нарушений описанных выше правил (если они имеются). Все эти проверки осуществляются достаточно небольшим количеством операций благодаря описанному выше методу работы с XML-диаграммой, которая позволяет хранить и получать всю необходимую информацию о портах и кабелях. Таким образом, описанный выше метод позволяет проводить более детальную и качественную проверку схем draw.io по сравнению со сравнением ответа с эталоном.

Заключение

Разработанное приложение реализует систему автоматической проверки функциональных электрических схем, выполненных в графическом редакторе draw.io. Данная система позволяет автоматизировать ряд действий по работе с графическим редактором, а именно: получение выполненной студентом схемы для проверки, ее проверка и возвращение комментариев к решению. Более того, она предоставляет пользовательский интерфейс для ввода информации о библиотечных объектах и автоматизирует генерацию библиотек.

Описанный метод проверки получаемых draw.io схем отличается от традиционных методов оценки графических работ, приведенных в разделе «Обзор аналогов». Данный метод имеет преимущество перед ранее используемыми методами автоматической проверки схожих заданий, которое заключается в возможности более детальной проверки схем и обосновано спецификой редактора draw.io.

Список литературы:

1. Maicus E. et al. Autograding Interactive Computer Graphics Applications //Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – 2020. – С. 1145-1151.

2. Lamberti F. et al. Automatic grading of 3D computer animation laboratory assignments //IEEE Transactions on Learning Technologies. – 2014. – Т. 7. – №. 3. – С. 280-290.

3. Mehta S. et al. Auto-Grading for 3D Modeling Assignments in MOOCs //2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). – IEEE, 2018. – С. 51-53.

4. Бойков А. А. Автоматизация проверки инженерно-графических заданий //Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2016. – Т. 1. – С. 99-120.

ПРИМЕНЕНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ НА КРИСТАЛЛЕ

А.В. Рогулина, О.А. Волгина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Настоящая работа посвящена анализу возможности применения самоорганизующихся алгоритмов маршрутизации в сетях на кристалле (СтнК). Было исследовано современное состояние области, в ходе которого было выяснено, что использование данных алгоритмов в сетях на кристалле является нестандартным решением. Предлагаемый подход имеет ряд преимуществ, описанных в работе. Результаты исследований могут быть полезны отечественным разработчикам и производителям СтнК в виде конкретных рекомендаций, алгоритмов, программ и моделей для организации производственно-технологического процесса.

Введение

С недавнего времени дальнейшее увеличение производительности процессоров практически не зависит от их тактовой частоты. Магистральным путем развития стало создание многопроцессорных чипов; при этом число сопроцессоров стремительно растет и в графических чипах достигает сотен микропроцессов с десятками тысяч ядер. Поскольку использование классической шинной архитектуры с увеличением числа ядер становится невозможным, для организации эффективной работы многоядерных систем необходимо распределение вычислительных процессов между вычислительными узлами и обеспечение коммуникации между ними, что обуславливает развитие теории сетей на кристалле (СтнК, networks-on-chip) и определяет актуальность исследований в данной области.

В настоящее время СтнК – самый популярный механизм межсоединения, используемый для систем, требующих гибкость, расширяемость и низкое энергопотребление. При этом производительность подсистемы связи во многом зависит от алгоритма маршрутизации, который используется в СтнК. Маршрутизаторы направляют пакеты на основе определенного алгоритма. Существует множество различных алгоритмов для разных систем, и у каждой системы есть свои требования к алгоритму маршрутизации. Наиболее распространенными проблемами, возникающими в процессе маршрутизации являются: тупик, постоянная блокировка, перегрузка и сбои.

В классической теории компьютерных сетей разработано множество алгоритмов, методов и протоколов связи, которые могли бы стать основой для СтнК. В настоящем проекте предполагается сделать шаг в этом направлении и применить для СтнК алгоритмы и методы маршрутизации, которые используются в беспроводных самоорганизующихся сетях. Поскольку структура связей ядер зафиксирована, сеть (хоть и будет состоять из сотен или тысяч узлов) останется статической, что обуславливает целесообразность применения виртуальных координат, которые позволяют присваивать уникальный адрес каждому узлу сети (причем такое присвоение может быть осуществлено заранее, на этапе проектирования СтнК).

В ходе выполнения проекта были исследованы несколько методов построения виртуальных координатных систем, в том числе и метод на основе множества иерархических вершин. В дальнейшем планируется детально изучить гибридный метод, в котором множества иерархических вершин представляют основу для нескольких координат, а для выбора маршрута используется жадное продвижение.

Беспроводные сети на кристалле

При проектировании СтнК часто возникает проблема задержек и рассинхронизации сигналов.

Существуют различные методы организации сетевых структур на сипе, теоретически позволяющие минимизировать задержки и потери. Примером такого метода может служить использование трехмерной архитектуры СтнК [1]. В ходе данного исследования была рразработана аналитическая модель СтнК, учитывающая влияние топологии на производительность трехмерной сети на кристалле. Показано улучшение производительности на 40 % и 36 % и снижение энергопотребления на 62 % и 58 % для 3D СтнК по сравнению с традиционной 2D топологией СтнК.

Другим методом решения проблемы задержек является использование радиочастотных линий [2]. При использовании многополосного радиочастотного межсоединения производительность сети на кристалле увеличивается в среднем на 13 % (максимум на 18 %), что соответствует снижению задержки пакетов в среднем на 22 % (максимум на 24 %).

В некоторой мере аналогичным радиочастотному методу решения проблем задержек является метод волноводных линий [3]. Авторы данного подхода представили фотонные сети на кристалле в качестве решения для снижения влияния внутрикристальной и внекристальной связи на общий бюджет мощности. Фотонная межсоединительная сеть может обеспечить более высокую пропускную способность и более низкие задержки при значительно более низкой рассеиваемой мощности. В статье также были исследованы проблемы, которые необходимо решить для реализации фотонных СтнК. Кроме того, была представлена новая гибридная микроархитектура для СтнК, сочетающая широкополосную фотонную сеть с коммутацией каналов и электронную оверлейную сеть управления с коммутацией пакетов. Данное решение было промоделировано с помощью специального программного обеспечения Points, которая была разработана для анализа предложенной идеи, а также сравнительного анализа мощности фотонной и электронной СтнК. В целом результаты моделирования подтверждают уникальные преимущества для будущих поколений многопроцессорных систем, которые могут быть достигнуты путем введения оптики в чип в виде фотонных СтнК.

Наиболее перспективным путем решения проблемы эффективной организации подсистемы связи представляется парадигма беспроводных СтнК, которая позволяет обойти ограничения классических сетей, а также обеспечить связь между наномасштабными компонентами микросхем и макроуровнем [4]. Авторы [5] провели эксперименты с системами на базе многочастотных островков напряжения (VFI-based), в которых использовали СтнК mesh-архитектуры и беспроводную СтнК. Исследования показали, что предложенный подход синергии WiNoC, VFI и динамической настройки V/F может обеспечить экономию потребления энергии от 5,7 % до 46,6 % по сравнению с современной системой и экономию от 26,8 % до 60,5 % по сравнению со стандартной базовой системой, не основанной на сети VFI.

Таким образом проведенные эксперименты показывают преимущество беспроводных сетей по сравнению с классическими сетями на кристалле в контексте задержек и энергопотребления.

Самоорганизующиеся алгоритмы маршрутизации в сетях на кристалле

Существуют три основных алгоритма самоорганизующейся маршрутизации:

1) Жадное продвижение, дополненное обходом по правилу правой руки GPSR [6]. В рамках GPSR отправитель помечает пакеты с указанием местоположения их адресатов. В результате каждый узел может сделать локально оптимальный жадный выбор при выборе следующего шага пакета. В частности, если узел знает позиции своих соседей, локально оптимальным выбором следующего шага является сосед, географически ближайший к месту назначения пакета.

2) Иерархическая маршрутизация с построением дерева относительно выбранного центра [7]. Данная маршрутизация основана на гиперболическом преобразовании: каждый узел получает иерархический адрес в виде последовательности натуральных чисел, размечающий путь от центрального узла.

3) Вариации метода поиска в ширину, в том числе метод окрестностей. Данный метод, который строит маршрут используя два широковещательных запроса, подробно описан в статьях [8–10]. На первом этапе размечаются окрестности относительно начального узла маршрута. Как только разметка достигает конечного узла начинается второй этап, на котором строится маршрут как последовательность узлов, лежащих на пересечении первой окрестности текущего узла и соответствующей окрестности начального узла. При этом процесс построения маршрута начинается с конечного узла. Таким образом удается построить множество всех возможных маршрутов.

Теоретические и практические основы самоорганизации сетей были созданы в рамках сенсорных сетей. Данные технологии (MANET) [11] активно разрабатываются в последние годы. Построение маршрута в сетях MANET может производиться двумя способами: используя сведения о соединениях узлов в сети и используя географические данные о местонахождении узлов в пространстве, получаемые с помощью GPS. Протоколы маршрутизации, использующие эти подходы, делятся на топологические и географические соответственно [12]. Самый распространенный протокол географической маршрутизации в MANET – это метод жадного продвижения GPSR. На его основе созданы другие протоколы маршрутизации, такие как MDT, GDSTR, WEAVE, эффективно решающие проблемы локального минимума (обход пустот). Основные топологические (topology-based) протоколы маршрутизации в сетях MANET: AODV, DSR, DSDV, OLSR [13].

В работе [14] оценивается качество связи, которое может быть достигнуто в сетях MANET, а также подробно анализируется структура протоколов MANET и выделяются подсистемы связи и маршрутизации. Авторами данной статьи был разработан проприетарный протокол MANET, основанный на маршрутизации по методу окрестностей. Коммуникационная подсистема была реализована на уровне сервиса с использованием оригинальных коммуникационных пакетов. В работе проводилось сравнение качества связи разработанного протокола с реализацией Open80211s гибридного беспроводного Mesh-протокола. Также, в статье было предложено использовать 2 сетевых беспроводных адаптера и различные подканалы Wi-Fi, начиная со второго прыжка беспроводного маршрутизатора, чтобы избежать потери пакетов. Применение самоорганизующихся алгоритмов маршрутизации в сетях на кристалле – достаточно оригинальное решение проблемы задержек, появившееся относительно недавно.

Заключение

Таким образом, в ходе анализа проведенных исследований было выяснено, что применение самоорганизующихся алгоритмов в сетях на кристалле является достаточно уникальным методом маршрутизации в сетях на кристалле. Идеи использования самоорганизующихся алгоритмов были предложены совсем недавно, и опубликованные эксперименты показали, что их использование в сетях на кристалле является возможным и перспективным направлением. В ходе дальнейших исследований планируется апробировать некоторые из самоорганизующихся алгоритмов (предлагается исследовать гибридный метод, в котором множества иерархических вершин – основа для нескольких координат, а для выбора маршрута используется жадное продвижение).

Список литературы:

1. Pavlidis V. F., Friedman E. G. 3-D topologies for networks-on-chip // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – 2007. – Vol. 15. – No. 10. – P. 1081-1090.
2. Chang M. F. et al. CMP network-on-chip overlaid with multi-band RF-interconnect // 2008 IEEE 14th International Symposium on High Performance Computer Architecture. – IEEE, 2008. – P. 191-202.
3. Shacham A. et al. Photonic Network-on-Chip for Future Generations of Chip Multi-Processors. // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 57. – Iss. 9. – P.1246–1260.
4. Слюсар Д., Слюсар В. Беспроводные сети на кристалле перспективные идеи и методы реализации // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2011. – № 6. – С. 74-83.
5. Kim R. G. et al. Wireless NoC and dynamic VFI codesign: Energy efficiency without performance penalty // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – 2016. – Vol. 24. – No. 7. – P. 2488-2501.
6. Karp B., Kung H.T. GPSR // Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking – MobiCom '00. New York, New York, USA: Association for Computing Machinery (ACM), 2000. – P. 243–254.
7. Kleinberg R. Geographic routing using hyperbolic space // IEEE INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications. – IEEE, 2007. – P. 1902-1909.
8. Chemodanov D. et al. A constrained shortest path scheme for virtual network service management // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2018. – Vol. 16. – No. 1. – P. 127-142.
9. Meguerdichian S. et al. Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks // Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on computer communications. Twentieth annual joint conference of the IEEE computer and communications society. – IEEE, 2001. – Vol. 3. – P. 1380-1387.
10. Chemodanov D., Esposito F., Calyam P. and Sukhov A. REBATE: A REpulsive-BAsed Traffic Engineering protocol for dynamic scale-free networks // Futur. Gener. Comput. Syst. – 2020. – Vol. 108. – P. 624–635.
11. Corson S., Macker J. RFC2501: Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations. – 1999. – 12 p.
12. Latiff L. A. et al. Directional routing protocol in wireless mobile ad hoc network. – INTECH Open Access Publisher, 2010. – P. 235-256.
13. Midhunchakkaravarthy D., Dhumane A. Routing Protocols in Internet of Things: A Survey. – 2020. –P. 2273–2280.
14. Sagatov E.S., Sukhov A.M. Assessment technologies of communication quality in MANET networks // 2019 10th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, NTMS 2019 – Proceedings and Workshop. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 1–5.

АНАЛИЗ АЛГОРИМТОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ С ЦИРКУЛЯНТНЫМИ ТОПОЛОГИЯМИ

Е.А. Ведмидь
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается несколько алгоритмов, на основе которых возможно проводить эффективную маршрутизацию в сетях на кристалле с топологией трехмерный циркулянт.

Введение

В данной работе рассматриваются неориентированные циркулянтные графы вида $C(N; s_1, s_2, s_3)$, которые могут использоваться в качестве перспективной топологии для проектирования сетей на кристалле. Для организации эффективной маршрутизации в сетях такого типа необходимы алгоритмы, удовлетворяющие определенным критериям эффективности. Для решения данной проблемы в работе предложено несколько алгоритмов динамической маршрутизации, для которых были проведены тестирование и сравнительный анализ по нескольким показателям эффективности.

Трехмерные циркулянты

В [1] трехмерные циркулянты определяются как неориентированные графы с множеством вершин $V = \{0, 1, \dots, n-1\}$ и множеством ребер $E == \{(i,j) : |i - j| \equiv s_m \ (mod\ n), m = 1, \dots, k\}$, где n – число вершин. Иначе говоря, трехмерный циркулянт $C(N; s_1, s_2, s_3)$ – это такой граф, каждая i-ая вершина которого связана с $((i + s1)\ mod\ n)$-ой, $((i + s2) mod\ n)$-ой и $\big((i + s3) mod\ n\big)$-ой вершиной.

Определение ограничений и критериев эффективности

Стоит отметить, что ввиду того, что в данной работе рассматривается маршрутизация именно в сетях на кристалле с использованием языка описания аппаратуры Verilog, на работу алгоритмов накладываются некоторые ограничения. К примеру, на программируемых логических интегральных схемах (далее ПЛИС) не синтезируются циклы [2], поэтому стандартные алгоритмы поиска на графах [3] для поиска кратчайшего пути не подходят и не рассматриваются, поскольку содержат циклические конструкции. Кроме того, при синтезе не рекомендуется также использовать операции деления и модуля, поскольку на их выполнение требуется значительно больше ресурсов, и выполняются они за несколько тактов, что будет негативно сказываться на времени передачи пакетов [4].

При анализе работы алгоритмов было введено несколько критериев эффективности. Это критерий достижимости, при котором из любой вершины можно передать пакет в любую другую вершину [5], критерий эффективности, как отношение количества переходов из нулевого узла во все остальные, рассчитанного по тестируемому алгоритму, к той же характеристике, но рассчитанной по алгоритму Дейкстра [6], а также количество ресурсов на кристалле (число занимаемых логических блоков) [6].

В данной работе рассматриваются только динамические алгоритмы маршрутизации, поскольку при статической маршрутизации критерии достижимости и эффективности выполняются всегда, но, вместе с тем, при таком типе маршрутизации требуется использовать большие объемы памяти [6]. При динамической маршрутизации требуется значительно меньше памяти [7], поэтому для реализации маршрутизации в сетях на кристалле данный подход является более перспективным.

Алгоритмы динамической маршрутизации

Рассматриваются несколько алгоритмов, разработанных разными способами. Для удобства они обозначены как A_1, A_2, A_3 и A_4.

Самый простой алгоритм – A_1 – основывается на оценке разности расстояния между двумя узлами (передатчика и приемника) и каждой из образующих, и переход происходит по той образующей, разность с которой оказалась меньшей. В случае с кольцевыми циркулянтами критерий достижимости будет выполняться всегда, в остальных случаях возможно «зацикливание» пакета. Реализация данного алгоритма занимает мало ресурсов на ПЛИС, но алгоритм далеко не всегда гарантирует кратчайший путь прохождения пакета.

Для решения проблемы с недостижимостью была введена некая «предиктивная» модель, на которой основывается алгоритм A_2. Суть ее заключается в том, что анализируются разные варианты путей вплоть до нескольких шагов вперед, и выбирается тот путь, конечная точка которого будет наиболее близка к узлу-приемнику. В [8] был описан похожий алгоритм, но с ним не всегда выполнялся критерий достижимости. Введение дополнительных переменных-флагов позволяет решить данную проблему, но вместе с тем увеличивает объем занимаемых ресурсов.

В [7] указывалось, что решаемую задачу можно представить как оптимизационную задачу следующего вида:

$$N * k + s = a_1 s_2 + a_2 s_2 + a_3 s_3, \qquad (1)$$

где N – число узлов в сети; k – номер рассматриваемого цикла (может быть отрицательным); s – длина пути от узла-источника к узлу-приемнику; s_1, s_2, s_3 – образующие; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты при образующих s_1, s_2, s_3 соответственно; при $|a_1 + a_2 + a_3| \to min$.

Для решения этой задачи можно было бы использовать любой из методов оптимизации, но для их реализации необходимы итерационные конструкции, непригодные для реализации на кристалле. Можно зафиксировать несколько переменных, в рамках которых будет производиться поиск неизвестных, на чем и строится алгоритм A_3.

В [9] были получены формулы, с помощью которых можно определить кратчайший путь для двумерных циркулянтов. Была проведена попытки адаптации данных формул для случая трехмерных циркулянтов, и, хотя при алгоритме, основанном на данных расчетах, всегда выполнялся критерий достижимости, найденные пути не являются кратчайшими. Данный алгоритм доработан путем добавления новых рассчитываемых переменных, и обозначен как алгоритм A_4.

Проведение тестирования

Тестирование эффективности алгоритмов проводилось в несколько этапов на выборке из ста оптимальных циркулянтов третьего порядка [10]. На первом этапе алгоритмы проверялись на достижимость и рассчитывался коэффициент эффективности. На втором этапе проводилось тестирование реализации алгоритмов на HDL Verilog, в ходе которого определялась величина занимаемых ресурсов на ПЛИС (в занимаемых логических блоках и блоках переменных).

Результаты тестирования частично оправдали ожидания от алгоритмов. Наибольший коэффициент

эффективности показал A_4, далее A_2, A_3 и A_1, причем при увеличении количества узлов коэффициент эффективности имел нисходящий тренд.

Алгоритмы A_2 и A_4 на тестируемых циркулянтах всегда выполняли критерий сходимости, алгоритм A_1 чаще всего «зацикливался», причем показатель сходимости был тем меньше, чем больше был размер первой образующей.

Больше всего ресурсов на кристалле занимает реализация алгоритма A_2, далее по убыванию A_3, A_4 и A_1.

Заключение

Рассмотренные алгоритмы могут быть использованы в качестве основы динамической маршрутизации в сетях на кристалле с циркулянтными топологиями. Наибольшую эффективность показал алгоритм A_4, но его реализация занимает достаточно большое количество ресурсов на кристалле.

Результаты данной работы можно использовать для дальнейшего исследований маршрутизации в сетях на кристалле с заявленной топологией. Планируется более детальное изучение алгоритмов A_2 и A_4 и возможное их улучшение.

Список литературы:

1. Монахова Э.А. Структурные и коммуни-кативные свойства циркулянтных сетей // Прикладная дискретная математика. – 2011. – № 3(13). – С. 92–115.
2. Sagdeo V. The complete Verilog. – Kluwer Academic Publishers. – 2002. – 154 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов: Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 434 с.
4. IEEE Standard Verilog Hardware Description Language. – IEEE, 2001. – 201 p.
5. Рогов А.Ю., Халимон В.И., Проститенко О.В. Графовые методы анализа в дискретной математике. – Санкт-Петербург: СПбГТИ, 2012. – 88 с.
6. Romanov A.Yu, Romanova I.I., Glukhikh A.Yu. Development of a Universal Adaptive Fast Algorithm for the Synthesis of Circulant Topologies for Networks-on-Chip Implementations // 2018 IEEE 38th International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO 2018). Proceedings. – Kiev: NTUU “KPI”, 2018. – P. 110–115.
7. Романов А.Ю., Ведмидь Е.А., Монахова Э.А. Проектирование сетей на кристалле с топологией кольцевой циркулянт с тремя образующими: разработка алгоритмов маршрутизации // Информационные технологии. – 2019. – Т. 25. – № 9. – С. 522–530.
8. Romanov A. Y., Sidorenko M.V., Lezhnev E.V. Routing in Networks-on-Chip with Circulant Topology with Three Generatrices of Type C(N;S1,S2,S3) // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2019. – P. 1–6.
9. Монахова Э.А. Поиск кратчайших путей в оптимальных двумерных циркулянтах // Прикладная дискретная математика. – 2020. – № 47. – С. 87–100.
10. Romanov A.Yu. Optimal Circulants Dataset [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/RomeoMe5/circulantGraphs/ (режим доступа: 25.01.2021).

КОНСТРУКТОР ГРЕЙДЕРОВ

Т.Е. Шорыгина, И.А. Коробков, Н.А. Дубровский
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается система, предоставляющая общий интерфейс для использования различных проектов и их взаимодействия с LMS. Проекты представляют собой грейдеры или системы, вспомогательные для ведения учебного процесса.

Введение

В настоящее время проблема дистанционного обучения диктует новые требования к организации учебного процесса — создание онлайн-платформ, электронных материалов для изучения и контроль полученных знаний в дистанционном формате. На данный момент преподаватели вынуждены вручную создавать контрольно-измерительные материалы к каждому занятию, самостоятельно формировать варианты, проверять работы и лично проставлять оценки в журнал. Проблема проведения занятий с использованием разных сервисов для организации видеоконференций также добавляет сложности в учебный процесс.

Целью данной работы является единое решение этих проблем. В статье будет рассмотрен сервис предоставляющий единый интерфейс для унифицированного решения типовых задач, также автоматизирующий генерацию заданий, их проверку и проставление оценок.

Обзор аналогов

Учитывая, что дистанционное образование попрежнему требует, чтобы преподаватели проверяли задания учащихся, возникает вопрос, как справиться с увеличением числа студентов, посещающих онлайн-курсы. В исследовании [1] утверждается, что сейчас учителя с трудом успевают вовремя оценить все работы учеников. В свете непропорционального соотношения студентов и учителей, чтобы соответствовать требованиям текущей ситуации в образовательной системе, авторы предлагают интеграцию масштабируемого автогрейдера и системы управления обучением.

В [2] подчеркивается тот факт, что современные системы автопроверки в курсах играют гораздо более важную роль, чем простые исполнители автоматизированного оценивания, расширяя диапазон своих возможностей за счет новых функций, таких как геймификация процесса, обработка обратной связи, анализ покрытия тестами и удаленное воспроизведение кода.

Был также предложен метод программирования курсов, который расширяет возможности автогрейдеров, предоставляя полезные отзывы о неправильных программах, представленных студентами [3]. Учитель должен определить ключевые концепции каждого задания и разработать комплексный набор тестов. Это позволяет классификаторам различать общие ошибки на отдельные классы и категоризировать их в будущем. Позже учитель изучает классифицированные ошибки и дает учащимся дополнительные подсказки, основанные на их типичных ошибках. Предварительные результаты показывают, что подсказки были полезны в 96% случаев с ошибочными решениями.

В [4] утверждается, что выставление оценок в некоторых курсах невозможно без личного контакта между преподавателем и учеником, поскольку установки и оборудование доступны только в лабораторных условиях. Отдельную сложность представляет проблема обеспечения уда-

ленного выполнения кода для всех студентов одновременно без ограничений по времени. В [2] это было решено для простых программ, хотя, что касается кода для встраиваемых систем, проблема остается открытой. Кроме того, в [4] выделили еще один недостаток, а именно трудоемкий процесс оценивания вручную. Студенты должны ждать по крайней мере несколько дней до получения замечаний по сданной работе, в то время как учителя тратят большое количество времени на проверку тривиальных аспектов задания, которые могли бы оцениваться автоматически. Это лишает студентов возможности тренироваться, делать несколько попыток решения задачи. В [4] предлагают систему автоматической оценки, которая поддерживает задачи встраиваемых систем, а также может быть адаптирована к целому ряду экспериментальных установок и массовых открытых онлайн-курсов.

В [5] представлена система автоматической оценки файлов для выполнения в Jupyter Notebook. В свете повсеместного использования Jupyter Notebook это решает проблему отсутствия обратной связи с преподавателем в течение долгого срока после выполнения задания.

Подход, предложенный в [6] позволяет автоматически оценивать задания по 3D-моделированию. Авторы предлагают грейдер, прикрепляющий метки к заданиям, чтобы использовать их позже в процессе оценки, аналогично методу, описанному в [3], с классами распространенных ошибок. Этот инструмент автопроверки сравнивает модели, представленные студентами, с идеальными по 4 параметрам: количество объектов, размещение объектов, количество полигонов и дополнительный параметр, который задает преподаватель. Персонализированные комментарии к работе предоставляются с каждой оцененной отправкой.

В [7] предполагается, что методы исправления ошибочных программ могут использоваться для предоставления автоматически генерируемых комментариев вместе с оценкой для представленных студентами программ. Основная концепция этой идеи — использовать реальные работы с высшей оценкой для исправления ошибочных попыток студентов. Модель автоматически классифицирует правильные решения на основе понятия динамической эквивалентности. Для каждой ошибочной попытки алгоритм выбирает «кандидата» на исправление из каждого класса, а затем выбирает из них одного с минимальными отличиями от ошибочного и исправляет ошибки в соответствии с эталоном.

«Конструктор грейдеров» сочетает в себе интеграцию грейдеров с рабочим процессом (обмен данными между LMS и грейдером), общий интерфейс для всех взаимодействующих проектов и собственные формы для тестов с расширенными возможностями.

Гипотеза

Проект представляет собой инструмент создания грейдеров и КИМов в форме тестов для их раздачи студентам в виде персональных заданий в заданное время и выставлением оценки в LMS после их выполнения. Техническое решение задачи представляет использование подходящей LMS и ее встроенных средств (API и т.д.). Проверка ответов студента может осуществляться как с помощью простого сравнения, так и путем детального анализа ответа. В первом случае ответ учащегося сравнивается с верным: одиночный выбор, множественный выбор, число, строка и т.д.. Во втором случае ответом студента является строка, например, текстовая команда вызова программы с нужными аргументами, которая затем будет проверяться по заданным преподавателем правилам (наличие нужных аргументов с нужными значениями), или по соответствию заданному регулярному выражению.

Решение

Первоначально было принято решение разработать конструктор КИМов в форме индивидуальных тестов для Google Forms, а в качестве LMS взять Google Classroom. С применением данного подхода возникли затруднения, подробно описанные в разделе «Эксперимент». Также возникла потребность в сервисе, который бы осуществлял единый вход в систему и централизованный доступ к созданию грейдеров. На данный момент произведена интеграция со следующими проектами: #19101 Решебники, #238 Интеграция внешних платформ, #589 CI/CD грейдеры, #553 Грейдеры Draw.IO, #590 Рабочая тетрадь Google Documents. Это позволило снять с вышеперечисленных проектов задачу по поддержке интерфейса создания грейдеров, а также обеспечило преподавателям и ассистентам централизованный доступ к работе с данными сервисами.

При работе с Google Forms были выявлены многие недостатки сервиса: отсутствовал прямой доступ к API — API Google Forms доступен только при взаимодействии с ним через Google Apps Script, а не напрямую; ограниченный функционал методов API — например, через API можно было создавать только вопросы с одиночным или множественным выбором с автоматической проверкой, невозможно создавать тесты с несколькими вариантами. В связи с этим было принято решение отказаться от использования Google Forms.

Все эти аспекты учтены в проекте «Конструктор грейдеров», который помимо сервиса для создания форм играет роль единой точки входа, которая позволит преподавателям и студентам бесшовно использовать разные сервисы через один портал, и включает в себя единую авторизацию, интерфейсы для создания грейдеров из других проектов, централизованное взаимодействие с LMS, выбор преподавателями предпочтительной платформы для проведения онлайн-занятий, с возможностью доработки и встраивания дополнительных модулей.

Собственный сервис для создания форм помимо поддержки стандартного набора типов заданий — одиночный выбор, множественный выбор, ответ в виде строки — предполагает дополнительный функционал: интерактивные тесты по видео, задания на сопоставление, задания с усложнённой обработкой текстового ответа студента (проверка аргументов текстовой команды с помощью введённых преподавателем правил, проверка по регулярному выражению) и прочие варианты заданий, на которые поступят запросы со стороны преподавателей. Предусмотрено создание тестов с различными вариантами из заранее созданного списка вопросов.

Для взаимодействия с Google Classroom и другими LMS, которые предоставляют доступ к API, будут созданы отдельные модули для интеграции. Для поддержки универсальной интеграции с различными LMS будет использоваться протокол IMS LTI 1.3. Он же позволит преподавателям НИУ ВШЭ встраивать задания с различными грейдерами в SmartLMS, построенную на базе LMS Moodle, которая поддерживает этот протокол.

Помимо этого, в ходе разработки сервисов было принято решение о создании функционала обработки заявок от пользователей и сообщениях об ошибках. Функционал был вынесен в отдельный сервис, следуя архитектурному подходу микросервисов, заявки со страницы попадают в базу данных, создается запрос в трекере «Taiga». Пользователь будет оповещен об изменении статуса его заявки по почте.

Архитектура

Так как многие отдельные части системы слабо связаны между собой, было принято решение использовать

микросервисную архитектуру. Она позволила независимо разрабатывать отдельные компоненты системы, и легко добавлять новые сервисы в будущем. На данный момент система насчитывает 5 микросервисов: сервис авторизации, сервис для создания форм, сервис для выбора платформы для проведения онлайн-занятий, сервис-мост для взаимодействия с различными LMS. Со стороны пользователя сервисы связаны между собой с помощью единой клиентской браузерной части (фронтенда). Также данная архитектура предполагает гибкую интеграцию сервисов и грейдеров из других проектов с сервисами авторизации и взаимодействия с LMS.

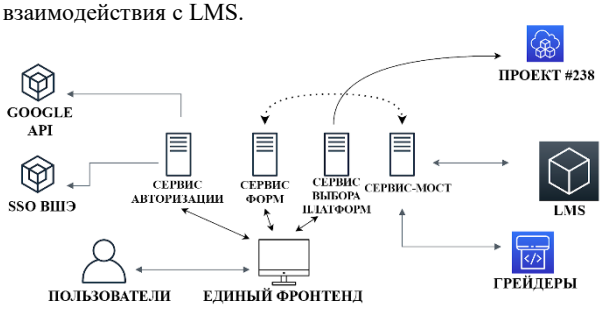


Рис.1. Архитектура «Конструктора грейдеров»

Эксперимент

Для проверки работоспособности данной системы и выявления проблем была проведена контрольная работа по предмету компьютерная графика у студентов 2 курса образовательной программы Информатика и вычислительная техника МИЭМ НИУ ВШЭ. Все студенты, вовремя добавившие аккаунты в соответствующий курс Google Classroom, получили задание к началу контрольной работы и приступили к выполнению. Отправленные решения были оценены, а оценки возвращены в общее задание Google Classroom. Студенты, записавшиеся на курс после начала контрольной работы, вызвали технические затруднения, задания выдавались им отдельно по запросу. Далее с помощью конструктора грейдеров был проведен экзамен по компьютерной графике. Эксперимент позволил выявить проблему внутри системы Google — после продолжительного поиска студента в общем списке задача снимается, и если студент не был найден вследствие его нахождения в той части списка, до которой поиск не дошёл, задание ему выдано не будет. По этой причине было решено отказаться от использования Google Classroom в качестве приоритетной LMS. Список возможных аналогов включает такие системы управления обучением, как Moodle и Taiga.

Развитие

В будущем планируется и дальше расширять возможности «Конструктора грейдеров», пополняя список интеграций. Проекты по созданию грейдеров будут получать интерфейс и возможность управления грейдерами. По каждому сданному в системе заданию планируется обеспечить студенту персональный отзыв, сгенерированный на основе анализа его работы, который позволил бы без промедления исправить ошибки и сэкономил время преподавателя. С подключением цифрового следа можно будет собирать сводку по проблемам каждого конкретного студента, анализировать его текущее состояние, давать задания на темы, которые были недостаточно изучены. Анализируя статистику грейдера по конкретному студенту, можно будет понять, умеет ли он самостоятельно решать материал, или работа была списана.

Заключение

Данное исследование доказывает, что автоматическое оценивание работ полезно и для студентов, и для преподавателей. А единый сервис для входа в систему и создания грейдеров является шагом вперед для сервисов в области дистанционного обучения. Из плюсов также можно выделить то, что преподавателям не нужно самостоятельно переносить оценки в общую ведомость, а тесты включают не только стандартные вопросы типов «выбор одного варианта», «выбор нескольких вариантов», «выбор из списка», «краткий ответ», «развернутый ответ», но и возможность работы с видео, а также задания на соответствие. Данный список возможностей можно пополнить новыми по запросам со стороны преподавателей. Проект сам по себе не уникален, но главным приоритетом выступает обеспечение интегрируемости, так как API Google Forms не позволяет использовать их в полной мере, а Stepik является сторонним платным сервисом. Контрольная работа и экзамен, проведенные с помощью «Конструктора грейдеров» доказали работоспособность системы, а также сэкономили время преподавателю и студентам. Следовательно, можно утверждать, что использование «Конструктора грейдеров» для тестирования знаний учащихся полезно как для преподавателей, так и для студентов.

Список литературы:

1. Danutama0F K., Liem I. Scalable autograder and LMS integration //Procedia Technology. – 2013. – Т. 11. – С. 388-395.

2. DeNero J. et al. Beyond autograding: Advances in student feedback platforms //Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education. – 2017. – С. 651-652.

3. Haldeman G. et al. Providing meaningful feedback for autograding of programming assignments //Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – 2018. – С. 278-283.

4. Li H. et al. EmbedInsight: Automated Grading of Embedded Systems Assignments //arXiv preprint arXiv:1703.04514. – 2017.

5. Manzoor H. et al. Auto-Grading Jupyter Notebooks //Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – 2020. – С. 1139-1144.

6. Mehta S. et al. Auto-Grading for 3D Modeling Assignments in MOOCs //2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). – IEEE, 2018. – С. 51-53.

7. Sumit Gulwani, Ivan Radiček, and Florian Zuleger. 2018. Automated Clustering and Program Repair for Introductory Programming Assignments. In Proceedings of the 39th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI 2018). ACM, New York, NY, USA, 465–480.

МЕТОД ДОБАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В АУДИО ПОТОК ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИИ

А. Лернер
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается метод с помощью которого в аудио поток видео конференции можно скрытно вставить произвольную информацию. Метод исследовался в рамках

проектной работы "Робот Телеприсутсвия", где электродвигатели робота управлялись аудио потоком через платформу видео конференции Zoom.

Введение

В качестве проектной работы, требовалось разработать робота, которым можно дистанционно управлять через интернет. Робот обязан транслировать удалённому пользователю свою окружающую среду в виде аудио и видео трансляций. Робот также обязан транслировать аудио с микрофона пользователя на свой динамик. Помимо этого, робот должен быть мобильным и управляемым. Именно это требование привело к данному исследованию.

Прямой подход к решению подобной задачи может оказаться очень трудоёмким. Не исключено что придётся написать набор нетривиальных программ в качестве решения. (именно так поступают существующие аналоги робота). Данная работа предлагает решить поставленную задачу простым компактным способом, пользуясь популярными платформами как например Zoom и Skype. Если установить Zoom на ПК пользователя, и также на планшет, который является частью электрооборудования робота, сразу решается задача видеоконференции. Однако, элемент управления роботом по-прежнему остаётся нерешённым. Существующие аналоги робота, для этого создают отдельный информационный поток, по которому команды управления передаются. Такое решение однако в Zoom реализовать не получится Метод, который описывается в этой работе избегает создания нового информационного потока и предлагает внедрить команды управления в аудио поток, который изначально был предназначен для передачи аудио микрофона роботу. Таким образом, Zoom передаст аудио микрофона и команды управления на планшет одновременно в одном аудио потоке. Полученное планшетом аудио можно легко снять с аудио разъёма, а затем извлечь из него управляющие сигналы и незатронутое аудио микрофона.

Принцип работы

Skype и Zoom способны передавать аудио в стерео формате при определённых настройках. Если по одному из каналов пустить аудио микрофона, а по второму управляющий сигнал, задача моментально решается. К сожалению, на сегодняшний день портативные версии Zoom и Skype не способны принимать аудио в стерео формате. Поэтому, стерео передача не может решить поставленную задачу универсальным образом и приходится ограничится одним каналом.

В единый аудио канал можно вместить управляющий сигнал если зарезервировать ему определённую частоту в полосе пропускания [1]. Предлагается передавать аудио микрофона строго в диапазоне частот от 0Гц до 8кГц, а управляющий сигнал строго на частоте 10кГц. Почему были выбраны именно эти частоты будет подробно описано в следующем разделе. Управляющий сигнал теперь можно модулировать по амплитуде и передавать UART пакетами. На рисунке ниже (см. рис. 1) показана спектрограмма аудио потока, в котором содержится аудио микрофона и управляющий сигнал. Нетрудно заметить, что аудио микрофона и управляющий сигнал можно легко отделить друг от друга с помощью фильтров. Чтобы извлечь управляющий сигнал, достаточно пропустить поток через фильтр верхних частот. Аналогичным образом можно извлечь аудио микрофона с помощью фильтра нижних частот (см. рис. 2).

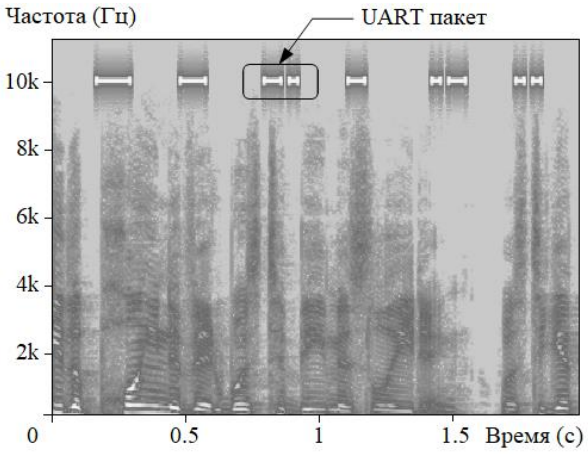


Рис.1. Спектрограмма аудио потока



Рис.2. Разбиение аудио потока

Таким образом, управляющий сигнал можно надёжно внедрить и извлечь из аудио потока, не затрагивая при этом аудио микрофона. Извлечённый управляющий сигнал предстоит провести через демодуляцию и декодировать.

Подобный приём жертвует качеством аудио сигнала, поскольку гармоники выше 8кГц не допускаются. Однако, поскольку сам робот предназначен для передачи голоса, а не музыки, компромисс почти незаметен.

Технические ограничения

Чтобы определится с параметрами метода, необходимо понять какие могут быть ограничения. Сперва обратим внимание на несущую частоту управляющего сигнала. Как было сказано ранее, предлагается использовать 10кГц. Использовать частоты выше этой может привести к нежелательным усложнениям. Дело в том, что Zoom обрабатывает аудио сигнал на своё усмотрение. Если в настройках Zoom включена опция «Original Audio», обработка будет минимальной и не меняться со временем. Ниже изображена амплитудно-частотная характеристика аудио передачи Zoom с включённым «Original Audio» (см. рис. 3). Характеристика была определена экспериментально. Как можно заметить, частоты выше 11кГц подвергаются ослаблению, именно поэтому предлагается использовать 10кГц.

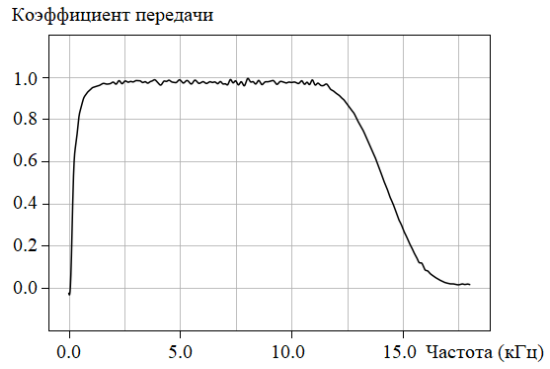


Рис.3. Амплитудно-частотная характеристика аудио передачи Zoom

Если в настройках Zoom отключена опция «Original Audio», обработка будет жёсткой и непостоянной. Zoom начнёт отслеживать непрерывные постоянные гармоники и глушить их до -50 db. Если же гармоника пульсирует, Zoom её почти не трогает. Именно по этой причине, в основном, предлагается использовать амплитудную модуляцию, а не частотную.

Как было сказано ранее, управляющий сигнал передаётся по UART протоколу, и модулируются переносчиком с частотой 10кГц. Поскольку заложенная информация цифровая, следует определить логические уровни. В данном случае логический ноль удобно представить как присутствие колебаний переносчика, а логическую единицу как их отсутствие. Такой простой подход, однако, несёт за собой потенциальную проблему. Можно показать, что резкое включение и выключение 10kГц колебаний создаст богатый спектр побочных гармоник, часть которых неизбежно попадёт в диапазон частот микрофона и испортит аудио слушателям [2]. Фильтром от такого явления избавиться не получится, поскольку придётся обрезать аудио самого микрофона. Чтобы избежать побочные гармоники необходимо включать и выключать колебания переносчика плавно. Для этого можно воспользоваться «smoothstep» функцией [3], которая описывает кривую при переходе из 0 в 1 на интервале $0 \le x \le 1$.

$$S(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 3x^2 - 2x^3, & 0 \le x \le 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$$

Ниже показаны частотные спектры при резком и плавном включении колебаний переносчика (см. рис. 4). Как можно заметить, амплитуда побочных гармоник при плавном включении на порядки меньше тех что получаются при резком включении. Следует отметить, что чем быстрее проходит плавное включение, тем больше оно похоже на резкое. Соответственно, чем медленнее проходит плавное переключение, тем меньше амплитуда побочных гармоник.

Плавное переключение между состояниями несёт за собой ограничение по битрейту UART. Определить максимальный битрейт теоретически очень сложно поскольку он сильно зависит от большого количества параметров. На максимальный битрейт влияют: несущая частота, порядок фильтра, тип фильтра, скорость переключения, диапазон частот микрофона и требований к отсутствию побочных частот. В общем случае, чем выше битрейт, тем сложнее убрать побочные гармоники из диапазона частот микрофона.

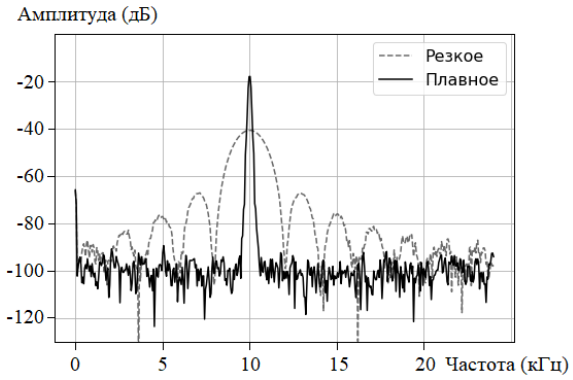


Рис.4. Спектры резкого и плавного переключения

Заключение

Представленный метод хорошо работает в тех случаях когда добавленная в аудио поток информация требует небольшой битрейт. В противном случае придётся пожертвовать рабочим диапазоном аудио частот.

Список литературы:

1. Hallas J.R. Basic radio: understanding the key building blocks: includes build-it-yourself radio projects! Newington, CT: American Radio Relay League, - 2012. - с. 10.4

2. Beerends R.J. Fourier and Laplace transforms. Cambridge: Cambridge Univ. Press, - 2006. - с. 72-73

3. Ebert D.S. Texturing & modeling: a procedural approach. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, - 2003. - с. 29-30.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ СЕРВИСА ОНЛАЙН ОЦЕНКИ РАБОТ НА БАЗЕ GOOGLE DOCUMENTS

М.Д. Курышева, В.В. Рыбникова, А.М. Сафронов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается решение по разработке и тестированию сервиса, позволяющего облегчить работу преподавателей и предоставить быструю и развернутую обратную связь студенту. Исследование проводится в рамках разработки единого приложения для взаимодействия с внутренними цифровыми сервисами МИЭМ НИУ ВШЭ.

Введение

Во время обучения в ВУЗе студентам очень важно получать индивидуальную обратную связь. При переходе на обучение в удаленном режиме, преподаватель, вместо нескольких групп на кафедре, работает с десятками групп на потоке, и, в этом случае, про индивидуальный подход не может быть и речи [1].

Кроме того, студентам важно получать своевременную проверку во всех проверочных, когда реакция “правильно” - “неправильно” появляется в нужное время, а не через месяц, когда преподаватель вручную проверит весь поток.

Большинство запросов, которые получают преподаватели, не относятся к глубоким проблемам, а скорее к базовым, например, ошибкам по невнимательности.

Отсюда можно сделать вывод и попытаться решить эти проблемы введением на потоковых занятиях автоматической проверки базовых задач.

Таким образом, необходимая проверка должна быть

1. Индивидуальной;
2. Быстрой;
3. Для задач базового уровня.

Стоит уточнить область применения данного решения. Автоматически проверяется далеко не все. Рассмотрим это на примере курса по изучению Академического письма на английском языке. В нем есть разные типы заданий. Программно можно покрыть такие задания, как расстановка пунктуации, разбивка длинных предложений на короткие, указание синонима к словам [2]. Однако программа не может оценить художественную ценность текста. И, кроме того, результат работы программы - оценка - носит исключительно рекомендательный характер.

Существующие решения

На МООК платформах, таких как Stepik и Coursera [3] есть довольно богатый набор возможностей по созданию тестовых заданий. Но у них есть и недостатки. Во-первых, нет адаптивности заданий (например, на Stepik адаптивности), когда решение предыдущих задач влияет на набор следующих задач [4].

Во-вторых, они больше ориентированы на закрытые виды вопросов, такие как выбор ответа в тесте. На открытые вопросы сделать необходимую проверку труднее. Например, на Stepik можно дописать собственный функционал, подключив внешний скрипт, однако данная проверка все равно не будет интерактивной.

Также существуют специализированные решения, например, duolingo и babbel для языков, но они рассчитаны на самостоятельное обучение и их применение в учебном плане ограничено. Ограничения вызваны тем, что это отдельные платформы, поэтому студентам необходимо будет регистрировать свои аккаунты и самим уведомлять преподавателей о своих результатах. Еще одной проблемой для преподавателей на таких платформах может стать невозможность создать собственный курс со своими материалами [5]. Решением является использование единых стандартов. Стандартами являются LTI и xAPI, и также существует стандарт SCORM, но его суть заключается в переносе контента между онлайн-системами, а не про online-работу в реальном времени [6]. На МООК-платформах (Coursera, EdX, Stepik) и в LMS (Moodle, Blackboard, Canvas) обычно поддерживается стандарт LTI. Если разрабатываемые ресурсы создавать с поддержкой этого стандарта, тогда их точечно можно использовать в курсах, размещаемых на этих платформах. В частности, SmartLMS НИУ ВШЭ использует Moodle и все разработки с поддержкой LTI будут совместимы с этой LMS.

Предлагаемое решение

Поскольку у нас есть возможность проводить тесты средствами платформ, создадим там то, что нам не хватает.

Мы создаем рабочую тетрадь на основе аналоговой тетради, которая:

1. Содержит теоретический блок;
2. Содержит практический блок;
3. Имеет возможность записи решения внутри практики;
4. Программно проверяет решение;
5. Мгновенно проверяет;
6. В зависимости от успешности прохождения предыдущих заданий, может давать более сложные или простые задачи, в зависимости от того, как пройдет проверка.

Следовательно, курс изучаемый студентом, является адаптивным.

Все вопросы, которые формируются для курса, должны быть открытыми, ведь проверяется письменная речь студента. Поэтому типы заданий на выбор из списка, как в классическом тесте, не являются предпочтительным для данного типа работы. И, таким образом, такая форма взаимодействия (письменная) является более естественной для среды, ведь решение реализовано в текстовом редакторе.

Такая форма работы была согласована с профильными специалистами факультетов ВШЭ - Школы Лингвистики и Школы иностранных языков, и эти специалисты разрабатывают комплекс проверочных материалов для такого рода грейдеров. Обратная связь, которую дает этот грейдер, может быть развернутой: не просто говорит: “правильно-неправильно”, а дает подробное объяснение, задавая наводящие вопросы. Иными словами, возможен диалоговый режим. Кроме того, такая рабочая тетрадь сохраняет весь ход решения студента, а также обратную связь. И при повторном чтении, когда студенты будут просматривать свои тетради, это будет уже не чистый лист, и у каждого студента будет своя статистика.

Реализация

Делать свой сайт в рамках данной задачи – это неудачная идея, потому что это сложно в поддержке, плохо в развитии, и тд. Поэтому идея создания программы на готовом интерфейсе выглядит проще и надежнее. Таким образом, за основу были взяты Google Документы, ведь к ним легко предоставить доступ, нет нагрузки на хостинг, при этом есть все возможности, необходимые для реализации.

Проведем анализ технической реализуемости на базе среды Google Apps. Эта среда представляет широкий набор инструментов, таких как Документы и Таблицы, которые, помимо всего прочего, удобно интегрируются между собой. Помимо таблиц и документов, нам потребуется также Google Drive, на котором будут храниться файлы, и LMS-среда Google Classroom, внутри которой будет осуществляться проверка работы грейдера.

Теперь рассмотрим механизм работы. Грейдер строится из следующих ступеней:

1. Таблица сценарий;
2. Набор таблиц задачник;
3. Документ с теорией;
4. Сервисная таблица;
5. Classroom или CMS заказчика.

Взаимодействие этих частей представлено на рисунке 1.

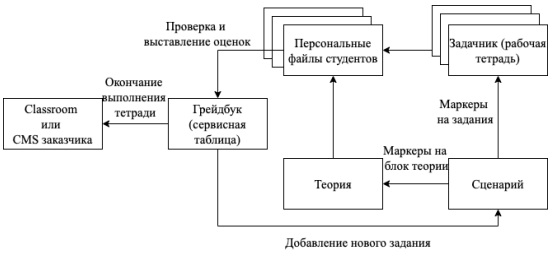


Рис.1. Архитектура сервиса Рабочая тетрадь

Первой точкой входа являются таблицы Сценарий и Теория, которые заполняет преподаватель.

1. Сценарий содержит последовательность того, как именно будет строиться рабочая тетрадь студента: указывается порядок блоков с теорией и практикой. Сценарий заполняет преподаватель.

2. Задачников в проекте несколько - столько же, сколько и тем в курсе. А указываются в них формулировки заданий, уровни сложности, правильные ответы и реакции на ошибки. Задачник заполняет преподаватель и наполняет его контентом.

3. Сервисная таблица генерируется автоматически и в ней указывается список студентов, сколько заданий они выполнили, где остановились, оценки, ссылки на персональные тетради студентов.

Программный скрипт реализован на языке Python 3.

В работе используется сервер Ubuntu 18. Для удобства и автоматизации процессов запуска и обновления программного обеспечения, весь процесс запускается в контейнере с помощью технологий развертывания и управления Docker [7].

Рассмотрим алгоритм работы.

1. Преподаватель создает сценарий для темы на основе имеющихся файлов с контентом, которые можно дополнять на протяжении всего курса;

2. После создания сценария начинают формироваться и рассылаться студентам файлы в соответствии со сценарием до первой практики включительно;

3. Каждый студент в индивидуальном порядке заполняет свой документ, после чего отмечает в таблице свою готовность к предварительной проверке или сдаче работы;

4. По готовности студента запускается проверка, просматривает ответы пользователя, отмечает каждый из них как правильный или неправильный и формирует оценку, которая корректирует общую оценку за раздел с учетом количества и успешности выполненных заданий;

5. Время последней проверки также записывается в сервисную таблицу. При установленном дедлайне, просроченное время сдачи будет влиять на снижение оценки;

1) Если пользователь выбрал только предварительную проверку, то ему предоставляется шанс исправить свое задание, тем самым повысив результирующую оценку. Если он готов сдать задание и продолжать дальше, то в его документ добавляется следующий раздел, соответствующий сценарию, будь то теория и практика. Последующее задание будет выдано исходя из предыдущей оценки студента.

Рассмотрим возможности и ограничения. Возможности: моментальная реакция на ответ студента с последующим оцениваем работы, веб-хуки в будущем, выбор сложности задания в соответствии с предыдущими успехами студента, облачная база данных в Google Spreadsheets, распределение работ студентов по папкам с темами (Gdrive).

Ограничения: количество допустимых запросов в день к сервисам гугла, сложность изменения интерфейса под себя, для надежности приходится писать практические задания в таблицах, а также, всегда есть шанс, что студент сотрет таблицу и проверка будет невозможна.

Применение технологии в учебных курсах

Данная технология применяется в курсах по изучения академического письма на английском языке. В этом курсе должны быть реализованы следующие типы заданий:

1. Расстановка пунктуации;
2. Правильный порядок слов в предложении;
3. Разбивка длинных предложений на короткие;
4. Разбивка сплошного текста на смысловые абзацы;
5. Анализ написанного абзаца на неформальную лексику.

Также созданная рабочая тетрадь будет использоваться для изучения русского языка как иностранного. В данном курсе проверяются следующие типы заданий:

1. Вставка пропущенных по смыслу слов в текст;

2. Склонение слов по падежам, проверка ряда преобразований слова;

3. Заполнение окончаний слов в зависимости от контекста;

4. Объединение простых предложений в сложное;

5. Соединение начала предложения с его логическим завершением, выбранным из нескольких предложенных вариантов.

Помимо возможности проверки различных типов, существует несколько режимов работы рабочей тетради:

1. Тренировочная работа. Это классический способ с возможностью повышения оценки;

2. Контрольная работа. В данном режиме отсутствует возможность повышения оценки после проверки.

Заключение

Таким образом, проект может быть крайне полезен при дистанционном обучении, так как он позволит существенно снизить нагрузку на преподавателей, уменьшив количество монотонной и однотипной работы. Студентам же для отработки материала предоставляются задания наиболее подходящего уровня сложности, что облегчает усвоение материала.

Список литературы:

1. d'Oliveira, Cecilia, et al. "MIT OpenCourseWare: Unlocking knowledge, empowering minds." Science 329.5991 (2010): 525-526.
2. Trajanovic, Miroslav, Dragan Domazet, and Biljana Misic-Ilic. "Distance learning and foreign language teaching." Balkan Conference in Informatics (BCI 2007). Vol. 2. 2007.
3. Jeff Maggioncalda, Coursera for Campus: A New Way to Help Universities Everywhere Deliver Job-Relevant Learning, 3 October 2019. Точный адрес статьи: https://blog.coursera.org/coursera-for-campus-a-new-way-to-help-universities-everywhere-deliver-job-relevant-learning/.
4. Cristea, Alexandra I., and Toshio Okamoto. "An adaptive distance learning environment for language teaching." Proceedings International Workshop on Advanced Learning Technologies. IWALT 2000. Advanced Learning Technology: Design and Development Issues. IEEE, 2000.
5. Eric Ravenscraft, 500 Days of Duolingo: What You Can (and Can't) Learn From a Language App (Published 2019), 4 May 2019. Точный адрес статьи: https://www.nytimes.com/2019/05/04/smarter-living/500-days-of-duolingo-what-you-can-and-cant-learn-from-a-language-app.html.
6. Ridvan Aliu, Why Learning Tool Interoperability Should Be Part Of Your eLearning Application, August 16, 2014. Точный адрес статьи: https://elearningindustry.com/learning-tool-interoperability-part-elearning-application
7. Merkel, Dirk. "Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment." Linux journal 2014.239 (2014): 2.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ LORAWAN ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА КОЛИЧЕСТВО ПОТЕРЯННЫХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПАКЕТОВ

К.Д. Глинкина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе анализируется производительность энергоэффективной технологии беспроводных радиосетей широкого радиуса действия LoraWAN, применяемой для различных решений интернета вещей. С помощью симуляцион-

ной модели в сетевом симуляторе NS-3 проверяется подход к оптимальному назначению скорости передачи данных оконечных устройств, основанный на вероятностной модели сети LoRaWAN.

Введение

В настоящее время сети на базе протокола LoraWAN внедрены и активно применяются в системах интернета вещей различного назначения [1, 2]. В сетях LoRaWAN на физическом уровне используется метод модуляции LoRa, разработанный компанией Semtech [3], и открытый протокол канального уровня LoRaWAN [4]. Сеть имеет топологию типа «звезда из звезд», и состоит из оконечных устройств, шлюзов, принимающих данные от оконечных устройств, сетевого сервера, управляющего сетью, и сервера приложений. Дешевизна и быстрота развертывания сети обусловлены функционированием в нелицензируемом частотном диапазоне [4].

Модуляция LoRa использует шесть коэффициентов расширения спектра (Spreading factor, SF) — от 7 до 12, что соответствует значениям скорости передачи данных (Data Rate, DR) от 5 до 0 (табл.1).

Таблица 1. Скорость передачи данных и виды модуляции в сети LoRaWAN

DR	SF	Скорость передачи данных, бит/с
0	12	250
1	11	440
2	10	980
3	9	1760
4	8	3125
5	7	5470

Свойство ортогональности различных SF позволяет одновременно принимать данные от нескольких различных оконечных устройств в одном частотном канале при некоторых довольно мягких ограничениях на разницу в мощности принимаемых сигналов [5].

Основной метод управления сетью, посредством которого сетевой сервер может влиять на поведение оконечных устройств – механизм адаптации скорости передачи данных (Adaptive data rate, ADR) [6]. В связи с этим целесообразно выявить алгоритм для оптимального распределения DR оконечных устройств, максимизирующий параметры производительности сети.

Целью исследования данной работы является разработка алгоритма выбора скорости передачи данных для оконечных устройств, максимизирующего емкость сети при заданной доле некорректно полученных пакетов (Packet Error Rate, PER).

Задачами данной работы являются сравнение производительностей аналитической и симуляционной моделей сети, определение применимости аналитической модели и построенного на базе неё алгоритма к симулируемой сети.

Подходы к моделированию сетей LoRaWAN

Одним из подходов к моделированию функционирования сети LoRaWAN является симуляционная модель [7] на базе свободно распространяемого сетевого симулятора NS-3 [8] с модулем lorawan [9]. Модель позволяет симулировать сети с одним или несколькими шлюзами, многими оконечными устройствами, передающими пакеты с заданной периодичностью, а также учитывать подтверждённый и неподтверждённый трафик. Для оптимизации параметров MAC-уровня посредством настройки рабочих параметров сети в [7] рассматривается несколько сценариев.

Другой подход к моделированию сети – построение аналитической модели [10, 11]. В данном случае математически анализируется вероятность передачи данных для каждого DR независимо от успешных передач при других DR и в других частотных каналах. В рассматриваемых в работах [10] и [11] моделях предполагается абсолютная ортогональность передаваемых сигналов, вытекающая из малого расстояния между устройствами в сети. Вычисляются доли некорректно полученных пакетов (Packet Error Rate, PER) и недоставленных пакетов (Packet Loss Rate, PLR). Полученные результаты приводятся в форме наглядных графиков и формул.

Верификация аналитической модели

В рамках данного исследования для сопоставления аналитической модели симуляционной была построена и протестирована в симуляторе NS-3.33 модель сети LoraWAN. Аналогично [10, 11] рассматривается сеть, состоящая из 1000 оконечных устройств и 1 шлюза, оконечные устройства равномерно распределены внутри круга радиусом 1000 метров, в центре которого находится шлюз. Для определения затухания сигнала используется модель канала Окамура-Хата [12]. Размер пакета - 51 байт, данные передаются с подтверждением. Используется частотный план EU868, аналогичный использованному в аналитической модели.

Для различных DR были построены графики зависимости PER от нагрузки сети λ, измеряемой в пакетах/с, для этого в симуляционной модели варьировалась периодичность отправки пакетов оконечными устройствами (кривые DR0-DR5 на рис. 1). Данная зависимость соответствует аналитической модели, описанной в [10]. Кроме того, был построен аналогичный график для алгоритма назначения DR пропорционально скорости передачи данных (кривая Proportional на рис. 1).

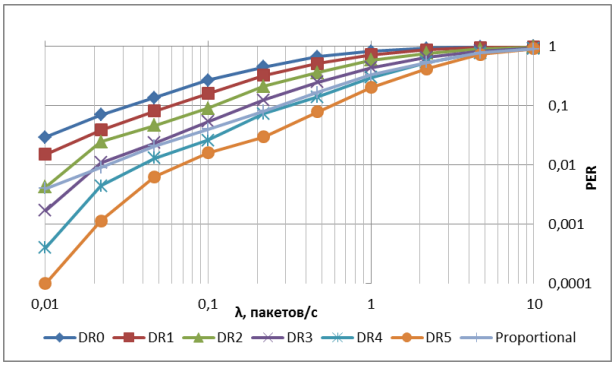


Рис.1. Зависимость PER от нагрузки сети

Выбор скорости передачи данных для максимизации емкости сети

Для сравнения различных алгоритмов назначения скорости передачи данных была построена симуляционная модель, состоящая из переменного количества устройств с фиксированной периодичностью передачи данных (1 пакет размером 51 байт в час). Остальные параметры модели аналогичны предыдущей. Были проанализированы три способа назначения скорости передачи данных:

- назначение DR, исходя из затухания в канале между оконечным устройством и шлюзом, аналогичная использованной в [7]. Этот метод имитирует применяемый в реальных сетях способ назначения DR по отношению сигнал-шум, зафиксированному шлюзом при приеме пакета данных и в построенной модели вырождается в назначение всем устройствам единственного DR5, что не позволяет использовать ортогональность сигналов с различными SF.

- назначение DR с учетом скорости передачи данных - отношение количества устройств с двумя разными DR должно быть обратно пропорционально скорости передачи данных для этих DR. Этот метод выравнивает загрузку сети устройствами с разными DR.

- описанный в [11] метод назначения DR с учетом показателей загрузки сети (качества обслуживания, quality of service) - в качестве такого была выбрана доля принятых с ошибками пакетов (PER), и назначение DR осуществлялось так, чтобы этот параметр не превышал 10%.

Для каждого из методов определялось максимальное количество устройств в сети, для которого PER не превышает 10%. В первом случае поведение сети полностью соответствовало модели, описанной рис. 1, и требуемый PER достигался при примерно 2000 одновременно работающих устройств. Для второго алгоритма этот показатель оказался меньше (хотя соответствует его поведению в модели), и составил примерно 800 устройств. Несмотря на то, что отдельные DR соответствуют ортогональным SF и в построенной модели независимы, ограничения MAC-уровня не позволяют подтвердить получение одновременно полученных независимых пакетов данных с разными SF. Аналогичная ситуация наблюдалась и в случае третьего алгоритма, построенного в предположении о независимости различных DR - PER 10% достигался при 2400 устройств, что существенно меньше теоретически определенного в соответствии с [11] максимума в 4400 устройств.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что предложенный в [11] алгоритм назначения DR позволяет значительно увеличить ёмкость сети LoRaWAN.

Заключение

Практически промоделирована и доказана эффективность алгоритма оптимизации сервера сети LoRaWAN, а именно максимизация ёмкости сети посредством адаптивного распределения скоростей передачи данных конечных устройств. В ходе работы было установлено соответствие аналитической и симуляционной моделей.

Список литературы:

1. Левитин М. Л. Как оптимизировать LoRaWAN-сеть со 100 000 до 1 млн устройств. / Конференция «LoRa Россия» - М.: Ассоциация Интернета вещей, 2020

2. Плотников О. Е. Непривычные кейсы для LoRa. Опыт внедрения. / Конференция «Inothings 2019» - М.: Онтико, 2019

3. Semtech Corporation, AN1200.22 LoRa Modulation Basics, 2015

4. LoRa Alliance. LoRaWAN Specification; v. 1.1; 2017

5. C. Goursaud, J.-M. Gorce. Dedicated networks for IoT : PHY / MAC state of the art and challenges. // EAI endorsed transactions on Internet of Things, European Alliance for Innovation, 2015

6. K. Abdelfadeel, V. Cionca, D. Pesch. "Fair Adaptive Data Rate Allocation and Power Control in LoRaWAN // 2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks", Chania, Greece, 2018 pp. 14-15.

7. D. Magrin, M. Capuzzo, A. Zanella. A Thorough Study of LoRaWAN Performance Under Different Parameter Settings. // IEEE Internet of things journal, vol. 7, no. 1, Jan. 2020

8. NS-3 network simulator. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nsnam.org (Дата обращения: 16.02.2021 г.).

9. SIGNET Lab - DEI, University of Padova [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/signetlabdei/lorawan (Дата обращения: 16.02.2021 г.).

10. D. Bankov, E. Khorov, A. Lyakhov. LoRaWAN Modeling and MCS Allocation to Satisfy Heterogeneous QoS Requirements // Sensors 2019. Vol. 19. No. 19. P. 1-23

11. D. Bankov, E. Khorov and A. Lyakhov, An Algorithm to Satisfy the QoS Requirements in a Heterogeneous LoRaWAN Network. // 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2020, pp. 1-6

12. Hata, M. Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services. // IEEE Trans. Veh. Technol. 1980, 29, 317–325.

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПРИЕМА И ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛА ДЛЯ FPV СИСТЕМ

И.О. Филиппов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается создание автономной цифровой системы передачи и приема видеосигнала с минимальной задержкой.

Введение

При пилотировании беспилотных летательных аппаратов (дронов), возникает необходимость обзора местности, чтобы понимать, куда летит дрон. Для этого используются беспроводные камеры, которые устанавливаются на дрон и передают изображение на землю.

Почти все, за редким исключением, системы FPV (First Person View) на данный момент аналоговые. Аналоговые системы не имеют задержки сигнала, что позволяет комфортно чувствовать управление на больших скоростях. Однако главным минусом аналоговых систем является крайне низкая помехоустойчивость, а также низкое разрешение аналоговых камер.

Главной целью проекта является создание цифровой системы FPV, которая не будет уступать аналоговым системам в задержке сигнала, но превосходить их по помехоустойчивости и по качеству изображения. Также система должна работать с существующим набором приемопередатчиков, которые повсеместно используют пилоты дронов.

Архитектура

Основное требование к системе – это минимальная задержка на всех этапах передачи, приема и вывода изображения на монитор или очки. Так же вся система должна стоить не дороже своих цифровых аналогов и по стоимости быть сопоставимой с качественными аналоговыми решениями.

Анализ существующих легкодоступных и дешевых систем связи и видео кодеров показал невозможность построения данной системы на основе существующих модулей. Было принято решение разработки всех элементов с нуля. Основной проблемой стал канал связи. Он должен обладать хорошей помехоустойчивостью, иметь минимальную задержку при передаче и быть достаточно дешевым. Существующие wi-fi [1] модули хоть и имеют высокую пропускную способность, но их задержка порядка 100 мс не позволяет комфортно управлять дроном на больших скоростях. Наилучшим решением в такой ситуации является использование аппаратно реализованных протоколов и собственный модулятор – демодулятор [3]. Аппаратные протоколы и вся цифровая обработка сигнала реализована на ПЛИС. Далее цифровой сигнал поступает на цифро-

аналоговый преобразователь и подается на аналоговый передатчик, который переносит сигнал на частоту 5.8 ГГц. При приеме цифровая обработка сигнала происходит в обратном порядке. В качестве типа модуляции была выбрана квадратурная модуляция [2], так как она имеет наилучшее сочетание помехоустойчивости, пропускной способности и спектральной эффективности. Вся обработка сигнала происходит в цифровом виде, это значит, что устройство совместимо с любым аналоговым передающим трактом, работающим в заданном диапазоне напряжений и полосе пропускания до 40 МГц. На текущем этапе разработки задержка на приемо-передающем канале составляет примерно 1 мкс.

Для видео кодека основные требования такие же, как и для канала связи, а именно: минимальная задержка и низкая цена. Отдельные чипы кодеков либо не оптимизированы для низкой задержки, либо стоят очень дорого и их использование не целесообразно. Было принято решение разрабатывать собственный аппаратный кодек на основе ПЛИС. Оптимальным решением в данной ситуации будет использование покадрового сжатия jpeg [4] без буферизации. Так же может использоваться межкадровая компенсация движений и разность кадров, но опять же без буферизации и в реальном времени. На принимающей стороне возможна обработка нейросетью для повышения качества.

Использование одного ПЛИС для всего модуля приемника/передатчика позволяет существенно уменьшить размер итогового изделия, а также сократить потребление энергии, что важно при установке его на дрон небольшого размера, а также быстро исправлять недоработки и выпускать обновления прошивки.

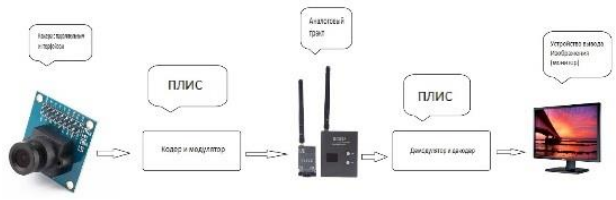


Рис.1. Архитектура устройства

Выбор элементной базы

Выбранная элементная база должна быть дешевой, иметь малый размер и эффективное энергопотребление. В качестве вычислительного устройства была выбрана ПЛИС компании Intel FPGA (Altera) в связи с доступностью и сравнительно низкой цене при необходимых аппаратных ресурсах. В качестве внешнего АЦП был выбран АЦП от Analog Devices. Остальные компоненты – это в основном необходимая обвязка АЦП и линий питания.



Рис.2. FPV Система от DJI

Заключение

Данный проект призван облегчить жизнь людям, пилотирующим разного рода беспилотные летательные аппараты, вне зависимости от их назначения. А также существенно снизить денежные затраты относительно аналогичных систем (например система от DJI). БПЛА могут быть как военные беспилотники, так и квадрокоптеры размером с лист А4. Конечное устройство можно будет встраивать в уже существующую экосистему БПЛА, ничего дополнительного кроме кодеров докупать не придется. Так же имеется совместимость с любыми аналоговыми приемопередающими каналами полосой пропускания 10 МГЦ и работающими в диапазоне напряжения от 0 до 5 вольт. В будущем планируется расширять частотный диапазон и диапазон напряжений. А также улучшать качество сжатия и постобработки видеопотока. Это будет первая доступная на рынке цифровая FPV система.

Список литературы:

1. IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks--Specific requirements--Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications--Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz.," in IEEE Std 802.11ac(TM)-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012) , vol., no., pp.1-425, 18 Dec. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.7797535.

2. Hanzo L., Webb W. T., Keller T. Single-and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation: Principles and Applications for Personal Communications, WATM and Broadcasting: 2nd. – IEEE Press-John Wiley, 2000.

3. Mohamed K. Nezami. Digital Wireless Transceivers. 2003.

4. Основы алгоритма сжатия JPEG [Электронный ресурс]. URL: https:// algo-list.manual.ru/compress/image/jpeg.php (дата обращения 10.02.2021).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

И.Д. Писарский, А.Р. Рыжов,
П.Н. Цыгикало, Д.С. Романова
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе произведен анализ причин использования средств виртуальной реальности в образовательной среде, описана реализация тестовых уровней для моделирования лабораторных работ по физики и произведено их сравнение с похожей реализацией.

Введение

В эпоху активного развития цифровых устройств существует возможность улучшения качества образования с помощью передовых технологий. Виртуальная реальность представляется естественным следующим шагом в эволюции образования. При увеличении степени взаимодействия обучающихся с обучающей средой растет количество усваиваемого материала. В связи с этим переход от клас-

сических форм образования к формам, подразумевающим непосредственное взаимодействие обучающихся с учебным материалом кажется логичным шагом. До этого данные шаги были невозможны ввиду цены лабораторных стендов, но передовые разработки в области виртуальной реальности позволили обойти данную проблему.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для проведения лабораторных работ по механике с использованием средств виртуальной реальности.

В разделе “Использование технологий виртуальной реальности в образовании” обоснована потребность в использовании средств виртуальной реальности в сфере образования. В разделе “Анализ существующих решений” приведено краткое описание сходств и различий работы с существующими решениями. В разделе “Предложенная реализация” описан результат разработки.

Использование технологий виртуальной реальности в образовании

Возможность обучения при использовании средств виртуальной реальности давно исследуется учеными, первые публикации с обзорами возможных последствий появились более 30 лет назад [1].

В данный момент использование средств виртуальной реальности в школах в первую очередь продиктовано возможностью увеличить вовлеченность школьников в образовательный процесс, но не стоит забывать и про экономические соображения. Однако 2020 год показал, что другое часто забываемое свойство средств виртуальной реальности заключается в возможности дистанционного обучения, а для самого обучения необходим лишь шлем виртуальной реальности.

Помимо этого исследования показывают, что классические методы образования нравятся далеко не всем. Данный вопрос был рассмотрен в исследовании Словакии [2]. Исходя из проведенного опроса 60% респондентов не довольны классическими форматами обучения (при помощи текста и картинок). Из числа недовольных 67% не нравится монотонность и вялость обучения, а 49% не устраивает контекст, в котором происходит обучение. Данные показывают ограничения использования классических методов образования, при этом использование средств виртуальной реальности в меньшей степени подвержено данным недостаткам.

Предложенная реализация

Предложенное решение является приложением самодостаточной программы для бюджетного устройства виртуальной реальности Oculus Quest 2, не требующем подключения к настольному компьютеру. За основу программы был взят игровой движок Unity3D. Данное решение позволило добиться соответствия высоким графическим стандартам игровой индустрии, обычно предъявляемым высокопроизводительным компьютерным играм. В игровой редактор встроен высокоточный высокопроизводительный физический движок, позволяющий с высокой точностью имитировать физическое взаимодействие между объектами. Для интеграции устройств виртуальной реальности были задействованы особые параметры компиляции, а для взаимодействия с внешними объектами была использована библиотека BNG Framework. Во время тестирования было обнаружено, что библиотека ориентирована на механики, соответствующие компьютерным играм в жанре first person shooter; в связи с этим появилась необходимость в модификации некоторых ключевых компонентов данной библиотеки. Одним из них является скрипт для взаимодействия между объектами, с которыми взаимодействует пользователь.

В общем виде программа представляет из себя набор интерактивных сцен, соединенных между собой специальной Главной сценой, также являющейся первой сценой, которую видит пользователь. Каждая сцена кроме главной содержит лабораторную работу, входящую в программу физики многих российских школ. Лабораторная работа состоит из набора заданий. При выполнении задания пользователю необходимо выполнить ряд манипуляций со стендом и при необходимости произвести вычисления. По завершению задания пользователь может вызвать систему проверки, которая проанализирует соблюдение условий, требуемых в задании. После этого ученику будет вычислена оценка по данному заданию. Лабораторная работа считается выполненной, если по всем заданиям стоит оценка выше удовлетворительной. Результаты заданий отсылаются в систему мониторинга успехов пользователя. Пользователь может ознакомиться с данными в Главной сцене. Помимо этого имеется возможность внедрения всей программы как части другой программы. Диаграмма, описывающая систему взаимодействия частей программы представлена на рисунке 1.

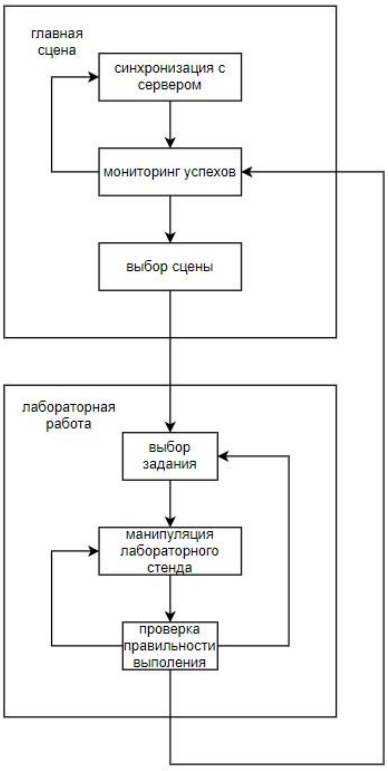


Рис.1. Диаграмма взаимодействия компонентов программы

Во время разработки применялся ряд техник для повышения вовлеченности пользователя в требуемую область. Одной из данных техник является попытка создания иллюзии того, что персонаж находится в виртуальном мире. Окна загрузки отвлекают пользователя от погружения в виртуальный мир. В связи с этим, было решено избавиться от окон загрузки. Для бесшовной загрузки Unity3D предоставляет ряд возможностей, таких как аддитивная загрузка сцен. Однако, данные возможности чреваты некоторыми проблемами, к ряду которых относится отслеживание принадлежности объектов к определенным игровым сценам, что влечет потенциальные проблемы с динамической сменой сцен и производительностью. В связи с этим, было выбрано собственное решение, которое не влечет за собой

вышеописанные проблемы и не имеет значительного влияния на производительность. Другой отличительной возможностью выбранного движка является возможность адаптации проекта под широкий спектр моделей наголовных дисплеев виртуальной реальности и сопутствующих им девайсов.

Для изучения возможных проблем была разработана тестовая сцена, которая представляет из себя центральную локацию с возможностью бесшовного перехода между различными лабораторными работами и системой оценивания успехов ученика в каждой из лабораторных работ.



Рис.2. Выбор лабораторных работ

Помимо этого, был реализована сцена для более детального анализа взаимодействия в рамках физического движка Unity3D. На данной сцене испытывался ряд механик, которые планируется реализовать в итоговом продукте. Одной из таких механик является возможность физического взаимодействия множества связанных между собой физических тел. Одним из таких тел являются весы с возможностью прикрепления грузов к точкам на различных расстояниях от центра оси рычага. Также, поддерживается возможность прикрепления грузов к другим грузам. Итоговые силы, воздействующие на рычаг отображаются над ним, что позволяет ученику наглядно наблюдать изменение величины крутящего момента.

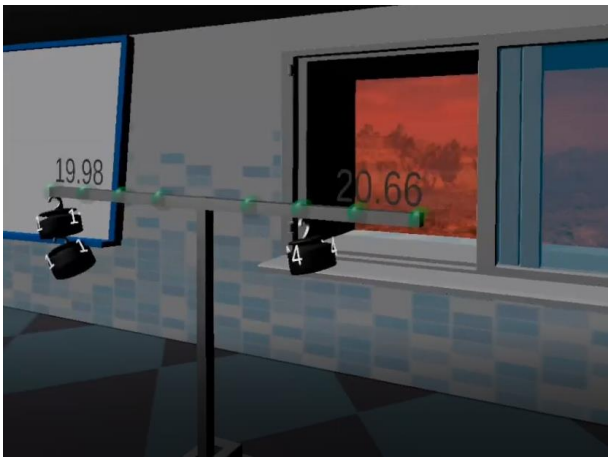


Рис.3. Пример физического взаимодействия грузов с рычагом

Анализ существующих решений и опыта их применения

У предложенного решения существует ряд аналогов. Наиболее близкую по смыслу программу разработали в Греции[3]. Программа основана на OpenSimulator - открытой многопользовательской платформе для хостинга виртуальных миров. Пользователи могут перемещаться по кабинетам с интерактивными лабораторными стендами и педагогическими агентами и выполнять лабораторные работы. Главное отличие данной работы от предлагаемой заключается в невозможности использования средств виртуальной реальности, симуляция происходит на компьютере. а изображение выводится на экран. Предлагаемая заработка поддерживает самостоятельную работу на бюджетном шлеме виртуальной реальности и поддерживает возможность портирования на другие платформы виртуальной реальности с минимальными затратами. Помимо этого, в OpenSimulator значительно урезаны возможности взаимодействия с предметами, взаимодействие происходит на основе скриптов, а не физического движка. В данной работе роль педагогического агента выполняет учитель с трехмерным аватаром профессора, что позволяет близко управлять процессом и давать более подробные инструкции, в то время как в предложенном решении прогресс выполнения лабораторной работы отслеживается с помощью интерактивного интерфейса, с которым взаимодействует сам ученик, что повышает автономность решения. Тем не менее, внедрение возможности включения живого педагогического агента является удачной идеей, так как когнитивное взаимодействие с антропоморфным агентом увеличивает погружение в процесс обучения [4].

В виде примера успешного использования средств виртуальной реальности можно взять школы Дублина где тестировался проект для изучения химии и физики под названием NEWTON[5]. Часть результатов приведено в исследовании [6], где 12-13 летним ученикам предложено изучать круговорот воды в природе при помощи очков виртуальной реальности. В приложении инструкции выводились при помощи текста и аудио. В рамках данной работы ученикам были рассказаны такие физические эффекты как испарение и кипение и их проявление как в природе, так и в лабораторной среде. После прохождения набора уроков обучающие проходили опрос, где отвечали об их отношении к подобного рода занятиям. Исходя из результатов более 70% участников нашли такой формат более полезным, и познавательным, 50% учеников он показался более приближенным к реальности по сравнению с обычным уроком и только 15% учеников посчитали, что vr технология отвлекает их от занятия.

Заключение

На текущий момент имеется ряд техник, используемых для увеличения вовлечения учеников в образовательный процесс. В частности, способы повышения уровня погружения в виртуальный мир и методы для повышения интерактивности системы. Данные техники реализованы на ряде тестовых уровней. Полученные знания будут полезны как для анализа траекторий развития обучающих систем в среде виртуальной реальности, так и для практической реализации приложений, пригодных для применения в образовательных целях.

Список литературы:

1. Bricken, W. (1990). Learning in Virtual Reality.
2. Dávideková, M., Mjartan, M., & Greguš, M. (2017). Utilization of virtual reality in education of employees in slovakia. Procedia computer science, 113, 253-260.
3. Grivokostopoulou, F., Perikos, I., Kovas, K., Paraskevas, M., & Hatzilygeroudis, I. (2017, December). Utilizing virtual reality to assist students in learning physics. In 2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) (pp. 486-489). IEEE.
4. Kupferberg, A., Glasauer, S., Huber, M., Rickert, M., Knoll, A., & Brandt, T. (2011). Biological movement increases

acceptance of humanoid robots as human partners in motor interaction. AI & society, 26(4), 339-345.

5. NEWTON – NEWTON http://www.newtonproject.eu/ Accessed: 2021-02-14

6. Teaching and Learning Physics using 3D Virtual Learning Environment: A Case Study of Combined Virtual Reality and Virtual Laboratory in Secondary School Diana Bogusevschi, Cristina Hava Muntean et al

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ ТЕКСТА ИЗ ВИДЕО ПРЕЗЕНТАЦИЙ

Е.С. Белякова, М.А. Волков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа посвящена созданию модуля сетевого видеорекордера для индексации содержимого автоматически записываемых лекций.

Введение

В настоящее время в МИЭМ развернут сервис, позволяющий записывать видео проведенных занятий в некоторых аудиториях, а также онлайн-лекций на платформе для организаций видеоконференций JITSI. Однако, крайне сложно среди всех видео найти запись нужной лекции. Поэтому было принято решение создать модуль к этому сервису, который будет осуществлять тегирование ключевых слов для каждой презентации. Распознавание текста со слайдов позволит точнее идентифицировать содержание лекции и помочь в поиске по ключевым словам в архиве.

Целью разрабатываемой системы является поиск и сохранение в базе данных таймкода появления ключевых слов, распознанных в видеозаписях лекций.

Для данного модуля есть два источника данных:

- канал захвата изображения с проекторов в оснащенных видеокомплексами помещениях МИЭМ (видеокомплекс записывает 4-5 потоков с камер и один поток с компьютера лектора);
- захват экрана видеоконференции на платформе JITSI.

Решение данной проблемы состоит из нескольких этапов:

- распознавание всех слов на кадре;
- выявление ключевых слов;
- запись в базу данных пар “слово-таймкод”.

Оптическое распознавание символов

Технология оптического распознавания символов (OCR) позволяет детектировать текст на изображениях и распознавать слова.

На протяжении нескольких десятилетий системы оптического распознавания символов прошлого поколения широко использовались во многих сферах. Но за это время они так и не смогли преодолеть порог распознавания всего лишь нескольких шрифтов и форматов документов. В результате чего так и не удалось перевести в цифровую форму большое количество документов.

В настоящее время современные методы распознавания текста обладают большей робастностью и устойчивостью к шумам на изображении, что в свою очередь позволяет решить многие проблемы систем прошлого поколения. Это стало возможным благодаря тому, что современные языковые модели основаны на глубоких нейронных сетях. В тоже время накопились огромные объемы данных в виде общедоступных датасетов, что и позволяет нейронным сетям достигать высочайшей точности решения задач распознавания текста. Генерация синтетических данных позволяет создать различные условия в виде геометрических искажений, плохого света, различного шрифта и так далее, что позволяет повышать устойчивость таких моделей.

OCR как процесс состоит из несколько этапов:

- предварительная обработка изображения;
- обнаружение текста;
- распознавание текста;
- постобработка.

Одним из популярных решений этой задачи является TesseractOCR [1]. Этот метод поддерживает более 100 языковых моделей и дает высокую точность распознавания. Tesseract разработан на основе рекуррентной нейронной сети LSTM [2].

В работе [3] был представлен набор инструментов для анализа документов OCRopus. Изображение для обработки должно быть высокого разрешения, также OCRopus не будет улавливать страницы, которые ориентированы боком.

В работе [4] авторы представили систему оптического распознавания текста EasyOCR, которая поддерживает более 40 языков. Для определения текста используется алгоритм машинного обучения CRAFT [5]. Для распознавания последовательностей символов используется нейронная сеть CRNN [6]. Для декорирования выходных данных нейронной сети в текст используется алгоритм CTC [7] .

Выявление ключевых слов

Извлечение ключевых слов — одна из наиболее важных задач интеллектуального анализа текста. По сути для данного текста алгоритм выдает ранжированный набор слов, которые лучше всего описывают приведенный для текст. Ключевые слова — структурные единицы текста, которые содержат наиболее важную информацию о нем. Существует два способа решения автоматизации выделения ключевых слов: назначение ключевых слов (keyphrase assignment) и извлечение ключевых слов (keyphrase extraction). Способ назначения предполагает выделение только тех ключевых слов, которые содержатся в выбранном словаре, а способ извлечения позволяет выбирать ключевые слова из исходного текста.

Существует несколько методов извлечения ключевых слов:

- статистические;
- лингвистические;
- методы машинного обучения;
- гибридные подходы.

TF-IDF — статистическая мера, используемая для оценки важности слова в тексте. TF — частотность термина, которая измеряет, насколько часто термин встречается в документе. IDF — инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах коллекции. Учёт IDF уменьшает вес широко употребимых слов.

В работе [8] был представлен метод извлечения ключевых слов TopicRank на основе графа. Ключевые фразы-кандидаты сгруппированы по темам и используются в качестве вершин в полном графе. Модель ранжирования на основе графов применяется для присвоения оценки значимости каждой теме. Затем ключевые фразы генерируются путем выбора кандидата из каждой из топовых тем.

Языковая модель для поиска ключевых слов KeyBERT [9] основана на блоках внимания, которые учитывают контекст каждого слова.

Разработка и тестирование модуля

Схема работы модуля состоит из 3 этапов. На первом шаге видео записанной презентации (источником данных

является проект 19104 Видеосервисы) подается на вход программе, которая с заданной периодичностью отправляет кадр на распознавание. На втором шаге происходит детектирование и распознавание текста на кадре с последующим выделением ключевых слов. Затем на третьем шаге связка “слово-таймкод” записывается в базу данных, после чего вход распознавателю подается уже следующий кадр. Разработка осуществлялась на языке Python с использованием библиотек OpenCV, Pandas, PyTesseract и KeyBERT.

В таблице 1 представлено сравнение двух решений для OCR: TesseractOCR и EasyOCR.

Таблица 1. Сравнение решений [10]

	Error rate on numbers	Error rate on alphabets
TesseractOCR	5.50%	0.70%
EasyOCR	1.90%	4.30%

Как можно заметить, EasyOCR демонстрирует лучший результат на числовых данных, а TesseractOCR на символьных данных. Было принято решение использовать TesseractOCR (русский и английский словари), так как облако тегов предпочтительно должно состоять из слов.

В таблице 2 представлен результат работы KeyBERT на наборах данных INSPEC [11] и DUC [12].

Таблица 2. Тестирование KeyBERT

	Precision	Recall	F1
Keyword	0.90	0.86	0.88
Non-keyword	0.76	0.82	0.79

Заключение

В результате проделанной работы был создан модуль, позволяющий осуществлять тегирование ключевых слов презентаций и производить запись связки “слово-таймкод” в базу данных. Это поможет студентам и преподавателям быстрее находить необходимую информацию.

Список литературы:

1. R. Smith, "An Overview of the Tesseract OCR Engine," Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Curitiba, Brazil, 2007, pp. 629-633, doi: 10.1109/ICDAR.2007.4376991
2. Hochreiter, Sepp & Schmidhuber, Jürgen. (1997). Long Short-term Memory. Neural computation. 9. 1735-80. 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
3. Thomas M. Breuel "The OCRopus open source OCR system", Proc. SPIE 6815, Document Recognition and Retrieval XV, 68150F (28 January 2008); https://doi.org/10.1117/12.783598
4. EasyOCR. URL: https://github.com/JaidedAI/EasyOCR
5. Y. Baek, B. Lee, D. Han, S. Yun and H. Lee, "Character Region Awareness for Text Detection," 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Long Beach, CA, USA, 2019, pp. 9357-9366, doi: 10.1109/CVPR.2019.00959
6. B. Shi, X. Bai and C. Yao, "An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 39, no. 11, pp. 2298-2304, 1 Nov. 2017, doi: 10.1109/TPAMI.2016.2646371
7. Alex Graves, Santiago Fernández, Faustino Gomez, and Jürgen Schmidhuber. 2006. Connectionist temporal classification: labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks. In Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning (ICML '06). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 369–376. DOI:https://doi.org/10.1145/1143844.1143891
8. Bougouin, Adrien & Boudin, Florian & Daille, Béatrice. (2013). TopicRank: Graph-Based Topic Ranking for Keyphrase Extraction. 543-551
9. Sharma, P.; Li, Y. Self-Supervised Contextual Keyword and Keyphrase Retrieval with Self-Labelling. Preprints 2019, 2019080073 (doi: 10.20944/preprints201908.0073.v1)
10. C. Liao. OCR Engine Comparison — Tesseract vs. EasyOCR. URL: https://medium.com/swlh/ocr-engine-comparison-tesseract-vs-easyocr-729be893d3ae
11. Debanjan Mahanta, John Kuriakose, Rajiv Ratn Shah, Roger Zimmermann: Key2Vec: Automatic Ranked Keyphrase Extraction from Scientific Articles using Phrase Embeddings.
12. X. Wan and J. Xiao. Single Document Keyphrase Extraction Using Neighborhoofd Knowledge. In Proceedings of AAAI, pages 855–860, 2008

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО СИСТЕМАМ СБОРА ДАННЫХ

А.Е. Цеплина, К.Д. Глинкина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается разработка виртуального лабораторного практикума по системам сбора данных. Приводятся результаты анализа лабораторных практикумов, исследования оборудования сбора данных, а также разработки симуляторов базовых функций устройств сбора данных. Работа проводится в рамках проектной деятельности для создания и внедрения новых образовательных технологий.

Введение

В современном мире системы сбора данных нашли широкое применение во многих областях, поскольку они позволяют решать различные измерительные задачи. Разделы по разработке и применению систем сбора данных включаются во многие инженерные образовательные программы. Но ввиду сложившейся эпидемиологической ситуации весь учебный процесс был переведен в дистанционный формат, вследствие чего доступ к размещенному в лаборатории оборудованию сбора данных стал невозможен. Применение существующих симуляторов, интегрированных в стандартное программное обеспечение, неспособно полностью решить возникшую проблему из-за их ограниченных функциональных возможностей. В связи с этим возникает необходимость разработки виртуального практикума, который позволит проводить полноценные практические занятия в онлайн-формате. Такой практикум целесообразно реализовать на основе виртуального лабораторного стенда, который будет максимально близко отражать принципы, режимы и порядок работы оборудования [1].

Целью данной работы является организация возможности проведения лабораторных работ по системам сбора данных без необходимости подключения к оборудованию.

Задачами являются анализ лабораторных практикумов, использующих оборудование сбора данных; исследование существующего оборудования сбора данных; создание структуры практикума; разработка компонентов программного обеспечения практикума и подготовка методических и справочных материалов.

Анализ лабораторных практикумов

Перед разработкой виртуального практикума был проведен анализ лабораторных работ по системам сбора данных, проводимых в очном формате, путем изучения методических указаний, используемых при их проведении. Было рассмотрено более десяти методических указаний к практическим занятиям разных дисциплин, определена цель выполнения каждого из них, а также выделены применяющиеся в них программные элементы и используемые функциональные возможности устройств. Так, было выяснено, что наибольшая часть лабораторных работ посвящена исследованию функций аналогового ввода и аналогового вывода. Поэтому их моделирование было поставлено первоочередной задачей.

Данное исследование позволило получить актуальную информацию о задействованных в практикумах программных компонентах и их возможностях. Кроме того, при помощи проведенного анализа были выделены основные функции оборудования сбора данных, а именно аналоговый ввод, аналоговый вывод, цифровой ввод-вывод и счетчики, как наиболее часто используемые при выполнении лабораторных работ в очном формате и, следовательно, как ключевые для моделирования на первом этапе. На основе полученных выводов строилась дальнейшая работа над практикумом, в том числе по разработке программных компонентов.

Исследование существующего оборудования

Вторым не менее важным исследованием, которое было проведено перед созданием виртуального практикума по системам сбора данных, является исследование существующих моделей оборудования сбора данных. При этом выполнялся обзор двух видов оборудования: устройств сбора данных и коннекторных блоков. Был проведен сравнительный анализ различных моделей многофункциональных устройств ввода-вывода [2] и клеммных колодок с учетом важных для практикума характеристик. Стоит отметить, что при сравнении для получения более точного представления об оборудовании сбора данных рассматривалось 36 и 14 устройств первого и второго вида соответственно. Также были выделены их основные классификационные признаки: для устройств ввода-вывода – максимальная частота дискретизации, разрядность аналого-цифрового преобразователя, количество аналоговых вводов и платформа; для коннекторных блоков – разъемы для подключения и варианты монтажа.

Проведенный обзор и сравнительный анализ предоставили возможность получить всю необходимую для реализации моделирования информацию об устройствах сбора данных. Полученная в ходе исследования информация легла в основу дальнейшей разработки моделей оборудования.

Структура виртуального практикума

Предполагается, что виртуальный лабораторный практикум будет состоять из трех основных частей: виртуальных моделей, программных компонентов, а также справочных и методических материалов (рис. 1).

При этом планируется создание виртуальных моделей устройств двух видов, а именно устройства ввода-вывода и коннекторного блока. Модель первого устройства будет включать в себя его основные функциональные возможности, а вот модель второго устройства, вспомогательного соединительного модуля, не только его функции, но также и его визуализацию.

Программные компоненты, относящиеся к виртуальному лабораторному практикуму по системам сбора данных, предполагают наличие виртуальных стендов и блоков для разработки.

К справочным и методическим материалам относятся справочные данные как для виртуальных моделей, так и для программных компонентов, а также методические указания не менее чем к четырем лабораторным работам.

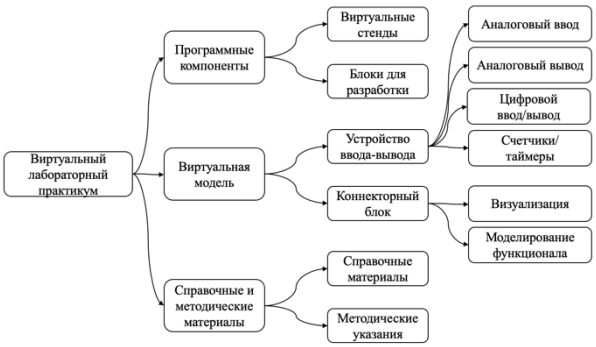


Рис.1. Структура виртуального лабораторного практикума

Разработка программных компонентов

Важным этапом в работе над созданием виртуального лабораторного практикума является разработка программных моделей оборудования сбора данных. После проведенных исследований было выделено два устройства, моделирование которых необходимо для реализации практических занятий в процессе дистанционного обучения.

Первое устройство – многофункциональное устройство ввода-вывода. Однако с учетом анализа существующих лабораторных работ было принято решение о моделировании основных функций типового устройства сбора данных DAQ M-серии [3], таких как аналоговый ввод, аналоговый вывод, цифровой ввод-вывод и счетчики. На данном этапе создан симулятор блока аналогового ввода, фрагменты передней панели и блок-схемы которого приведены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

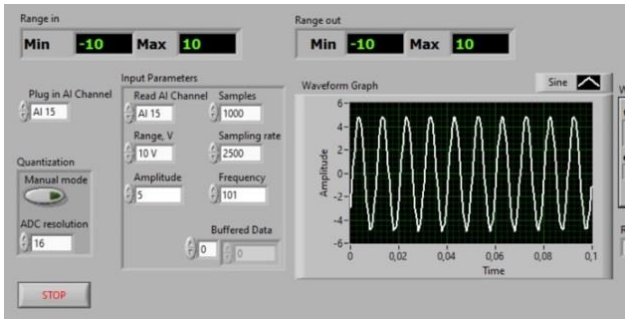


Рис.2. Фрагмент передней панели симулятора блока аналогового ввода

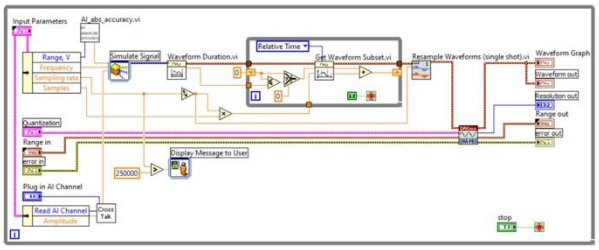


Рис.3. Фрагмент блок-схемы симулятора блока аналогового ввода

Второе устройство – вспомогательный соединительный модуль. При моделировании коннекторного блока было решено опираться на модель BNC-2120 [4]. В данный момент визуализирована ее передняя панель (см. рис. 4). В дальнейшем также планируется реализовать моделирование ее функциональных возможностей.

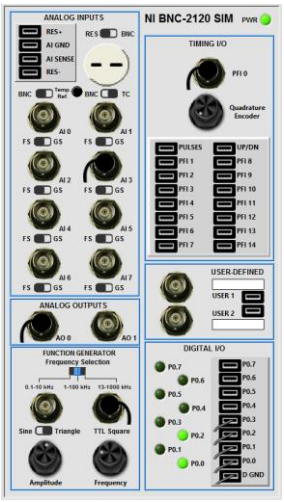


Рис.4. Визуализированная передняя панель коннекторного блока

Заключение

Сложившаяся эпидемиологическая обстановка привела к необходимости создания виртуального лабораторного практикума по системам сбора данных, который позволил бы проводить полноценные лабораторные работы в формате дистанционного обучения.

В ходе работы проведено исследование лабораторных практикумов с использованием реального оборудования; осуществлен обзор и анализ моделей оборудования сбора данных. Создана структура виртуального практикума. Разработан прототип виртуальной модели коннекторного блока. Промоделированы основные функции устройства сбора данных, создан симулятор блока аналогового ввода.

По итогам проделанной работы выделены необходимые для дальнейшего моделирования функциональные возможности оборудования.

Список литературы:

1. Юрин А.И., Красивская М.И., Дмитриев А.В., Злодеев Г.Ю. Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 70-72.

2. Многофункциональное устройство ввода-вывода. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ni.com/ru-ru/shop/hardware/products/multifunction-io-device.html?modelId=122576 (Дата обращения: 05.12.2020 г.).

3. PCI-6221 – NI – National Instruments. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ni.com/ru-ru/support/model.pci-6221.html (Дата обращения: 10.11.2020 г.).

4. NI BNC-2120 – National Instruments. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/13170 (Дата обращения: 01.12.2020 г.).

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СЕТЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ СЕТИ ИНТЕРНЕТ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОСТОРОННЕЙ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ

Д.Ш. Мусин, Н.А. Солодченков, Г.Г. Спирин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена исследованию функции распределения переменной части односторонней сетевой задержки. Используя экспериментальные данные, сформирована гипотеза относительно типа распределения односторонней сетевой задержки. В работе проверяется сходство экспериментальных данных только с двумя типами распределения: обрезанным нормальным и экспоненциальным. Для уточнения типа распределения был применен критерий согласия Пирсона. Также в данной работе была построена генерирующая функция для односторонней сетевой задержки.

Введение

В современном обществе широкое распространение получили задачи, для выполнения которых требуется взаимодействие с сетью интернет: начиная от использования веб-сайтов, заканчивая удалённой работой на компьютере или управлением целыми автоматизированными комплексами. Но есть у этих задач и общее – возможность и полнота выполнения задач зависит от качества Интернет-соединения.

Для оценки последнего используют специальные метрики производительности IP-сетей (IPPM) [1], которые дают не только качественную, но и количественную характеристику линии связи.

Примерами таких метрик являются односторонняя (OWD) [2][3] и двусторонняя (RTT) [4] сетевые задержки, сетевой джиттер, пропускная способность сети [5] и потери пакетов.

Исследование данной предметной области важно для задач, в которых важна предельная точность между отправкой сигнала и реакцией получателя на него: прикладные задачи по теории управления (например, футбол с удалённым управлением), работа интернета вещей и управление процессами производства (работа станков и лазеров).

Целью данной работы является определение влияния односторонней сетевой задержки на качество сетевых соединений в российском сегменте сети Интернет.

Метрики производительности IP-сетей

Инженерный совет Интернета (Internet Engineering Task Force, IETF) в 2002 году создал рабочее предложение (Request for Comments, RFC) под номером 3393 [6], в котором были рассмотрены метрики производительности про-

токола сети Интернет (Internet Protocol Performance Metrics, IPPM).

Сетевой джиттер – это величина отклонения времени между получением пакетов данных, которое обычно вызвано перегрузкой сети или изменением маршрута. Он измеряется как среднеквадратичное отклонение и как среднее значение по модулю между последующими значениями задержки.

Существует несколько вариантов сетевой задержки:

Двусторонняя сетевая задержка (Round-Trip time, RTT) - промежуток времени, в течение которого отправитель и получатель обменяются сетевыми пакетами. Данный вариант не может выступать в качестве полноценной метрики, так как маршрут сетевого пакета в прямом и обратном направлении может заметно различаться.

Односторонняя сетевая задержка (One-Way Delay, OWD) – промежуток времени, в течение которого сетевой пакет передается от отправителя к получателю. Она сложна в измерении, но является одной из самых точных метрик. Проблема в измерении односторонней сетевой задержки – временные метки необходимо ставить на компьютерах отправителя и получателя, что требует точной синхронизации времени на них (с точностью до микросекунд).

Ранее для этого использовался протокол синхронизации часов в интернете (Network Time Protocol, NTP) [7]. Он может обеспечить точность, как правило, в пределах миллисекунды в локальных сетях и до нескольких десятков миллисекунд в глобальных сетях.

С появлением системы глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS), которой нужна высокая точность определения времени для измерения расстояния, появился другой способ синхронизации времени. Каждый спутниковый приёмник генерирует PPS (Pulse-Per-Second) сигналы в начале каждой секунды. С их помощью можно синхронизировать время с точностью до наносекунд.

Пропускная способность – это объем данных, которые могут быть переданы за единицу времени. Эта величина зависит от ограничений имеющегося оборудования, используемых протоколов или от искусственно введенных системным администратором ограничений.

Процент потери пакетов показывает какое количество пакетов данных достигнет адресата без необходимости повторно их отправлять. Сетевые пакеты могут быть не доставлены из-за сбоев оборудования или из-за перегруженности сети, а точнее – переполнения буфера сетевых устройств. Данная характеристика отражает стабильность работы сети и качество передачи данных.

Функция распределения

При помощи аппаратно-программного измерительного комплекса NetTestBox [8] были получены большие временные наборы данных, которые послужили отправной точкой исследования (исходными данными).

Сетевая задержка носит переменный характер, поскольку в ней присутствует случайная компонента. Именно поэтому ее моделирование является непростой задачей. Равно как и построение функции распределения на основе полученных результатов.

На основе полученных статистических данных были построены графики (рис. 1-2):

Получив графическое представление исходных данных следует проверить гипотезу об обрезанном нормальным или экспоненциальном типе распределения. Проверку соответствия экспериментального и теоретического распределения можно провести с помощью критерия согласия Пирсона.

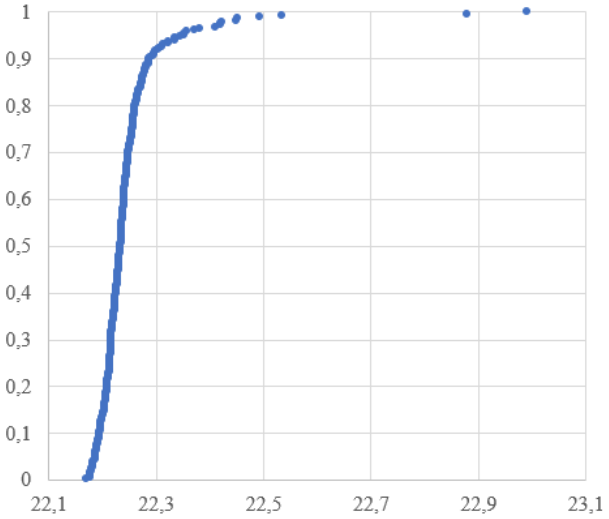


Рис.1. Функция распределения односторонней сетевой задержки (из Крыма в Самару)

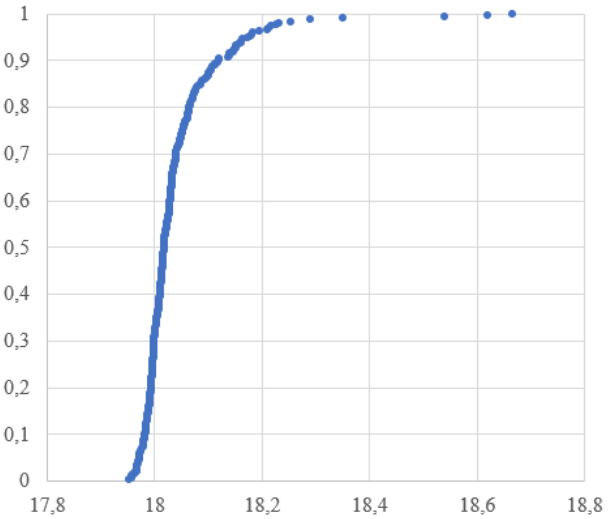


Рис.2. Функция распределения односторонней сетевой задержки (из Самары в Крым)

Генерирующая функция

Для возможности применения в прикладных задачах управления было принято решение построить генерирующую функцию.

Сделать это можно только зная, как описать переменную часть задержки. Она зависит от трех величин: минимальная часть сетевой задержки, средняя часть сетевой задержки и сетевой джиттер.

Имея представление о принадлежности функции распределения к конкретному виду, можно использовать обратную функцию от полученной для построения последовательности задержек. В обратной функции заменим функцию распределения генератором случайных значений.

Для упрощения последующих исследований принято решение запрограммировать генерирующую функцию в прикладном программном пакете MATLAB.

Заключение

В работе были рассмотрены метрики производительности IP-сетей и предложен вариант оценки качества сетевых соединений на основе значений односторонней сетевой задержки.

По исходным данным были построены графики и выведена функция распределения переменной части односторонней сетевой задержки.

На основе математической модели данной функции сформулирована гипотеза относительно типа распределения экспериментальных данных, которая была подтверждена путем расчета значений обратной функции.

По полученным данным описана генерирующая функция значений односторонней сетевой задержки, по которой было принято решение о создании программного генератора в среде математического моделирования.

Список литературы:

1. Paxson V., Mahdavi J., Mathis M., Almes G. Framework for IP performance metrics // IETF RFC 2330. – 1998. – 40p.
2. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M., Morton A. RFC 7679: A one-way delay metric for IPPM // Internet Society. – January 2016. – 20 p.
3. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M. A one-way delay metric for IPPM. - RFC 2679, September 1999
4. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M. A round-trip delay metric for IPPM. RFC 2681, September 1999.
5. Dovrolis C., Ramanathan P., and Moore D., Packet-Dispersion Techniques and a Capacity-Estimation Methodology, IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 12, NO. 6, DECEMBER 2004, p. 963-977
6. RFC 3393 – IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) [Электронный ресурс] – URL: https://tools.ietf.org/html/rfc3393 (дата обращения 23.01.2021). – Текст: электронный
7. Network Time Protocol [Электронный ресурс] – URL: http://www.ntp.org/ (дата обращения 02.02.2021). – Текст: электронный
8. Виноградов Н. И., Сагатов Е. С., Сухов А. М. Измерение односторонней задержки в IP-сетях //Измерительная техника. – 2017. – №. 4. – С. 38-42.

БИБЛИОТЕКА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

К.А. Сергеенко, Я.А. Дубильер,
А.О. Гаспарян, Н.Б. Заволовая
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе смоделированы виртуальные лабораторные стенды с электроизмерительными приборами в среде графического программирования NI LabVIEW. Разработанные стенды и подпрограммы приборов служат дополнением к уже разработанной ранее библиотеке инструментов для моделирования измерительных приборов.

Введение

В современной системе образования все больше внимания уделяется компьютерным технологиям. Так, например, громоздкие и дорогие электроизмерительные приборы в лабораториях всё чаще заменяются компьютерными моделями. С использованием лабораторного оборудования преподаватели проводят практикумы для студентов, но в эпоху онлайн образования проводить такие занятия может оказаться невозможным или экономически невыгодным.

Для того, чтобы решить эту проблему, разрабатываются и используются виртуальные лабораторные стенды [1]. Однако, процесс разработки виртуальных стендов «с нуля» может быть трудоёмким и затратным по времени.

Целью данной работы является упрощение моделирования измерительных приборов и построения виртуальных лабораторных стендов.

В рамках работы решаются задачи по разработке нескольких виртуальных лабораторных стендов с приборами для проведения занятий по дисциплине «Метрология и электро-радио-измерения». Одновременно формируется библиотека инструментов, способная предоставить разработчикам возможность модифицировать созданные программы для своих потребностей и создания новых стендов и моделей приборов.

В современной образовательной литературе уже есть примеры созданных виртуальных лабораторных практикумов, российской [2] и иностранной разработки [3,4,5]. Данные лабораторные стенды представляют собой законченные программные решения, хорошо зарекомендовали себя в учебном процессе. Однако, их функционал и гибкость несколько ограничены, и они не предоставляют возможность студентам полностью ознакомиться с внешним видом и функциями реальных приборов.

Анализ существующих лабораторных стендов

В рамках подготовительной работы был проведен анализ нескольких виртуальных и реальных лабораторных стендов [3, 4, 5]. Были проанализированы состав стендов, цель работы и элементы интерфейса. Выявлены общие элементы стендов и их характеристики. По результатам анализа были выявлены следующие наиболее встречающиеся типовые модули:

- мультиметр,
- магазин сопротивлений,
- источник питания,
- функциональный генератор,
- коммутатор,
- автотрансформатор,
- вольтметры различных типов.

На основе данных моделей могут быть построены лабораторные стенды для измерений мощности постоянного электрического тока [2], измерений постоянного напряжения методом компенсации, измерений в цепях постоянного и переменного тока, а также применения программы LabVIEW для изучения вопросов поверки измерительных приборов [6].

Также был проведен анализ отдельных приборов – модулей лабораторных стендов. Так, было выявлено, что стоит использовать вольтметры разных типов: электронные, электромагнитные и электродинамические [2]. Функциональные генераторы должны позволять задавать форму сигнала: треугольную, прямоугольную, синусоидальную, пилообразную; также амплитуду, множители и частоту сигнала. Мультиметры должны выполнять функции: измерение переменных тока и напряжения, измерение сопротивления, емкости цепей, измерения частоты сигнала в цепи. Также необходимо, чтобы приборы соответствовали современному уровню измерительных технологий и были внешне похожи на свои реальные аналоги для наибольшего приближения к реальным измерениям.

Разработка библиотеки инструментов

В рамках работы создана библиотека виртуальных инструментов, с помощью которых можно создавать измерительные приборы и стенды для лабораторных работ. На данный момент сформирован набор элементов передней панели измерительных приборов, среди которых: дисплей

с логическими переменными для отображения результата, кнопки управления, ручка, позволяющая выбрать режим измерения и контакты для подключения проводов.

Также были созданы подпрограммы (Рис.1), отображающие работу измерительных приборов, например, для эмуляции погрешностей в приборах, выбора режима измерения, вывода данных на дисплеи и др.

Для расширения библиотеки созданы модели измерительных приборов, среди которых мультиметры, функциональный генератор, вольтметры, источник питания, магазин сопротивлений и т.д. Из полученных модулей смоделирован виртуальный стенд для лабораторной работы по измерению мощности постоянного тока, а также из них будут созданы и другие лабораторные стенды для измерения электрических параметров.

Библиотека инструментов будет также пополняться различными элементами приборов: контактами, ручками, кнопками, другими элементами передней панели и подпрограммами (Рис. 2).

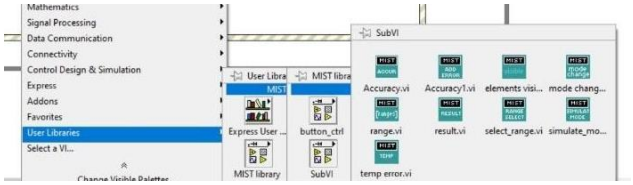


Рис.1. Библиотека подпрограмм для разработки электроизмерительного прибора



Рис.2. Контакты из библиотеки инструментов

Измерения мощности постоянного тока

В рамках формирования библиотеки инструментов разработан виртуальный лабораторный стенд для измерения мощности постоянного тока [2]. Стенд включает в себя следующие модели приборов (Рис. 3):

- Источник питания – «Power supply.vi»
- Магазин сопротивления – «Resistance Decade Box.vi»
- Мультиметр, выполняющий роль амперметра – «multimetr - ampermetr .vi»
- Мультиметр, выполняющий роль вольтметра – «multimetr.vi»

Каждая подпрограмма прибора при необходимости может работать как отдельно, так и в составе лабораторного стенда, который запускается отдельно из файла формата .exe, не требующий установки среды NI LabVIEW.

Все модели приборов работают синхронно и обмениваются информацией друг с другом с помощью глобальных переменных. Программа лабораторного стенда имитирует соединение всех приборов с помощью контактов, которые пользователь должен подсоединить сам согласно схеме подключения приборов в лабораторной работе.

В дальнейшем планируется реализовать контроль подключения приборов и имитацию неправильного соединения: отрицательное значение напряжения или поломка прибора.



Рис.3. Виртуальный лабораторный стенд для измерения мощности постоянного тока

Применение разработанных лабораторных стендов в учебном процессе

Создание и внедрение новых образовательных технологий является одним из важнейших компонентов программы развития НИУ ВШЭ. Использование информационно-коммуникационных технологий выделяется как важный фактор, позволяющий повысить качество учебного процесса. Разработанная библиотека инструментов позволит быстро и просто создавать образовательные продукты на основе современных компьютерных технологий. На примере лабораторных стендов, разработанных с использованием библиотеки, будет продемонстрирована работа модулей приборов. Также данные стенды пройдут апробацию в лабораторном практикуме по дисциплине «Метрология и электро-радиоизмерения» с использованием методических указаний по выполнению лабораторных работ, а также материалов по применению продукта.

Заключение

Подводя итог, отметим, что компьютерное моделирование полезно, особенно в тех областях, где работа с реальными электротехническими и электронными устройствами затруднительна. В частности, трудно найти альтернативу моделированию при исследовании цифровых приборов. Разработанная Библиотека позволит упростить и ускорить сборку виртуальных стендов лабораторных работ и электроизмерительных приборов, а также при необходимости их модернизации. Также помимо временных затрат значительно сокращаются расходы на закупку оборудования для оснащения лабораторий. Более того, разработанные виртуальные стенды позволяют проводить дистанционные занятия в лаборатории Метрологии и измерительных технологий ДЭИ МИЭМ НИУ ВШЭ и дают возможность студентам в рамках онлайн образования ознакомиться с функциями и поведением реальных приборов.

Список литературы:

1. Юрин А. И., Красивская М. И., Дмитриев А. В., Злодеев Г. Ю. Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 70-72.

2. Батоврин В. К. и др. LABVIEW. Практикум по основам измерительных технологий. Учебное пособие. – ДМК Пресс, 2009.

3. Yongyu Peng, Kehong Zhang. Based on LabVIEW Remote Virtual Electronic Laboratory Design and Implementation. -The Open Cybernetics & Systemics Journal, 2014.

4. Popović B. et al. Remote control of laboratory equipment for basic electronics courses: A LabVIEW-based implementation //Computer Applications in Engineering Education. – 2013. – Т. 21. – №. S1. – С. E110-E120.

5. Basher H. A., Isa S. A. On-campus and online virtual laboratory experiments with LabVIEW //Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2006. – IEEE, 2006. – С. 325-330.

6. Манонина И. В. Применение программы LabVIEW для изучения вопросов поверки измерительных приборов //T-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – №. 8.

РАЗВЕРТЫВАНИЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СТУДИИ В МИЭМ НИУ ВШЭ

А.М. Заякина, А.В. Немченко,
И.В. Бобков, М.А. Денисова
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается технология создания IP-телестудии с удаленным управлением, не требующей физического присутствия режиссера. Данная технология прошла этап предварительного практического тестирования.

Введение

В последние годы одним из трендов университетского образования является ускоренное развитие корпоративного и студенческого телевидения [1]. Помимо решения только учебных и информационных задач, собственные телестудии вузов позволяют выйти на новый уровень коммуникаций администрации, преподавателей и студентов [2]. Вместе с тем, студенческое телевидение является эффективным инструментом формирования корпоративной культуры вуза, повышая активность студентов и развивая студенческое самоуправление [3].

В настоящее время многие вузы имеют свои собственные профессиональные телестудии, реализующие актуальные задачи университетского телевидения: запись видеокурсов, студенческих новостей, дайджестов, подкастов, университетских шоу и т.д. Это относится и к НИУ ВШЭ, в структуре которого находится «Многофункциональный инновационный телевизионный технический центр» [4], который содержит целый комплекс теле- и радиостудий, аппаратно-студийный блок, со штатными сценаристами, режиссерами, профессиональными дизайнерами графической анимации и т.д. Вместе с тем, этот медиацентр является и учебной площадкой для студентов, где они выполняют учебные и творческие задания.

Как правило, при создании корпоративных и студенческих телестудий используются стандартные технологии, в которых для доставки сигнала с одного устройства требуется один провод, что приводит к необходимости прокладки соответствующего числа кабелей и исключает удаленную работу (рис. 1).

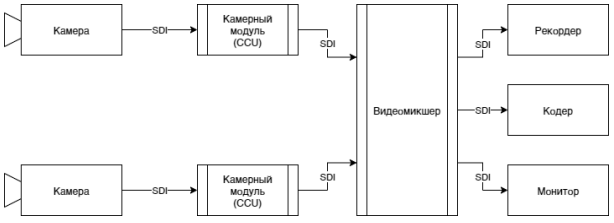


Рис.1. Схема подключения видеокомплекса в телевизионных студиях

Съемочный комплекс на основе сетевых технологий видеопроизводства

Ранее упомянутые стандартные технологии исключают возможность удаленной работы, поэтому нами для работы рассматривались сетевые протоколы NDI и RTSP. При разработке плана телестудии мы учитывали следующие ключевые особенности [5]:

- возможность удаленной работы, а, следовательно, использования VPN и VLAN;
- наименьшие затраты по переоборудованию уже имеющейся сетевой инфраструктуры.

Таким образом, был сделан вывод, что протокол NDI не подходит для решения нашей задачи, т.к. для его стабильной и качественной работы требуются высокоскоростная выделенная сетевая инфраструктура, которая не позволит использовать VPN.

В отличие от NDI, RTSP позволяет использовать стандартную сетевую инфраструктуру с пропускной способностью 100 Мбит/с, а значит не требуется переоборудовать сеть и есть возможность использования VPN. К тому же, по данным измерений RTSP-поток с использованием фреймворка GStreamer выдает задержку в 50 мс в сравнении с сигналом SDI.

Заметим, что элементы этой технологии апробированы при создании студии в издательском доме «Постнаука», где показали свою надежность и эффективность в процессе более чем трехлетней эксплуатации.

Таким образом, учитывая все вышеперечисленные особенности, была разработана следующая схема видеокомплекса (рис. 2).

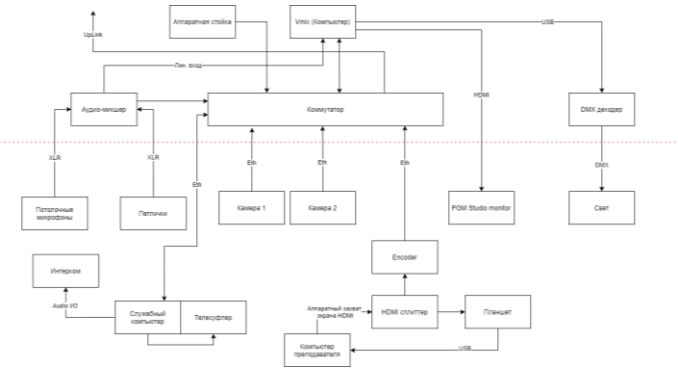


Рис.2. Схема видеокомплекса с использованием RTSP IP-камер

PTZ камеры по сети Ethernet подключаются к коммутатору. К этому же коммутатору подключается аудио- и видеомикшер, служебный компьютер и энкодер. К аудиомикшеру подключены все микрофоны, а он в свою очередь подключен к видеомикшеру (компьютеру). Служебный компьютер осуществляет контроль телесуфлером и является средством внутренней связи. Энкодер подключен к HDMI сплиттеру, чтобы можно было получить изображение как с преподавательского компьютера, так и с планшета, подключенного к нему. К компьютеру-видеомикшеру также подключен DMX декодер (для управления светом в студии) и студийный монитор, на который выводится собранный в видеомикшере выходной видеопоток.

Организация работы телестудии

Технология записи предполагает возможность режиссера находиться в аппаратной (рис. 3) или же осуществлять удалённую съёмку преподавателя из телестудии (рис. 4). Для записи курсов преподавателям достаточно: собрать материалы для записи, отправить их в медиацентр, одобрить модифицированные под формат, пригодный для записи, материалы или же внести изменения и, наконец, записать лекцию в медиацентре. В зависимости от пожеланий преподавателя предлагаются различные конфигурации оборудования:

- Графический планшет, на котором прямо во время лекции можно делать необходимые заметки на презентации. При использовании графического планшета преподаватель сидит за столом;
- Ноутбук с презентацией. В данной конфигурации преподаватель может стоять за специальной трибуной, но заметки прямо на слайдах презентации делать нельзя.

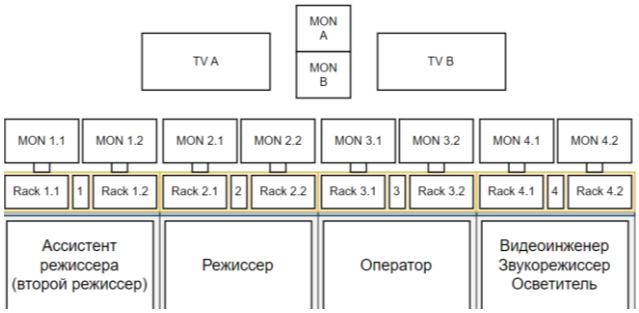


Рис.3. Схема аппаратной части студии

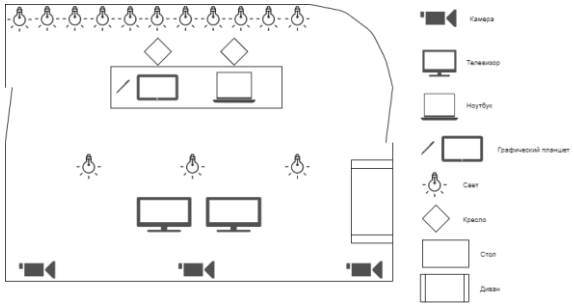


Рис.4. Схема съёмочной части студии

Чтобы преподаватель мог понимать, как он выглядит в кадре, напротив преподавателя установлен телевизор, на который выводится изображение, идущее на запись. Для связи с режиссером имеется служебная связь, через которую преподаватель может видеть режиссера, а также получать от него подсказки, например, говорить громче и т.п.

Над созданием используемой инфраструктуры совместно с проектом Телевидение МИЭМ работают следующие проекты:

- 19102 «Телецентр МИЭМ» работает над созданием особых комплектов оборудования для рабочих мест режиссера, оператора, видеоинженера и звукооператора [6]. Созданные комплекты будут являться частью аппаратной;
- 587 «Переносная IP-телестудия (ПТС)» обеспечивает переносным комплектом оборудования, с использованием которого проводятся многокамерные режиссируемые трансляции;
- 586 «Операторская телевизионная IP-камера» работает над созданием камеры для применения в съемках в составе съемочного телевизионного комплекса и переносной IP телестудии;
- 297 «Комплект оборудования видеозалов» создает распределенную сеть получения входных данных.

Распределенность сети важна при работе телестудии, так как помимо данных из телестудии МИЭМ будут поступать также потоки из студий ФКН и ФМ. Студии в других корпусах НИУ ВШЭ будут оснащены системой удаленного управления, чтобы не было необходимости постоянного присутствия режиссера в трех студиях.

Одна из основных задач медиацентра – создание онлайн курса «под ключ», что подразумевает под собой не только производство видеолекций, но и размещение курса на различных образовательных платформах, а также разработку сопроводительных материалов курса, например, грейдеров.

Заключение

В результате нашей работы создана телестудия с различными сценариями использования. Данная технология применяется при создании других телестудий НИУ ВШЭ.

Благодаря исследованиям в области работы с потоками удалось выстроить не только аппаратную часть, но и добиться низких задержек доставки потока, сопоставимых с работой с сигналами в классических вариантах создания телестудий. Также удалось перейти с коммерческого ПО на открытое и бесплатное, что позволит в будущем не только упростить масштабируемость, но и задействовать более компактные аппаратные платформы, а значит перенести наработки на портативную версию.

Помимо этого, медиацентр уже сейчас используется в качестве учебного ресурса, где студенты на практике изучают видеотехнологии и сетевые технологии в медиаприменении.

В дальнейшем планируется тестирование и последующее внедрение разработок проектов, для которых медиацентр выступает заказчиком, а также местом обкатки технологий.

Список литературы:

1. Гегелова Н.С., Исмаилова А.А. Учебное телевидение в российских вузах // Вестник РУДН. Серия «Литературоведение, Журналистика» - 2016. - №4. - С. 175-180.
2. Говердовская-Привезенцева С. А. Университетское телевидение// Информационные программы: учеб. пособие. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – С. 74
3. Самотойлова Т.Е, Семишова Е.П. Университетское телевидение как средство формирования корпоративной культуры студенческой молодежи// Вестник ТГУ. – 2013. - Vol. 8 (124). - С.250-252.
4. О Медиацентре НИУ ВШЭ. URL: https://mc.hse.ru/chtotakoemc/ (дата обращения – 15.02.2021)
5. Королев Д. А., Рыбаков П. В., Горохова-Алексеева А. В. Съёмочный комплекс для интернет-трансляций с удалённым управлением// Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции / Под ред И.А. Иванова. - Сочи. - 2017. - С. 57-61.
6. Бобков И.В, Денисова М.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для IP-телестудии// Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. - 2020. - С. 126-128.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

С.Д. Жукова, С.Э. Абдуллаева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается надежность волоконной-оптических линий связи, обзор классических методов расчетов показателей надежности, а также математическая модель для оценки надежности линии связи на примере заданной топологии.

Введение

Сфера телекоммуникационных технологий и передачи данных нуждается в росте частотных ресурсов, поскольку с увеличением числа пользователей сети Интернет растет и объем передаваемой информации. На сегодняшний день оптическое волокно является самой совершенной средой для передачи больших потоков данных на дальние расстояния[1,2]. Поэтому при построении информационных сетей наиболее часто прибегают к волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС).

С развитием и широким применением телекоммуникационных сетей остро встает вопрос их надежности. Под надежностью ВОЛС понимается способность поддерживать передачу информации с заданной скоростью и с заданной достоверностью в течение требуемого промежутка времени[3].

Одним из путей повышения надежности сети является создание системы резервирования и восстановления[4]. Разработка таких систем влечет за собой существенные затраты. Необходимо точно оценивать показатели надежности сети на протяжении всего жизненного цикла. Это позволит сохранить приемлемый уровень финансовых вложений и обеспечить высокую надежность сети.

Практика эксплуатации ВОЛС показывает, что срок службы оптического кабеля напрямую зависит от множества факторов, таких как суточные и сезонные перепады температуры, среда эксплуатации, натяжение волокна и другие. Традиционные методы оценки надежности не позволяют учесть условия эксплуатации ВОЛС в полном объеме. Разработка новых моделей оценки надежности ВОЛС может позволить снизить погрешность при расчетах показателей надежности и сократить время на расчеты, не пренебрегая условиями эксплуатации[5].

Таким образом, главным вопросом работы является построение модели оценки надежности волоконно-оптической линии связи.

В основной части содержится описание работы, произведен обзор методов расчёта. Во втором разделе рассматривается математическая модель оценки надежности ВОЛС.

Основная часть

Цель работы заключается в построении математической модели оценки надежности ВОЛС, применимой для снижения погрешности показателей надежности и сокращении времени на их расчет.

На сегодняшний день процесс оценки показателей надежности ВОЛС несовершенен. Рассмотрение существующих методов расчета надежности технических систем (ТС) и их составляющих, применимых для оценки надежности волоконно-оптических линий связи, позволит выявить достоинства и недостатки методов, для эффективного использования их в разработке математической модели[6,7].

Классический метод расчета надежности, в зависимости от структурно - логической схемы надежности системы (последовательной или параллельной), определяет вероятность безотказной работы системы произведением вероятностей безотказной работы ее элементов. Минус метода состоит в невозможности его применения для структурно - логических схем, содержащих не только параллельные и последовательные участки соединения элементов. Таким примером служит мостовая схема надежности.

Метод прямого перебора основан на теории множеств. Его суть заключается во всевозможных переборах состояний системы и ее элементов, учитывая, что они могут находиться в одном из двух состояний: работоспособном и неработоспособном. Плюсом метода является его универсальность, поскольку этим способом возможно рассчитать безотказность любых ТС. Минус метода заключается в громоздкости использования таких расчетов комбинаций для больших систем. Несмотря на задействование машин в расчетах, объемные выкладки и вычисления требуют времени, метод рекомендуется использовать для систем, состоящих не более, чем из 4-х элементов.

Метод минимальных путей служит для определения граничной оценки надежности сверху, а метод минимальных сечений оценивает вероятность безотказной работы снизу. Так, при небольшом количестве элементов в системе верхняя и нижняя границы вероятности безотказной работы совпадут с точными значениями, рассчитанными, например, методом перебора, а в системах с большим набором элементов можно получить приблизительный результат, что и является недостатком методов минимальных путей и сечений.

Метод разложения по ключевым (особым элементам) предполагает декомпозицию структурно-логических схем надежности в параллельно-последовательный вид относительно особого элемента, затем производятся расчеты. Достоинством метода является точный результат и многовариантное разложение. Недостаток – сложность операций и расчетов для больших систем.

Метод, основанный на Марковских процессах, заключается в рассмотрении системы, состояние которой меняется случайным образом в зависимости от происходящего в ней процесса. Структура и принципы функционирования ТС позволяют определить множество ее возможных состояний (работоспособные состояния и состояния отказа)[8]. При произведении расчетов с использованием Марковских моделей учитываются моменты времени, в которые могут происходить переходы состояний, что повышает точность результатов при оценке надежности сложных систем, по сравнению с предыдущими рассмотренными методами. Для решения построенных моделей используются следующие комбинации операций: уравнение Колмогорова-Чепмена, преобразования Лапласа, сведение системы n уравнений к уравнению n-го порядка. Плюсом метода является точность результатов, в том числе и для систем с большим количеством элементов, возможность получения всех показателей надежности в процессе расчетов, а также возможность учесть резервирование и восстановление системы. Минус метода состоит в сложности применения. Поскольку метод является универсальным и применим к сложным системам на его основе будут построены модели для магистральных волоконно-оптических линий связи.

Математическая модель оценки надежности волоконно-оптических линий связи

Прежде чем приступить к процессу описания математической модели оценки надежности следует начать описание топологии сети, представленной на рисунке 1.

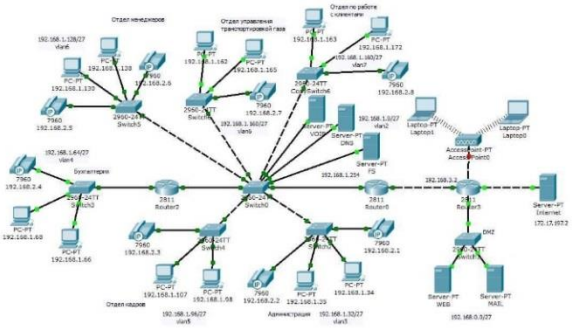


Рис.1. Топология сети

Существуют различные топологии сетей (звезда, кольцо, магистраль, пункт-пункт и др.), по которым рассчитываются показатели надежности. Например: время простоя сети, срок ее службы, средняя наработка между отказами и коэффициент готовности[9]. Данная сеть относится к типу «звезда».

В двухуровневой сети выделяем независимые модели оценки надежности двух групп объектов. Такие как, группа коммутаторов ядра и группа коммутаторов доступа. Если минимум один коммутатор ядра из этой группы работоспособен, то и сеть будет считаться работоспособной[10].

Для нахождения вероятности нужно найти сумму вероятностей от нулевого состояния до предпоследнего состояния в марковской модели надежности группы из r объектов[10]:

$$P_{core}(t) = \sum_{i=0}^{r-1} P_i(t) = 1 - P_r(t) = 1 - \frac{{p_c}^r}{(1+p_{c)}{}^r} * (1 - e^{-a_c * t})^r$$

$$p_c = \frac{\lambda_c}{\mu_c};\ \alpha_c = \lambda_c + \mu_c$$

Для группы коммутаторов распределения сеть считается работоспособной при условии работоспособности хотя бы одного из коммутаторов распределения. Для нахождения вероятности нужно найти сумму вероятностей от нулевого состояния до предпоследнего состояния в марковской модели надежности группы из s объектов[10]:

$$P_{distrib}(t) = \sum_{i=0}^{s-1} P_i(t) = 1 - P_s(t) = 1 - \frac{{p_D}^S}{(1+p_D)^S} * (1 - e^{-a_D * t})^S$$

$$p_D = \frac{\lambda_D}{\mu_D};\ \alpha_D = \lambda_D + \mu_D$$

Для группы коммутаторов доступа сеть будет считаться работоспособной при условии работоспособности всех k коммутаторов. Отсюда получаем, что вероятность этого будет равна вероятности нулевого состояния в марковской модели надежности. Пример расчета этой вероятности представлен ниже:

$$P_{access}(t) = P_0(t) = 1 - \frac{1}{(1+p_{A)}{}^k} * (1 + p_a * e^{-a_A * t})^k$$

$$p_A = \frac{\lambda_A}{\mu_A};\ \alpha_A = \lambda_A + \mu_A$$

Для нахождения коэффициента готовности используем следующую формулу:

$$K_{net} = \lim_{t \to \infty} P_{net}(t) =$$

$$= \frac{((1+p_c)^r - (p_c)^r) * ((1+p_D)^S - (p_D)^S}{(1+p_c)^r * (1+p_D)^S * (1+p_A)^k}$$

Рассчитаем коэффициент готовности для двухуровневой сети (рис.2) из k=6 коммутаторов доступа и r=2 коммутатора ядра.

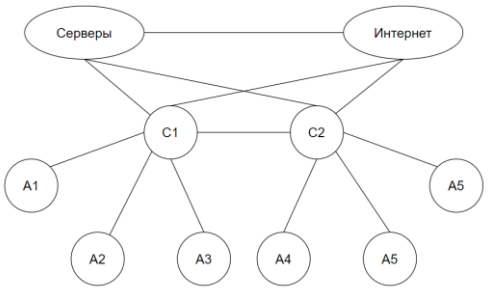


Рис.2. Топология двухуровневой сети

Интенсивность отказов коммутатора ядра $\lambda_c = \frac{1}{24*365} = \frac{1}{8760}$ часов$^{-1}$, а интенсивность восстановления $\mu_c = \frac{1}{24}$ часов$^{-1}$.

Интенсивность отказов коммутатора доступа $\lambda_A = \frac{1}{24*365} = \frac{1}{8760}$ часов$^{-1}$, а интенсивность восстановления $\mu_A = 1$ часов$^{-1}$.

Решение:

Найдем значения

$p_c = \lambda_c/\mu_c = 24/8760 = 1/365$, а $p_A = \lambda_A/\mu_A = 1/8760$

Тогда коэффициент готовности будет равен:

$$K_{net} = \frac{1 + 2 * (1/365)}{(1 + 1/365)^2 * (1 + 1/8760)^6}$$

$$K_{net} \approx 0{,}9993079$$

Полученная вероятность (коэффициент готовности) равна 0,9993079 и это говорит о высокой вероятности того, что сеть будет в работоспособном состоянии в произвольный момент времени.

Среднее количество часов недоступности сети в год (365*24) рассчитывается следующим образом:

$$t_{\text{пр}} = t * (1 - K_{net})$$

$$t_{\text{пр}} = (365 * 24) * (1 - 0{,}9993079)$$

$$t_{\text{пр}} = 6{,}0629 \text{ (ч)}$$

В результате расчётов получаем, что время простоя сети в год составляет около 6 часов в год.

Заключение

Таким образом, проделанная работа стала основой для разработки математических моделей, основанных на Марковских процессах. Разрабатываемые модели позволят доказать эффективность их использования в сравнении с традиционными методами расчетов показателей надежности волоконно-оптических линий связи. Ожидается превосходство по точности получаемых результатов за счет учета условий эксплуатации.

Список литературы:

1. Гурлев И.В. Развитие волоконно-оптических линий связи как средства управления и обеспечения национальной безопасности Интернет-журнал «Вестник Евразийской науки» (2018)

2. Гурлев. И.В. Методы и способы обеспечения безопасности информации, передаваемой по спутниковой сети технологии Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9 № 3 (2017)

3. Андреев В.А., Бурдин В.А., Воронков А.А. Основы технической эксплуатации ВОЛП Учебное пособие для вузов/ В.А. Андреев, В.А.,Бурдин, А.А. Воронков – Самара, СРТТЦ ПГУТИ, 2016.

4. Кабыш С. Надежность прежде всего // Сети и телекоммуникации, 2004, № 3, с. 74–79.

5. Лутченко С.С., Копытов Е.Ю., Богачков И.В.Оценка надежности ВОЛС с учетом влияния внешних факторов: Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Том 5, №4

6. ОСТ 4Г 0.012.242-84 Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности

7. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем: Справочник Под ред. И.А. Ушакова. [Электронный ресурс] URL: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/NadezhnostTekhnicheskikhSistemBelyaev1985.pdf

8. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности (с поправкой)

9. Ефанов В.И. Проектирование, строительство и эксплуатация ВОЛС: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. - 102 с.

10. Анализ показателей надежности. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pokazateley-nadezhnosti-lokalnyh-kompyuternyh-setey/

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СТУДИЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МИЭМ НИУ ВШЭ

И.В. Бобков, М.А. Денисова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье описаны функциональные возможности программно-аппаратного комплекса собственной разработки для проведения удаленных режиссируемых прямых трансляций. Приведены используемые технологии и представлена схема взаимодействия разрабатываемого оборудования с камерами, установленными в студиях на факультетах НИУ ВШЭ. Описана конфигурация рабочих мест в аппаратной и их назначение.

Введение

На факультетах НИУ ВШЭ ведется разработка и развертывание съемочных студий для записи видеолекций преподавателей и проведения студенческих мероприятий. В российской практике существуют успешные примеры организации учебно-производственных телестудий. Примером может послужить студия МТУСИ [1], но ее оснащение ориентируется на пост-продакшн. Студии НИУ ВШЭ создаются для видеопроизводства преимущественно в режиме реального времени, а также для дальнейшей реализации концепции One Button Studio, когда запись и режиссирование происходят автоматически, без участия съемочной команды.

Опыт проведения прямых трансляций есть у студии РУДН [2], где представлен более классический вариант телепроизводства с прокладкой сигнальных кабелей и записи материалов на DVD. При создании оборудования для студий ВШЭ мы ориентировались в первую очередь на сетевые технологии, поэтому для передачи видео нам не требуется прокладка сигнальных кабелей, а записанные материалы хранятся в безлимитном облачном хранилище.

Факультеты ВШЭ располагаются в разных частях города, поэтому студии могут быть удалены друг от друга на десятки километров. Очевидным решением в такой ситуации было бы создание аппаратной на каждом факультете со своей съемочной командой. Авторы статьи решили оптимизировать ресурсы и организовали на три студии только одну аппаратную. Такой подход стал возможен, благодаря передаче видеопотоков по сети и использовании технологии VLAN [3]. При разработке оборудования и развертывании сетевой инфраструктуры мы также опирались на опыт использования технологии VPN при передаче RTSP-потоков по сети [4]. Эта технология позволяет удаленно обслуживать студии без необходимости подключения в сеть НИУ ВШЭ.

Годом ранее авторами этой статьи был описан программно-аппаратный комплекса для телепроизводства [5]. В той статье была представлена концепция разрабатываемого оборудования. В настоящей работе можно найти технические подробности его реализации, описание процесса внедрения оборудования в университетские студии, используемые технологии и перспективы дальнейшего развития.

Описание оборудования

Внедряемое студийное оборудование представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из двух рабочих мест собственной разработки для оператора и видеоинженера, а также персональный компьютер режиссера с предустановленным ПО vMix [6] и подключенным к нему MIDI-контроллером (рис. 1).



Рис.1. Расположение рабочих мест в Медиацентре

Аппаратной платформой модулей комплекса является одноплатный компьютер Nvidia Jetson Nano [7] с установленной на нем ОС Ubuntu 20.

Рабочее место оператора позволяет переключаться между камерами, управлять ими и настраивать параметры передаваемого изображения. Управление положением PTZ-камер можно осуществлять с помощью сенсорного интерфейса или с помощью периферийных устройств, разрабатываемых коллегами из смежного проекта 587 «Портативная IP-телестудия». В последнем случае джойстик подключается по USB к одноплатному компьютеру Raspberry Pi 4, установленному в одноюнитовый модуль рабочего места.

Рабочее место оператора (рис. 2) состоит из двух стоечных модулей высотой пять юнитов. На одном из модулей расположена сетка из доступных камер, на другом – активнаякамера, который оператор может управлять с помощью подключенного джойстика или программного интерфейса. Активную камеру можно выбрать на сетке сенсорного экрана. Модули обмениваются информацией об активной камере по протоколу MQTT. Питание модулей и подключение к сети обеспечивает модуль блока питания высотой один юнит.



Рис.2. Рабочее место оператора

Рабочее место видеоинженера (рис. 3) позволяет осуществлять одновременную запись до 8 видеопотоков и их последующую автоматическую выгрузку в облачное хранилище Google Drive, а также осуществлять мониторинг состояния сети (проверять доступность камер, качество соединений, время задержки). Оно состоит из двух модулей высотой три юнита (модуля видеорекордера и модуля мониторинга сети), модуля высотой пять юнитов для просмотра и редактирования характеристик изображения, а также одноюнитовым модулем блока питания.

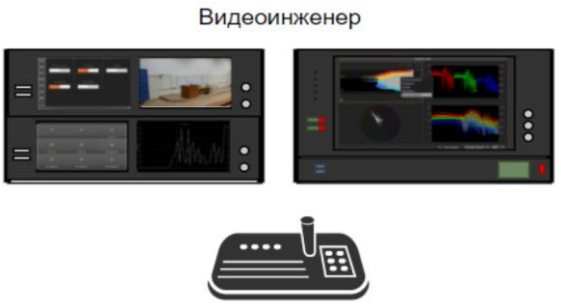


Рис.3. Рабочее место видеоинженера

Рабочее место режиссера (рис. 4) позволяет проводить монтаж видеозаписи в прямом эфире. Программа vMix предоставляет возможность микшировать несколько потоков аудио и видео, а также накладывать поверх изображения титры и картинки (оверлеи). Это рабочее место комплектуется персональным компьютером с подключенными к нему двумя мониторами, клавиатурой и мышью. Также возможно подключение периферийных устройств: MIDI-пультов и джойстиков.



Рис.4. Рабочее место режиссера

Источники видео

Примененная концепция университетской телестудии подразумевает использование сетевых RTSP-потоков в качестве источников видео. Такой подход имеет ряд преимуществ. В отличие от классического SDI сигнала, применяемого в профессиональных телестудиях [8], использование сетевых видеопотоков позволяет избежать ограничения при передаче видео на расстояние, которое накладывает длина сигнального кабеля и необходимость его прокладки. RTSP-потоки могут использовать уже существующую сетевую инфраструктуру, что позволяет передавать видео внутри одного здания или города.

Битрейт во время передачи несжатого Full HD видеопотока с субдискретизацией 4:2:2 (1920x1080 пикселей) по SDI кабелю достигает 2,97 Гбит/с. RTSP-потоки более «легкие»: для видео аналогичного разрешения, но в сжатом потоке с субдискретизацией 4:2:0, битрейт может составлять от 2 до 8 Мбит/с. Это позволяет использовать для передачи видеопотоков существующую в университете сетевую инфраструктуру, не создавая перегрузок. В отдельных случаях, когда количество источников видео не превышает 2-3 штук, можно ограничиться технологией Fast Ethernet (100 Мбит/с). Оборотной стороной использования сжатых потоков является появление задержки (200-500 мс) и более низкое цветовое разрешение, что усложняет кеинг (отделение от фона при съемке на зеленом фоне). Но при съемке в высоком разрешении эта проблема не является острой.

Еще одним вариантом передачи видео на расстояние служит использование технологии NDI. Данная технология позволяет осуществлять передачу видео по сети. Однако, в отличие от RTSP-потоков, битрейт NDI достигает 100 Мбит/с, что для стабильной передачи видео с нескольких камер требует наличия 10-гигабитной сетевой инфраструктуры по всему маршруту прохождения трафика, включая рабочие места телестудии.

В качестве источников RTSP-видеопотков можно задействовать IP-камеры, которые повсеместно используются для видеонаблюдения. Для лучшего качества изображения рекомендуется использовать камеры для видеоконференций. В частности, в студиях НИУ ВШЭ мы используем камеры компании CleverMic (рис. 5).



Рис.5. PTZ-камера CleverMic 1012w

Университетские студии

Внедрение студийного оборудования собственной разработки осуществляется в рамках развертывания студий видеозаписи на факультетах НИУ ВШЭ. Было утверждено развертывание трех студий: в МИЭМ, на ФКН и на Факультете математики. Аппаратная комната с программно-аппаратным комплексом для видеозаписи расположена только в студии МИЭМ. Она является центральным узлом для всех трех студий университета. С помощью технологии VLAN (Virtual Local Area Network), объединяющей сетевую инфраструктуру факультетов в одну виртуальную локальную сеть, режиссер из сети аппаратной может получить доступ со своего компьютера к камерам, подключенным к сети на другом факультете, а оператор, сидя в кресле, повернуть камеру в другое положение, не находясь непосредственно на месте съемки (рис. 5). Мы пошли дальше и с помощью технологии VPN (Virtual Private Network) настроили удаленное управление камерами пря-

мо из дома. Однако в этом случае увеличивается задержка при передаче видео.

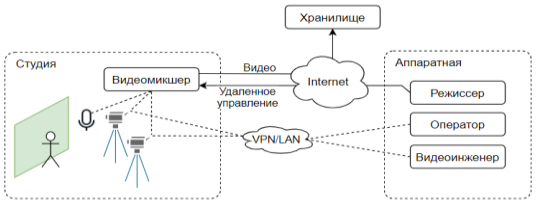


Рис.5. Схема связи аппаратной и студии

Благодаря передаче видеопотоков по сети, сетевым технологиям VLAN и VPN съемочная команда может находиться в другой части города и проводить съемки не только за соседней стеной, но и в других зданиях университета, расположенных от аппаратной на расстоянии более 10 км. Удаленное управление студиями возможно и на больших расстояниях при наличии стабильного подключения к сети.

Заключение

В рамках данной работы в НИУ ВШЭ была реализована концепция RTSP-телестудии с удаленными съемочными площадками, выявлены ее сильные и слабые стороны. Опыт работы с представленными технологиями позволит осуществить доработку студийного оборудования для дальнейшего промышленного применения и тиражируемости.

В будущем мы планируем разработать и внедрить интеллектуальные функции в данный комплекс: автоматическое режиссирование, автотрекинг человека в кадре и распознавание эмоций.

Список литературы:

1. А. В. Козлов. Пошаговая стратегия организации учебно-производственной студии в МТУСИ / А. В. Козлов, С. В. Архипцев, Д. П. Лукьянов // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – №9.

2. Н. С. Гегелова. Учебное телевидение в российских вузах / Н. С. Гегелова, А. А. Исмаилова // Вестник РУДН. – 2016. — Серия Литературоведение. Журналистика. — №4.

3. M. Liyanage. Secure Virtual Private LAN Services: An overview with performance evaluation / M. Liyanage, J. Okwuibe, M. Ylianttila, A. Gurtov // 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW). — 2015. — P. 2231-2237.

4. П. В. Рыбаков. Разработка сетевой инфраструктуры на основе VPN для использования RTSP в рамках сервиса “OnAir.pro” / П. В. Рыбаков // Новые информационные технологии в автоматизированных системах.

5. И. В. Бобков. Разработка программно-аппаратного комплекса для IP-телестудии / И. В. Бобков, М. А. Денисова // Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В.Арменского. — 2020. — С. 126 – 128. URL: https://miem.hse.ru/armntk/2020archive (дата обращения: 18.02.2020).

6. Live Video Streaming Software vMix. Режим доступа: https://www.vmix.com/, свободный (дата обращения: 18.02.2020).

7. Nvidia Jetson Nano Developer Kit. Режим доступа: https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit, свободный (дата обращения: 18.02.2020).

8. J. Hudson. 3Gb/s SDI for Transport of 1080p50/60, 3D, UHDTV1 / 4k and Beyond / J. Hudson // Part 1 - Standards 2013 SMPTE. — 2013.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АНТРОПОМОРФНЫЙ РОБОТ

А.А. Бандюков, Ф.И. Газитуллин,
Р.А. Пригородов, А.А. Метляков
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается вопрос усовершенствования образовательного антропоморфного робота путем создания нового корпуса с последующим улучшением движений, а также добавлением нового функционала и датчиков. Робот состоит из 15 сервомоторов, платы питания и ПЛИС, с помощью которой происходит управление роботом.

Введение

В современном мире все больше различных роботизированных систем внедряются в жизнь людей. В связи с этим научная и техническая база для производства и применения продуктов робототехники растет большими темпами. Умные машины применяются во всех сферах жизнедеятельности. Уже сегодня существуют роботы, помогающие людям восстанавливаться после тяжелых болезней, применяющиеся в промышленном, вредном производстве, а также вобразовательных целях [1][2]. В развитых странах комбинация современных робототехнических систем с искусственным интеллектом дает возможность широко интегрировать роботов в сферу услуг [3] и, как следствие избавить людей от примитивного труда в будущем.

Разрабатываемый антропоморфный робот может быть использован для изучения основ робототехники, программирования и проектирования в технических университетах и специализированных школах, а также различными компаниями как прототип для реализации своих решений. На нем можно изучать принципы его работы, тем самым усовершенствовать свои знания и умения, заставляя робота делать различного рода задания, начиная от простой ходьбы и заканчивая распознаванием окружающих объектов.

Целью данной работы является усовершенствование модели антропоморфного робота-компаньона и увеличение его функциональности.

Разработка корпуса робота

Создание корпуса происходило с помощью последовательной печати отдельных деталей на 3D принтере. Корпус – это одна из основополагающих частей проекта, нуждающаяся в серьезной доработке. Перед разработчиком 3D модели стояла задача решить ряд проблем, обнаруженных при создании ранней версии антропоморфного робота [4]. Во-первых, в изначальной концепции

проекта предусматривались сервомоторы модели TP MG996R. Мощности было недостаточно для поставленных задач и поэтому было принято решение об их замене на сервомоторы модели TD8130MG, отличающиеся по размеру, но более производительные. Во-вторых, одной из главных целей являлось создание модели, имеющей возможность аккуратно расположить с внутренней стороны корпуса провода, связывающие сервоприводы с платой питания и другую периферию между собой, таким образом чтобы они не были видны пользователю и не мешали работе сервомоторов. Для этой задачи использовалась система автоматизированного проектирования Fusion 360 [5], в которой были переработаны и усовершенствованы все компоненты робота.

Во время разработки была сохранена модульность робота, благодаря которой в случае поломки или неисправ-

ности какой-либо детали, при наличии 3Д принтера можно без особых трудностей ее распечатать и в дальнейшем заменить.

В процессе моделирования были учтены погрешности печати принтера за счет разработки электронных составляющих. В голове корпуса были оптимизированы все крепления компонентов: камера, ультразвуковой дальномер и сервопривод. В туловище робота располагаются ПЛИС и плата питания Servo motor kit, под ними находятся аккумуляторы. Помимо этого, в корпусе предусмотрено место для охлаждающего кулера, чтобы избежать возможного перегрева платы, так как производитель платы не предоставляет данный функционал. Аккумуляторы расположены таким образом, что центр тяжести приходится на нижнюю часть робота, также имеется возможность их замены.

Разработка программной части

Робот должен выполнять большой спектр задач: управление сервомоторами, работа нейронной сети и различные пользовательские задачи. Поэтому в качестве устройства для управления роботом используется модель ПЛИС DE10-nano [6][8], которая помимо ПЛИС части имеет ARM ядро и позволяет загрузить на него удобную для разработки операционную систему. Как результат, через эту ОС и Bluetooth соединение реализуется дистанционное управление роботом с помощью смартфона, на котором установлено android приложение.

Главной задачей разработчика при работе с ПЛИС, является организация движений конечностей робота за счет управления сервоприводами. Модули, разработанные на языке Verilog [9], реализуют необходимые функции, такие как получение значения угла поворота качалки сервоприводов и генерацию ШИМ сигнала, далее передающегося на моторы. Помимо ПЛИС Terasic DE10-nano к питанию от аккумуляторов требуется подключить плату питания сервоприводов Terasic Servo Motor Kit [7], отвечающую за преобразование 3.3 вольтного ШИМ сигнала, идущего с ПЛИС в 5-ивольтный, для управления моторами.

Андроид приложение, написанное на языке программирования Kotlin [11] и разработанное по принципу MVVM архитектуры, а также использующее библиотеку Kodein [12] для реализации внедрения зависимостей (Dependency Injection), позволяющее разделить приложение на модули и компоненты, дает возможность отслеживать текущее состояние робота и задавать предустановленные программы движений за счет дистанционного управления с помощью Bluetooth соединения. В приложении имеется три экрана с простым интерфейсом. Фрагмент Home – предназначен для установки Bluetooth соединения; в фрагменте Program пользователь может создавать и редактировать свои команды, которые будут сохраняться в локальной базе данных, используя библиотеку Room [13], которая представляет собой удобную обертку для работы с базой данных SQLite;

фрагмент Setting служит для проверки и настройки соединения телефона пользователя с роботом.

Заключение

Таким образом, на сегодняшний день актуальность и важность нашего проекта понятна и обоснована. Использование современных ПЛИС позволяет создавать на их основе самые разнообразные приборы и роботизированные системы, функциональность которых ограничивается только фантазией разработчиков. Используя возможности предоставляемые УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ наша команда шаг за шагом приближается к поставленным целям.

Список литературы:

1. Petrescu F. I., Petrescu R. V. About the anthropomorphic robots. – 2015.
2. Hollerbach J. M., Jacobsen S. C. Anthropomorphic robots and human interactions //Proc. of the 1st International Symposium on Humanoid Robots. – 1996. – P. 83-91.
3. Forlizzi J., DiSalvo C. Service robots in the domestic environment: a study of the roomba vacuum in the home //Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robotinteraction. – 2006. – P. 258-265.
4. Anthropomorphic robot on FPGA. URL: http://www.innovatefpga.com/cgi-bin/innovate/teams.pl?Id=EM029
5. Fusion product documentation. URL: http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=G UID-A18E7686-1C84-4690-95EE-E2076A1BD84E
6. DE-10 nano manual. URL: https://www.intel.com/content/dam/altera-www/global/en_US/portal/dsn/42/doc-us-dsnbk-42-4302081511597-de10-nano-user-manual.pdf
7. Servo-motor-kit user manual. URL: https://ru.mouser.com/datasheet/2/598/ervo_Motor_Kit-1020966.pdf
8. Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис - Цифровая схемотехника и архитектура компьютера - Издательство "ДМК Пресс" – 2017.
9. Цифровой синтез: практический курс / под общей редакцией А.Ю. Романова, Ю.В. Панчула. – М.: ДМК Пресс, 2020.
10. Романов А.Ю., Американов А.А., Лежнев Е.В., Глухих А.Ю. Разработка универсальнойроботизированной платформы // Прикладная радиоэлектроника. – 2016. – Т. 15. – № 2. – С. 123– 126.
11. Kotlin in Action. By Dmitry Jemerov & Svetlana Isakova. Manning Publications; 1 edition February 19, 2017.
12. Kodein DI on Android. URL: https://kodein.org/Kodein-DI/?6.3/android
13. Room library. URL: https://developer.android.google.cn/jetpack/androidx/rel eases/room?hl=en

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОБЫТИЯ НА ГЕОЛОКАЦИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ

А.А. Гайдамака
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент бизнес-информатики, научная лаборатория Интернета вещей и киберфизических систем МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе исследуется задача оценки эмоционального воздействия некоторого события на определенное местоположение с использованием постов пользователей социальных сетей. Найден метод применения анализа тональности текстов: анализ эмоций с привязкой к геолокации и событию. Построена модель применения и выполнен качественный анализ модели.

Введение

Сложно представить современный мир без существования социальных сетей. Все большая часть наших повседневных коммуникаций происходит на социальных цифровых платформах, где имеет значение не только то, что мы говорим, но и то, когда и где мы это говорим. Тексты, размещаемые пользователями в социальных сетях, обладают не только информативностью, но и эмоциональной окраской. Обрабатывая посты социальных сетей с помощью анализа тональности текстов, можно оценить эмоциональное отношение автора к тому, о чем он пишет. Приняв во внимание эти факты, был разработан метод, позволяющий оценить воздействие некоторого события на пользователей социальных сетей. Удалось получить эмоцию не только в абсолютном выражении (негативная или позитивная), но и с разбивкой на различные эмоциональные состояния. Для количественной оценки эмоционального профиля была использована парадигма Pleasantness – Arousal (Удовольствие - Возбуждение).

В работе предложена модель анализа эмоций с привязкой к геолокации и событию в социальных сетях с использованием анализа тональности текстов. В качестве примера применения модели приводится анализ влияния эпидемии коронавируса на некоторый торговый центр.

Метод оценки географического положения события по его эмоциональному проявлению в социальной сети

Сегодня мир почти невозможно представить без существования социальных сетей. Все большая часть нашей повседневной коммуникационной деятельности происходит на Интернет-платформах, где важно не только то, что мы говорим, но и когда и где мы это говорим. То, как мы общаемся, может рассказать очень многое о нас. Например, по словам, которые мы выбираем, когда общаемся, можно раскрыть наше эмоциональное состояние.

С появлением мобильных и беспроводных технологий, таких как UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), LTE (Long-Term Evolution) и WiFi, Интернет становится все более распространенным, поэтому размещение или потребление контента в социальных сетях больше не ограничивается только теми, кто сидит перед компьютером с проводным доступом во Всемирную паутину.

Геолокация пользователя в социальных сетях стала поддерживаться многими социальными сетями. В результате доля взаимодействий в социальных сетях, которые в дополнение к известным меткам времени добавляют ещё и метку местоположения, начала резко возрастать, открывая дверь к совершенно новому набору данных для анализа взаимодействий и постов пользователей с учётом времени и места [1-3].

С помощью модели представления эмоций, что предложил Дж. Рассел (Russel's Circumplex Model) в 1980 г. [4], можно разложить эмоции на две составляющие: Удовольствие и Возбуждение. Эта пара может быть сопоставлена с конкретными эмоциями или настроениями (например: "довольный", "спокойный", "злой" и т.д.). На рисунке 1 изображено двумерное семантическое пространство эмоций Дж. Рассела. Осями координат выступают Удовольствие и Возбуждение.



Рис.1. Двумерное семантическое пространство эмоций Дж. Рассела

Перейдём к формальному определению подхода измерения эмоционального воздействия события на определенном месте [5]. Набор U представляет собой набор пользователей социальных сетей, которые находились в месте L, которое мы отслеживаем в течение анализируемого периода времени Δt:

$$U \equiv \{u\}, \forall u_i \in U, InLocation(u_i, L, \Delta t) \quad (1)$$

Все взаимодействия It, которые совершает пользователь u_i за период времени Δt определяются следующим образом:

$$It(u_i, \Delta t) \equiv \{it\}, \forall it_i \ \ Author(u_i, it_i, \Delta t) \quad (2)$$

Эмоциональный рейтинг ER взаимодействия пользователя мы определяем как вектор с тремя компонентами: удовольствие v, возбуждением a и доминированием d:

$$ER(it_i) \equiv [v, a, d] \quad (3)$$

Мы определяем эмоциональную базу EB локации L в течение заданного периода времени Δt как v, a, d распределение, полученное в результате агрегирования всех взаимодействий "эмоциональных рейтингов", авторами которых являются пользователи в заданной локации L в заданный период времени Δt:

$$EB(L, \Delta t) \equiv [v, a, d], \quad (4)$$

где $[v, a, d] = \varphi\left(ER\left(it_j\right)\right), Author\left(u_j, it_i, \Delta t\right), u_j \in U, InLocation\left(u_j, L, \Delta t\right)$. Функция φ может быть использована для моделирования веса. Например, присвоения большего веса наиболее свежим публикациям.

Мы определяем набор взаимодействий It для заданного пользователя u_i с событием E на интервале времени Δt как:

$$It(u_i, E, \Delta t) \equiv \{it\},$$

$$\forall it_i \in Interactions(u_i, \Delta t), Author(u_i, it_i, \Delta t) \cap related(it_i, E), \quad (5)$$

где $related(it_i, T)$ – функция обработки естественного языка, которая принимает значение *True*, если взаимодействие связано с темой T (одно или более слово из взаимодействия it_i принадлежит семантическому полю темы), и значение *False* в противном случае.

Эмоциональным отпечатком EF определенного события называется совокупность эмоциональных оценок вза-

имодействий, связанных с этим событием, за период времени Δt:

$$EF(L,E,\Delta t) \equiv [v,a,d]. \quad (6)$$

Имея все составляющие, мы можем определить эмоциональное воздействие события на место как разницу между эмоциональной базой $EB(L,\Delta t)$ и эмоциональным отпечатком события $EF(L,E,\Delta t)$, как объяснено на рис. 2:

$$EI(L,E,\Delta t) \equiv \frac{|It(L,E,\Delta t)|}{|It(L,\Delta t)|}|EB(L,\Delta t) - EF(L,E,\Delta t)|. \quad (7)$$

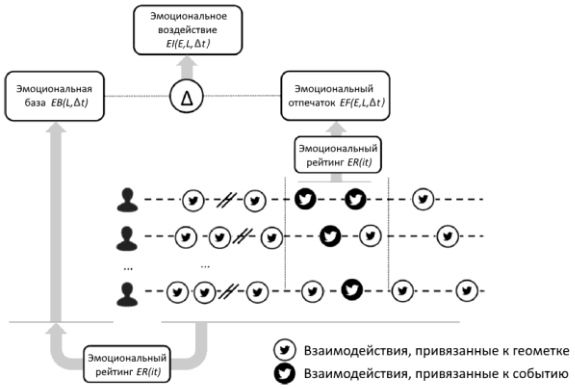


Рис.2. Модель процесса определения эмоционального воздействия события

Мы определяем набор именованных настроений NM как набор эмоциональных состояний, доступных в круговой модели Рассела, каждое из которых имеет пару координат удовольствие v и возбуждение a.

Доминирующая эмоция – эмоция из набора именованных настроений NM, наиболее близкая к эмоции пользовательского взаимодействия it_i по удовольствию v и возбуждению a (компоненты эмоционального рейтинга $ER(it_i)$). Исходя из этого определения, как базовый уровень эмоций места расположения, так и эмоциональный след события могут быть выражены в виде доли каждого названного настроения, являющегося доминирующим настроением в течение анализируемого периода времени.

Это позволяет нам определить новую версию эмоциональной базовой метрики для геолокации с точки зрения определенного настроения следующим образом:

$$EB_{NM}(m_j,L,\Delta t) \equiv \frac{|LeadingMood(It(L,E,\Delta t)) \cap \{m_j\}|}{|It(L,\Delta t)|}. \quad (8)$$

Аналогичным образом можно определить и эмоциональный отпечаток события, относящегося к определенному настроению:

$$EF_{NM}(m_j,L,E,\Delta t) \equiv \frac{|LeadingMood(It(L,E,\Delta t)) \cap \{m_j\}|}{|It(L,E,\Delta t)|}. \quad (9)$$

На основе этих новых метрик мы предлагаем рассчитывать количественную оценку воздействия настроения следующим образом:

$$EI_{NM}(m_j,L,E,\Delta t) \equiv EF_{NM}(m_j,L,E,\Delta t) - EB_{NM}(m_j,L,\Delta t). \quad (10)$$

Интуитивно эта метрика представляет собой то, как определенное настроение становится более или менее важным в событии эмоционального следа по сравнению с эмоциональной нормой места расположения.

Численный пример влияния эпидемии коронавируса

В этом разделе представляем качественный пример того, как некоторые события влияют на определённую геометку. В качестве геометки был выбран некоторый торговый центр. Используя социальную сеть «Instagram», были собраны посты различных пользователей до начала пандемии коронавируса, одну неделю после начала карантина, две недели после начала карантина и три недели после начала карантина. Целью исследования было понять, каким образом меняется эмоциональный фон в зависимости от события (в данном случае, пандемии).

Первым этапом было собрать тексты постов из социальной сети «Instagram» для дальнейшего анализа тональности текстов. Затем к каждому тексту была подобрана соответствующая эмоция.



Рис.3. Эмоциональные состояния посетителей ТЦ до и во время карантина на круговой модели Дж. Рассела

Результаты эксперимента изображены на круговой модели Рассела. На рисунке 3 голубым цветом показаны состояния, наблюдаемые до начала карантина. Видно, что большинство эмоциональных состояний расположено на границе первой и второй четвертей круга, то есть посетители торгового центра были довольны, но некоторые выражали свои эмоции более ярко, другие менее. Есть несколько постов, которые попали в четвёртую четверть. Но в целом доминирующая эмоция – «чувствующий себя хорошо».

Заключение

В разделе представлено возможное применение анализа тональности текстов. В данном случае предлагается анализировать тексты, предоставленные пользователями социальной сети, с привязкой к определённой геолокации. Зная базовое настроение, присущее геолокации, можно исследовать, каким образом различные события влияют на настроение геолокации. Например, проведён эксперимент, в котором было определено базовое настроение торгового центра до пандемии коронавируса и каким образом коронавирус повлиял на эмоции, которые испытывают посетители.

Список литературы:

1. Z. Cheng , J. Caverlee , K. Lee , You are where you tweet: a content-based ap- proach to geo-locating twitter users, in: Proceedings of the 19th ACM inter- national conference on Information and knowledge management, ACM, 2010, pp. 759–768

2. E. Cho , S.A. Myers , J. Leskovec , Friendship and mobility: user movement in location-based social networks, in: Proceedings of the 17th ACM SIGKDD in- ternational conference on Knowledge discovery and data mining, ACM, 2011, pp. 1082–1090

3. I. Moya , M. Chica , J.L. Sáez-Lozano , Ó. Cordón , An agent-based model for un- derstanding the influence of the 11-m terrorist attacks on the 2004 spanish elections, Knowl. Based Syst. 123 (2017) 200–216.

4. Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161–1178. https://doi.org/10.1037/h0077714

5. Bernabe-Moreno, Juan & Tejeda-Lorente, A. & Porcel, Carlos & Fujita, Hamido & Herrera-Viedma, Enrique. (2018). Quantifying the emotional impact of events on locations with Social Media. Knowledge-Based Systems. 146. 10.1016/j.knosys.2018.01.029.

ПОСТРОЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТА СЕТИ ИМЕНОВАННЫХ ДАННЫХ

С.И. Якименко, А.А. Лобанева,
К.А. Ляхова, М.А. Усенкова, М.Н. Иртикеев
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью данной работы является исследование сетевой архитектуры сети именованных данных (Named Data Networking, NDN) как подтипа информационно-ориентированных сетей (Information-Centric Networks, ICN). В статье рассматриваются идеи, лежащие в основе информационно-ориентированной архитектуры, программное обеспечение для проведения симуляций, а также представлена топология и результаты проведенного моделирования.

Введение

Информационно-ориентированные сети – перспективная и актуальная [1] концепция сетевой архитектуры, которая направлена на замену хост-ориентированных сетей, примером которых являются традиционные IP-сети. Вместо передачи пакетов по адресам получателей информационно-ориентированная архитектура осуществляет коммуникацию с помощью запросов данных и получение их в ответ от сети. Главный акцент смещается с конечных точек каналов (IP-адресов) на имя контента и само его распространение по каналам. ICN обеспечивает безопасность данных и конфиденциальность клиентов сети. Исследования, посвященные ICN, производились в основном в иностранных источниках [2-4], хотя существуют и отечественные [5-6]. Их основная цель – улучшить производительность и обеспечить удобный доступ к данным сети.

Сети именованных данных, подтип ICN, призваны заменить протокол IP на сетевом уровне. В NDN Алиса запрашивает в сети порцию данных (content chunks) по имени. Бобом может быть любой узел, имеющий действительную копию данных с нужным именем. Боб присылает данные в ответ.

Архитектура NDN

Связь в NDN осуществляется принимающей стороной, т. е. потребителем данных. Для получения данных потребитель отправляет пакет Interest, который содержит имя, идентифицирующее запрошенные данные. Маршрутизатор запоминает интерфейс, из которого поступает запрос, затем пересылает пакет Interest, просматривая имя в своей базе информации пересылки (Forwarding Information Base – FIB), которая заполняется протоколом маршрутизации на основе имени контента.

Как только пакет Interest достигает узла, имеющего запрошенный пакет Data, такой пакет отправляется обратно. Ни Interest, ни Data не содержат адреса отправителя и получателя. Они содержат имя, а Data – и криптографическую подпись производителя контента [2].

Маршрутизаторы NDN хранят и пакет Interest, и пакет Data в течение некоторого периода времени. Когда несколько Interest-пакетов запрашивают одни и те же данные, только первый пакет отправляется к источнику данных. Затем маршрутизатор сохраняет интерес в таблице ожидающих интересов (Pending Interest Table – PIT), где каждая запись содержит имя интереса и набор интерфейсов, от которых были получены соответствующие пакеты Interest. Когда приходит пакет Data, маршрутизатор находит соответствующую запись PIT и пересылает данные на все интерфейсы, перечисленные в записи PIT. Затем маршрутизатор удаляет соответствующую запись из PIT и кэширует данные в хранилище содержимого (Content Store, CS), которое, по сути, является буферной памятью маршрутизатора, на которую распространяется политика замены кэша. Пакеты Data идут по тому же пути, что и пакеты Interest, которые их запросили, но в обратном направлении.

Кратко данный процесс представлен на рис. 1:

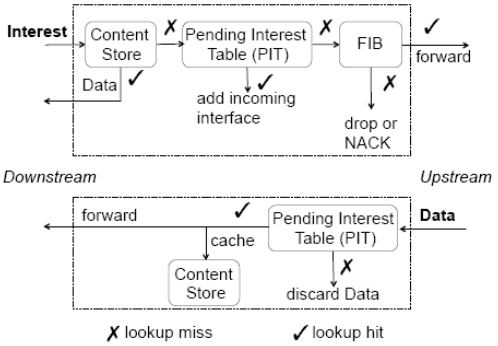


Рис.1. Передвижение пакетов на узле NDN

Исследование программного обеспечения

На данный момент моделирование сети с архитектурой NDN можно провести средствами двух симуляторов: ndnSIM [7] и OMNeT++ с фреймворком NDNOMNeT [8].

Преимуществом симулятора ndnSIM, который доступен на ОС Linux, является высокая детализация моделирования процессов, происходящих в NDN-сети.

К преимуществам OMNeT++ относится возможность работы в Windows и MAC OS, а также удобный графический интерфейс и управление топологией через конфигурационные файлы.

Кроме того, так как в будущем планируется сравнение характеристик IP и NDN-сетей, для моделирования был выбран именно OMNeT++ версии 5.1, который позволяет произвести оба типа симуляций.

Разработка сценария симуляции

Беспроводная сеть, работающая по стандарту IEEE 802.15.4, располагается на участке размером 100x100 метров.

На тестовой топологии представлено 6 производителей трафика (producers), 3 потребителя трафика (consumers) и 6 маршрутизаторов (routers), через которые трафик идёт от производителя к производителю, если эти узлы не находятся в зоне прямой видимости (рис. 2). Компоненты узлов во фреймворке NDNOMNeT, включая вышеупомянутые FIB, PIT, CS и дополнительный XU (eXperimental Unit для

экспериментов на основе искусственного интеллекта), представлены на рис. 2.

Узлы сети статичны; радиус действия приёмопередатчика каждого элемента 30 метров (выделены синим на топологии), скорость передачи данных 250 кбит/с.

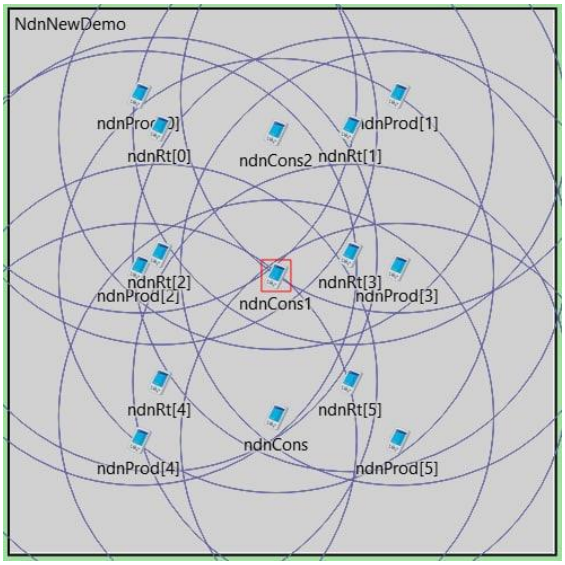


Рис.2. Топология сети NDN

Каждый из потребителей запрашивают по 100 различных частей контента (content chunks) с интервалом 1 с.

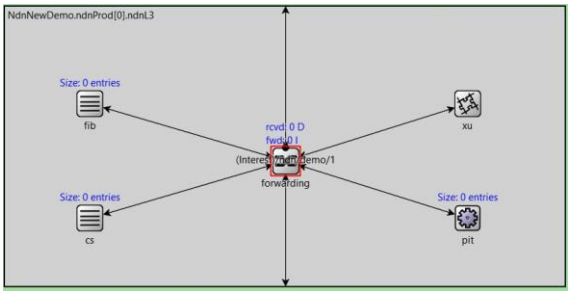


Рис.3. Компоненты узла NDN в OMNeT++

Результаты

На рисунке 4 изображено соответствие отправленных и полученных пакетов для каждого потребителя контента. Количество пакетов Interest и Data превысило 100, что свидетельствует о переотправке нескольких пакетов, когда Interest не был удовлетворен из-за помех беспроводной среды; некоторые части контента были получены дважды.

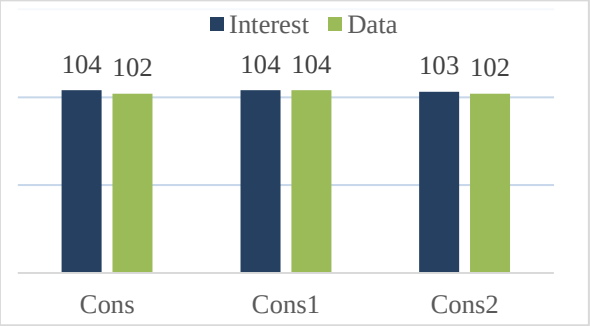


Рис.4. Количество пакетов, отправленных и полученных потребителями контента

Распределение полученных пакетов Interest по производителям контента показано на рисунке 5. Оно практически равномерно, но Producers 1, 3 и 5 находятся ближе к потребителям контента (рис.2), поэтому и взаимодействуют с ними чаще.

Общее число полученных пакетов Interest (335) производителями включает полученные запросы от потребителей контента (311) и маршрутизаторов (24) в случае, если узлы не находились в зоне прямой видимости.

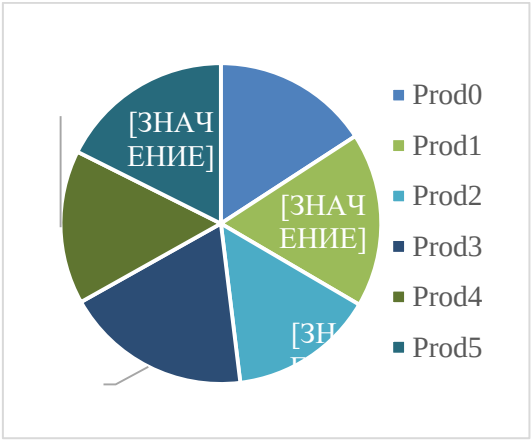


Рис.5. Распределение запросов контента для каждого производителя

Круговая задержка (round-trip time, RTT) между отправкой пакета Interest и получением соответствующего пакета Data для каждого из потребителей контента отражена на рис. 6. Она обусловлена небольшой скоростью, на которой работает беспроводная сеть, и минимальна для Cons1, так как в радиус действия его приёмопередатчика попадает максимальное количество узлов.

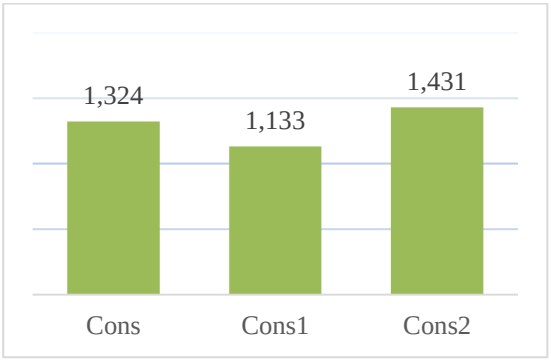


Рис.6. Задержка получения контента, с

Выводы

В работе рассмотрены основные положения информационно-ориентированной парадигмы построения сети и, в частности, сетей именованных данных (NDN). С помощью имитационного моделирования в дискретном симуляторе событий сети OMNET++ сконфигурирован и исследован беспроводной сценарий NDN. Построены диаграммы, отражающие основные процессы в сети. В будущем планируется уточнить результаты, приняв во внимание выбор протокола маршрутизации, политик кэширования, размера кэша узлов и стратегии его замещения, а также задействовав экспериментальный компонент (XU) для повышения интеллектуализации сети.

Список литературы:

1. Кучерявый А. Е. и др. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021-2024 годы //Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 1-19.

2. Zhang L. et al. Named data networking (ndn) project //Relatório Técnico NDN-0001, Xerox Palo Alto Research Center-PARC. – 2010. – Т. 157. – С. 158.

3. Zhang L. et al. Named data networking //ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 2014. – Т. 44. – №. 3. – С. 66-73.

4. Yi C. et al. Adaptive forwarding in named data networking //ACM SIGCOMM computer communication review. – 2012. – Т. 42. – №. 3. – С. 62-67.

5. Блинников М. А. и др. Применение технологий именованных данных в беспроводных ячеистых сетях //Электросвязь. – 2019. – №. 11. – С. 22-28.

6. Навроцкий Я. Ю., Пацей Н. В. Реализация политик кэширования в информационно-ориентированных сетях //Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. – 2018. – №. 1 (206).

7. Afanasyev A. et al. ndnSIM: NDN simulator for NS-3 //University of California, Los Angeles, Tech. Rep. – 2012. – Т. 4. – С. 1-7.

8. Abane A. et al. Towards evaluating named data networking for the iot: A framework for omnet++ //OMNeT Community Summit 2018. – 2018.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ БИНАРНОЙ КОМПОЗИЦИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ НА ОСНОВЕ НЕСУЩЕСТВЕННЫХ ВХОДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПРИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Л.Г. Евтушенко[1], Е.В. Широкова[2], А.В. Лапутенко[2]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,
[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический факультет, кафедра информационных технологий в исследовании дискретных структур

Аннотация

В данной работе приводятся результаты экспериментов по использованию алгоритма решения автоматного уравнения для бинарной композиции конечных автоматов без обратных связей для оптимизации компонента, все выходные каналы которого доступны для наблюдения. Описываемый алгоритм позволяет строить сетевой эквивалент хвостового компонента композиции для сокращения затрат при аппаратной реализации композиции автоматов и повышения эффективности работы цифрового устройства.

Введение

Синхронная композиция конечных автоматов широко используется для описания работы различных цифровых устройств, представляющих многомодульные системы, обрабатывающие входное воздействие и выдающие реакцию во внешнюю среду в течение одного такта времени. Существуют различные способы оптимизации таких композиций, в том числе при аппаратной реализации компонентов для повышения быстродействия и эффективности итогового устройства.

Необходимо экспериментально оценить эффективность оптимизации бинарной последовательной композиции на основе несущественных входных последовательностей для хвостового компонента.

В первом разделе приводятся необходимые определения и обозначения, используемые в работе. Во втором разделе описывается синхронная композиция конечных автоматов. В третьем разделе описываются проведенные эксперименты. В заключении описываются достигнутые результаты.

Определения

Под инициальным конечным автоматом (FSM) S [1] будем понимать пятерку $(S, I, O, s_0, \lambda_S)$, где S – конечное непустое множество состояний, s_0 – начальное состояние; I и O – входной и выходной алфавиты; а $\lambda_S \subseteq S \times I \times O \times S$ – отношение переходов. Инициальный автомат может рассматриваться как функция, отображающая последовательности одного (входного) алфавита в (подмножества) последовательностей другого (выходного) алфавита. Если для каждой пары $(s, i) \in S \times I$ существует не более одной пары (o, s'), такой что $(s, i, s', o) \in \lambda_S$, то автомат S называется детерминированным; в противном случае автомат S называется недетерминированным. Если для каждой пары $(s, i) \in S \times I$ существует хотя бы одна пара (o, s') такая, что $(s, i, o, s') \in \lambda_S$, то автомат S является полностью определенным. В противном случае автомат S называется частичным. Множество $\Omega_S(s)$ содержит входные последовательности, на которых поведение автомата S в состоянии s определено.

Состояния b и s полностью определенных автоматов B и S эквивалентны [2], если конечный автомат B в состоянии b и автомат S в состоянии s производят равные наборы выходных последовательностей при поступлении любой входной последовательности. В противном случае состояния b и s называются различимыми.

Состояния s_i и s_j детерминированного, возможно, частичного конечного автомата S несовместимы, или различимы, если существует входная последовательность, допустимая для s_i и s_j, такая, что выходные реакции на эту последовательность в состояниях s_i и s_j не совпадают. Состояния s_i и s_j совместимы, если они не являются несовместимыми [2].

Для частичных автоматов вводится определение квазиэквивалентности [1, 2]. Для полностью определенного детерминированного автомата B и, возможно, частичного автомата S, состояние b автомата B квазиэквивалентно состоянию s автомата S, что записывается как: $b \sqsupseteq s$, если $\Omega_B(b) \supseteq \Omega_S(s)$ и для каждой последовательности $\alpha \in \Omega_S(s)$ имеет место $out_S(s, \alpha) = out_B(b, \alpha)$. Инициальный автомат B квазиэквивалентен инициальному автомату S (обозначение: $B \sqsupseteq S$), если начальное состояние конечного автомата B квазиэквивалентно начальному состоянию конечного автомата S.

При проектировании сложных систем часто используется представление системы в виде композиции, состоящей из более простых подсистем. Операторы композиции над автоматами были определены в ряде публикаций [1, 3]. В этой работе мы рассматриваем так называемую синхронную композицию инициальных полностью определенных детерминированных автоматов, в которой каждый вход обрабатывается в течение одного тактового цикла. Такое представление обычно используется для описания аппаратных реализаций компонентов.

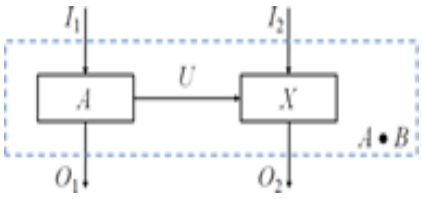


Рис.1. Синхронная композиция конечных автоматов

При оптимизации синхронных композиций часто используется подход на основе решения автоматных уравнений [4, 5] вида $A \bullet X \approx A \bullet B$, где символ «•» означает операцию синхронной композиции, X соответствует оптимизируемому компоненту; автомат A описывает совместное поведение остальных компонентов (контекст). Однако, решение такого уравнения имеет высокую сложность и поэтому на практике часто прибегают к использованию подхода на основе выделения в композиции «окон» [5], состоящих из меньшего числа компонентов, для которых решение уравнения найти проще, и процесс повторяется до тех пор, пока не выполнятся критерии оптимизации.

Покомпонентная оптимизация синхронных композиций

В данной работе рассматриваются бинарные синхронные композиции инициальных полностью определенных детерминированных автоматов без обратных связей, в которых каждый вход обрабатывается в течение одного тактового цикла и выходные каналы оптимизируемых компонентов доступны для наблюдения. (рис. 2).

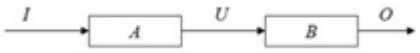


Рис.2. Бинарная последовательная синхронная композиция

Известно [1], что поведение композиции не обязательно изменяется при замене автомата–компонента автоматом, не эквивалентным исходному. В настоящей работе автомат B, представляющий хвостовой компонент, оптимизируется относительно поведения головного компонента A. Для этого строится так называемый сетевой эквивалент [4] хвостового компонента B, который является частичным автоматом и его поведение определено только на тех последовательностях, которые могут на наго поступить, то есть на выходных последовательностях головного компонента A. Сетевой эквивалент автомата B может быть получен следующим образом. На первом шаге необходимо построить так называемый обратный полуавтомат A^* компонента A. Для этого для компонента A строится соответствующий полуавтомат и на каждом переходе удаляются все входные символы. Если полученный полуавтомат является недетерминированным, то его необходимо детерминизировать. На следующем шаге строится пересечение полуавтомата A^* с автоматом B [4]. Полученный, возможно частичный, автомат является сетевым эквивалентом хвостового компонента B, т.к. он квазиэквивалентен исходному хвостовому компоненту. Только те входные последовательности, на которых поведение автомата B может изменить поведение композиции, определены для сетевого эквивалента. Полученный, сетевой эквивалент является наибольшим решением автоматного уравнения. Наибольшее решение содержит все решения уравнения, из которых можно выделить оптимальное в некотором смысле.

За счет проведения экспериментов планируется улучшить алгоритм решения автоматного уравнения для бинарной композиции автоматов без обратных связей, когда все выходные каналы компонента при оптимизации доступны для наблюдения [6].

Описание экспериментов

В работе были проведены эксперименты по оптимизации хвостового компонента бинарной композиции конечных детерминированных полностью определенных автоматов, сгенерированных случайным образом с помощью веб-сервиса FSMTestonline [7]. В ходе экспериментов были сгенерированы бинарные последовательные композиции автоматов, с числом состояний хвостового компонента от 6 до 12, числом входов от 4 до 16 и числом выходов от 4 до 16. Согласно описанному выше алгоритму, на языке Python были реализованы алгоритмы построения обратного полуавтомата головного компонента, детерминизации полуавтомата, пересечения полуавтомата головного компонента и автомата хвостового компонента. В получаемом частичном автомате хвостового компонента оценивалось число неопределенных переходов по сравнению с исходным хвостовым компонентом.

В таблице 1 приведен средний процент неопределенных переходов, появляющихся в частичном сетевом эквиваленте хвостового компонента при оптимизации на основе описанного алгоритма.

Таблица 1. Процент неопределенных переходов хвостового компонента

Число входных символов	Число состояний		
	6	9	12
4	28.4	28.3	30.85
8	52.1	58	58.9
12	66.7	70.25	69.05
16	68.85	74.1	76.4

Как видно из таблицы, при увеличении числа состояний и входных символов хвостового компонента растет процент неопределенных переходов в результате оптимизации, что дает возможность доопределить поведение автомата наиболее подходящим образом для повышения эффективности работы аппаратной реализации. В работе рассматриваются разные возможности доопределения переходов и оценивается их влияние на реализацию.

Такая оптимизация позволяет повысить максимальную частоту работы устройства, площадь, занимаемую интегральной схемой на кристалле, сократить количество адаптивных логических модулей при реализации на ПЛИС.

Подробные результаты экспериментов будут представлены в докладе.

Заключение

В работе описаны экспериментальные результаты по оптимизации аппаратной реализации хвостового компонента бинарной синхронной композиции конечных детерминированных автоматов на основе входных последовательностей, не поступающих на входы хвостового компонента. Это позволяет улучшить аппаратную реализацию за счет сокращения затрат и повышения скорости работы устройства.

Список литературы:

1. T. Villa, N. Yevtushenko, R.K. Braytuon, A. Mishchenko, A. Petrenko, A.L. Sangiovanni–Vincentelli, “The Problem of the Unknown Component: from Theory to Applications,” Springer, p. 323, 2011.

2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов // М.: Наука. – 1966. – 272 с.

3. J. Hartmanis, R.E. Stearns, “Algebraic Structure Theory of Sequential Machines,” Prentice-Hall, 219 p, 1966.

4. Ветрова М. В. Разработка алгоритмов синтеза и тестирования конечно-автоматных компенсаторов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Том. Гос. Ун-т. – 2003.

5. Тихомирова С. В. Оптимизация многокомпонентных дискретных систем на основе решения автоматных уравнений: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Томский государственный университет. – 2008.

6. E. Shirokova, L. Evtushenko, A. Laputenko and N. Yevtushenko, "Optimizing Components of Multi–Module Systems Based on don't Care Input Sequences," 2020 IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS), Varna, Bulgaria, 2020, pp. 1–5.

7. Test generation for Finite State Machine. URL: http://fsmtestonline.ru/

СОЗДАНИЕ ПОРТАТИВНОЙ ВЕРСИИ IP-ТЕЛЕСТУДИИ

А.А. Загородников, И.А. Бессонова, А.А. Дрожжин, И.В. Бобков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью работы является создание переносного комплекта оборудования, с помощью которого можно проводить многокамерные режиссируемые видеотрансляции мероприятий в любой съемочной локации при наличии электропитания. Портативная телестудия (ПТС) предполагает компактность и реализацию программных возможностей полноценного аппаратно-студийного блока (проект #19102). Такая телестудия имеет широкий спектр применения.

Введение

В условиях глобальной цифровизации и активного развития интернет-технологий, системы для проведения видеотрансляций и видеозаписей также переживают значительные изменения. Сейчас внимание сосредоточено на уменьшении габаритов студийного оборудования без потери качества видеоматериала. Данные параметры особенно актуальны при создании видеоконтента, например, в сфере образования.

В данной работе приоритетной задачей является создание портативной версии IP-телестудии. Наше решение позволяет осуществлять режиссируемые видеотрансляции с задействованием до восьми камер. ПТС использует компьютерные сети для подключения к камерам, управляет камерами по направлению, изображением на камере, звуком. Передача данных осуществляется при помощи потокового протокола реального времени (RTSP). Для реализации управления камерами в этом проекте разрабатываются специальные пульты с уникальным набором компонентов. Компактность ПТС решается упаковкой всей ее компонентной базы в эргономичный корпус (металлический кейс).

Аналоги разрабатываемой системы

В рамках данной работы был проведен анализ существующих портативных телестудий. По результатам анализа были выделены системы с схожим эксплуатационным назначением. В данном случае эти системы не являются аналогами ПТС, так как наше оборудование имеет уникальный набор технологий, на основе которых оно разрабатывается. Под уникальностью подразумевается реализация технологии, обычно применяемой в системах видеонаблюдения, в сценарии, используемом в работе телевизионных съемочных комплексов.

Самым близким функциональным аналогом является Мобильный сервер потокового вещания видео на базе видеопроцессоров MMVS [1]. Это оборудование использует последовательный цифровой интерфейс (SDI). Интерфейс SDI [2][3] реализует передачу данных по коаксиальному кабелю или оптоволоконной линии - сигнал затухает после 300 метров [4]. Это допустимо, если аппаратная с оборудованием для записи находится на съемочной площадке. ПТС же реализует потоковый протокол реального времени (RTSP), что дает возможность управлять потоком мультимедийных данных как по существующей сетевой инфраструктуре, так и через интернет, если организовать тунель VPN [5][6]. Таким образом, портативная версия IP-телестудии позволяет распределить работу как по разным местам съемки, так и по режиссерской группе.

Предлагаемое решение

На верхней панели расположен основной 15” дисплей. На нижней панели ПТС (Рис. 1) располагаются пульты и два сенсорных дисплея для управления видеозаписью. Снизу располагаются пульты управления камерами, выше – пара дисплеев для отображения технической информации. Правее от дисплеев находятся отверстия для охлаждения. В самом верху расположены порты для подключения периферии (локальной сети, PoE камер, микрофонов, внешних устройств аудио и видео воспроизведения, внешних накопителей и USB периферии) и разъем для подключения кабеля питания.

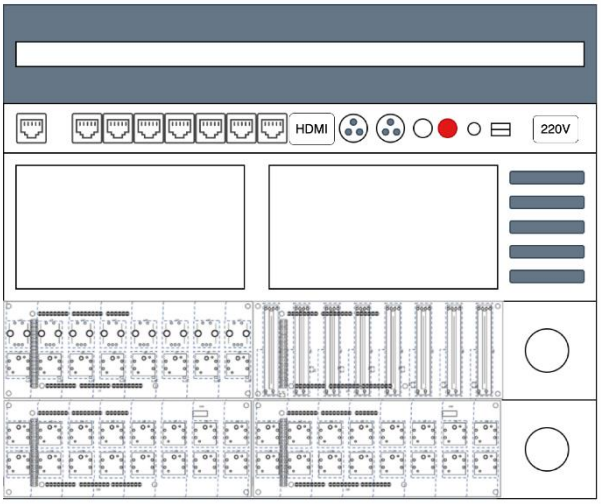


Рис.1. Схема внешних компонентов ПТС

В корпусе телестудии установлено два одноплатных компьютера Nvidia Jetson Nano. Мощности хватит чтобы транслировать и записывать видеопоток сразу с восьми PTZ камер одновременно. Вместе с тем возможно обеспечение записи всех входных и выходных потоков микшера. При этом в ходе трансляции можно менять настройки камер (плавно поворачивать и приближать с помощью джойстика) и получаемого с них изображения с помощью пультов.

В чемодане установлено пять пультов подключенных к Arduino. Через USB-хаб они подключаются к одному из одноплатных компьютеров Nvidia. Модульный подход к проектированию ПТС позволяет использовать такой же комплект из пяти пультов, подключающихся по usb, в корпусах для аппаратно-студийного блока телецентра МИЭМ. Этот комплект изготовлен отдельно в рамках проекта.

В разработке используются четыре вида пультов: Slider pots, Joystick board, Encoder buttons, Mega buttons (Рис. 3). У всех плат есть одна общая особенность - питание каждого управляющего элемента плат (кнопки, фейдеры, энкодеры) подключены к отдельным цифровым пинам. Благодаря этому реализована возможность управления функциями каждого элемента отдельно.

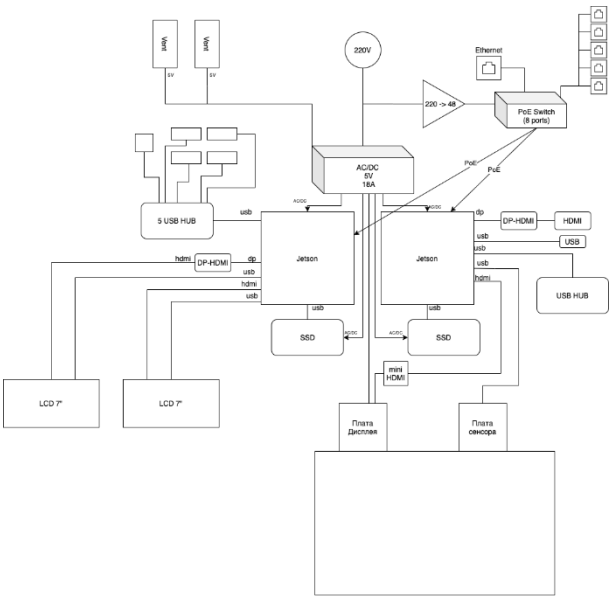


Рис.2. Схема подключения компонентов кейса

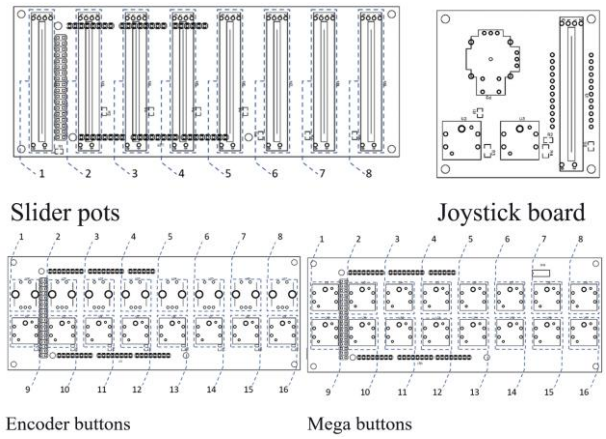


Рис.3. Схемы пультов

Записи трансляций сохраняются на двух SSD дисках.

Для подключения и питания IP-камер используется PoE свитч, который дает возможность подключить 4 камеры одновременно. Камеры могут подключаться к чемодану не только физически через Ethernet, но и удаленно по VPN, если на съемочной локации присутствует интернет или требуется подключить камеры из другой локации. Такая реализация дает возможность режиссировать видеотрансляции как на месте, так и в любой локации, где есть доступ к интернету.

Чемодан питается от сети 220В. В связи с этим внутри установлено два блока питания: один понижающий напряжение до 5В (для Nvidia Jetson, SSD, дисплея и вентиляторов) и второй - на 48В (для PoE свитча).

Сценарий использования ПТС предполагает перемещение чемодана не только в закрытых помещениях, но и на улице, поэтому одним из важных показателей является герметичность конструкции, чтобы снизить влияние внешних факторов на аппаратуру. Прототип собран из типового кейса для инструментов. Он обладает невысокими показателями надежности и герметичности, но такой подход позволяет быстро тиражировать устройство по низкой стоимости. Кроме того, ширина кейса совпадает с 19” рэковой стойкой, что позволит переносить скомпонованное оборудование между ПТС и стоечной версией с минимальными изменениями.

Все используемые модули общедоступны и заменяемы. Таким образом, реализуемое решение отличается относительно низкой стоимостью. Кроме того, при разработке ПТС отдельное внимание уделено удобству развертывания рабочего места. К телестудии подводится питание и к ней же подключаются камеры при необходимости. Захват экрана с докладом выступающего может производится с использованием программного захвата NDI и подключения в один из портов PoE или же через локальную сеть на площадке. Возможность захвата изображения также может быть реализована с помощью USB захвата и программного обеспечения Nvidia Jetson, который разрабатывается в проекте #297.

Заключение

В настоящий момент в результате проделанной работы собрана первая версия ПТС, в которой закреплены пульты, и настроена трансляция на основном дисплее с камеры. Также был изготовлен прототип USB пульта для смежного проекта 19102 “аппаратно-студийный блок”. Созданные пульты запрограммированы и передают данные с задействованных кнопок, фейдеров и джойстика.

Разработанное оборудование будет использоваться Телецентром МИЭМ и другими факультетами НИУ ВШЭ. В перспективе ПТС может использоваться для съемки различных мероприятий, конференций, комплекс из ПТС (проект 587), операторской камеры (проект 586), и переносных PTZ-камер является самодостаточным для проведения выездных съемок и трансляций и является потенциально коммерциализируемым продуктом с выраженной экономической выгодой и низкой стоимостью эксплуатации за счет автоматизации и возможности ведения распределенной работы. Постепенная доработка программного обеспечения и аппаратной базы системы в перспективе позволит осуществлять видеосъемку на уровне профессионального оборудования.

Дальнейшая разработка портативной телестудии направлена на реконфигурацию ее компонентной базы, и на перевод кейса на автономное питание.

Список литературы:

1. MMBC - Организация и оборудование для онлайн-трансляций, интернет видеостудии, видеосервисы [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: https://mmvs.ru/

2. Garner G. M. Status and Area of Applicability of Timing Requirements for Timing Requirements for Uncompressed Serial Digital Interface Video using IEEE 802.1 AVB TG //IEEE Communications Magazine. – 2009.

3. Самарин А. Стандарты цифровых видеоинтерфейсов //Компоненты и технологии. – 2006. – №. 55.

4. Интерфейсы SDI/HD-SDI: проблемы, характеристики, структура [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: https://www.avclub.pro/articles/av-likbez/interfeysy-sdi-hd-sdi-problemy-kharakteristiki-struktura/

5. Бородинский А. А. Методы достижения синергетического эффекта услуги IPTV //Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – №. 2.

6. The Design and Implementation of RTSP/RTP Multimedia Traffic Identification Algorithm [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1168/5/052033/pdf

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА ДАННЫХ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ МЕЖДУ КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ПО СПУТНИКОВОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРНЕТА УДАЛЁННЫХ ВЕЩЕЙ

А.Ю. Ролич, Г.П. Баканов, П.О. Подкопаева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается актуальная задача - уменьшение объема данных от киберфизических систем, передаваемых по низкоскоростному спутниковому каналу Iridium [1], позволяющее снизить стоимость передачи данных. Рассматриваются характеристики канала связи, особенности данных и методы сжатия. Обсуждаются вопросы подготовки и передачи данных между киберфизическими системами по спутниковому каналу Iridium, позволяющие уменьшить объём передаваемых данных.

Введение

Рассматриваются устройства интернета удалённых вещей, передающие короткие сообщения от датчиков в сети LoRaWAN [2] размером до 500 байт. В отсутствии наземной связи сообщения передаются по спутниковому каналу Iridium. Таким образом, передача данных осуществляется в гетерогенной сети LoRa-Iridum [2] пакетами небольшого размера (Short Burst Data, SBD) до 1960 байт [3] с низкой скоростью в среднем 1200 бит/сек [3], задержкой 5-20 секунд [4] и высокой стоимостью услуг спутниковой связи (от $ 1.4/Кб) [5]. В связи с этим возникает проблема высокой стоимости передачи пакета данных в рассматриваемой гетерогенной сети LoRa-Iridium, которая может быть решена посредством использования методов и алгоритмов сериализации и сжатия данных, передаваемых пакетами небольшого размера.

Описание экспериментального стенда

Экспериментальные стенд разработан на базе предложенной в [6] архитектуры. Архитектура включает в себя следующие элементы: устройство сбора данных, устройство обработки данных, передающая антенна со спутниковым модемом, принимающая антенна, общая система сбора и анализа данных. Предлагаемая реализация экспериментального стенда состоит из устройств Laird DVK-RM186[7], iC880A Link Lab LoRaWAN Gateway Shield[8], Raspberry Pi3[9], Hirschmann ITAS[10].

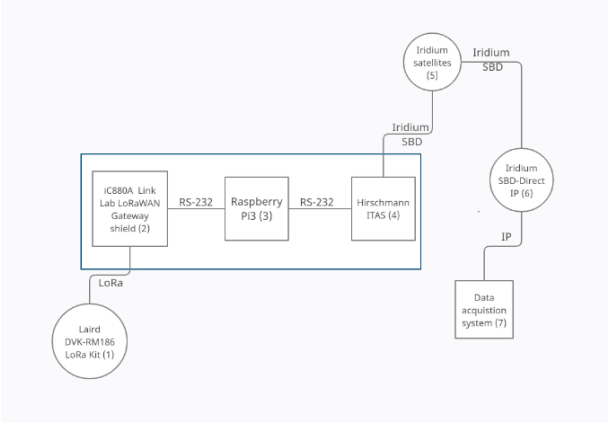


Рис.1. Физическая схема предлагаемого экспериментального стенда

Устройство сбора данных (Laird DVK-RM186 kit (1)) передаёт данные на шлюз LoRaWAN (2). Шлюз LoRaWAN передаёт информацию подключённому MQTT-серверу через брокера. В данном случае этот локальный MQTT-сервер установлен на базе Raspberry Pi3 (3).

Данные передаются между шлюзами LoRa-Iridium и LoRaWAN. Основная задача шлюза LoRa-Iridium заключается в преобразовании поступающих сообщений в соответствующий формат SBD. Далее SBD-сообщения передаются на передающую антенну со спутниковым модемом (4), затем через спутник (Iridium satellites(5)) и на принимающую антенну наземной станции (6), где сообщения декодируются из SBD-формата и публикуются в общей системе сбора и анализа данных.

Сериализация и архивация данных

Данные от киберфизических систем могут приходить в различных форматах (JSON, GeoJSON, CSV, XML и тд.). Для сокращения объёма данных каждая структура переводится в последовательность байт [11], данные сериализуются. Одним из эффективных инструментов [12] сериализации является Protocol Buffers (Google), позволяющий, например, уменьшить объём передаваемых в JSON данных в 4,6 раза [13]. Protobuf сообщения упаковываются в небольшие пакеты, ограниченные максимальным размером SBD-контейнера для модема Iridium 9602 (340 байт).

После заполнения контейнера данные сжимаются. Сообщения, приходящие от киберфизических систем, имеют размер 30-2048 байт. При использовании широко известных архиваторов cmix, paq8hp12, nanozip, gzip, bzip2 и 7zip данные малого объёма (30-45 байт) не сжимаются при архивации [14]. При архивации с помощью алгоритма Хаффмана данные сжимаются в среднем в 1,3 – 1,5 раза во всём диапазоне (30-2048 байт). Результат может быть улучшен до сжатия в 2-3,6 раза при использовании алгоритма Хаффмана с расширенным словарём [15], созданный для сжатия текстовых сообщений, обладающих общим лингвистическим признаком (одинаковым алфавитом, одинаковыми популярными комбинациями символов, пр.) [16].

Таким образом последовательное применение сериализации с помощью Protocol Buffers и алгоритмов Хаффмана/Хаффмана с расширенным словарём к данным в диапазоне 30-2048 байт позволяет сжать их в 6-17 раз. Коэффициент сжатия зависит от диапазона объёма передаваемых данных.

Заключение

В работе рассмотрена актуальная задача уменьшения объема передаваемых коротких сообщений между киберфизическими системами по низкоскоростному спутниковому каналу Iridium в условиях интернета удалённых вещей.

Выбраны методы подготовки и передачи данных между киберфизическими системами в гетерогенной сети Lora-Iridium, учитывающие специфику собираемых данных и спутникового канала связи. Выбранные методы сериализации (Protocol Buffers) и архивации (по алгоритму Хаффмана/Хаффмана с расширенным словарём) позволяют уменьшить объём передаваемых данных из диапазона 30-2048 байт в 6-17 раз и, соответственно, снизить стоимость передачи.

Разработан стенд для проведения экспериментов по передаче данных между киберфизическими системами в гетерогенной сети Lora-Iridium и проверки полученных результатов по уменьшению объёма передаваемых данных.

Список литературы:

1. iridium.com. Company info // Iridium Satellite Communications. — 2021. — https://www.iridium.com/
2. Wikipedia. LoRa // Википедия, свободная энциклопедия. — 2021. — https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa

3. Iridium.steccom.ru. Передача данных // СТЭК.КОМ Iridium. — 2020. — http://iridium.steccom.ru/?page_id=201#raz4.
4. steccom.ru. Iridium // СТЭККОМ — 2021. — https://www.steccom.ru/technology/м2м/iridium/.
5. Satdata.ru. Тарифы Iridium SBD // SATDATA — 2019. — https://satdata.ru/iridium_tariffs_sbd.
6. Ivan Lysogor, Voskov L., Rolich A., Efremov S. G. Study of Data Transfer in a Heterogeneous
LoRa-Satellite Network for the Internet of Remote Things // Sensors. 2019. Vol. 19. No. 15. P. 1-17.
7. Ru.farnell.com. DVK-RM186-SM-01-LAIRD - Макетная плата, Bluetooth, IOT.// Farnell — 2021 — https://ru.farnell.com/laird/dvk-rm186-sm-01/dev-brd-lora-bluetooth-module/dp/2664531.
8. Wireless-solutions.de. iC880A SPI LoRa Concentrator.//Wireless Soultions. — 2021. — https://wireless-solutions.de/products/lora-solutions-by-imst/radio-modules/ic880a-spi/
9. Raspberrypi.org. Raspberry Pi3 Model B//Raspberry Pi. — 2021. — https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/
10. steccom.ru. Hirschmann ITAS// СТЭККОМ — 2021. — https://www.steccom.ru/en/equipment/hirschmann-itas/
11. Wikipedia. Сериализация // Википедия, свободная энциклопедия. — 2021. — https://ru.wikipedia.org/wiki/Сериализация.
12. Computerworld.com. Twitter solves its data formatting challenge//Computerworld — 2010. — https://www.computerworld.com/article/2513433/twitter-solves-its-data-formatting-challenge.html
13. Lysogor I. I., Voskov L., Efremov S. G. Survey of Data Exchange Formats for Heterogeneous LPWAN-Satellite IoT Networks, in: 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). Proceedings. M. : IEEE, 2018. P. 1-5.
14. Wikipedia. Архивация // Википедия, свободная энциклопедия. — 2021. — https://ru.wikipedia.org/wiki/Архивация
15. Ibm.com. Словари сжатия//IBM Knowledge center. – – 2021. — https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSGU8G_12.1.0/com.ibm.admin.doc/ids_admin_1240.htm
16. Дудин В. Д., Луцив Д. В. Сравнение алгоритмов сжатия коротких текстовых сообщений в задаче информационного поиска // 2014 https://oops.math.spbu.ru/SE/diploma/2014/s/DudinViktor_Diploma.pdf

АППАРАТНАЯ ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫДАЧИ ОБОРУДОВАНИЯ

И.А. Карабанов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация
Данная работа представляет собой проект по созданию аппаратной части автоматизированной системы хранения и выдачи периферийного оборудования для компьютеров.

Введение

Перманентно ускоряющиеся темпы развития современной науки и техники создают необходимость в автоматизированных системах, сочетающихся с приложениями для смартфонов.

В рамках настоящего исследования разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК), способный выдавать пользователю оборудование на некоторое время. Внешняя оболочка представляет собой шкаф с ячейками разного размера для различных типов оборудования. Система предполагает возможность произведения бронирования через мобильное приложение, а также осуществление выдачи пользователю и приёмки от пользователя арендованного оборудования посредством мобильного приложения, NFC метки в мобильном телефоне или RFID метки на карточке.

Выбранные технологии

В качестве центральных элементов управления были выбраны микроконтроллерные платы компании Arduino, представляющая собой «инструмент для проектирования электронных устройств (электронный конструктор), более плотно взаимодействующих с окружающей средой, чем стандартные персональные компьютеры, которые фактически не выходят за рамки виртуальности» [1]. Данный инструмент используется в различных проектах, связанных с прямым взаимодействием пользователя и периферийных устройств, а именно, является посредником между устройствами для ввода информации, вывода информации и прочими электронными устройствами, выполняя алгоритмы, написанные на программном коде [2,3,4]. На данный момент компания Arduino предоставляет несколько микроконтроллерных плат, различающихся по объёму Flash-памяти и EEPROM-памяти, размерам и количеству цифровых и аналоговых входов/выходов [5]. В рамках настоящего исследования были выбраны платы Arduino UNO и Arduino Nano V3, базирующиеся на процессорах ATmega328p, представляющие собой КМОП 8-битные микроконтроллеры, выполняющие инструкции в одном тактовом цикле. Данные микроконтроллеры имеют тактовую частоту 16 МГц, объём Flash-памяти 32 кБ и объёмом EEPROM-памяти 1 кБ. Данные платы обладают доступной ценой, их легко найти в специализированных магазинах, и они полностью удовлетворяют требованиям по функционалу. Также существует множество проектов, реализованных с использованием данных плат, и находящихся в открытом доступе.

Автоматизированная система, реализованная в данной работе, предполагает прямое взаимодействие пользователя и физического интерфейса. В связи с этим можно выделить следующие необходимые аппаратные компоненты:

- Устройство графического ввода информации
- Устройство для ввода численных данных
- Устройство для выбора режима работы
- Устройство, поддерживающее считывание информации с RFID и NFC носителей.

Проанализировав перечень доступных готовых компонентов, а также опыт реализации схожих задач [2,3,4], были выбраны элементы:

- Клавиатура, содержащая 10 цифр и не менее двух кнопок дополнительно
- LCD-дисплей для вывода коротких текстовых сообщений
- RFID/NFC считыватель

При выборе конкретного аппаратного компонента главными критериями были цена, доступность, соответствие требованиям текущего исследования, как и в случае с выборов микроконтроллерных плат. Таким образом, были выбраны следующие продукты:

• PmodKYPD, имеющий 16 кнопок с цифрами от 0 до 9 и дополнительно латинскими буквами от A до F

• LCD Keypad Shield, содержащий жидкокристаллический дисплей с 2 строками по 16 символов текстовой информации

• Сканер RFID/NFC (Troyka-модуль) с частотой считывания информации 13,56 МГц, построенная на базе микросхемы NXP PN532

Помимо вышеизложенного, в рамках заявленного функционала необходимо обеспечить доступ автоматизированной системы в интернет для осуществления бронирования оборудования, а также идентификации пользователя. Наиболее важным фактором выбора способа подключения данной системы к сети интернет. Самым простым способом является Ethernet-модуль, однако использование Ethernet-кабеля значительно снижает возможности расположения программно-аппаратного комплекса в помещении. В связи с этим наиболее удобным способом решения данной проблемы является использование беспроводной технологии доступа в интернет Wi-Fi. В качестве аппаратного компонента, обеспечивающего данную возможность, используется Wi-Fi модуль Heltec LoRa 32 (v2), поддерживающий протокол TCP/IP и соответствующий критериям выбора элементов аналогично выбору компонентов ввода и вывода информации.

Также, не менее важной составляющей программно-аппаратного комплекса является система запирания замков. Данная система должна обеспечивать надёжное хранение содержимого ячеек. В связи с этим, а также с учётом критериев, описанных ранее, были выбраны электронные механические замки, размерами 27x28x18 мм. Данные замки имеют входное напряжение 12 Вольт, что значительно больше выходного напряжения плат Arduino UNO и Arduino Nano. Поэтому в рамках текущей работы используется мини-реле от компании SONGLE, поддерживающий напряжение до 250 Вольт для переменного тока и до 30 Вольт – для постоянного и силой тока 10 Ампер, а также обеспечивающий выходное напряжение до 125 Ампер для переменного тока и до 28 Вольт – для постоянного и силой тока 10 Ампер. В качестве источника питания, обеспечивающего постоянный ток напряжением 12 Вольт, был выбран блок питания ROBITON с регулируемым напряжением до 12 Вольт.

Для сборки необходимых компонентов в единую систему были использованы следующие компоненты:

• Макетная плата Breadboard размером 65x10

• Соединительные провода мама-мама, мама-папа, папа-папа

• Резисторы с сопротивлением 100 Ом, 220 Ом, 1 кОм, 2.2 кОм, 10 кОм

В качестве реализации программной части программно-аппаратного комплекса, реализованным с использованием микроконтроллерных плат компании Arduino, наиболее простым способ является использование среды разработки Arduino IDE, созданной специально для этих плат.

Для реализации программных компонентов для плат компания Arduino создала собственный язык программирования, основанный на C/C++. Руководство по данному языку находится в свободном доступе и обладает широкими возможностями для реализации различных проектов [1].

Для управления аппаратными компонентами использовались помимо встроенных средств использовались следующие библиотеки:

• Keyboard для работы с клавиатурой

• LiquidCrystal для работы с жидкокристаллическим дисплеем

• WiFi для работы с Wi-Fi модулем

Эти программные средства являются необходимыми для реализации программных компонентов аппаратной части автоматизированной системы, разрабатываемой в рамках настоящей работы.

Разработка ПАК

Первым этапом разработки аппаратной части программно-аппаратного комплекса была установка программного обеспечения для взаимодействия с платами Arduino, а также программного обеспечения Arduino IDE и библиотек, необходимых для работы с составными элементами, ниже перечислены все установленные библиотеки:

• «Bridge» Built-In by Arduino – позволяет взаимодействовать с микроконтроллером через процессор Linux

• «Ethernet» – позволяет взаимодействовать с микроконтроллером по Ethernet-кабелю

• «Firmata» Built-In Firmata Developers – позволяет ПК взаимодействовать с микроконтроллером по стандартному последовательному протоколу

• «Keyboard» Built-In by Arduino – позволяет взаимодействовать с модулем клавиатуры

• «Liquid Crystal» Built-In by Arduino – позволяет взаимодействовать с модулем жидкокристаллического дисплея

• «Esplora» Built-In by Arduino – позволяет взаимодействовать с Wi-Fi модулем

После того, как было подготовлено необходимое программное обеспечение, была составлен план установки аппаратных средств на микроконтроллерные платы. Как было сказано ранее, при реализации программно-аппаратного комплекса в рамках настоящей работы были использованы платы Arduino UNO и Arduino Nano с целью распределения нагрузки, что приводит к более высокой скорости работы отдельных компонентов системы.

Итого было решено, что к плате Arduino UNO должны быть подключены следующие элементы:

• LCD Keypad Shield

• PmodKYPD

На рис. 1 представлена электрическая принципиальная схема подсистемы Arduino UNO

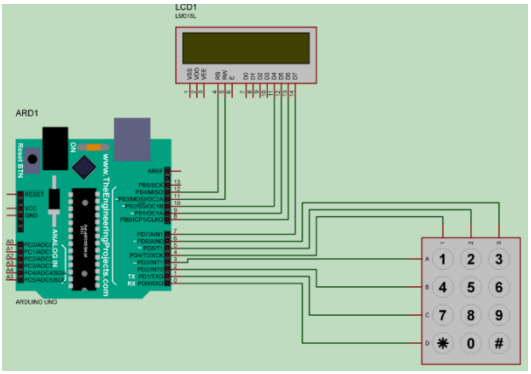


Рис.1. Электрическая принципиальная схема подсистемы Arduino UNO

В свою очередь к плате Arduino Nano (рис. 2) целесообразно подключить следующие элементы:

- Wi-Fi модуль Heltec LoRa 32 (v2)
- NFC/RFID считыватель
- Реле с подсоединёнными электронными замками.

Данные платы (рис. 3) соединяются по аналоговым каналам: 8 – для Arduino Nano, 13 – для Arduino UNO; а также по цифровым каналам: A4, A5 – для Arduino Nano, A4, A5 – для Arduino UNO.

Цифровые каналы передают информацию от Arduino UNO к Arduino Nano о результатах ввода информации с клавиатуры PmodKYPD, в свою очередь Arduino Nano принимает эти сигналы и отправляет по цифровому каналу к Arduino UNO сообщения, который в последствие предоставляются пользователю при помощи LCD Keypad Shield. Аналоговый каналы выполняют роль переключателей режимов работы системы.

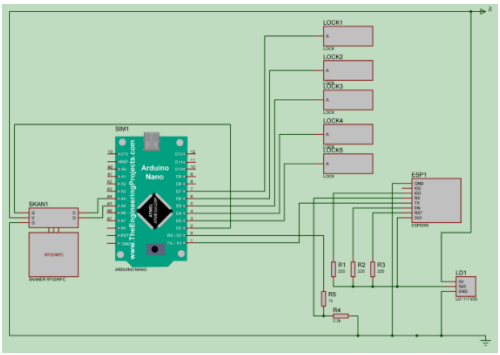


Рис.2. Электрическая принципиальная схема подсистемы Arduino Nano

Информация, передающаяся по аналоговым каналам, включает в себя:

От Arduino UNO – информацию о введённом пользовательском коде, о выборе ячейки

От Arduino Nano – информацию о валидности пользовательского кода, сообщение об успешности открытия ячейки.

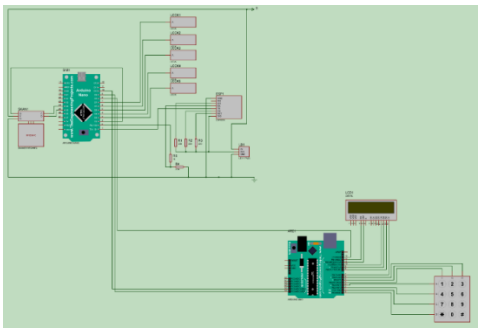


Рис.3. Итоговая электрическая принципиальная схема системы

Также стоит обратить отдельное внимание на реализацию программной части микроконтроллера Heltec LoRa 32 (v2). Скетч, написанный для данного элемента, включает в себя настройки подключения к сети Wi-Fi, а также алгоритмы для формирования и отправки http-запроса с методом POST на сервер. В зависимости от введённых на клавиатуре данных формируются два запроса:

- take_equipment?code=pinCode, для выдачи оборудования, где pinCode – это код, введённый с клавиатуры
- return_equipment?code=pinCode, для возврата оборудования, где pinCode – это код, введённый с клавиатуры

На рис. 4 изображён общий алгоритм работы программно-аппаратного комплекса.

В рамках настоящего исследования реализован прототип описанного программно-аппаратного комплекса, обладающий возможностью взаимодействия с внешним сервером. Прототип представляет собой одну ячейку с запирающим механизмом и состоящим из компонентов, описанных выше. Также было произведено тестирование функционала программно-аппаратного комплекса. В последствие этот прототип можно масштабировать, увеличив количество ячеек.

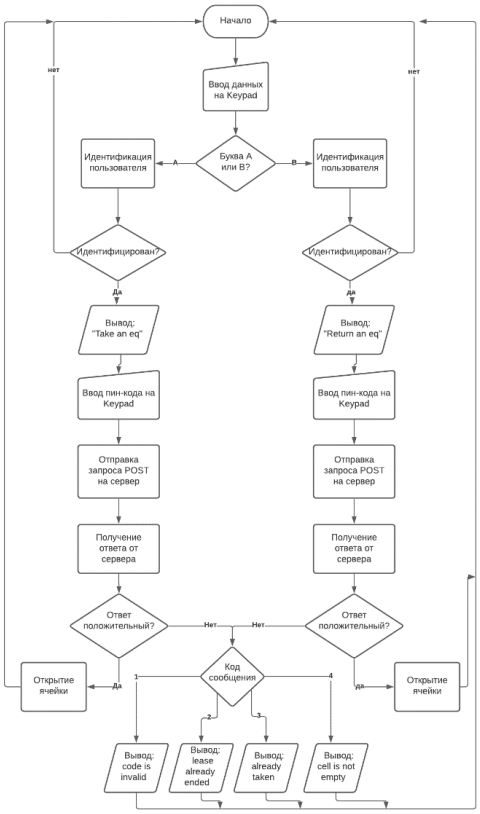


Рис.4. Алгоритм работы программно-аппаратного комплекса

Заключение

В ходе работы были проанализированы готовые решения аналогичных задач, произведён анализ программных и аппаратных компонентов для реализации текущего проекта, также были построены электрические принципиальные схемы автоматизированной системы, описан алгоритм взаимодействия отдельных компонентов, а также построен прототип автоматизированной системы.

Список литературы:

1. Arduino [Электронный ресурс]. URL: http://arduino.ru/About/ (дата обращения 01.02.2021)
2. Orij EZ, Automatic Access Control System using Arduino and RFID. Journal of Scientific and Engineering Research, 2018, 5(4), pp 333-340. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/336254229_Automatic_Access_Control_System_using_Arduino_and_RFID (дата обращения 01.02.2021)
3. A Chairunnas, I Abdurrasyid, Near field communication (NFC) model for Arduino uno based security office system. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 332 (2018). [Электронный ресурс]. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/332/1/012006/pdf (дата обращения 01.02.2021)
4. Yohannes Yahya, TW Wisjhnuadji, Arunkumar N, AUTOMATIC SAFE DEPOSIT BOX SECURITY SYSTEM USING ARDUINO UNO. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2017, vol.9., pp 806-819. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/326128501_Automatic_safe_deposit_box_security_system_using_Arduino_Uno (дата обращения 01.02.2021)
5. Arduino Documentation, Erik Verberne, 2014.

Секция «Электроника»

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.А. Карапузов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Рассмотрен метод априорной оценки показателей надежности по имеющимся данным об актуальном уровне качества выпускаемых компонентов радиотехнических систем, а также доработок конструкторской и технологической документации. Приведена обобщенная математическая модель учета динамики показателей надежности в зависимости от этапа жизненного цикла.

Введение

Компоненты радиотехнических систем (РТС), успешно прошедшие этапы от аван-проекта до испытаний опытного образца, экспериментальную отработку и приемку заказчиком, имеют подтвержденные эксплуатационные характеристики в соответствии с техническими условиями (ТУ), в том числе показатели надежности, и могут быть переданы в серийное производство.

Комплекты конструкторской (КД) и технологической документации (ТД) на поступающие в серийное производство компоненты РТС максимально отработаны и скорректированы, а на этапе производства главной задачей является выпуск продукции с характеристиками, как можно точнее соответствующими значениям, указанным в документации. Также по результатам определенного периода выпуска компонентов РТС проводится доработка и модернизация как самих компонентов (включая КД, ТД), так и производственно-технологического обеспечения в целях повышения качества и надежности.

Серийное производство компонентов РТС является результатом кооперации предприятий-изготовителей. Обеспечение высокого качества и надежности по результатам производства представляется собой сложную многоуровневую и многоэтапную техническую систему, которую необходимо всесторонне исследовать с целью достижения высоких значений показателей надежности при наименьших затратах материально-технических ресурсов [1]. Эту задачу необходимо решать уже на этапе проектирования путем исследования возможных отказов и неисправностей производственного характера на основе анализа имеющейся статистики результатов сертификационных или иных испытаний и эксплуатации. Все необходимые для достижения поставленной цели мероприятия включают в программу обеспечения надежности и программу экспериментальной отработки.

Однако, несмотря на предварительную подготовку КД и ТД на компоненты РТС для запуска в серийное производство, на каждом предприятии-изготовителе проводится комплексная подготовка производства, включая разработку специализированной оснастки и средств контроля, отработку технологических процессов, обучение производственно-технического персонала. В процессе подготовки серийного производства принимают участие и представители разработчика конкретного компонента РТС, осуществляющие в рамках планов повышения качества и надежности (ППКН) авторский надзор, доработку КД и ТД в соответствии со спецификой технологической оснащенности предприятия-изготовителя, проверку эффективности системы обеспечения надежности и качества.

Модель точечной оценки надежности

Для примера рассмотрим компонент РТС, серийный выпуск которого осуществляется по многоступенчатой процедуре, что подразумевает периодическое проведение испытаний с последующими доработками и изменениями в целях повышения надежности. Таким образом, предположим, что было проведено n испытаний партии из s изделий, в результате которых зафиксировано m отказов и критичных дефектов, приводящих к отказам. В этом случае оценить показатель надежности можно с использованием простого выражения [2]

$$P_{PTC} = 1 - \frac{m}{n \cdot s}, \quad (1)$$

где m – общее количество зафиксированных отказов и критичных дефектов, приводящих к отказам; n – количество испытаний партии компонентов РТС; s – объем выборки из общей совокупности компонентов РТС, подвергаемый испытаниям.

Также в качестве периода испытаний может быть рассмотрен период эксплуатации, в течение которого из всего потока зафиксированных отказов и дефектов выделены только производственные, включая дефекты изделий электронной компонентной базы и покупных комплектующих изделий.

По результатам анализа m зафиксированных отказов и критичных дефектов проводятся доработки технологического процесса и коррекция КД и ТД, направленные на устранение причин появления этих событий. После принятых мер снова проводятся испытания и сбор статистических данных о зафиксированных отказах и критичных дефектах. Такой итеративный процесс отработки технологического процесса может продолжаться до тех пор, пока не будет достигнут уровень качества производства и надежности компонентов РТС, соответствующий требованиям ПОН и ПОК на производстве, а также ППКН.

Модель оценки надежности с учетом доработки

Пусть на первом шаге итерации достигнут определенный уровень надежности. На втором шаге получены значения n, s и m соответственно. После второго шага возникает вопрос о необходимости наращивания статистики путем совмещения результатов первого и второго шага, что призвано повысить точность проводимой оценки показателей надежности. Тогда, принимая во внимание формулу полной вероятности для группы событий [3], можно записать следующее:

$$P(A) = P(H_0)P(A|H_0) + P(H_1)P(A|H_1), \quad (2)$$

где A – событие, состоящее в безотказном функционировании компонента РТС после проведенной доработки; H_0 – гипотеза, что доработка не изменила надежность компонента РТС; H_1 – гипотеза о том, что доработка изменила надежность компонента РТС.

Гипотезы H_0 и H_1 образуют полную группу событий, то есть

$$P(H_0 + H_1) = P(H_0) + P(H_1) = 1, \quad (3)$$

В свою очередь, вероятность $P(H_1)$ может быть определена с помощью формулы (1) при наличии результатов

проведенных исследований и испытаний. Значение условной вероятности $P(A|H_1)$ может оцениваться исходя из имеющей информации по отказам в соответствии с РД 50-690-89 [4] а значение вероятности $P(A|H_0)$ оценивается на этапе проектирования априорно по справочным данным. Резюмируя выше сказанное, формула (2) будет иметь вид:

$$P(A) = P(A|H_0) + \left(\frac{m}{n \cdot s}\right)\left(P(A|H_1) - P(A|H_0)\right), \quad (4)$$

Следует иметь ввиду, что оценка $P(A)$ проводится априорно и действительное значение $P(A|H_1)$ на данном этапе не может быть оценено в силу отсутствия статистики испытаний или эксплуатации. В этом случае можно рассмотреть идеализированный случай, когда все обнаруженные причины критичных дефектов или отказов устранены и не внесены новые, а компонент РТС становится безотказным ($P(A|H_1)$=1). Тогда формула (4) может быть представлена как:

$$P(A) = P(A|H_0) + \left(\frac{m}{n \cdot s}\right)\left(1 - P(A|H_0)\right), \quad (5)$$

Следует понимать, что все зафиксированные причины критичных дефектов и отказов по результатам доработки должны быть устранены. В этом случае уровень надежности должен повыситься и тем выше окажется надежность компонента РТС, чем больше обнаружено, проанализировано и устранено критичных дефектов и отказов.

Модель, учитывающая качество производства

Однако подобный рост надежности не учитывает качество производственно-технологического процесса, включающего технологические операции, технологического оборудование, производственный персонал и т.д. Надежность компонентов РТС является композицией как минимум двух событий:

1) обеспечение надежности за счет выбора схемотехнических решений, выбора стойких к отказу изделий электронной компонентной базы (ЭКБ) и покупных комплектующих изделий (ПКИ), снижения электрических нагрузок и уровня номенклатуры внешних воздействующих факторов и т.д.;

2) обеспечение бездефектного производства за счет повышения качества производства.

Эти события взаимно независимы и результирующая надежность определяется вероятностью $P(AB)$ их одновременного выполнения:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B), \quad (6)$$

где $P(A)$ - вероятность безотказного функционирования компонента РТС после проведенной доработки; $P(B)$ - вероятность того, что при изготовлении компонента РТС не было внесено дефекта.

По результатам анализа отказов и критичных дефектов всей продукции, выпускаемой определенным предприятием-изготовителем и находящей в эксплуатации, группируются только те, причина которых относится к этапу производства. Тогда доля производственных дефектов среди всего количества дефектов является вероятностью внести дефект в компонент РТС на этапе производства.

Актуальный уровень надежности, с учетом доработок и качества производства, будет иметь вид:

$$P(AB) = \left(P(A|H_0) + \left(\frac{m}{n \cdot s}\right)\left(1 - P(A|H_0)\right)\right)\left(1 - \frac{d_{пр}}{N}\right), \quad (7)$$

где $P(A|H_0)$ – уровень надежности, достигнутый на этапе проектирования по справочным данным; m – общее количество зафиксированных отказов и критичных дефектов, приводящих к отказам; n – количество испытаний партии компонентов РТС; s – объем выборки из общей совокупности компонентов РТС, подвергаемый испытаниям; $d_{пр}$ – количество дефектов, вносимых на этапе производства; N – количество выпущенных компонентов РТС предприятием-изготовителем.

В справочнике [5] приведена рекуррентная модель оценки уровня надежности компонентов РТС на всех этапах жизненного цикла. Для i+1 этапа жизненного цикла компонента РТС модель имеет вид:

$$P_{i+1} = \left(P_i + \left(1 - P_i\right) \cdot a_i\right) b_i, \quad (8)$$

где P_i – уровень надежности, достигнутый на i этапе; a_i – коэффициент, выражающий эффективность мероприятий повышения качества и надежности; b_i – коэффициент, выражающий качество системы проектирования, изготовления или эксплуатации в зависимости от этапа жизненного цикла.

Заключение

Сравнивая модели (7) и (8), можно сделать вывод о значении коэффициентов a_i и b_i в модели (8), а также обобщить модель (7) для всех этапов жизненного цикла в качестве рекуррентной модели.

Рассматривая модель (5), следует отметить важную тенденцию повышения надежности на этапе производства: чем больше критичных дефектов и отказов обнаруживается и устраняется, тем выше оказывается надежность. С этой точки зрения, в эксплуатацию должны поступать бездефектные компоненты РТС, чья надежность будет зависеть только от работы обслуживающего персонала и минимизации деструктивного воздействия среды. Благодаря модели (7) могут своевременно быть разработаны превентивные меры по минимизации влияющих негативных факторов каждого этапа жизненного цикла компонента РТС.

Список литературы:

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.1.: Методология. Организация. Терминология/Под ред. А.И. Рембезы – М.: Машиностроение, 1986

2. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.7.: Качество и надежность в производстве/Под ред. И.В. Апполонова – М.: Машиностроение, 1989

3. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник. Изд. 8-е, испр. и доп. – Едиториал УРСС, 2005.

4. РД 50-690-89 Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. / Госстандарт СССР. – М.: Издательство стандартов, 1990

5. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.5.: Проектный анализ надежности/Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы – М.: Машиностроение, 1988

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПАКЕТА СПЕКТРОМЕТРА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Н.С. Хокшанов

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Представлен алгоритм формирования информационного пакета для спектрометра галактических космических лучей, задачей которого является наблюдение за обстановкой на околоземном космическом пространстве. В соответствии с разработанным алгоритмом, производится непрерывная обработка измеренной информации и её

ежесекундная передача на блок накопления данных космического аппарата «Арктика-М» № 1. Основной целью работы ставитсяпоиск способа повышения надежности передачи информации на Землю при кратко-срочных потерях связи с космическим аппаратом.

Введение

Мониторинг состояния атмосферы и океана, изучение климата и климатообразующих факторов, оценка возникновения чрезвычайных ситуаций на околоземном космическом пространстве – все эти задачи выполняются гелиогеофизическими аппаратурными комплексами. В частности, в данной статье разработан алгоритм формирования информационного пакета (ИП) для спектрометра галактических космических лучей (ГАЛС), входящего в состав гелиогеофизического аппаратурного комплекса [1] и установленногона борт космического аппарата (КА) «Арктика-М» № 1 [2].

Целью данной работы является повышение надежности передачи данных от ГАЛС на блок накопления данных (БНД) в случаях кратковременной потери связи со спутником путём разработки улучшенного алгоритма формирования ИП для измеренной информации ГАЛС, из этого следует актуальность и практическая значимость работы.

Первой задачей на пути к реализации поставленной цели является анализ имеющихся исходных данных. Поскольку количество передаваемой информации от КА ограничено, то необходимо строгое соблюдение ограничения на объём ИП. К тому же, в состав ГАЛС входит два измерительных прибора ГАЛС-Ч и ГАЛС-С, но передача информации с них происходит в одном ИП. Вследствие этого необходимо разграничить телеметрические данные от каждого измерительного прибора. Поэтому следующим шагом ставится разбиение ИП на разделы для каждого измерительного прибора. Исходя из анализа данных о передаче информации на Землю при работе предыдущего поколения КА семейства «Электро-Л» был сделан вывод, что при передаче данных возникает кратковременное прерывание информационного потока. В результате третьей и основной задачей ставится поиск способа повышения надёжности передачи информации.

В первой части данной работы происходит анализ исходных данных для выявления ограничений на разрабатываемый алгоритм, описание процессов взаимодействия между БНД – БРТК (бортовым радиотехническим комплексом) [3] и между ГАЛС – БНД. Далее представлен способ одновременной передачи данных от нескольких измерительных приборов, входящих в состав ГАЛС и побитовая расшифровка формируемого информационного пакета. После чего кратко описан информационный кадр БНД и способ повышения надёжности передачи данных от ГАЛС на Землю посредством уплотнения информационного пакета. Завершают работу выводы по полученным результатам.

Анализ исходных данных

На борту КА установлен не один десяток измерительных приборов, но объём передаваемой информации от КА на Землю всегда ограничен. Кроме того, в линии передачи информации нужно обеспечить пространство для команд управления КА. Поэтому для каждого измерительного прибора были сформированы чёткие рамки объёма передаваемой информации. Установлено, что объём выделенного пространства для передачи данных от ГАЛС на БНД составляет 225 байт в секунду [3]. На основании вышеизложенного, первым условием при разработке алгоритма ставится ограничение по объёму передаваемой информации 225 байт.

Информационный обмен между БНД и ГАЛС осуществляется в стационарном режиме раз в секунду с использованием синхронного импульсного канала со скоростью синхронизации битового потока 1 кГц. Передача осуществляется от БНД к ГАЛС постоянно, пока включен БНД, и происходит последовательно бит за битом в момент присутствия импульса синхронизации. Если передаётся «1», то ГАЛС формирует информационный импульс, перекрывающий задний фронт импульса синхронизации. При передаче «0» импульс не формируется. Как было отмечено ранее, ГАЛС – это совокупность двух измерительных приборов: ГАЛС-Ч и ГАЛС-С, содержащих счетчики Гейгера [4] и Черенкова [5], с одни общим информационным пакетом, поэтому необходимо каким-либо способом разграничить измеренную информацию от каждого прибора. В результате чего вторым условием при разработке алгоритма является поиск способа разграничения телеметрической информации от каждого измерительного прибора при заполнении ИП обработанной информацией.

Поток данных из БНД в БРТК носит односторонний характер и направлен от БНД к БРТК. Информация в последний выводится в непрерывном режиме и в виде последовательности транспортных кадров постоянной длины, начинающихся с синхрогруппы и заканчивающихся контрольной суммой. Вывод кадра производится последовательно, начиная с первого байта, после чего БНД сразу переходит к выдаче следующего кадра. Содержимое каждого кадра в линию производится последовательно байт за байтом, начиная со старшего (старшим байтом вперед).

На примере космических аппаратов из семейства «Электро-Л» [1] было выявлено, что поток передаваемой информации от КА на Землю может обрываться. Но данное явление носит кратковременный характер и наблюдается не дольше 5–6 секунд [3]. Из отмеченного выше ставим третье условие при разработке алгоритма: следует резервировать измеренную информацию не менее чем за шесть последних секунд штатной работы прибора.

Описание алгоритма формирования ИП

При заполнении содержимого ИП имеет место строгая смысловая привязка битов к номеру бита в пакете данных. На основании этого реализуется разделение информации между счётчиками прибора и разрешается второе ограничение на разраба-тываемый алгоритм формирования ИП. Информационный пакет можно условно разделить на три раздела: системный, телеметрический и завершающий.

Системный раздел ИП состоит из четырёх секций: 1) метка о наличии информации в ИП, 2) состояние аппаратуры ГАЛС, 3) информация о работающих в данных момент п/к ГАЛС, 4) время измерения. Формирование ИП происходит следующим образом: от БНД на ГАЛС подается запросный импульс о наличии измеренной информации: при её наличии первый бит b_1 ИП принимает значение «1», при отсутствии формируется «0». После чего подаётся запрос о состоянии аппаратуры, и биты b_2–b_5 заполняются одним из пяти состояний:

– значение «0001» – ГАЛС работает штатно;

– значение «0010» – ГАЛС работает, но не в полном объёме: не все счетчики, входящие в его состав, работают исправно;

– значение «0011» – ГАЛС находится в режиме подогрева: два раза в день включается режим подогрева ГАЛС и в течение этого режима измерения не производятся;

– значение «0100» – ГАЛС находится в аварийном состоянии, один из приборов ГАЛС-С или ГАЛС-Ч вышел из строя, измерение производится не в полном объёме;

– значение «1000» – оба прибора из состава ГАЛС вышли из строя.

После чего заполняются биты b_6–b_7, содержащие информацию о номере работающих в данный момент полукомплектов ГАЛС-С и ГАЛС-Ч:

– значение – «00» сигнализирует о работе первого п/к ГАЛС-Ч и первого п/к ГАЛС-С;

– значение – «01» о работе первого п/к ГАЛС-Ч и второго п/к ГАЛС-С;

– значение – «10» о работе второго п/к ГАЛС-Ч и первого п/к ГАЛС-С;

– значение – «11» о работе первого п/к ГАЛС-Ч и второго п/к ГАЛС-С.

Затем биты b_8–b_{23} заполняются комбинацией времени проведения измерения относительно бортовой шкалы времени [6]: в 8-м разряде располагается старший бит, при переполнении устанавливается в ноль. На этом системный раздел ИП завершен. Далее идет описание телеметрического раздела.

Телеметрический раздел ИП состоит из двух больших секций: 1) количество импульсов от трёх счетчиков Черенкова, 2) количество импульсов от четырёх счетчиков Гейгера. Формирование телеметрического раздела начинается с заполнения битов b_{24}–b_{39}, фиксирующих количество импульсов с первого выхода счётчика Черенкова. Разработчиком аппаратуры ГАЛС подразумевается, что 16-ти бит достаточно для подсчета детектируемых прибором импульсов. Максимальное количество импульсов, которое может зафиксировать ГАЛС для каждого счетчика за одну секунду, составляет 65 536, в то время, как средняя частота измеряемых импульсов от каждого счетчика за одну секунду не превышает 5 000 [3]. Подсчёт импульсов происходит арифметически в двоичной системе исчисления. Аналогично заполняются биты b_{40}–b_{55} для Черенкова-2, b_{56}–b_{71} для Черенкова-3. После заполнения секции для счётчиков Черенкова идет формирование секции счётчиков Гейгера.

Информация о измеренных импульсах счётчиками Гейгера формируется аналогично счётчикам Черенкова. К примеру, биты b_{72}–b_{87} несут информацию о количестве импульсов с выхода счётчика Гейгер-1, биты b_{88}–b_{103} с выхода счётчика Гейгер-2, биты b_{104}–b_{119} с выхода счётчика Гейгер-3, биты b_{120}–b_{135} с выхода счётчика Гейгер-4. Стоит отметить, что заполнение информацией о количестве импульсов для всех измерителей происходит старшим битом вперёд. На этом телеметрический раздел ИП завершен. Ниже будет дано описание завершающего раздела ИП.

Завершающий раздел состоит из трёх секций: 1) уровня потребления, 2) состояние аппаратуры (контрольная информация), 3) бит чётности и завершающий бит. В передаваемом ИП на БНД содержится информация об уровне потребления напряжения питания приборами ГАЛС-С и ГАЛС-Ч. Данная информация содержится в битах b_{136}–b_{137}:

– значение – «00» сигнализирует о нормальном уровне потребления напряжения питания работающими п/к ГАЛС-Ч и ГАЛС-С;

– значение – «01» сигнализирует о превышенном уровне потребления напряжения питания работающими п/к ГАЛС-Ч и ГАЛС-С;

– значение – «10» сигнализирует о пониженном уровне потребления напряжения питания работающими п/к ГАЛС-Ч и ГАЛС-С;

– значение – «11» сигнализирует о потреблении напряжения питания вышедшими из строя п/к ГАЛС-Ч и ГАЛС-С.

В секции «контрольной информации состояния аппаратуры» дублируется информация о работающих в данный момент приборах из состава ГАЛС, заполняются биты b_{138}–b_{150}.

Бит четности b_{151} позволяет судить о наличии сбоев в процессе передачи данных на БНД «0» – сумма разрядов с 1 по 152 – чётная, «1» – сумма разрядов нечётная. Завершающий бит b_{152} дублирует метку наличия информации в пакете и позволяет заключить, что передача пакета доведена до конца. «1» – информация передалась, «0» – информация не передалась. В итоге, после выдачи 152-го бита ГАЛС ожидает следующего запроса от БНД.

Согласно разработанному алгоритму формирования ИП, его длина составляет 152 бита и состоит из 9 секций.

Основываясь на вышеизложенном, делаем вывод о том, что разработанный алгоритм для ГАЛС не превышает заданное разработчиком аппаратуры условие 225 байта, в частности, один ИП имеет длину 19 байт.

Уплотнение ИП внутри кадра БНД

Как было отмечено ранее, объём информационного кадра (ИК) БНД для ГАЛС равен 225 байтам с учетом системной информации и командами управления, а объем ИП составляет 19 байт. Было принято решение, что резервирование измеренной информации [7] будет происходить при формировании информационного кадра БНД перед его отправкой на БРТК, с которого данные передаются оператору на Земле. Поэтому разберем состав и правила упаковки ИК. Информационный кадр БНД, предназначенный для записи данных от ГАЛС, имеет длину 225 байта состоит из семи полей:

– поле синхросигнала, b_1–b_4 (4 байта);

– поле признака аппаратуры b_5 (1 байт);

– поле порядкового номера кадра по общей нумерации всех кадров БНД, b_6–b_7 (2 байта);

– поле порядкового номера кадра по нумерации кадров отдельного вида аппаратуры, b_8–b_9 (2 байта);

– поле кода времени, байты b_{10}–b_{13} (4 байта);

– поле данных, b_{14}–b_{223} (209 байт);

– поле контрольной суммы, b_{224}–b_{225} (2 байта).

В данной работе основное внимание уделяется полю данных (байты с b_{14} по b_{223}), в котором осуществляется резервирование ИП ГАЛС. Поскольку согласно разработанному алгоритму формирования ИП его объём составляет 19 байт, а выделенный объем памяти БНД для передачи данных от ГАЛС составляет 209 байт, то происходит заполнение или уплотнение [8] кадра БНД одиннадцатью информационными пакетами от ГАЛС за 11 секунд измерения текущей и десятью предыдущими соответственно. На этом принципе реализуется резервирование телеметрической информации от ГАЛС и, как результат, повышается надёжность передачи сигнала на Землю.

Результаты

В ходе проделанной работы был получен алгоритм формирования ИП для ГАЛС, удовлетворяющий всем заданным требованиям по объёму занимаемой памяти не более 225 байт; обеспечению повышения надежности передачи сигнала. ИП резервируется за 11 измерений в секунду, а разграничение измеренной датчиками информации реализовано на строгой смысловой привязке битов к номеру бита в ИП.

Заключение

Данный алгоритм формирования ИП будет внедрён с прибором ГАЛС из состава гелиогеофизического комплекса, установленного на борту перспективного КА из семейства «Арктика-М». Ожидается, что проблема, связанная с потерей передаваемой информацией от ГАЛС на Землю, как это наблюдалось у космических аппаратов из семейства «Электро-Л», будет исключена с помощью разработанного алгоритма формирования ИП.

Список литературы:

1. Бархатов А.А. Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии / Сборник трудов VIII

Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» (1–3 июня 2016 г.). Под ред. д.т.н., проф. А.А. Романова. – М.: АО «РКС», 2016. – с. 70–80.

2. Гидрометеорологический комплекс «Арктика-М» [Электронный ресурс]. URL: https://www.laspace.ru/projects/information-systems/ arctica-m/ (дата обращения: 13.12.2020).

3. Бортовой гелиогеофизический аппаратурный комплекс [Электронный ресурс]. URL: http://planeta.infospace.ru/electro/html/ggak-e.html (дата обращения: 16.12.2020)

4. I.V. Pishchulin, N.G. Solov'ev and O.B. Romashkin, "Optical fiber Cherenkov detector for beam current monitoring," Conference Record of the 1991 IEEE Particle Accelerator Conference, San Francisco, CA, USA, 1991, pp. 1567–1569 vol.3, doi: 10.1109/PAC.1991.164705.

5. C. Canot et al., "Development of the fast and efficient gamma detector using cherenkov light," 2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), Strasbourg, 2016, pp. 1–4, doi: 10.1109/NSSMIC.2016.8069926.

6. Samama N. Global Positioning: Technologies and Performance. – John Wiley & Sons, 2008. – ISBN 0-470-24190-X.

7. J. B. Padhy and B. Patnaik, "DPSK and Manchester coding for Inter-satellite Optical Wireless Communication systems," 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), Bangkok, Thailand, 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICETAS.2018.8629112.

8. M. Yofune, J. Webber, K. Yano, H. Ban and K. Kobayashi, "Optimization of Signal Design for Poly-Polarization Multiplexing in Satellite Communications," in IEEE Communications Letters, vol. 17, no. 11, November 2013, pp. 2017–2020, doi: 10.1109/LCOMM. 2013.100713.131618.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ МЕАНДРОВОЙ АНТЕННЫ НА ГИБКОЙ ПОДЛОЖКЕ

А.Д. Кузнецов, С.Д. Бердников, Д.М. Иконникова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе представлены результаты компьютерного моделирования основных характеристик и параметров дипольной антенны на связанных меандр-линиях, выполненного с помощью программы CST Studio Suite. Проводится исследование влияния геометрических и электрофизических параметров структуры на частотную характеристику и диаграмму направленности антенны при условии её изготовления на гибкой подложке. Показана возможность использования такой антенны для устройств интернета вещей и киберфизических систем.

Введение

Рост спроса на устройства портативной и мобильной электроники вызван широким полем их возможного применения: военные, спортивные, медицинские, развлекательные, промышленные устройства используют открытия в этой области [1-3]. Необходимым элементом передачи информации и возможным элементом для системы питания [4] является антенна.

Меандровые антенны обладают рядом преимуществ, однако требуют точной подстройки для удовлетворения требованиям по частотной характеристике [1, 5, 6].

В данной работе приводится анализ влияния изменений ряда параметров меандровой антенны на её основные характеристики: частоты резонансов и диаграмму направленности, которые особенно важны при интегрировании антенн в устройства электроники.

Описание исследуемой структуры

Для унификации исследования при изучении степени влияния всех параметров была выбрана одна и та же антенна, конструкция которой приведена в [5]. В данной структуре поэтапно изменялись следующие параметры: толщина металла антенны и подложки, расстояние между меандровыми линиями по горизонтали, длина ячейки меандра и расстояние между ячейками. При изменении каждого из этих параметров остальные приводились к размерам, указанным в [5]. Для того, чтобы исключить критическую роль какого-либо параметра на возможность использовать антенну в согнутом состоянии моделирование проводилось с изогнутой антенной с радиусом кривизны равным 10 мм.

Моделирование проводилось в программном пакете CST Studio Suite в диапазоне от 1 до 8 ГГц, учитывая изначальный диапазон работы антенны, а также ограничение по рабочим частотам для нательных антенн (учитывая лимиты SAR для их безопасного использования). Все величины параметров архитектуры на графиках приводятся в миллиметрах. Диаграммы направленности приводятся на частоте 5.8 ГГц как на частоте ISM диапазона (Phi=0 и Phi=90).

Влияние параметров архитектуры антенны на характеристики

На рис.1 приведена зависимость S_{11} параметра антенны от толщины металла антенны. Можно увидеть, что при повышении толщины металла резонансы смещаются в область более высоких частот с постепенным уменьшением смещения частот при идентичном изменении толщины. Данный эффект может быть объяснён влиянием скин-эффекта и уменьшением сопротивления, вызванного увеличением площади поперечного сечения полоска антенны. По тем же причинам происходит переход диаграммы направленности к виду всенаправленной антенны (рис. 2).

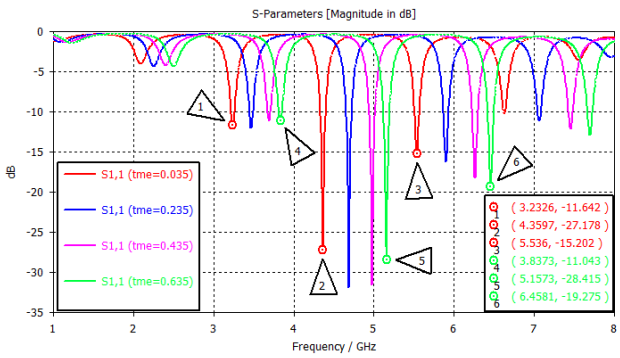


Рис.1. S_{11} параметр в зависимости от толщины металла

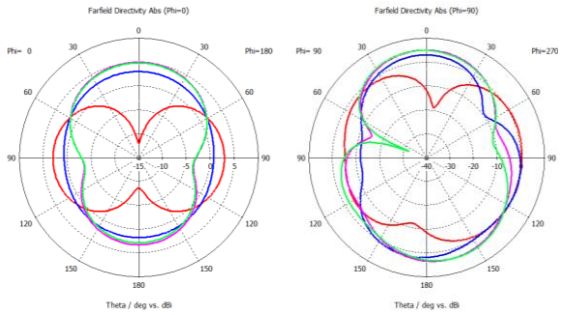


Рис.2. Диаграммы направленности в зависимости от толщины металла

На рис. 3 приведена зависимость S_{11} параметра от толщины подложки материала антенны (FR-4 в моделировании). Можно наблюдать существование толщины подложки, при которой резонанс на определённой частоте наиболее выражен с постепенным сдвигом в область высоких частот при увеличении толщины подложки. В то же время влияние толщины подложки на диаграмму направленности минимально (рис. 4). Описанные эффекты вызываются изменением ёмкости между сторонами антенны.

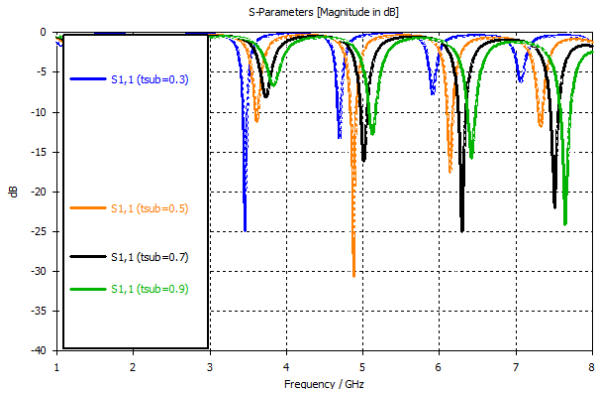


Рис.3. S_{11} параметр в зависимости от толщины подложки

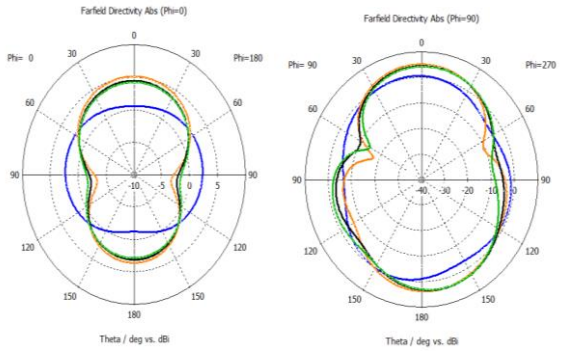


Рис.4. Диаграммы направленности в зависимости от толщины подложки

Рис. 5 демонстрирует влияние промежутка между меандровыми линиями на каждой из сторон антенны на S_{11} параметр. Учитывая, что увеличение промежутка ведёт к уменьшению связности между меандрами, можно наблюдать уменьшение глубины резонанса на высоких частотах при его увеличении на низких без значительных изменений картины распространения электромагнитного поля (рис. 6). В то же время степень влияния с увеличением расстояния сильно уменьшается, что связано с обратной зависимостью между расстоянием и взаимной связью меандровых линий.

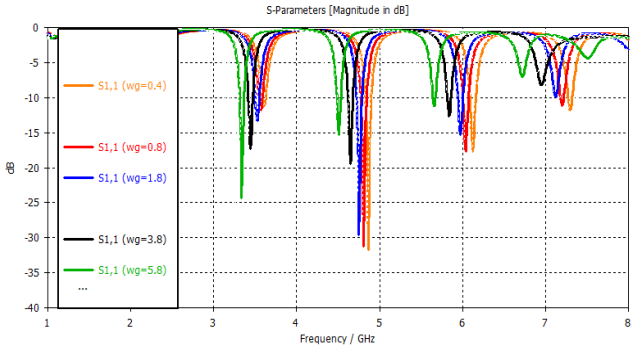


Рис.5. S_{11} параметр в зависимости от промежутка между меандровыми линиями

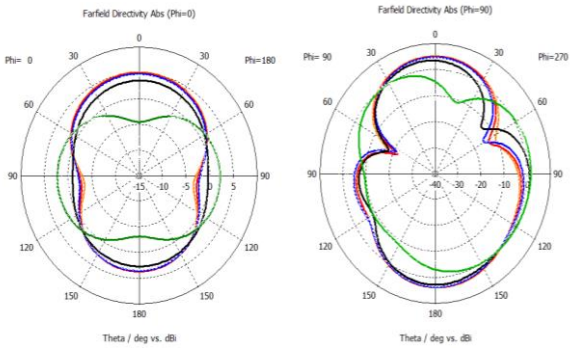


Рис.6. Диаграммы направленности в зависимости от промежутка между меандровыми линиями

Идентичную степень влияния на антенные характеристики можно наблюдать для расстояния между меандровыми ячейками и длины самих ячеек (рис. 7-9). Прежде всего при увеличении каждого из данных параметров наблюдается сдвиг в сторону низких частот (рис. 7, 8), что обуславливается увеличением волнового пути и уменьшением соответствующей ему частоты электромагнитной волны. По той же причине и ввиду уменьшения связности между собой горизонтальных полосков меандра на каждой из сторон наблюдается увеличение плотности резонансов при больших расстояниях, что крайне полезно в ходе процесса подстройки частот дополнительных резонансов антенны. Изменения диаграммы направленности также незначительны (рис. 9) и обусловленны прежде всего изменением частотного диапазона антенны.

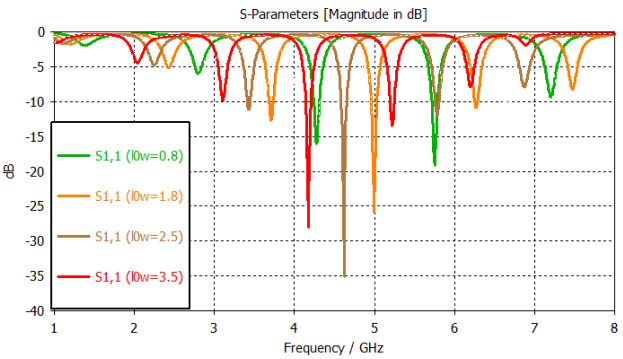


Рис.7. S_{11} параметр в зависимости от длины ячеек меандра

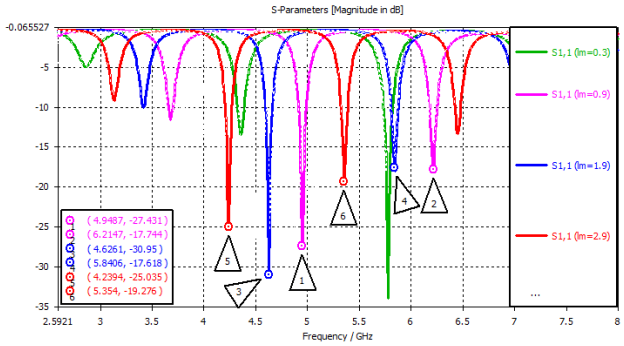


Рис.8. S_{11} параметр в зависимости от промежутка между меандровыми ячейками

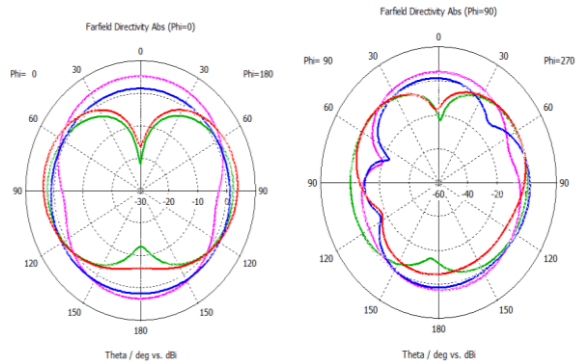


Рис.9. Диаграммы направленности в зависимости от промежутка между меандровыми ячейками

Можно наблюдать, что изменение параметров не привело к фатальному изменению характеристик, а потому не препятствует использованию антенны на гибкой подложке, но может быть использовано для корректировки частотного диапазона работы меандровой антенны.

Заключение

Таким образом, в работе рассмотрено влияние ряда топологических параметров меандровой антенны на её частотные характеристики и диаграмму направленности. Стоит отметить, что подобное исследование полезно для подстройки антенны под необходимый частотный диапазон и облегчения технологического процесса изготовления антенны с возможностью корректировки обусловленных им негативных изменений характеристик меандровой антенны.

Публикация подготовлена в ходе проведения работы по проекту № 21-04-010 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2021– 2022 гг.

Список литературы:

1. Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications / Hall P. S., Hao Y. // Artech house Boston. London – 2006 – P. 295.

2. A. Yelizarov; A. D. Kuznetsov; I. V. Nazarov; I. R. Lavrukhin. Prospects for Applications of Small-Sized Antennas on Flexible Substrate, in 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 2020. DOI: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078598

3. J. McCann, D. Bryson. Smart Clothes and Wearable Technology. [Text]/ J. McCann, D. Bryson. - Woodhead Publishing, 2009. – 484p.

4. Iakimenko S., Ikonnikova D. (2020) Efficiency of RF Energy Harvesting in Modern Wireless Technologies. In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2020, ruSMART 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12525. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-65726-0_10

5. A.D. Kuznetsov; A.A. Yelizarov; I.V. Nazarov; I.R. Lavrukhin. Development of Meander Type Antenna on Flexible Substrate, in 2020 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), Saratov, Russia, 2020. DOI: 10.1109/APEDE48864.2020.9255522

6. Zhi Ning Chen. Antennas for Portable Devices – Wiley, 2007. – 290 p.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ДАТЧИКА УГЛА ПОВОРОТА НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНОГО МАГНИТОРЕЗИСТИВНОГО ЭФФЕКТА

М.В. Денисов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются технические особенности построения датчиков на основе магниторезисторов. А также предлагается конструкция бесконтактного датчика для измерения углового положения и скорости вращения с использованием отечественной компонентной базы.

Введение

Магниторезисторами называют приборы, у которых наблюдается зависимость электрического сопротивления от воздействующего на них магнитного поля. Данный эффект наблюдается в полупроводниках и металлах [1]. В настоящее время для изготовления магниторезистивных датчиков используются тонкие плёнки пермаллоя или сплавов NiFeCo[2]. При производстве используются стандартные полупроводниковые технологии [3]. Использование магниторезистивного эффекта в тонких плёнках позволяет создавать датчики малых размеров с высокой чувствительностью, с возможностью изготовления на одной подложке групп датчиков. Однослойные датчики выполняются в виде четырех элементов, соединенных по мостовой схеме Уитсона. Выходное напряжение при этом зависит от силы магнитного поля и его ориентации относительно чувствительных элементов [4]. Для определения точной ориентации поля относительно сенсора используют датчики с двумя мостовыми элементами, оси которых смещены на 45 градусов относительно друг друга, что позволяет получить на выходах синусно-косинусный сигнал. Используя обработку выходных сигналов, можно измерить угловое отклонение в диапазоне до 90 градусов. В цифровых датчиках, как правило, при этом используется алгоритм CORDIC.

Применение магниторезистивных датчиков перспективно в авионике, военной и ракетно-космической отрасли, так как данный тип датчиков более устойчив к электромагнитным воздействиям. Магниторезистивные датчики возможно использовать и в схемах коммутации обмоток бесколлекторных двигателей с использованием усилительного каскада с силовыми транзисторами [5].

Математическая модель АМР-сенсора

Анизотропный магниторезистивный эффект – квантомеханический эффект, наблюдающийся в тонких плёнках из ферромагнитных материалов и заключающийся в изменении сопротивления материала в зависимости от приложенного внешнего магнитного воздействия. Неодинаковость магнитных свойств образца в различных направле-

ниях называется магнитной анизотропией. Эффект связан со спин-орбитальным взаимодействием электронов, проявляющимся в рассеивании электронов в зависимости от направленности их спинов по отношению к намагниченности образца.

В измерительной системе, представляющей собой мост из четырех магниторезисторов, можно условно пронумеровать резисторы по кругу (резисторы R1 и R3, R2 и R4 расположены в противоположных плечах), тогда выходной сигнал схемы при подключении к некоторому $U_{ПИТ}$ будет определяться выражением (1):

$$U = U_{ПИТ}\frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} \quad (1)$$

При воздействии магнитной индукции на измерительную систему резисторы будут менять своё сопротивление. Если это изменение пропорционально, то для функции изменения сопротивлений резисторов будет справедливо выражение (2):

$$R_i = R_{oi}(1 + \Delta R_i/R_{oi}) = R_{oi}(1 + s_iB_j) \quad (2)$$

Где R_{oi} – изначальное сопротивление i-го элемента, s_i - коэффициент преобразования i-го магниторезистора (i = 1, 2, 3, 4), B_j - проекция вектора магнитной индукции на ось чувствительности сенсора (j = 1, 2, 3).

АМР-устройства, используемые в датчиках угла поворота вектора внешнего магнитного поля, работают в насыщенном режиме [6]. Так же существуют типы АМР-датчиков, работающих при напряженности магнитного поля ниже насыщения, такие устройства используются в пороговых датчиках и датчиках с линейной характеристикой, при этом вектор намагниченности **M** отклоняется с некоторым опозданием по отношению к вектору напряженности магнитного поля **H**, в чём и состоит явление гистерезиса вращения.

При рассмотрении АМР-эффекта во фрагменте тонкой пленки (Рисунок 1) следует учитывать, что в насыщенном режиме вектор намагниченности и напряженности магнитного поля совпадают, что делает возможным измерение угла поворота без гистерезиса. При угле α=90° будет наблюдаться минимальное значение сопротивления образца Rmin, тогда при повороте вектора **M** к данному значению будет прибавляться некоторая величина, имеющая максимальные значения при α=0° и α=180°, что описывается формулой (3):

$$R_{min} = R_0 + \Delta R(\alpha) \quad (3)$$

Максимальное изменение сопротивления ΔR_{max} как правило составляет примерно 2,5% от R_{min}, а изменение сопротивления образца от угла можно привести к формуле (4):

$$R = R_{min} + \Delta R_{max} * cos^2\alpha \quad (4)$$

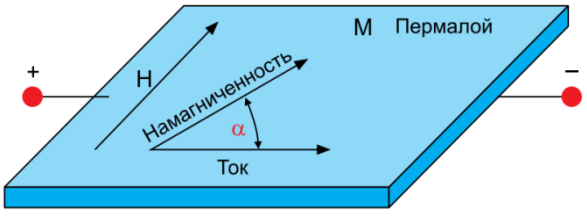


Рис.1. Магниторезистивный эффект в тонкой плёнке

Если соединить подобного вида образцы в измерительный мост, где элементы развернуты на 90° друг к другу, то измеряемое на выходе напряжение будет иметь следующую зависимость:

$$\Delta U_1(\alpha) = U_{пит}S \cdot \sin(2\alpha) + U_{см.1} \quad (5)$$

где $U_{см.1}$ – напряжение смещение моста, обусловленное отличающимся исходным сопротивлением резисторов в мосту, S – коэффициент АМР -эффекта.

Имея на подложке второй аналогичный мост, повёрнутый относительно первого на 45°, можем записать для него следующую зависимость выхода от угла:

$$\Delta U_2(\alpha) = U_{пит}S \cdot cos(2\alpha) + U_{см.2} \quad (6)$$

Графическое отображение выходных напряжений измерительных мостов в виде синусного и косинусного сигналов можно увидеть на рисунке 2.

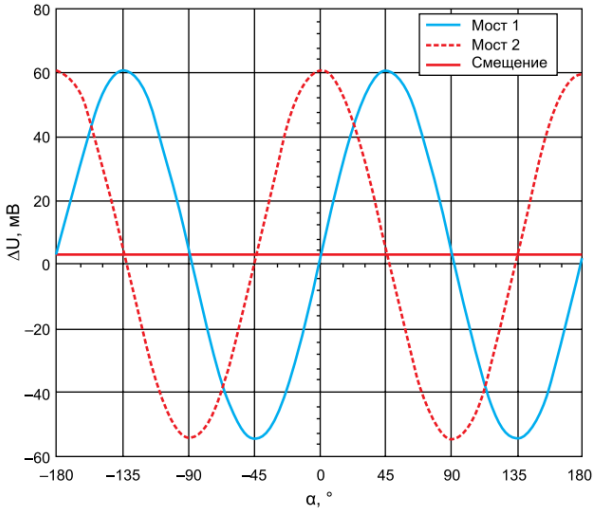


Рис.2. Выходные сигналы синусно-косинусного преобразователя в зависимости от угла намагниченности

Угол поворота вектора намагниченности в плоскости этих двух измерительных мостов можно найти по формуле:

$$\alpha = 0{,}5 \cdot arctg(\Delta U_1/\Delta U_2) \quad (7)$$

Так как функция периодическая, без данных о знаке, относительно средней точки, можно однозначно определить только углы ±45°, однако зная знак отклонения, можно определять уже ±90°. Это диапазон можно расширить и до полноповоротного значения ±180°, установив дополнительный датчик, сигнализирующий о выходе углового положения магнита за пределы ±90°. Для этого подойдёт линейный магниторезистивный датчик или датчик на эффекте Холла. Данную задачу можно решить и используя следящую систему при цифровой обработке сигнала. Таким образом, можно получить датчик угла поворота на магниторезистивном преобразователе магнитного поля в синусно-косинусный сигнал.

Конструкция измерительной схемы

В качестве чувствительного АМР-элемента предложено использовать интегральную микросхему 1382НХ065 производства «ЗНТЦ», выпускающуюся в металлокерамическом корпусе, импортными аналогами которой являются микросхемы KZ41, KMZ49 (NXP), HMC1512 (Honeywell), APS00B (Honeywell). Топология тонкоплёночного датчика представлена на рисунке 3.

В качестве микросхемы цифровой обработки планируется использовать СБИС энкодера положения К1382НМ015 производства «ЗНТЦ», имеющий 16-ти битный АЦП, вход датчика опорного импульса для определения рабочей части окружности, различные выходные интерфейсы (SPI/SSI, ШИМ, аналоговый, параллельный, инкрементальный, трехфазный), благодаря чему ИС можно использовать в различных применениях, как в виде встроенного в двигатель контроллера управления обмотками, так и виде энкодера положения оси. Условная схема подключения датчиков представлена на рисунке 4.

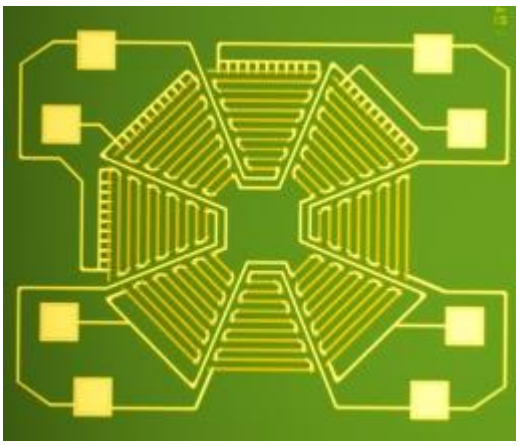


Рис.3. Топология тонкой плёнки в ИС 1382НХ065

Для определения рабочего диапазона датчика возможно использовать датчик на элементах Холла К5331НХ011 (IDM-Plus, г. Зеленоград) или аналогичный по функционалу импортный аналог - SS490 (Honeywell).

Настройка ИС производится посредством SPI, путём программирования регистров ОЗУ, после настройки микросхемы подаётся команда на запись регистров ОЗУ в однократно программируемую ПЗУ.

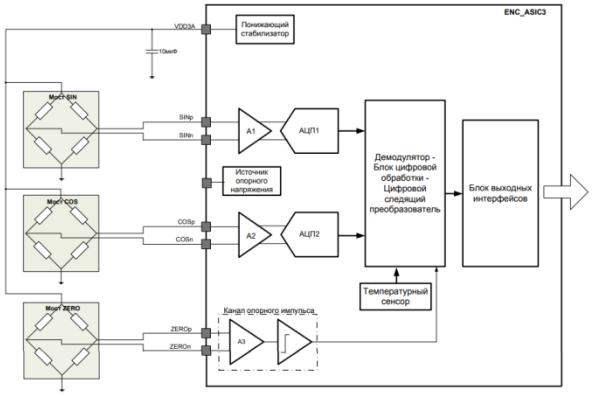


Рис.4. Схема подключения мостовых сенсоров к ИС положения

Экспериментальная схема включает в себя процессор положения, АМР-датчик, дополнительный датчик для расширение измерений угла до ±180°, операционный усилитель для фильтрации и усиления выходного аналогового сигнала с ЦАП процессора, линейный стабилизатор и пассивные компоненты схемы, возможна установка трансивера RS422 (MAX488) для работы по SSI. Компоненты располагаются на компактной печатной плате, которая, в свою очередь, должна быть закреплена на делительной головке стенда для определения углов поворота оси. Планируется исследовать как отечественную разработку, так и импортные аналоги, для сравнения характеристик.

Ошибка измерений на основании технических характеристик сенсора, содержащихся в предоставленной производителем документации, составляет не более 0.1 градуса, при этом разрешающая способность АЦП оказывается выше ошибки самого сенсора, поэтому вклад преобразовательного тракта ожидается незначительным.

Заключение

Рассмотрена математическая модель АМР-сенсора, позволяющего регистрировать угол поворота оси. Предложена измерительная схема с возможностью использованием отечественной компонентной базы, осуществлен выбор интегральных микросхем для построения датчика измерения угла в диапазоне ±90° и ±180°, проведена оценка точности для предложенного конструктивного варианта.

Список литературы:

1. Аш. Ж. и др. Датчики измерительных систем. Книга 1. – М. Мир, 1992 – 480 с.

2. Ажаева Л.А., Грабов А.Б., Суханов В.И. АМР-Сенсор индукции магнитного поля земли на основе тонких пленок сплава NiFeCo // Датчики и системы. – 2020. - №1. – с. 35-41.

3. Tumanski S. Thin film magnetoresistive sensors. – IOP Publishing Ltd, 2001. – 441 p.

4. Касаткин С.И., Васильева Н.П., Муравьев А.М. Спинтронные магниторезистивные элементы и приборы на их основе. Москва., 2005. 168 с.

5. Полупроводниковые резисторы в электротехнике Ю. В. Зайцев, А.Н. Марченко, И. И. Ващенко. – М.: Энергоатомиздат, 1988, - 136 с.

6. Шемякин С. Компонентные AMR-датчики положения и угла поворота от Honeywell // Компоненты и технологии. – 2012. - № 11. – с. 24-30.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

Д.А. Гильманова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются структурные схемы, применяемые в разных программных продуктах, относящихся к различным сферам деятельности, в частности расчёта надежности изделий. На основе сравнения внешнего вида структурных схем и их использования в различных программах, выясняются недостатки и преимущества.

Введение

В наше время структурные схемы широко используются различными программными комплексами. Сравнивая внешний вид и функции схем, встречающихся в разных программах, можно сказать, что все имеют определенные сходства и отличия.

Среди существующих программных продуктов можно найти программы, предназначенные для анализа качества и надёжности радиоэлектронных изделий. Здесь структурные схемы определяют основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи [1].

Кроме того, структурные схемы нашли место в других областях, например, в генеалогии и биоинформатике.

Структурные схемы в надежности

Рассматриваемыми программными обеспечениями являются зарубежные системы Windchill Quality Solutions (PTC), RAM Commander (A.L.D. Group) и BlockSim, (ReliaSoft) а также отечественный программный комплекс расчёта надежности АСОНИКА-К (НИУ ВШЭ), предлагающий систему АСОНИКА-К-СИ [2]. Методы, которые основаны на использовании данных схем, – модуль блок-схем надёжности (Reliability Block Diagram) и модуль деревьев отказов (Fault Tree Analysis).

Метод построения Reliability Block Diagram (RBD) представляет собой графическое изображение работоспособного состояния системы [3]. Во всех перечисленных программах структурные схемы надежности (ССН) представлены в виде соединенных между собой блоков, для

которых заданы определенные характеристики, необходимые для дальнейших расчётов.

Общим сходством всех программных комплексов является то, что возможно создание различного вида сложных резервированных систем, описывающих логические отношения, необходимые для описания функционального состояния системы. Расчёт надежности основан на логико-вероятностных методах.

Тем не менее, способы задания схем отличаются. В Windchill RBD (Windchill Quality Solutions) и BlockSim (см. рис. 1 и 2) создать элемент схемы можно в любом месте поля вывода и вставить его в необходимую часть ветви схемы, в отличие от RAM Commander [4, 5].

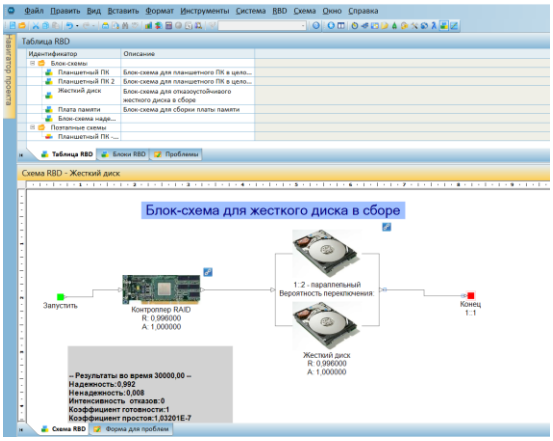


Рис.1. Блок-схема жесткого диска в Windchill RBD

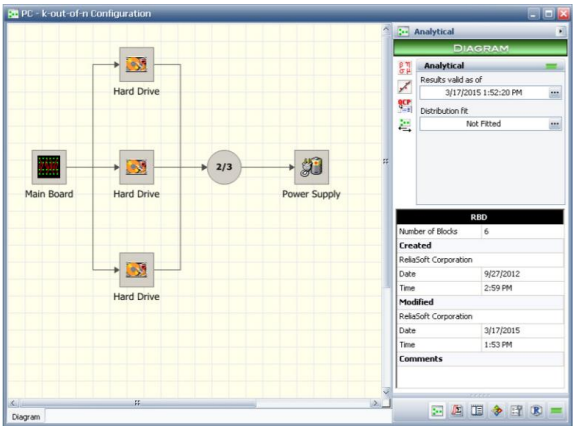


Рис.2. Блок-схема жесткого диска в ReliaSoft BlockSim

В последнем создание новых блоков осуществляется путем их вставки в один из отмеченных точкой узлов (см. рис. 3).

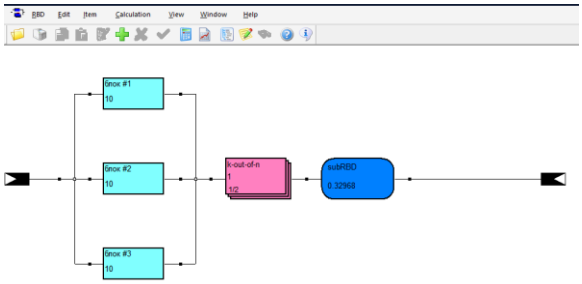


Рис.3. Пример блок-схемы в RAM Commander

К примеру, создать можно самостоятельные блоки, последовательное и параллельное соединения k элементов, мажоритарное соединение k из n (k-out-of-n) и свернутое представление частей схемы, само являющееся подсистемой [4]. Что касается BlockSim, то возможна вставка групп блоков: конфигурации блоков последовательного соединения, параллельного соединения или мажоритарное соединение k из n (k-out-of-n), а в Windchill RBD осуществляется последовательное и параллельное соединение элементов схемы.

На представленных рисунках 1-3 можно увидеть, что схемы внешне отличаются друг от друга. Так, в Windchill RBD (см. рис. 1) визуальное представление каждого элемента можно менять по своему усмотрению для лучшего восприятия (как и визуальное представление графиков общего времени простоя и зависимостей коэффициента готовности, надежности и отказов от времени). Около самой схемы находится сноска со значениями рассчитанных показателей, а под каждым элементом расположена часть информации о нем, например, на рисунке блок-схемы жесткого диска в сборе ненагруженное резервирование жесткого диска обозначено определенными словами. В верхней же части окна интерфейса в таблице отображаются все существующие в системном файле блок-схемы, между которыми возможен переход. Кроме того, здесь, как и в RAM Commander, блок-схемы имеют начало и конец, изначально обозначенные специальными элементами (начальный и конечный узлы).

Если говорить о программном обеспечении RAM Commander, на рис. 3 показан пример ССН, состоящей из соединений: трех элементов параллельно, мажоритарного соединения k из n и отдельной подсистемы. Здесь существуют подсистемы, являющиеся свернутым представлением определенной части схемы, которые можно увидеть, развернув в новом окне. Это усложняет представление общей структурной схемы надежности изделия в целом. Помимо этого, информация об элементах схемы показана на самих блоках в их границах, а внешний вид некоторых блоков отличается от аналогов других программ, например, мажоритарного соединения k элементов из n [6].

BlockSim предлагает блок-схемы, где последовательность соединения показана стрелками, (см. а рис. 2), где приведены схемы жесткого диска и соединения сложных составных частей изделия. Главное отличие от предыдущих программных комплексов – это наличие в левой части окна интерфейса иерархического списка всей схемы, что позволяет увидеть общую конфигурацию и упрощает работу. Также возможен переход к детальному рассмотрению каждой подсистемы, аналогично RAM Commander.

Еще один пример использования ССН – программный комплекс расчёта надежности АСОНИКА-К, предлагающий систему АСОНИКА-К-СИ для расчета надёжности сложных изделий. В возможности входят создание как новых СЧ изделия и групп резервирования (возможно создание нагруженного, ненагруженного, скользящего и др.), так и добавление существующих, клонирование СЧ, а также проведение расчета таких параметров системы, как коэффициент оперативной готовности, среднего времени восстановления и надежности, построение графиков зависимости параметров от времени и составление отчетов. На рис. 4 приведено мажоритарное соединение (n из m), в левой части окна интерфейса (как и у BlockSim) находится иерархический список всей схемы [7].

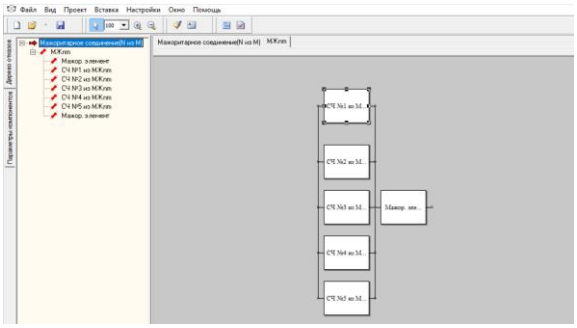


Рис.4. Пример блок-схемы в АСОНИКА-К-СИ

Сама структурная схема выглядят как соединение отдельных целостных групп, которые сами являются ССН.

Общий вид и способы задания структурных схем всегда различны, но все схемы, построенные методом RBD, показывают то, каким образом отказы частей объекта приводят к отказу всей системы.

Помимо метода RBD, используется метод Fault Tree Analysis (FTA), заключающийся в определении и анализе условий и факторов, которые приводят или могут привести к возникновению негативных завершающих событий [8] Таким образом, происходит оценка вероятности наступления завершающего события с помощью аналитических и статистических методов. На рис. 5 показано дерево отказов напорного бака как графическое представление событий в иерархической древовидной структуре. Элементами схемы являются события и вентили.

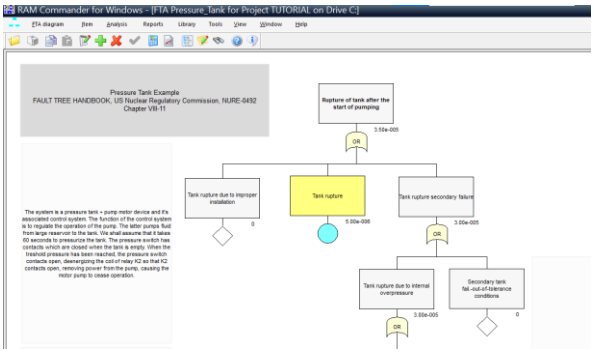


Рис.5. Дерево отказов напорного бака в RAM Commander

Другие примеры структурных схем

Структурные схемы также используются и в других сферах деятельности. Так, генеалогические древа также являются структурированными и показывают родственные связи между людьми, начиная с самых старших поколений и постепенно переходя к более молодым. Такие деревья можно получить в специальных приложениях, к примеру, в Gramps и Zoompast. На рис.6 можно увидеть древо семьи, построенное в программе Zoompast. Здесь сверху вниз идёт переход от старших членов семьи к младшим. Более того, при отдалении от большого количества людей программа автоматически совмещает самых близких из них в отдельные подсистемы, которые можно в любой момент рассмотреть более детально.

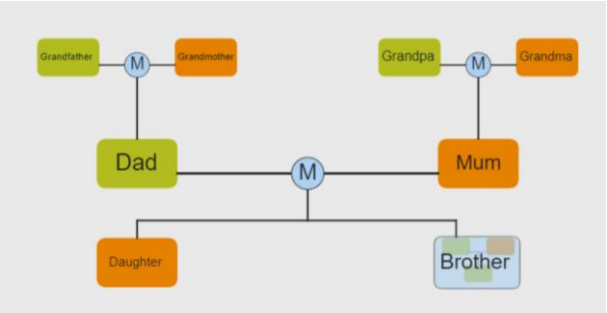


Рис.6. Пример генеалогического древа в Zoompast

Структурные схемы можно увидеть в программном пакете для анализа данных о последовательностях ДНК и белков у разных видов и популяций – MEGA X – при построении филогенетических деревьев. В данной программе, на основе выравненных последовательностей геномов, с помощью вероятностных методов автоматически строятся деревья, характеризующиеся топологией (формой) и длиной. Таким образом, определяются наиболее схожие друг другу последовательности геномов и делаются предположения о близости их происхождения. Например, ниже представлена схема гомологов SARS-CoV (см. рис.7).

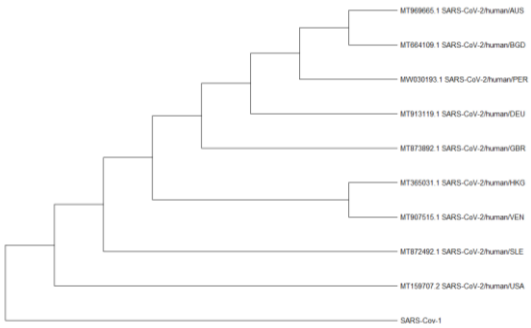


Рис.7. Схема гомологов SARS-CoV в MEGA X

Заключение

Были рассмотрены структурные схемы, используемые для расчёта надёжности и безотказности, структурированные генеалогические древа и филогенетические деревья. Каждая схема отличается от других своими функциями и внешним видом, но все они показывают, каким образом связаны между собой элементы.

Преимущества использования структурных схем в том, что они компактны и с их помощью можно показать всю необходимую для представления или расчётов информацию. Кроме того, практически во всех программных обеспечениях на схемах можно увидеть важные данные об элементах. Для ССН плюсом является наличие иерархического списка.

Можно выделить некоторые недостатки ССН в определенных программах продуктах: переход на новый лист при раскрытии вложенности в схеме, что усложняет общее представление структурной схемы.

Список литературы:

1. ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – М.: Стандартинформ, 2009.

2. Строганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем. // Компоненты и технологии - 2007. - № 5 (70), - с. 74-81.

3. ГОСТ Р 51901.14-2007 (МЭК 61078:20) Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы. – М.: Стандартинформ, 2008.

4. Getting Started Guide. Windchill Solutions 10.0. [Electronic resource]. URL: https://community.ptc.com/sejnu66972/attachments/sejnu66972/Windchill/44850/3/Windchill_Quality_Solutions_Getting_Started_Guide.pdf (Дата обращения: 20.12.2020).

5. BlockSim 10 Quick Start Guide [Electronic resource]. URL: http://www.synthesisplatform.net/BlockSim/en/QS_BlockSim10.pdf (Дата обращения: 20.12.2020).

6. RAM Commander User Manual. [Electronic resource]. URL: https://www.aldsoftware.com/download/ramc/UserManual/html/index.html (Дата обращения: 20.12.2020)

7. Жаднов В.В., Замараев С.П. Модуль ввода и редактирования схем расчета надежности. // Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационного общества: М-лы научно-практической конференции. - М.: МИЭМ, 2004. - с. 83-84.

8. ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей. – М.: Стандартинформ, 2011.

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДРАЙВЕРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А.И. Кацнельсон
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается система управления электрическими двигателями с током на канал до 4А, реализованная в виде печатного узла. Данный модуль разработан в рамках работы по созданию интеллектуального робота-гида.

Введение

Драйвер электрического двигателя (далее ЭД) является одной из основных частей любого робота. Он позволяет управлять ЭД при помощи команд от микроконтроллера (далее МК). Грамотно спроектированный драйвер ЭД позволяет построить надежную систему управления движением робота, обеспечив одновременную защиту ЭД от перегрузок.

Принципиальная схема

Первым этапом в создании любого устройства является разработка принципиальной схемы.

При разработке принципиальной схемы система была разбита на функционально-законченные модули: электропитания, микроконтроллера, индикации и интерфейсов (рис. 1), драйверы управления двигателями постоянного тока (рис. 2).

Драйвер двигателей

Главной частью системы управления двигателями являются 4 симметрично расположенных интегральных драйвера. В таблице 1 можно увидеть сравнение данного интегрального драйвера с аналогами:

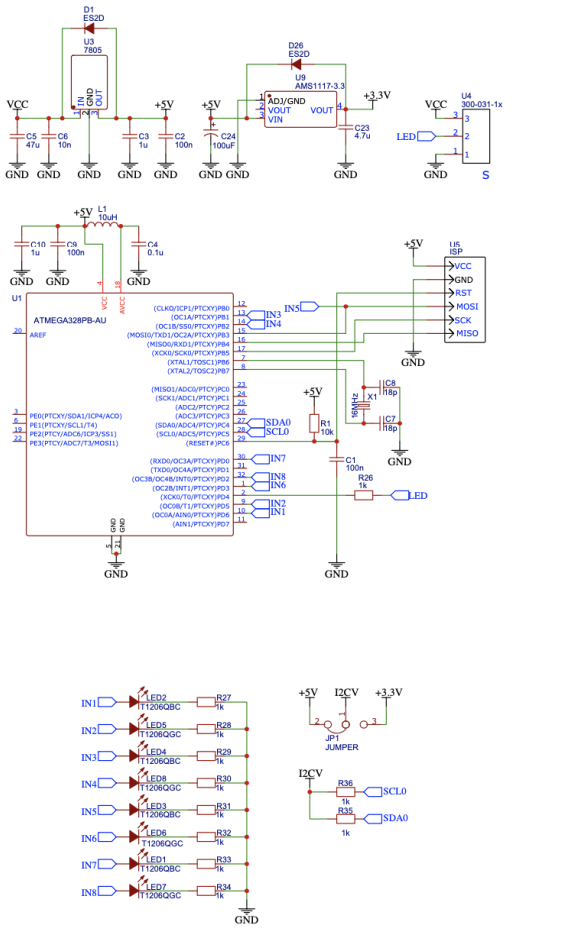


Рис.1. Принципиальная схема устройства

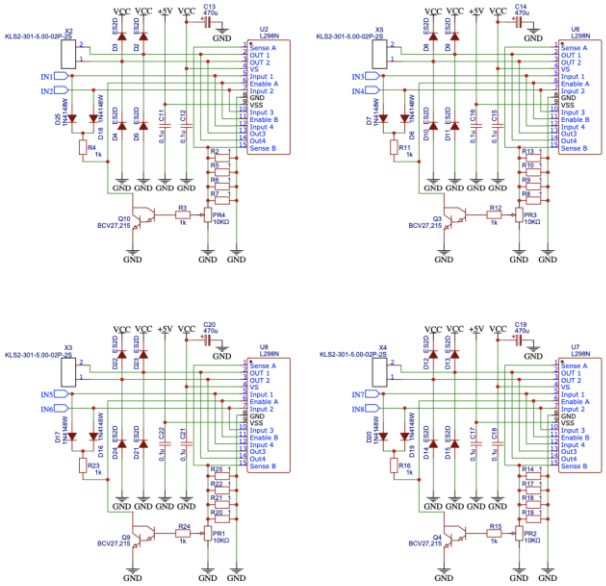


Рис.2. Принципиальная схема устройства

Таблица 1. Сравнение интегральных драйверов

Название микросхемы	Максимальное напряжение	Максимальный ток драйвера
L298N	50В	2А
L293D	36В	0.6А
TB6612FNG	15В	1.2А
L6202	52В	1.5А

По совокупности параметров была выбрана микросхема L298N.

Эта микросхема представляет из себя двухканальный драйвер ЭД постоянного тока, а также имеет возможность работы в одноканальном режиме, обеспечивая максимальный ток нагрузки до 4А, при напряжении до 50В. Для реализации данного режима были соединены два встроенных драйвера в микросхеме согласно технической документации [1].

ЭД в процессе работы могут вызывать всплески напряжения, которые, в свою очередь, могут вывести из строя схему управления. Для защиты системы управления, на каждый канал драйвера были установлены по 4 диода ES2D. Стабильное питание каждого драйвера обеспечивается фильтрующими емкостью 470 мкФ и 100нФ, установленные в непосредственной близости от микросхем. Также фильтрующие конденсаторы установлены в цепи питания. Это позволяет избежать помех в каналах управления и обеспечить стабильную работу системы.

Одной из ключевых особенностей построения системы управления ЭД является оригинальна схема управления режимами и защиты. Управление каждым каналом производится всего по двум входам IN1 и IN2, подавая на них сигнал логической единицы или нуля с МК. Режимы работы отображены в таблице 2. Предложенная схема выгодно отличается от аналогов, у которых функция холостого хода либо вовсе отсутствует, либо требует подключения трех контактов.

Таблица 2. Режимы работы драйвера

IN1	IN2	Режим работы
0	0	Холостой ход
1	0	Прямое движение
0	1	Инверсное движение
1	1	Торможение двигателем

Для реализации данного функционала используется диодный смеситель, а также разрешающий Enable используемого интегрального драйвера. Для защиты двигателя от перегрузки, в каждый канал были установлены четыре параллельно включенных резистора сопротивлением 1Ом (для рассеивания тепловой мощности), выполняющих роль токоизмерительных шунтов. Сигнал с них усиливается составным транзистором (дарлингтоновским) и подает на разрешающий вход микросхемы драйвера. Порог срабатывании защиты задается прецизионным многооборотным резистором. Это позволяет отключить ЭД при достижении максимального допустимого тока. Для корректной настройки защиты нужно руководствоваться значениями максимальных токов драйвера и ЭД. Принципиальную схему одного из четырех каналов управления ЭД можно увидеть на рис. 3.

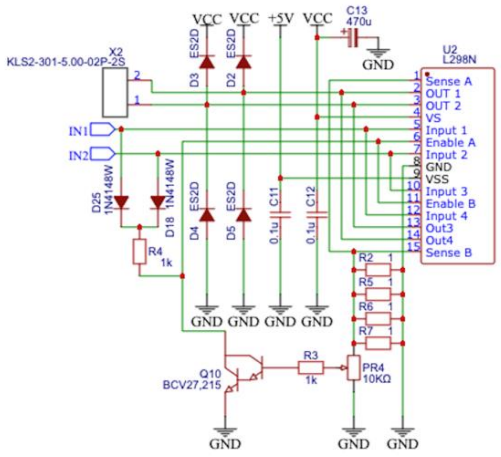


Рис.3. Принципиальная схема канала управления ЭД

Микроконтроллер

Для контролирования работы всех 4 моторов был установлен МК AVR ATmega 328pb. Данная модель была выбрана из-за 10 встроенных PWM выходов. Это позволяет регулировать скорость каждого из четырёх ЭД 512 режимами (255 вариантов скорости прямого движения, 255 вариантов скорости инверсного движения, холостой ход и торможение двигателем.) Схему подключения МК можно увидеть на рис. 4.

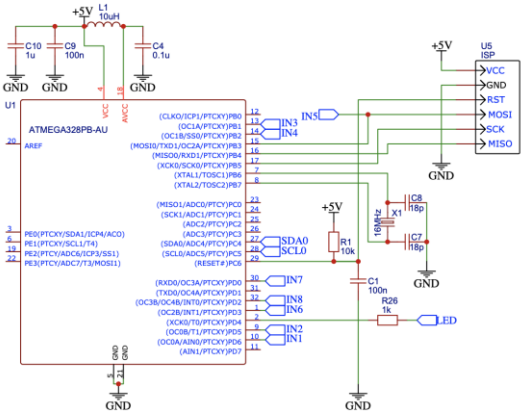


Рис.4. Принципиальная схема подключения МК

В цепи питания контроллера установлены 2 фильтрующих конденсатора на 100нФ и на 1мкФ. Также подключено питание АЦП через фильтр второго порядка (индуктивность 10мкГн и емкость 100нФ). Для стабильной работы МК установлена RC цепь на входе RESET, которая дает задержку старта МК на время $\tau = RC$. К МК подключен кварцевый резонатор на 16МГц с блокировочными конденсаторами на 18пФ, это обеспечивает высокую скорость и стабильность работы МК [2]. Драйверы подключены к выходам МК, связанным с внутренними таймерами. Для программирования МК используется интерфейс ISP на 6 контактов. Для внешнего управления всей платой используется интерфейс TWI (I_2C). Также заложена возможность подключения адресной LED ленты.

Для наглядности работы системы управления, а также упрощения диагностики неисправностей, на плату установлено 8 светодиодов на входы драйверов ЭД (по 2 на каждый канал управления).

Электропитание

Напряжение питания системы управления определяется рабочим напряжением ЭД и находится в диапазоне 7…35В. Так как МК требует подключения 5В питания, как и логическая часть драйверов L298N, на плату установлен интегральный стабилизатор 7805 на выходное напряжение 5В. К нему подключены фильтрующие конденсаторы на вход и на выход, а также защитный диод. Схема включения приведена на рис. 5. Также установлен стабилизатор ASM1117-3.3 на напряжение 3.3В для одного из режимов TWI (I_2C). В схеме включения стабилизатора также присутствует защитный диод ES2D.

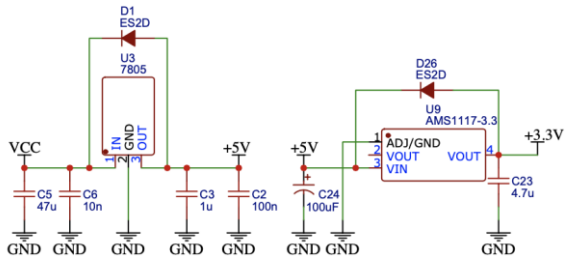


Рис.5. Принципиальная схема стабилизаторов напряжения

Трассировка платы

Трассировка выполнена на двух слоях печатной платы размером 100×100мм (рис. 6, 7) в САПР EasyEDA [3].

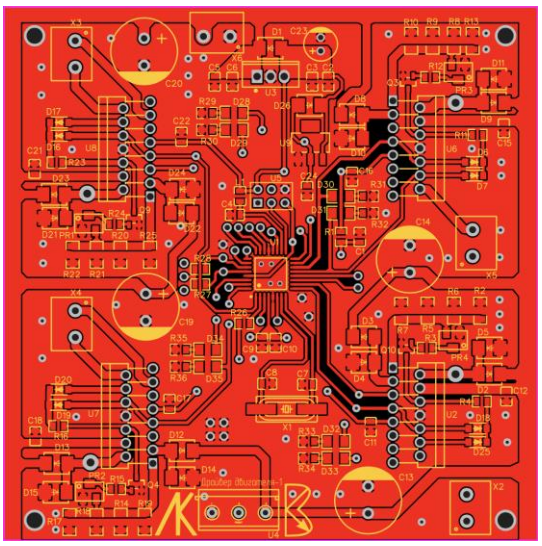


Рис.6. Печатная плата (фронтальная сторона)

Плата изготовлена из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита FR4 толщиной 1.5мм по промышленной фотохимической технологии с металлизацией сквозных отверстий. Печатная плата соответствует 4 классу точности по ГОСТ Р 53429-2009 [4]. Монтаж всех элементов был выполнен с фронтальной стороны. При сборке печатного узла были использованы элементы поверхностного монтажа, а также монтажа в отверстие. Ширина печатных проводников силовых цепей была выбрана исходя из максимальных токов. Печатные проводники логического назначения были выполнены шириной 0.5мм.

Клеммные разъемы для подключения ЭД, источника питания и светодиодной ленты для удобства расположены на периферии платы. Имеется возможность использования общего радиатора для каждой пары драйверов ЭД. Для подключения шины внешнего управления имеются штыревые контакты. Также выведены свободные контакты МК для подключения внешних датчиков, например, энкодеров. Общая шина питания реализована в виде полигонов на обеих сторонах платы. Для обеспечения целостности полигона имеется большое количество переходных отверстий.

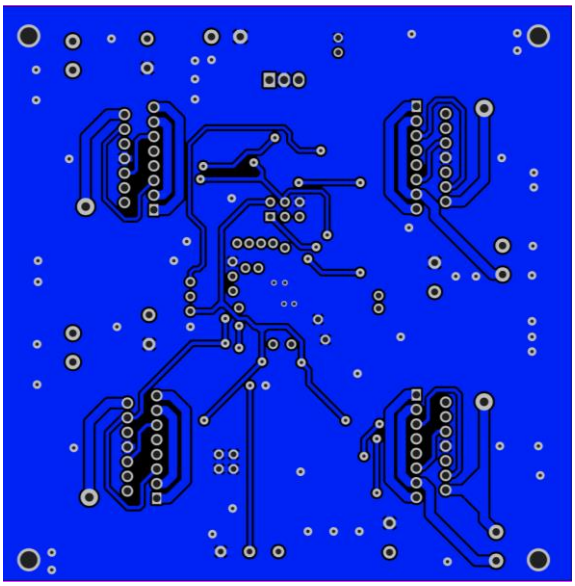


Рис.7. Печатная плата (обратная сторона)

Вывод

В ходе работы над проектом была разработана, изготовлена и смонтирована оригинальная печатная плата системы управления движением робота-гида. Полученный печатный узел может с успехом применяться в различных робототехнических устройствах как функционально законченный модуль.

Список литературы:

1. L298N dual full-bridge driver data sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/142/DOC000142991.pdf. – Дата доступа: 12.02.2021.

2. ATmega328PB data sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001906C.pdf. – Дата доступа: 12.02.2021.

3. EasyEDA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://easyeda.com. – Дата доступа: 15.01.2020.

4. ГОСТ Р 53429-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Платы печатные. -М.: Стандартинформ, 2018.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА

А.Ю. Билалов, М.Г. Джамалутдинов, А.А. Чернецкий
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются способы проведения бесконтактной дефектоскопии рельсового полотна железных

дорог ультразвуковыми методами. Исследование проводится в рамках разработки модуля дефектоскопа неразрушающего контроля рельсового полотна. Рассмотрено применение дифференциального способа обработки измерительной информации полученной эхо-методом бесконтактного ультразвукового контроля. Для определения дефектов рельса, разработана структура преобразователя, проведены эксперименты, получены и обработаны результаты испытаний, обоснована возможность использования предложенного способа для диагностирования малых дефектов. Предложены методы аппаратной и программной обработки сигналов, поступающих с пьезоприемников, проведено схемотехническое моделирование элементов преобразователя.

Введение

С каждым годом общая протяженность Российских железных дорог растет, увеличивается парк железнодорожного транспорта. Вместе с этим повышается риск аварий и форс-мажорных обстоятельств, которые влекут за собой большие убытки для компаний или в некоторых случаях человеческие жертвы. Среди задач дефектоскопии железных дорог следует выделить контроль состояния рельсового полотна.

Назначением разрабатываемого в рамках ВКР программно-аппаратного комплекса (далее ПАК) является поиск и определение места дефекта поверхности рельсового полотна. Немаловажной задачей ПАК является увеличение скорости проведения измерений. Состав датчиков, входящих в ПАК, определяется таким образом, что каждый из них компенсирует недостатки друг друга.

Целью данной работы является поиск бесконтактного ультразвукового метода определения дефектов поверхности рельсового полотна, а также разработка структурной схемы ультразвукового преобразователя, реализующего данный метод.

Работа состоит из введения, обзора известных ультразвуковых методов диагностики рельсового полотна, описания дифференциального метода определения дефектов, изложения последовательности испытаний. По результатам сделан вывод о возможности дифференциального ультразвукового метода для диагностики дефектов рельсового полотна.

Обзор ультразвуковых методов диагностики

Среди методов диагностики рельсового полотна распространены ультразвуковые методы.

Основными преимуществами ультразвукового контроля по сравнению с другими методами являются [1]:

– реакция ультразвука непосредственно на причину нарушения прочности;

– возможность исследования металлических и неметаллических изделий;

– возможность определения поверхностных и внутренних дефектов;

– безопасность при использовании;

– мобильность и легкость автоматизации.

Дефекты рельсового полотна разделяют на внешние и внутренние в зависимости от их природы. К внешним относят трещины, пробоксовки, выкрашивания, смятия наружной поверхности. К внутренним относятся: раковины, внутренние трещины [2].

Ультразвуковые методы – эхометоды, дифракционно-временные, теневые и др. с успехом применяются для контроля внутренних дефектов.

В то же время, анализ причин возникновения дефектов показывает, что эксплуатация железнодорожного полотна приводит к появлению, в основном, внешних дефектов.

Дифференциальный метод определения поверхностных дефектов

В работе рассмотрен метод определения поверхностных дефектов с помощью двух приемников и одного излучателя, работающих на частоте 40-80 кГц. Структурная схема датчика приведена на Рис.2. Передатчик расположен в центре. Приемники расположены слева и справа от передатчика на одинаковом расстоянии от него. Дефекты рельсовой поверхности определяют разницу в пути ультразвуковых сигналов от передатчика до приемников (Рис.2 б-в), и как следствие, разницу во времени появления сигналов на выходах приемников. Описанная характеристика показана на временной диаграмме Рис.3 для схемы измерений Рис.2б.

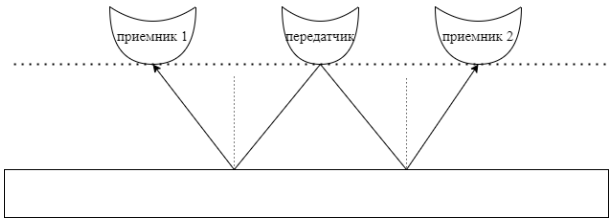


Рис.1. Структурная схема преобразователя

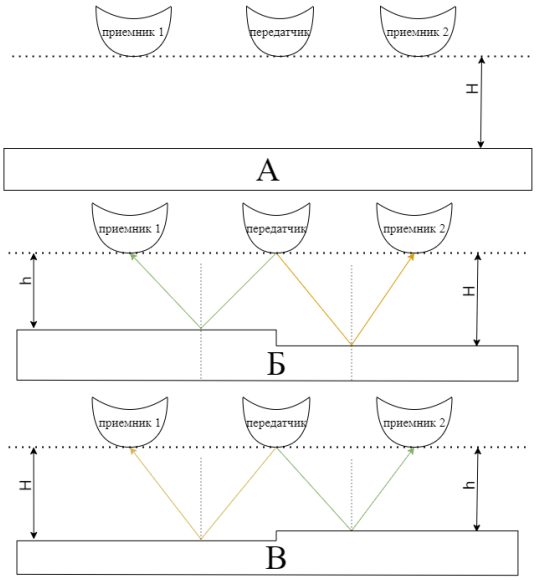


Рис.2. Схемы проведения измерений

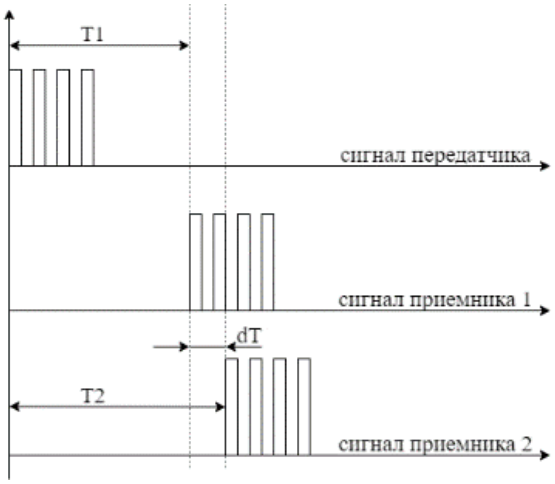


Рис.3. Временные диаграммы

Описание эксперимента

Целью практических исследований являлась проверка зависимости значения задержки сигналов приемников преобразователя, показанного на Рис.1, от расстояния до рельса и от наличия дефекта, проверка возможности определения дефекта более 1 мм.

Во время эксперимента, на приемник подавался гармонический сигнал частотой 40 кГц в пакетном режиме, частота следования пакетов 1 кГц. Усиленные сигналы приемников подавались на входы двухлучевого осциллографа. Полученные осциллограммы приведены на Рис.4-6 для схем измерения Рис.2 а-в соответственно.

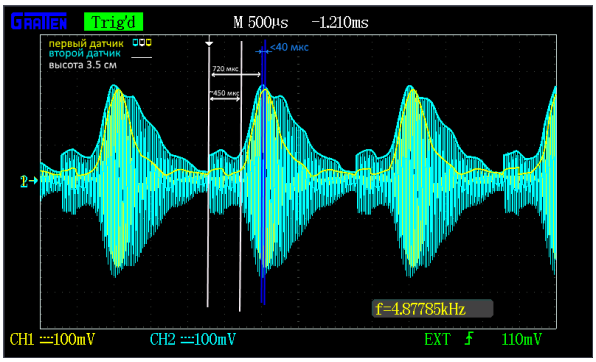


Рис.4. результаты по схеме измерений рис. 1а

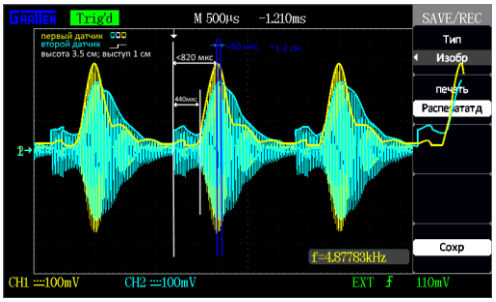


Рис.5. результаты по схеме измерений рис. 1б

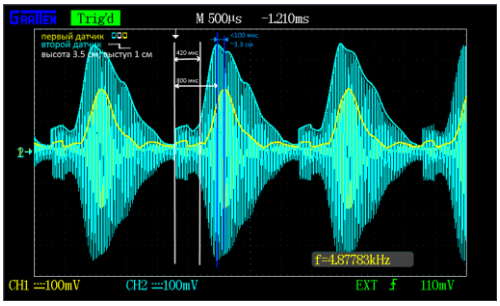


Рис.6. результаты по схеме измерений рис. 1в

По результатам проведенных измерений можно сделать следующие выводы:

– задержка между максимальными значениями сигналов (Рис.3, dT) зависит от длин путей сигнала от передатчика до отражающей поверхности и от отражающей поверхности до приемника;

– задержка между зондирующим сигналом и принятым зависит от расстояния до поверхности рельса;

– сигналы приемных каналов у разных датчиков отличаются.

Обработка сигналов

Проанализированы методы аппаратного и программного определения значения задержки между сигналами приемников и других характеристик. Среди аппаратных методов наибольший интерес представляют схемы пикового и фазового детекторов [3, 5]. Поэтому было проведено схемотехническое моделирование, макетирование и эксперимент, который показал возможность построения огибающей, нахождения максимума сигнала и сдвига фаз между сигналами приемников. При исследовании обработки сигналов приемников пиковым детектором получено, что дефекту размером 1 мм соответствует задержка сигналов около 6 мкс.

Среди программных методов наибольший интерес представляют методы построения огибающей поиском локальных максимумов, что позволяет находить значения максимумов, временные задержки и анализировать форму огибающей сигнала [4]. Было проведено макетирование, разработка программного обеспечения для микроконтроллера «Миландр» серии К1986ВЕ92QI и эксперимент, который показал возможность построения огибающей и передачи ее на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

Заключение

Проведенные испытания показали возможность определения внешних дефектов размеров более 1 мм ультразвуковым методом при согласовании аппаратных и программных решений по обработке сигналов. Предлагаемая структурная схема ультразвукового преобразователя представлена на Рис. 7.

В состав преобразователя входят:

1. ультразвуковые пьезоэлектрические приемопередатчики;
2. усилители входных и выходных сигналов;
3. измеритель задержки;
4. микроконтроллер для обработки поступающих сигналов из измерителя и для передачи информации на дальнейшею обработку.
5.



Рис. 7. Структурная схема ультразвукового датчика и модуля дефектоскопа

В дальнейшем планируется проведение испытаний для нескольких приемо-излучателей различной пространственной конфигурацией: ряд, звезда и др.

Список литературы:

1. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль. Том 3. Ультразвуковой контроль/ Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2004.
2. Классификация дефектов рельсов НТД/ЦП-1-93.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ. – Изд. 2-е. – М.: Издательство БИНОМ. – 2014.
4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Изд. 2-е. пер. с англ. – М.: Издательство БИНОМ. – 2014.
5. Пейтон А. Дж., Волш В. Аналоговая схемотехна на операционных усилителях – М.: Издательство БИНОМ. – 1994.

ВХОДНАЯ ОПТИКА НА БАЗЕ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ ДЛЯ ПЛАНАРНОГО ДИОДА ШОТТКИ

Д.А. Михайлов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», базовая кафедра квантовой оптики и телекоммуникаций ЗАО «Сконтел»

Аннотация

В данной работе представлены результаты измерений диаграммы направленности и импеданса антенны Вивальди предназначенной, для использования в качестве входной оптики планарного диода Шоттки (ПДШ).

Введение

В настоящее время ПДШ широко используются в качестве структурных элементов гетеродина и детектирующих элементов в когерентных приемниках, прямых детекторах изучения в высокочастотном, сверхвысокочастотном и терагерцовом диапазонах частот [1, 2]. Важным параметром нелинейного устройства преобразования сигнала на основе ПДШ является ширина диапазона входных рабочих частот. Общеизвестными типами сверхширокополосных планарных антенн являются спиральная антенна и антенна Вивальди [3]. Использование последней позволяет отказаться от использования классической квазиоптической схемы реализации устройства, упростив входную оптику за счет исключения полусферической кремниевой линзы, в фокальной плоскости которой должна располагаться планарная антенна [4]. При этом полоса рабочих частот, диаграмма направленности и согласование с диодным элементом остаются сравнимыми со случаем использования спиральной антенны с линзой.

Экспериментальные результаты измерения антенны Вивальди

Для анализа эффективности антенны Вивальди в качестве входной оптики ПДШ детектора был изготовлен образец антенны с диапазоном рабочих частот 10-20 ГГц, геометрия которого была рассчитана согласно полуэмпирической модели представленной в [5]. В качестве материала мы использовали текстолитовую подложку с диэлектрической проницаемостью 2,4 и толщиной 1 мм. Результаты измерения импеданса и диаграмм направленности в E и H плоскостях представлены на рис. 1 и рис. 2. соответственно. Согласно рис. 2, импеданс антенны на частоте 16 ГГц равен 51,3 - i0,2 Ом. В дальнейшем нами планируется масштабировать геометрию антенны для использования на частоте 450 ГГц и интегрировать ее с ПДШ.

Анализ эффективности антенны Вивальди

Полагая, что при адаптация геометрии для более высоких частот ее импеданс изменится не существенно, можно оценить ее согласование с диодом на частоте 450 ГГц. Для этого используя данные полученные путем анализа вольтамперной характеристики диода, был рассчитан его импеданс, который составил 50 + *i*29,5 Ом на частоте 450 ГГц. В таблице 1 представлены параметры ПДШ по постоянному току, использованные для расчета импеданса диода в рамках RC-модели [6]. С учетом значений импедансов антенны и диода модуль коэффициента отражения по амплитуде составил 0,28, что говорит об их неплохом согласовании по мощности: 0,92. В тоже время фазовое рассогласование является не существенным при детектировании сигналов непрерывной генерации и широких импульсов.

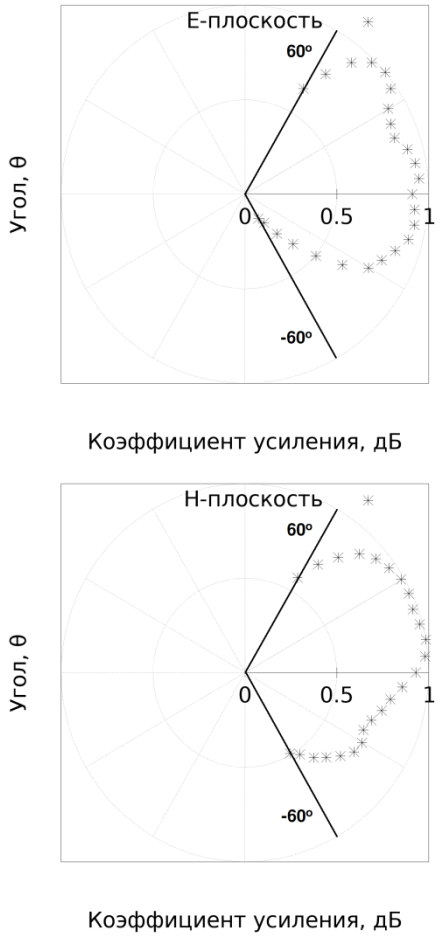


Рис.1.

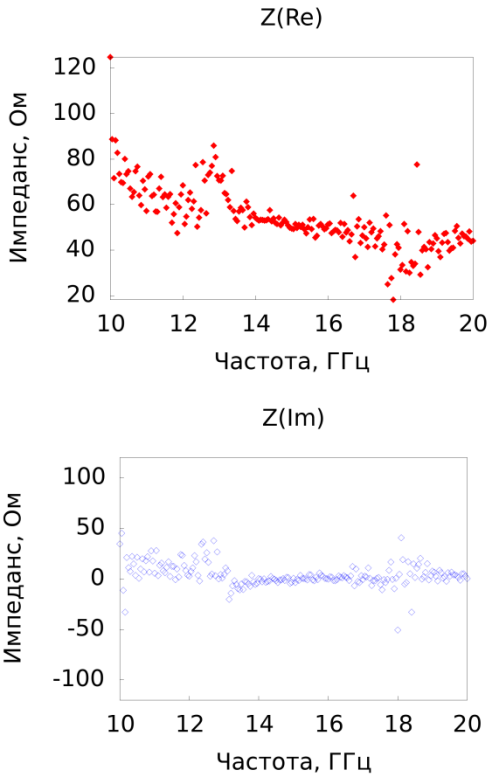


Рис.2.

Таблица 1. Параметры ПДШ по постоянному току

Материал подложки	SI-GaAs
Коэффициент неидеальности	1,3
Ток насыщения	11 пА
Высота барьера Шоттки	0,75 эВ
Полное последовательное сопротивление	50 Ом
Рабочее напряжение смещения (при токе ~200 мкА)	0,6 В

Заключение

Предлагаемая топология детектора позволит отказаться от использования линзы в линии входной оптики, что существенно упростит конструкцию и может быть использовано для изготовления матричного диодного устройства.

Список литературы:

1. Siegel P. H. Terahertz technology //IEEE Transactions on microwave theory and techniques. – 2002. – Т. 50. – №. 3. – С. 910-928.
2. Mehdi I. et al. THz diode technology: status, prospects, and applications //Proceedings of the IEEE. – 2017. – Т. 105. – №. 6. – С. 990-1007.
3. Mehdipour A., Mohammadpour-Aghdam K., Faraji-Dana R. Complete dispersion analysis of Vivaldi antenna for ultra wideband applications //Progress In Electromagnetics Research. – 2007. – Т. 77. – С. 85-96.
4. Shurakov A. et al. Input bandwidth of hot electron bolometer with spiral antenna //IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2012. – Т. 2. – №. 4. – С. 400-405.
5. Pitra K., Raida Z. Planar millimeter-wave antennas: a comparative study //Radioengineering. – 2011. – Т. 20. – №. 1. – С. 263-269.
6. Shurakov A. et al. Ti/Au/n-GaAs planar Schottky diode with a moderately Si-doped matching sublayer //Microelectronic Engineering. – 2018. – Т. 195. – С. 26-31.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ ВОДИТЕЛЯ ПО ОТПЕЧАТКУ ПАЛЬЦА

А.Д. Ротай
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается разработка системы аутентификации водителя по отпечатку пальца. Разработана структура, проведен обзор существующих датчиков, а также подобраны основные компоненты системы.

Введение

В настоящее время автомобиль стал неотъемлемой частью жизни человека. По данным «Автостат-Инфо» на начало 2020 года в Москве насчитывалось 3808384 легковых автомобиля [1]. Большой проблемой владения автомобиля являются угоны. По данным ГИБДД за 2019 год было угнано 20017 автомобилей, то есть почти 55 автомобилей ежедневно [2]. В таблице 1 представлены 5 самых угоняемых моделей среди иномарок за 2019 год [3]. В 2020 году мало что изменилось, самыми угоняемыми моделями являются те же, что и в 2019[4]. Цель данной работы - снижение числа угонов.

Таблица 1. Самые угоняемые модели среди иномарок за 2019 год

Место	Марка и модель	Количество угонов за год
1	Hyundai Solaris	1171
2	Kia Rio	1161
3	Toyota Camry	778
4	Ford Focus	362
5	Toyota RAV4	345

Самыми угоняемыми автомобилями становятся «народные» автомобили, которые активно используются таксопарками и компаниями каршеринга. Данный факт объясняется слабыми заводскими системами охраны, а также высокой стоимостью нештатных систем, из-за чего владельцы отказываются от их установки. Но даже несмотря на высокую стоимость защитных систем, современные инструменты угона позволяют завладеть автомобилем с нештатными противоугонными системами за считанные минуты. Устройство, напрямую связанное с водителем при помощи биометрии, может стать решением данной проблемы. Для достижения цели выбран самый дешевый вид биометрических датчиков – датчик отпечатка пальца. Задачи работы: разработать структуру устройства, разработать принцип работы устройства, подобрать компоненты согласно принципу работы. В разделах работы рассмотрена разработка структуры устройства, принцип его работы и описан подбор необходимых компонентов.

Разработка структуры устройства

Устройство базируется на сканере отпечатка пальца, который сравнивает полученное изображение с эталонным, записанным в памяти. Для взаимодействия сканера отпечатка пальца с автомобилем используется печатный узел с микроконтроллером. Микроконтроллер, в свою очередь, управляет реле, отвечающим за подачу питания на стартер автомобиля. Для корректной работы устройства используются различные полупроводниковые элементы: резисторы, конденсаторы, кварцевый резонатор, регулятор напряжения в цепи, диод, светодиоды. Также в структуре устройства предусмотрена кнопка. На рисунке 1 представлена схема взаимодействия основных элементов устройства.

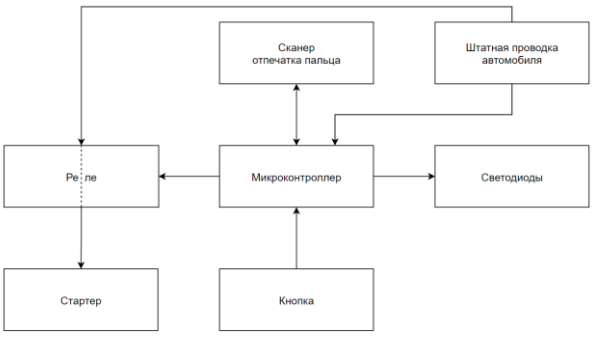


Рис.1. Схема взаимодействия элементов

Устройство будет заключено в корпус, обладающий защитой от вандального взлома благодаря срывным болтам. Соединительная проводка будет убрана в прочную оплетку, чтобы защитить ее от разрыва.

Принцип работы устройства

Устройство основано на сканировании отпечатка пальца и сравнении его с эталонным изображением, записан-

ным в памяти устройства. На рисунке 2 представлен алгоритм работы устройства.

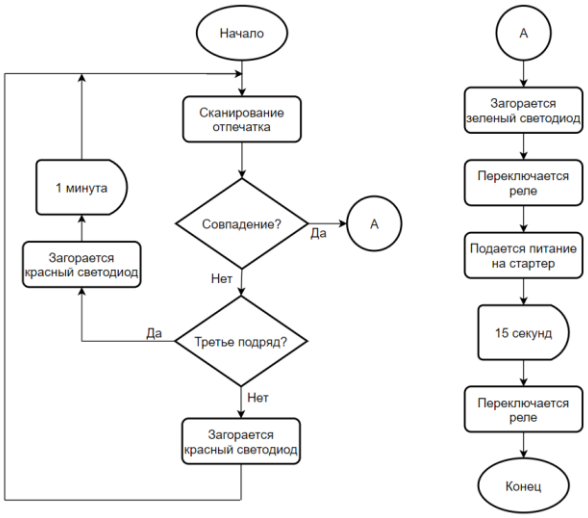


Рис.2. Алгоритм работы устройства

Устройство включается при появлении тока в проводке салона автомобиля. При совпадении устройство дает возможность запустить двигатель, переключая реле. Вместе с этим загорается зеленый светодиод. При несовпадении загорается красный светодиод. Если водитель не прошел аутентификацию 3 раза подряд, система блокируется на минуту. После срабатывания алгоритма аутентификации включается таймер, возвращающий управляющее реле в исходное положение спустя 15 секунд. Система переходит в режим ожидания и выключится только тогда, когда пропадет ток в проводке салона. Для повторного запуска необходимо еще раз пройти процедуру верификации водителя. Также в системе предусмотрена экстренная кнопка, позволяющая запускать двигатель в обход сканера отпечатка. Это необходимо, например, для проведения работ в автосервисе, предусматривающих запуск двигателя автомобиля. Для защиты системы от вандального способа обхода системы, предусмотрен алгоритм проверки цепи на разрыв. В случае обнаружения разрыва цепи реле будет всегда в исходном положении. Чтобы вернуть системе работоспособность, необходимо восстановить цепь. Питание системы будет происходить из штатной проводки салона автомобиля. Это позволит снизить энергопотребление и избежать разряда аккумулятора при простое.

Таким образом, структура системы состоит из управляющего блока, реле, сканера отпечатка пальца, полупроводниковых элементов и кнопки.

Подбор компонентов

Подбор компонентов – важная часть данной работы, так как от правильно выбранных элементов устройства зависит его надежность и работоспособность в различных условиях. В качестве основы устройства был выбран микроконтроллер производства Atmel – ATtiny4313. Выбор сделан был из-за его небольших размеров и подходящих параметров памяти и производительности, а также ввиду наличия опыта в работе с подобными устройствами. Микроконтроллер представлен на рисунке 3. В качестве языка программирования для управления данным устройством используется C++.

В паре с ним работает емкостный сканер отпечатка пальца R502 от компании HZGROW. Данный сканер был выбран ввиду его типа (емкостный сканер), дешевизны, а также размера и форм-фактора, позволяющего встроить его в любой автомобиль, не испортив внешний вид интерьера. На рисунке 4 представлен внешний вид данного сканера отпечатка пальца.

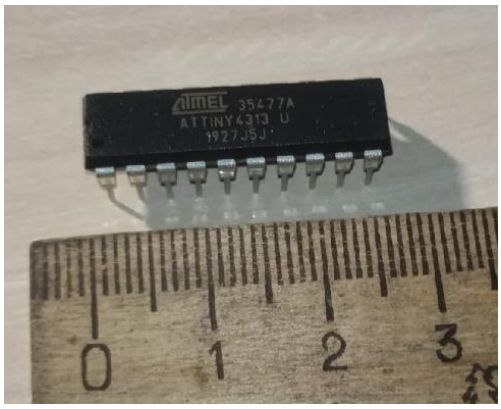


Рис.3. Микроконтроллер Atmel ATtiny4313

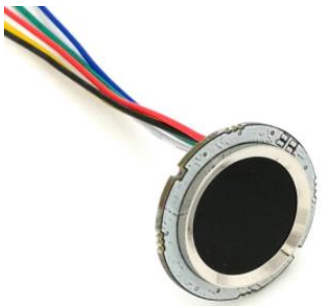


Рис.4. Сканер отпечатка пальца R502

Кнопка выбрана без фиксации, так как необходимо кратковременное нажатие для активации системы. Кварцевый резонатор подбирался согласно частоте микроконтроллера.

Заключение

Биометрическая идентификация водителя может стать действенным средством в вопросе защиты автомобиля от неправомерного доступа к нему.

В работе проведена разработка структуры системы, разобран принцип работы, а также подобраны компоненты для реализации устройства на практике. Таким образом, имеется база для создания охранных систем на базе сканера отпечатка пальца.

Список литературы:

1. В Москве посчитали количество автомобилей :: Autonews [Электронный ресурс] URL: https://www.autonews.ru/news/5e5cf14f9a794710e8607c92 (дата обращения: 13.02.2021)

2. Статистика угонов 2019. Прогноз на 2020. – Угона.нет. [Электронный ресурс] URL: https://www.ugona.net/article/statistika-ugonov-2019-prognoz-na-2020-383.html (дата обращения: 14.02.2021)

3. Рейтинг самых угоняемых моделей. Статистика от числа продаж. [Электронный ресурс] URL: https://www.drom.ru/info/misc/77367.html (дата обращения: 14.02.2021)

4. Статистика угонов автомобилей в России 2019-2020, рейтинг угона [Электронный ресурс] URL: https://yasvidetel.ru/theft/statistika-ugonov (дата обращения: 14.02.2021)

СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ «КОЭФФИЦИЕНТА КАЧЕСТВА» РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НЕПИЛОТИРУЕМЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

П.С. Королев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящей работе описан способ автоматизации расчетной оценки «коэффициента качества производства» радиоэлектронной аппаратуры непилотируемых автоматический космических аппаратов. Внешний и внутренний аудит в автоматизированном режиме позволит иметь наглядное представление о невыполненных требованиях, указанных в нормативно-технической документации при проектировании радиоэлектронной аппаратуры непилотируемых автоматический космических аппаратов.

Введение

Стремительное развитие электроники, как науки, привело, в настоящее время, к возможностям автоматизации сложных систем, например, таких как непилотируемый автоматический космический аппарат (АКА). Ярким примером такого типа аппаратов является искусственный спутник Земли (ИСЗ) со сроком активного существования на геостационарной орбите (ГСО) до 15 лет [1]. Подобные системы в современном мире являются необходимыми для предоставления услуг космической связи для поддержания развития инфокоммуникационных технологий [2].

Россия является одной из лидирующих стран в этой отрасли (ракетно-космической) и конкурирует на данный момент только с США и Китаем. Однако, статистика отказов, согласно источнику [3] свидетельствует о том, что российские ИСЗ имеют худший показатель отказов, приходящихся на один ИСЗ, а именно один отказ приходится на каждый пятый ИСЗ. Сравнивая с США, один отказ приходится на каждый двадцатый американский ИСЗ, а с Китаем, то один отказ приходится на каждый шестидесятый китайский ИСЗ.

В связи с этим, ухудшается рентабельность России в предоставлении услуг космической связи среди перечисленных, конкурирующих между собой стран. Все это свидетельствует о том, что для российских непилотируемых АКА в целом не достигается целевой уровень показателей надежности по причине наличия недостатков в стратегии ее обеспечения.

Поэтому возникает необходимость своевременного выявления недостатков в стратегии обеспечения надежности непилотируемых АКА на этапе проектирования. А на таких этапах, как аван-проект, эскизное, техническое и рабочее проектирование действуют специальные Положения, ГОСТы, ОСТы, Рекомендации, т.е. нормативно-техническая документация (НТД). Помимо этого, должна правильно (эффективно) функционировать система менеджмента качества (СМК) предприятия, включая систему менеджмента надежности СМН). Таким образом решается задача проверки выполнения необходимых требований, указанных в НТД. Это возможно благодаря «коэффициенту качества производства» («ККП»). Цель данной работы состоит в повышении достоверности оценки показателей надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) непилотируемых АКА. Задачами являются: обзор и анализ способов расчетной оценки «ККП»; исследование категорий отказов РЭА; и разработка программного обеспечения для оценки уточненного «ККП».

В разделе 1 приведены категории отказов РЭА с 1990 по 2010 г.г. В разделе 2 описан способ расчетной оценки «коэффициента качества производства» на этапе проектирования РЭА.

Категории отказов

Недостатки являются многофакторными из-за сложности разработки подобных систем. Авторы источника [4] и данные крупнейшего в мире Центра исследования надежности (Reliability Information Analysis Center) (по состоянию на 2010 г.) позволяют выявить эти факторы на общем уровне для РЭА. Диаграмма распределения причин отказов РЭА для гражданского назначения представлена на рисунке 1.

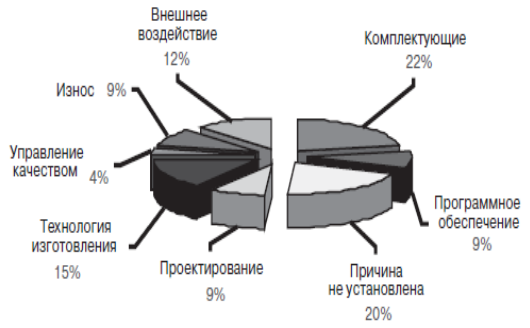


Рис.1. Диаграмма распределения причин отказов РЭА непилотируемых АКА

Несмотря на то, что диаграмма (рис. 1) представлена только лишь для РЭА гражданского назначения, то можно принять за основу данную диаграмму для РЭА специального назначения, т.к. информация для таких РЭА является засекреченной. Подобная диаграмма (рис. 1) приведена и в американском справочнике [5], но категории отказов «Причина не установлена» взамен указана «Отказы из-за несовершенства методов контроля». Подробное рассмотрение категорий отказов приводится в работе [6].

Описание способа оценки «ККП»

В работе [7] приведен обзор и анализ методик оценки интенсивности отказов РЭА непилотируемых АКА, в математические модели которых, в виде сомножителя, входит «ККП».

Также отмечено, что для решения проблемы достоверной оценки «ККП» разработана методика, отличительной особенностью которой является применение структурированного подхода к формированию вопросника согласно действующей НТД с учетом СМК для последующей экспертной оценки, как внешнего аудита, так и внутреннего [7].

В связи с этим предлагается следующая реализация ПО в виде 3 блоков (1 – заполнение базы данных требованиями, согласно НТД; 2 – определение весовых коэффициентов требований экспертами; 3 – анкетирование (аудит: внутренний и внешний).

Заполнение базы данных происходит согласно онтологической структуре (IDEF-5).

Определение весовых коэффициентов требований экспертами происходит с помощью нечеткой логики. Дело в том, что в соответствии со стандартом ISO 9001-2015 [8] качество продукта должно быть измеряемым. Однако, помимо требований существует множество других факторов, влияющих на результат. Исходя из этого, необходимо оценивать качество документов с требованиями (НТД) и моделей требований. Основными «критериями качества» можно выделить следующие: ранжирование (важность), сложность, правильность, однозначность, непротиворечивость, проверяемость, понимаемость. Поэтому, согласно данным крите-

риям и можно проводить операцию по выявлению весовых коэффициентов каждого требования в НТД.

Анкетирование – проведение как внутреннего, так и внешнего аудита осуществляется в виде ответов на вопросы (проверка выполнения требований, согласно необходимой НТД) – по подобию с [5]. Пример численной оценки коэффициентов, входящих в модель ККП, согласно работе [7] на уровне разделов отказов приведен на рисунке 2.

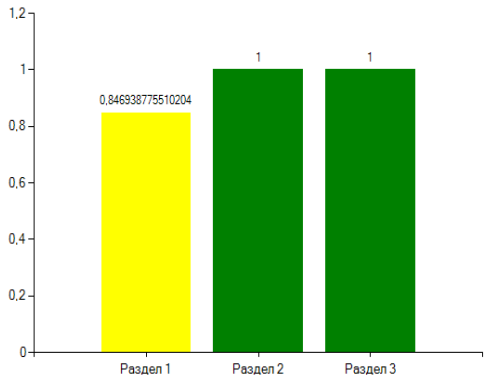


Рис.2. Гистограмма, отображающая результат численной оценки коэффициентов в разрабатываемом программном обеспечении на уровне разделов в конкретном ГОСТ (условном)

Таким образом, демонстрируется наглядное и удобное представление результатов прохождения внутреннего и внешнего аудита согласно структурированному подходу, даже без детальной оценки «ККП». Гистограмма (рис. 2) позволяет еще на этапе проектирования выявить недостатки в необходимых операциях (требованиях) и разобравшись с ними детально – устранить. Из рисунка 2 видно, что Раздел 1 имеет ряд неправильно выполненных требований или вообще не выполненных. Поэтому выбрав следующий уровень по онтологической структуре (IDEF5) «Направленность» (процесс, продукт, персонал) можно узнать кто именно и что именно не выполнил.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что представленный в работе способ расчетной оценки «коэффициента качества производства» с учетом требований СМК позволит своевременно контролировать выполнение мероприятий для выпуска надежных и качественных РЭА непилотируемых АКА, применяемых для обеспечения формирования, приема, обработки и передачи информации. Это приведет к созданию конкуренции предприятиями России мировым лидерам в предоставлении услуг космической связи, а разрабатываемое программное обеспечение позволит автоматизировать процесс оценки «коэффициента качества производства» и даст наглядное представление об уровне выполнения того или иного требования, указанного в НТД.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 56526-2015. Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования. [Дата введения 2016-04-01]. - М.: Стандартинформ, 2016. – 55 с. (Руководящий документ).

2. Севастьянов, Н.Н., Андреев А.И. Основы управления надежностью космических аппаратов с длительными сроками эксплуатации: учебное пособие. М.: Томск: ТГУ, 2015. 266 с.

3. Отказы ракетно-космической техники. URL: https://www.ecoruspace.me/orbital_failures.html (дата обращения: 10.04.2020).

4. Белоус, А. И. Космическая электроника. В 2-х книгах. Книга 1 / А.И. Белоус, В.А. Солодуха, С.В. Шведов. – Москва: Техносфера, 2015. – 696 с.

5. RIAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217PlusTM reliability prediction models. USA: RIAC, 2006. 170 p.

6. Артюхова М. А., Жаднов В. В., Полесский С. Н. Оценка показателей надежности электронных средств с учетом многофакторного коэффициента качества производства // Компоненты и технологии. 2014. Т. 153, № 4. С. 204-207.

7. Королев П. С., Жаднов В. В. Методика оценки «коэффициента качества производства» для модели интенсивности отказов радиотехнических приборов непилотируемых автоматических космических аппаратов с учетом системы менеджмента качества // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. № 3. С. 264-277.

8. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. [Дата введения 2015-11-01]. - М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с. (Руководящий документ).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ TPMS ДЛЯ МОТОВЕЗДЕХОДНОЙ ТЕХНИКИ И КРОССОВЫХ МОТОЦИКЛОВ

А.Р. Демокидов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе приведен процесс создания TPMS (англ. *tire pressure monitoring system)* для мотовездеходной техники и кроссовых мотоциклов. Система включает в себя автономное устройство, которое измеряет давление в шинах и рекомендует повысить или снизить его для требуемой поездки при различных погодных условиях, а также ведет непрерывный мониторинг давления в шинах. Рекомендации и результаты измерений отображаются на экране мобильного телефона.

Введение

Актуальность разработки подтверждается проведенным опросом в социальных сетях, где пользователи мотовездеходной техники и кроссовых мотоциклов желают приобрести такую систему, т.к. на рынке в настоящий момент нет подобных, измеряющих давление в диапазоне от 0.1 до 1.2 [бар] с высокой точностью 0.01[бар], что необходимо для шин перечисленной техники.



Рис.1. Рекомендуемые показатели давления в шинах

Целью работы является повышение безопасности передвижения на мотовездеходной технике и на кроссовых мотоциклах. Данное устройство повышает эффективность контроля внутрикамерного низкого давления в шинах перечисленной техники; помогает пользователям подобной техники решать следующие проблемы: экономия топлива, сохранение целостности протекторов шин, обеспечение оптимального сцепления шин с дорожным покрытием и обеспечение безопасности как водителя и пассажиров, так и других участников дорожного движения.

В данной работе будет объяснена важность правильной накачки шин и постоянного мониторинга давления в них. Также будут представлены результаты разработки системы и будущие планы.

Архитектура реализуемого решения

Система будет состоять из следующих компонентов: измерительный модуль, включающий в себя датчик, расположенный на ниппеле внутри колеса (2-4 в зависимости от транспортного средства) и передающее устройство; центральный модуль, расположенный на приборной панели, включающий в себя приёмопередатчик; мобильное приложение.



Рис.2. Архитектура системы

Мобильное приложение будет поддерживаться только OS Android.

Важность правильной накачки шин

Постоянное измерение давления шин позволит избежать множества проблем и сделает поездку максимально безопасной. Давление в шинах влияет не только на долговечность покрышек, но и на другие параметры при эксплуатации транспортного средства. Езда с шинами, накачанными в соответствии с рекомендациями нашего прибора, помимо всего прочего, в значительной степени улучшает прямолинейное движение транспортного средства и его управляемость на поворотах, в том числе при торможении и на низких скоростях.

Благодаря правильному давлению в шинах покрышка сохраняет задуманную производителем форму и имеет пятно контакта, обеспечивающее максимальное сцепление, курсовую устойчивость на дороге, высокую управляемость автомобилем, устойчивость в поворотах, торможение и отвод влаги. Перекаченные и недокаченные шины имеют сильную деформацию пятна контакта, что приводит к значительному сокращению сцепления и быстрому износу.



Рис.3. Пятно контакта

Текущие результаты

На данный момент спроектирована модель сборки датчика и колеса в программном комплексе САПР SolidWorks. Было использовано как твердотельное моделирование. Основным плюсом Solid Works является то, что программа позволяет производить над моделью виртуальные технические испытания. 3D-модели позволили лучше понять крепление системы к колесу.

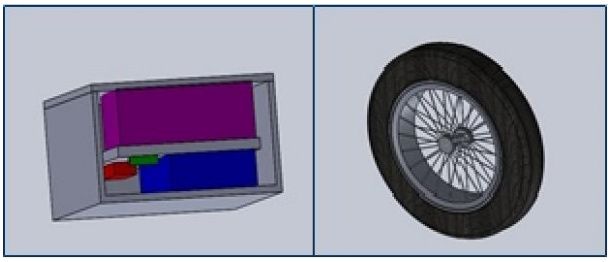


Рис.4. 3D-модели модуля измерения и колеса

Также смоделирована схема электрическая принципиальная и запрограммирован МК семейства PIC. Схема была смоделирована в САПР Proteus, код для МК написан в MPLAB на языке С. Основными компонентами схемы являются микроконтроллер PIC12F1822, датчик давления MPL3115A2 и два подтягивающих резистора с сопротивлением в 1000[Ом]. МК соединен с датчиком давления при помощи I2C шины. МК PIC в данном случае является мастером и генерирует такты на линии SCL (линия синхронизации), однако управлять линией SDA (линия данных) способен как мастер, так и ведомый в зависимости от направления передачи. Следующим этапом будет подключение модуля Bluetooth к МК через порты RA0 и RA1 при помощи интерфейса для связи цифровых устройств с передачей данных в последовательной форме UART(USART).

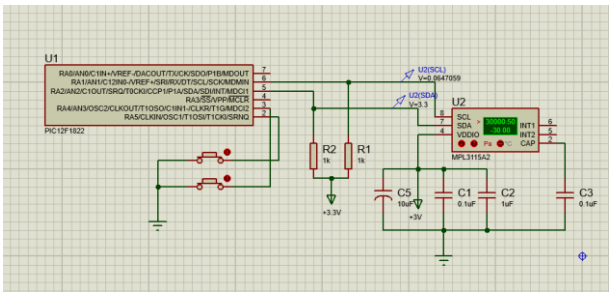


Рис.5. Схема электрическая принципиальная

Была спроектирована и реализована архитектура мобильного приложения с декларацией методов в интерфейсах. Для экранов регистрации, личного кабинета и домашнего экрана были полностью прописаны все классы и методы. Написаны методы запросов к серверу с подстановкой тестовых данных. Планируется дописать классы для оставшихся экранов, разработать серверную и клиентскую БД, написать код для сервера и запустить его.

Заключение

Таким образом, принципом работы системы является измерение показателей датчиками, передача данных сначала на микроконтроллер, а потом на Bluetooth модуль, получение данных приложением, обработка информации и вывод на экран смартфона.

По окончании разработки планируется оформить патент на полезную модель, далее привлечь клиентов и маркетолога. Найти инвестора и вывести продукт на мировой рынок.

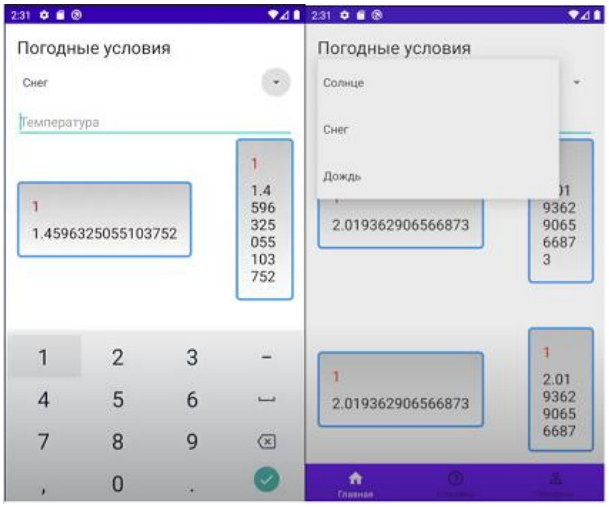


Рис.6. Мобильное приложение

Список литературы:

1. Давление в шинах для бездорожья. [Электронный ресурс]: <https://www.michelin.ru/motorbike/tips-and-advice/advice-motorbike/tyre-pressure/off-road>, 14.02.2021.

2. Пятно контакта. [Электронный ресурс]: <https://www.koleso-russia.ru/catalog/about/tires/davlenie_v_shinakh/>, 14.02.2021.

3. Семенов Б. Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях. Изд. 2-е, доп. — М.: СОЛОН-Пресс, 2010. 224 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛЕЙ БИПОЛЯРНЫХ И МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Р.М. Рахимов, П.А. Хлынов,
А.И. Бычков, В.А. Костина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Описаны промежуточные результаты разработки системы определения параметров SPICE-моделей для партий биполярных и МОП-транзисторов малой и средней мощности: измерительная оснастка, программные модули для управления измерениями, обработки результатов, расчёта и оптимизации значений параметров SPICE-моделей.

Введение

На отечественном рынке транзисторов достаточно остро стоит проблема отсутствия их spice-моделей в комплекте поставки [1]. Это обстоятельство препятствует возможности точного расчёта и оптимизации характеристик электронной аппаратуры, разрабатываемой на основе таких компонентов.

В данной работе рассматривается разработка дополнительного комплекса с возможностью автоматизированного измерения партий компонентов для решения этой проблемы. В этот комплекс входит создание аппаратной и программной части на основе тестера «Формула 2К» или отдельных контрольно-измерительных приборов, объединённых под управлением компьютера. Полученная система позволит превратить процесс определения параметров SPICE-моделей в техническую работу, не требующую высокой квалификации исполнителей. Кроме того, система будет полезна студентам и научным сотрудникам лаборатории 220 и других лабораторий при выполнении исследовательских и проектных работ.

Существующие аппаратно-программные решения такие, как, например, анализатор мощных устройств B1500A фирмы Agilent [2], система характеризации полупроводниковых приборов Keithley 4200–SCS [3], обладают избыточной для данной задачи функциональностью и являются чрезвычайно дорогими.

На данный момент поставлены цели: повышение точности, скорости работы; расширение возможностей системы автоматизированного измерения параметров. Необходимо было решить следующие задачи: 1) изготовление оснастки; 2) разработка программного обеспечения, т. е. скрипта для управления процессом измерения и отдельного MATLAB приложения для определения параметров spice-моделей.

1. Алгоритм работы системы

Порядок работы пользователя с системой представлен на блок-схеме (рис. 1). Перед началом работы необходимо подключить исследуемые компоненты к устройству контактирования и загрузить в программную среду тестера. Измерения проводятся в автоматическом режиме, после чего результаты измерений выгружаются в файл БД, который загружается в разработанный программный модуль. Далее проводится статистическая обработка результатов измерений, вычисление и оптимизация параметров SPICE-моделей. Результирующая карта модели выгружается в текстовый файл специального формата.

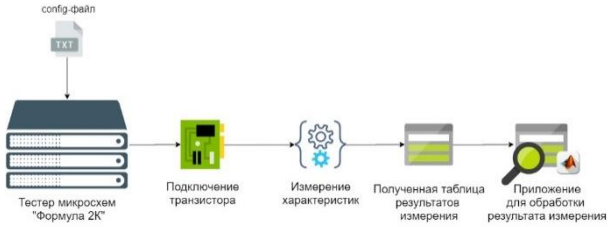


Рис.1. Блок-схема работы системы

2. Аппаратная часть

2.1. Измерительная оснастка

Разработанная измерительная оснастка является выносным устройством контактирования и подключается к тестеру посредством измерительной шины. Оснастка представляет собой двухслойную печатную плату, на которой располагается объект измерения и дополнительные элементы для обеспечения его работы (рис.).

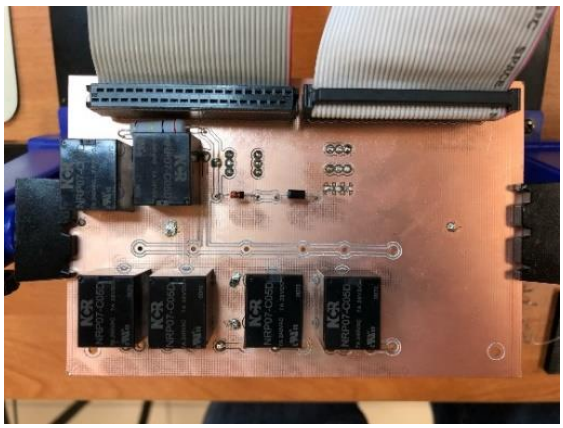


Рис.2. Фотография устройства контактирования

Электронная схема оснастки для измерения параметров транзисторов выполнена по схеме с общим истоком (для МОПТ) или общим эмиттером (для БТ). Она смонтирована на двухслойной печатной плате толщиной 1 мм, выполненной из фольгированного стеклотекстолита (ГОСТ 10316–78) с размерами 157,81 мм*132,08 мм. На плате располагаются следующие элементы: разъёмы для подключения объектов тестирования различного форм-фактора, магазин сопротивлений нагрузки различного номинала (в диапазоне 1÷1000 Ом), механические реле для магазина сопротивлений, защитная схема для затвора транзистора. Две штыревые вилки 2*20 с шагом 2,54 мм, расположенные на плате, с помощью шлейфов подключают к тестеру, в соответствии с указаниями производителя тестера.

2.2. Обеспечение стабильной работы схемы

На обеих сторонах платы свободное пространство занимает сплошной металлизированный слой земли, что обеспечивает дополнительную помехозащищённость [4]. Расположение слоёв земли и трассировка проводников проведены в соответствии с общепринятыми правилами [5], что позволяет избежать перегрева отдельных участков платы, защитить от механических повреждений, а также обеспечить защиту от паразитных электрических параметров (паразитную емкость между рядом лежащими проводниками или проводником и экранным слоем, их взаимную индуктивность, индуктивность сигнальных проводников). Кроме того, для обеспечения защиты затвора МОПТ от пробоя присутствует схема [5] на основе резистора 200 кОм и стабилитрона с диодом Шоттки, подключённых к цепи затвора (рис. ***3***). Во время проведения измерения плата с подключенными к ней транзисторами закрепляется винтами в металлическом корпусе (рис. ***4***), обеспечивающем защиту от внешних факторов. На стенках корпуса установлены коаксиальные разъёмы для соединения с КИП.

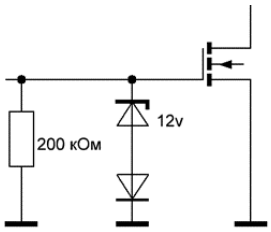


Рис.3. Схема защиты затвора МОП-транзистора

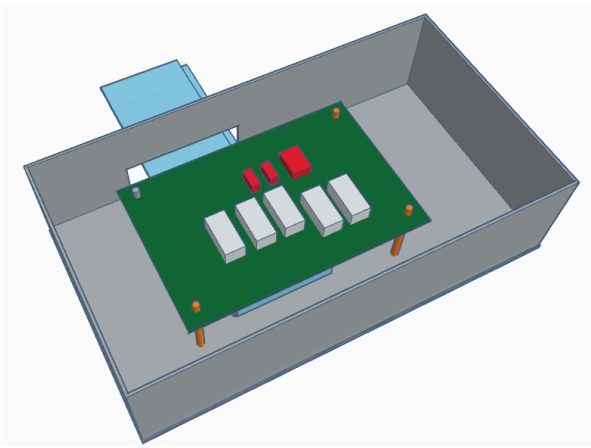


Рис.4. Модель защитного корпуса

В разработке находится второй вариант защитного корпуса. Его стенки будут состоять из двух проводящих слоев с диэлектриком между ними – для дополнительного снижения уровня шума при измерениях. Предусмотрено подключение нескольких видов контактных плат–держателей для расширения спектра корпусов тестируемых компонентов.

3. Программная часть

3.1. Скрипт для управления процессом измерения

Данная программа (рис. 5), разработанная в программной среде тестера «Формула-2К», предназначена для управления процессом измерения статических ВАХ транзистора (входных, выходных, передаточных), для неё задаётся набор значений управляющих напряжений и токов, тип характеристики.

```
 Vec, Stop: Integer;
BEGIN
 start_beg_hand(Start_Vec, Stop_Vec, FC_STOP_END, FC_NSTOP_ERROR,
FC_CONTINUE);
 //dozhidaemsya okonchaniya FK
 repeat
 Stop := check_stop(Vec);
 PrintResult('FK', '', Stop_Vec, START_VEC,
  STOP_VEC, Stop) ;
 until Stop <> FC_BUSY;
END;

procedure MM_Run_FC();
const
UDD_LOW = 4.75; //[V] ponizhennoe napryazhenie pitaniya SN74HCT00N
UDD_HGH = 5.25; //[V] povyshennoe napryazhenie pitaniya SN74HCT00N
UDD_I_LIM = 0.01; //[A] tok ogranicheniya istochnika VCC//!!Bylo 0.2(Supply current??)
UIL = 0; //[V] vhodnoe napryazhenie logicheskogo nulya//!!Bylo 0
UIH = 4.5; //[V] vhodnoe napryazhenie logicheskoj edinicy//!!Bylo 4.5
procedure Run_FC(Udd: Real); //vnutrennyaya (dlya MM_Run_FC) procedura
var
Param, s : string;
FC_State : Integer; //tekushchee sostoyanie FK
Vec : Integer; //adres vektora, na kotorom ostanovlen FK
BEGIN
 SetPower(pVDD, Udd, UDD_I_LIM, Source_On);
 StrCopy(Param, 'Udd=');
 RealToStr(Udd, s);
 StrConcat(Param, s);
 StrConcat(Param, 'V');
 start_beg_hand(FC_START_VECTOR, FC_STOP_VECTOR, FC_STOP_END, FC_STOP_ERROR, FC_NCONTINUE);
 repeat FC_State := check_stop(Vec); until FC_State <> FC_BUSY;
 if FC_State = FC_OK then //FK zavershen s rezul'tatom GODEN
 PrintResult('FK', '', FC_STOP_VECTOR, FC_START_VECTOR,
  FC_STOP_VECTOR, Param)
 else //FK zavershen s rezul'tatom BRAK
 PrintResult('FK', '', Vec, FC_STOP_VECTOR, FC_STOP_VECTOR,
  Param);
END;
```

Рис.5. Фрагмент кода для управления процессом измерения

Реализована динамическая подстройка диапазона измерения, предусмотрены ограничительные действия в случае превышения максимально допустимого тока или мощности.

Используемый в составе нынешнего варианта системы тестер «Формула-2К» способен выдать по измерительным линиям ток не более 400 мА, в связи с чем здесь возможно провести измерения характеристик только маломощных транзисторов. Для обхода этого ограничения разрабатывается альтернативный вариант системы, в котором планируется использовать комбинацию генератора переменных сигналов, осциллографа и программное обеспечение LabVIEW, а измерения производить в импульсном (квазистатическом) режиме. Такой режим также позволит избежать нагревания транзисторов большей мощности.

В результате запуска разработанной программы формируется файл базы данных со значениями напряжений и токов на выводах транзистора, а также некоторые параметры измерения. Полученная таблица передаётся во внешнее приложение для экстракции параметров.

3.2. Приложение для определения параметров SPICE-моделей

Приложение для определения параметров SPICE-моделей разработано в программной среде MATLAB App Designer; оно получает на вход файл с результатами измерений. Приложение работает с базой данных, где хранятся результаты измерения и моделирования (одинаковой размерности). Оно позволяет выборочно построить графики измеренных характеристик (рис.), а также, задействуя

симулятор электрических схем LTSpice, графики смоделированных характеристик (на основе текущего набора параметров модели), что даёт возможность сопоставить их между собой.

Далее проводится статистическая обработка результатов измерений (устранение выбросов, сглаживание, усреднение). По команде пользователя по формулам с использованием результатов измерений рассчитываются основные параметры модели транзистора (VTO, UO, RS, и т. д.).

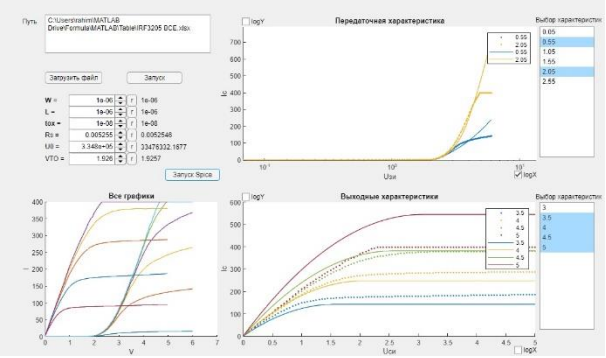


Рис.6. Интерфейс приложения для экстракции параметров

Пользователь может вручную изменить параметры модели и заново смоделировать характеристику или задействовать автоматизированную процедуру оптимизации параметров.

Результатом работы приложения является файл с набором параметров SPICE-модели в формате, требуемом для целевого симулятора электрических схем.

Заключение

Были разработаны алгоритмы и электрические схемы для проведения измерений характеристик и определения параметров spice-моделей партий транзисторов, с помощью тестера серии «FORMULA 2K». В отличие от существующих более универсальных решений разработанная система решает только необходимые задачи и имеет меньшую стоимость.

Проводится развитие разработанной системы за счёт подключения дополнительных контрольно-измерительных приборов, что позволит расширить её возможности.

Список литературы:

1. Леган Ю.Н. Разработка моделей полупроводниковых приборов // Электронные компоненты. – 2018. – № 10. – С. 68–74;

2. B1505A Power Device Analyzer / Curve Tracer User's Guide, Agilent Technologies, Inc. 2012;

3. Keithley 4200 SCS Semiconductor Characterization System, Keithley Instruments, 2011;

4. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Ю.Н. Кофанов, А.В. Сарафанов, С.И. Трегубов. – Электрон. дан. (4Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – (Компьютерные технологии в приборостроении: УМКД No 49-2007 / рук. творч. коллектива А.В.Сарафанов);

5. Что нужно знать цифровому инженеру об аналоговой электронике / Бонни Бейкер; пер. с англ. Ю. С. Магды. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 360 с.: ил. – (Серия «Схемотехника»). – Доп. тит. л. англ. – ISBN 978-5-94120-170-9.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ДЕФЕКТОСКОПА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА

А.Ю. Билалов, М.Г. Джамалутдинов, А.А. Чернецкий
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В рамках работы было проведено исследование возможности применения инфракрасного (далее-ИК) бесконтактного метода для обнаружения различных дефектов, изготовлены макет датчика и стенд для проведения испытаний. В ходе работы были проведены испытания макета ИК датчика, проведены тесты на различных поверхностях и дефектах, собраны и обработаны полученные данные. Исследование проводится в рамках разработки модуля дефектоскопа неразрушающего контроля рельсового полотна.

Введение

Железнодорожный транспорт в России и в мире не теряет своей актуальности. Отечественный железнодорожный комплекс является одним из крупнейших в мире. Этот факт говорит о несомненной значимости данного вида сообщения как для частных компаний, так и для обычных пассажиров. Стабильность и скорость железнодорожного сообщения является решающим фактором для обеих групп пользователей.

Осуществляя неразрушающий контроль полотна, можно добиться достаточной скорости и точности выявления дефектов. Одним из способов неразрушающего контроля является визуально-оптический метод [1], позволяющий выявлять внешние дефекты:

- сколы, поперечные и продольные трещины;
- пробоксовку и смятие.

Целью работы является изучение возможностей применения оптического преобразователя для дефектоскопии рельсового полотна железных дорог. Для достижения данной цели была поставлена задача разработки оптического инфракрасного датчика контроля дефектов поверхности рельсового полотна.

Работа состоит из:

- описания типовой структуры;
- отчета о проведении испытаний;

Сделаны выводы о возможности использования оптического ИК датчика для контроля дефектов поверхности рельсового полотна.

Типовая структура оптического ИК датчика расстояния

Датчик состоит из излучателя и приемника ИК диапазона. Далее полученные сигналы усиливаются и поступают в блок обработки [2]. Представлены результаты проведенных испытаний. Сделаны выводы о возможностях инфракрасных датчиков в дефектоскопии. Предложены варианты устранения некоторых недостатков системы.

Поток ИК излучения, генерируемый источником излучения (ИК фотодиодом), поступает на отражающую поверхность, откуда попадает на фотоприемник (фотодиод). Энергия принятого светового потока будет пропорциональна отражающим свойствам поверхности и расстояния до нее [3]. Типовая структура датчика приведена на рисунке 1.

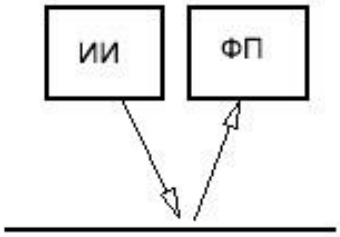


Рис.1. Типовая структура оптического инфракрасного датчика расстояния

В качестве приемника можно использовать фотодиод, фоторезистор [4]. Наибольшее распространение получил фотодиод в силу высокой чувствительности и линейной зависимости выходного тока от величины светового потока, попадающего на него [5].

Проведение испытаний

Испытания проводились с целью изучения возможности использования оптического датчика для дефектоскопии поверхности рельсового полотна:

- для контроля поперечных трещин и сколов более 1 мм;
- для контроля пробоксовки и смятия наружной поверхности рельса более 1 мм.

Примеры дефектов приведены на рисунке 2 и рисунке 3.

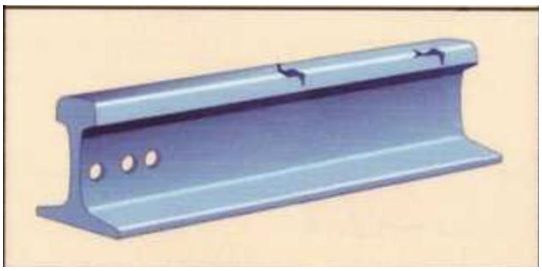


Рис.2. Пример поперечных трещин в голове рельса

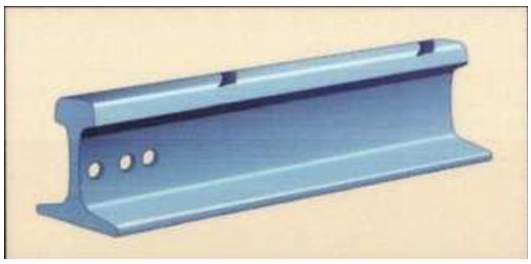


Рис.3. Пример пробоксовки рельсов колесами локомотива

Принципиальная электрическая схема датчика показана на рисунке 4.

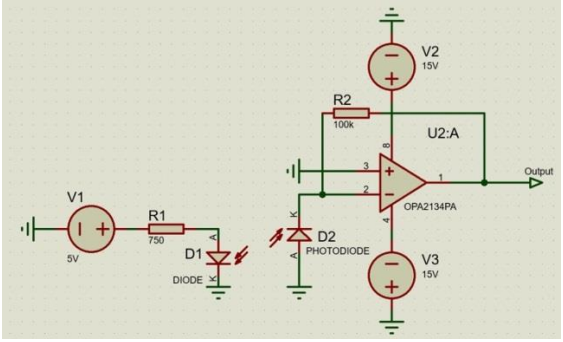


Рис.4. Принципиальная электронная схема датчика

Выходное напряжение датчика контролируется мультиметром Rigol DM3068, подключённым к ПК.

Для определения возможности контроля пробоксовки и смятия наружной поверхности рельса было проведено исследование зависимости характеристики преобразователя от расстояния до исследуемого объекта. Датчик устанавливался над ровной поверхностью, на минимальном расстоянии от нее, и поднимался вверх с шагом в 1 мм. Было снято 40 показаний, на основании которых была построена необходимая зависимость. Результаты измерений показаны на рисунке 5.

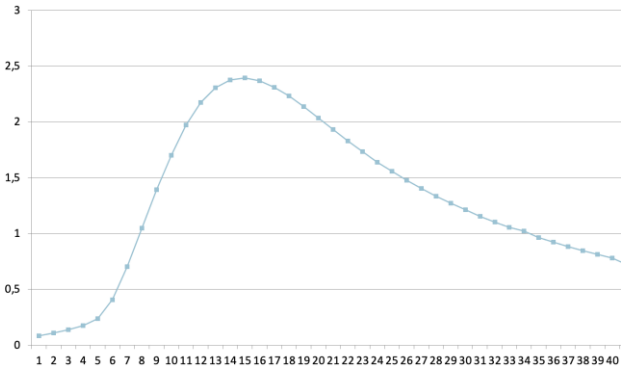


Рис.5. Зависимость выходного напряжения датчика от расстояния до исследуемого объекта

Чувствительность преобразователя на рабочем участке составила 3 мв/мкм. Таким образом разрешающая способность датчика позволяет контролировать дефекты от 1 мм.

Для проверки возможности применения датчика, для контроля трещин и сколов на специально подготовленной поверхности были вырезаны трещины различной ширины от 1 мм до 8 мм. Вид объекта отражения показан на рисунке 6.



Рис.6. Объект отражение

Результаты испытаний приведены на рисунке 7.

Датчик фиксировался на расстоянии 15 мм над исследуемой поверхностью. Подготовленная поверхность устанавливалась на подвижный стенд, который с проводил дефекты под датчиком с одинаковой скоростью.

Результаты испытаний показывают возможность обнаружения дефектов и определения их ширины.

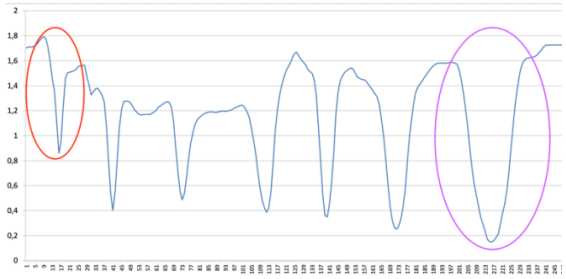


Рис.7. Результаты испытаний датчика. Падение в красном овале – дефект шириной 1 мм. Падение в фиолетовом овале – дефект шириной 8 мм

Выводы о возможности использования оптического ИК датчика для контроля дефектов поверхности рельсового полотна.

По итогам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

- ИК датчик позволяет определять пробоксовки и смятости поверхности рельсового полотна начиная с 1 мм;
- ИК датчик позволяет определять поперечные трещины и сколов поверхности рельсового полотна начиная с 1 мм;
- Выходной сигнал датчика пропорционален геометрическому размеру поперечной трещины, что позволяет сортировать трещины по размеру.

Так же были выявлены следующие недостатки:

- Изменение чистоты обработки поверхности приводит к незначительным изменениям показаний датчика;
- Выпадение осадков в виде дождя и снега приводит к значительным изменениям показателей датчика;
- Выходной сигнал незначительно зависит от интенсивности засветки солнечным излучением.

Последующие исследования будут направлены на разработку методов компенсации влияния неинформативных параметров на характеристику датчиков и разработку структурной схемы преобразователя в составе дефектоскопа.

Список литературы:

1. Виглеб, Г. Датчики/перев. М.А.Хацернова. – М.:Мир, 1989. -80 стр.
2. Зак, Е.А. Волоконно-оптические преобразователи с внешних модулей./ Е.А. Зак. – М.:ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 1989. -130 стр.
3. Красюк, Б.А. Световые датчики./ Б.А. Красюк, О.Г. Семенов, А.Г. Шереметьев и др. – М.: Машиностроение, 1990. -256 стр.
4. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник/перев. Ю.А. Заболотная, подред. Е.Л. Свинцова - М.: Техносфера, 2005. -587 стр.
5. Михеев, В.П. Датчики и детекторы/ В.П. Михеев, А.В.Просандеев. – М.: МИФИ, 2007. -172 стр.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ С ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯМИ

А.Т. Брудастов, С.В. Яловнаров, А.Н. Прокопьева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проводится моделирование тепловых процессов и аналогичный эксперимент, на основе полученных результатов оценивается погрешность моделирования тепловых процессов.

Данное исследование проводится в рамках разработки лабораторных стендов для учащихся и методических указаний к ним.

Введение

В современном мире при разработке различных электронных устройств как основной элемент конструкции используют печатные платы. Для получения максимально устойчивой работы схемы, реализованной на печатной плате, необходимо проводить моделирование различных процессов, в том числе и термических, поскольку мы всегда вынуждены учитывать нагрев элементов и температуру окружающей среды [1].

Целью данной работы является оценка погрешностей результатов моделирования тепловых режимов печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры (температур электрорадиоизделий).

Для выполнения поставленной цели была выбрана электрическая схема, выделяющая достаточное для исследования количество тепла, построена и рассчитана её модель в LTSpice, а также 3D модель в SolidWorks, получено распределение температур на 3D модели, проведён реальный эксперимент с электрической схемой, рассчитаны погрешности.

Моделирование тепловых процессов

SolidWorks — это единая интегрированная CAD/CAM/CAE/PDM-система, построенная по иерархическому принципу, базирующаяся на единой информационной модели и устанавливающая общие принципы взаимодействия прикладных модулей [1 - 3].

В данной работе исследования проводились на плате управления светодиодной цепью, состоящей из 10 светодиодов, 12 резисторов, 2 конденсаторов, потенциометра и двух микроконтроллеров. При изменении сопротивления потенциометра изменяется частота мигания светодиодов.

В программном комплексе LTSpice была смоделирована принципиальная схема данного устройства [4]. В результате моделирования был получен список тепловых мощностей каждого элемента схемы. После этого в программном комплексе SolidWorks была создана модель данной печатной платы (рис. 1).

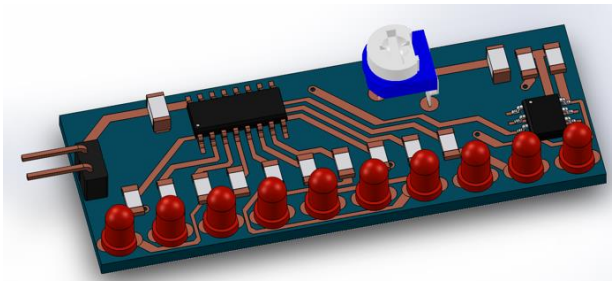


Рис.1. Модель печатной платы с элементами

В программе SolidWorks при тепловом моделировании для каждого элемента были указаны рассчитанные излучаемые мощности, после чего моделирование показало распределение температур на схеме (рис. 2).

Физический эксперимент

В лаборатории МИЭМ были проведены эксперименты с подключением платы к питанию и измерением температуры с помощью тепловизора (рис. 3).

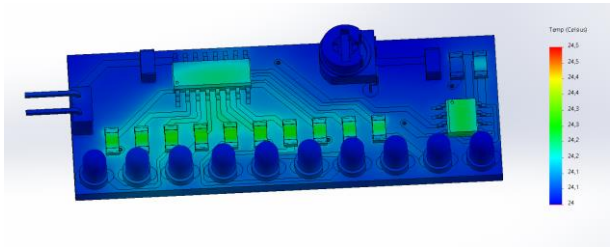


Рис.2. Распределение температур на схеме



Рис.3. Проведение эксперимента

Эксперимент проводился с блоком питания 5 вольт. Рабочее напряжение данной схемы от 5 до 15 вольт. При напряжении 5 вольт она нагрелась на один градус Цельсия за 15 минут работы. Результаты моделирования получились схожими с реальным экспериментом (рис. 2). Следующим шагом будет проведение эксперимента с напряжениями, близкими к максимально допустимым, чтобы более наглядно видеть нагрев компонентов схемы.

Расчет погрешностей

Температура, полученная при моделировании в SolidWorks $X_{Мод}$ = 24,3°C, температура, измеренная при проведении эксперимента, $X_{Реал}$ = 25,1°C. Абсолютная погрешность равна:

$$\Delta X = X_{\text{Реал}} - X_{\text{Мод}} = 0{,}8°\text{C} \quad (1)$$

Относительная погрешность равна:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{\text{Реал}}} \cdot 100\% = 3.19\ \% \quad (2)$$

Подготовка лабораторного стенда

Для проведения лабораторной работы есть возможность делать разные варианты с помощью изменения сопротивления на подстроечном резисторе и напряжения на входе. Студенты за занятие должны будут рассчитать мощности на элементах, задать эти мощности в программе моделирования и пока рассчитываются температуры, студент должен снимать значения температур с помощью тепловизора и пирометра. По полученным результатам студент сможет сравнить полученные температуры и рассчитать погрешности моделирования в SolidWorks.

Заключение

Оценка погрешностей такого широко используемого САПР как SolidWorks очень важно для использующих его студентов – будущих работников предприятий электронной промышленности. Это повысит эффективность их работы и покажет важность проведения не только виртуальных, но и реальных экспериментов.

Список литературы:

1. Шахов С.И. Тепловое моделирование печатных плат средствами промышленных САПР - М.: Точная наука, 2018, с. 14-17.
2. Аведьян А. «САПР и графика». SolidWorks — САПР промышленного масштаба [Электронный ресурс] - Москва, 2005. Режим доступа: https://sapr.ru/article/6786.
3. Петросянц К.О., Козынко П.А. Усовершенствованная подсистема электротеплового моделирования систем на печатных платах в САПР Mentor Graphics // Известия высших учебных заведений. Электроника – М. МИЭТ, 2007. № 6, с. 33-38.
4. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990.
5. Иванов И.А., Урушев С.В., Кононов Д.П. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник - Издательство "Лань", 2019, 356 с.

РОБОТ ГЕКСАПОД ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ANDROID ПРИЛОЖЕНИЯ

И.К. Смоленчук, В.В. Тарасов,
Р.И. Рузиев, А.А. Лебедев
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЕМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью работы является создание собственного аналога робота Terasic. Из-за невозможности адаптации кода компании Terasic под альтернативные платы ПЛИС, было принято решение об изменении проекта и создании абсолютно новой платформы собственной разработки, в основе которой лежит связка одноплатного компьютера Rassberri Pi 3, Arduino Uno с платой расширения и 18-ю сервомоторами под управлением приложения на Android.

Введение

Концепция робота гексапода предполагает создание движущейся платформы на 6 «ногах» [1] – специальным образом спроектированных подвижных опорах, в которые интегрированы сервомоторы [2]. Данная концепция предполагает множество вариантов реализации как схемы движения робота, так и в целом общей устройства, неизменным в которых остается лишь концепция – «тело и лапки».

Важнейшим элементом данной платформы является тело – основная часть робота, на которую крепятся все внутренности системы, такие как электроника, платы управления и, самое габаритное и тяжелое – элементы питания. Поскольку одно из предъявляемых требований к роботу – его высокая автономность, это требует установки батарей значительного как размера и веса, вследствие чего остро стоит вопрос о грузоподъемности системы, который решается за счет применения в роботе легкого и прочно материала – PLA пластика. Это помимо значительного снижения веса робота также дает преимущество в ремонтопригодности робота, поскольку существует возможность быстрой замены сломанных или неудачных компонентов, а также осуществлять перепланировку робота “на лету” с почти мгновенным внедрением новых решений в схему конструкции робота.

Еще один важный аспект проектирования – алгоритм движения робота, который варьируется от поставленной задачи, что также повышает возможности разрабатываемой платформы, можно применить сразу несколько вариантов схемы движения робота в рамках одного физического образца. Это определяет значительное преимущество схемы робота на ногах, например, перед колесными аналогами, поскольку для большинства из них бездорожье является непреодолимой преградой. Для робота гексапода данное препятствие может быть лишь незначительным затруднением, поскольку с нужной схемой движения (например, «ползающей») он легко его преодолеет. Это делает платформу типа гексапод отличным выбором для решения широкого спектра задач.

Аналоги разрабатываемой системы

Платформа гексапод распространена не так сильно по сравнению, например, с той же колесной базой, поскольку достаточно сложна как в проектировании так и в сборке. Одним из примеров существующих решений является робот компании Terasic [3]. Он является учебным конструктором, призванным продемонстрировать преимущества применения ПЛИС в робототехнике. Робот снабжен пользовательской документацией по сборке данного робота, а также отличается высокой отказоустойчивостью и автономность работы. При кажущейся не высокой цене (1200 долл.) на фоне конкурентов, тем не менее она сильно больше общей стоимости компонентов, из которых собирается робот. Также отсутствуют 3Д-модели компонентов робота, что усложняет его дальнейшую эксплуатацию и ремонт. Кроме того выбор платформы ПЛИС как управляющего центра данным роботом для большинства задач может быть избыточным, поскольку могут использоваться не все ресурсы плат ПЛИС. Поэтому данный робот является по большей мере демонстрацией возможностей аппаратной платформы Intel FPGA, нежели чем полноценным пользовательским решением. Тем не менее проектирование и разработка робототехнических платформ для обучения и исследования новых алгоритмов движения робота является важной задачей.

Предлагаемое решение

Ввиду описанных недостатков использования ПЛИС в качестве управляющей платформы для разрабатываемого робота нами предлагается использовать связку одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 и платы Arduino uno [4]. Arduino в данном проекте является «спинным мозгом» робота. Она отвечает за получение общих команд движения от «головного мозга» (Raspberry Pi 3) и преобразование их в последовательности движений ног робота, используя для этого разработанный алгоритм для движения. Поскольку в роботе используется значительное количество сервомоторов – 18 штук, равномерное распределение напряжение между ними является невозможным. Кроме того сама плата не может выдать достаточное напряжение для работы даже половины из них. Решением данной проблемы является использование специальной платы расширения, которая получается ток напрямую от элемента питания с помощью DC–DC преобразователей, что позволяет более точно и корректно управлять каждым сервомотором. Именно точность и сбалансированность каждого движения лежит в основе успешного перемещения робота. Разрабатываемый проект призван стать платформой для изучения и поиска возможных схем движения [5] роботов такого типа.

Одноплатный компьютер Raspberry PI 3 служит как как координационный центр системы, взаимодействуя с Android приложением управляя роботом на высоком уровне. Предполагается использовать его также как основу для подключения камеры, которая сможет предоставить оператору звук и видео каналы для более четкого управления роботом. Это позволит использовать его в условиях ограниченного пространства, а также наличия радиационного или биологического заражения и т.д., где присутствие людей сопряжено со значительными рисками. При этом возможности Raspberry PI 3 на этом не заканчиваются, поскольку данный компьютер обладает сравнительно неплохими вычислительными мощностями, что в перспективе может служить основой для запуска требовательных к вычислительным ресурсам приложений, например, для автономной навигации.

Заключение

Результатом работы является уникальная программно-аппаратная платформа, построенная по схеме робота гексапода, важным преимуществом которой является разработка ПО и собственных уникальных 3Д моделей робота, которые станут основой дальнейших исследований (алгоритмов движения, автономной навигации, оптимизации конструкции и т.д.) на основе представленной робототехнической платформы

Список литературы:

1. Terasic spider robot. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=238&No=994&PartNo=1.

2. Романов А.Ю., Американов А.А., Лежнев Е.В., Глухих А.Ю. Разработка универсальной роботизированной платформы // Прикладная радиоэлектроника. – 2016. – Т. 15. – № 2. – С. 123–126.

3. Vidoni R., Gasparetto A. Efficient force distribution and leg posture for a bio-inspired spider robot // Robotics and Autonomous Systems. – 2011. – Vol. 59. – No. 2. – P. 142-150.

4. Saranli U., Buehler M., Koditschek D. E. RHex: A simple and highly mobile hexapod robot // The International Journal of Robotics Research. – 2001. – Vol. 20. – No. 7. – P. 616–631.

5. Saranli U., Buehler M., Koditschek D.E. Design, modeling and preliminary control of a compliant hexapod robot // Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings. – IEEE, 2000. – Vol. 3. – P. 2589–2596

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ СВЧ ОБВЯЗКИ ДЛЯ I/Q – МОДУЛЯТОРА НА БАЗЕ ППВМ

А.Н. Приходько
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа посвящена разработке и изготовлению микрополосковой СВЧ обвязки для I/Q – модулятора на базе программируемой пользователем вентильной матрицы (ППВМ), а именно гибридного ответвителя 180° и делителя мощности с рабочей частотой сигнала ~6 ГГц.

Введение

Гибридный ответвитель 180° (ГО) представляет собой 4-х портовое устройство, которое делит пополам мощность сигнала, подаваемого на входной порт, с разницей фаз сигнала между двумя выходными портами равной 180°, при этом оставшийся порт изолируется. ГО может также работать в режиме делителя мощности с нулевой разницей фаз между выходными портами. Топология устройства при этом остается неизменной. Вообще говоря, ГО имеют различные типы реализации, которые в рамках данной работы

рассматриваться не будут. Нами будет рассматриваться топология, так называемого, «кольцевого» ГО (см. рис. 1). Характеристические сопротивления портов такого ГО равны Z_0, а сопротивления секторов кольца Z_1 с длиной $3\lambda_g/4$ и $\lambda_g/4$ – $\sqrt{2Z_0}$, где λ_g – длина волны в линии передачи. [1-4].

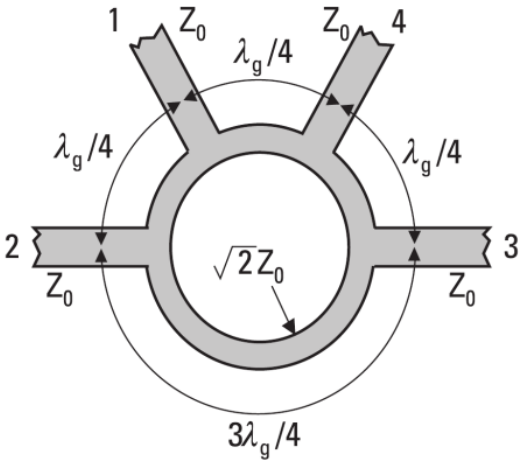


Рис.8. Топология «кольцевого» ГО

Целью данной работы является разработка и изготовление микрополосковой СВЧ обвязки для I/Q – модулятора на базе программируемой пользователем вентильной матрицы (ППВМ), а именно гибридного ответвителя 180˚ и делителя мощности с рабочей частотой сигнала ~6 ГГц.

Для осуществления этой цели были решены задачи по разработке эквивалентной схемы ГО и геометрии его топологии, исходя из расчетов и моделирования, производимых с помощью программного обеспечения (ПО) «QUCS» [5]; изготовлению, по рассчитанным параметрам геометрии, из фольгированного диэлектрика «ФАФ 4Д», планарного ГО; Измерению S-параметров изготовленных ГО и сравнение полученных результатов с симуляцией в ПО «QUCS».

Разработка и изготовление ГО

На рис. 2 представлена эквивалентная схема ГО. Поскольку в нашем случае $Z_0 = 50$ Ом то, следовательно, $Z_1 = 70{,}71$ Ом. Элементы с названиями MS_i представляют собой микрополосковые линии, в которых W ширина, а L длина линии. В Элементах с индексами 1-4 $W = 1{,}57$ мм, а $L = 8{,}81$ мм для индексов 1-3, и $L = 26{,}43$ мм для 4-го индекса. В Элементах с индексами 5-8 $W = 2{,}81$ мм, а $L = 7{,}60$ мм. Подложка имеет следующие параметры: относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_r = 2{,}5$, толщина диэлектрика $H = 1$ мм, толщина металлизации $t = 35$ мкм, тангенс угла диэлектрических потерь $\tan\delta = 0{,}0018$.

Результаты моделирования S-параметров для данной эквивалентной схемы представлены на рис. 3. и рис. 4.

В первом случае (режим работы устройства как ГО) сигнал подается на порт 3, порты 2 и 4 являются выходными, а порт 1 изолирован. Заметим что, S32 и S34 практически равны -3 дБ, а S42 и S31 сильно ниже, достаточных для корректной работы ГО, -15 дБ. Разность фаз между выходными портами 2 и 4 составляет 180˚, что соответствует правильному режиму работы ГО на частоте ~6 ГГц.

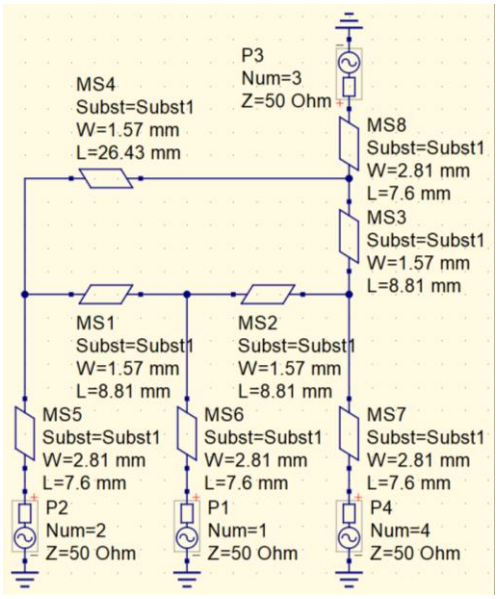


Рис.2. Эквивалентная схема ГО в ПО «QUCS»

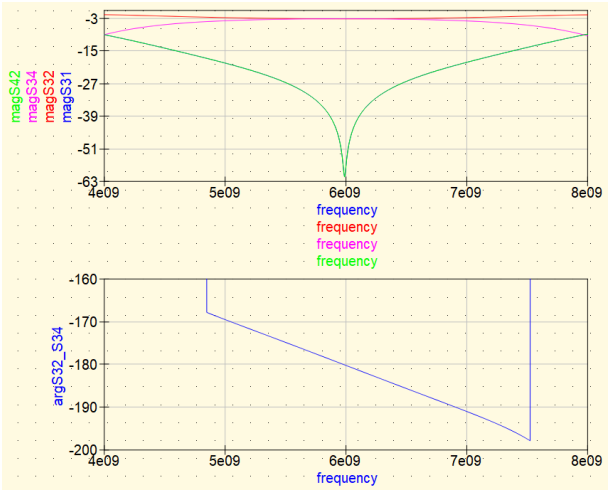


Рис.3. Результаты моделирования S-параметров для режима работы данной схемы как ГО

Во втором случае (режим работы устройства как делителя мощности) сигнал подается на порт 1, порты 2 и 4 являются выходными, а порт 3 изолирован. Заметим что, S21 и S41 практически равны -3 дБ, а S24 и S13 сильно ниже, достаточных для корректной работы делителя мощности, -15 дБ. Разность фаз между выходными портами 2 и 4 составляет 0˚, что соответствует правильному режиму работы делителя мощности на частоте ~6 ГГц.

Реализация данной геометрии осуществлялась из фольгированного диэлектрика «ФАФ 4Д», параметры которого использовались ранее при моделировании, посредством станка ЧПУ «Eleven Lab» компании «MITS Electronics» [6]. Далее после того как платы были изготовлены, на выходные порты были припаяны SMA разъемы типа «SMA-KHD9» [7]. На рис. 5 представлены фотографии изготовленного устройства.

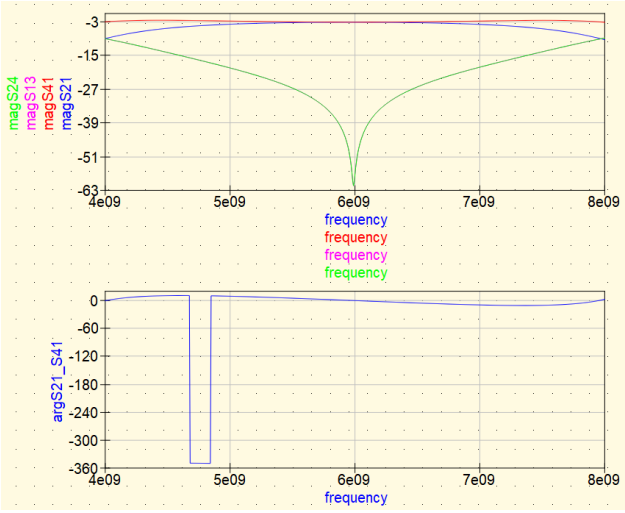


Рис.4. Результаты моделирования S-параметров для режима работы данной схемы как делителя мощности

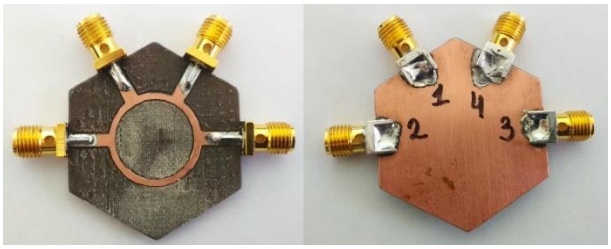


Рис.5. Фотографии изготовленного устройства

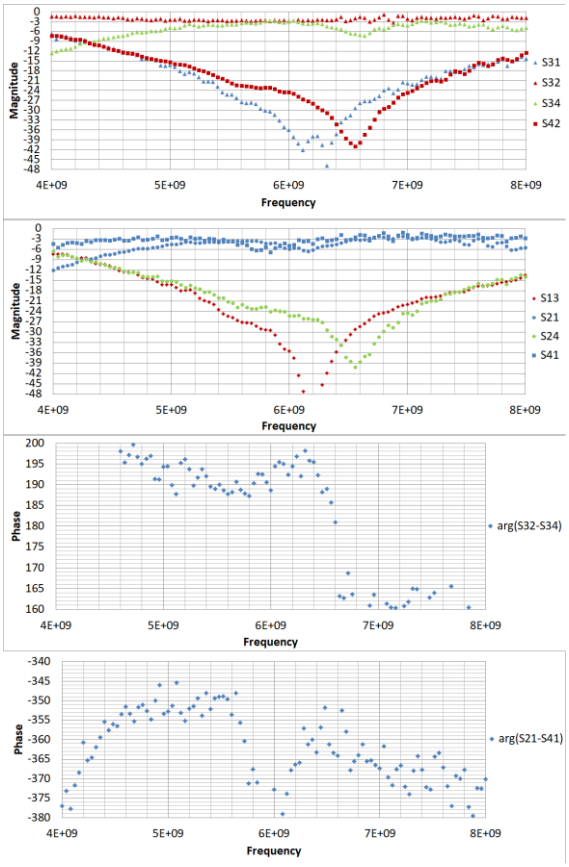


Рис.6. Результаты измерения S-параметров изготовленного устройства для режимов работы как ГО и делителя мощности

Методика измерений и результаты эксперимента

Измерения S-параметров производились с помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ) «ZVH8» компании «Rohde & Schwarz» [8], следующим образом, во-первых, ВАЦ был откалиброван на коаксиальный кабель, который в дальнейшем используется для проведения измерений, во-вторых порты, которые во время измерений не были подключены к ВАЦ нагружались на 50 Ом.

Результаты измерений S-параметров представлены на рис. 6.

Заключение

В данной работе был разработан и изготовлен ГО кольцевой топологии с рабочей частотой ~6 ГГц. Результаты измерений S-параметров имеют хорошую степень согласования с моделированием в ПО «QUCS», как в режиме ГО так и в режиме делителя мощности. Однако наблюдается несоответствие в разности фаз между выходными портами. В первом случае вместо ожидаемых -180° имеем 180° , во втором случае вместо ожидаемых 0° имеем -360°.

Список литературы:

1. Pozar D. M. Microwave engineering. – John wiley & sons, 2011.

2. Antti V. R., Lehto A. Radio engineering for wireless communication and sensor applications. – Artech house, 2003.

3. Ishii T. K. (ed.). Handbook of microwave technology. – Elsevier, 1995.

4. Morgan D. A handbook for EMC testing and measurement. – IET, 1994.

5. Quite Universal Circuit Simulator [Электронный ресурс]. URL: http://qucs.sourceforge.net/ (дата обращения: 18.02.2021).

6. Eleven Lab [Электронный ресурс]. URL: http://www.mitspcb.com/edoc/11lab.htm (дата обращения: 18.02.2021).

7. SMA-KHD9 [Электронный ресурс]. URL: http://hdconnectors.com/hdc//catalog/product_info.php?cPath=116_144&products_id=5800 (дата обращения: 18.02.2021).

8. ZVH8 [Электронный ресурс]. URL: https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/zvh-productstartpage_63493-11194.html (дата обращения: 18.02.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ПОХОДНОГО ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЯХ

А.В. Калягин, Г.П. Лобанов,
М.А. Игуменова, А.М. Сафронов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается исследование и разработка генератора, способного вырабатывать электроэнергию в полевых условиях. Статья содержит описание устройства, его назначение, габариты и эффективность.

Введение

В длительных походах, когда все переносные аккумуляторы разряжены, появляется большая необходимость в добыче электроэнергии. Каждый грамм переносимого груза имеет значение, брать с собой существующие паровые двигатели и двигатели внутреннего сгорания – неоправданно, а солнечные панели в пасмурную погоду бесполез-

ны. Кроме того, при переносе ручной клади важна компактность устройства.

Современные гаджеты требуют достаточно мощных источников питания. Большинство генераторов не могут обеспечить правильную зарядку электроприборов, так как не имеют в конструкции преобразователей напряжения и нужных разъемов.

Также некоторые типы генераторов имеют сложное управление. Для бытового использования подойдет пульт управления термогенератором с возможностью контроля состояния устройства.

Таким образом, целью исследования является создание генератора, отвечающего данным требованиям:

1) Полезная мощность от 20 до 50 Вт;
2) Устройство весит не более 15 кг;
3) Блок управления имеет индикацию параметров питания и температуры горячей обкладки;
4) Устройство имеет размеры 120x150x500 мм.

Основными задачами исследования являются моделирование корпуса блока теплообмена, который будет удовлетворять поставленным условиям, и разработка платы управления генератором, с помощью которой будет происходить контроль за работой устройства.

Стоит уточнить область применения данного решения. Устройство будет использоваться в качестве портативного источника электричества для бытовых приборов. Для получения электроэнергии в полевых условиях понадобится открытый огонь и водоем. Предполагается, что генератор способен зарядить и более мощные электрическое устройство, такое как автомобильный аккумулятор, но в большинстве случаев термоэлектрогенератор будет использоваться для освещения территории и зарядки гаджетов.

Существующие решения

Основной задачей при создании генератора электроэнергии является определение и обоснование способа выработки электричества. Так как речь идет о полевых условиях, то некоторые решения не подходят изначально, например ДВС, топливо для которого нельзя найти в естественных условиях. Существует возможность превращать механическую энергию в электрическую, например кручением педалей, но объем производимой электроэнергии будет недостаточным. Таким образом, можно выделить несколько подходящих решений:

1) Ветрогенератор;
2) Солнечные панели;
3) Термоэлектрические модули.

У всех решений есть свои плюсы и минусы. Ветрогенератор имеет относительно высокий КПД (40-50%), может быть компактным и недорогим. Основной его минус - источник энергии, так как не всегда существует ветер, с помощью которого возможно выработать достаточное количество электроэнергии. Например, в горах такой способ будет работать, но в лесу он будет менее востребован.

Генератор на солнечных панелях обладает простой конструкцией, является компактным и недорогим. Его минусами являются КПД ниже предыдущего варианта (20-25%) и невозможность обеспечения стабильности источника энергии, ведь в пасмурную погоду генератор работать не будет.

Печь BioLite [1] преобразует выделяющееся при сгорании дров тепло в энергию и при помощи этой энергии заряжает гаджеты. Также девайс имеет встроенную аккумуляторную батарею объемом 2600 мАч.

Плюсами последнего устройства является компактность, легкость, простота изготовления, а также возможность легко найти источник энергии. Однако выдаваемая генератором мощность крайне мала, и при благоприятных условиях будет обеспечивать далеко не самую быструю зарядку одного смартфона. Малая мощность обусловлена применяемыми в устройстве технологиями. Термоэлектрический модуль, КПД которого 1-5% не использует всю энергию тепла из-за отсутствия активной системы охлаждения. Холодная пластина модуля охлаждается воздухом, что также является не самым эффективным решением.

По причине отсутствия мощных аналогов рассмотренного устройства, было проведено исследование и разработано более эффективный и универсальный генератор на термоэлектрических элементах.

Предлагаемое решение

В результате исследования устройство было разделено на две части. Блок теплообмена, находящийся в костре, и блок управления генератором. Такое решении обеспечит возможность использования генератора в бытовых целях.

Основными элементами устройства являются термоэлектрические модули, работа которых базируется на эффекте Зеебека [2].

Несмотря на все преимущества модулей Пельтье, они имеют крайне низкий коэффициент полезного действия относительно стоимости.

Однако при грамотно разработанной конструкции, устройство способно обеспечить потребности туристов в электричестве при приемлемой стоимости, весе и габаритах продукта. Вариант реализации корпуса с погружением в пламя костра и охлаждением водой позволяет достичь максимальной мощности при соблюдении экологических требований.

Реализация конструкции устройства

Разработка конструкции генератора заключалась в нахождении компромисса между такими параметрами устройства, как

1) Вес и габариты;
2) Стоимость;
3) Выходная мощность;
4) Сложность конструкции;
5) Универсальность;
6) Надежность.

Термоэлектрические модули были выбраны в качестве генерирующего устройства ввиду простоты их устройства. Данные элементы имеют крайне низкий КПД и высокую стоимость, однако принцип их действия не связан с механикой, в них отсутствуют движущиеся элементы, что позволит упростить конструкцию, сократить вес и габариты генератора и получить достаточное для обеспечения нужд туриста количество электроэнергии [2].

Для генерации электричества модули требуют создание разницы температур на обкладках. Подавляющее большинство походов не обходится без разведения огня. Исходя из этих двух фактов следует, что самый оптимальный способ нагрева горячей обкладки генератора - использование тепла от костра или газовой горелки. Тепло будет передаваться на модуль через стальной профиль толщиной 2 мм. Для охлаждения генераторных модулей можно использовать принудительную циркуляцию воздуха или жидкости. Учитывая, что модули обладают низким КПД, был выбран наиболее действенный способ охлаждения - использование циркуляции воды, взятой из водоема. Материал водоблока - медь, был выбран по причине высокой теплопроводности. Таким образом, для генерации электричества туристу будет необходимо поместить устройство в костер (либо пламя горелки) и подсоединить шланг для забора воды из источника.

Используемые в генераторе термоэлектрические модули способны выдерживать температуру до 200 градусов по Цельсию долговременно и до 300 градусов кратковременно. Так как генератор будет находиться долгое время в огне, модули рано или поздно перегреются и выйдут из

строя. Для того, чтобы избежать этой ситуации, была спроектирована система экстренного охлаждения. Вода, используемая для циркуляции, после охлаждения холодной обкладки модуля подается на теплую обкладку для поддержания постоянной температуры в 200 градусов. Подача воды регулируется электроникой.

Реализация блока электроники

Блок управления представлен в виде разведенной печатной платы с микроконтроллером STM32. Выполняет следующие функции:

1) Контроль температуры;
2) Управление охлаждением;
3) Управление питанием;
4) Контроль работы генератора;
5) Сбор и отображение информации;
6) Подача сигнализации.

Термоэлектрические модули соединены по схеме 5s2p (5 элементов последовательно в 2 ряда) для получения на выходе в рабочем режиме напряжения не менее 12 В.

Для повышения выходной мощности генератора используется устройство, именуемое MPPT-контроллером, которое отслеживает точку максимальной мощности [3].

Для обеспечения стабильности работы генератора используются резервные аккумуляторы, которые питают вычислительную схему управления и периферийные устройства даже если напряжение с модулей опустилось ниже требуемого.

Плата BMS-контроллера [4] управляет зарядом и разрядом аккумулятора для увеличения жизненного цикла аккумуляторных батарей.

Предусмотрены несколько понижающих преобразователей в цепи питания:

1) MPPT-контроллер с преобразователем до 12В. Линия 12 В питает насос и электромагнитный клапан.

2) Понижающий DC-DC [5] преобразователь на 5 В. Линия 5 В идет непосредственно на выход с устройства.

3) Стабилизатор на 3.3 В. Линия 3.3 В питает вычислительную часть системы.

4) Управляемый понижающий DC-DC преобразователь. Предназначен для задания пользовательского напряжения на выходе с устройства от 0 В до напряжения питания.

Контроллер отслеживает напряжение и ток на входе и выходах устройства и управляет питанием таким образом, чтобы не была нарушена работа генератора. К примеру, если нагрузка потребляет больше энергии, чем выдает генератор, это ведет к разрядке аккумуляторов. Контроллер закрывает питание данной нагрузки.

Предусмотрена индикация параметров работы устройства в виде светодиодов и OLED-дисплея. На дисплее отображаются текущие параметры системы, статистика, меню задания пользовательских параметров работы устройства.

Сигнализация о критическом перегреве, засоре в каналах циркуляции воды, выходе модулей из строя реализована при помощи индикации на дисплее, светодиоде и подаче звукового сигнала на пьезодинамик. Сигнализация оповещает пользователя о необходимости извлечения устройства из костра и проведения диагностики.

Насос и электромагнитный клапан управляются при помощи подачи ШИМ сигнала [6] на транзистор в цепи питания компонентов для изменения потребляемой мощности и повышения эффективности работы системы.

Заключение

Таким образом, было разработано устройство, которое позволит обеспечить потребность туристов в электроэнергии при приемлемой стоимости, универсальности и удобстве эксплуатации.

Рассматривая все преимущества и недостатки разработанного генератора, можно сказать, что оно будет пользоваться спросом среди туристов, как достойный альтернативный метод генерации электричества в условиях туристического похода.

Список литературы:

1. BioLite CampStove 2 Instruction Manual. 2021. Точный адрес статьи: https://www.manualslib.com/manual/1234213/Biolite-Campstove-2.html.

2. Термоэлектрические источники альтернативного питания; журнал: Компоненты и технологии, №12, 2010; стр. 131-138; автор: Пётр Шостаковский.

3. MPPT контроллер — принцип работы. Точный адрес статьи: https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/mppt.htm.

4. Что такое BMS (Battery Management System) и для чего она нужна? Точный адрес статьи: https://natoke.ru/articles/223-chto-takoe-bms-battery-management-system-i-dlja-chego-ona-nuzhna.html.

5. Как работают импульсные преобразователи напряжения. Точный адрес статьи: https://radiostorage.net/2780-kak-rabotayut-impulsnye-preobrazovateli-napryazheniya-27-skhem.html.

6. Что такое ШИМ — широтно-импульсная модуляция. Точный адрес статьи: https://odinelectric.ru/knowledgebase/chto-takoe-shim.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОЕВ В СТАТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ ПАМЯТИ ПОД ВОЗДЕЙТСВИЕМ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Б.И. Галлямов, А.Р. Мухаметдинова, А.О. Султанов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе представлены результаты моделирования удара тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) в структуру ячейки статической памяти SRAM. Удар ТЗЧ приводит к накоплению заряда, который может привести к переключению состояния ячейки памяти, а, следовательно, к сбою работы всего электронного устройства.

Введение

В условиях космического пространства электронные устройства подвергаются различным видам радиационного воздействия, в том числе воздействию одиночных тяжелых заряженных частиц. Проходя через вещество, заряженная частица совершает десятки тысяч соударений, постепенно теряя энергию через взаимодействие с электронами атомных оболочек, что приводит к ионизации атомов. Носители, которые оказались под действием электрического поля стокового pn-перехода МОП-транзистора, дрейфует в область стока. Таким образом, спустя небольшое время после удара ТЗЧ в области стока образуется заряд достаточный для переключения состояния схемы. В таком случае может возникнуть сбой в работе ячейки памяти, что, в свою очередь, может привести к получению неверных данных на выходе и сбою в работе системы в целом. Именно поэтому необходимо учитывать воздействие одиночных тяжелых заряженных частиц при проектировании электронно-компонентной базы специального назначения. Различные системы приборно-технологического моделирования позволяют учесть такое воздействие. Теоретические данные,

полученные в ходе моделирования, при своем достоверном характере активно используются в практике проектирования устройств. Одной из систем приборно-технологического моделирования является среда компьютерного моделирования TCAD от компании Synopsys, которая используется для разработки и оптимизации полупроводниковых процессов и устройств.

Основной целью исследования является разработка TCAD модели учета воздействия ТЗЧ на 6Т ячейку памяти на основе 1 мкм МОП-транзисторов.

Статическая ячейка памяти 6T SRAM

Электрическая схема статической ячейки памяти SRAM 6T представлена на рисунке 1. Основная часть ячейки памяти образована двумя КМОП-инверторами (*p-left – n-left* и *p-right –n-right*). Выход каждого инвертора ($V_{r,out}$ и $V_{l,out}$) подключен ко входу другого ($V_{r,in}$ и $V_{l,in}$). Данный контур обратной связи стабилизирует инверторы до их соответствующего состояния.

С помощью управляющих n-канальных МОП-транзисторов (*access left* и *access right*) управляющих сигналов (*BL* и $\overline{BL}$) и разрешающего сигнала (*WL*) происходит чтение или запись информации с ячейки памяти [1] (см. Рисунок 2).

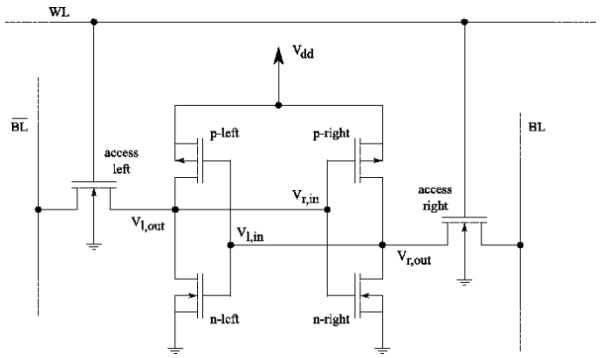


Рис.1. Схема статической ячейки памяти SRAM 6T

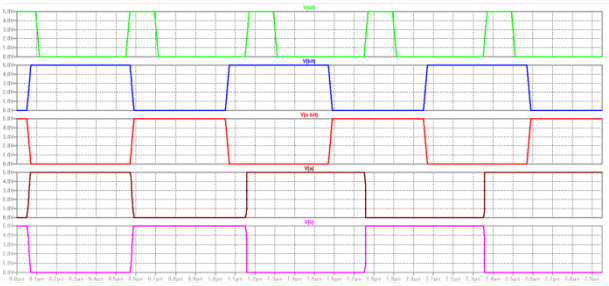


Рис.2. Временные диаграммы схемы SRAM 6T

Рассматриваемая в работе ячейка памяти состоит из МОП-транзисторов с длиной канала 1 мкм и шириной 10 мкм. Структура КМОП ячейки инвертора с указанием точки удара ТЗЧ представлена на рисунке 3. Точкой попадания выбрана область стокового pn-перехода, так как при попадании в эту точку происходит наибольшее накопление заряда [2]. Если величина накопленного заряда окажется достаточно большой (критический заряд), то произойдет переключение состояния ячейки памяти.

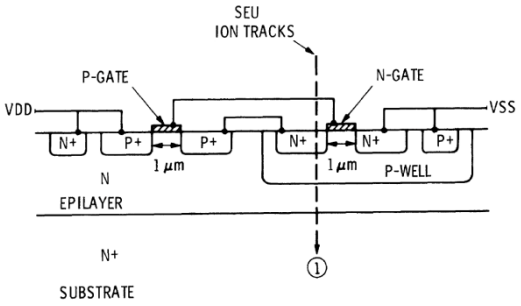


Рис.3. Структура КМОП инвертора, входящая в состав SRAM 6T с указанием места попадания ТЗЧ

Метод моделирования

В качестве метода моделирования используется сочетание моделирования физических процессов, протекающих внутри одного из транзисторов ячейки памяти (Synopsys Sentaurus TCAD) и схемотехнического моделирования схемы 6Т ячейки памяти (SPICE).

С одной стороны, программный пакет для приборно-технологического моделирования TCAD способен моделировать физические процессы внутри структур с высокой точностью, так как все физические процессы описываются с помощью физических зависимостей. Однако такое моделирование требует больших временных затрат.

С другой стороны схемотехническое моделирование с помощью SPICE способно быстро рассчитывать электрические схемы. Однако результат такого моделирования зависит от достоверности используемых моделей приборов, которые не всегда учитывают все физические эффекты внутри структуры.

Таким образом, TCAD-SPICE подход к моделированию удара ТЗЧ в ячейку памяти позволяет достичь достаточной точности моделирования физических процессов внутри структуры транзистора при небольших временных затратах.

Результаты моделирования

Было проведено моделирование воздействия тяжелой заряженной частицы брома с различным значением линейных потерь энергии (ЛПЭ) на ячейку памяти состоящей из 1 мкм МОП-транзисторов. Точка удара выбрана область стокового pn-перехода транзистора n-left (см. Рисунок 1). Транзистор *n-left* рассчитывался с помощью Synopsys TCAD, остальная часть схемы моделировалась посредством схемотехнического моделирования с использованием соответствующих SPICE моделей 1 мкм n- и p-канальных МОП-транзисторов. На рисунке 4 представлена 3D структура с указанием трека после удара ТЗЧ.

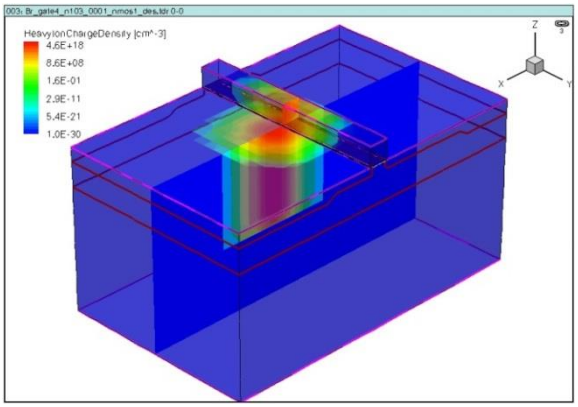


Рис.4. Промоделированная 3D структура n-канального МОПТ с указанием трека после удара ТЗЧ

В результате моделирования был получен набор зависимостей тока протекающего через транзистор *n-left* (см. Рисунок 5) и падения напряжения на стоке транзистора *n-left* (см. Рисунок 6) от времени при различных значениях ЛПЭ. Момент времени 100 пикосекунд соответствует моменту удара частицы.

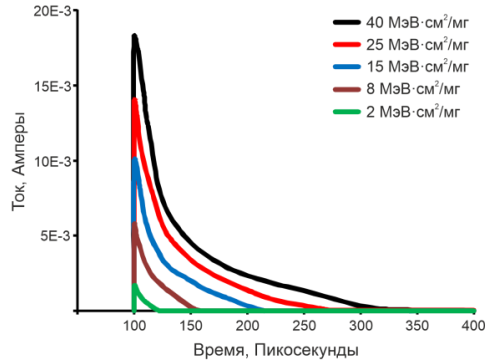


Рис.5. Промоделированные зависимости тока стока от времени

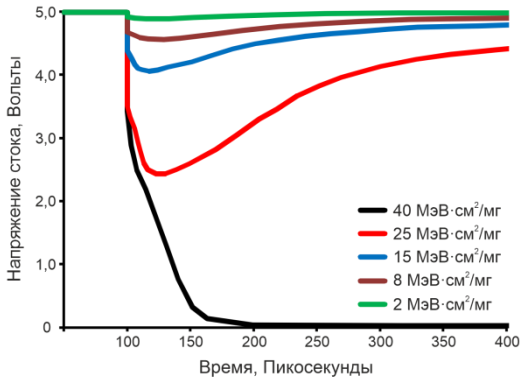


Рис.6. Промоделированные зависимости напряжения стока от времени

Из результатов моделирования определено, что для данной структуры пороговым линейных потерь энергии является значение порядка 25 МэВ·см^2/мг.

Заключение

В работе проведено смешанное TCAD-SPICE моделирование воздействия тяжелой заряженной частицы на 6T ячейку статической памяти на основе 1 мкм МОП-транзисторов. Проведенное моделирование позволило оценить радиационную стойкость ячейки памяти к удару частицы брома в диапазоне ЛПЭ от 2 до 40 МэВ·см^2/мг и определить критическое значение ЛПЭ вызывающее переключение ячейки памяти.

Список литературы:

1. 6T SRAM Cell [Электронный ресурс] // URL: https://www.iue.tuwien.ac.at/phd/entner/node34.html (дата обращения 15.02.2021).

2. Попов Д.А. TCAD моделирование сбоеустойчивости SELBOX и DSOI КМОП КНИ ячеек памяти // В кн.: Международный форум «Микроэлектроника-2020». Школа молодых ученых. Сборник тезисов. Республика Крым, г. Ялта, 21-25 сентября 2020 г. М.: МАКС Пресс, 2020. С. 227-229.

3. Zoutendyk J.A., Smith L.S., Soli G.A., Lo R.Y. Experimental evidence for a new single-event upset (SEU) mode in a CMOS SRAM obtained from model verification // IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-34, No.6, December 1987, P. 1292-1299.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАКРОМОДЕЛИ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Р.Ю. Нуруллин, С.Б. Коваев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе исследуется эффективность применения макромодели операционного усилителя (ОУ) по сравнению с его поэлементным SPICE-описанием в частотной и временной областях. Показано, что достигается сокращение времени расчета, в среднем, в 100 раз.

Введение

Современные микросхемы содержат от сотен до нескольких миллионов транзисторов, поэтому разработка сложно – функциональных блоков интегральных схем связана с большими временными затратами. Для ускорения процесса моделирования используются макромодели. Макромодели позволяют с достаточной точностью описать характеристики аналогового СФ-блока [1]. В данной работе рассматривается ОУ, реализованный в КМОП КНИ элементном базисе. Анализируются его временные и частотные характеристики, полученные при моделировании ОУ на транзисторном и макромодельном уровнях. Приводится сравнения по точности расчета характеристик ОУ и затратам машинного времени.

Описание исследуемого ОУ

Рассматриваемый ОУ имеет каскодную архитектуру [2] и построен на 14-ти КНИ (Кремний-На-Изоляторе) МОП-транзисторах с геометрическими размерами от W/L = 5,4/1,8 мкм до до W/L = 144/1,8 мкм. Моделирование ОУ проводилось с помощью симулятора SPECTRE с использованием библиотеки SPICE-моделей МОП-транзисторов. Электрическая схема ОУ приведена на рисунке 1.

В ходе проведения анализа ОУ с использованием поэлементного SPICE-описания во временной (transient) и частотной (AC) областях получен ряд параметров для проектирования макромодели, которые приведены в таблице 1.

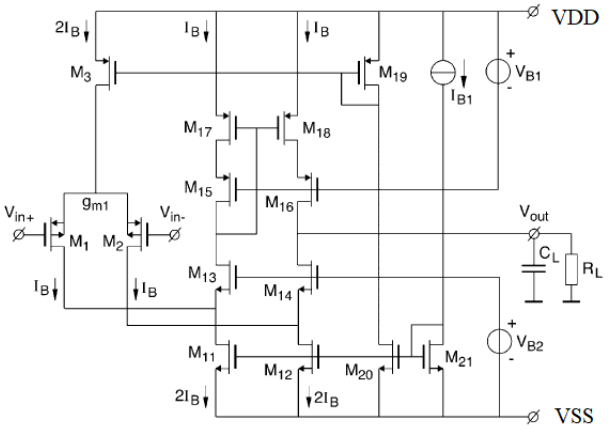


Рис.1. Электрическая схема ОУ

Таблица 1. Параметры ОУ для проектирования макромодели

Наименование параметра, единица измерения	Значения параметров
Коэффициент усиления, дБ	104
Частота единичного усиления, МГц	1
Запас по фазе, Град	60
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	3

На рисунке 2 изображены фазо-частотные (ФЧХ) и амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) ОУ, рассчитанные на транзисторном уровне (пунктирные линии) и с помощью макромодели (непрерывные линии) с использованием симулятора SPECTRE.

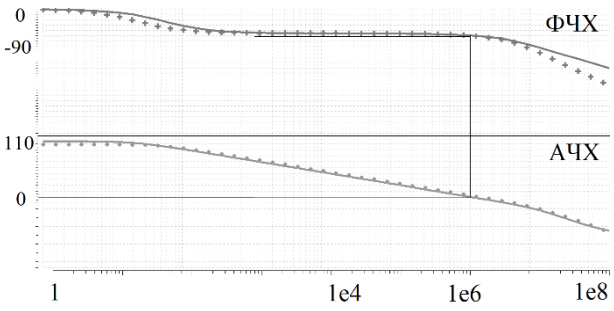


Рис.2. ФЧХ и АЧХ ОУ и макромодели

Описание предлагаемой макромодели ОУ

Электрическая схема предлагаемой макромодели ОУ приведена на рисунке 3. Схема макромодели построена на идеальных элементах и состоит из 11-и резисторов, 4-х конденсаторов, 4-х МОП-транзисторов и 6-источников тока, управляемых напряжением (VCCS) и является эквивалентом схемы ОУ, построенной на элементах SPICE-библиотеки, которая изображена на рисунке 1.

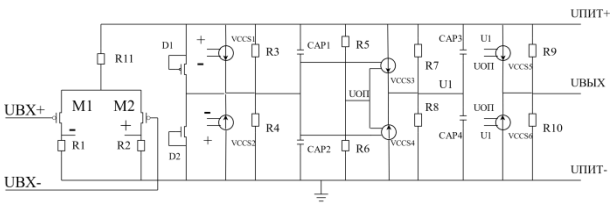


Рис.3. Электрическая схема макромодели ОУ

Входную дифференциальную пару формируют р-канальные МОП-транзисторы M1 и M2 с резистивной нагрузкой R1 и R2 соответственно, а также источник тока R11. Доминирующий полюс, который изображен на рисунке 2, формируется с помощью источников тока, управляемых напряжением VCCS1 и VCCS2, резисторов R3 и R4, и конденсаторов CAP1 и CAP2. Ограничение по питанию формируется транзисторами в диодном включении D1 и D2. Элементы VCCS3, VCCS4, R7, R8, CAP3 и CAP4 отвечают за второй полюс АЧХ, приведенной на рисунке 2. Выходной каскад построен на элементах VCCS5, VCCS6, R9 и R10.

Адекватность представленной макромодели можно оценить, согласно рисунку 4, где приведены импульсные отклики ОУ, построенного с помощью SPICE-библиотеки элементов и его макромодели.

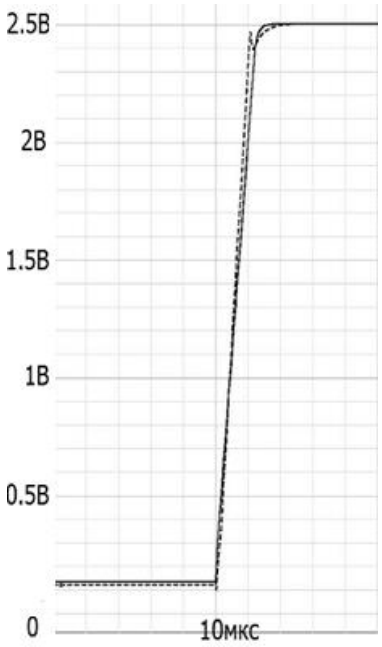


Рис.4. Импульсный отклик реального ОУ (непрерывная линия) и макромодели (пунктирная линия)

Относительная погрешность расчета коэффициента усиления с помощью макромодели составляет 0,5%, а погрешность частоты единичного усиления – 3,5% по сравнению с поэлементным описанием ОУ.

Сравнительная оценка времени моделирования ОУ и его макромодели

Из таблицы 2 видно, что время моделирования с помощью макромодели ОУ относительно его поэлементного SPICE-описания сокращается, в среднем, в 100 раз.

Таблица 2. Время моделирования с помощью макромодели и поэлементного описания ОУ в SPICE

Tstop, мс	Tsim, мс		D, разы
	ММ ОУ	SPICE-описание ОУ	
1	25	1700	68
10	132	17500	132
100	1175	181500	154
500	6450	920215	142

В таблице приведены следующие условные обозначения:

- Tstop – интервал времени моделирования;
- Tsim – время моделирования;
- ММ ОУ – макромодель операционного усилителя;
- D – отношение времени расчета поэлементного SPICE-описания ОУ и его макромодели.

Заключение

Построена макромодель ОУ, реализованного на КМОП КНИ транзисторах, проведено моделирование переходных и частотных характеристик ОУ и его макромодели. Показано, что время моделирования с помощью макромодели ОУ меньше в 68 - 154 раз (см. таблицы 2) по сравнению с поэлементным SPICE-описанием ОУ при обеспечении точности расчетов временных и частотных характеристик в пределах 3,5%.

Список литературы:

1. Лозицкий С. Схемы, методики и сценарии тестирования SPICE совместимых макромоделей операционных усилителей.

2. J. Huijsing, Operational Amplifiers, Theory and Design (Kluwer Academic Publishers,Dordrecht, 2001), pp. 456, Chapter 1

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОМАГНЕТИКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУННЕЛЬНЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ С ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Н.А. Пархоменко, В.Д. Пашковская
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе изучено влияние параметров ферромагнетика на плотность состояний туннельных Джозефсоновских переходов с ферромагнитной прослойкой, а именно – параметров магнитного и спин-орбитального рассеяния. Дополнительно учтена проницаемость F/S барьера.

Введение

На сегодняшний день активно изучаются разнообразные гибридные наноструктуры, среди них – контакты сверхпроводник-ферромагнетик, в которых возникает эффект близости [1], а также Джозефсоновские переходы с ферромагнитной прослойкой, построенные на их основе. Такие структуры могут быть использованы в различных наноэлектронных устройствах, например, в кубитах или криогенных элементах памяти, поэтому построение и исследование математических моделей этих структур является важной и актуальной задачей. В настоящей работе был реализован численный метод определения плотности состояний FS-бислоя, основанный на применении квазиклассических функций Грина, с помощью которого были построены графики плотности состояний на свободной границе при различных значениях параметров ферромагнетика и проницаемости F/S барьера. Влияние рассматриваемых параметров приводит к интересным эффектам в характеристиках этих структур, которые будут подробно рассмотрены в данной работе.

Модель

Для исследования структуры сверхпроводник-ферромагнетик (далее – FS-бислой) была построена квазиклассическая модель. В её основе лежат уравнения Узаделя, описывающие поведение частиц в различных средах в диффузном (грязном) пределе. Графически такую модель FS-бислоя можно представить так (d_f – толщина слоя ферромагнетика, d_s – толщина слоя сверхпроводника):

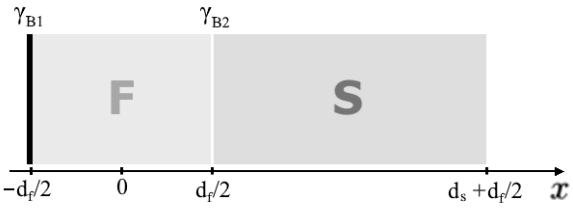


Рис.1. Графическая модель FS-бислоя

Для построения модели требуется ввести - параметризацию функций Грина:

$$G = \cos\theta, \tag{1}$$

$$F = \sin\theta, \tag{2}$$

где $G(\omega, x)$ и $F(\omega, x)$ – нормальная и аномальная функции Грина. Для ферромагнетика уравнение Узаделя может быть записано в виде [2]:

$$\frac{D_f}{2}\frac{\partial^2\theta_{f\uparrow(\downarrow)}}{\partial x^2} = \left(\omega \pm ih + \frac{1}{\tau_z}\cos\theta_{f\uparrow(\downarrow)}\right)\sin\theta_{f\uparrow(\downarrow)} + \frac{1}{\tau_x}\sin\left(\theta_{f\uparrow} + \theta_{f\downarrow}\right) \pm \frac{1}{\tau_{so}}\sin\left(\theta_{f\uparrow} - \theta_{f\downarrow}\right). \tag{3}$$

Для сверхпроводника вид уравнения Узаделя будет следующий [3]:

$$\frac{D_s}{2}\frac{\partial^2\theta_s}{\partial x^2} = \omega\sin\theta_s - \Delta(x)\cos\theta_s\,. \tag{4}$$

Поясним, что входит в эти уравнения. $D_{f(s)}$ – коэффициент диффузии в ферромагнетике (сверхпроводнике), $\omega = 2\pi T\left(n + \frac{1}{2}\right)$ – Мацубаровские частоты (под T понимается температура в системе планковских единиц), $\Delta(x)$ – парный потенциал в сверхпроводнике, h – энергия обменного взаимодействия в ферромагнетике, $\tau_{z(x)}$ – время магнитного рассеяния параллельно (перпендикулярно) оси квантования, τ_{so} – время спин-орбитального рассеяния. Эти уравнения дополняются самосогласованным уравнением для координатной зависимости парного потенциала [4]:

$$\Delta(x)\ln\frac{T_C}{T} = \pi T\sum_{\omega>0}\left(\frac{2\Delta(x)}{\omega} - \sin\theta_{s\uparrow} - \sin\theta_{s\downarrow}\right). \tag{5}$$

где T_C – критическая температура сверхпроводника. Отметим, что в нашей работе принята система планковских единиц: $k_B = \hbar = 1$, поэтому температура, частота и энергия имеют одну размерность, что соответствует ситуации в уравнениях (3), (4) и (5).

Наша задача – определить плотность состояний FS-бислоя на свободной границе ферромагнетика. Для этого в модель должны быть добавлены граничные условия [5]:

$$\left(\frac{\partial\theta_f}{\partial x}\right)_{x=-d_f/2} = 0, \tag{6}$$

$$\xi_n\gamma\left(\frac{\partial\theta_f}{\partial x}\right)_{x=d_f/2} = \xi_s\left(\frac{\partial\theta_s}{\partial x}\right)_{x=d_f/2}, \tag{7}$$

$$\xi_n\gamma_{B2}\left(\frac{\partial\theta_f}{\partial x}\right)_{x=d_f/2} = \sin(\theta_s - \theta_f)_{x=d_f/2}\,, \tag{8}$$

$$(\theta_s)_{x=d_s+d_f/2} = \arctan\left(\frac{\Delta}{\omega}\right). \tag{9}$$

Уравнение (6) описывает граничное условие на свободной границе ферромагнетика, уравнения (7) и (8) – условия на границе ферромагнетика и сверхпроводника (условия Куприянова-Лукичева), уравнение (9) – условие на свободной границе сверхпроводника.

Здесь введены следующие обозначения [6]:

$$\xi_{s(n)} = \sqrt{\frac{D_{s(f)}}{2\pi T_C}}, \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{\xi_s \sigma_n}{\xi_n \sigma_s}, \quad (11)$$

$$\gamma_{B1(B2)} = \frac{R_{B1(B2)}\sigma_n}{\xi_n}. \quad (12)$$

В формуле (10) вводится длина когерентности $\xi_{s(n)}$, в формуле (11) – степень подавления сверхпроводимости справа от F/S барьера γ. В нашей работе эта величина много меньше единицы, что соответствует практически полному отсутствию подавления. γ_{B2} из (12) характеризует проницаемость F/S барьера (чем меньше величина, тем больше проницаемость), $\gamma_{B1} \gg 1$ (соответствует туннельному барьеру слева от ферромагнетика).

Метод

Для отыскания решения был реализован численный метод, представляющий из себя двухэтапный итерационный алгоритм [5][7]. На первом этапе определяется координатная зависимость парного потенциала в сверхпроводнике с использованием самосогласованного уравнения (5). На следующем этапе с помощью полученной зависимости $\Delta(x)$ и уравнений (3) и (4) определяется зависимость функций Грина от ω, после чего плотность состояний на каждом энергетическом шаге может быть определена как:

$$N_{f\uparrow(\downarrow)}(E) = Re\left[\cos\theta_{f\uparrow(\downarrow)}(i\omega \to \mathrm{E} + i0)\right]. \quad (13)$$

Результирующая плотность состояний:

$$N_f(E) = \frac{N_{f\uparrow}(E) + N_{f\downarrow}(E)}{2}. \quad (14)$$

Отметим, что полученная плотность состояний нормирована на плотность состояний в нормальной фазе.

Результаты

Для получения численной зависимости $N_f(E)$ был разработан код на языке FORTRAN. Моделирование проводилось при $h = 0.1\Delta, d_f = 0.5\xi_n, \gamma = 0.05$ (тонкий слой ферромагнетика с малым обменным взаимодействием). На полученных характеристиках наблюдается ряд эффектов, которые могут объяснены с помощью квантовой теории. В первую очередь, важно оценить влияние проницаемости F/S-барьера γ_{B2} (положим $\frac{1}{\tau_z} = \frac{1}{\tau_x} = \frac{1}{\tau_{so}} = 0$).

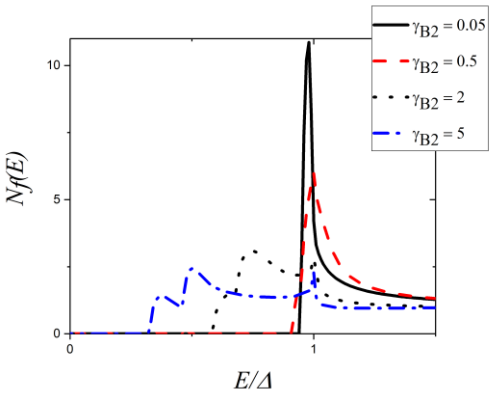


Рис.2. Зависимость плотности состояний FS-бислоя от безразмерной энергии квазичастиц при разных γ_{B2}.

Из рисунка 2 видно, что при постепенном увеличении параметра проницаемости F/S-барьера, помимо пика из БКШ при $E = \Delta$, возникает второй пик (при $\gamma_{B2} = 2$), а затем и третий пик (при $\gamma_{B2} = 5$). Возникновение пиков можно объяснить Зеемановским расщеплением пика при $E = \Delta$ [2], которое возникает в связи с тем, что снижение проницаемости барьера влечёт за собой меньшее влияние сверхпроводящих корреляций на ферромагнитный порядок в F-слое.

Далее при фиксированном $\gamma_{B2} = 5$ (случай слабой проницаемости F/S-барьера) мы исследовали плотность состояний в зависимости от параметров рассеяния. Для удобства введём параметры магнитного и спин-орбитального рассеяния: $alpha_z = \frac{1}{\tau_z \Delta}$, $alpha_x = \frac{1}{\tau_x \Delta}$, $alpha_{so} = \frac{1}{\tau_{so}\Delta}$.

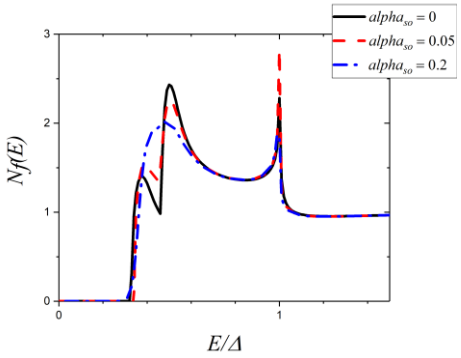


Рис.3. Зависимость плотности состояний FS-бислоя от безразмерной энергии квазичастиц при разных $alpha_{so}$ ($alpha_z = alpha_x = 0$).

Из рисунка 3 видно, что при увеличении $alpha_{so}$ снижается степень Зеемановского расщепления пиков, при этом величина минищели в энергетическом спектре FS-бислоя практически не меняется [5]. В целом, при уменьшении времени спин-орбитального рассеяния поведение структуры становится похожим на поведение контакта нормального металла со сверхпроводником.

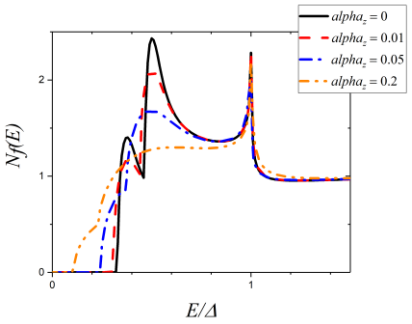


Рис.4. Зависимость плотности состояний FS-бислоя от безразмерной энергии квазичастиц при разных $alpha_z$ ($alpha_x = alpha_{so} = 0$).

На рисунке 4 хорошо видно, какое влияние оказывает параметр параллельного магнитного рассеяния. При уменьшении времени такого рассеяния происходит подавление пиков плотности состояний, а также постепенно закрывается минищель [6].

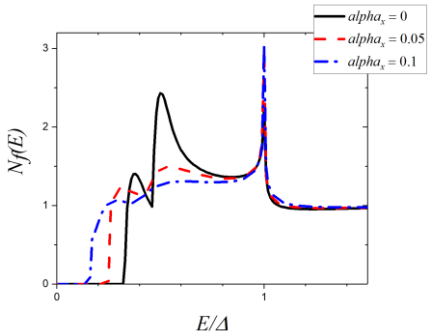


Рис.5. Зависимость плотности состояний FS-бислоя от безразмерной энергии квазичастиц при разных $alpha_x$ ($alpha_z = alpha_{so} = 0$).

По рисунку 5 заметно, что при уменьшении времени перпендикулярного магнитного рассеяния происходит сдвиг пиков в направлении нуля [5], сами пики при этом, опять же, подавляются. Также происходит постепенное закрытие минищели. В целом, с уменьшением времен параллельного и перпендикулярного магнитного рассеяния плотность состояний FS-бислоя приближается к плотности состояний ферромагнетика в нормальной фазе.

Заключение

В данной работе была разработан численный метод для исследования поведения коллектива квазичастиц в FS-бислое с учётом магнитного и спин-орбитального рассеяния. Результатом применения этого метода являются графики плотности состояний FS-бислоя при различных значениях параметров рассеяния и проницаемости F/S-барьера. В результате анализа данных характеристик был сделан вывод, что с уменьшением времени спин-орбитального рассеяния поведение структуры начинает больше напоминать поведение NS-контакта. При уменьшении времён магнитного рассеяния поведение структуры приближается к поведению ферромагнетика в нормальной фазе.

Список литературы:

1. Ozaeta, A., Vasenko, A. S., Hekking, F. W. J. & Bergeret, F. S. Andreev current enhancement and subgap conductance of superconducting SFN hybrid structures in the presence of a small spin-splitting magnetic field. Phys. Rev. B 86, 060509 (2012).
2. Vasenko, A. S. et al. Current-voltage characteristics of tunnel Josephson junctions with a ferromagnetic interlayer. Phys. Rev. B 84, 024524 (2011).
3. Usadel, K. D. Generalized Diffusion Equation for Superconducting Alloys. Phys. Rev. Lett. 25, 507–509 (1970).
4. Buzdin, A. I. Proximity effects in superconductor-ferromagnet heterostructures. Rev. Mod. Phys. 77, 935–976 (2005).
5. Gusakova, D. Y., Golubov, A. A., Kupriyanov, M. Y. & Buzdin, A. Density of states in SF bilayers with arbitrary strength of magnetic scattering. Jetp Lett. 83, 327–331 (2006).
6. Vasenko, A. S., Golubov, A. A., Kupriyanov, M. Yu. & Weides, M. Properties of tunnel Josephson junctions with a ferromagnetic interlayer. Phys. Rev. B 77, 134507 (2008).
7. Golubov, A. A. et al. Proximity effect in superconductor-insulator-superconductor Josephson tunnel junctions: Theory and experiment. Phys. Rev. B 51, 1073–1089 (1995).

РАДИАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛИСТИРОЛА

И.Р. Муллахметов, Д.А. Абрамешин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», аспирантская школа по техническим наукам

Аннотация

Радиационная электропроводность (РЭ) полистирола (ПС) изучалась экспериментально и численно в режиме малого сигнала в широком интервале времен от 20 микросекунд до 1 секунды. На основе анализа экспериментальных данных предложен прямой метод определения частотного фактора модели Роуза-Фаулера-Вайсберга, которая параметризована с помощью компьютерного моделирования.

Введение

В работе [1] был предложен и успешно апробирован новый методологический подход к изучению радиационной электропроводности (РЭ) технических полимеров. Измерения были выполнены в малосигнальном приближении со ступенчатой функцией в широком интервале времен от микросекунд до нескольких секунд. Экспериментальные результаты для поливинилкарбазола и молекулярно допированных полимеров могут были описаны в рамках традиционной модели Роуза-Фаулера-Вайсберга [2] с экспоненциальным распределением ловушек.

В настоящей работе показано, что перенос дырок в полистироле (ПС) является дисперсионным с параметром дисперсии $\alpha = 0{,}35$. Кроме того, определено, что ПС, в отличие от поливинилкорбазола, лучше подходит для прямой оценки одного из основных параметров модели Роуза-Фаулера-Вайсберга – частотного фактора и его зависимости от электрического поля.

Эксперимент

В наших исследованиях мы использовали пленку ПС (стирофлекс толщиной 20 мкм, производимый фирмой NSW, ФРГ). На образец (диаметром 40 мм) с двух сторон напылялись алюминиевые электроды толщиной 50 нм и диаметром 32 мм. Эксперимент проводился при комнатной температуре, при напряженности электрического поля $E=4\times10^7$ В/м. Электронное облучение с энергией 50 кэВ производилось с помощью электронной пушки ЭЛА-50 [3]. Средняя мощность дозы R_0 [4] составила 1,6 Гр/с.

Экспериментально измеряемой величиной является плотность тока РЭ j. Из плотности тока по закону Ома ($\gamma = j / E$, где γ – полная электропроводность материала) была получена РЭ ПС.

Результаты эксперимента представлены кривой 1 на рисунке 1.

Модель Роуза-Фаулера-Вайсберга

Основные уравнения модели Роуза-Фаулера-Вайсберга, описывающей РЭ, хорошо известны [1, 5]

$$\begin{cases} \dfrac{dN(t)}{dt} = g_0 - k_{rec} N_0(t) N(t) \\ \dfrac{\partial \rho(E,t)}{\partial t} = k_c N_0(t) \left[\dfrac{M_0}{E_1} \exp\left(-\dfrac{E}{E_1} \right) - \rho(E,t) \right] - \nu_0 \exp\left(-\dfrac{E}{kT} \right) \rho(E,t) \\ N(t) = N_0(t) + \int_0^\infty \rho(E,t) dE \end{cases}, \quad (1)$$

где $N_0(t)$ и $\rho(E,t)$ равны нулю при $t = 0$.

По определению РЭ $\gamma_r(t) = e\mu_0 N_0(t)$.

Система (1) применима для описания униполярной проводимости с подвижными носителями только одного знака (в случае ПС – дырки). Электроны при этом неподвижны и действуют как центры рекомбинации.

$N(t)$ – общая концентрация дырок, образованных излучением (из-за нейтральности заряда, равной концентрации электронов). $N_0(t)$ – концентрация дырок с микроскопической подвижностью μ_0; g_0 – скорость образования свободных дырок (предполагается, что g_0 не зависит от времени и глубины облучаемого слоя); k_{rec} – коэффициент рекомбинации; k_c – константа скорости захвата; M_0 – суммарная концентрация ловушек, распределенных непрерывно по энергии E; $\rho(E,t)$ – распределение плотности захваченных дырок в зависимости от времени облучения; ν_0 – частотный коэффициент; T – температура; k – постоянная Больцмана; e – элементарный электрический заряд. Также $\tau_0 = (k_c M_0)^{-1}$ – время жизни носителей за-

ряда до их захвата ловушками. Параметр дисперсии $\alpha = kT / E_1$.

Первое уравнение описывает изменение полной концентрации носителей заряда в результате их генерации ионизирующим излучением и последующей убыли за счет рекомбинации. Второе и третье уравнения в системе (1) – уравнения многократного захвата, описывающие стохастические процессы захвата квазисвободных носителей заряда на ловушки и последующее их высвобождение.

Известно, что половина поглощенной энергии при облучении конденсированного вещества идет на ионизацию молекул, образуя примерно одну электронно-дырочную пару на 100 эВ поглощенной энергии, оставшаяся часть расходуется на возбуждение атомов и молекул облучаемого вещества.

В ходе настоящей работы методом проб и ошибок были определены параметры модели Роуза-Фаулера-Вайсберга для ПС (таблица 1).

Таблица 1. Параметры модели Роуза-Фаулера-Вайсберга для ПС

Параметр / № кривой	α	μ_0, м^2 /В с	τ_0, с	ν_0, 1/с	k_{rec}, м$^{-3}$ с$^{-1}$
2	0.35	1.2×10^{-8}	3.5×10^{-11}	5×10^{7}	6.9×10^{-14}
3	0.118	5×10^{-8}	3.5×10^{-11}	5×10^{11}	6.9×10^{-14}
4	0.2	10^{-6}	3.5×10^{-11}	10^{8}	6.9×10^{-14}

После численного решения модели системы (1) с описанными выше параметрами мы получили кривые, описывающие РЭ ПС (Рисунок 1).

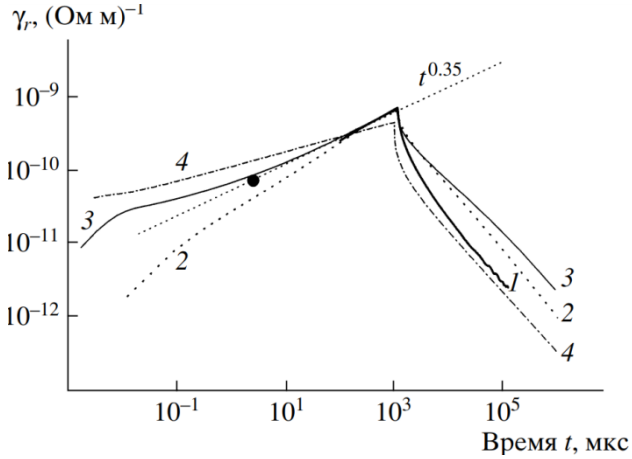


Рис.1. Сравнение экспериментальных (1) и расчетных кривых РЭ при гауссовом (2, 3) и экспоненциальном (4) распределении ловушек по энергии

Как видно из рисунка 1 перенос дырок в ПС является сильно дисперсионным. Параметр дисперсии α = 0,35.

Заключение

Проведены эксперименты и получены основные параметры РЭ ПС, которые послужили исходными данными для расчетной модели РЭ Роуза-Фаулера-Вайсберга. Сравнение экспериментальных и расчетных данных позволяет констатировать адекватность предложенной расчетной модели РЭ ПС.

Список литературы:

1. A Tyutnev, V Saenko, R Ikhsanov, E Krouk. Radiation-induced conductivity in polymers under pulsed and long-time small-signal irradiations combined to determine their step-function response // Journal of Applied Physics. 2019. Vol. 126. No. 9. 287-296.
2. G Mingaleev, A Tyutnev, B Gerasimov, I Kulchitskaya. Numerical Analysis of the Transient Radiation-Induced Conductivity in the Framework of the Rose-Fowler-Vaisberg Formalism // Physica status solidi (a) 1986 93 (1), 251-262.
3. Тютнев А.П., Саенко В.С.., Пожидаев Е.Д. Универсальная методика изучения электронного транспорта в полимерах // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2006. Т. 48. № 9. С. 1730-1740.
4. Тютнев А.П., Саенко В.С.., Пожидаев Е.Д. О влиянии заряженных центров на транспорт носителей заряда в молекулярно-допированных полимерах // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2010. Т. 52. № 7. С. 1122-1132.
5. H. Bässler. Localized states and electronic transport in single component organic solids with diagonal disorder // Physica status solidi (b) 107 (1), 9-54, 1981.

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕСТЕРА *«FORMULA 2K»*

Д.Н. Петриев, Р.Р. Калимуллин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматриваются вопросы разработки специальной платы и управляющей программы тестера Формула-2к для автоматизированного измерения параметров цифровых микросхем.

Тестирование работоспособности и параметров микросхем широко используется как на этапах проверки готовой продукции, так и при входном контроле на предприятиях, занимающихся разработкой электронных изделий.

Введение

Тестирование микросхем повышает качество используемых микросхем путём выявления бракованных компонентов. Для тестирования необходимы технические условия, из которых берутся параметры, позволяющие сделать вывод о качестве микросхемы. Далее на основе параметров создается печатная плата для их измерения.

В процессе подготовки к тестированию используется программное обеспечение для создания переходной платы или же «кроватки» для тестируемой микросхемы. Переходная плата создаётся на базе программного пакета *Autodesk EAGLE*. Переходная плата связывает выводы микросхемы с контактами тестера *Formula 2K*.

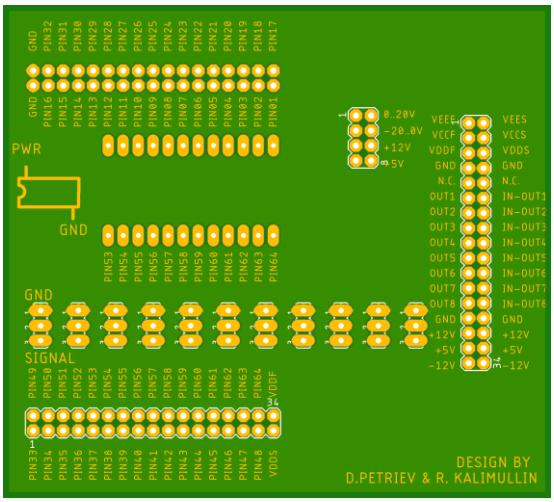
На основе технических условий для тестируемой микросхемы определяются допуски на значения параметров, которые необходимы для определения качества микросхемы. Исходя из этих условий, разрабатывается программное обеспечение на языке *Sinop*, выполняется настройка тестера для проведения измерений [1].

После выполнения отладки и измерений формируются выходные данные, на основе которых тестер делает вывод о качестве производства микросхемы.

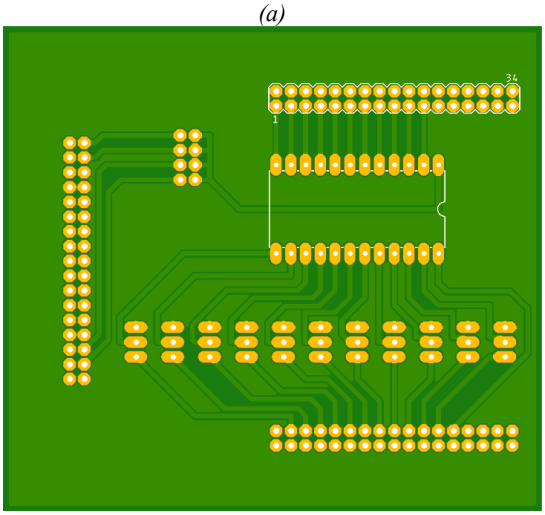
Проектирование и изготовление переходной платы

Первым этапом в проектировании переходной платы являлось определение форм-фактора микросхем для тестирования. Так как создание переходной платы только для одного типа корпуса было бы неоправданно, было решено проектировать переходную плату с возможностью охватить как можно бóльшее количество микросхем. Как итог, переходную плату можно использовать для интегральных микросхем размером от DIP-4 до DIP-24.

На рис. 1 продемонстрирована разработанная плата.



(а)



(б)

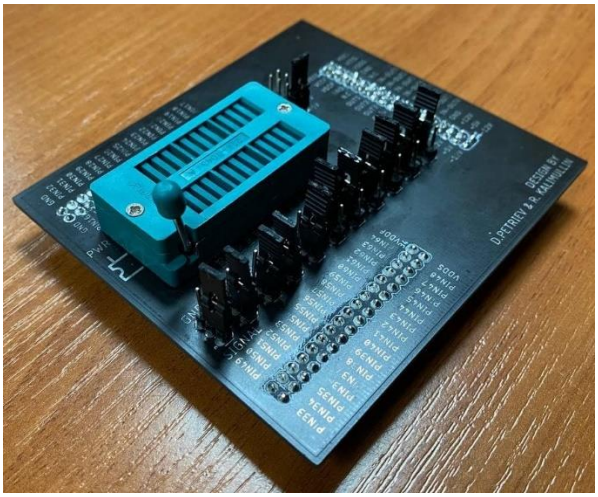
Рис.1. (а) – верхний вид и (б) – нижний вид спроектированной переходной платы

На изготовленной плате размещены три группы контактов по 34 штуки каждая для подключения к контактам тестера, 11 переключаемых с помощью «джамперов» групп пинов для переключения контакта микросхемы между землёй и контактом тестера и группа контактов для переключения питания.

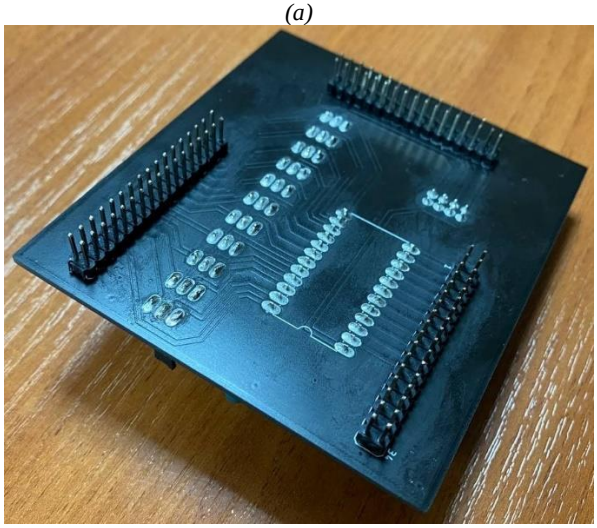
К последнему контакту микросхемы можно подключить 4 вида питания, а именно: от 0 до 20В, от -20 до 0В, +12 В и +5 В. Сделано это потому, что у разных интегральных микросхем может быть разное требование к питанию.

Сердцем платы является 24-х контактная DIP панель с нулевым усилием DS1043-24.

Группа переключателей из 11 пинов по 3 контакта позволяет подключать большое количество интегральных микросхем и менять контакт, подключенный к земле.



(а)



(б)

Рис. 2. (а) – передний вид и (б) – нижний вид изготовленной переходной платы

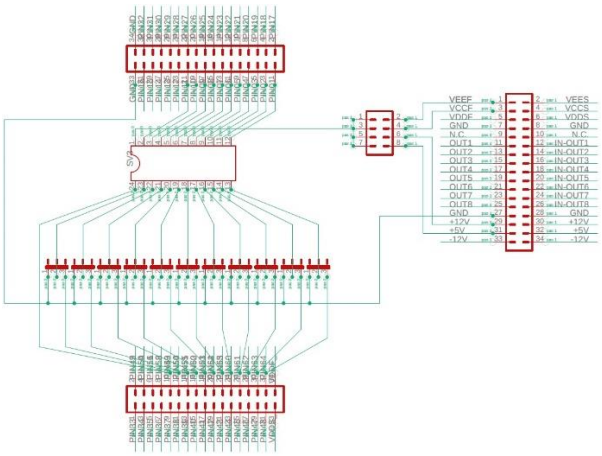


Рис.3. Принципиальная схема переходной платы

Плата изготовлена и готова к использованию (рис. 2.). Она уже была протестирована на тестере «*Formula 2k*» в МИЭМ и пригодна к использованию.

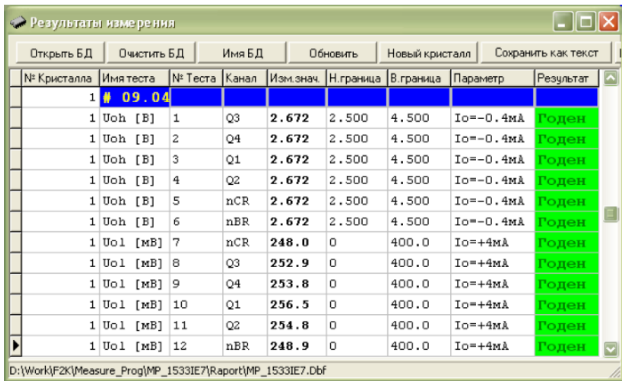
Разработка управляющей программы

Для расширения возможности тестирования интегральных микросхем необходимо определить допуски напряжений питания, логических уровней единицы и нуля, составить таблицу истинности для каждой микросхемы. На основании этих допусков выбираются условия, в которых микросхема может корректно работать. Далее на основе полученных значений параметров и их допустимых отклонений, которые определяются техническими условиями микросхем, разрабатывается управляющая программа.

Разработка управляющей программы начинается с того, что определяются и обозначаются используемые выводы тестера «Formula 2k». В настоящей модификации тестера количество выводов тестируемой микросхемы не может превышать 102, что вполне нас устраивает. После этого указываются входные и выходные контакты тестируемого устройства и задаются напряжения питания логических уровней. Для того, чтобы измерить выбранные из технических условий параметры настраиваются токи и напряжения в соответствии с технической документацией, а также векторы функционального контроля, на которых будут проводиться измерения.

```
//Запуск ФК
procedure MM_Run_FC();
const
  UCC_LOW      = 4.5;  //[B] пониженное напряжение питания 1533ИЕ7
  UCC_HGH      = 5.5;  //[B] повышенное напряжение питания 1533ИЕ7
  UCC_I_LIM    = 0.2;  //[A] ток ограничения источника VCC
  UIL          = 0.0;  //[B] входное напряжение логического нуля
  UIH          = 4.5;  //[B] входное напряжение логической единицы
  procedure Run_FC(Ucc: Real); //внутренняя (для MM_Run_FC)
    процедура
  var
    Param, s : string;
    FC_State : Integer; //текущее состояние ФК
    Vec      : Integer; //адрес вектора, на котором остановлен ФК
  BEGIN
  SetPower(pVCC, Ucc, UCC_I_LIM, Source_On);
  StrCopy(Param, 'Ucc=');
  RealToStr(Ucc, s);
  StrConcat(Param, s);
  StrConcat(Param, 'B');
  start_beg_hand(FC_START_VECTOR, FC_STOP_VECTOR, FC_STOP_END,
    FC_STOP_ERROR, FC_NCONTINUE);
  repeat FC_State := check_stop(Vec); until FC_State <> FC_BUSY;
```

(а)



(б)

Рис.4. (а) – листинг программы на языке Sinop в программной оболочке Control 2k и (б) – результат тестирования интегральной микросхемы 1533ИЕ7

Большая часть программных средств объединена в общую управляющую оболочку *«Control 2k»*. Обращение к модулям из оболочки производится параллельно и позволяет отображать несколько одновременно протекающих процессов, как показано на рисунке 4 (б). Используемый язык *«Sinop»* является языком программирования высокого уровня с нефиксированным составом операторов и ориентированным на написание программ на тестере *«Formula 2K»* [2].

Таким образом, для быстрого написания программы для разных микросхем используется шаблон (Рис.4.а), в него вписываются значения электрических параметров микросхемы, наименования выводов и их подключение к каналам тестера, при этом сам алгоритм измерения остается неизменным. Кроме того, создаются дополнительные файлы: соответствие каналов тестера и выводов микросхемы, времена фронта импульса и задержек.

В результате проведенной работы на данный момент разработана и собрана универсальная плата для возможности проведения тестирования микросхем различного размера (от DIP-4 до DIP-24), а также написаны управляющие программы для контроля параметров таких микросхем как 1533ИЕ7, SN74HC02N, CD40107BE, CD4019BE.

Заключение

Проделанная работа позволила расширить функционал тестера *«Formula 2k»,* появилась возможность тестирования большого количества микросхем, добавлена возможность измерения дополнительных характеристик интегральных микросхем.

В дополнение к вышеперечисленным расширениям, написана подробная документация разработчика управляющей программы и переходной платы.

Список литературы:

1. Система контрольно-измерительная для контроля БИС и ИМС // Тестер FORMULA 2K Руководство по эксплуатации ФОРМ, редакция 14
2. Система контрольно-измерительная для контроля БИС и ИМС // Тестер FORMULA 2K Рекомендации по разработке измерительных программ ФРМИ 2.653.020 И902, редакция 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЫВА СЛОЖНОЙ НИТИ В РАМКАХ ТЕОРИИ ПРОТЕКАНИЯ

К.Ю. Нербышев, В.Н. Удодов
Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
кафедра производственных технологий и техносферной безопасности
Инженерно-технологический институт, Абакан

Аннотация

Статья посвящена разработке модели разрыва сложной усиленной химической нити в рамках теории одномерной перколяции (задача связей). Разрыв такой нити рассмотрен как фазовый переход непрерывного типа. Точке фазового перехода соответствует порог протекания. Рассмотрен простейший пример сложной нити из пяти элементарных нитей, соединенных специальным образом. Рассчитаны порог протекания и среднее квадратичное уклонение порога.

Введение

Вопросы разрыва тканей и нитей играют важную роль при конструировании швейных изделий, поскольку эти изделия должны быть достаточно прочными. Для моделирования разрыва сложной химической нити перспективно использовать теорию перколяции (протекания) [1, 2]. Теория протекания является сравнительно молодой физико-математической теорией, применения которой давно вышли далеко за рамки физики и химии [2-8].

В рамках одномерной теории протекания (задача связей) разрыв сложной нити рассмотрен как фазовый пере-

ход непрерывного типа. Цель работы: рассчитать порог протекания и сопутствующие характеристики.

В следующем разделе описана модель, далее – результаты.

Модель

Введем основные понятия. Узлы – это точки, в которых пересекаются и закреплены две или более нитей. Сложная нить состоит из нескольких элементарных нитей, которые соединены друг с другом [6, 7]. Далее элементарную (простую) нить называем просто нитью. Из одного узла выходит несколько нитей. Нити, соединяющие узлы называются связями [2-5]. Связи могут быть целыми или блокированными (разорванными). В задаче связей все узлы считаются целыми [1, 2, 5]. Основная переменная задачи – $x=(N_1/N)$, где N_1 – количество целых связей, N – общее число связей. Сначала x=1 (все связи целые). Сложную синтетическую (химическую) нить растягиваем. Постепенно рвутся элементарные нити (связи), то есть, число блокированных связей растет, а количество целых связей уменьшается. В какой последовательности будут рваться элементарные нити предсказать нельзя из-за наличия случайных дефектов. При некотором значении x сложная нить разорвется, что соответствует порогу перколяции, до этого система была выше порога.

Для того, чтобы задача была содержательной, радиус одномерного протекания должен быть больше единицы [5]. Если радиус протекания равен двум, то связи соединяют не только ближайшие узлы одномерной решетки, но и узлы, являющиеся вторыми соседями [5] (см. рисунок 1). В качестве простейшего примера рассмотрена сложная нить из трех узлов, связей при этом пять (рисунок 2).



Рис.1. Сложная нить с пятью узлами

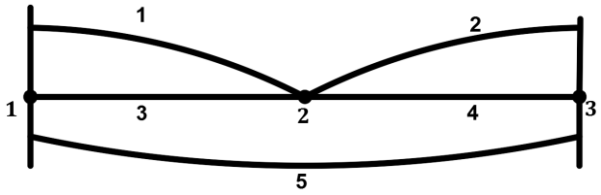


Рис.2.

Проведем нумерацию связей (рис. 2). Первая связь (нить) идет из левого края во второй узел. 2-я связь – из 2-го узла в правый край. 3-я связь соединяет первый и второй узлы. 4-я – второй и 3-й узлы. 5-я связь соединяет 1-й и 3-й узлы. Всего связей 5. Будем блокировать (рвать) связи по одной. Всю нить растягиваем в горизонтальном направлении, пока она не порвется. В какой последовательности будут рваться элементарные нити (связи) предсказать нельзя из-за наличия случайных дефектов неровноты [6, 7].

Результаты

Сначала блокируем первую связь, то есть, разрываем первую элементарную нить. Вся нить пока не рвется, то есть, мы выше порога протекания. Далее можно заблокировать любую из оставшихся целых связей: 2-ю, 3-ю, 4-ю или 5-ю. Всего 4 варианта, они равновероятны по условию задачи: нити (связи) имеют случайные дефекты и рвутся случайным образом. После этого остается три целых связи (нити). Можно показать, что в этой задаче наименьшее число связей, которые надо разорвать, чтобы вся сложная нить разорвалась, равно трем. То есть, после разрыва двух связей (целых связей осталось три) мы все еще выше порога. Далее блокируем любую из трех оставшихся связей – всего три варианта второго уровня. После этого в некоторых случаях вся нить разорвется, то есть мы достигнем порога протекания. Но в ряде случаев мы порога не достигнем и надо продолжать блокировку связей – целых связей осталось две, то есть будет два варианта третьего уровня. Всего вариантов: 4!=4*3*2=24.

После разбора всех вариантов оказывается, что порог протекания x_C может принимать три значения 0, 1/5, 2/5. То есть, в некоторых случаях, чтобы полностью разорвать нить, надо разорвать все 5 элементарных нитей. Анализ показывает, что порог $x_C=0$ встречается в восьми вариантах, $x_C=1/5$ – в 12 вариантах, порог $x_C=2/5$ – в 4-х вариантах.

Среднее значение порога протекания в этой задаче связей равно (угловые скобки обозначают среднее значение)

$$\langle x_C \rangle_{Cред} = \frac{12+8}{5*24} = 1/6\ . \qquad (1)$$

Эту формулу можно представить в другом виде. Т. к. все варианты равновероятны, то вероятность найти порог 0 равна

$$P(0) = \frac{8}{24} = 1/3\ .$$

Вероятности найти другие значения порога равны

$$P\left(\frac{1}{5}\right) = \frac{12}{24} = 1/2\ \ ,$$

$$P\left(\frac{2}{5}\right) = \frac{4}{24} = 1/6\ \ .$$

Проверяем условие нормировки для полной системы событий

$$P(0) + P\left(\frac{1}{5}\right) + P\left(\frac{2}{5}\right) = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} = 1, \qquad (2)$$

что и требовалось доказать.

Дисперсия порога протекания равна

$$D = \delta^2 = (0 - \langle x_c \rangle)^2 P(0) + \left(\frac{1}{5} - \langle x_C \rangle\right)^2 P\left(\frac{1}{5}\right) +$$

$$+ \left(\frac{2}{5} - \langle x_C \rangle\right)^2 P\left(\frac{2}{5}\right) = 0{,}0189\ .$$

Найдем среднее квадратичное уклонение порога

$$\delta = \sqrt{D} = 0.137 \qquad . \qquad (3)$$

Поскольку система мала, то уклонение является достаточно большим.

Заметим, что в данной задаче разрыв сложной нити, который происходит на пороге протекания, эквивалентен точке непрерывного фазового перехода типа второго рода [2].

Выводы

Таким образом, впервые предложена и для простейшего случая проанализирована модель разрыва сложной синтетической (химической) нити в рамках теории одномерной перколяции при радиусе протекания, равном двум. Рассмотрение проведено в рамках задачи связей [5]. Рассчитан порог перколяции, дисперсия порога и среднее квадратичное отклонение.

В дальнейшем методом компьютерного моделирования возможно изучение более реалистической модели с большим радиусом протекания. Возможен учет того, что некоторые узлы могут быть «бракованными», что приведет к так называемой смешанной задаче перколяции, где блокированными могут быть как связи, так и узлы.

Рассмотренные сложные усиленные химические нити, по-видимому, можно использовать при создании тканей и материалов специального назначения для эксплуатации в экстремальных условиях: в космосе, в полярных областях, для создания альпинистского снаряжения.

Список литературы:

1. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. – М.: Наука, 1982. – 176 с

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1. – Изд. 4. - М.: Наука, 1995. – 606 с.
3. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: учеб. Пособие для вузов. – Изд. 3-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 144 с.
4. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения. Учебное пособие – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 112 с.
5. Волкова Т.В., Буреева М.А., Удодов В.Н., Потекаев А.И. Задача связей в одномерной теории перколяции для конечных систем // Известия вузов. Физика. 2010. – №2. – С. 33-39.
6. Попова Е.Р. Разработка теории и расчет прочности скрученной камвольной пряжи: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья. М. 2014. – 143 с.
7. Томилова М.В. Разработка методов оценки и прогнозирования свойств плетеных плотен из текстильных материалов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Специальность 05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности. Кострома. 2018. – 151 с.
8. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // УФН. 1975. – Т. 117, № 3. – С. 401-435.

ЭФФЕКТЫ БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАДИАЦИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИМЕРОВ

А.А. Кузнецов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация
В настоящей работе методом математического моделирования исследуются эффекты, возникающие при воздействии импульсного ионизирующего излучения большой мощности на полимерные пленки, когда за микросекундный импульс пленка получает дозу порядка 100 Гр (соответственно, интенсивность генерации электрон-дырочных пар, образующихся в одном кубометре материала за одну секунду, имеет величину порядка 10^{24} $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$). При таких высоких интенсивностях необходимо учитывать явление рекомбинации и электрическое поле, создаваемое неравновесными носителями.

Введение
Большинство полимеров относятся к материалам с монополярной проводимостью [1], т.е. подвижностью одного из носителей (электронов или дырок) можно пренебречь. В нашей работе исследуется полимер с монополярной проводимостью.

При воздействии на полимерную пленку импульсного ионизирующего излучения формируются пары свободных зарядов, которые впоследствии разделяются и движутся под действием внешнего электрического поля. Движение этих зарядов и создает переходной электрический ток, который и наблюдается во времяпролетном эксперименте [1]. В таком эксперименте образец полимерной пленки помещается между двумя электродами, на которые подается постоянное напряжение, после чего материал облучается импульсом ионизирующего излучения. На выходе проводится измерение временного профиля электрического тока. На рис. 1 приведено схематическое изображение времяпролетного эксперимента.

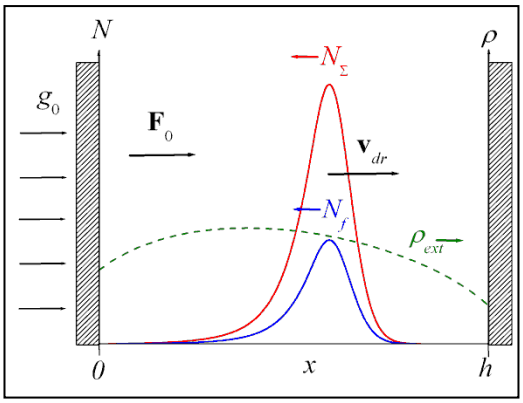


Рис.1. Схематическое изображение времяпролетного эксперимента

На этом рисунке схематично показана скорость объемной генерации неравновесных носителей заряда (g_0); $\boldsymbol{F}_0$ – вектор напряженности однородного и постоянного электрического поля; N_Σ - полная концентрация подвижных носителей; N_f – концентрация подвижных носителей, находящихся в квазизоне проводимости; ρ_ext – концентрация носителей, захваченных на ловушки; v_{dr} – скорость дрейфа пакета неравновесных носителей. Направление стрелок для N_Σ, N_f и ρ_ext показывает их принадлежность к одной из осей ординат, x - пространственная координата, отсчитываемая по направлению вглубь образца, h - толщина полимерной пленки. Заштрихованной областью показаны два электрода, на которые подается напряжение.

В радиационной проводимости полимеров для расчета электрофизических свойств в полях ионизирующих излучений широко используется модель Роуза-Фаулера-Вайсберга [1]. Эту модель также называют моделью многократного захвата, где движение неравновесных носителей заряда обусловлено последовательным захватом этих носителей на ловушки и последующим термическим освобождением из этих ловушек.

Цель работы
До недавнего времени модель многократного захвата использовалась для описания времяпролетного эксперимента при темпах генерации g_0 порядка $10^{22}\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$. При такой интенсивности генерации электрон-дырочных пар можно пренебречь рекомбинацией носителей заряда и генерируемым неравновесными носителями тока внутренним электрическим полем.

Целью настоящей работы является расширение модели Роуза-Фаулера-Вайсберга до величин g_0, лежащих в диапазоне $10^{24} - 10^{28}$ $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$, при которой электрон-дырочная рекомбинация и внутреннее поле неравновесных носителей оказывают существенное влияние на измеряемый профиль переходного тока.

Физическая модель явления
Согласно цели нашего исследования в качестве основы для физической модели явления радиационной проводимости была использована модель многократного захвата с добавлением в систему уравнений этой модели новых уравнений и слагаемых, описывающих генерацию и рекомбинацию носителей, а так же внутреннее электрическое поле радиационно-генерированных зарядов.

Полученная после модификации система уравнений модели Роуза-Фаулера-Вайсберга имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \rho_t}{\partial t} = k_c N_f \left(M_a^{(t)} - \rho_t \right) - \nu \rho_t \\ \dfrac{\partial N_\Sigma}{\partial t} - \dfrac{\partial N_f}{\partial t} - \int\limits_0^{+\infty} \dfrac{\partial \rho_t}{\partial t}\, dE = 0 \\ \dfrac{\partial N_\Sigma}{\partial t} - \mu_0 \dfrac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot \dfrac{\partial N_f}{\partial x} - \mu_0 N_f \dfrac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - D \dfrac{\partial^2 N_f}{\partial x^2} = g_0 - k_r N_f N'_\Sigma \\ \dfrac{\partial N'_\Sigma}{\partial t} = g_0 - k_r N_f N'_\Sigma \\ \Delta\varphi = -\dfrac{e(N_\Sigma - N'_\Sigma)}{\varepsilon\varepsilon_0} \end{cases}$$

где N_Σ - полная концентрация неравновесных носителей тока; N_f - концентрация подвижных носителей, находящихся в квазизоне проводимости; ρ_t - концентрация носителей, захваченных на ловушки; N'_Σ - концентрация неподвижных носителей противоположного знака; φ - электростатический потенциал; k_c - константа скорости захвата на ловушки; $M_a^{(t)}$ - суммарная концентрация ловушек, экспоненциально распределенных по энергии; ν - частота термического освобождения носителей из ловушек; μ_0 - подвижность носителей в зоне проводимости; D - коэффициент диффузии; g_0 – темп генерации электрон-дырочных пар; k_r - константа скорости рекомбинации.

Во времяпролетном эксперименте измеряется плотность переходного тока, которая описывается через интеграл от полученного решения системы уравнений модели:

$$j_c(t) = \frac{\mu_0 e F_0}{L} \int\limits_0^L N_f(x,t)dx$$

Результаты расчетов

Результаты расчетов переходного тока во времяпролетном эксперименте приведены на рисунках ниже. На рис.2 показана зависимость переходного тока от времени для трех мощностей дозы ионизирующего излучения (темпа генерации неравновесных носителей), микросекундным импульсом. Синим цветом выделены кривые, при расчете которых не учитывались введенные нами нелинейные эффекты, красным цветом обозначены кривые, расчитанные с учетом нелинейных эффектов:

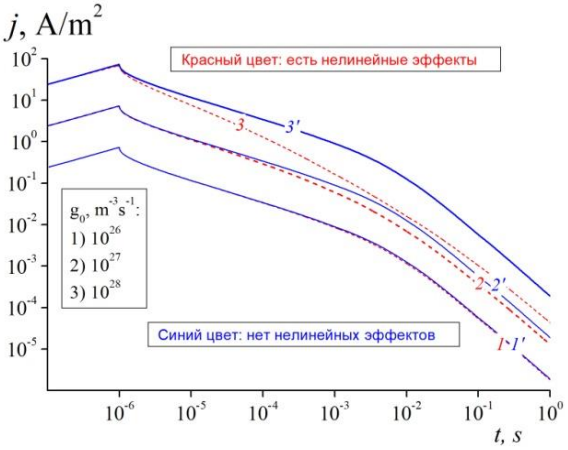


Рис.2. Зависимость переходного тока от времени при облучении микросекундными импульсами для разных мощностей дозы излучения

На рис. 3 демонстрируются полученные результаты, но уже при других условиях: длительность импульса излучения изменяется от микросекунды до 1 секунды, а темп генерации равенн 10^{24} м$^{-3}$с$^{-1}$.

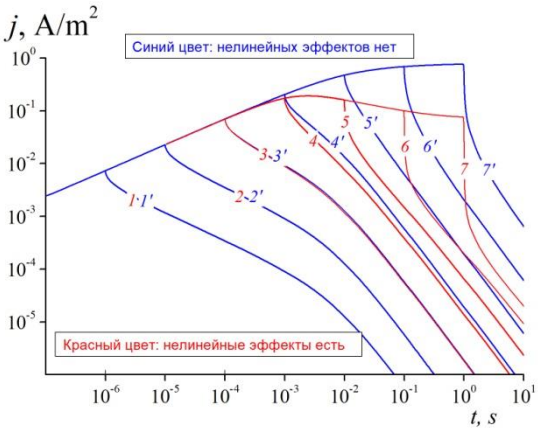


Рис.3. Зависимость переходного тока от времени при облучении импульсами переменной длительности ($g_0 = 10^{24}$м$^{-3}$с$^{-1}$).

Заключение

В настоящей работе существующая модель многократного захвата для полимеров с монополярной проводимостью была расширена с учетом рекомбинации носителей заряда и генерируемого неравновесными носителями тока внутренним электрическим полем при больших мощностях дозы ионизирующего излучения (темп генерации $g_0 \geq 10^{24}$м$^{-3}$с$^{-1}$). Были получены зависимости переходного тока с учетом вышеописанных нелинейных эффектов при разных мощностях дозы облучения и различных типах импульса излучения. Полученные результаты предлагаются к экспериментальной проверке.

Список литературы:

1. Диэлектрические свойства полимеров в полях ионизирующих излучений / Тютнев А. П., Саенко В. С., Пожидаев Е. Д., Костюков Н. С. – М. : «Наука», 2005.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ ТИПР

В.Г. Самсонов[1], А.Ю. Лукашин[1,2], А.В. Козлов[1], И.В. Кильметова[1,2,3]
[1]НИЦ «Курчатовский институт» ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ»
[2] Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
[3] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

Аннотация

В работе рассматривается модернизация системы электроснабжения ускорителя тяжело-ионного прототипа ТИПр, на котором ведутся работы по изучению радиационной стойкости материалов, используемых в современных ядерных реакторах. И статье описаны анализ старой схемы электроснабжения ТИПр и расчет схемы для нового оборудования.

Введение

В Институте Теоретической и Экспериментальной Физики ИТЭФ проводятся имитационные эксперименты для исследования радиационной стойкости материалов ядерных реакторов. Ускоритель Тяжело-Ионный Прототип ТИПр (см. рис. 1) – это действующая установка для облучения пучками ионов [1].

Исторически так сложилось, что установка строилась постепенно. В процессе модернизации системы

появлялись новые задачи, для решения которых создавались новые системы и, когда их подключали придерживались принципа запитывания частей ТИПр от ближайшего источника. В настоящее время единой системы электроснабжения ТИПр нет.

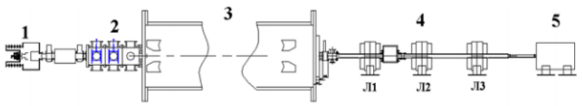


Рис.1. Схема ускорителя ТИПР-1.
1 − инжектор; 2 − электростатические линзы; 3 – ускорительная структура с ПОКФ; 4 – канал вывода пучка; 5 − мишенная камера; Л1,Л2,Л3 – квадрупольные линзы

Создание современной системы управления ускорителем ТИПр невозможно без полной модернизации действующей системы электропитания. Требуется единая схема электроснабжения всего электрооборудования, установленного на ТИПр.

Проведенный анализ действующей схемы электропитания оборудования установки выявил ее неполноту, связанную с установкой нового оборудования необходимого для физических задач, решаемых на установке.

Появление новых потребителей электроэнергии на установке увеличивает нагрузку на ныне действующую систему электропитания. На старой схеме не хватает закладываемой мощности для кабелей и коммутационного оборудования.

Цель исследования – создание технического проекта системы электроснабжения ускорительного комплекса для облучения образцов двумя пучками ионов.

В результате анализа старой схемы электропитания установки и модернизации ТИПр была предложена новая схема электроснабжения ТИПр.

Выбор коммутационного оборудования

При проектировании новой системы электроснабжения ТИПр учитывалось состояние подводящих электрических кабелей, состояние коммутационной аппаратуры, соответствие кабелей по сечению для новой нагрузки. Учитывалась возможность дальнейшего развития сети, возможность подводки электрических кабелей к новым местам расположения шкафов электропитания в системе электроснабжения модернизированной установки. При проектировании новой системы энергоснабжения были учтены все потребители электроэнергии с учетом их электрической мощности, и электрические нагрузки были распределены симметрично по трем фазам питающей сети.

Выбор кабелей по нагреву

Согласно п.1.3.10 ПУЭ [2] расчетный ток линии должен быть меньше допустимого длительного тока примененного кабеля.

Все примененные кабели (см. Таблицу 1) удовлетворяют условиям п. 1.3.10 ПУЭ.

Расчет токов короткого замыкания

При расчете токов однофазного короткого замыкания использованы сопротивления кабелей групповых линий [3], линии ввода, фидерной линии, трансформатора питания. Использована следующая формула:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_ф}{Z_{тр} + Z_ф + Z_{вх} + Z_{гр}} \quad (1)$$

$Z_{тр}$ - сопротивление фаза-ноль питающего трансформатора (Ом); принято для 400 кВА
$Z_{тр} = 0{,}065$ Ом.
$Z_ф$ - сопротивление фазного провода фидерной линии (Ом);
$Z_{вх}$ - сопротивление линии ввода (Ом);
$Z_{гр}$ - сопротивление групповой линии (Ом);
$U_ф$ - фазное напряжение.

Согласно п.п.1.4.9 ПУЭ расчетное напряжение $U_ф$ каждой ступени принято на 5% выше номинального напряжения сети (220 В).

Выбор типов и номиналов автоматов защиты [4] максимального тока производился с учетом, что ток короткого замыкания L-N в защищаемой сети в 3 раза выше максимального тока срабатывания автомата.

$$I_{КЗ}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.} \quad (2)$$

При выборе автоматов защиты учтено также требование п.п.1.7.79 ПУЭ, согласно которому время срабатывания аппарата защиты при возникновении короткого замыкания на конце линии в системе TN не должно превышать 0,4 сек для фазного напряжения 220 В.

Выбор кабелей по допустимым потерям напряжения в конце линии

Согласно требованиям ПУЭ, падение напряжения в конце любой линии не должно превышать 4% от величины входного напряжения. Расчет производился по следующей формуле:

$$\Delta U_{гр} = \left(I_{гр} \cdot \frac{L_{гр} \cdot \rho}{U_ф}\right) \cdot 100\% \quad (3)$$

$I_{гр}$ - рабочий ток группы (А);
$L_{гр}$ - длина группового кабеля (м);
ρ - удельное сопротивление (Ом/км);
$U_ф$ - фазное напряжение.

Согласно приведенным расчетам, максимальная потеря напряжения любой группы меньше 2%.

Расчет токов утечки

Согласно п.п.7.1.83 ПУЭ в расчетах принята утечка сети в 0,01 мА на 10 м длины фазного проводника и 0,4 мА на 1А тока нагрузки электроприемников. Расчеты выполнены по следующим формулам:

$$\Delta I = \left(0{,}01 \cdot L_{гр} + 0{,}4 \cdot P_{гр}\right) \cdot n \quad (4)$$

$P_{гр}$ - расчетная мощность группы (кВт);
n - фазность;
$L_{гр}$ - длина группового кабеля (м);

Основной целью выполнения электротехнических расчетов является обеспечение надежности электроснабжения, а также качество электроэнергии у потребителя.

Все результаты расчетов и параметры выбранного оборудования сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Расчетные параметры выбора автоматических выключателей и электрических кабелей

Линия	Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	Ш5
Кабель, провод сечение (мм^2)	КГ 4х16	КГ 4х16	КГ 4х16	КГ 4х16	КГ 4х16
Длина линии (м)	25	30	35	40	30
Допустимый длительный ток, (А)	90	90	90	90	90
Автоматические выключатели	ВА 80-32 80А	ВА 80-32 80А	ВА 80-32 80А	ВА 80-32 80А	ВА 80-32 80А
Ток (А)	55	54,8	53	52,1	56
Падение	0,75	0,89	1,01	1,14	0,92

напряжения (%)					
Ток однофазного К.З. (А)	996	1060	664	1471	529

Заключение

В результате проделанной работы были определены места распределительных шкафов электропитания, наиболее удобные для эксплуатации. Также были определены нагрузки, рассчитаны необходимое сечение кабелей и уставки коммутационных аппаратов.

Список литературы:

1. Р.П. Куйбида, Т.В. Кулевой, Б.Б. Чалых, А.И. Семенников, Г.Н. Кропачев, И.А. Стоякин, А.О. Черница, А.Д. Фертман, А.А. Алеев, А.А. Никитин, Н.Н. Орлов,

С.В. Рогожкин. Настройка канала вывода ускорителя ТИПр-1 для имитационных экспериментов по изучению радиационной стойкости реакторных материалов/ Вопросы атомной науки и техники. – 2012. - №4. С. 68-70

2. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат,2009.

3. Кабель КГ 4х16. URL: https://k-ps.ru/spravochnik/cab/s-rezinovoj-izolyacziej/kg/kabel-kg-4%D1%8516.html (Дата обращения: 17.02.2021)

4. Автоматический выключатель ВА88-32 ИЭК. URL: https://www.21vek-220v.ru/cat/va8832-3r-80a-25ka-iek

(Дата обращения: 15.02.2021)

ИЗУЧЕНИЕ КАСКАДНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯСВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ОДНОФОТОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ С РАЗРЕШЕНИЕМ ЧИСЛА ФОТОНОВ

М.А. Мошкова, К.В. Смирнов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии

Аннотация

В работе был исследован эффект каскадного переключения в сверхпроводниковых однофотонных детекторах с разрешением числа фотонов и оценен вклад ложных импульсов в их работу. В процессе сравнения экспериментальных и теоретических значений отсчетов, определен оптимальный режим работы детектора, при котором высокое значениеквантовой эффективности сочетается с низкой (~1%) вероятностью возникновения дополнительных ложных срабатываний.

Введение

На сегодняшний день, детекторы с разрешением числа фотонов (PNR-детекторы) представляют особый интерес и играют ключевую роль в ряде приложений в области квантово-оптических технологий, например, для восстановления статистики источника излучения, в квантово-оптической связи и квантовой криптографии, в квантовых вычислениях и др. [1-4]. Наиболее интересным для этих применений является детектор,который сочетал бы однофотонную чувствительность с линейно зависящим от числа фотонов откликом в широком диапазоне мощности излучения [5], а также имел бы высокое значение квантовой эффективности, низкий уровень темновых отсчетов, хорошее временное разрешение (джиттер) и высокую скорость счета. Среди существующих однофотонных детекторов наилучшее сочетание таких параметров демонстрирует сверхпроводящий однофотонный детектор (SSPD) [6], обладающий квантовой эффективностью, близкой к единице [7], пикосекундным временным разрешением [8], гигагерцовой скоростью счета [9] и чрезвычайно низким (до 0,01 c^{-1}) уровнем темновых отсчетов [10].После демонстрации возможности применения SSPD в качестве детектора, способного распознавать количество фотонов в коротком импульсе оптического излучения [11], к разработке этих технологий были привлечены многие научные группы [12-14]. Группы исследователей к настоящему моменту продемонстрировали использование PNR SSPD для восстановления статистики источников излучения, а также достигли высоких характеристик таких детекторов: квантовая эффективность - до 86%, временное разрешение - менее 30 пс, скорость темнового счета - менее 1отсчета в секунду. В то же время PNR SSPD имеют дополнительную особенность - возможность каскадного (спонтанного и нежелательного) переключения отдельных секций детектора при срабатывании одной из них. Это приводит к появлению ложных импульсов или сигналов от детектора, которые могут быть интерпретированы, как импульсы детектора при одновременном поглощении нескольких фотонов. Наша работа является попыткой детально изучить ипроанализировать это явление.

Структура PNR SSPD

Мы использовали детектор, который содержит четыре независимых, параллельно соединенных сверхпроводящих полоски шириной 100 нм. Каждая полоска (секция) имела дополнительное последовательное сопротивление 100 Ом. Все полоски были равномерно распределены на площади 15x15 мкм^2 с фактором заполнения 0,2. Для достижения высокой квантовой эффективности использовался оптический резонатор, включающий антиотражающее покрытие (ARC): подложка Al_2O_3 430 мкм /Au 80 нм /Si_3N_4 180 нм /NbN 6 нм /Al_2O_3 220 нм /Si 123 нм (рис. 1). PNR SSPD был сопряжен со стандартным одномодовым волокном и охлажден до 1,7 К с использованием откачной вставки в стандартный транспортный сосуд Дьюара. Отметим, что использование топологии с равномерным распределением секций по всей чувствительной области детектора, обеспечивает равномерное распределение излучения (имеющего гауссово пространственное распределение на выходе волокна)по всем секциям детектора.

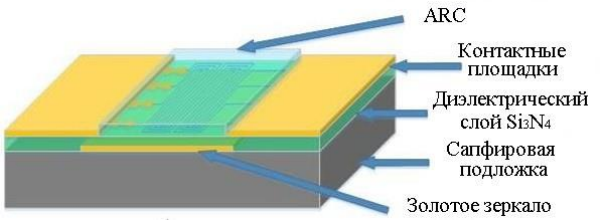


Рис.1. Схематичное изображение структуры PNR детектора

Экспериментальные методы и результаты

Прежде всего, нами была измерена системная квантовая эффективность (SDE) и скорость темновых отсчетов (DCR) детектора (рис. 2). Мыиспользовали непрерывный источник света (CW- излучение) мощностью 0,128 пВт, что соответствует 10^6 фотонам в секунду для лазера с λ=1550 нм. Детектор имел системную эффективность ~79% при токе смещения 40 мкА и при ~25 темновых отсчетов в секунду. Следует отметить, что поскольку даже при таком маломощном источнике имеются импульсы

детектора для двух, трех и т. д. одновременно поглощенных фотонов, истинная квантовая эффективность детектора несколько выше и соответствует наилучшим характеристикам «стандартных» SSPD, т.е. SSPD не различающих число фотонов.

Также, мы измерили зависимости отсчетов при нескольких фиксированных токах смещения (31, 33, 35, 37 и 39 мкА) и при различной мощности CW- лазера (0,128-1,28 пВт) в зависимости от уровня компарации счетчика. Как и ожидалось, при срабатывании детектора и возникновении импульса напряжения, PNR SSPD демонстрирует возникновение импульсов с разной амплитудой. Так, например, начиная с уровня компарации 150 мВ для тока 39 мкА (рис. 2), число импульсов уменьшается, а затем выходит на плато, что соответствует импульсам, возникающим при одновременном поглощении двух или более фотонов. Из полученных измерений, нами было экспериментально определено количество импульсов при поглощении более одного фотона (N_{exp}) для разных токов смещения и для разной мощности CW-лазера.

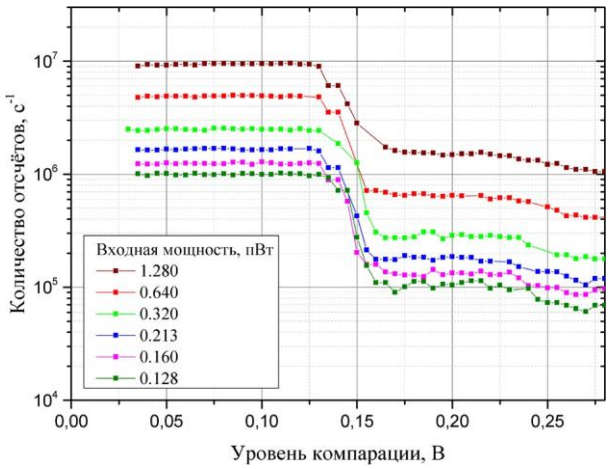


Рис.2. Графики зависимостей отсчетов PNR SSPD при разных мощностях излучения для I_b=39 мкА от уровня компарации счетчика

Для того, чтобы определить влияние каскадного переключения, мы теоретически рассчитали количество возможных импульсов детектора при одновременном поглощении более одного фотона. Мы исходили из следующих положений:

1) Зная мощность лазерного излучения (P), мы можем рассчитать среднее время между приходом двух последовательных фотонов (τ) как:

$$\tau = \frac{hc/\lambda}{P}$$

, где h - постоянная Планка, c - скорость света, а λ = 1550 нм - длина волны источника излучения.

2) Поскольку мы использовали в качестве источника CW-лазер, подчиняющийся статистике Пуассона, вероятность (Pb) возникновения хотя бы одного фотона в течение времени τ_d после срабатывания детектора можно найти из следующего выражения:

$$P_b = 1 - e^{-\frac{\tau_d}{\tau}}$$

Тогда количество фотонов (N_{ph}), попавших на детектор за время τ_d, определяется как:

$$N_{ph} = \frac{P_b}{\tau} = \frac{1-e^{-\frac{\tau_d}{\tau}}}{\tau}$$

3) Мы предположили, что импульс от PNR детектора может быть зарегистрирован в виде импульса с увеличенной амплитудой (импульса при одновременном поглощении более чем одного фотона), в случае, когда последующий фотон поглощается сверхпроводниковой структурой в течение «мертвого времени» детектора или в момент восстановления сверхпроводимости после первоначально сработавшей секции. Таким образом, необходимо отождествить τ_d именно с мертвым временем детектора. Это время было определено нами из осциллограммы напряжения импульса при срабатывании PNR детектора, как время, между моментом возникновения импульса напряжения на детекторе и моментом времени при напряжении на детекторе уменьшается до уровня 0,1 от амплитуды импульса выходного напряжения. Это время составило 8,7 нс.

4) Также мы предположили, что все секции PNR SSPD имеют одинаковую эффективность детектирования, равную SDEs = SQE/4.

В этом случае выражение для числа импульсов напряжения с увеличенной амплитудой (Ncal) может быть представлено как:

$$N_{cal} = \frac{3}{4} SDE \frac{1-e^{-\frac{\tau_d}{\tau}}}{\tau} \quad (1)$$

Далее рассчитанные значения отсчетов с увеличенной амплитудой для разных токов смещения детектора и в зависимости от мощности источника излучения (N_{cal}) сравнивались с экспериментальными (N_{exp}).

Так как экспериментальные значения отличались от теоретических, нами было сформулированы дополнительные предположения. Во-первых, при низких токах смещения детектора квантовая эффективность различных секций детектора может значительно отличаться, вследствие неравномерности распределения тока между ними. Поэтому использование эффективности детектирования фотона равной 3/4SDE не совсем корректно (уравнение 1). Во-вторых, в уравнении должны также учитываться дополнительные ложные срабатывания ($N_{cas.sw.}$), которые возникают при каскадном переключении секций в нормальное состояние при регистрировании первого фотона. Число таких переключений должно быть пропорционально количеству срабатываний детектора на первый фотон, а значит падающей мощности. Исходя из данных дополнений, нами были введены два параметра – коэффициенты 3SDEs и A, с учетом которых выражение (1) принимает следующий вид:

$$Ncal = SDE_s \frac{1-e^{-\frac{\tau_d}{\tau}}}{\tau} + N_{cas.sw.} = 3SDE_s \frac{\lambda}{hc}\left(1 - e^{-\frac{P\tau_d}{hc/\lambda}}\right) P + +AP \quad (2)$$

Используя уравнение (2), и подбирая коэффициенты 3SDEs и A, мы показали, что возможно практически точное соответствие между N_{cal} и N_{exp}.

Определенный коэффициент A, позволил оценить вероятность возникновения каскадного переключения для сверхпроводникового однофотонного детектора, которую можно представить, как отношение ложных срабатываний ($N_{cas.sw.}$=AP) к общему числу всех срабатываний N_{total} детектора (рис. 3). Как видно из графика, вероятность каскадного переключения пренебрежимо мала на малых токах смещения и играет определяющую роль при возникновении импульсов с увеличенной амплитудой на больших токах смещения.

На наш взгляд оптимальной областью смещающих токов является область около 35 мкА. В этой области детектор демонстрирует достаточно низкую вероятность каскадного переключения - порядка 1%, а эффективность детектора уже достигает высокого значения. Тем самым, мы детально исследовали вероятность каскадного переключения PNR детектора и смогли определить оптимальную область его функционирования относительно смещающего тока.

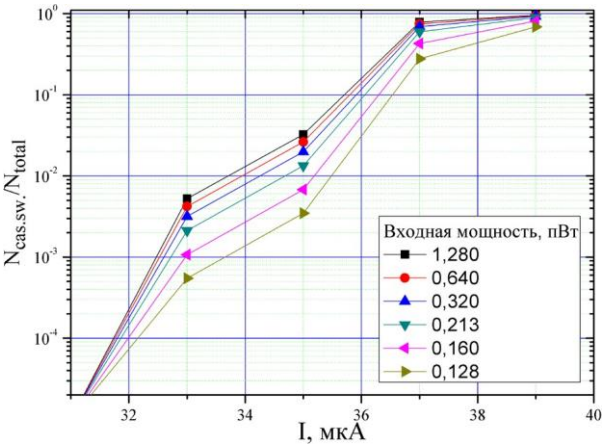


Рис.3. Зависимости $N_{cas.sw.}/N_{exp}$ от тока смещения детектора при различной мощности.

Заключение

Нами исследован эффект каскадного переключения PNR SSPD и показано, что существует оптимальная область работы детектора, определяемая током смещения. Созданный PNR SSPD имеет высокое значение эффективности детектирования (60% при λ=1550 нм), при этом, значение каскадного переключения находится на уровне 0,3-3% при входной мощности излучения диапазона 0,128-1,28 пВт.

Список литературы:

1. Becerra F. E., Fan J., Migdall A. Photon number resolution enables quantum receiver for realistic coherent optical communications / Nature Photonics – 2015 – Vol9(1) – P.48.
2. Knill E., Laflamme R., Milburn G.J. A scheme for efficient quantum computation with linear optics / Nature – 2001 – Vol 409 – P.46-52.
3. Schmidt M., et al. Photon-Number-Resolving Transition-Edge Sensors for the Metrology of Quantum Light Source / Journal of Low Temp. Physics – 2018 – Vol 193 – P.1243.
4. Meda A., et al. Photon-number correlation for quantum enhanced imaging and sensing / Journal ofOptics – 2017 – Vol 19(9) – P.094002.
5. Mattioli F. et al., Photon-number-resolving superconducting nanowire detectors / Superconductor Science and Technology – 2015 - vol. 28, no. 10, p. 104001.
6. Gol'tsman G., et. al. Nanowire single-photon detector with an integrated optical cavity and anti- reflection coating / Appl. Phys. Lett. – 2001 – **79** (6) P.705.
7. Smirnov K., et al. NbN single-photon detectors with saturated dependence of quantum efficiency / Superconductor Science and Technology – 2018 – Vol 31(3) – P. 035011.
8. Zichi J. et al., Optimizing the Stoichiometry of Ultrathin NbTiN Films for High-Performance Superconducting Nanowire Single-Photon Detectors /Optics Express – 2019 – V.27, P. 26579–26587.
9. Verevkin A. et al., Ultrafast superconducting single-photon detectors for nearinfrared- wavelength quantum communications / Journal of Modern Optics - 2004 – V. 51, P. 1447- 1458.
10. Shibata H. et al., SNSPD With Ultimate Low System Dark Count Rate Using Various Cold Filters / IEEE Transactions on Applied Superconductivity – 2017 - Vol. 27, no. 4, pp. 1-4.
11. Divochiy A., et al. Superconducting nanowire photon-number-resolving detector at telecommunication wavelengths / Nature Photonics – 2008 – Vol 2(5) – P. 302.
12. Schmidt E. et al., Characterization of a Photon-Number Resolving SNSPD Using Poissonian and Sub- Poissonian Light / IEEE Transactions on Applied Superconductivity – 2019 - Vol. 29, no. 5, P. 1-5.
13. Lusardi N., Los J.W.N., Gourguesetal R.B.M., Photon counting with photon number resolution through superconducting nanowires coupled to a multi-channel TDC in FPGA / Review of Scientific instruments -2017 - V.88, P.035003.
14. Moshkova M. et al., High-performance superconducting photon-number-resolving detectors with 86% system efficiency at telecom range / JOSA B -2019 - V. 36(3), P.20.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА С ПОВЁРНУТЫМИ ДРУГ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГА СЛОЯМИ

Н.А. Вовк
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Исследуется электронный спектр двухслойного графена с повёрнутыми друг относительно друга слоями. Расширена математическая модель, согласно которой производился расчёт низкоэнергетического гамильтониана при малых углах скрутки слоёв. Исследование включало в себя нахождение спектра энергий носителей тока в широком интервале значений импульса. Расчёты проводились в рамках приближения сильной связи с учётом туннелирования электронов между узлами кристаллической решётки внутри слоёв и между слоями.

Введение

Немало интересных физических эффектов было обнаружено в двухслойном графене (т.е. в системе, образованной двумя близко расположенными атомными слоями графена). Малое расстояние между слоями позволяет носителям заряда туннелировать между слоями, из-за чего возникает новый закон дисперсии. На эксперименте удалось обнаружить сверхпроводимость в двухслойном графене, если повернуть один из слоёв на "магический угол", близкий к 1.1 градусу [1]. Также двухслойный графен с повёрнутыми слоями – отличный пример сильно коррелированной системы, демонстрирующей почти плоскую электронную зону и состояние моттовского диэлектрика [2]. Для описания данного эффекта необходимо рассмотреть гамильтониан, описывающий энергию электронов как квазичастиц, в муаровом узоре двухслойного графена, который в большой степени зависит от угла относительного поворота слоёв [3].

Целью данной работы является нахождение оптимального размера матрицы эффективного гамильтониана, собственные значения которого позволяют получить воспроизводимые результаты численных расчётов спектра двух-

слойного графена, а также осуществить визуализацию поведения решений при изменении параметров модели.

Решение континуальной модели для подкрученного бислоя

Континуальная модель бислоя [3] с малым углом поворота между слоями позволяет определить углы образования муаровой сверхрешётки, описывает электроны как безмассовые дираковские частицы, учитывает перескоки электронов между слоями.

Низкоэнергетический эффективный гамильтониан вблизи точки Дирака имеет вид:

$$H = \upsilon_f \cdot \sum_{k,\alpha\beta} \phi^{\dagger}{}_{1,k,\alpha} \cdot \tau_{\alpha\beta} \cdot \left(\mathrm{k} + \frac{\Delta K}{2}\right) \cdot \phi_{1,k,\beta} + \upsilon_f \cdot \sum_{k,\alpha\beta} \phi^{\dagger}{}_{2,k,\alpha} \cdot \tau_{\alpha\beta}{}^{\Theta} \cdot \left(\mathrm{k} - \frac{\Delta K}{2}\right) \cdot \phi_{2,k,\beta} + \left(\sum_{\alpha,\beta} \sum_{k,G} \tilde{t}_{\perp}{}^{\alpha\beta}(G) \cdot \phi^{\dagger}{}_{1,k+G,\alpha} \cdot \phi_{2,k,\beta} + h.c.\right)$$

$$\phi_{i,k,\alpha} = \psi_{i,k\pm\frac{\Delta K}{2},\alpha}{}^{-}$$

- операторные волновые функции для слоя i (т.е. 1-го или 2-го), подрешётки α (A или B в 1 слое), аналогично для слоя 2, и для импульса

$$k \pm \frac{\Delta K}{2}$$

где знак + для 1-го слоя, – для 2-го.

$$\tilde{t}_{\perp}{}^{\alpha\beta}(G)$$

– фурье-компонента интеграла перескоков в элементарной ячейке между двумя слоями и двумя подрешётками, который зависит от вектора обратной решётки (т.е. от импульса в импульсном пространстве).

$$\upsilon_f = a_0 \cdot t \cdot \frac{\sqrt{3}}{2},$$

t – амплитуда межслоевого прыжка, равная 2,7 эВ, τ =(τx, τy) – матрицы Паули, $\tau^{\Theta} = e^{+i\frac{\Theta}{2}\tau_z} \cdot (\tau_x, \tau_y)$.

$e^{-i\cdot\frac{\Theta}{2}\tau_z}$ – матрица Паули скрутки с учётом угла между двумя слоями Θ, *h.c.* – эрмитово сопряжённое слагаемое.

Данная модель демонстрирует, как сохраняется закон линейной дисперсии с учётом модулированных межслойных прыжков. Модель позволяет показать изменение скорости Ферми при изменении угла поворота, она обращается в нуль при магическом угле [4].

Метод расчёта электронного спектра в рамках континуальной модели

Предложенная континуальная модель [3] имеет ограничение по числу состояний, определяющихся комбинациями векторов обратной решётки (импульсов). Расширение матрицы гамильтониана позволяет получить более точный спектр энергий, позволяющий работать с широким набором сверхрешёток, характерных для муаровых структур, возникающих в двухслойном графене. При расчёте расширенной модели был введен параметр ограничения энергии диагональных членов гамильтониана. Введение дополнительно параметра предполагает расширение полного гамильтониана в низкоэнергетическом приближении.

Основными переменными параметрами в модели являются интеграла перескока t и межслоевой угол скрутки Θ. Именно эти параметры модели позволяют получить модифицированный электронный спектр. Построение энергетических спектров происходило вдоль контура точек высокой симметрии, через точку Дирака K с координатами ΔK2 и точку M с координатами (0,0) в первой зоне Бриллюэна, результаты схожи с решеточным расчетом [5]. На рис. 1 представлен низкоэнергетический спектр при параметрах Θ = 1.085° и t = 0.04 эВ.

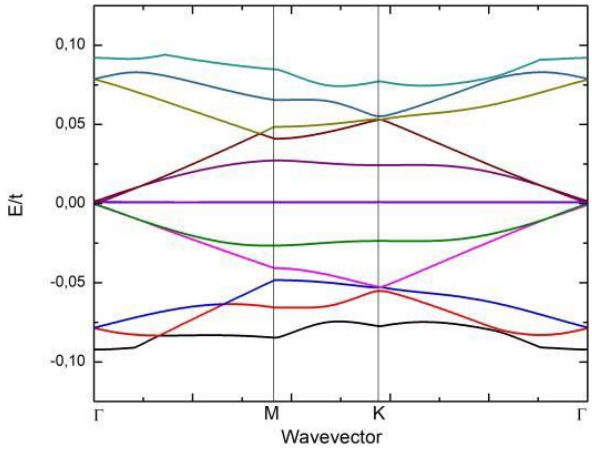


Рис.1. Энергетический спектр электронов припараметрах Θ = 1.085° и t = 0.04 эВ

Для оценки характера спектра необходиморассмотреть зоны вблизи точки Дирака. При малых углах относительного поворота слоёв возникают зоны малой ширины, т.н. плоские зоны, см. рис. 1. Была исследована зависимость ширины зон от угла поворота слоёв (см. рис. 2). Ширина этих зон оказывается минимальной при Θ=1.085° и t = 0.04 эВ. Более подробно законы дисперсии плоских зон проиллюстрированы на рис. 3. Видно, что кроме первоначальной точки Дирака в точке K зоны Бриллюэна появляется дополнительная точка Дирака между точками высокой симметрии K и □. Появление таких дополнительных точек Дирака ранее уже предсказывалось теоретически, но до сих пор не было выявлено при расчётах. Наличие новых точек Дирака при некоторых характерных углах поворота слоёв даёт дополнительную возможность управления электронным спектром.

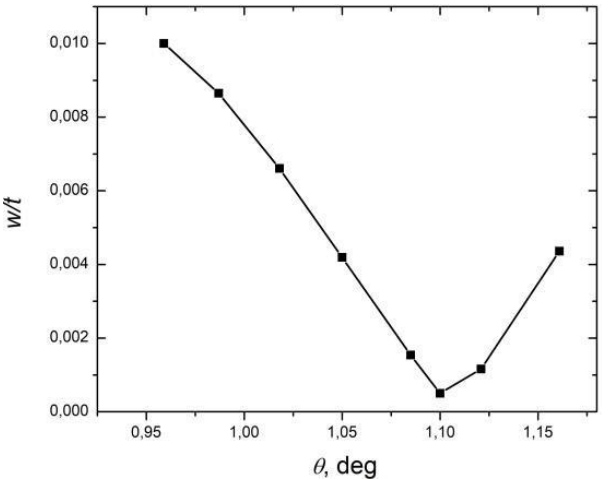


Рис.2. Зависимость ширины "плоских зон" W от угла относительного поворота двух слоёв графена

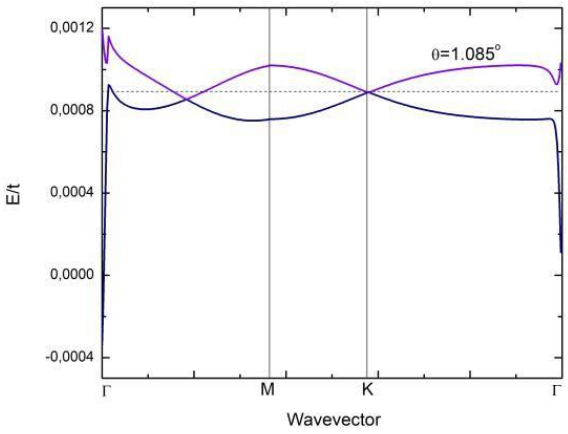


Рис.3. Электронный спектр низкоэнергетических плоских зон при параметрах Θ = *1.085° и t=0.04 эВ*

Трёхмерный электронный спектр, отвечающий рис. 3, показан на рис.4. Видны новые (красные стрелки) и старые (синие стрелки) дираковские конусы.

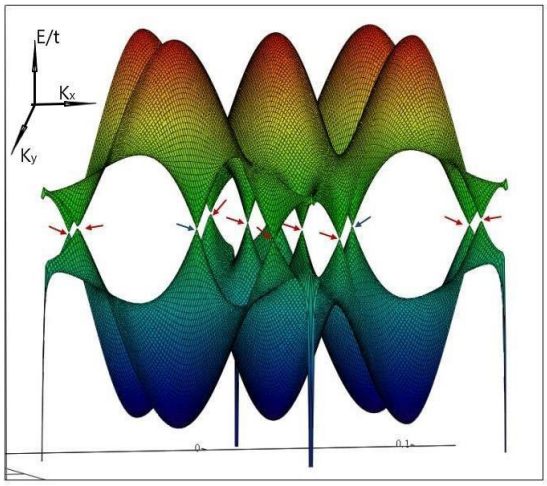


Рис.4. Электронный 3D спектр при параметрах Θ*=1.085° и t=0.04 эВ с образованием новых точек Дирака*

Заключение

В данной работе удалось расширить континуальную модель для двухслойного графена [4], построить энергетические спектры при разных значениях параметров модели и контролем размера сверхрешёток, а также получить дополнительные дираковские конусы, управляя углом относительного поворота слоёв графена. Эти результаты открывают новые возможности для твистроники – активно развиваемого направления графеновой электроники, связанного с управляемым поворотом слоёв.

Автор выражает благодарность К.И. Кугелю и А.О. Сбойчакову за помощь в постановке задачи и полезные обсуждения.

Список литературы:

1. Cao, Y., Fatemi, V., Fang, S., Watanabe, K., Taniguchi, T., Kaxiras, E., Jarillo-Herrero, P. Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices. // Nature. 2018. - Vol. 556. - No.7699. – p. 43–50.

2. Cao, Y., Fatemi, V., Demir, A., Fang, S., Tomarken, S., Luo, J., Sanchez-Yamagishi, J., Watanabe, K., Taniguchi, T., Kaxiras, E., Ashoori, R., Jarillo-Herrero, P. Correlated insulator behaviour at half-filling in magic-angle graphene superlattices. // Nature. 2018. - Vol. 556. - No. 7699. – p. 80-84.

3. Lopes dos Santos, J.M.B., Peres, N.M.R., Castro Neto, A.H. Graphene bilayer with a twist:electronic structure. // Physical Review Letters. - 2007.

– Vol. 99. - No. 25. – p. 256802.

4. Lopes dos Santos, J. M. B., Peres, N.MR., Castro Neto, A.H. Continuum model of the twisted graphene bilayer. // Physical Review B. - 2012. - Vol. 86. - No. 15. – p. 155449.

5. Sboychakov A.O., Rozhkov, A.V., Rakhmanov, A.L., Nori, F. Spin density wave and electron nematicity in magic-angle twisted bilayer graphene. // Physical Review B. - 2020. – Vol. 102. - No. 15. – p. 55142.

Секция «Информационная безопасность»

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Н.В. Полосухин
Академия ФСО России,
факультет информационной безопасности

Аннотация

В работе проводится исследование подхода детектирования вредоносного программного обеспечения (ВПО) на основе технологий компьютерного зрения. Приводятся достоинства и недостатки современных подходов и способы их улучшения.

Введение

В современном мире методы машинного обучения являются вариантом решения для многих задач, не имеющих простого аналитического решения. К таким задачам можно отнести обнаружения и анализ ВПО. С каждым годом угрозы и риски, которые провоцирует ВПО становятся все более весомыми [1], в связи с чем необходимость своевременного обнаружения вредоносных программ становится одной из приоритетных задач для специалистов по информационной безопасности. Используя специализированные техники сокрытия, вредоносные файлы могут оставаться необнаруженными в течение долгого периода времени [2]. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет выявлять отличительные черты ВПО, которые не обнаруживаются классическими алгоритмами, что обусловило широкое распространение этого направления в области детектирования ВПО.

Целью настоящей работы является модификация существующих алгоритмов детектирования ВПО с использованием технологий компьютерного зрения для повышения точности обнаружения ВПО.

Формирование набора данных для обучения

В области машинного обучения формирование обучающей выборки является одной из важнейших задач. Недостатком многих современных исследований по тематике обнаружения и классификации ВПО является использование устаревших наборов данных [3, 4]. Такие данные являются тщательно выверенными и хорошо сбалансированы, что позволяет показывать высокие результаты классификации. Однако отсутствие актуальных образцов ВПО может сделать такие модели менее результативными в реальных системах.

Многие коммерческие компании составляют наборы данных для обучения своих систем, которые содержат актуальные образцы в больших количествах. Но зачастую такие наборы недоступны вне компаний, поэтому первой задачей настоящего исследования было формирование собственного набора данных.

Были выделены две подзадачи: формирование выборки легитимных программ и формирование выборки вредоносных программ.

При решении первой подзадачи было важно создать выборку, которая бы хорошо описывала класс современных легитимных программ. Для формирования этой выборки были выбраны системные исполняемые файлы и модули операционных систем Windows 8.1/10 и Debian 10.

Решение второй подзадачи было несколько труднее. Было важно обеспечить выполнение следующих свойств:

- общность – необходимость наличия в выборке разных классов ВПО;
- актуальность – использование актуальных на данный момент объектов ВПО;
- линейная независимость – отсутствие одинаковых и похожих объектов в выборке;
- достаточность – формирование выборки достаточно большого объема для корректного обучения модели.

Указанные свойства были обеспечены за счет формирования выборки из открытого репозитория VirusShare [5], а также ВПО APT-группировок (Advanced Persistent Threat) [6, 7].

Ограничением данного исследования является то, что обе выборки формировались с ограничением по размеру файла: не менее 5 килобайт и не более 1.5 мегабайт. Данные границы обусловлены практической реализацией модели.

Общий набор данных содержал 35923 легитимных файла и 35924 вредоносных файла. Исходными данными для модели компьютерного зрения являются изображения, получаемые при визуализации бинарного представления исполняемых файлов.

Построение модели бинарной классификации с использованием сверточных нейронных сетей

Для обучения модели были выбраны глубокие сверточные нейронные сети на базе ImageNet [8]:

- EfficientNetB0;
- MobileNetV2;
- ResNet50;
- VGG16;
- VGG19;
- Xception [9].

Ввиду ограничений вычислительной мощности при обучении ресурсами Google Colaboratory [10] в качестве стратегии обучения была выбрана – Transfer Learning [11] с валидацией гиперпараметров. На подготовительном этапе для каждой из шести моделей были сформированы входные и выходные слои, зафиксированы значения скрытых слоев и произведена валидация по гиперпараметрам. В качестве гиперпараметров, подверженных валидации выступали:

- количество узлов в предпоследнем полносвязном слое модели (Dense);
- коэффициент Dropout-регуляризации [12];
- метод оптимизации.

Множества исследованных значений гиперпараметров указаны в таблице 1.

Таблица 1. Значения гиперпараметров

Гиперпараметр	**Значения**
Количество узлов в предпоследнем полносвязном слое модели	256, 512, 1024
Коэффициент Dropout-регуляризации	0.2, 0.4
Метод оптимизации	adam, sgd

Для методов оптимизации параметр Learning Rate был зафиксирован и равнялся 0,0001. Стоит отметить, что для сетей MobileNetV2, Xception и EfficientNetB0 не производилась валидация по количеству узлов в предпоследнем полносвязном слое модели, так как его наличие не было предусмотрено архитектурой сетей. Показателем качества валидации выступала точность классификации модели после третьей эпохи. Результаты валидации приведены в таблице 2.

Исходя из результатов первичной валидации, для обучения были отобраны 3 сети: ResNet50, VGG16, VGG19. Обучение этих сетей производилось в два этапа. Первый этап был схож с этапом валидации, кроме того, что гиперпараметры были зафиксированы и проходов по обучающей выборке было 10. Результаты после первого этапа обучения представлены в таблице 3.

Таблица 2. Результаты первичной валидации

Вид сети	**Количество узлов**	**Коэффициент регуляризации**	**Метод оптимизации**	**Точность классификации**
Efficient cient-NetB0	-	0.2	adam	0.944
Mobi-bi-leNetV2	-	0.4	adam	0.933
ResNet50	512	0.4	adam	0.962
VGG16	1024	0.2	adam	0.963
VGG19	1024	0.2	sgd	0.963
Xception	-	0.2	adam	0.899

Таблица 3. Результаты первого этапа обучения

Вид сети	**Точность классификации**
ResNet50	0.970
VGG16	0.966
VGG19	0.968

На втором этапе обучения для каждой сети производилось обучение в том числе скрытых слоев. При регистрации переобучения модели процесс обучения прекращался Результаты второго этапа представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты второго этапа обучения

Вид сети	**Точность классификации**
ResNet50	0.9816
VGG16	0.9788
VGG19	0.9756

Наилучший результат показала сеть ResNet50. По результатам исследования она показала полноту, точность и f1-меру порядка 0,98. При этом, вероятности ошибки первого и второго рода оказались 0,00911 и 0,00932 соответственно.

Построенная сеть позволяет добиться достаточно высокого качества классификации, однако, применение следующих приемов может повысить эффективность обнаружения:

- Увеличение тренировочной и тестовой выборок.
- Настройка модели, для недопущения ошибок второго рода. Ошибки второго рода несут в себе принципиально другой уровень угрозы, поэтому обучение модели, с учетом этого факта, позволит увеличить эффективность модели.
- Выявление новых моделей, которые будут лучше справляться с задачей классификации.
- Фиксация параметров части скрытых слоев. В работе [13] с помощью частичной фиксации параметров слоев авторы смогли достигнуть лучшей точности классификации, чем при обучении и подстройке параметров для всех слоев. Эксперименты на таких моделях могут повысить точность классификации.
- Применение поведенческого анализа. Для минимизации ошибок классификации целесообразно интегрировать данный подход с поведенческими методами анализа, что позволит специалисту более детально анализировать ВПО.

Заключение

Таким образом, применение алгоритмов компьютерного зрения в задачах обнаружения ВПО способно показывать высокие результаты в их решении. В настоящей работе был описан подход, применяемый для детектирования ВПО, и реализованный с учетом недостатков современных подходов, а также проанализированы методы повышения эффективности такого подхода.

Список литературы:

1. Hi-Tech Crime Trends 2020/2021 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.group-ib.ru/resources/threat-research/2020-report.html, свободный - Дата обращения: 14.01.2021.
2. Secrets of Cobalt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.group-ib.com/blog/cobalt, свободный – Дата обращения: 14.01.2021
3. Rathore H. et al. Malware detection using machine learning and deep learning //International Conference on Big Data Analytics. – Springer, Cham, 2018. – С. 402-411.
4. Chen L. Deep transfer learning for static malware classification //arXiv preprint arXiv:1812.07606. – 2018.
5. Репозиторий вредоносного программного обеспечения Virusshare [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://virusshare.com/, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
6. APT Malware Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/cyber-research/APTMalware, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
7. Malware Sample Library Dedicated Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/Cherishao/APT-Sample, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
8. ImageNet Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://image-net.org/about-overview, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
9. Keras Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/applications/, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
10. Google Colab Resource Limits [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://research.google.com/colaboratory/faq.html#resource-limits, свободный – Дата обращения: 16.01.2021
11. Pan S. J., Yang Q. A survey on transfer learning //IEEE Transactions on knowledge and data engineering. – 2009. – Т. 22. – №. 10. – С. 1345-1359.
12. Srivastava N. et al. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting //The journal of machine learning research. – 2014. – Т. 15. – №. 1. – С. 1929-1958.
13. Mitsuhashi R., Shinagawa T. High-accuracy malware classification with a malware-optimized deep learning model //arXiv preprint arXiv:2004.05258. – 2020.

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО КОДА НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКОГО И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АНАЛИЗА В СРЕДЕ ЭМУЛЯЦИИ

А.Г. Бураков
Академия ФСО России,
факультет информационной безопасности

Аннотация

В работе проводится исследование подхода детектирования вредоносного программного обеспечения (ВПО) на основе комплексного анализа в изолированной программной среде (среде эмуляции). Также описываются различные существующие подходы к определению типа файлов, поиска ВПО, их преимущества и недостатки. Также предложен под-

ход к определению типа и проверки на наличие вредоносного кода в исследуемом файле.

Введение

По отчетам компаний, осуществляющих свою деятельность в области информационной безопасности, за последний пять лет неуклонно растет число компьютерных преступлений, которые для пострадавшей стороны представлены инцидентами информационной безопасности. При обнаружении инцидента безопасности необходимо снять дампы оперативной памяти, изъять жесткие диски и другие носители информации, которые способны стать вещественным доказательством для следствия. Далее специалисты по компьютерной криминалистике проводят анализ дампов памяти и жестких дисков для выявления подозрительных программ и файлов, а также обнаружения в них вредоносного кода. Целью проводимого исследования является повышение оперативности анализа поведения вредоносного кода в полученных файлах с помощью статического и динамического анализов. Описание работы модулей определения типа файла и проверки на принадлежность к ВПО представлены в разделе «Работа программных модулей».

Существующие методы

Классификация методов определения типа файлов представлена на рисунке 1.

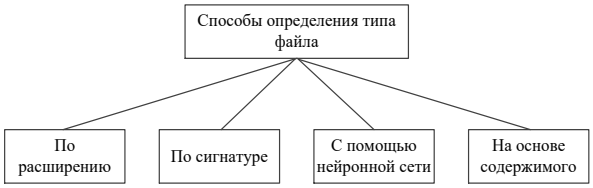


Рис.1. Классификация методов определения типа файлов

Каждый из предложенных методов имеет свои преимущества и недостатки. Например, методы поиска, основанные на анализе расширения файлов являются самым быстрым способом определения типа исследуемого файла. Однако у такого подхода есть несколько существенных недостатков. Во-первых, существуют операционные системы, например семейства Linux, которые определяют тип файла не по расширению, а по содержимому, поэтому файлы данной операционной системы не имеют расширения. Во-вторых, нет гарантий соответствия расширения файла его содержимому, поскольку расширение файла может изменить его владелец.

Методы, основанные на использовании нейронных сетей, обеспечивают наиболее точное определение типа файла, но в то же время применение таких методов неизбежно ведет к некоторым операционным трудностям, возникающим в процессе обучения и работы с нейронными сетями. Контент – анализ файлов с целью определения типа файлов является хорошим подходом, поскольку обеспечивается однозначность отнесения исследуемого файла к тому или иному типу, а также может применяться для дальнейшей классификации, однако у такого подхода есть существенный минус. Данный подход неприменим в большинстве случаев, поскольку часто невозможно ассоциировать исследуемый файл с какой-либо программой для работы с ним. Подходы, основанные на сигнатурном анализе, в настоящее время значительно распространены ввиду своих преимуществ. Такие подходы просты в применении и быстро работают, обеспечивая достаточную точность. Стоит отметить, что у сигнатурного анализа есть недостатки – необходимость наличия базы данных известных сигнатур и невозможность определения типа файла, если его сигнатуры нет в базе данных. Однако данные недостатки не являются существенным, поскольку такие базы данных легковесны и являются достаточно исчерпывающими для анализа большинства существующих типов файлов. Именно поэтому в данной работе используется сигнатурный анализ с использованием принципа мажоритарности для повышения достоверности, поскольку некоторые типы файлов имеют схожие сигнатуры.

Для определения принадлежности файла к ВПО, выделяют два основных класса методов – статический и динамических. Статические подходы сосредоточены на использовании информации о двоичных файлах и кодах дизассемблирования из образца вредоносной программы, но не исполняют код образца. Таким образом, этот подход обычно рассматривается как упрощенный метод обнаружения вредоносных программ, поскольку невозможно детектировать обфусцированное и новое, неизвестное ранее ВПО. Динамические подходы извлекают данные о поведении, выполняя исследуемый образец в виртуальной среде, а затем анализируют его поведение на основе паттернов и критериев. Динамические методы помогают аналитикам отследить алгоритм работы образца и его влияние на виртуальную среду, в которой он был запущен. Большинство методов динамического анализа основываются на трассировках системных вызовов для анализа поведения образцов вредоносных программ. Динамический анализ в изолированной программной среде (ИПС) занимает значительное количество времени. Для минимизации требуемого времени исполнения были разработаны методы, использующие многочисленные «песочницы» с несколькими виртуальными машинами одновременно для выполнения параллельных вычислений. Однако по мере увеличения количества ИПС или виртуальных машин хосту требуется больше ресурсов, например оперативной памяти и ядер процессора. Это свидетельствует о том, что динамический анализ с использованием песочниц по-прежнему является ресурсоемкой задачей [1].

Для повышения эффективности обнаружения ВПО целесообразно применять методы предварительного статического анализа. Определение типа файла способно решить вопрос первоначального отнесения такого файла к одной из двух категорий: потенциально опасные и безопасные. После определения типа файла производится статический сигнатурный анализ. Если сигнатурный анализ выявил ВПО, то дальнейший поведенческий анализ в виртуальной среде исполнения не является необходимым. Такой подход позволяет снизить среднее время, необходимое на анализ вредоносного кода.

Работа программных модулей

Структурная схема прототипа системы обнаружения вредоносного кода представлена на рисунке 2. Далее указана последовательность действий, осуществляемых программой для проверки файла.

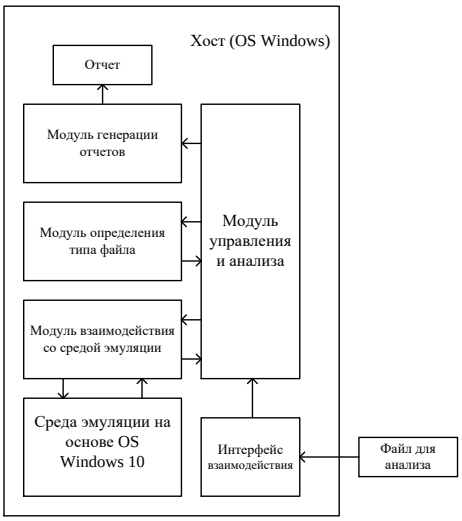


Рис.2. Структурная схема системы обнаружения ВПО

1. Подготовка к работе. Первоначально исследуемый файл поступает на машинном носителе информации. Далее этот файл передается на вход программе определения типа файла и анализа на предмет наличия вредоносного кода, которая получила название FAMAS (File Ascertain and Malware Analysis System).

2. Определение типа файла. Исследуемый файл отправляется на анализ программам сигнатурного определения типа файла, таких как Trid, Exiftool, file, binwalk. Также считывается и представляется в шестнадцатеричном виде первые 160 байт исследуемого файла. Также используются модули на языке python, такие как fleep и filetype. Такое количество используемых средств для определения типа файла необходимо для однозначного детерминирования мажоритарным способом по данным источников Дополнительно рассчитывается информационная энтропия файла для проверки файла на применение шифрования или на наличие упаковщика. После определения типа файла при необходимости восстанавливается его расширение. Затем это расширение проверяется на принадлежность к списку потенциально опасных расширений. Потенциально опасными считаются файлы, в которые теоретически возможно внедрение вредоносного кода.

3. Следующим шагом осуществляется статический сигнатурный анализ файла с помощью утилиты Pestudio [3]. В данной утилите для исполняемых файлов проверяется соответствующие признаки, указанные в работе [1]. По данным признакам можно сделать вывод является ли данный файл вредоносным. Если утилита определила, что данный файл является вредоносным, то генерируется отчет по запросу и выполнение FAMAS прекращается. В случае, если по выводу Pestudio не удалось сделать вывод о том, является ли исследуемый файл вредоносным, то файл оправляется модулем взаимодействия со средой эмуляции в ИПС на базе ОС Windows 10.

4. Анализ в среде эмуляции. Файл отправляется в ИПС. Далее запускается Windows ProcessMonitor (ProcMon), который производит запись событий, происходящих в целевой операционной системе, таких как созданные процессы, обращения к реестру, обращения к файлам и обращения к сети. По совокупности индикаторов из работы [1], делается вывод о принадлежности исследуемого файла к ВПО. Пример работы системы динамического анализа представлен на рисунке 3 [2].

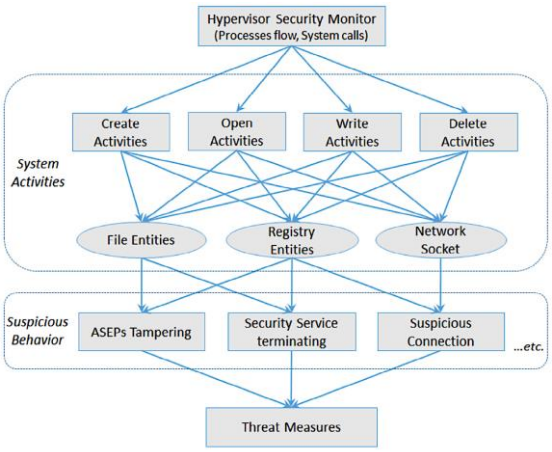


Рис.3. Пример реализации поведенческого анализа

Формируются промежуточные отчеты в формате xml и отправляется на хост для анализа соответствующим модулем.

5. Генерация отчета. При запросе генерации отчета формируется документ в формате MS Word, в котором указывается информация о типе файла, о найденных признаках ВПО. Кроме того, отчет дополняется рядом приложений, в которых содержится расширенный вывод используемых программных средств и логи подсистемы безопасности ОС Windows 10, используемой в качестве ИПС.

Направлением дальнейших исследований является уменьшение времени работы, требуемого для анализа файла в ИПС, с помощью параллельного выполнения анализа для нескольких файлов, что положительно повлияет на производительность системы обнаружения вредоносного кода. Также для определения практической ценности был проведен эксперимент, во время которого, участникам необходимо было выполнить ряд задач по определению типа файла и детектированию вредоносного кода самостоятельно и с использованием FAMAS. В ходе эксперимента было выявлено, что автоматизация процесса обнаружения ВПО позволяет достичь уменьшения времени обработки файла в среднем на 30 % с учетом необходимости составления отчета.

Заключение

В результате работы представлен подход к определению ВПО, который позволяет достичь значительного снижения временных затрат на обработку файлов. Данный подход содержит способ минимизации времени, затрачиваемого на поведенческий анализ, реализованный с помощью предварительного сигнатурного анализа. Кроме того, представлено описание работы программных модулей, необходимых для определения типа файла и вредоносного кода.

Список литературы:

1 Kozachok, A. V., & Kozachok, V. I. Construction and evaluation of the new heuristic malware detection mechanism based on executable files static analysis. Journal of Computer Virology and Hacking Techniques, 14(3), 225–231, 2017.

2. Lin, C.-H., Pao, H.-K., & Liao, J.-W. Efficient dynamic malware analysis using virtual time control mechanics. Computers & Security, 73, 359–373, 2018.

3. Marc Ochsenmeier. 2021. PEStudio. URL: https://www.winitor.com/

АНАЛИЗ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ПО ВРЕМЕНИ ГЕНЕРАТОР ОДНОРАЗОВЫХ ПАРОЛЕЙ С ФУНКЦИЕЙ ВВОДА ЗНАЧЕНИЯ

Г.В. Сидоровский
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе исследованы возможные реализации генератора одноразовых паролей, предложен дизайн и структура образцов, создаваемых на базе микроконтроллеров и исследованы основные проблемы безопасности.

Введение

В данной работе будет рассмотрен подтверждение личности на основе того, что имеется у пользователя (одноразового пароля, сгенерированного на базе ключа и времени). Современные информационные системы требуют у пользователя все более частого прохождения аутентификация, что приводит к росту ошибок при ввода одноразового пароля и недовольству пользователей.

Микроконтроллерный синхронизированный по времени генератор одноразовых паролей призван устранить недостатки дизайна таких генераторов и упростить процесс аутентификации для пользователей.

Принцип генерации одноразового пароля

Для генерации одноразового пароля синхронизированно-

го по времени необходимо знать два значения[1], а именно:

- секретный ключ;
- точное время.

Для генерации одноразового пароля (числовой последовательности заданной длины) от данных значений берется хеш-сумма, выводится пользователю.

Обычно для генерации одноразового пароля используются приложения, что негативно сказывается на уровне защищенности (так как устройство, на котором установлено приложение может быть скомпрометировано)[2]. Реже используются аппаратные генераторы (токены), к их недостаткам можно отнести необходимость ручного ввода сгенерированной последовательности (выводимой на встроенном экране) и возможную рассинхронизацию времени встроенных часов (из-за применения кварцевых генераторов, обладающей недостаточной точностью при длительном использовании).

Особенности микроконтроллерного генератора

Микроконтроллеры широкого применения, такие как семейства ESP могут использоваться для создания генераторов одноразовых паролей без перечисленных недостатков. К особенностям микроконтроллерного исполнения относятся:

- Возможность синхронизации времени (NTP через WiFi или иными способами);
- Отсутствие необходимости вводить пароль (микроконтроллер способен самостоятельно ввести пароль при подключении к АРМ по протоколу HID);
- Опциональная возможность вывода сгенерированной последовательности на экран (для совместимости с устройствами, не поддерживающими HID).

Схема работы такого генератора представлена на рисунке 1. Темным отмечены функции, которые отсутствуют у обычных (серийно выпускаемых) генераторов одноразовых паролей.

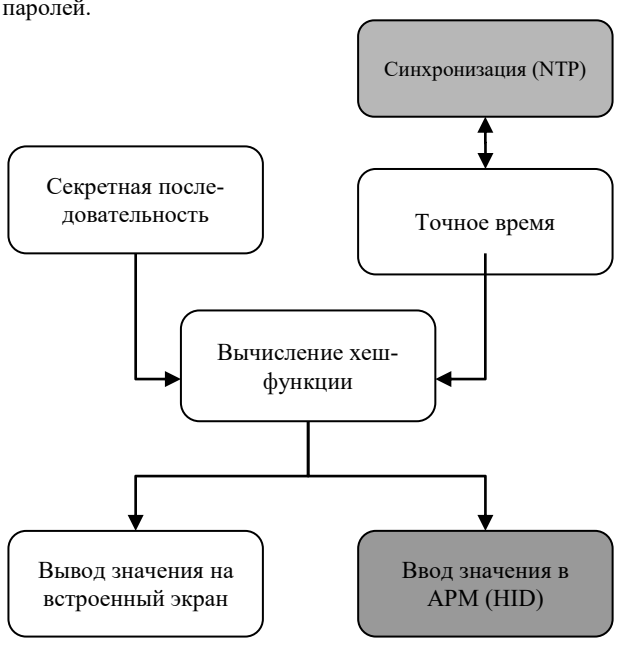


Рис.1. Схема работы микроконтроллерного генератора одноразовых паролей

Обеспечение защищенности микроконтроллерного генератора

Основными сложностями при реализации микроконтроллерного генератора одноразовых паролей являются обеспечение защищенности секретного ключа и реализация безопасного взаимодействия с сетями WiFi при синхронизации времени[3].

Для решения вышепоставленных проблем в работе предполагается использовать два микроконтроллера: один для взаимодействия с беспроводными сетями и АРМ, а второй для хранения ключевой информации и вывода ее пользователю. Такое аппаратное разграничение позволит обеспечить высокий уровень защищенности даже при компрометации одного из микроконтроллеров, снижает последствия при эксплуатации потенциально возможных уязвимостей.

Заключение

Дальнейшая экспериментальная работа будет предполагать реализацию микроконтроллерного генератора паролей различных архитектур (с одним и двумя микроконтроллерам), в ходе которой необходимо оценить соответствие теоретического и реального удобства пользователя, исследовать возможное снижение уровня защищенности.

Список литературы:

1. Грибунин В. Г. Современные методы обеспечения безопасности информации в атомной энергетике - РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2014 - с. 249-253
2. Бирюков А. А. Информационная безопасность: защита и нападение - Москва, 2017 - с. 371-373
3. Дешко И. П. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей - Москва, 2017 - с. 47-53

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ТЕКСТОВ И ИХ ПЕРЕВОДОВ

И.Э. Нагаева, Д.М. Савченкова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе исследуются информационные характеристики художественных текстов на русском и английском языках. Особое внимание уделено аспекту изменения энтропии текста в зависимости от его языка, авторства, и присутствия вторичной обработки, такой как перевод текста. Выяснено, что такой показатель как информационная энтропия чувствителен к первичному авторству текста и его языку, и может быть использован в разрешении вопросов о спорном авторстве художественного произведения. Однако по изменении энтропии нельзя сделать вывод о присутствии факта вторичной обработки текста (перевода), даже, если этот перевод является машинным. Таким образом, энтропия оказалась не чувствительна к качеству перевода.

Введение

Мера неопределенности информации характеризуется энтропией. Эта информационная характеристика очень важна. Она зависит от количества информации на единицу сообщения и количества возможных вариантов выражения его смысла. Любые тексты также обладают информационной энтропией, по значениям которой можно судить о различных характеристиках данных текстов.

Статистический анализ текстов играет важную

прикладную роль в различных практических задачах. Художественные тексты – один из тех стилей, для которого энтропия текста наиболее высокая. Это связано с различными особенностями данных текстов, таких как авторство и широта лексического разнообразия. В связи с этим показатели энтропии могут быть использованы при идентификации автора текста.

Кроме того, любой переводчик в процессе выполнения перевода сталкивается с проблемой выбора оригинального текста для перевода, выбора наиболее эффективной стратегии

перевода, единиц перевода для принятия решения на перевод, наиболее точного переводческого эквивалента, а также выбора конечного варианта текста-перевода для предъявления его читателю. Следовательно, возникает вопрос, возможно ли использовать оценку информационной энтропии текста для определения качества его перевода.

В рамках проделанной работы, задачей было:

1) исследовать характеристики художественных текстов на русском и английском языках и сравнить энтропию языков

2) исследовать энтропию отдельных художественных произведений и выяснить, как она меняется в зависимости от авторства

3) сравнить энтропию разных произведений одного автора

4) исследовать, влияет ли вторичная обработка текста (перевод) на изменение энтропии в сравнении со средним значением данного типа текста в языке

5) выяснить, чувствительны ли показатели энтропии к разным переводам одного и того же текста и меняются ли характеристики при машинном (автоматическом переводе).

Постановка задачи и математическая модель

Информация и порядок, энтропия и сохранение информации, симметрия и неоднозначность имеют ключевую роль в процессе создания текста. Важно то, что в результате трансформации энергия вещей ухудшается. В первую очередь хуже становятся качественные показатели энергии. Термин энтропии дал возможность оценить такие регулярные качественные понятия как порядок и беспорядок.[1]

Энтропия — это функция состояния конкретной системы, она служит мерой преобразования. Энтропия — это и есть художественная энергия текста. Чем больше эта энергия, тем шире вариативность при переводе.

Можно выделить две группы природных структур:

1. Симметрия – инвариант, который сохраняется при энтропийной эволюции систем.

2. Диссипативные структуры – структуры, характеризующиеся открытостью и нелинейностью.



Рис.1. Энергия текста

«Художественный текст может быть рассмотрен как некая диссипативная система, для которой направление перевода в другое состояние практически случайно. В случае с художественным текстом таким системами, выполняющими функцию внешней среды по отношению к такому тексту, будут языковые системы, литературные системы, текстовые системы, семиотические и когнитивные системы и т.д.»

Художественный текст – открытая система, которая взаимодействует с другими системами, представленными в тексте разными культурами, поэтому в процессе перевода энтропия понижается. Переводная множественность неизбежно возникает в силу того, что энергия художественного текста при переводе трансформируется в различные вторичные текстовые варианты.

С точки зрения теории информации анализируемый язык — совокупность дискретных источников, которые взаимообусловлены и подчинены принципам вероятности. Таким образом, достигается возможность осуществления дескрипции языка путем методов математической статистики.

Источником сообщений называется пара $\langle A, P\rangle$, состоящая из конечного алфавита A и распределения стей P на множестве конечных слов A^*.

Математическое описание источника как некоторого случайного процесса достигается заданием:

1) некоторого конечного алфавита A;

2) σ-алгебры элементарных событий;

3) заданием вероятностной меры $\tilde{p}(s)$ для всех борелевских множеств $s \in F_z$ [2].

Энтропия является важнейшей характеристикой источника сообщений, отражающей среднее количество информации в сообщениях.

- Дискретный стационарный источник называется марковским источником порядка m, если для любого l $(l \geq m)$ и любой последовательности $c_l = (a_{i_1}, \dots, a_{i_l})$ выполняется2: $p(a_{i_l}/a_{i_{l-1}} \dots, a_{i_1}) = p(a_{i_l}/a_{i_{l-1}} \dots, a_{i_{l-m+1}})$[2]
- k-грамма – это вектор длины $k \geq 2$, координатами которого являются элементы некоторого алфавита A. При $k = 2$ называют биграммой.[3]

В рамках проводимых исследований формируемый текстовой корпус языка рассматривается как реализация *марковского источника сообщений*, для которого:

- алфавит, используемый в английском языке,
- множество слов длины, записанных в алфавите языка,
- вероятностное распределение, заданное на символах

Энтропия источника на один знак – величина:

$$H_k = -\frac{1}{k}\sum_{\{C_k\}} p(a_{i_1}, \dots, a_{i_k}) \log_2 p(a_{i_1}, \dots, a_{i_k})$$

Аналогично может быть определено среднее количество информации, содержащееся в одном слове.

- Энтропия нулевого порядка на одно слово: $H_0^{(\text{слова})} = \log_2 K$, где K – число слов в корпусе.
- Энтропия первого порядка на одно слова: $H_1^{(\text{слова})} = -p_1 \log_2 p_1 - \dots - p_k \log_2 p_k$

Текстовые корпуса и их обработка

Для данного исследования были собраны четыре корпуса: корпус оригинальных английских и русских литературных произведений и корпус литературных текстов, переведенных на английский язык с русского или наоборот в процессе художественного перевода. Размер корпусов – 10 млн. символов каждый. Состав корпусов: переводные и оригинальные художественные тексты 20 века. Доля одного художественного произведения – не более 5% от общего объема корпуса.

Из созданных корпусов исключили все знаки, кроме символов «a-z»/«а-я», «.» и «,» и символа пробела. Все символы табуляции переведены в символ пробела. Буквы переведены в нижний регистр.

Для исследования информационных характеристик текстов было разработано специальное программное обеспечение на языке Python 3.

Основные модули программы:

- Модуль предобработки текста

- Модуль вычисления частотных и вероятностных характеристик текста (ср. длина слова, индекс лексического разнообразия, вероятности слов и n-грамм)
- Модуль вычисления энтропии (шаговой, на знак, слова и n-грамм)

Средние показатели корпусов

В таблице 1 представлены основные характеристики собранных корпусов.

Таблица 1. Характеристики корпусов

	Общее число слов	Средняя длина слова	Индекс лексического разнообразия
Русские оригиналы	1421919	5.0686	0.1296
Русские переводы	1675653	5.0671	0.1090
Английские оригиналы	2303194	4.2232	0.0361
Английские переводы	1776981	4.3179	0.0381

На рисунке 2 представлены результаты энтропии на знак оригинальных и переводных текстов на русском языке. Как видно, значения практически не отличаются, хотя переводы имеют значения энтропии несколько ниже. Для английского языка разница в среднем между первичными и вторичными текстами также не наблюдается.

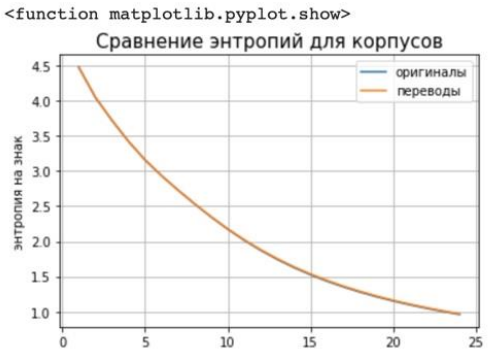


Рис.2. Сравнение энтропий на знак для русских оригинальных и переводных корпусов

Энтропия разных литературных произведений

Чтобы установить, как меняется энтропия текста в зависимости от разного авторства, исследуются характеристики отдельных произведений (рис. 3-5).

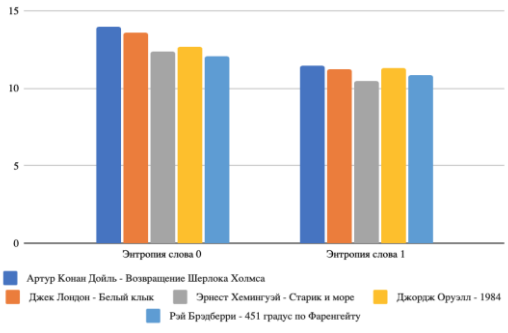


Рис.3. Энтропия слова нулевого и первого порядка для пяти английских книг

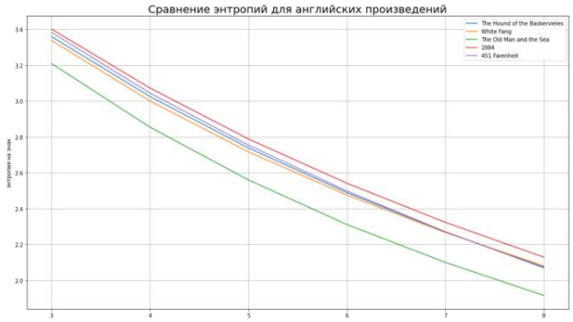


Рис.4. Сравнение энтропии на знак для пяти английских оригинальных произведений

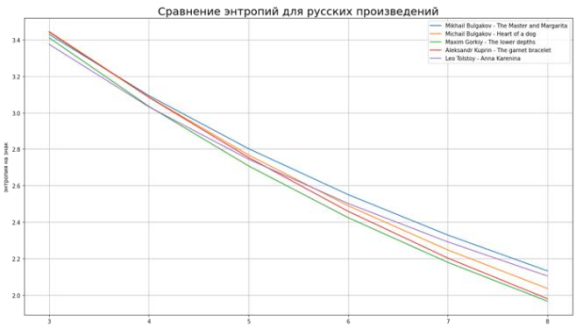


Рис.5. Сравнение энтропии на знак для пяти английских переводных произведений

Энтпропия при переводе

Следующий шаг – сравнение энтропии одного и того же произведения в разном переводе. Можно заметить, что энтропия машинных переводов чуть ниже. Но в целом художественные и машинные переводы почти не отличаются по значениям энтропии, следовательно, энтропия не чувствительна к качеству и особенностям перевода (рис. 6, 8).

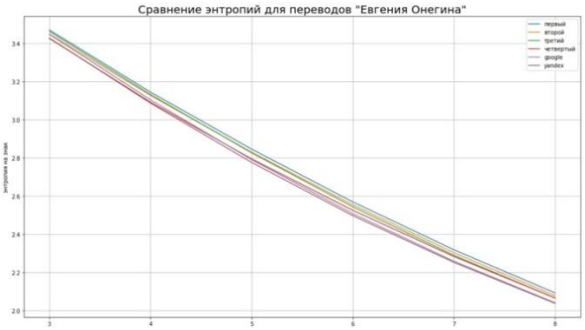


Рис.6. Сравнение энтропии на знак для шести переводов Евгения Онегина

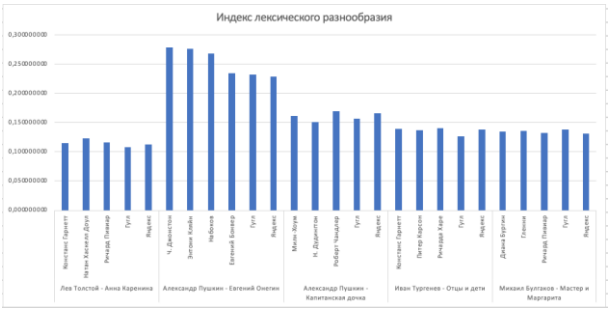


Рис.7. Индекс лексического разнообразия для пяти произведений, для каждого пять разных переводов

На графике 7 представлен индекс лексического разнообразия для пяти произведений, для каждого из которых исследовано по пять различных переводов – три художественных и два машинных. Можно заметить, что чёткой зависимости между машинным переводом и индексом лексического разнообразия нет, следовательно, с его помощью нельзя отделять машинный перевод от художественного. Также можно заметить, что для одних и тех же текстов лексическое разнообразие разных переводов держится примерно на одном уровне.



Рис.8. Энтропия слова нулевого и первого порядка для пяти английских переводов «Анны Карениной»

Энтропия произведений одного автора

Чтобы выяснить, как меняются характеристики текстов в рамках работ одного автора, исследуются отрывки его разных произведений (рис. 9, 10). Для каждого рассматриваемого автора удается выделить диапазон значений, в рамках которого меняется энтропия его текста. Такой подход может быть использован в решении спорных вопросов авторства литературных произведений.

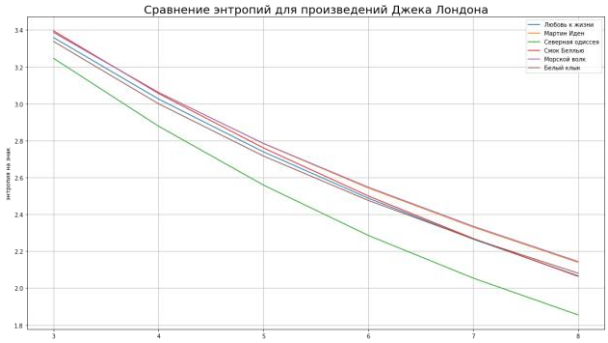


Рис.9. Энтропия слова для шести различных произведений Джека Лондона

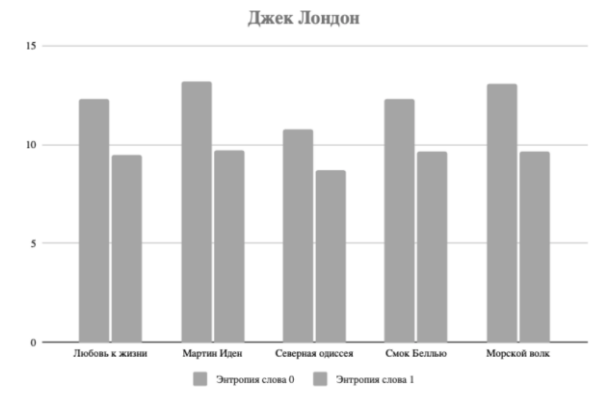


Рис.10. Энтропия слова для пяти произведений Джека Лондона

Заключение

В рамках данного исследования были созданы текстовые корпуса художественных произведений на двух языках.

В ходе исследования информационных характеристик было выяснено, что:

1) характеристики художественных текстов существенно меняются для разных языков

2) энтропия отдельных художественных произведений даже в рамках одного языка может заметно отличаться в зависимости от авторства

3) энтропия различных произведений одного автора также может разниться, но в диапазоне значений, характерном для данного автора

4) вторичная обработка текста (перевод) не оказывает существенного влияния на изменение энтропии

5) показатели энтропии оказались не чувствительны к разным переводам одного и того же текста и практически не меняются даже при машинном переводе

Список литературы:

1. В. А. Разумовская «Энергия художественного текста: диссипативная система и перевод»

2. А. А. Духин «Теория информации»

3. А. Б. Лось, А. Ю. Нестеренко, М. И. Рожков «Криптографические методы защиты информации»

4. Т. П. Андриенко «Энтропия текста как предпосылка реализации стратегии перевода»

5. Др. Здравко Вукчевич «Энтропия сербохорватского языка: исследование на опусе п.п. негоша»

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ФОНОГРАММ ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ФОНОВЫХ ШУМОВ

Д.С. Лебедева, А.И. Максимов
Самарский Национальный Исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
кафедра геоинформатики и информационной безопасности,
факультет информатики

Аннотация

В работе рассматривается задача проверки наличия в фонограмме вставок при помощи анализа фрагментов ее фоновых шумов. Исследуются методы проведения такого анализа на основе статистических критериев, методов машинного обучения, а также при помощи нейронных сетей.

Введение

Поскольку в настоящее время фонограммы активно используются как доказательство в судебных процессах, задача проверки аутентичности аудиозаписей в рамках криминалистической экспертизы [1] является злободневной и актуальной. Под криминалистической экспертизой звукозаписи понимается исследование магнитных или каких-либо других записей изображения или звука с целью установления фактов, имеющих доказательственное значение, и составление по данным указанного исследования экспертного заключения для использования последнего в судопроизводстве. [1]

Под аудиозаписью или фонограммой понимается звуков исполнения или других звуков либо отображения звуков, кроме звуков в форме записи, включенной в кинематографическое или иное аудиовизуальное произведение [2].

В данной работе исследуются возможности применения методов обработки сигналов и математической статистики к решению задачи диагностики фальсификации цифровой фонограммы, основанных на сравнении фрагментов фоновых

шумов. Были исследованы как отдельные статистические критерии согласия, так и их совокупность. Помимо статистических методов исследованы методы «классического» машинного обучения, а также искусственные нейронные сети.

Сравнение фрагментов фоновых шумов

Фоновым шумом является частью общего шума, поступающего от подвижных или стационарно расположенных источников, при отключении известных источников. [3]

В случае реальной диагностики цифровой фонограммы с использованием сравнения фрагментов фоновых шумов, эксперту необходимо выделить в анализируемой аудиозаписи фрагменты шума. В случае существенного различия метрик, характеристик, параметров взятых фрагментов шума, можно заключить, что в аудиозаписи присутствует вставка – ее части записаны в различных условиях. Для исследовательских целей упростим постановку задачи – пусть имеется пара фрагментов фонограмм фонового шума, необходимо установить, записаны ли эти фрагменты в одинаковых условиях.

Для данного исследования был самостоятельно создан тестовый датасет, представляющий из себя набор фрагментов фонограмм, полностью состоящих из фоновых шумов. Фоновые шумы были записаны в различных условиях – с использованием различных записывающих устройств, в различных помещениях и в различное время суток. Датасет состоит из 58 фонограмм, из которых образовано 1653 пар аудиозаписей. 253 пары содержат записи, полученные в идентичных условиях, 1400 пар, соответственно, содержат записи, полученные в различных условиях. При сборе данного датасета было использовано 3 записывающих устройства, запись производилась в 2 различных помещениях в различное время суток.

Исследование использования статистических критериев

Статистические критерии – это некое правило, используемое для проверки статистической гипотезы о виде распределения величины. [4]

В данной работе исследовалось 3 критерия согласия:

1. критерий согласия хи-квадрат Пирсона [5],
2. критерий Стьюдента [6],
3. критерий Манна-Уитни-Вилкоксона[7].

Статистические критерии применялись для решения задачи диагностики фонограмм следующим образом: для диагностируемой пары аудиозаписей формировалась спектрограмма [8][9], в рамках одного частотного среза фонограмм вычислялся один из трех выбранных статистических критериев, полученные значения усреднялись по всем частотным срезам.

Обобщенное математическое выражение для данной процедуры можно записать в следующем виде:

$$\bar{U}_i = \frac{\sum_{f=0}^{F-1} U_i(f)}{F}, \quad (1)$$

где $\bar{U}_i$ - усредненный по всем частотным срезам критерий,

$U_i(f)$ - вычисляемый по частотному срезу статистический критерий,

i - обозначение, отвечающее за тип используемого статистического критерия,

f - номер частотного среза,

F - число частотных срезов,

Также исследовалось усредненное значение полученных критериев:

$$\bar{U} = \frac{\bar{U}_S + \bar{U}_M + \bar{U}_{\chi^2}}{3}, \quad (2)$$

где $\bar{U}$ - усредненное значение статистических критериев,

$\bar{U}_S$ - усредненное по числу частотных срезов значение критерия Стьюдента,

$\bar{U}_M$ - усредненное по числу частотных срезов значение критерия Манна-Уитни-Вилкоксона,

$\bar{U}_{\chi^2}$ - усредненное по числу частотных срезов значение критерия хи-квадрат Пирсона.

В данном исследовании полагалось, что две фонограммы идентичны, если значение усредненного критерия превысило порог 0,78, полученный экспериментальным образом.

С учетом установленного порога, были получены следующие результаты точности работы статистических критериев:

1. критерий Стьюдента - 0,30,
2. критерия Манна-Уитни-Вилкоксона – 0,13,
3. критерий хи-квадрат Пирсона – 0,15,
4. среднее по трем критериям – 0,14.

Исследование использования методов машинного обучения

В данной работе также исследовалась возможность использование методов машинного обучения для решения задачи. Был построен бинарный классификатор, в который в качестве вектора признаков подавался вектор из значений статистических критериев - $\left\{\bar{U}_S, \bar{U}_M, \bar{U}_{\chi^2}\right\}$. Для обучения собранный датасет был разбит на обучающую и тестовую выборки в пропорции 7:3.

Для определения качества классификации, помимо точности, было использовано значение f-score [7].

$$Fscore = \frac{2\,precison \cdot recall}{precison + recall} \quad (3)$$

где *precision* - точность классификатора [10], показывающая, сколько из объектов, которые он отнес к этому классу, действительно относятся к этому классу.

recall – полнота [10], показывает, сколько объектов конкретного класса классификатор смог определить правильно.

В результате обучения классификатора были получены следующие значения:

1. значение точности = 0.30,
2. значение f-score = 0.08.

Исследование использования нейронных сетей

Поскольку применение классического машинного обучения не вызвало существенного повышения точности решения поставленной задачи, были исследованы возможности нейросетевых моделей.

Поскольку спектрограмма шумового сигнала является двумерным сигналом (изображением), было решено исследовать возможности синергии предназначенных для обработки изображений нейросетевых моделей и обработки звуковых сигналов.

Для решения выбранной задачи подходит архитектура сиамских нейронных сетей [11]. Сиамская нейронная сеть состоит из двух одинаковых нейронных подсетей, которые принимают на вход различные данные. Сиамская сеть высчитывают отображение входных данных в вектора, считает расстояние между ними и функцию потерь, после чего оценивает различие между входными данными [11]. Сиамские сети используются для так называемого one-shot распознавания [12], когда делается предсказание на основе одного экземпляра для каждого класса. Классическая архитектура сиамской нейронной сети представлена на рис. 1:

В данной работе нейросеть строилась на основе модели VGG16 [13]. Данная модель содержит в себе 16 слоев, последние два слоя. На выходе каждой подсети получался вектор-дескриптор входной спектрограммы аудио сигнала размерностью 4096. Следующая задача – вычислить расстояние

между полученными векторами, для исследования было выбрано евклидово расстояние. Полученные расстояния подавались на вход бинарному классификатору [14]. Для обучения собранный датасет был разбит на обучающую, тестовую и валидационную выборки в пропорции 6:3:1.

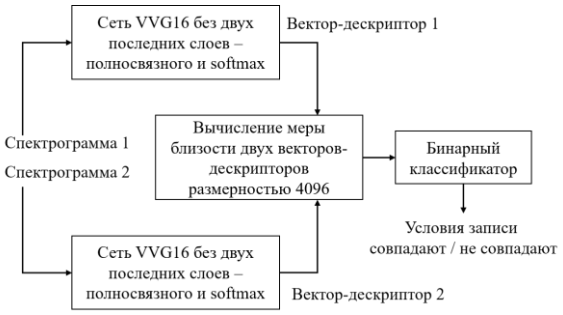


Рис.1. Архитектура разработанной для исследования сиамской нейросети

В результате валидации модели были получены следующие значения:

1. Значение точности = 0,77,
2. Значение f1-score = 0,31.

Анализ результатов и направление дальнейших исследований

Классификация на основании вектора признаков, полученного по результатам применения статистических критериев, показала значение точности 0,3 и меру f-score 0,08. Неудачу применения такого метода можно связать как с перекошенностью датасета (пар различных шумов больше, чем пар идентичных шумов), так и с тем, что выбранные признаковое пространство было достаточно примитивным.

Результат классификации на основе сиамской нейронной сети показал точность 0,77 – лучший результат среди исследованных методов. Данные результат планируется улучшить в будущих исследований. Для этого предполагается провести исследование нейросетевых моделей и метрик близости векторов-дескрипторов. Также планируется продолжать пополнять датасет фрагментов фоновых шумов.

Заключение

В данной работе рассмотрена задача диагностики фальсификации фонограмм путем сравнения фрагментов фоновых шумов. Были исследованы методы основанные на мат.статистике, машинном обучении и нейронных сетях. Исследования были проведены на самостоятельно собранном датасете.

Наилучшие результаты среди статистических критериев демонстрирует критерий Стьюдента с значением точности 0,3. Использование усреднения по трем критериям не оказывает существенного положительного эффекта.

Обученный на векторах из статистических критериев Байесовский классификатор продемонстрировал точность 0,3. Однако оценка качества его работы с помощью метрики f-score, которая является более подходящей для случая обучения на перекошенном датасете, показала низкое значение – 0,08.

Использование сиамской нейросети на основе модели VGG16 с использованием евклидового расстояния в качестве меры близости между векторами-дескрипторами спектрограмм продемонстрировала точность 0,77, что показывает перспективность дальнейших исследований таких ахитектур.

Список литературы:

1 Ищенко Е.П. Криминалистика. Учебник/ Ищенко Е.П., Топорков А.А. – М.: Инфра-М Контракт, 2010. – 781 с.

2 Каганов А.Ш. Криминалистическая экспертиза звукозаписей / А.Ш. Каганов. - М.: Юрлитинформ, 2005. - 272 с.

3 ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий (с Поправкой).

4 Семенов В. А. С30 Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. — СПб.: Питер, 2013. — 192 с.: ил.

5 Панков А.Р., Платонов Е.Н. Практикум по математической статистике: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2006.

6 Володин И.Н. Лекции по теории вероятностей и математической статистике [Текст]/И.Н. Володин – Казань: [б.и.], 2006. - 271с.

7 Берестнева О.Г. Прикладная математическая статистика: учебное пособие / Берестнева О.Г., Марухина О.В., Шевелёв Г.Е. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 200 с.

8 L. Wyse. Audio Spectrogram Representations for Processing with Convolutional Neural Networks // Proceedings of the First International Workshop on Deep Learning and Music joint with IJCNN. - 2017. - Vol.1. - No.1. - p. 37-41.

9 Ахмад Х. М. Введение в цифровую обработку речевых сигналов: учеб. пособие / Х. М. Ахмад, В. Ф. Жирков ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 192 с.

10 Гладин П.Е. Технологии машинного обучения[Текст]/ Гладин П.Е., Боченина К.О. – СПб:Университет ИТМО, 2020. -75с.

11 I. Melekhov. Siamese network features for image matching/ I. Melekhov, J. Kannala, E. Rahtu// XXIII International Conference on Pattern Recognition. -2016. - p. 378-383.

12 G. Koch. Siamese neural networksfor one-shot image recognition/ G. Koch, R. Zemel, and R. Salakhutdinov// ICML Deep Learning Workshop. -2015. –Vol 2.

13 T. Srikanth. Transfer learning using VGG-16 with Deep Convolutional Neural Network for Classifying Images// International Journal of Scientific and Research Publications. -2019. – Vol 9. –p. 143-150.

14 H. Almuallim. An Efficient Algorithm for Optimal Pruning of Decision Trees//Artificial Intelligence - 1996. - p. 347-362.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БАЗЕ РАСШИРЕННЫХ КОДОВ РИДА-СОЛОМОНА С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ОШИБОК

В.А. Пантелеев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе реализуется и исследуется новый вариант схемы МакЭлиса. Планируется разработка и исследование криптосистемы с открытым ключом с обобщенной локализацией ошибок на основе вложенных расширенных кодов Рида-Соломона. Описывается алгоритм генерации ключа, кодирования и декодирования информации таким способом.

Также приводится аналитическая оценка эффективности этих кодов в сравнении с классическим вариантом криптосистемы на базе кодов Гоппа.

Введение

В 1978 году МакЭлис представил первую криптосистему с открытым ключом на основе кода. Она принадлежит к семейству криптосистем с открытым ключом, которые не взламываются десятилетиями. Основная проблема, на кото-

рую опирается система Мак-Элиса, - это сложность декодирования случайного (-подобного) линейного кода, не имеющего видимой структуры. МакЭлис предложил использовать двоичные коды Гоппа для схемы шифрования. Из-за низкой способности кодов Гоппа исправлять ошибки, криптосистема приводит к большим размерам открытых ключей. Было предложено несколько альтернативных семейств кодов с целью уменьшения размеров ключей. Вот некоторые из известных семейств рассматриваемых кодов: обобщенные коды Рида-Соломона, недвоичные коды Гоппы, алгебро-геометрические коды, коды LDPC и MDPC, код Рида-Маллера, свёрточные коды. Большинству из них не удалось скрыть структуру приватного кода.

Мотивация к поиску лучших криптосистем на основе кода в основном связана с появлением квантовых компьютеров. В 1994 году Питер Шор разработал квантовый алгоритм, работающий в пределах полиномиального времени, факторизации целых чисел и решения задач дискретного логарифмирования.

Это означает, что большинство популярных в настоящее время криптосистем, таких как RSA и ECC будут взломаны в эпоху квантовых компьютеров.

В этой статье представлен новый вариант схемы Мак-Элиса с использованием расширенного Кода Рида-Соломона. Линейный [n, k] код, определенный над полем расширения F_{q^m}, может разложить по базовому полю F_q до линейного кода [*mn, mk*] путем раскрытия каждого кодового слова относительно фиксированного F_q-линейного изоморфизма из F_{q^m} в F_q^m.

В предлагаемой криптосистеме структура расширенного кода Рида-Соломона скрывается путем прокалывания и перестановки столбцов своей проверочной матрицы проверки на четность и умножения на обратимую блочно-диагональную матрицу.

Коды Рида-Соломона и Расширенные Коды Рида-Соломона.

Для начала опишем обобщенную структуру данного вида кода:

Коды Рида-Соломона представляют собой блочные коды с исправлением ошибок с широким спектром приложений в цифровой связи и хранении данных. Коды Рида-Соломона используются для исправления ошибок во многих системах, включая: хранение данных, беспроводная связь, цифровое телевидение и т.д.

Описание конструкции данного кода приведено на рисунке 1.



Рис.1. Схема применения кода Рида-Соломона

Коды Рида-Соломона представляют собой подмножество кодов БЧХ и являются линейными блочными кодами. Код Рида-Соломона определяется как RS (n, k) с s-битовыми символами.

Минимальное расстояние кода такого типа выводится из выражения:

$$dmin = n–k +1.$$

Такое значения является одним из наибольших значением минимального расстояния кода.

Если к общему случаю кода Рида-Соломона добавить новые компоненты, то получаемые таким способом конструкции называются расширенными кодами Рида-Соломона.

Пусть q - степень простого числа, а m - целое число. Пусть γ - примитивный элемент поля F_q^m, т.е. $F_q^m \cong F_q(\gamma)$. Поле F_q^m также можно рассматривать как F_q-векторное пространство размерности m с помощью F_q-линейного изоморфизма:

$$\varphi : F_q{}^m \to F_q^m ,$$
$$a_0 + a_1\gamma + \cdots + a_{m-1}\gamma^{m-1} \to (a_0, a_1, \ldots, a_{m-1}).$$

Продолжим этот изоморфизм для векторов над F_q^m следующим образом:

$$\varphi_n : F_{q^m}^n \to F_q^{mn},$$
$$(\alpha_0, \alpha_1, \ldots, \alpha_{n-1}) \mapsto (\varphi(\alpha_0), \varphi(\alpha_1), \ldots, \varphi(\alpha_{n-1})).$$

Ясно, что это F_q-линейный изоморфизм. Следовательно, это дает нам способ получить линейный код над F_q из линейного кода над F_q^m.

Пусть *n, k* - натуральные числа, $k \le n$, пусть *q* - степень простого числа, а m - целое число. Пусть *C* - линейный код длины n и размерности *k* над F_q^m. Расширенная версия кода *C* относительно примитивного элемента $\gamma \in Fqm$ - линейный код над базовым полем *Fq*, определяемый как

$\hat{c} := \{\varphi n\ (c): c \in C\}$, *где* φn - *Fq*-линейный изоморфизм, определенный с помощью *γ*, как указано выше.

Описание криптосистемы

В предлагаемой криптосистеме используется расширенный код Рида-Соломона, проверочная матрица которого может рассматриваться как n блоков, где каждый блок имеет размер m. Чтобы устранить алгебраическую структуру кода, мы выбираем $2 \le \lambda \le m - 1$ и сокращаем его на случайно выбранных m - λ столбцах в каждом блоке. Затем мы скрываем сокращенный код, умножая его на обратимую матрицу, которая сохраняет вес вектора над полем расширения F_q^m.

Генерация ключа: Пусть q - степень простого числа, $2 \le \lambda < m$ - натуральные числа и $k < n \le q^m$- натуральные числа, удовлетворяющие условию R: = k / n> (1 - λ / m). Рассмотрим код RS C = GRSn,k (α, β) размерности k и длины n над конечным полем Fq^m и выберем матрицу H. Пусть t - способность исправления ошибок C. Пусть $\hat{H}$ - расширенная проверочная матрица расширенного кода $\hat{H}$ кода C относительно примитивного элемента $\gamma \in Fq^m$. $\hat{H}$ - матрица размера m (n - k) × mn над Fq.

Укорачивание: для каждого i от 1 до n случайно выбираем Si – подмножество:

{(i − 1)m + 1,(i − 1)m + 2, . . . , im} размера m-λ. S-объединение Si-x. Затем прокалываем $\hat{H}$ в колонках под номерами из S. Получается укороченная расширенная проверочная матрица: $\hat{H}$s.

Скрытие: выбирается n случайных матриц размера

$$\lambda \times \lambda\ T1,\ T2, \ldots, Tn$$

над полем F_q.

Задаем блочно-диагональную матрицу T с диагональными блоками *T1, T2,...,Tn.* Далее выбирается случайная перестановка σ длины n и определяется Pσ-матрица перестановок.

Определяем Q=TPσ и вычисляем $H' = \hat{H}$sQ

Тогда закрытый ключ (*H, Q, γ*) и открытый ключ (*H',t,* λ).

Шифрование: Пусть $y \in F_q^{\lambda n}$ будет сообщением, с ненулевыми значениями в t подвекторах, каждый длины λ, в частности:

Ненулевые значения в:

$\{\lambda(i_1 - 1) + 1, \lambda(i_1 - 1) + 2, \ldots, \lambda(i_1), \lambda(i_2 - 1) + 1, \lambda(i_2 - 1) + 2, \ldots, \lambda(i_2), \ldots, \lambda(i_2 - 1) + 1, \lambda(i_2 - 1) + 2, \ldots, \lambda(i_2)\},), \ldots, \lambda(i_t - 1) + 1, \lambda(i_t - 1) + 2, \ldots, \lambda(i_t)\}$

Вычисляем шифр: $c = H' y^T$.

Дешифрование: Для дешифрования мы применяем к *c* изоморфизм вида:

$$\varphi^{-1}_{n-k}(c) = \varphi^{-1}_{n-k}(\hat{H}sQy^{T})$$

Так как $\hat{H}sQy^{T} = \hat{H}\bar{y}$-вложение yQ^{t} в F_q^m из-за ввода нулей в позиции с индексом S.

Благодаря блочной структуре матрицы Q вектор QyT имеет ненулевые значения в t субвекторах, каждый из которых имеет длину λ, таким образом, $\bar{y}$ имеет ненулевые значения в t подвекторах, каждый из которых имеет длину m и мы можем декодировать φ^{-1}_{n-k} чтобы получить $\varphi^{-1}_{n}(\bar{y})$. Применяя φn, получаем $\bar{y}$, а проецируя позиции, не индексированные S, получаем QyT.

После умножения на Q−1, восстанавливаем сообщение y.

Безопасность предлагаемой криптосистемы

В этом разделе приводится обоснование безопасности предлагаемой криптосистемы. Рассматриваются три основные атаки на криптосистемы, основанные на кодах Рида-Соломона. Две из них структурные атаки (или атаки с восстановлением ключа), а именно атака Сидельникова-Шестакова и атака, основанная на произведении Шура. Третья- самая известная неструктурная атака, называемая декодированием набора информации (ISD).

Атака Сидельникова-Шестакова

Первая криптосистема на основе кода Рида-Соломона - криптосистема Нидеррайтера. В источнике [6] данная криптосистема подвергается атаке Сидельниковым и Шестаковым, где они использовали тот факт, что публичная матрица также является порождающей матрицей кода Рида-Соломона и таким образом они смогли восстановить оценочные точки, и, следовательно, структуру матрицы кода Рида-Соломона.

В криптосистеме, предполагаемой в данной работе, проверочная матрица кода скрывается двумя способами: прокалыванием ее расширенной проверочной матрицы и затем путем перестановки столбцов проколотой матрицы. Из умножения $\hat{H}s$ на блочно-диагональную матрицу становится ясно, что полученный код не эквивалентен оценочному коду. Следовательно, оценочные векторы не могли быть восстановлены с помощью атаки Сидельникова-Шестакова.

Атака на основе произведения Шура

Из-за блочной структуры $\hat{G}$ матрица Шура $\hat{G}$ будет

иметь много нулевых строк. В результате размер квадрата кода неполон при достаточно большом n. Это может привести к уязвимостям при использовании расширенных кодов Рида-Соломона непосредственно в криптосистеме.

Эффект сокращения: Рассмотрим матрицу $\hat{H}$ расширенного кода Рида-Соломона. Разделим столбцы $\hat{H}$ на n блоков размером m каждый. По определению $\hat{H}$ каждый из этих блоков соответствует уникальному вектору-столбцу проверочной матрицы родительского кода. Чтобы ослабить это соответствие, мы выкалываем (выбираем случайным образом) m - λ столбцов из каждого блока $\hat{H}$. В результате соответствие каждого блока родительскому вектору-столбцу отсутствует. Кроме того, мы умножаем проколотую проверочную матрицу на обратимую блочно-диагональную матрицу T. Это дополнительно разрушает алгебраическую структуру, унаследованную от родительского кода.

ISD (Information Set Decoding)

В алгоритм ISD сначала выбирается множество I, которое является подмножеством размера k множества {1, 2,. . . , n} такое, что проверочная матрица со столбцами, индексированными I, невырожденная. Затем методом исключения Гаусса проверочная матрица приводится в стандартную форму и, предполагая, что ошибки выходят за рамки набора информации, эти операции со строками синдрома будут использовать вектор ошибок, если вес не превышает заданную способность исправления ошибок. В предлагаемой криптосистеме вектор ошибки имеет ненулевые значения в t субвекторах, каждый из которых имеет длину λ.

Алгоритм Штерна разбивает информационный набор I на два подмножества X и Y одинакового размера и равномерно случайным образом выбирает подмножество Z размера вне I. Затем он ищет векторы, имеющие вес p среди столбцов, проиндексированных X, то есть вес p среди столбцов, индексированных Y, и вес 0 в столбцах, индексированных Z, и вес t - 2p в остальных индексах. В предлагаемой криптосистеме нам дан публичный код $\hat{c}$ длины λn и размерности k.

Мы разбиваем I на два подмножества X и Y одинакового размера и равномерно случайным образом выбираем подмножество Z из l блоков вне I. Затем мы ищем векторы, имеющие опору p блоков в X, p блоков в Y и 0 блоков в Z.

Размер Ключа

В предлагаемой криптосистеме открытый ключ представляет собой матрицу проверки на четность линейного кода над F_q, имеющего длину λn и размерность mk - (m − λ)n. Следовательно, размер открытого ключа составляет:

(λn - m (n - k)) · m (n - k) · log2 (q) бит.

Таблица 1. Сравнение размеров ключей предлагаемой криптосистемы с m = 3 и λ = 2, с 256 битовым уровнем защиты от алгоритма ISD.

Скорость	q	n	k	t	Размер ключа в битах
0.6	13	1382	829	277	6783627
0.65	13	1270	825	223	5952804
0.7	13	1207	844	182	5339456
0.75	13	1192	894	149	4929077
0.8	13	1230	984	123	4702652
0.82	13	1258	1031	114	4624198
0.85	13	1340	1139	101	4634545
0.87	13	1420	1235	93	4692805
0.9	13	1602	1441	81	4863276

Таблица 2. Сравнение размеров ключей предлагаемой криптосистемы с m = 4 и λ = 2, 256-битового уровня защиты от ISD.

Скорость	q	n	k	t	Размер ключа в битах
0.65	7	2360	1534	413	13134108
0.7	7	1945	1361	292	10191102
0.75	7	1738	1303	218	8480009
0.8	7	1662	1329	167	7448878
0.85	7	1700	1445	128	6815134
0.87	7	1770	1539	116	6785893
0.89	7	1872	1666	103	6754721
0.91	7	2024	1841	92	6814326

Таблица 3. Сравнение размеров ключей предлагаемых параметров для разных криптосистем.

Система	q	m	n	k	размер ключа вбитах
Предлагаемая система первого типа	13	3	1258	1031	4624198
Предлагаемая система второго типа	7	4	1872	1666	6754721
Система МакЭлиса	2	13	6960	5413	8373911

Таким образом, для уровня безопасности 256 бит предлагается использовать криптосистему с двумя наборами параметров (q = 13, m = 3, λ = 2, n = 1258, k = 1031) и (q = 7, m = 4, λ = 2, n = 1872, k = 1666), см. Таблицу 3. Предложенные параметры для классической системы Мак-Элиса с использованием двоичных кодов Гоппа: q = 2, m = 13, n = 6960, k = 5413, что дает размер ключа 8373911 бит. Он обеспечивает уровень безопасности 260 бит. По сравнению с классической системой МакЭлиса, набор параметров первого типа уменьшает размер ключа на 44,8%, а набор параметров второго типа уменьшает размер ключа на 19,3%.

Заключение

Результатом работы является кодовая криптосистема с открытым ключом, с использованием расширенных кодов Рида-Соломона. Преимущество такой криптосистемы заключается в уменьшении размера ключа и увеличении показателей безопасности по сравнению с классической криптосистемой МакЭлиса.

Список литературы:

1. Olivier Rioul 1,∗ and José Carlos Magossi 2, *On Shannon's Formula and Hartley's Rule: Beyond the Mathematical Coincidence,2014*

Available: https://www.mdpi.com/journal/entropy

2. E. B Vinberg, *Algebra Course*, 2001. 3. Sogalovich Y. L, *Introduction into an algebraic codes*, 2011

4. Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, "The basics of error-correcting coding", *Lecture number 1. Convolutional codes*

5. Saleh Faruque* and Rana Shaaban, Department of Electrical Engineering University of North Dakota, *"Complementary Convolutional Coding. Available:* IEEE.com

6. V. M. Sidelnikov and S. O. Shestakov, On insecurity of cryptosystems based on generalized Reed-Solomon codes, Discrete Mathematics and Applications, 2 (1992), 439–444.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СВОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОТОКОЛОВ

А.Ю. Нестеренко, А.М. Семенов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описывается методика проверки выполнимости свойств безопасности криптографических протоколов с использованием математического аппарата теории автоматов и теории сложности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90155.

Введение

В настоящее время разнообразие угроз обязывает разработчиков информационных систем уделять особое внимание вопросам безопасности информационного обмена. Основой любой информационной системы являются различные протоколы (криптографические, транспортные и коммутационные), обеспечивающие взаимодействие между объектами и/или субъектами данной системы, в качестве которых могут выступать локальные устройства одной машины, абоненты сети или иные автоматизированные системы.

Существует ряд требований [1 - 4], которым должны удовлетворять криптографические протоколы, используемые в современных сетях. В качестве примера можно привести международные требования. Данным требованиям могут удовлетворить как проприетарные решения, используемые в продуктах какой-либо компании, так и стандартизированные решения, являющиеся частью национальных систем стандартизации. Одной из основных характеристик протокола безопасности является перечень свойств безопасности, которые он позволяет обеспечить.

Данная работа посвящена описанию новой методики обоснования защитных свойств протоколов безопасности (криптографических протоколов), позволяющей объединить различные существующие в настоящее время подходы.

Свойства безопасности

Под свойствами безопасности понимается - способность протокола противостоять определенной атаке или классу атак. Например, выполнение свойства аутентификации участников протокола позволяет обеспечить защиту от атак имперсонификации.

В зависимости от своего приложения современные криптографические протоколы позволяют обеспечивать выполнение большого спектра свойств безопасности. Одним из требований при разработке является проверка выполнимости данных свойств безопасности.

Конечный перечень свойств безопасности для протокола зависит от множества факторов - его приложения, среды функционирования, вычислительной мощности устройств, технических возможностей по администрированию и так далее.

Наиболее полный перечень представлен в [5 ,6]. Стоит отметить, что существующий перечни свойств являются общими и зачастую не отражают полной картины, характерной для конкретного прикладного протокола. Данный перечень плохо формализован и не принимает во внимание взаимозависимость ряда свойств безопасности. Также перечень свойств безопасности может дополняться новыми свойствами, характерными для конкретного протокола, а интерпретация того или иного свойства может меняться в зависимости от модели в которой рассматривает протокол. Ярким примером может служить свойство анонимности, трактовка которого зависит от инфраструктуры, используемой протоколом. Так в случае использования инфраструктуры PKI, свойство анонимности может касаться защиты сертификатов абонентов от раскрытия третьим лицам, а в случае ином случае анонимность - состояние защищенности совокупности персональных данных абонентом.

Подходы к обоснованию защитных свойств протоколов

Разработка нового протокола, обеспечивающего защищенное взаимодействие между абонентами в сети, и особенно процесс его стандартизации подразумевает проведение ряда исследований, целью которых является обоснование выполнения необходимых свойств безопасности. Проводимые исследования в большинстве случаев касаются анализа различных криптографических механизмов и их комбинаций. Например, анализ ключевой системы протокола или механизма идентификации и аутентификации абонентов. Дополнительно могут рассматриваться различные инженерные решения, реализованные в протоколе, которые прямо или косвенно влияют на выполнение свойств безопасности. Примером подобного решения может служить способ нумерации сообщений, обеспечивающий защиту от атак повтором.

В качестве основных подходов к анализу свойств безопасности, применяемых в настоящее время, можно выделить следующие методики:

- Доказуемая стойкость - исследование криптографического протокола в рамках модели с использованием оракула. Оракул представляет собой некоторую подпрограмму, доступную нарушителю, которая может производиться какие-то вычисления (например, шифровать сообщения) или в определенной вероятностью позволять противнику отличать равномерно распределенные случайные величины от сгенерированных в рамках работы протокола. Данный подход

позволяет получить приблизительную оценку того, насколько «быстро и часто» нарушитель может нарушать свойство безопасности, то есть вероятностные и сложностные оценки для реализации атаки в идеальной модели, в которой существует необходимый оракул. Особенность данного подхода является идеальность рассматриваемой модели в которой существует данный оракул. В условиях приближенных к реальным установить наличие необходимо оракула крайне затруднительно.

- Формальная верификация - проверка криптографических протоколов на обеспечение требуемых свойств безопасности в предположении о надёжности криптографических примитивов, на которых он основывается. Для решения этой задачи разработан ряд подходов, основанных на различных формальных методах верификации. Отличительной особенностью методов формального анализа является возможность их автоматизации. Позволяет получить траекторию проведения атаки, нарушающую определенное свойство, или показать, что свойство выполняется.

- Исследование возможности реализации конкретных атак или атак определенного класса. Нацелен на исследование потенциального «узкого места» в криптографическом протоколе или наиболее критичных, с точки зрения выполнения свойств безопасности, механизмов. Часто данный подход используется при анализе нового протокола из определенного семейства.

Предлагаемый поход

В данной работе предлагается подход к обоснованию выполнения свойств безопасности, основанный на моделирования работы протокола при помощи теории автоматов и применении теории сложности для получения численных оценок.

В качестве отправной точки исследований свойств безопасности протокола будем использовать свойства безопасности, разделенные на две основные группы - базовые и расширенные. Выполнение базовых свойств основано на сложности решения задачи, а расширенные представляют собой комбинацию из базовых или следствие базового свойства. Например, свойство обеспечения конфиденциальности передаваемых данных и аутентификации абонентов в протоколе Диффи-Хеллмана, основано на сложности решения задачи дискретного логарифмирования. Если рассмотреть свойство, гарантирующее участникам протокола возможность безопасно договориться о параметрах безопасности (свойство G11 из [5]), то его выполнимость основана на комбинации свойств конфиденциальности и аутентификации абонентов. Выполнение свойства аутентификации сообщений является прямым следствие из свойства аутентификации абонентов. Подобная классификация свойств позволяет также говорить о наследовании свойств, что упрощает анализ многоуровневых протоколов, например IpSec.

Целью любого нарушителя является реализация той или иной угрозы безопасности в виде проведения спешной атак на протокол. В рамках предлагаемого подхода атаки будем подразделять на два класса. К первому классу атак относятся те атаки, которые выполняются за конечное число шагов, а атаки второго класса выполняются за константное число шагов.

Любая атака из первого класса нацелена на нарушение определенного свойства безопасности и, как следствие, решение сложной математической задачи, лежащей в основе данного свойства. Примером подобных атак является реализация атаки «человек-посередине» или оффлайн перебор пароля для протоколов класса PAKE.

Атаки из второго класса являются следствием ошибок и недочетов, возникших при проектировании протокола, и не обязательно основаны на решении какой-либо математической задачи. Например, реализация атаки повтором сообщений может быть следствием некорректной работы механизма подсчета сообщений. Следует отметить, что оба класса атак могут включать в себя как активные, так и пассивные атаки.

Таким образом данная классификация атак позволяет получить числовую оценку сложности реализации определенной атаки, в зависимости от сложности алгоритма (или количества шагов), на котором она основана.

При применении предлагаемого подхода к анализу свойство безопасности криптографического протокола, сам протокол представляется в виде конечного неавтономного автомата. Шагом работы автомата является прием, обработка и отправка сообщения. Входом каждого состояния является сообщение, которое интерпретируется и обрабатывается в каждом состоянии автомата, согласно спецификации протокола. Далее формируется необходимый выход состояния и передается на вход следующему состоянию. Следует отметить, что переход между состояниями не является вероятностным, а зависит от интерпретации входных данных в текущем состоянии.

В случае если протокол является безопасным, то можно выделить граф переходов между состояниями автомата (см. рисунок 1), который интерпретируется как правильная работа протокола. Любое отклонение от данного контура приводит либо к нарушению свойства безопасности, либо к сбою в работе протокола, непредусмотренным спецификацией.

На рисунке 2 изображена общая схема, взаимосвязи свойств и атак, в рамках предлагаемой методики.

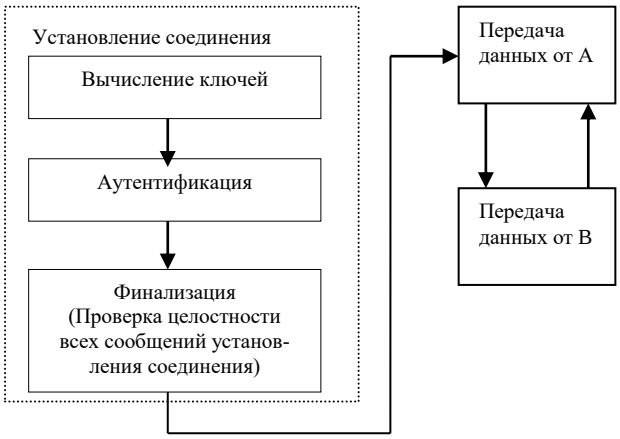


Рис.1. Упрощенный пример корректного графа перехода состояний протокола

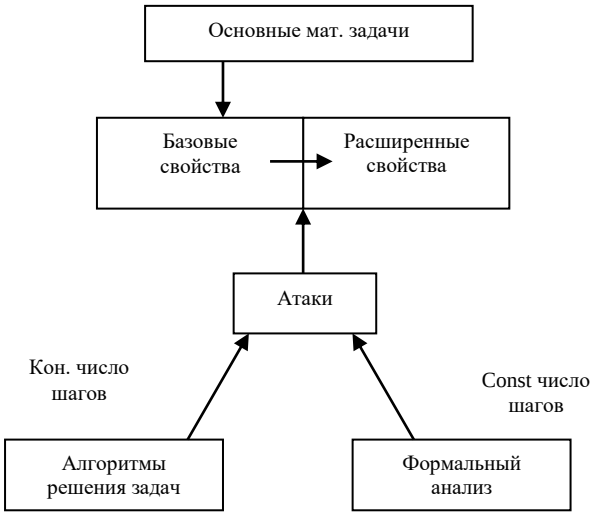


Рис.2. Схема предлагаемого подхода

Заключение

Рассматриваемая методика позволяет объединить существующие подходы к анализу свойств криптографических протоколов. Методика концертирует в себе сильные стороны существующих подходов. В частности:

- Дает альтернативный взгляд на реализацию атаки, по сравнению с доказуемой стойкостью поскольку не привязывается к каким либо абстрактным моделям с оракулами.

- Позволяет учитывать при оценке не только криптографические но и инженерные решения.

- Использование свойств безопасности в качестве основы позволяет унифицировать данных подход и использовать его с любой модель возможностей нарушителя.

- Сведение к решению вопросу решения определенных сложновычислимых математических задач, позволяет в дальнейшем использовать конкретные значения при получении оценок.

Была опробована авторами при разработке протокола [7], основные результаты отражены в работах [8, 9].

Список литературы:

1. E. Rescorla, B. Korver RFC 3552 Guidelines for Writing RFC Text on Security Considerations, 2003.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27033-1-2011 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Безопасность сетей. Часть 1. Обзор и концепция.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27033-3-2014 Информационные технологии (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Безопасность сетей. Часть 3. Эталонные сетевые сценарии. Угрозы, методы проектирования и вопросы управления.

4. Р 1323565.1.012-2017 Информационная технология. Криптографическая защита информации. Принципы разработки и модернизации шифровальных (криптографических) средств защиты информации.

5. Properties (Goals), URL: http://www.avispa-project.org/delivs/6.1/d6-1/node3.html (дата обращения 26.01.2021).

6. Черемушкин А.В. Криптографические протоколы. Основные свойства и уязвимости: учебное пособие. М.: Изд. центр «Академия», 2009, 272 с.

7. Рекомендации по стандартизации Р 1323565.1.026-2019. Информационная технология. Криптографическая защита информации. «Криптографические механизмы защищенного взаимодействия контрольных измерительных устройств».

8. Нестеренко А.Ю., Лебедев П.А., Семенов А.М. Краткий анализ криптографических механизмов защищенного взаимодействия контрольных и измерительных устройств. Технический комитет по стандартизации № 26. Серия «Криптографические исследования», 2019.

9. Нестеренко А.Ю., Семенов А.М. Криптографические механизмы защищенного взаимодействия контрольных и измерительных устройств. Безопасность информационных технологий. 2020. Т. 27.№ 4.С 7-16.

БИНАРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

А.А. Спирин
Академия ФСО России

Аннотация

Отчеты информационно-аналитических агентств свидетельствуют о высокой доле внутренних нарушителей, как источников утечек конфиденциальных данных в России. Одним из возможных каналов утечек данных может являться их передача в зашифрованном или сжатом виде, т.к. современные средства анализа данных не способны обнаружить их передачу в подобном виде. В работе представлен подход к классификации зашифрованных и сжатых данных на основе разработанной модели псевдослучайных последовательностей и алгоритма их классификации. Точность предложенного способа составила 0,97.

Введение

В настоящее время, согласно отчетов информационно-аналитических агентств, возросла доля внутренних нарушителей как источников утечек конфиденциальных данных в России [1], более чем в 79% случаев утечка конфиденциальных данных произошла по вине внутреннего нарушителя.

Для предотвращения утечек конфиденциальных данных применяют системы предотвращения утечек конфиденциальных данных – и различные системы глубокого анализа трафика.

Методы анализа трафика, в зависимости от используемых признаков при его классификации, возможно разделить на несколько групп: расчет энтропии всех данных, или их части [2,3]; служебная информация протоколов передачи данных [4–7], статистические характеристики и распределение байт [8–11]. Однако существуют способы обхода указанных методов защиты, например, применение процедур шифрования, сжатия данных или инкапсуляции в другие протоколы [12,13]. В указанных работа применялись алгоритмы машинного обучения: дерево решений (ДР), метод опорных векторов (МОВ), случайный лес (СЛ), цепи Маркова (ЦМ), бустинг (БГ), сверточные нейронные сети (СНС), определение автокорреляции распределений (АК). Обзор рассмотренных методов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Обзор используемых методов классификации данных

Авторы	Признаки	Мат. аппарат	Точность
[2]	Энтропия	ДР	0,981
[3]		МОВ, СЛ	0,979
[4]	Служебная информация	ЦМ	0,912
[5]		БГ	0,987
[6]		СНС, СЛ, ДР	0,96
[7]		Скрытые ЦМ	0,99
[9]	Распределение байт	АК	0,99
[10]		МОВ	0,8
[11]		СЛ	0,882

Таким образом, одной из возможных причин утечек конфиденциальных данных может являться канал передачи информации в зашифрованном или сжатом виде, организуемый внутренним нарушителем.

Для предотвращения утечек конфиденциальных данных необходимо своевременно, в рамках времени, выделяемого для реагирования на инцидент информационной безопасности согласно политики информационной безопасности организации, обнаруживать передачу данных. Рассмотренные способы применяют для анализа заголовки контейнеров, передающих или хранящих информацию, которые содержат в себе «магические» байты – цифровые сигнатуры, однозначно идентифицирующие протокол передачи или контейнер сжатых данных.

Модель ПСП

Для предотвращения использования цифровых сигнатур и классификации зашифрованных и сжатых последовательностей, обладающих равномерным распределением байт и называемых псевдослучайными (ПСП), на основе статистических признаков была разработана модель ПСП. В формальном виде модель определяется выражением:

$$V = \{F(B_{i\in[0,\dots,255]}), F(S_{j\in[0,\dots,511]})\}, \quad (1)$$

где: $B_{i\in[0,\dots,255]}$ – распределение байт в анализируемой ПСП, $S_{j\in[0,\dots,511]}$ – распределение частот встречаемости подпоследовательностей длины 9 бит в анализируемой ПСП.

Частота появления подпоследовательностей в ПСП рассчитывается согласно выражения 2:

$$F(S_j) = f_j = \frac{n_j}{M-N+1}, \quad (2)$$

где n_j – количество вхождений подпоследовательности j в ПСП, M – длина ПСП в битах, N – длина подпоследовательности в битах.

В модели ПСП, помимо частоты появления байт также были добавлены статистические признаки распределения байт: среднее значение (B_{mean}), среднеквадратическое отклонение (B_{sko}), минимальное (B_{min}) и максимальные (B_{max}) значения количества байт в ПСП, определяемые согласно выражения 3:

$$\begin{cases} B_{mean} = \frac{\sum n(B_i)}{256}, \\ B_{sko} = \sqrt{\frac{\sum(n(B_i)-B_{mean})^2}{256}}, \\ B_{min} = Max(n(B_i)), \\ B_{max} = Min(n(B_i)). \end{cases} \quad (3)$$

где: $n(B_i)$ – количество появлений байта i в анализируемой ПСП

Для проверки адекватности модели были проведены эксперименты по классификации сформированного набора зашифрованных и сжатых данных размером 600КБ. Было сформировано 2000 файлов, содержащих художественный текст на русском языке, далее они были обработаны алгоритмами шифрования (AES, DES, RC4, Camellia, ГОСТ34.12 «Кузнечик») и сжатия (RAR, ZIP, 7Z, GZ, BZ2, XZ).

Для оценки качества классификации была использована метрика доля правильных ответов, характеризующая точность классификатора и определяемая выражением 4:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \quad (4)$$

где TP (true positive) – количество верно классифицированных ПСП, относящихся к классу $y_i \in Y$, TN (true negative) – количество ПСП, верно отнесенных не к классу $y_i \in Y$, FP (false positive) – количество ПСП неверно отнесенных к классу $y_i \in Y$, т.е. количество ложных срабатываний (ошибка первого рода), FN (false negative) – количество ПСП неверно не отнесенных к классу $y_i \in Y$, т.е. количество пропусков цели (ошибка второго рода).

Для классификации использовался разработанный алгоритм, учитывающий веса признаков в модели ПСП и переобучающий классификатор на редуцированном признаковом пространстве модели ПСП на основе построения случайного леса и дерева решений [14]. Полученные результаты оценки точности классификации ПСП разработанным алгоритмом в зависимости от количества признаков предложенной модели ПСП представлены на рисунке 1.

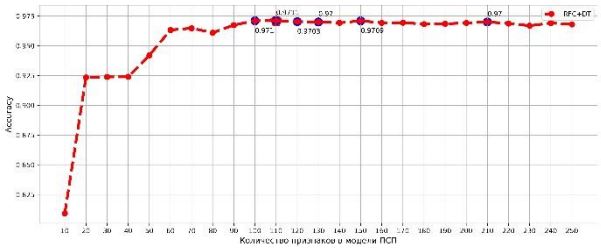


Рис.1. Оценка точности классификации ПСП в зависимости от числа используемых признаков модели ПСП

Наибольшей точности классификации ПСП удалось достигнуть при использовании 110 признаков модели, однако для дальнейшего использования было выбрано значение в 100 параметров, т.к. разница в точности составляет 0,0001, а время вычисления статистических признаков растет линейно в зависимости от их количества.

В исследованиях, связанных с построение классификаторов на основе машинного обучения присутствуют достаточно объемные и содержательные разделы, посвященные поиску наиболее оптимальных параметров классификаторов по различным метрикам [15].

С целью определения оптимальных параметров алгоритма классификации ПСП были проведены эксперименты по определению глубины деревьев, результаты представлены на рисунке 2:

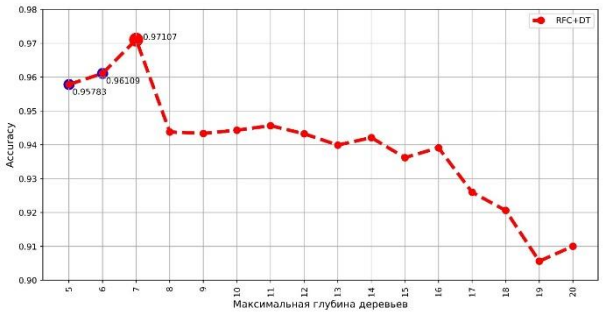


Рис.2. Оценка точности классификации ПСП в зависимости от максимальной глубины деревьев

Максимальная точность классификации ПСП достигается при глубине деревьев в 7 узлов.

Также были определены зависимости точности классификации ПСП от количества деревьев, используемых в алгоритме построения случайного леса, результаты представлены на рисунке 3:

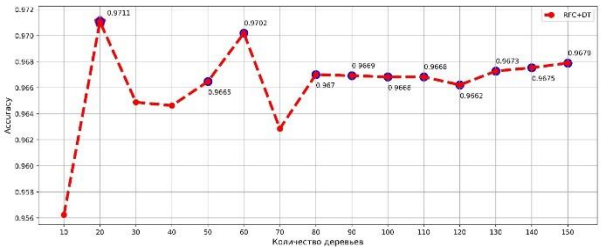


Рис.3. Оценка точности классификации ПСП в зависимости от количества деревьев

Наивысшая точность классификации ПСП равная 0,971 была достигнута при использовании 20 деревьев.

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о наличии у зашифрованных и сжатых данных статистических особенностей, позволяющих и классифицировать с высокой точностью. Данный факт объясняется тем, что к алгоритмам шифрования предъявляются строгие требования, заключающиеся в рассеивании исходной информации и невозможности её восстановления. К алгоритмам сжатия предъявляются требования лишь по сокращению размера данных.

Также в ходе экспериментов была установлена минимальная длина анализируемых ПСП, требуемая для достижения высокой точности классификации, результаты представлены на рисунке 4.

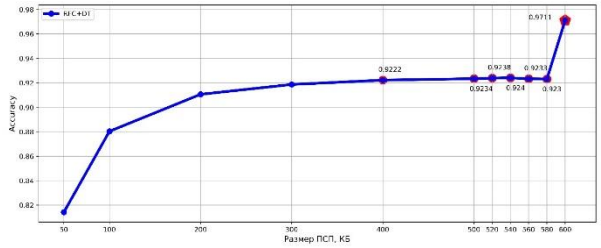


Рис.4. Оценка точности классификации ПСП в зависимости от длины ПСП.

Наибольшая точность достигается при размере ПСП в 600 КБ. Данное ограничение объясняется тем, что в модели ПСП не используются заголовки контейнеров данных, содержащие в себе «магические» байты или иные дискриминирующие признаки на основе цифровых сигнатур.

Заключение

Для решения задачи классификации ПСП, сформированных алгоритмами шифрования и сжатия данных была разработана модель ПСП на основе распределения байт и частот встречаемости подпоследовательностей длины 9 бит. В ходе проведения экспериментов была подтверждена адекватность модели и возможность применения разработанного алгоритма для классификации указанных в работе типов данных с точностью 0,971.

Список литературы:

1. Отчет экспертно-аналитического центра группы компаний InfoWatch. URL: https://www.infowatch.ru/analytics/reports/30708 (дата обращения 11.02.2021 г.)

2. Mamun M.S.I., Ghorbani A.A., Stakhanova N. (2016) An Entropy Based Encrypted Traffic Classifier. // In: Qing S., Okamoto E., Kim K., Liu D. (eds) Information and Communications Security. ICICS 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9543. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-29814-6_23.

3. Tang Z., Zeng X., Sheng Y. Entropy-based feature extraction algorithm for encrypted and non-encrypted compressed traffic classification. // International Journal of ICIC, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 845–860. DOI: 10.24507/ijicic.15.03.845.

4. Shen M., Wei M., Zhu L. & Wang M. Classification of encrypted traffic with second-order markov chains and application attribute bigrams // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2017, vol. 12, no. 8, pp. 1830-1843. DOI: 10.1109/TIFS.2017.2692682.

5. Chen Y., Zang T., Zhang Y., Zhouz Y., & Wang Y. (2019, October). Rethinking Encrypted Traffic Classification: A Multi-Attribute Associated Fingerprint Approach. // 2019 IEEE 27th International Conference on Network Protocols (ICNP), Chicago, IL, USA, 2019, pp. 1–11. DOI: 10.1109/ICNP.2019.8888043.

6. Obasi T.C. Encrypted Network Traffic Classification using Ensemble Learning Techniques // Doctoral dissertation, Carleton University, 2020. DOI: 10.22215/etd/2020-14171.

7. Yao, Z., Ge, J., Wu, Y., Lin, X., He, R., & Ma, Y. (2020). Encrypted traffic classification based on Gaussian mixture models and Hidden Markov Models. // Journal of Network and Computer Applications, 2020, vol. 166, p. 102711. DOI: 10.1016/j.jnca.2020.102711.

8. Wang F., Quach T.T., Wheeler J., Aimone J.B., James, C.D. Sparse coding for n-gram feature extraction and training for file fragment classification. // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2018, vol. 13, no.10, pp. 2553–2562. DOI: 10.1109/TIFS.2018.2823697.

9. Choudhury P., Kumar K. P., Nandi S., Athithan G. An empirical approach towards characterization of encrypted and unencrypted VoIP traffic // Multimedia Tools and Applications, 2020, vol. 79, no. 1–2, pp. 603–631. DOI: https://doi.org/10.1007/s11042-019-08088-w.

10. Baldini G., Hernandez-Ramos J. L., Nowak S., Neisse R., Nowak M. Mitigation of Privacy Threats due to Encrypted Traffic Analysis through a Policy-Based Framework and MUD Profiles. // Symmetry, 2020, vol. 12, no.9, p. 1576. DOI: 10.3390/sym12091576.

11. Shen M., Liu Y., Zhu L., Xu K., Du X., Guizani N. Optimizing Feature Selection for Efficient Encrypted Traffic Classification: A Systematic Approach // IEEE Network, 2020, vol. 34, no. 4, pp. 20–27. DOI: 10.1109/MNET.011.1900366.

12. Huang X. et al. A novel mechanism for fast detection of transformed data leakage //IEEE Access, 2018, vol. 6, pp. 35926–35936. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2851228

13. Cheng L., Liu F., Yao D. D. Enterprise data breach: causes, challenges, prevention, and future directions //Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2017, vol. 7, no. 5. DOI: 10.1002/widm.1211.

14. Козачок А.В., Спирин А.А., Голембиовская О.М. Алгоритм классификации псевдослучайных последовательностей на основе построения случайного леса // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23. – № 3. –С. 55–60.

15. Kozachok A. V., Kozachok V. I. Construction and evaluation of the new heuristic malware detection mechanism based on executable files static analysis //Journal of Computer Virology and Hacking Techniques, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 225–231. DOI: https://doi.org/10.1007/s11416-017-0309-3.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ОТРЕЗКОВ ТЕКСТОВОГО СООБЩЕНИЯ

А.Г. Малашина
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Данная работа является продолжением работ автора [1, 2] по исследованию алгоритма восстановления отдельных участков сообщения по информации о возможных вариантах его знаков.

Рассмотрены вероятностные распределения, возникающие в рамках рассматриваемого алгоритма восстановления, включая их предельные формы. Найдено предельное распределение вероятности появления отрезка сообщения, отбираемого для восстановления. Кроме того, построено гипергеометрическое распределение, возникающее при поиске осмысленных текстов, среди найденных вариантов восстановления и найдены его асимптотики в предельных случаях. Для теоретической оценки эффективности рассматриваемого алгоритма проведена аппроксимация предельных распределений для конечных случаев и представлены некоторые численные расчеты.

Введение

В ряде задач по анализу алгоритмов защиты информации возникают ситуации, когда для каждого символа шифрованного сообщения становится известно некоторое ограниченное число вариантов знака исходного текста. Такие случаи могут появляться при использовании неравновероятного или неполного ключа в поточном шифровании, при получении информации по побочным каналам утечки или при многократном использовании одного и того же ключа.

В случае, когда количество вариантов знаков относительно невелико, посредством перебора всех возможных

комбинаций символов удаётся восстановить осмысленный исходный текст (рис. 1) [3].

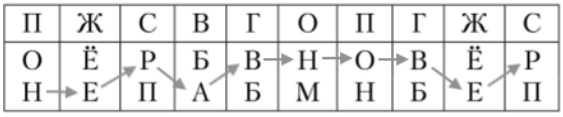


Рис.2. Схема восстановления отрезка сообщения

Однако с увеличением количества вариантов знаков для каждого символа сообщения восстановление исходного текста подобным образом становится затруднительным из-за *высокой степени неоднозначности* выбора осмысленного текста, возникающей в процессе отыскания подходящих вариантов восстановления. Кроме того, известная информация о символах исходного текста может быть распределена неравномерно, но *истинный вариант всегда присутствует* в рассматриваемом множестве. В таком случае представляется возможным восстановить исходный текст на отдельных участках неизвестного сообщения, то есть там, где сосредоточены знаки с относительно небольшим количеством возможных вариантов.

Рассматриваемый алгоритм восстановления отдельных участков сообщения состоит из нескольких этапов:

1) выделение в сообщении отрезков текста с небольшим средним количеством возможных вариантов;

2) построение всех возможных вариантов восстановления из информации об известных символах;

3) отбор осмысленных вариантов среди множества построенных;

4) оценка степени многозначности восстановленного отрезка.

Вероятности появления выделяемых отрезков

На первом этапе отбираются отрезки сообщения длиной s символов (s-граммы), среднее геометрическое которых не превышает заданной границы L, то есть $l_i = \sqrt[s]{l_{i_1} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}} \le L$. Далее отрезки, удовлетворяющие этому условию, называются *ограниченными*.

В задаче исследования текстов на русском языке рассматривается алфавит объёмом 35 символов (32 буквы алфавита, символ пробела, точка и запятая).

Пусть количество l_{i_j} вариантов знаков для всех отрезков распределено *независимо и случайно равновероятно* от 1 до 35, то есть принимает значения с одинаковыми вероятностями $p_k = \frac{1}{35}$ для любого $k = 1, 2, \ldots, 35$. Тогда справедливы следующие утверждения о распределении вероятности появления ограниченного отрезка в сообщении.

Утверждение 1:

Пусть длина отрезка сообщения $s \to \infty$. Тогда вероятность, что среднее геометрическое i-ого отрезка не превосходит заданной границы L:

$$P\left(\sqrt[s]{l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}} \le L\right) \xrightarrow{s \to \infty} \Phi\left(\frac{s - s\mu}{\sqrt{s}\sigma}\right),$$

где $\mu = \frac{1}{35}\sum_{k=1}^{35} \log_L k$,

$\sigma^2 = \frac{1}{35}\sum_{k=1}^{35} \log^2{}_L\, k - \left(\frac{1}{35}\sum_{k=1}^{35} \log_L k\right)^2$ для любого i,

Φ – функция стандартного нормального распределения.

Доказательство:

Обозначим для i-го отрезка $S_i = \sum_{j=1}^{s} \log_L l_{i_j}$ – сумма s *независимых одинаково распределённых* случайных величин. Тогда числовые характеристики S_i: $ES_i = s \cdot \mu = \frac{s}{35}\sum_{k=1}^{35} \log_L k$, $DS_i = s \cdot \sigma^2 = \frac{s}{35}\sum_{k=1}^{35} \log^2{}_L\, k - s\left(\frac{1}{35}\sum_{k=1}^{35} \log_L k\right)^2$ для любого i.

Тогда, согласно центральной предельной теореме [4], распределение средней геометрической величины одного отрезка описывается функцией нормального распределения при $s \to \infty$:

$$\frac{S_i - ES_i}{\sqrt{DS_i}} \to N(0,1).$$

Отсюда следует, что

$P\left(\sqrt[s]{l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}} \le L\right) = P\left(l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \ldots \cdot l_{i_s} \le L^s\right) =$

$P(\sum_{j=1}^{s} \log_L l_{i_j} \le s) = P(S_i \le s) \xrightarrow{s \to \infty} \Phi\left(\frac{s - s\mu}{\sqrt{s}\sigma}\right)$. ■

Утверждение 2:

Ожидаемое количество ограниченных отрезков длины s в сообщении длиной N символов:

$$(N - s + 1) \cdot P\left(\sqrt[s]{l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}} \le L\right).$$

Доказательство:

Так как сообщение имеет длину N символов, количество последовательных отрезков длины s равно $N - s + 1$.

Пусть $\theta_i = \begin{cases} 1, \text{если } S_i < s \\ 0, \text{если } S_i > s \end{cases}$.

Тогда $\eta = \sum_{1}^{N-s+1} \theta_i$ – число ограниченных отрезков в сообщении.

$E\eta = \sum_{i=1}^{N-s+1} E\theta_i = (N - s + 1) \cdot P\left(\sqrt[s]{l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}} \le L\right)$. ■

Среднее геометрическое отрезка существенно зависит от средней величины предыдущего отрезка.

Утверждение 3:

а) *Условная вероятность* появления ограниченного отрезка при условии, что предыдущий отрезок ограничен:

$$P(S_i < s \mid S_{i-1} < s) \xrightarrow{s \to \infty} \frac{\iint_0^s f(x,y)dxdy}{\Phi(\frac{s - s\mu}{\sqrt{s}\sigma})},$$

где $f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} - \rho\frac{2(x-\mu)(y-\mu)}{\sigma^2} + \frac{(y-\mu)^2}{\sigma^2}\right)}$,

$\rho = \frac{s-1}{s}$ – коэффициент корреляции S_i и S_{i-1}.

б) *Ожидаемая средняя геометрическая величина* следующего отрезка при условии ограниченности предыдущего:

$$E(S_i \mid S_{i-1} < s) \xrightarrow{s \to \infty} \mu - \frac{s-1}{s}\sigma\frac{\varphi\left(\frac{s - s\mu}{\sqrt{s}\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{s - s\mu}{\sqrt{s}\sigma}\right)},$$

где φ – плотность стандартного нормального распределения, Φ – функция Гаусса.

Доказательство:

Условное распределение

$P(S_i < s \mid S_{i-1} < s) = \frac{P(S_i < s,\, S_{i-1} < s)}{P(S_{i-1} < s)} = \frac{\iint_0^s f(x,y)dxdy}{P(S_{i-1} < s)}$, где $f(x,y)$ – совместная плотность двух соседних отрезков.

Заметим, что $l_{i-1_j} = l_{i_{j-1}}$. Поскольку соседние отрезки являются зависимыми, *коэффициент корреляции* их средней геометрической величины равен:

$$\rho = \frac{cov(S_{i-1}, S_i)}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}}$$

$$= \frac{cov\left(log_L\, l_{i-1_1} + \sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j}, \sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j} + log_L\, l_{i-1_{s+1}}\right)}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}}$$

$$= \frac{cov(log_L\, l_{i-1_1}, \sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j})}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}}$$

$$+ \frac{cov(\sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j}, \sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j})}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}} + \frac{cov\left(log_L\, l_{i-1_1}, log_L\, l_{i-1_{s+1}}\right)}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}}$$

$$+ \frac{cov(\sum_{j=2}^{s} log_L\, l_{i_j}, log_L\, l_{i-1_{s+1}})}{\sqrt{DS_{i-1}}\sqrt{DS_i}} = \frac{0 + (s-1)\sigma^2 + 0 + 0}{s\sigma^2}$$

$$= \frac{s-1}{s}.$$

Из утверждения 1 следует, что
$f(x,y) \xrightarrow{s\to\infty} \frac{1}{2\pi\sigma^2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}-\rho\frac{2(x-\mu)(y-\mu)}{\sigma^2}+\frac{(y-\mu)^2}{\sigma^2}\right)}$,
$P(S_i \le s) \xrightarrow{s\to\infty} \Phi\left(\frac{s-s\mu}{\sqrt{s}\sigma}\right)$. Отсюда следует утверждение а).

Условное математическое ожидание «урезанной» нормальной величины равно [5]:

$$E(y|z>a) = \mu_y + \rho\sigma_y \frac{\varphi\left(\frac{a-\mu_y}{\sigma_y}\right)}{\Phi\left(\frac{a-\mu_y}{\sigma_y}\right)},$$

откуда следует утверждение б). ■

Утверждение 4:

Вероятность того, что все отрезки сообщения одновременно являются ограниченными, стремится к многомерному нормальному распределению.

$$P(S_1 < s,\ S_2 < s, \dots,\ S_{N-s+1} < s) = P(\vec{S} < s) \xrightarrow{s\to\infty} N(\vec{\theta}, \Sigma s),$$

где $\vec{\theta} = \begin{pmatrix} s\mu \\ s\mu \\ \dots \\ s\mu \end{pmatrix}$ – вектор средних значений,

$\Sigma s = \begin{bmatrix} s\sigma^2 & \cdots & \sigma_{S_1,S_{N-s+1}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{S_{N-s+1},S_1} & \cdots & s\sigma^2 \end{bmatrix}$ - ковариационная матрица, на пересечении k-ой строчки и z-го столбца которой стоят значения ковариации отрезков:

$$\sigma_{S_k,S_z} = \mathrm{cov}(S_k,S_z) = \begin{cases} (s-z+k)\sigma^2, & \text{если } z-k<s \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Доказательство:

$\vec{S}$ – многомерный нормальный вектор размерности $N-s+1$, компонентами которого являются величины S_i, имеющие нормальное распределение при $s\to\infty$.

Вероятность одновременной ограниченности всех отрезков сообщения в пределе подчиняется многомерному нормальному распределению с соответствующими ковариационной матрицей и вектором средних значений.

При этом ненулевую ковариацию имеют компоненты вектора S_k и S_z, такие что $z-k>s$.

Вывод формулы для ковариации двух соседних отрезков представлен в доказательстве утверждения 3. Заметим, что величина S_k является линейной комбинацией случайных величин. Обобщение этой формулы для двух произвольных отрезков производится аналогично с учётом свойства ковариации: если $z-k>s$, то S_k и S_z являются зависимыми, при этом у каждой из двух компонент есть $z-k$ различных независимых слагаемых, а остальные $s-z+k$ слагаемых совпадают. Ковариации независимых величин равны 0, а ковариация случайной величины, являющейся общей частью для обеих компонент, с собой равна дисперсии: $(s-z+k)\sigma^2$. Если $z-k>s$, S_k и S_z являются независимыми, их ковариация равна 0. ■

Аппроксимация нормальным распределением в конечном случае

Сумма независимых равномерных величин быстро сходится к нормальному распределению. Традиционные оценки погрешности, порождаемые ЦПТ в конечном случае, такие как неравенство Берри-Эссена, при среднем значении s (десятки) показывают очень грубую оценку и слишком завышенную верхнюю границу. Это связано с тем, что, во-первых, разные классы распределений сходятся к нормальному с разной скоростью, а оценка погрешности дается общая для любой структуры распределения. Во-вторых, неравенство Берри-Эссена использует оценку погрешности в виде отношения третьего момента к корню из числа слагаемых. Такая форма ошибки будет давать довольно точную оценку только на больших s. Из численных расчетов известно, что равномерное распределение быстро сходится к нормальному, намного быстрее общих теоретических оценок [6].

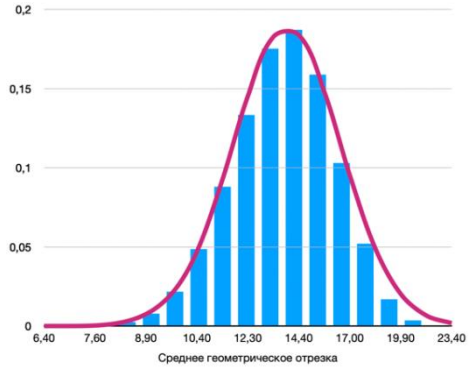


Рис.3. Распределение среднего геометрического отрезков сообщения

Для сообщения длиной 100 000 символов были посчитаны средние значения отрезков длиной 25 символов. Для данной выборки была построена эмпирическая функция распределения. Также было смоделировано нормальное распределение для сравнения близости теоретических и эмпирических значений (рис. 2).

Расстояние Колмогорова (статистика Колмогорова-Смирнова):

$$D = \max_x |F_n(x) - \Phi(x)|,$$

где $F_n(x)$ – эмпирическая функция распределения.

Значения были сгруппированы на 17 интервалов (согласно правилу Стёрджеса). Максимальное отклонение теоретически нормальной и эмпирической вероятностей попадания в заданный интервал составило $D = 0{,}012$.

Ниже в таблицах представлены некоторые результаты расчетов для конечных случаев:

Таблица 2. Теоретические вероятности (на основе ЦПТ)

L \ s	10	15	16*	20	25
8	0,02	0,01	0,005	0,002	0,0006
10	0,11	0,07	0,06	0,04	0,03
12	0,29	0,25	0,25	0,22	0,19
14	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
16	0,70	0,74	0,75	0,77	0,79

Таблица 3. Эмпирические вероятности (экспериментальный поиск отрезков сообщения длиной 100 000 символов)

L \ s	10	15	16*	20	25
8	0,03	0,009	0,007	0,003	0,0013
10	0,11	0,07	0,07	0,05	0,03
12	0,27	0,24	0,23	0,21	0,19
14	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49
16	0,68	0,72	0,79	0,76	0,79

Таблица 4. Условная вероятность появления ограниченного отрезка (при условии, что предшествующий отрезок – ограниченный)

L \ s	10	15	16*	20	25
8	0,580	0,599	0,601	0,609	0,616
10	0,696	0,719	0,722	0,732	0,741
12	0,789	0,815	0,818	0,830	0,840
14	0,859	0,886	0,890	0,902	0,912
16	0,911	0,936	0,939	0,950	0,960

Таблица 5. Совместная вероятность появления n (соседних) ограниченных отрезков

L	n	10	15	16*	20	25
8	2	0,1153	0,0035	0,0028	0,0011	0,0004
	3	0,0073	0,0023	0,0019	0,0008	0,00024
	4	0,0048	0,0016	0,0013	0,0005	0,00017
10	2	0,0766	0,0479	0,0437	0,0303	0,0195
	3	0,0569	0,0368	0,0338	0,0238	0,0154
	4	0,0431	0,0291	0,0268	0,0192	0,0126
12	2	0,2301	0,2043	0,1996	0,1816	0,1620
	3	0,1894	0,1737	0,1703	0,1571	0,1416
	4	0,1582	0,1501	0,1478	0,1382	0,1259
14	2	0,4380	0,4535	0,4558	0,4633	0,4703
	3	0,3867	0,4119	0,4155	0,4273	0,4382
	4	0,3447	0,3778	0,3825	0,3979	0,4119
16	2	0,6363	0,6907	0,6996	0,7309	0,7628
	3	0,5887	0,6546	0,6652	0,7018	0,7386
	4	0,5480	0,6238	0,6358	0,6770	0,7179

Математическая модель распределения числа осмысленных текстов

Количество осмысленных текстов и вероятность их появления при восстановлении участков сообщения могут быть представлены в виде математической модели (рис. 2).

Пусть $N = m^s$ – общее количество s-грамм, которые могут быть построены из символов алфавита мощностью m, D – число осмысленных текстов длины s в том же алфавите (эта величина оценивается как 2^{Hs}, где H – энтропия s-грамм), $n_i = l_i^s$ – число возможных вариантов восстановления для i-го отрезка сообщения, k_i – количество *осмысленных* вариантов восстановления для i-го восстанавливаемого отрезка сообщения среди n_i, где $l_i = \sqrt[s]{l_{i_1} \cdot \ldots \cdot l_{i_s}}$ – среднее число вариантов знаков для неизвестного символа i-го участка сообщения. При этом предполагается, что истинный вариант восстановления всегда присутствует в выборке, то есть $n_i - 1$ – это ложные варианты.

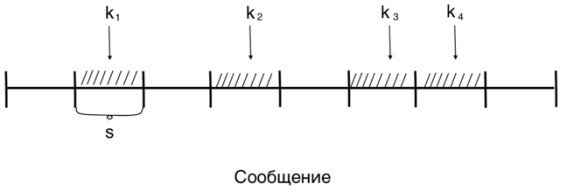


Рис.3. Количество осмысленных вариантов восстановления

Значения энтропии s-грамм для русского языка, найденные автором экспериментально в [2]:

Таблица 6. Энтропия s-грамм русского языка

Длина s-граммы	Энтропия H
10	2,26
15	1,55
20	1,17
25	0,93

Тогда вероятность того, что в выборке из n_i различных вариантов восстановления, полученных из множества всех возможных вариантов N, содержащего D осмысленных текстов, ровно k_i вариантов окажутся осмысленными, описывается *гипергеометрическим распределением* [7], то есть:

$$P(k_i) = \frac{C_D^{k_i} C_{N-D}^{n_i - k_i}}{C_N^{n_i}}.$$

Утверждение 5:

Если восстановлению подвергается участок сообщения на русском языке (мощность алфавита – 35 символов) длиной s символов со среднем числом вариантов знаков l_i, то вероятность появления k_i осмысленных вариантов восстановления данного отрезка:

$$P(k_i) = \frac{2^{H_s \cdot s}! \cdot (35^s - 2^{H_s \cdot s})! \cdot l_i^s! \cdot (35^s - l_i^s)!}{k_i! \cdot (2^{H_s \cdot s} - k_i)! \cdot (l_i^s - k_i)! \cdot (35^s - 2^{H_s \cdot s} - l_i^s + k_i)! \cdot 35^s!}$$

Данная формула следует из гипергеометрического распределения вероятностей.

Таблица 7. Параметры гипергеометрического Распределения

	Найденные варианты	Ненайденные варианты	Всего
Осмысленные варианты	$k_i \geq 1$	$D - k_i$	$D = 2^{H_s \cdot s}$
Неосмысленные варианты	$n_i - k_i$	$N - D - n_i + k_i$	$N - D$
Всего	$n = l_i^s$	$N - n_i$	$N = 35^s$

Количество осмысленных вариантов текста, при котором восстановление всё ещё считается успешным (с учетом истинного), не должно превышать $2^{\beta \cdot s}$. На практике используется значение $\beta = 0{,}1$:

Таблица 8. Допустимая степень неоднозначности

s	*10*	*15*	*16*	*20*	*25*
k	1-2	1-2	1-3	1-4	1-5

Рассматриваемые значения l_i лежат в пределах от 8 символов. Если количество возможных вариантов неизвестного знака меньше 8, то число подходящих отрезков сообщения для восстановления крайне мало.

Ниже приводятся некоторые численные расчеты вероятностей восстановления отрезка.

Таблица 9. Вероятность восстановления отдельного отрезка сообщения (с учётом допустимой степени неоднозначности) с фиксированным средним количеством вариантов знаков

l / s	**10**	**15**	**20**	**25**
8	0,2926	0,9985	≈ 1	≈ 1
10	$2{,}36 \cdot 10^{-9}$	0,9591	≈ 1	≈ 1
12	$1{,}53 \cdot 10^{-60}$	0,5480	≈ 1	≈ 1
14	$2{,}06 \cdot 10^{-287}$	0,0002	≈ 1	≈ 1
16	≈ 0	$2{,}66 \cdot 10^{-33}$	≈ 1	≈ 1

Таблица 10. Наиболее вероятное число осмысленных текстов (с учетом истинного), которое будет найдено при восстановлении отрезка сообщения

l	**10**	**15**	**20**	**25**
8	3	1	1	1
10	24	1	1	1
12	143	2	1	1
14	667	11	1	1
16	2534	80	1	1

Следовательно, восстановление 10-грамм при среднем числе вариантов знаков больше 8-9 символов практически

бессмысленно (рис. 3). Для 15-грамм максимальная эффективность восстановления будет для l не больше 12-13 символов.

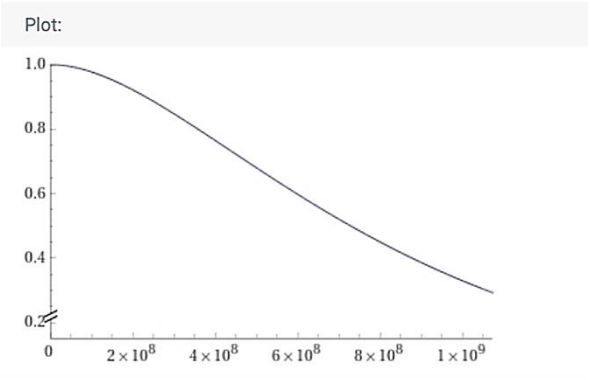


Рис.4. Вероятность восстановления 10-граммы при l от 1 *до* 8

С увеличением длины отрезка сообщения степень неоднозначности восстановления открытого текста уменьшается. Однако для участков текста большой длины процесс составления словарей поиска становится весьма затруднительным. Проведённое моделирование позволяет выбрать *наиболее оптимальный параметр алгоритма* – длину восстанавливаемого отрезка сообщения – на основе максимально эффективного соотношения между степенью неоднозначности восстановления открытого текста и покрытием соответствующего словаря.

Очевидно, такой параметр – минимальная длина восстанавливаемой s-граммы, при которой вероятность восстановления отрезка стремится к единице для любого среднего числа вариантов истинного знака. На основе вероятностей гипергеометрического распределения определяется длина такой минимальной s-граммы – ***16 символов***.

Асимптотика гипергеометрического распределения

Предельное распределение числа осмысленных текстов возникает, когда $s \to \infty$. Тогда параметры гипергеометрического распределения $N = 35^s \to \infty, D = 2^{H\cdot s} \to \infty, n = l^s \to \infty, l \le 35$. Вид предельного распределения зависит от количество осмысленных текстов в выборке.

Утверждение 6:

Вероятность найти ровно 1 осмысленный текст (истинный) при $s \to \infty$:

$$P(1) \approx e^{-2\left(\frac{l\cdot 2^H}{35}\right)^s}$$

Доказательство:

Используя формулу Стирлинга и второй замечательный предел:

$$P(0) = \frac{C_{N-D}^n}{C_N^n} = \frac{(N-D)!\,(N-n)!}{(N-D-n)!\,N!} \to \frac{\sqrt{N-D}\sqrt{N-n}}{\sqrt{N-D-n}\sqrt{N}} \cdot \frac{(N-D)^{N-D}(N-n)^{N-n}}{(N-D-n\}^{N-D-n}N^n} \to e^{-\frac{2nD}{N}} = e^{-2\left(\frac{l\cdot 2^H}{35}\right)^s}. \blacksquare$$

Утверждение 7:

Если количество осмысленных текстов $k = 2^{s\cdot\beta}$, тогда вероятность получить k осмысленных текстов при восстановлении отрезка длиной $s \to \infty$:

$$P\left(k = 2^{\beta s}\right) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}} 2^{\left(\left(H-\beta+\log_2\frac{l}{35}\right)s+\log_2 e\right)\cdot 2^{\beta s}-\frac{\beta}{2}s-\frac{1}{2}}.$$

Доказательство:

Если допустимое количество осмысленных текстов зависит от s, то $k = 2^{\beta s} \to \infty$.

Предполагая параметры $\beta = 0.1, H \approx 0.8, l \le 21$:

$$P\left(k = 2^{\beta s}\right) = \frac{C_D^k C_{N-D}^{n-k}}{C_N^n} = \frac{D!\,(N-D)!\,(N-n)!\,n!}{(D-k)!\,k!\,(N-D-n+k)!\,(n-k)!\,N!} \to \frac{\sqrt{N-D}\sqrt{N-n}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{N-D-n}\sqrt{N}} \cdot \frac{(N-D)^{N-D}(N-n)^{N-n}}{(N-D-n\}^{N-D-n}N^n} \to \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{D-k}\sqrt{k}} \frac{\sqrt{N-D}}{\sqrt{N-D-n+k}\sqrt{n-k}} \frac{\sqrt{n}\sqrt{N-n}}{\sqrt{N}} \cdot \frac{D^D}{(D-k)^{D-k}k^k} \frac{(N-D)^{N-D}}{(N-D-n+k)^{N-D-n+k}(n-k)^{n-k}} \frac{(N-n)^{N-n}n^n}{N^N} \to \frac{\sqrt{n}\cdot D^k N^{n-k} N^{N-n} n^n}{\sqrt{2\pi}\sqrt{k}\sqrt{n-k}\cdot k^k n^{n-k} N^N} e^{k\left(1-\frac{k}{D}\right)} e^{-D\left(1-\frac{D}{N}\right)} e^{(D+n-k)\left(1-\frac{D+n-k}{N}\right)}$$

$$e^{k\left(1-\frac{k}{n}\right)} e^{-n\left(1-\frac{n}{N}\right)} \to \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{k}} \left(\frac{D\cdot n}{k\cdot N}\right)^k e^k = \frac{1}{\sqrt{\pi}} 2^{\left(\left(H-\beta+\log_2\frac{l}{35}\right)s+\log_2 e\right)\cdot 2^{\beta s}-\frac{\beta}{2}s-\frac{1}{2}}. \blacksquare$$

Общая эффективность алгоритма

Используя вероятностные распределения и их аппроксимации, возможно приблизительно вычислить теоретическую эффективность алгоритма.

Вероятность восстановить ограниченный отрезок заданной длины – это совместная вероятность появления такого отрезка в сообщении и успеха его восстановления с учетом допустимой многозначности:

$$P_{\text{восстановления}}(s,l) = P_{\text{появления}}(s,l) \cdot P_{\text{однозначности}}(s,l),$$

где $P_{\text{появления}}(s,l)$ – вероятность появления отрезка длины s и со среднем геометрическим вариантов знаков l, $P_{\text{однозначности}}(s,l)$ – вероятность, что восстановление отрезка не превысит допустимую многозначность, $P_{\text{восстановления}}(s,l)$ – вероятность успешного восстановления отрезка.

Тогда вероятность восстановления отрезка сообщения, среднее значение вариантов знаков которого не превышает заданную границу, оценивается как:

$$\sum_{l_i<l} P_{\text{восстановления}}(s,l_i)$$

Таблица 11. Доля восстановленных отрезков в сообщении

l	10	15	16*	20	25
< 8	0,014	0,006	0,005	0,002	0,001
< 10	0,016	0,065	0,060	0,041	0,027
< 12	0,016	0,213	0,243	0,219	0,193
< 14	0,016	0,256	0,512	0,514	0,515
< 16	0,016	0,256	0,745	0,769	0,795
< 18	0,016	0,256	0,887	0,912	0,935
< 20	0,016	0,256	0,956	0,972	0,984
< 22	0,016	0,256	0,984	0,992	0,996
< 24	0,016	0,256	0,995	0,998	0,999

Заключение

В работе рассмотрены вероятностные распределения, возникающие в рамках алгоритма восстановления отдельных частей текстового сообщения по информации о возможных вариантах его знаков. Найдено, что с ростом длины восстанавливаемого отрезка вероятность найти ограниченный отрезок приближается к нормальному распределению. Приведены предельные распределения для вероятности появления одного отрезка, для условной вероятности появления ограниченного отрезка и для совместного появления ограниченных отрезков. Выяснено, что нормальное распределение позволяет получить хорошую аппроксимацию уже для небольших значений длины отрезка (десятки). Проведены некоторые численные расчеты вероятностей появления отрез-

ков в конечных случаях. При сравнении эмпирического и теоретического распределений показано, что реальная вероятность отличается от вероятности, полученной из нормального распределения, не более, чем на 0,02.

Кроме того, показано, что степень неоднозначности, возникающей в рассматриваемой задачи восстановления текстовых отрезков, описывается гипергеометрическим распределением, и приведены некоторые численные расчеты вероятности появления допустимого числа осмысленных текстов при восстановлении. Найдена асимптотика гипергеометрического распределения для больших значений длины отрезка.

С помощью найденных вероятностных распределений оценена общая теоретическая эффективность рассматриваемого алгоритма – средняя доля восстановленных отрезков.

Список литературы:

1. Малашина А. Г. Алгоритм восстановления отдельных частей сообщения по информации о возможных значениях его знаков //Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. ЕВ Арменского. – 2019. – С. 215-217.
2. Малашина А. Г. Статистический анализ языковых моделей русского языка на основе новостного текстового корпуса //Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. ЕВ Арменского. – 2020. – С. 179-182.
3. А. В. Бабаш и Г. П. Шанкин, Криптография, Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2007.
4. Bauer H. Measure and integration theory. – Walter de Gruyter, 2011. – Т. 26, p 199.
5. Greene W. H. Limited dependent variables – truncation, censoring and sample selection // Econometric analysis. – 2008. – С. 950.
6. Золотарев В. М. Современная теория суммирования случайных величин. – Российский фонд фундаментальных исследований, 1998. – №. 96-01-01920, стр. 256-258.
7. Проскурин Г. В., Принципы и методы защиты информации, Москва: МИЭМ, 1997.

ПОДХОД К ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ СЕМЕЙСТВА WINDOWS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ДЕЙСТВИЙ ЛЭМПОРТА

Е.В. Кочетков
Академия ФСО России

Аннотация

В работе представлен подход к определению формальной модели политики безопасности управления доступом операционных систем семейства Windows и ее автоматическая верификация с использованием темпоральной логики действий Лэмпорта.

Введение

Постоянное расширение функциональных возможностей операционных систем семейства Windows неминуемо увеличивает вероятность возникновения скрытых каналов утечки информации по памяти. Для формального подтверждения отсутствия таких каналов требуется формальное описания протекающих в операционной системе процессов доступа к информации, что является трудоемкой задачей и усложнено большим разнообразием видов доступа, типов объектов, иерархии пользователей и другими особенностями. При этом проведение экспериментов по незначительному изменению атрибутов объектов или способах проверки доступа требует проведение верификации модели снова. В этом случае одним из решений является автоматическая формальная верификация модели политики безопасности управления доступом методом Model checking, который является математически обоснованным способом доказательства того, что модель соответствует заданной для нее спецификации [1, 2] с использова нием инструментальных средств [3, 4].

Актуальность проблемы разработки формальных моделей политик безопасности управления доступом также связана с внедрением ФСТЭК России «Требований безопасности информации к операционным системам», в частности выполнение требований функциональной компоненты ADV_SPM.1 «Формальная модель политики безопасности» [5].

Для семейства операционных систем Linux решение подобной задачи рассмотрено в работах [6-8].

Определение структур модели

Состояние модели определяется набором значений каждого элемента из следующих переменных:

– множество доступов A;
– множество объектов доступа O;
– множество субъектов доступа S;
– множество пользователей O;
– множество групп пользователей G.

При определении структур модели с использованием TLA+ отсутствует строгая типизация (по умолчанию производится проверка только встроенных типов), однако, проверка инвариантов типов является неотъемлемой частью спецификации, поскольку верификация производится методом Model Checking.

Проведение верификации на множестве элементов близком к реальному приведет к существенному увеличению количества возможных состояний, что существенно замедлит процесс исследования. Ввиду этого, ряд значений, заданных в модели, являются модельными для снижения ресурсоемкости процесса верификации, но не влияют на общность и адекватность модели в целом [9].

Множества идентификаторов процессов, контейнеров, файлов и пользователей (значения модельные):

$$\begin{aligned} UserIDs &\triangleq 0..2 \\ GroupIDs &\triangleq 0..2 \\ SubjectIDs &\triangleq 0..1 \\ ObjectIDs &\triangleq 0..6 \end{aligned}$$

где $UserIDs$ – множество идентификаторов пользователей; $GroupIDs$ – множество идентификаторов групп; $SubjectIDs$ – множество идентификаторов субъектов; $ObjectIDs$ – множество идентификаторов объектов.

Структура субъекта определена следующим выражением:

$$\begin{aligned} Subject \triangleq [\\ & sid: SubjectIDs, \\ & uid: UserIDs, \\ & cl: ConfLevs, \\ & il: IntLevs, \\ & confCats: SUBSET\ ConfCats, \\ & intCats: SUBSET\ IntCats \\ ] \end{aligned}$$

где sid – идентификатор субъекта; uid – идентификатор пользователя; cl – уровень конфиденциальности субъекта; il – уровень целостности субъекта; $confCats$ – множество доступных субъекту категорий конфиденциальности; $intCats$ – множество доступных субъекту категорий целостности.

Моделирование разграничения доступа

При попытке доступа субъекта к объекту производится проверка возможности совершения такого доступа на основе дискреционного и многоуровневого контроля доступа. Доступ разрешается только если проверка по обоим механизмам контроля доступа принимает истинное значение.

Возможность совершения доступа a субъектом s по отношению к объекту o в соответствии с дискреционными

правилами разграничения доступа проверяется предикатом $DACMayDo$ выражение(1).

Предикат $DACMayDo$ принимает истинное значение в любом из следующих случаев:

– пользователь u, создавший субъект s является администратором;

– пользователь u, создавший субъект s, является владельцем объекта o;

– существует такое правило $r \in o.aclus$, в котором на первой позиции задан идентификатор пользователя, создавшего субъект s и доступ a входит во множество разрешений данного правила;

– существует такая группа $g \in SelectUserGroups(s.uid)$, в которую входит пользователь, и такое правило $r \in o.aclgs$, в котором на первой позиции задан идентификатор группы, и доступ a входит во множество разрешений данного правила.

$$
\begin{aligned}
&DACMayDo(s,o,a) \triangleq \\
&\quad \vee o.owner = s.uid \\
&\quad \vee IsUserAdmin(s) \\
&\quad \vee \exists r \in o.aclus: \\
&\qquad \wedge r[1] = s.uid \\
&\qquad \wedge a \in r[2] \\
&\quad \vee \exists g \in SelectUserGroups(s.uid): \\
&\qquad \vee \exists r \in o.aclgs: \\
&\qquad\quad \wedge r[1] = SelectGroup(g).gid \\
&\qquad\quad \wedge a \in r[2]
\end{aligned} \tag{1}
$$

Инициализация начальных значений модели

Начальное состояние системы определено из минимально необходимого набора значений на основе экспертного подхода. Множество текущих действий чтения и записи A на этапе инициализации является пустым. Для ускорения процесса верификации вводятся начальные взаимосвязанные между собой элементы множеств переменных. Пример начальных для множества субъектов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Атрибуты элементов множества субъектов при инициализации

Атрибут	s_0	s_1
sid	0	1
uid	0	1
cl	0	1
$confCats$	{"$C1$","$C2$"}	{"$C1$"}
il	1	1
$intCats$	{"$I1$","$I2$"}	{"$I1$"}

На этапе инициализации в системе заданы два субъекта s_0 и s_1. Субъект s_0 создан пользователем с идентификатором 0. Для него заданы уровень конфиденциальности cl равный 0 и целостности il равный 1. Субъект s_0 имеет доступ к объектам категорий "$C1$" и "$C2$" по конфиденциальности и к объектам категорий "$I1$" и "$I2$" по целостности. Характеристика начальных значений субъекта s_1 аналогична s_0 с учетом значений атрибутов.

Определение начального состояния системы с использованием TLA+ производится следующим выражением:

$$
\begin{aligned}
&Init \triangleq \\
&\quad \wedge G = \{g_0, g_1\} \\
&\quad \wedge U = \{u_0, u_1\} \\
&\quad \wedge S = \{s_0, s_1\} \\
&\quad \wedge O = \{o_0, o_1, o_2, o_3\} \\
&\quad \wedge A = \{\}
\end{aligned}
$$

Предикаты действий

Последовательное выполнение предикатов действий в процессе верификации имитирует реальное поведение моделируемой системы. Каждый предикат действия состоит из пред- и постусловий. Предусловиями являются предикаты, выполнение которых необходимо для того, чтобы система всегда переходила в одно из множества разрешенных состояний.

Предусловия можно разделить на три группы: взаимодействующие сущности соответствуют выполняемому действию, проверка возможности заданного действия по дискреционным правилам разграничения доступа, проверка возможности заданного действия по многоуровневым правилам разграничения доступа.

Моделирование изменения некоторым субъектом s в объекта o производится оператором $WriteD$ и представлено следующим выражением:

$$
\begin{aligned}
&WriteD \triangleq \\
&\quad \vee \exists s \in S: \\
&\quad \vee \exists o \in O: \\
&\qquad \wedge o.type = "file" \\
&\qquad \wedge DACMayDo(s,o,\text{"write"}) \\
&\qquad \wedge MACMayDo(s,o) \\
&\qquad \wedge Write(s,o)
\end{aligned}
$$

Предусловия предиката действия $WriteD$ определяют, что изменение субъектом s в объект o может быть совершено только для объектов типа «файл». В остальных случаях действие не будет совершено. Далее проверяется возможность совершения доступа согласно дискреционному и многоуровневому разграничению доступа. Если оба предиката возвращают истинное значение, то выполняется тор $Write(s,o)$.

Постусловия для предиката действия $WriteD$ представлены следующим выражением:

$$
\begin{aligned}
&Write(s,o) \triangleq \\
&\quad \vee \exists s \in S: \\
&\qquad \wedge A' = A \cup \{\langle s.sid, o.oid, "write"\rangle\} \\
&\qquad \wedge UNCHANGED\langle U, G, S\rangle
\end{aligned}
$$

Выполнения постусловия $WriteD$ добавляет во множество совершенных доступов A картеж, содержащий идентификатор субъекта, идентификатор объекта и имя операции. Переменные U, G, S остаются неизменными.

Инварианты модели

Модель является верифицированной, если для каждого из возможных состояний системы выполняются все инварианты – глобальные свойства безопасности. На каждом шаге верификации выполнение всех инвариантов подтверждает, что все переменные находятся в допустимых доменах значений, данное состояние не является запрещенным. Инвариант представляет собой логическое выражение, включающее в себя темпоральные операторы.

При выполнении верификации важно, чтобы все переменные находились в заданных для них доменах значений. Для достижения этого требования введен инвариант $TypeInv$, представленный следующим выражением:

$$
\begin{aligned}
&TypeInv \triangleq \\
&\quad \wedge S \subseteq Subjects \\
&\quad \wedge O \subseteq Objects \\
&\quad \wedge U \subseteq Users \\
&\quad \wedge G \subseteq Groups
\end{aligned}
$$

Инвариант $TypeInv$ не проверяет вхождение переменных из множества A в заданный домен значений, так как элементы картежей из множества совершенных доступов имеют различные домены значений.

В соответствии с правилами реализации многоуровневого разграничения доступа для любого состояния системы должен выполняться инвариант $MACSafety$, представленный следующим выражением:

$$
\begin{aligned}
&MACSafety \triangleq \\
&\quad \wedge \forall o \in O: \\
&\qquad \vee \wedge o.type \in Containers \\
&\qquad\quad \wedge \forall ch \in SelectAllChilds(o): \\
&\qquad\qquad \wedge \vee \text{"ccnr"} \in o.ext\_attr \\
&\qquad\qquad\quad \vee \wedge ch.cl \leq o.cl \\
&\qquad\qquad\qquad \wedge \vee o.confCats = \{\} \\
&\qquad\qquad\qquad\quad \vee ch.confCats \subseteq o.confCats \\
&\qquad\qquad \wedge \vee \text{"icnr"} \in o.ext\_attr \\
&\qquad\qquad\quad \vee \wedge ch.cl \geq o.cl \\
&\qquad\qquad\qquad \wedge \vee o.intCats = \{\} \\
&\qquad\qquad\qquad\quad \vee ch.intCats \subseteq o.intCats \\
&\quad \wedge \forall s \in S: \\
&\qquad \wedge s.cl \leq SelectUser(s.uid).cl \\
&\qquad \wedge s.confCats \subseteq SelectUser(s.uid).confCats \\
&\qquad \wedge s.il \leq SelectUser(s.uid).il \\
&\qquad \wedge s.intCats \subseteq SelectUser(s.uid).intCats
\end{aligned}
$$

В данном инварианте происходит проверка, что для каждого объекта, если он является контейнером, должен содержаться флаг "$ccnr$" или "$icnr$" в его расширенных атрибутах, или уровни конфиденциальности и целостности вложенных объектов должны быть ниже уровней самого объекта соответственно. При отсутствии флагов "$ccnr$" или "$icnr$" категории вложенных объектов контейнера должны быть подмножествами категорий самого контейнера. Выполнение этих правил касается также и субъектов, созданных пользователями.

Заключение

Предложенный подход к верификации моделей безопасности операционных систем семейства Windows с использованием темпоральной логики действий Лэмпорта TLA+ позволяет произвести полностью автоматическую верификацию модели, что исключает влияние человеческого фактора на результат верификации, но не исключает возможность совершения ошибки при формировании спецификации модели. Направлением дальнейших исследований является анализ модели политики безопасности управления доступом на наличие скрытых каналов утечки информации по времени, а также ее верификация.

Список литературы:

1. Havelund, Klaus, and Doron Peled. “Runtime verification: From propositional to first-order temporal logic.” In International Conference on Runtime Verification, pp. 90-112. Springer, Cham, 2018. DOI: 10.1007/978-3-030-03769-7_7

2. Kozachok A., Bochkov M., Lai Minh T., Kochetkov E. First order logic for program code functional requirements description // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 3 (21). С. 2-7. DOI: 10.21681/2311-3456-2017-3-2-7

3. Markus Alexander Kuppe, Leslie Lamport and Daniel Ricketts. The TLA+ toolbox. In F-IDE@FM 2019, pages 50–62, 2019. DOI: 10.4204/EPTCS.310.6

4. McMillan K. L. Eager Abstraction for Symbolic Model Checking // Computer Aided Verification / ed. by G. Chockler Hana and Weissenbacher. Cham : Springer International Publishing, 2018. P. 191-208. DOI: 10.1007/978-3-319-96145-3_11.

5. Девянин П.Н. О проблеме представления формальной модели политики безопасности операционных систем. Труды ИСП РАН, том 29, вып. 3, 2017. С. 7-16. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(3)-1

6. Devyanin, P.N., Khoroshilov, A.V., Kuliamin, V.V., Petrenko, A.K. and Shchepetkov, I.V., 2020. Integrating RBAC, MIC, and MLS inverified hierarchical security model for operating system. Programming and Computer Software, 46(7), pp.443-453. DOI: 10.1134/S0361768820070026

7. Efremov, D. and Shchepetkov, I., 2019, October. Runtime Verification of Linux Kernel Security Module. In International Symposium on Formal Methods (pp. 185-199). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-54997-8_12

8. Georget, L., Jaume, M., Tronel, F., Piolle, G., Tong, V.V.T.: Verifying the reliability of operating system-level information flow control systems in Linux. In: 2017 IEEE/ACM 5th International FME Workshop on Formal Methods in Software Engineering (FormaliSE), pp. 10–16 DOI: 10.1109/FormaliSE.2017.1

9. Kozachok, A.: TLA+ based access control model specification. In: Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS, vol. 30, pp. 147–162, January 2018. DOI: 10.15514/ISPRAS-2018-30(5)-9

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ОБРАБОТЧИКА СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Г.А. Драчев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ,
ООО «ЦСС - Сервис»

Аннотация

Рассматриваются и анализируются различные поддерживаемые программные подходы к сбору и обработке журнальных сообщений от компонент произвольной телекоммуникационной системы в рамках специфики информационной безопасности. С учетом отмеченных в подходах недостатков предлагается модель универсального обработчика событий информационной безопасности, позволяющая собирать журнальные сообщения по всем доступным каналам, нормализовать их, осуществлять семантическую обработку, аккумулировать в события информационной безопасности, сигнализировать об уровне критичности и экспортировать в систему, указанную для отчета. Результаты опытной эксплуатации подтвердили эффективность предложенной модели.

Введение

В настоящее время прослеживается тенденция к развитию процесса цифровизации экономики. Стремительный переход в цифровое пространство порождает новые возможности для противоправных действий злоумышленников. В таких условиях задача обеспечения информационной безопасности (ИБ) всех компонентов информационно-телекоммуникационной системы (ИТС) приобретает первостепенное значение. Для расследования инцидентов ИБ и своевременного предотвращения цифровых атак на ИТС необходимо всеобъемлюще контролировать текущее состояние системы и ее отдельных элементов.

Основной источник информации о работе системы и ее узлов - это журнальные файлы [1]. Все программное обеспечение ИТС напрямую или косвенно (через системные сообщения) оставляет данные о своей работе в виде сообщений определенного формата. Объем поступающей информации выше человеческих возможностей в обработке данных. Для автоматизации анализа информационных потоков используются агрегаторы журнальных сообщений [2] и обработчики событий информационной безопасности (СИБ) [2]. Каждый из вариантов покрывает свой набор протоколов доставки журнальных сообщений, но ни один из них не является всеобъемлющим. Кроме того, ни один агрегатор/обработчик не абсорбирует системные сообщения из бинарных файлов.

В данной работе рассматривается разработка универсального обработчика событий (УОС) ИБ, способного к сбору системных сообщений из всех доступных типов источников для последующей нормализации в СИБ. В дальнейшем

полученные СИБ экспортируются в систему, указанную для отчета.

Агрегаторы журнальных сообщений

Основная функция УОС ИБ – по возможности полный сбор журнальных сообщений от различных компонент ИТС. Частично эту функцию реализуют современные агрегаторы журнальных сообщений [2]. Данный класс программных продуктов предлагает функционал для концентрации журнальных сообщений от разных источников ИТС в единой базе. Были проанализированы агрегаторы, которые поддерживаются разработчиками в 2021 году:

- GrayLog [5]
- Logstash [6]
- Fluentd [7]
- Flume [8]
- Octopussy [9]
- LOGalyze [10]
- LogPacker [11]
- Logwatch [12]
- Syslog-ng [13]
- Inav [14]

Каждый из указанных выше программных сервисов помимо сбора и концентрации журнальных сообщений предоставляет дополнительные возможности для обработки полученных данных ради удобства чтения оператором. Основная качественная характеристика агрегатора - это набор каналов, которые используются им для сбора журнальных сообщений. В качестве каналов рассматриваются различные варианты хранения и доставки журнальных сообщений, а именно: syslog (tcp/udp) [3], SQL базы данных (SQL DB) [2], локальные файлы (FILE) [2], локальные файлы в бинарном формате (FILE binary) [2]. Для повышения информативности, к указанным каналам добавлен протокол SNMP [3], в силу его поддержки практически всеми компонентами ИТС, как в режиме журнальных сообщений, так и по прямому запросу. Результаты анализа функциональности указанных агрегаторов представлены в таблице 1:

Таблица 12. Сравнительный анализ функциональности агрегаторов журнальных сообщений

Агрегатор	SYSLOG (TCP/UDP)	SNMP	FILE	FILE binary	SQL DB
GrayLog	+	-	+	-	-
Logstash	+	-	+	-	-
Fluentd	+	-	+	-	+
Flume	+	-	-	-	-
Octopussy	+	-	-	-	-
LOGalyze	+	+	+	-	+-(WMI)
LogPacker	+	-	+	-	+
Logwatch	-	-	+	-	-
Syslog-ng	+	-	-	-	-
Inav	-	-	+	-	+

Как видно (табл.1) существующие программные продукты не покрывают полностью весь объем возможных источников журнальных сообщений. Кроме того, бинарные файлы и вовсе игнорируются. Между тем, к примеру, мандатная система разграничения прав доступа Parsec [4], применяемая в Российских защищенных ОС Astra Linux [4], ведет запись своих журнальных файлов именно в бинарном формате. Это известная практика для многих систем связанных с контролем информационной безопасности.

Обработчик событий информационной безопасности

Для автоматизации анализа собранных от агрегаторов журнальных сообщений используются обработчики СИБ [1]. Обработчики СИБ нормализуют данные и выделяют семантическую информацию, на основе которой могут быть сформированы СИБ. Первое, на чем стоит заострить внимание — это различие между журнальными сообщениями и СИБ:

- Журнальное сообщение — это некоторое событие общего типа, которое может отражать текущую жизнедеятельность составной части общей системы.
- Событие информационной безопасности — это идентифицированное появление определенного состояния системы или ее составной части, указывающего на возможное нарушение политики информационной безопасности или отказ защитных мер, или возникновение неизвестной ранее ситуации, которая может иметь отношение к безопасности.

Рассматривать обработчики СИБ как отдельные реализации программного обеспечения нецелесообразно ввиду того, что сами по себе эти датчики не используются в отрыве от SIEM систем [1] или хостовых агентов [1]. Обработчик событий информационной безопасности представляет собой надстройку над агрегатором журнальных сообщений и иными датчиками в составе SIEM, которая осуществляет дополнительную обработку входных данных с целью отправки на отчетную систему готового события информационной безопасности.

Универсальный обработчик событий информационной безопасности

Для объединения функций агрегатора и обработчика предлагается разработка УОС ИБ, который можно использовать как самостоятельную единицу контроля ИБ, так и в составе SIEM систем. УОС ИБ должен собирать журнальные сообщения по всем каналам, нормализовать их, осуществлять семантическую обработку, аккумулировать в СИБ, сигнализировать об уровне критичности СИБ и экспортировать в указанную систему.

Структуру программного комплекса УОС ИБ и его взаимодействие с компонентами ИТС и ее внешним окружением предлагается разрабатывать в следующем виде (рис.1):

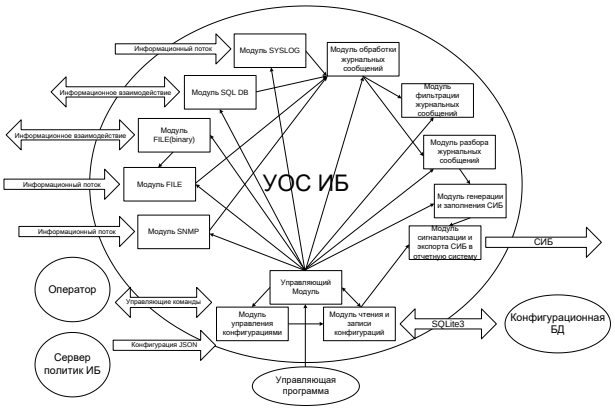


Рис.1. Структура программного комплекса УОС ИБ и его взаимодействие с компонентами ИТС и ее внешним окружением

УОС ИБ должен начинать работу с запуска управляющей программы, которая породит процесс, выполняющий основной функционал УОС ИБ, а также будет контролировать его жизненный цикл. В контуре процесса «УОС ИБ» предлагает-

ся применить возможности многопоточного исполнения (каждый модуль исполняется в отдельном потоке). В качестве первого потока будет выступать управляющий модуль.

На первом этапе управляющий модуль должен запустить модуль чтения и записи конфигураций для взаимодействия с внешней конфигурационной базой данных (БД). Дальнейшее внесение изменений в конфигурации происходит через модуль управления конфигурациями, который обработает и проверит полученное изменение на ошибки. В случае отсутствия ошибок, изменения конфигурации будут применены с помощью модуля чтения и записи конфигураций. Все операции по конфигурированию УОС ИБ выполняются либо CTL-программой (программный интерфейс для взаимодействия оператора с УОС ИБ), либо через централизованное распространение политики ИБ в формате JSON документа.

На втором этапе управляющий модуль инициирует модули информационного взаимодействия, отвечающие за прием и обработку внешних информационных потоков. Задача модуля SYSLOG – прослушивать TCP и UDP порты. В модуле SNMP осуществляется не только прослушивание TCP порта, но и выполнение GET запросов [3] информации. Модуль SQL DB отвечает за выполнение транзакций SQL [2] для чтения журнальных сообщений в случае их записи источником в БД. Модуль FILE предусматривает реализацию механизма определения состояния наблюдаемого файла источника, его чтение и ведение системы курсоров (размер файла, указатель текущей позиции, указатель номера записи, временная метка). Модуль FILE (binary) будет выполнять роль надстройки над модулем FILE. В данном модуле предлагается обработка внешних адаптеров для преобразования бинарных файлов источников в текстовый файл, который может быть обработан стандартным модулем.

После получения журнального сообщения одним из модулей информационного взаимодействия, сообщение должно быть передано на модуль обработки журнальных сообщений, где будет проверена кодировка текстовой информации, а также соответствие известным по конфигурации сообщениям. Если сообщение удовлетворяет конфигурационным критериям, необходимо дополнительно подвергнуть его фильтрации в модуле фильтрации журнальных сообщений. Этот модуль не только необходим для защиты от DDOS атак [1], но и позволяет стабилизировать работу УОС ИБ на высоконагруженном оборудовании.

Модуль разбора журнальных сообщений выделяет из сообщения, прошедшего все стадии обработки отдельные поля и нормализует их. Выделенные поля используются модулем генерации и заполнения СИБ. При заполнении всех обязательных полей в СИБ, оно форматируется модулем сигнализации и экспорта СИБ под требования конкретной отчетной системы и передается.

Заключение

В ходе проведенных исследований был разработан программный комплекс покрытия всех доступных информационных каналов ИТС для ведения системного аудита СИБ. Опытная эксплуатация программного комплекса УОС ИБ подтвердила его эффективность.

Список литературы:

1. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей / Шаньгин В. Ф. // ИД «ФОРУМ» - ИНФРА-М - 2011.
2. Акулов Л. Г. Хранение и защита компьютерной информации / Акулов Л. Г., Наумов В. Ю.// ВолгГТУ - 2015.
3. Матюшичев И. Ю. Моделирование информационных систем. Unified Modeling Language. / Матюшичев И. Ю., Флегонтов А. В. // Лань – 2018.
4. Буренин П.В. Безопасность операционной системы специального назначения Astra Linux Special Edition / Буренин П.В., Девянин П.Н., Лебеденко Е.В., Проскурин В.Г., Цибуля А.Н. // Горячая Линия – Телеком – 2019
5. https://www.graylog.org/, дата обращения: 28.01.2021
6. https://www.elastic.co/logstash, дата обращения: 28.01.2021
7. https://www.fluentd.org/, дата обращения: 28.01.2021
8. https://flume.apache.org/, дата обращения: 28.01.2021
9. https://octopussy.pm/download, дата обращения: 28.01.2021
10. https://www.logalyze.com/, дата обращения: 28.01.2021
11. https://github.com/logpacker, дата обращения: 28.01.2021
12. https://help.ubuntu.com/community/Logwatch, дата обращения: 28.01.2021
13. https://www.syslog-ng.com/, дата обращения: 28.01.2021
14. http://lnav.org/, дата обращения: 28.01.2021

Секция
«Инновационные технологии цифровой экономики»

VR-АДАПТАЦИЯ EX-VIVO РЕКОНСТРУКЦИИ ТРАКТОВ БЕЛОГО ВЕЩЕСТВА МОЗГА

Д.Н. Сазыкин, Д.Д. Ларионов, К.В. Плетминцев
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Цель работы – разработка программного обеспечения, позволяющего пользователю при помощи VR оборудования осуществлять диссекцию на виртуальной версии головного мозга человека размеченных в программе Nerve Tracts Lab. Возможность изучения виртуальной версии мозга ex-vivo значительно упрощает процесс обучения, благодаря отсутствию настоящего мозга, а технологии виртуальной реальности позволяют детально визуализировать объекты, над которыми проводится работа и имеет дополнительный функционал. Программа является ответвлением от проекта «Виртуальная реконструкция ex-vivo диссекции проводящих путей головного мозга человека», разработанного командой под руководством Аксенова С.А.

Введение

Ex-vivo – это эксперимент на извлечённых тканях или с латинского “то что происходит вне организма”, в отличие от in-vivo, которое означает изучение объекта внутри живого организма. [1] Данное программное обеспечение в свою очередь будет помогать нейрохирургам строить карту путей (трактов) белого вещества мозга на его виртуальной модели, для того чтобы подготовиться к предстоящим операциям.

Программа Nerve Tracts Lab – это единственное программное обеспечение, созданное для работы с проводящими путями головного мозга. Соответственно, VR-адаптация этого программного обеспечения тоже не имеет аналогов и является очень актуальным в сфере нейробиологии.

Изучение трактов головного мозга в последние годы считается очень важным шагом в нейрохирургии. Результаты клинических и нейровизуализационных исследований последних лет показывают, что речь (как и другие высшие психические функции) опирается не на отдельные изолированные участки коры головного мозга, а на сложную структуру из различных регионов и связей между ними, реализуемых проводящими путями из белого вещества (трактами). Однако роли отдельных трактов в различных речевых процессах не ясны до конца: необходимы широкомасштабные комплексные исследования. [2]

Для разработки программного обеспечения используется межплатформенная среда Unity. Был выбор между Unity и Unreal Engine, так как обе среды разработки по своему хороши и являются в равной степени мощными. Однако был выбран первый вариант, по нескольким значимым критериям. Во-первых, Unity более прост в освоении, что отлично подходит для начинающего разработчика. Имеется большое количество уроков, обучающих курсов и пособий, ко всему прочему работа производится на языке программирования C#, который был изучен заранее. [3] Во-вторых, большинство VR/AR разработок производится именно в этой среде. Unreal хорошо подходит для фотореалистичной графики, однако нет необходимости её использовать. [4] Результируя, нет необходимости использовать более профессиональный и сложный для работы Unreal Engine.

Основная часть

Подобное программное обеспечение было разработано в прошлом учебном году другой проектной командой и носило название Nerve Tracts Lab. Сейчас команда занимается его усовершенствованием, но в работе находится только desctop версия. Поэтому основная задача – это адаптация усовершенствованной версии программного обеспечения под виртуальную реальность, в которой можно реализовать более широкий функционал для большей наглядности и точности в изучении трактов мозга.

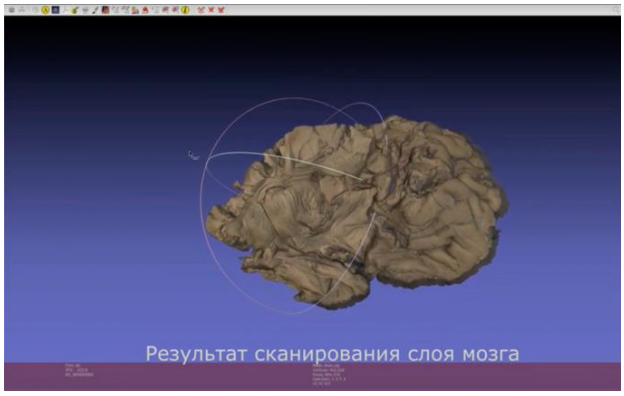


Рис.1. Скан мозга в программе Nerve Tracts Lab

Для работы, в качестве оборудования используется комплект HTC Vive, в виде шлема и двух специальных геймпадов для взаимодействия [5] и специальных беспроводных контроллеров (перчаток) Senso Glove [6]. Разрабатываемое приложение для шлема виртуальной реальности предполагает нахождение пользователя в виртуальной комнате, внутри которой расположена модель мозга. При помощи дополнительных встраиваемых инструментов реализуется следующий функционал: просматривание модели, вращение, послойный просмотр, изменение прозрачности слоёв и разметка цветом трактов (с сохранением кастомизированных настроек).

Разработка производится при помощи установленных в Unity пакетов openvr, которые являются вспомогательными для работы с HTC Vive. [7]

Все текстуры и модели для объектов и интерфейса создаются с использованием профессионального программного обеспечения для 3D-моделирования, анимации и визуализации при создании игр и проектировании 3dsMax. [8].

На данный момент создана сцена с объектом в виде мозга, с управлением реализованным при помощи комплектных контроллеров HTC Vive. В программу имортированы функции для парсинга данных из ПО Nerve Tracts Lab.

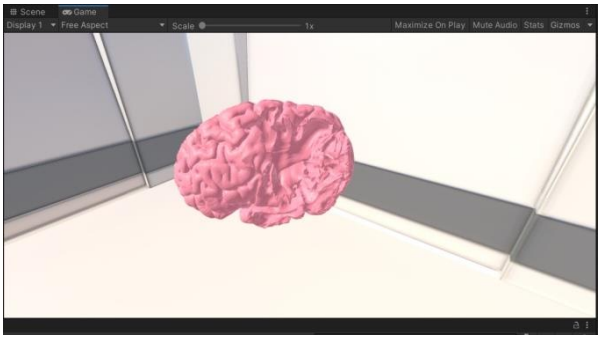


Рис.2. Модель мозга в созданной комнате

Принцип работы: происходит парсинг при помощи импортированных функций и создаётся структура данных с mesh головного мозга, динамическими массивами структур шагов диссекции, структур “мешей” на этапах диссекции и структур трактов на этапах диссекции. В Unity специальный скрипт переводит данные из C++, на котором написаны изначальные скрипты, в C# на котором производится работа. При помощи оборудования пользователь может взаимодействовать с мозгом (вертеть в руках, переносить, открывать редактирование при помощи которого в дальнейшем производить диссекцию и размечать тракты).

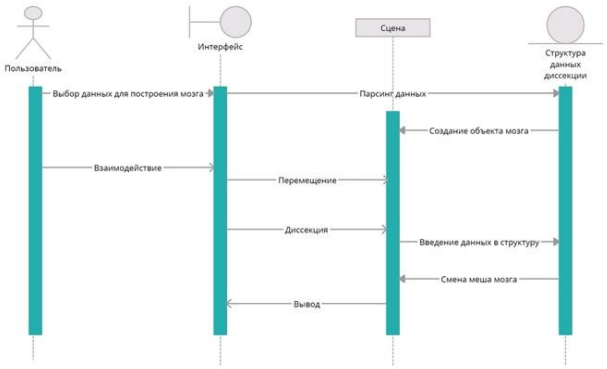


Рис.3. UML диаграмма ПО

Заключение

ПО предназначено для детализированного изучения трактов белого вещества головного мозга. Такое программное обеспечение будет информативно, а главное наглядно показывать диссекцию на различных научных конференциях, а так же может быть использовано для обучения медиков и биологов.

Список литературы:

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ex_vivo [Интернет ресурс]

2. https://www.hse.ru/neuroling/research/tracts/ – [Интернет ресурс]

3. Norton T. Learning C# by developing games with unity 3D. – Packt Publishing Ltd, 2013.

4. Wasilenko L. Getting Started with SteamVR and Unity. – 2019.

5. https://www.raywenderlich.com/9189-htc-vive-tutorial-for-unity#toc-anchor-001 – [Интернет ресурс]

6. https://senso.me/docs/unity/ – [Интернет ресурс]

7. https://partner.steamgames.com/doc/features/steamvr/openvr – [Интернет ресурс] Документация по openvr

8. https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2021/ENU/ – [Интернет ресурс]

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

М.А. Чепракова
МИРЭА - Российский технологический университет, институт информационных технологий, кафедра инструментального и прикладного программного обеспечения

Аннотация

В рамках работы изучен современный рынок мобильных приложений, выявлены причины появления кроссплатформенного подхода в разработке, проведено сравнение нативного и кроссплатформенного подходов к разработке мобильных приложений и определено для каких проектов выгоден каждый их них, проведен обзор наиболее популярных в настоящее время фреймворков для создания кроссплатформенных приложений, изучены направления развития кроссплатформенной разработки.

Введение

В настоящее время наблюдается ежедневный прирост количества пользователей смартфонов во всем мире. Число пользователей в 2020г. уже составляет 3,5 млрд. человек [1]. И, как ожидается, эта цифра будет только расти и к 2021г. достигнет отметки в 3,8 млрд. [1].

По данным отчета DATAREPORTAL мобильные приложения генерируют примерно 50% интернет-трафика [2], они предоставляют более гибкий интерфейс и широкий спектр возможностей по сравнению с мобильными версиями сайтов, за счет чего пользователи смартфонов до 91% своего экранного времени тратят именно на приложения [2].

По состоянию на 2019г. мировые доходы от покупок приложений в App Store составили $120 млрд, что в 2,1 раза больше, чем в 2016г. Доходы от мобильной рекламы согласно отчету App Annie выросли с 2019г. по 2020г. на 26%, а это $240млрд. В связи с чем очевидно, что каждый современный бизнес заинтересован в разработке собственного мобильного сервиса для привлечения большего количества клиентов и увеличения доходов.

Отчет Statcounter показывает, что Android является ведущей операционной системой для смартфонов в мире с долей рынка более 71% [3], тогда как доля IOS составляет около 28% [3].

Учитывая приведенные выше статистические данные, можно с уверенностью сказать, что таргетинг лишь на одну из двух ведущих ОС не является лучшим решением для бизнеса. Android выигрывает по количеству пользователей, а IOS по их платежеспособности. Однако, разработка одного приложения под несколько платформ может оказаться трудоемким и дорогостоящим вариантом. Создание отдельных нативных приложений требует привлечения нескольких команд разработчиков, реализующих, по сути, одно и то же, и больше временных ресурсов. Чем дольше команды работают над проектом, тем дороже, учитывая почасовую оплату каждого сотрудника, обойдется заказчику разработка сервиса.

Результатом стремления сократить расходы и время на разработку сервиса в условиях существования когда-то большого количества различных вариантов операционных систем на рынке (iOS, BlackBerry, Android, Symbian и Windows Mobile), и при этом обойтись без потерь в охвате пользователей, стало развитие кроссплатформенного метода разработки мобильных приложений, и уже сегодня он составляет реальную конкуренцию нативному, предоставляя индустрии способ разрабатывать для iOS и Android одно приложение вместо двух, охватывая сразу 99% пользователей смартфонов.

В рамках данной работы оценивается конкурентоспособность кроссплатформенных приложений по сравнению с нативными и сравниваются методы разработки кроссплатформенных приложений, выявляется наиболее перспективный.

Сравнительный анализ нативного и кроссплатформенного подхода к созданию мобильных приложений

Разработка мобильного приложения на родных технологиях и языках имеет следующие положительные моменты:

1. Гибкость в реализации
2. Эффективность UI / UX
3. Скорость работы
4. Доступность последних технологий
5. Легкость и качество тестирования
6. Полная поддержка со стороны магазинов приложений

Вместе с тем, стоит учитывать, что нативная разработка под несколько платформ требует значительных ресурсных затрат и приводит к:

1. Увеличению стоимости разработки
2. Увеличению времени разработки

Выбор в пользу кроссплатформенного мобильного приложения обеспечит следующие преимущества:

1. Широкий охват рынка
2. Дешевизна сборки за счет снижения рабочей нагрузки
3. Быстрая разработка сразу для нескольких платформ
4. Упрощенная поддержка продукта
5. Упрощенная процедура обновления
6. Простая интеграция с облаком
7. Единая логика приложения на всех платформах
8. Согласованность UI и UX

Основные недостатки кроссплатформенного приложения:

1. Непредсказуемость пользовательского опыта и дизайна
2. Проблемы с внедрением новых функций
3. Зависимость от мобильного устройства
4. Проблемы с безопасностью
5. Низкие показатели производительности
6. Большой вес приложения
7. Нет устойчивой поддержки сообщества
8. Сложности при построении команды
9. Ограничения в поддержке магазинов

Резюмируя вышеописанное, можно сделать вывод, что нативная разработка выгодна в том случае, если заказчику достаточно охватить аудиторию лишь одной платформы или необходимо добиться безупречного пользовательского опыта от конкретной платформы. Также в сторону нативного приложения склоняют требования к беспрепятственному использованию аппаратного обеспечения мобильного устройства или специфичных для платформы функций и высокой производительности. Кроме того, если планируется создать сложное и долгосрочное приложение с широким функционалом, многоэлементным интерфейсом или сложной анимацией, нативное приложение – единственный выбор. Об этом говорит опыт таких крупных компаний как Facebook, Airbnb которые разработали кроссплатформенные приложения для своих целей, но в итоге вернулись к нативному способу разработки, так как кроссплатформенное приложение не удовлетворяло их требованиям, с трудом масштабировалось и не оправдывало ожидания пользователей [4, 5, 6].

Однако мир программного обеспечения сильно изменился с тех пор, как Цукерберг сделал свое заявление о частичном уходе от кроссплатформенных технологий в 2012 году, когда использовался, кстати, в основном гибридный подход. Современные фреймворки уходят от гибридного подхода и предлагают собственные инструменты разработки и компиляцию в Swift и Kotlin, что позволяет повысить производительность. Каждый фреймворк имеет свои проблемные точки, но многие копании все равно продолжают инвестировать в них, за счет того, что общая прибыль с приложения превышает затраты на обход препятствий к лучшей производительности, а некоторые даже вносят свой вклад в кодовую базу фреймворков на основе опыта самостоятельных исправлений критических моментов [7].

Есть случаи, когда лишь некоторый функционал приложения разрабатывается на кроссплатформенных технологиях, таким образом подход используется максимально эффективно там, где он действительно нужен [8].

Разработаны бренд-ориентированный, платформа-ориентированный и смешанный подходы к адаптации с UI/UX в кроссплатформенных приложениях [9, 10, 11, 12], а Material Design даже выпустили best practices по этой теме [13]. Таким образом, кроссплатформенное приложение подойдет и тем, кто считает, что приложение должно выглядеть одинаково везде, и тем, кто считает, что приложение должно соответствовать платформе.

В последние годы и Google, и Apple позаимствовали декларативную систему пользовательского интерфейса из Интернета, используя ее во фреймворках Flutter, Jetpack Compose и SwiftUI. Это означает, что в будущем разработчику Swift больше не нужно понимать структуру Android XML, а разработчику Android больше не нужно знать, как работать с файлами XIB или раскадровками.

Кроссплатформенный подход позволяет сэкономить 10-30% бюджета, многие известные приложения такие как Walmart, Tesla, UberEats, Google Ads, Alibaba, Wix, Discord, воспользовались этим и сумели быстро выйти на рынок и получить широкий охват пользователей. Рынок, сообщество и популярность кроссплатформенных фреймворков растет, о чем говорят статистические данные Markets And Markets research, Google Trends и Stack Overflow Trends. Все вышеперечисленное говорит о том, что кроссплатформенный метод разработки – это хорошая практика, которая значительно упростит реализацию приложения сразу под несколько платформ, но подходит она не под каждую задачу, нужно обязательно анализировать тип приложения, стек компании и опыт команды разработчиков. Выгодно использовать данный подход при построении проектов автоматизации бизнес-процессов, B2B-приложений с массивной бизнес-логикой, приложений для распространения контента, игровых и сравнительно простых в своем функционале, интерфейсе и анимациях приложений.

Обзор фреймворков для кроссплатформенной разработки

В рамках данного раздела будут рассмотрены нативные кроссплатформенные фреймворки: React Native, Flutter и Kotlin Multiplatform, так как они занимают большую часть кроссплатформенного рынка и их популярность все еще растет, в отличии от Xamarin, вместе с тем, как прогрессивные (PWA) и гибридные фреймворки (Cordova, Sencha, Ionic) уже реже используются в разработке из-за низкой производительности, неточного интерфейса и наличия JavaScript моста.

React Native

Данный фреймворк - продукт внутреннего хакатона, проведенного в 2013 году Facebook. Компания хотела перенести на мобильные устройства преимущества веб-разработки, такие как быстрые итерации и наличие единой команды для создания всего продукта.

GitHub - 3,7 тыс. участников, 92,2 тыс. звезд, 299 PR. Stack Overflow: один из самых «страшных» фреймворков.

Используется в приложениях: Tesla, Walmart, Pulse SoundCloud, Bloomberg, Pinterest, Instagram.

Flutter

Данный фреймворк - продукт Google, его принцип – создание приложений с единой кодовой базой для мобильных платформ, веба и десктопа.

GitHub - 3,3 тыс. участников, 109 тыс. звезд, 171 PR. Stack Overflow: один из самых «любимых» фреймворков.

Используется в приложениях: Alibaba, Hamilton Musical, Greentea, Google Ads, Philips Hue.

Kotlin Multiplatform

У JetBrains есть важное отличие от многих других сторонников кроссплатформенности: там изначально не ставят целью «полностью универсальную кодовую базу». Радикальный подход «всё общее» в большинстве случаев работает плохо или накладывает массу ограничений, поэтому компания и не пытается его воплотить.

Вместо этого предлагают переиспользовать только по-настоящему общую часть кода. А всё различающееся писать нативно. UI здесь никак не объединяют.

Всё общее можно выделить в библиотеку на Kotlin, подходящую сразу для iOS и Android, а дальше обращаться к ней с обеих сторон.

Выбрав подход «проект из трёх частей», JetBrains направили усилия на максимально бесшовное взаимодействие этих частей на уровне языка.

GitHub – 1,3 тыс. участников, 34,3 тыс. звезд, 171 PR. Stack Overflow: Kotlin один из самых «интересующих» языков.

Используется в приложениях: Яндекс.Карты и Яндекс.Диск (несколько модулей), Netflix, Quizlet, Autodesk.

Заключение

Нет единственно верного решения при выборе подхода к мобильной разработке. Однако, за кроссплатформенными приложениями будущее, они предлагают более продвинутые функции, чем нативный инструментарий и помогают экономить.

React Native следует выбрать, если:

1. Команда разработчиков знакома с веб-разработкой и JavaScript.
2. Осуществляется перенос веб-приложения на iOS и Android.

Ftlutter следует выбрать, если:

1. Планируется MVP-приложение
2. Есть необходимость в качественной анимации
3. Есть необходимость в высокой производительности
4. Нет сильной необходимости в специфичных функциях платформ и доступе к аппаратному обеспечению.

Подход Kotlin Multiplatform выглядит наиболее продуманным и эффективным, скорее всего именно на нем будут строиться кроссплатформенные приложение в будущем. Совместное использование лишь бизнес-логики на разных платформах приносит стоящие выгоды, кроме того, все приложение целиком может писаться на одном уже знакомом мобильным разработчикам языке. Это новый инструмент, а не замена существующего набора инструментов.

Список литературы:

1. Smartphone users worldwide 2020 / Statista [Электронный ресурс]. — URL: https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/ (Дата обращения 01.12.2020).
2. DIGITAL 2020: GLOBAL DIGITAL OVERVIEW [Электронный ресурс]. — URL: https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview (Дата обращения 01.12.2020).
3. Mobile Operating System Market Share Worldwide / Statcounter [Электронный ресурс]. — URL: https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide (Дата обращения 01.12.2020).
4. Under the hood: Rebuilding Facebook for iOS [Электронный ресурс]. — URL: https://www.facebook.com/notes/facebook-engineering/under-the-hood-rebuilding-facebook-for-ios/10151036091753920/ (Дата обращения 01.12.2020).
5. Facebook's Zuckerberg [Электронный ресурс]. — URL: https://venturebeat.com/2012/09/11/facebooks-zuckerberg-the-biggest-mistake-weve-made-as-a-company-is-betting-on-html5-over-native/ (Дата обращения 01.12.2020).
6. Why Airbnb is Moving Off Of React Native [Электронный ресурс]. — URL: https://softwareengineeringdaily.com/2018/09/24/show-summary-react-native-at-airbnb/ (Дата обращения 01.12.2020).
7. React Native at Wix [Электронный ресурс]. — URL: https://medium.com/wix-engineering/react-native-at-wix-d56c3745aaff (Дата обращения 01.12.2020).
8. Натив или гибрид? Специалисты Яндекса отвечают на главный вопрос мобильной разработки [Электронный ресурс]. — URL: https://habr.com/en/company/yandex/blog/326882/ (Дата обращения 01.12.2020).
9. Avoiding Bad Practices in iOS and Android Design [Электронный ресурс]. — URL: https://www.toptal.com/android/android-and-ios-app-design-tips (Дата обращения 01.12.2020).
10. Approaches For Multiplatform UI Design Adaptation [Электронный ресурс]. — URL: https://www.smashingmagazine.com/2015/09/approaches-for-multiplatform-ui-design-adaptation/ (Дата обращения 01.12.2020).
11. How to Design UI for Cross Platform Devices [Электронный ресурс]. — URL: https://medium.com/hitech-nudge-rewards/how-to-design-ui-for-cross-platform-devices-5809e008935d (Дата обращения 01.12.2020).
12. Cross-platform app design: 3 ways to build React Native UI/UX [Электронный ресурс]. — URL: https://www.purrweb.com/blog/cross-platform-design/ (Дата обращения 01.12.2020).
13. Cross-platform adaptation [Электронный ресурс]. — URL: https://material.io/design/platform-guidance/cross-platform-adaptation.html (Дата обращения 01.12.2020).

РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ ТУРОВ

Е.В. Наумова, А.В. Железнова, Д.С. Золотухин, И.А. Мотайленко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В последнее время остро стоит вопрос о соблюдении мер самоизоляции. Но при этом люди все так же хотят посещать интересные для них места. Также многим не хватает времени и средств добраться до желаемых мер. В данном случае решением этих проблем является виртуальный тур. Данная работа направлена на то, чтобы показать весь путь разработки виртуальных туров.

Введение

Современный мир становится все более зависимым от информационных технологий. Они широко, интенсивно и эффективно используются человеком во всех сферах деятельности. То же самое можно сказать и о виртуальных турах [1].

В действительности виртуальные туры служат многим целям: для помощи людям с ограниченными возможностями (люди с физическими недостатками чаще других пользуются виртуальными экскурсиями, особенно по красивым местам и музеям); для людей с недостатком средств; для рекламы - все чаще, прежде чем воспользоваться услугами медицинского центра, нового ресторана, салона красоты, спортивного зала или фирменного магазина, люди ищут о нем информацию в интернете, все чаще хотят увидеть фотографии или видео; для обхода ограничений - во время пандемии особенно остро стоит вопрос о посещении общественных мест, виртуальные туры могут помочь с этой проблемой [2].

Абитуриенты, родители, студенты в условиях пандемии не имеют возможности посетить здания ВУЗов лично. Виртуальные туры в свою очередь могут продемонстрировать каждое здание практически до мельчайших подробностей, гости могут прогуляться по всему учебному заведению, не выходя из дома и имея под рукой только смартфон или компьютер.

Аналоги разрабатываемого виртуального тура

Рассмотрим аналоги, представленные на современном рынке. В последнее время можно отметить скачок в популярности виртуальных туров [3]. Связан этот феномен с большей доступностью оборудования для создания туров, развитием и популяризацией VR - технологий.

Ближайшим аналогом панорамного тура МИЭМ НИУ ВШЭ является тур по Пушкинскому музею. С его помощью можно детально рассмотреть музей и представленные экспонаты, узнать их историю с помощью имеющихся меток [4]. Благодаря этому туру пользователь может "прогуляться" по музею, находясь в любой точке мира, что особенно важно в современных условиях. Подобного рода туры имеются у многих музеев: от Третьяковской галереи до Лувра. Тем не менее, рассматриваемый тур был сделан с помощью стороннего ПО, что не позволяет расширять функционал.

Помимо вышесказанного, виртуальные туры используются при продаже и дизайне недвижимости. Например, приложение компании Дом Клик позволяет пользователю создать тур по собственной квартире, выставляемой на данной платформе [5]. Подобные сервисы обладают множеством преимуществ, главное из которых - повышение скорости продажи на 30% [6] . Это обусловлено тем, что рынок недвижимости практически полностью перешёл на новый онлайн формат, к тому же, потенциальные покупатели зачастую не могут посетить выбранную квартиру, а виртуальные туры дают им возможность рассмотреть все детали точнее, чем на обычных фотографиях, несмотря на невысокое качество тура.

Таким образом, было решено создать приложение, которое сочетало бы в себе качество виртуального тура Пушкинского музея и гибкость для дальнейшего расширения функционала, такого как редактирование и добавление новых туров.

Предлагаемый процесс разработки

Переходя к описанию процесса разработки данного класса продуктов, всё начинается с четкого выбора функционала желаемого программного обеспечения, причем как первостепенного, так и того, который с наибольшей вероятностью может быть реализован в дальнейшем, при развитии создаваемого ПО.

После решения этих вопросов, можно приступать к одному из самых долгих в большинстве случаев, но в то же время одному из самых важных этапов разработки - проектирование архитектуры.

Что касается конкретно нашего продукта, стояла задача создать ПО, которое прежде всего будет реализовывать панорамный тур по МИЭМ НИУ ВШЭ в веб-браузере. Более того, должна присутствовать система администрирования тура, заключающаяся в возможности людей с определёнными правами на сайте выставлять метки с текстовой информацией на том или ином месте тура и производить с ними CRUD [7] манипуляции.

В перспективе должна оставаться возможность как можно проще и быстрее реализовать расширение функционала, подрастающее создание целой системы создания панорамных туров из браузера посредством загрузки фотографий и выставления маршрутов переходов между планами. Как пример, если владельцам сайта захочется добавить тур по какому-либо зданию, необходимость в программисте для решения этой задачи должна отпасть, т.к. со всем справится обычный пользователь, знакомый с интерфейсом сайта и обладающий необходимыми для этого действия правами.

Далее описывается непосредственно этап проектирования. Важно отметить тот факт, что сама система строго ориентирована на web, что лишает необходимости поиска путей абстрагирования от него. Этот факт, в свою очередь, позволяет отталкиваться от этого при разработке архитектуры.

Далее обозначены 3 главных модуля программного обеспечения:

1. tour-management - модуль, отвечающий за работу непосредственно панорамного тура, а именно: отображение веб-тура и реакция на действия пользователя. К последним относится как простое перемещение по туру, так и создание текстовых меток, а также их администрирование.
2. frontend - модуль, отвечающий за внешнюю составляющую сайта. К ней относится отображение страницы аутентификации и выбора тура для просмотра. В свою очередь, последние ведут к персональной странице для каждого здания, готовому к просмотру, на которой уже имеется переход непосредственно к туру.
3. backend-API - программный интерфейс веб-приложения, который предназначен для аутентификации, заполнения frontend данными, а также захватывания онных из него. Более того, модуль tour-management имеет схожие связи с описываемым модулем, так как все такие действия, как создание меток, потребуют хранения данных о них.

UML-диаграмма, описывающая поток данным между вышеописанными модулями (рис. 1):

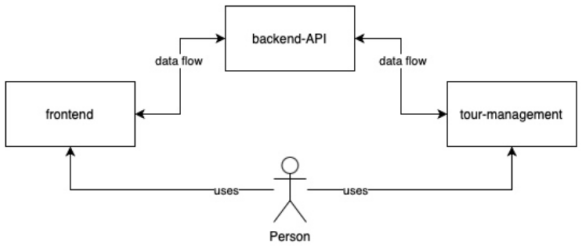


Рис.1. UML-диаграмма

После утверждения высокоуровневых политик системы возможен переход в выбору деталей. Следующим этапом стоял выбор инструментария реализации продукта. Факт привязки к web позволяет умеренно, но всё же насладиться красотой и удобством использования современных фреймворков, которые с высокой вероятностью долгое время не будут причиной для изменения реализации системы.

Вследствии этого, были выбраны следующие инструменты для обсепечения работоспособности вышеописанных модулей:

1. Для модуля tour-management основным инструментом стал js-фреймворк React 360[8].

Библиотека считается одной из мощнейших инструментов в своем деле заменив собой ReactVR [9]. Весь необходимый функционал уже реализован “под капотом” и легок к расширению, так как фреймворк распространяется с открытым исходным кодом.

2. Ядром модуля frontend был выбран один из самых популярных фреймворков для этой цели, а именно React [10]. Вместе с обширной документацией эта поистине огромная библиотека обладает возможностью легкого адаптирования интерфейса под кроссплатформенность, а также исходным кодом, что раскрывает просторы для удобного добавления своего функционала не портя при этом консистентность системы.

3. Последний по порядку, но не по значению модуль backend-API был основан на использовании Python фреймворка Django в связи с библиотекой django-rest-framework. Архитектурный стиль REST гибок и удобен для расширения, а язык Python в купе с Django [11] позволяет добиться высокой скорости разработки и удобства сопровождения. Также из плюсов стоит выделить встроенный в Django сервер тестирования и обширную документацию из-за достаточно долгой истории развития вышеупомянутой библиотеки.

В дополнение стоит упомянуть несколько примечаний:

1. Для хранения данных была выбрана реляционная БД, реализованная посредствам СУБД PostgreSQL [12]. Чем-то примечательным схема данных не выделяется, так как она необходима для двух целей: хранение данных о пользователях,их сеансах и правах, а также для администрирования информации о метках туров.

2. Все описанные модули системы можно развертывать независимо на разных серверах, что несомненно является удобством при сопровождении и масштабировании программного обеспечения.

Таким образом, были описаны не все, но ключевые аспекты разработки данного типа ПО. На текущий момент имеется прототип web-API, реализующий запросы к базе данных и управляющий потоками информации, приходящих от модулей frontend и tour-management, в которых, в свою очередь, реализованы прототипы авторизации (рис. 3) и самого тура (рис. 2).



Рис.2. Скриншот тура

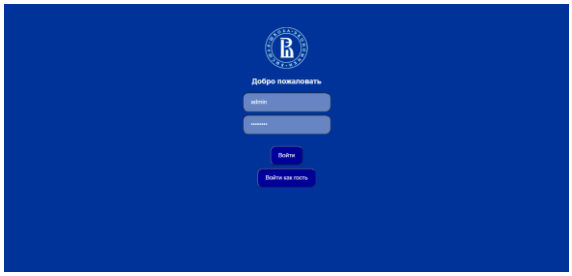


Рис.3. Скриншот авторизации

Заключение

Сейчас виртуальные туры максимально помогают погрузиться в экскурсию. И с каждый годом виртуальные экскурсии будут приобретать еще большую популярность и становиться лучше. Сейчас они уже позволяют максимально реалистично воссоздать трехмерное пространство с множеством элементов на экране. В скором будущем ожидается появление виртуальных очков, которые сделают просмотр панорам еще более реалистичным и смогут облегчить перемещение по локациям: не придется кликать на кнопки, перенестись в новое место можно будет простым перемещением взгляда [13]. Что касается разработки подобного программного панорамных туров - стоит подчеркнуть, что этот опыт для каждого свой и во многом зависит от выбора целей, для которых создается программного обеспечение, а также от предпочтений самих разработчиков. Тем не менее, такая система, как панорамный тур, пусть даже привязанный к браузеру, открывает невероятный простор для расширения функционала, поэтому одно из главных правил для создания макета такой системы - не отрезать пути для добавления новых функций.

Список литературы:

1. Храмова В. В. “Виртуальная экскурсия - эффективная форма организации учебного процесса”// Сайт nsportal.ru. 17.06.2019 (https://nsportal.ru/npo-spo/obrazovanie-i-pedagogika/library/2019/06/17/ctatya-virtualnaya-ekskursiya-effektivnaya-forma) Просмотрено: 01.02.2021.

2. Амерханова Г. “Виртуальные экскурсии - эффект присутствия на месте события”// Сайт newreporter.org. 24.04.2012 (https://newreporter.org/2012/04/26/virtualnye-ekskursii-effekt-prisutstviya-na-meste-sobytiya/) Просмотрено: 01.02.2021.

3. Статья “Виртуальный туризм набирает обороты” // Сайт kommersant.ru. 05.04.2020 (https://www.kommersant.ru/doc/4315013) Просмотрено: 01.02.2021.

4. Статья “Виртуальный Пушкинский”// Сайт pushkinmuseum.art (https://www.pushkinmuseum.art/media/virtual/index.php?lang=ru) Просмотрено: 01.02.2021.

5. Статья “Мы запустили первый в России бесплатный сервис для съемки панорамы недвижимости 360°” //blog.domclick.ru. 01.10.2020 (https://blog.domclick.ru/post/my-zapustili-pervyj-v-rossii-besplatnyj-servis-dlya-semki-panoramy-nedvizhimosti-360) Просмотрено: 01.02.2021.

6. Статья “Создание 3D виртуальных туров”// Сайт rec360.ru (https://rec360.ru/virtual-tours) Просмотрено: 01.02.2021.

7. Статья “CRUD”// Сайт wikipedia.ru (https://ru.wikipedia.org/wiki/CRUD) Просмотрено: 01.02.2021.

8. Документация “React360”// Сайт github.com (https://github.com/facebookarchive/react-360) Просмотрено: 01.02.2021.

9. Статья “React 360 vs React VR | What are the differences?” // Сайт stackshare.io (https://stackshare.io/stackups/react-360-vs-react-vr) Просмотрено: 01.02.2021.

10. Статья “React”// Сайт reactjs.org (https://ru.reactjs.org) Просмотрено: 01.02.2021.

11. Статья “Django” // Сайт djangoproject.com (https://www.djangoproject.com) Просмотрено: 01.02.2021.

12. Статья “PostgreSQL”// Сайт postgresql.org (https://www.postgresql.org/) Просмотрено: 01.02.2021.

13. Статья “Актуальность виртуальных туров в современном мире, их польза и перспективы” // Сайт blog.flexyheat.ru. 29.08.2016. (http://blog.flexyheat.ru/aktualnost-virtualnyx-turov-v-sovremennom-mire-ix-polza-i-perspektivy/) Просмотрено: 01.02.2021.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А.С. Авдеев, П.П. Колесник
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье описывается процесс разработки, моделирование и управление системой, предназначенной для дистанционного управления мобильным роботом на гусеничной платформе с использованием технологий и различных устройств виртуальной реальности (VR). Цель этой работы – создать систему для управления различными системами робота и мониторинга окружающего его пространства при помощи очков VR. В этом исследовании мы следовали трем направлениям: использование робота на гусеничной платформе, подключенного к сети, разработка удаленной среды для экспериментов с использованием мобильного робота и архитектура управления, предлагаемая для облегчения пилотирования устройством. В этой работе предлагается архитектура аппаратного и программного обеспечения, основанная на коммуникационных и информационных технологиях, для управления виртуальным роботом с целью улучшения его управления.

Введение

В настоящее время технологии дистанционного управления и мониторинга претерпевают значительные изменения, поскольку они должны отвечать возрастающим потребностям в дистанционном управлении различными устройствами, предназначенными для использования в специализированных или общедоступных сферах деятельности человека. Таким образом, предполагается, что разработка новых эффективных систем дистанционного управления, использующих устройства виртуальной реальности, позволит управлять сложными роботизированными устройствами и отвечать большинству современных требований и стандартов. Робототехнические системы дистанционного управления широко используются в промышленности, науке, медицине, образовании, развлечениях и военных приложениях [1]. Успешные применения дистанционно управляемых мобильных роботов в различных средах представлены в статьях [2, 3, 4]. Удаленное управление роботизированными платформами можно разделить на три основные категории: исследовательские роботы, транспортные средства и опасное для жизни человека дежурство [5]. Прекрасный пример исследовательских роботов, выполняющих научную работу - марсоходы и луноходы [6]. Транспортные средства используются для задач, связанных с транспортировкой грузов и людей [7]. Роботы, выполняющие опасные для человека действия, представлены в статьях [8, 9, 10]. Как можно заметить, задача удаленного управления является актуальной во многих сферах, и текущая статья описывает новый этап развития для систем подобного рода.

Исследование существующих аналогов и выявление проблемы

На сегодняшний день наиболее часто используемый аналог управления в виртуальной реальности — это, по сути, обычный прямой интерфейс: оператор управляет роботом с помощью ручных контроллеров и просматривает видео с камер. Примеры приведены в статьях [11, 12]. Существует усовершенствованная версия такого подхода. Она представляет из себя управление позиционированием точки обзора камеры при дистанционной работе робота. Данный подход описан в статье [13]. Данный метод гарантирует, что все важные точки для дистанционного управления будут включены в видеопоток. Но в отличие от прямых интерфейсов, представленных выше, виртуальная реальность позволяет не только очень точно позиционировать точку обзора, но и применять VR устройства и контроллеры для управления, что в перспективе дает намного больше возможностей для развития.

Тем не менее несмотря на популярность классических способов управления, VR интерфейсы для управления роботами все же активно применяются. Правда в основном такие разработки ведутся для гуманоидных антропоморфных роботов. Так, например компания Toyota на выставке в Токио в 2017 году представила своего гуманоидного робота с силовой обратной связью, предназначенного для выполнения трудоемких задач по транспортировке больших грузов [14]. Другой пример управления гуманоидным роботом средствами виртуальной реальности был представлен стартапом Telexistence [15]. Данный робот, по заявлениям компании, будет выполнять функцию расстановки продуктов на складе.

Исходя из обзора и анализа рынка можно сделать вывод, что уже существуют роботы, решающие задачи как по исследованию удаленных мест, куда тяжело добраться человеку, такие как удаленные космические объекты или глубоководные рельефы, так и по присутствию в потенциально опасных условиях для жизни и здоровья человека, такие как тушение пожаров, разминирование бомб и ликвидация последствий различных аварий. Также существует довольно обширное применение устройств и технологий виртуальной реальности для управления удаленными устройствами. Но не удается найти подходящей платформы, в которой сочетались бы оба фактора.

Основная часть

Для выполнения данного проекта было необходимо собрать и протестировать гусеничную платформу, робота, с которого мы собираемся получать видеосигнал. Исходя из обзора и анализа была выбрана именно гусеничное основание, чтобы улучшить проходимость изделия в труднодоступных местах. Чтобы не разрабатывать новое устройство, было решено взять готовый проект и внести в него изменения для большего соответствия нашим требованиям.



Рис.1. 3D модель гусеничной платформы

Данный робот представляет собой изделие небольшого размера, около 40 сантиметров в высоту и 30 в ширину. Передвигается он посредством двух гусеничных механизмов. Каждый из этих механизмов управляется при помощи мощных 12-ти вольтовых DC двигателей, что обеспечивает роботу подвижность и проходимость, позволяющую ему передвигаться быстро и по достаточно сложной местности. Данные моторы в свою очередь управляются драйвером

моторов. Для управления механическими частями устройства используется микроконтроллерная плата Arduino UNO, она также управляет семью сервоприводами, посредством драйвера сервомоторов.

Для более сложных вычислительных задач наш робот использует одноплатный компьютер Jetson Nano. В оригинальном проекте использовалась Raspberry Pi3, но она нам не подошла, так как в оригинальном проекте не предполагалось, что на роботе будут выполняться сложные вычисления. Единственной его задачей была передача видеосигнала с обычной камеры на пульт управления. В нашем же случае речь идет о куда более объемном и сложном видеосигнале с 360 камеры. Даже небольшая потеря качества в процессе передачи сигнала сильно ухудшит впечатление от использования нашего устройства. Поэтому, планируется выполнять предобработку сигнала на самом роботе, чтобы сигнал можно было сжать перед отправкой и восстановить на управляющем устройстве для визуализации на VR шлеме. В этом могут помочь автоэнкодеры, однако их применение на видеосигнале требует серьезных вычислительных мощностей. Поэтому было решено заменить Raspberry Pi3 на Jetson Nano, оснащенный мобильным GPU и программным обеспечением для распределенных вычислений.

Processing	
CPU	64-bit Quad-core ARM A57 @ 1.43GHz
GPU	128-core NVIDIA Maxwell @ 921MHz
Memory	4GB 64-bit LPDDR4 @ 1600MHz | 25.6 GB/s
Video Encoder*	4Kp30 | (4x) 1080p30 | (2x) 1080p60
Video Decoder*	4Kp60 | (2x) 4Kp30 | (8x) 1080p30 | (4x) 1080p60
Interfaces	
USB	4x USB 3.0 A (Host) | USB 2.0 Micro B (Device)
Camera	MIPI CSI-2 x2 (15-position Flex Connector)
Display	HDMI | DisplayPort
Networking	Gigabit Ethernet (RJ45)
Wireless	M.2 Key-E with PCIe x1
Storage	MicroSD card (16GB UHS-1 recommended minimum)
Other I/O	(3x) I2C | (2x) SPI | UART | I2S | GPIOs

Рис.2. Технические характеристики Jetson Nano

Также обычная камера на роботе не подходит под нашу задачу, поэтому нам необходимо было заменить ее на 360 камеру. Для этого мы переработали дизайн робота, заменив верхнюю башню на отверстие для установки камеры Ricoh Theta V.

За управление и программную архитектуру устройства отвечает Robotic Operating System. Это фреймворк, позволяющий удобно организовывать много параллельных процессов, способных общаться между собой и делить как вычисления, так и их результаты. При этом программные модули этих процессов могут быть описаны на разных языках программирования: C++ либо Python. Помимо этого, существует обширная библиотека ROS пакетов, представляющих собой драйвера под самые разные устройства.

Заключение

В данной статье была описана разработка VR-системы, предназначенной для дистанционного управления гусеничным роботом через интуитивно понятный интерфейс, активно использующий технологии и устройства виртуальной реальности.

Эта работа может применяться для удаленного управления, удаленного производства, развлечений, образования и обучения. Важно учитывать динамические характеристики мобильного робота, которые могут быть причиной неожиданного поведения робота при переключении между режимами управления. Например, мобильный робот нельзя остановить в тот же момент, так как переключение происходит по инерции.

Список литературы:

1. Sheridan. Thomas B. Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press Cambridge, USA, Reading, MA, 1992.
2. EJP. Earon, et al., “Development of a multiagent robotic system with application to space exploration”, Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings. 2001 IEEE/ASME International Conference on, 2001, vol 2, pp. 1267-1272.
3. LTC. Blitch, et al., “Semi-autonomous tactical robots for urban operations”, in Proceedings of the 1998 IEEE international symposium on intelligent systems and semiotics (ISAS), 1998, pp. 783-794.
4. IL. Ermolov, et al., “Internet control of mobile robots for pipe inspection/repair”, in Proceedings of the 4th international workshop on computer science and information technologies, Sep 2002, pp. 18-20.
5. T. Fong, C. Thorpe, “Vehicle teleoperation interfaces”, Autonomous robots, vol. 11, no. 1, pp. 9-18, 2001.
6. D. Carrier, W. David, “Soviet rover systems”, in Proceedings of the AIAA Space Programs and Technologies Conference, Huntsville, AL, USA, 1992.
7. D. Gage, “UGV history 101: A brief history of Unmanned Ground Vehicle (UGV) development efforts”, Unmanned Systems Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 9-16, 1995.
8. W. Whittaker and L. Champeny, “Conception and development of two mobile teleoperated systems for TMI-2”, in Proceedings of the International Meeting and Topical Meeting TMI-2 Accident,American Nuclear Society, 1988.
9. D. Hainsworth, “Mine emergency survey vehicle: Numbat”, in Proceedings of the 25th International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Sep 1993, Pretoria, South Africa, pp. 7-18.
10. T. Blackmon, L. Nguyen, C. Neveu, D. Rasmussen., et al., “Virtual reality mapping system for Chernobyl accident site assessment”, in Proceedings of SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging IV, 1999, San Jose, CA, pp. 338-345.
11. D. Hainsworth, “Teleoperation user interfaces for mining robotics”, Autonomous Robots, vol. 11, no 1, pp. 19-28, 2001.
12. P. Ballou, “Improving pilot dexterity with a telepresent ROV”, in Proceedings of the IEEE Vehicle Teleoperations IJECE Vol. x, No. x, May 2015: 1 – 12 Interfaces Workshop - ICRA , 2001, San Francisco, CA.
13. S. Rahnamaei and S. Sirouspour, “Automatic Viewpoint Planning in Teleoperation of a Mobile Robot”, Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 76, no 3-4, pp. 443-460, 2014.
14. Робот с VR-управлением и силовой обратной связью от Toyota [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://the-robot.ru/produkty/robot-s-vr-upravleniem-i-silovoj-obratnoj-svyazyu-ot-toyota/ (Дата обращения: 15.02.2021 г.).
15. Робот, управляемый через VR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/robotupravlyaemyj_cherez_vrbudet_raskladyvat_tovary_na_polkah (Дата обращения: 15.02.2021 г.).

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТУРА ПО ОБЩЕЖИТИЮ “ТРИЛИСТНИК” НИУ ВШЭ В ФОРМАТЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ПАНОРАМЫ

Д.О. Чуйко, А.А. Кретова,
М.А. Нижегородов, И.А. Мотайленко
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Тур представляет собой веб-приложение, позволяющее осуществлять виртуальную прогулку по общежитию, используя снимки в формате сферической панорамы, и также добавление виртуальных, информационных меток. Данная работа предназначена для дальнейшей возможности создания единой системы туров по всем зданиям НИУ “ВШЭ”.

Введение

В данный момент невозможно представить нашу жизнь без информационных систем, глобальной сети Интернет и прочих цифровых ресурсов, поскольку они очень сильно облегчают жизнь. Это касается и необходимости различных компаний или объектов переходить с печатных ресурсов в цифровые. Многие организации переносят всю свою информацию на сайты в глобальной сети Интернет, чтобы привлечь новых пользователей и упростить им поиск информации об организации.

Разрабатываемый виртуальный тур позволит перевести здания и корпуса Высшей Школы Экономики в цифровой вид. Несмотря на то что на данный момент уже существуют простые фотографии, с помощью которых можно просмотреть различные помещения, они не являются удобными, поскольку не дают полной картины. Предметы на изображениях искажаются, и нельзя определить действительные размеры объектов, а кроме того невозможно охватить помещение полностью (либо это потребует очень большого количества времени). Благодаря современным технологиям была придумана технология создания сферических панорамных фотографий. В отличие от обычных панорам, которые можно сфотографировать на обычный смартфон, сферическая панорама позволяет запечатлеть объекты сверху и снизу. Пользователь при переходе на такой тур виртуально окажется в помещении, как бы находился бы в нём в реальной жизни. Он сможет вращать головой и рассматривать все объекты в помещении. Ещё более удобной функцией является возможность перемещения между такими сферическими фотографиями, так как это создает ощущение передвижения по зданию в реальной жизни.

В данной работе описывается процесс создания такого виртуального тура с интерактивными объектами, рассматривается его удобство для пользователя, а также возможность создания удобной панели администратора, с помощью которой он сможет изменять существующие фотографии, обновлять информационные метки и точки для перехода.

Процесс создания виртуальных туров. Необходимое оборудование и программное обеспечение

Что касается необходимого оборудования, то самым важным для создания сферических фотографий является панорамная камера. Учебной лабораторией было принято решение приобрести одну из ведущих на рынке - Kandao Obsidian R. [1]

Характеристики камеры:

- Максимальное разрешение: 7680×7680;
- Диафрагма: f/2.8;
- ISO: 100 - 3200
- Тип сенсора: 12M CMOS;



Рис.1. Камера Kandao Obsidian R

Данная камера отлично подходит для решения поставленных задач.

В ходе съёмки камера автоматически создаёт 6 широкоугольных фотографий, которые записываются на SD карты. Изображения с карт памяти необходимо вручную склеивать с помощью различных программ. Нами была выбрана фирменная от производителя - Kandao Studio. [2]

Полученные изображения в дальнейшем необходимо обрабатывать: ретушировать, заниматься цветокоррекцией и удалением лишних объектов. Данный процесс является очень трудозатратным и требует много времени, но является одним из самых важных, поскольку именно от фотографий зависят впечатления конечного пользователя, который будет просматривать виртуальный тур здания.

В дальнейшем с помощью специального программного обеспечения панорамная фотография делится на 6 фотографий. Эти 6 фотографий размещаются на гранях виртуального куба, внутри которого оказываемся пользователь после перехода в какую-либо точку виртуального тура.

Переход осуществляется путем размещения специальных меток или областей на координатной плоскости определенной грани куба. После нажатия на эту метку загружается другая сферическая фотография. Путем создания множества таких меток будет реализовано перемещение и виртуальный тур в целом.

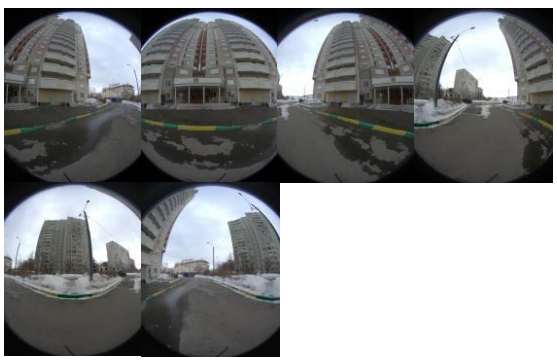


Рис.2. Фотографии полученные при съемке

Веб-приложение, которое основано на фреймворке Django 3.1[3][4], включает в себя сайт с главной страницей, на которой осуществляется переход к туру и авторизация модераторов. Всё это является отдельными модулями, подключенными к проекту, что дает возможность править и добавлять новые модули без особых изменений в готовой части. Модераторы при переходе получают права на обработку и редактирование тура с помощью админ-панели, недоступной обычному пользователю. Данная панель позволяет редактировать систему меток, которые привязываются к координатам фотографии и имеют дополнительную информацию. Это позволит пользователю быстрее находить нужную информацию о чем-либо, найдя на туре стенд или дверь, например, с расписанием. Метки хранятся в базе данных под СУ PostgreSQL 13. Также доступна панель редактирования модераторов, которая позволит разделить их на разные уровни - модераторы и суперпользователи, имеющие возможность удалять и добавлять модераторов.

Сайт состоит из двух страниц. Главная страница содержит основную информацию об общежитии “Трилистник”, а именно структуру здания, количество мест для проживания и его расположение на карте, а также переход на сам панорамный тур по зданию. В правом верхнем углу расположена кнопка “Войти”, при нажатии на которую, пользователь попадает на вторую страницу сайта, где он может авторизоваться как модератор. Для этого достаточно ввести логин и пароль.

Весь проект, как уже было сказано, состоит из отдельных модулей (приложений), например авторизация или панорама. Ниже представлена структурная схема работы приложения и фреймворка.

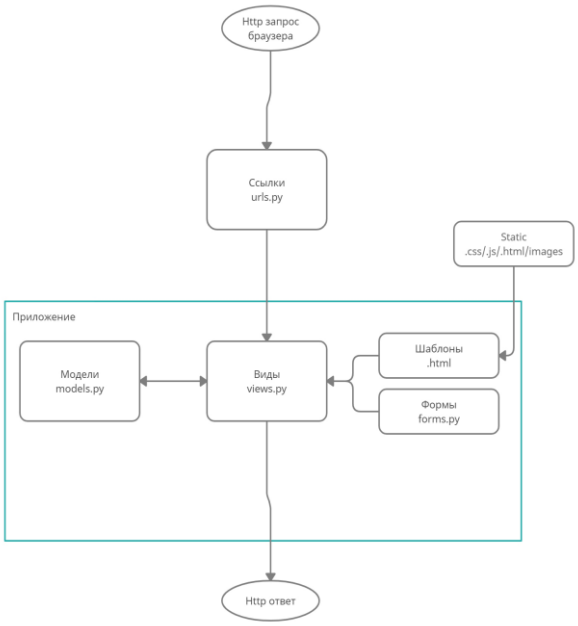


Рис.3. Структура проекта

Браузер посылает http запрос в файл с ссылками, которые определяют раздел на сайте и ссылаются на виды своих приложений. Далее открывается само приложение и его вид, который взаимодействует с моделями, шаблонами и формами, которые определяют внешний вид страницы, причем шаблоны это базовый HTML код с ссылками на папку static, в которой хранятся файлы css, js, картинки и т.д.(вспомогательные файлы). После этого формируется уже готовая страница и приложение выдает http ответ. [5]

Увеличение функционала виртуального тура

В будущем возможно будет добавить возможность изменять качество фотографий в зависимости от устойчивости Интернет - соединения. При плохой связи автоматически будет выводиться качество картинки ниже, чем она могла бы быть.

Также в планах есть добавление возможности просмотра как летней, так и зимней версии панорамного тура по дворовой территории общежития.

Заключение

Таким образом, наш проект поможет абитуриентам, которые хотят поступать в НИУ ВШЭ ознакомиться с условиями проживания в общежитиях, что является очень важным фактором выбора вуза для многих. Также, наш проект будет полезен и тем, кто уже учится в НИУ ВШЭ, так как в нем можно будет найти всю нужную информацию структурировано в одном месте, например, номер телефона дежурной или график работы спортивного зала при помощи меток, которые смогут вносить и изменять администраторы тура.

Список литературы:

1. https://www.kandaovr.com/obsidian-s-r/ - официальный сайт производителя камеры Kandao Obsidian R
2. https://www.kandaovr.com/studio/ - официальный сайт программы для склеивания фотографий Kandao Studio
3. https://www.djangoproject.com/ - официальный сайт фреймворка django
4. Aidas Bendoraitis, Jake Kronika. Django 3 Web Development Cookbook Fourth Edition
5. https://django.fun/tips/struktura-shablonov-v-django/ - описание структуры шаблонов в фреймворке Django

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ В СОСТАВЕ IOT-ПЛАТФОРМ

О.В. Горшков, А.В. Кычкин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», кафедра информационных технологий в бизнесе, факультет экономики, менеджмента и бизнес-информатики

Аннотация

Рассматриваются универсальные методы прогнозирования (методы «черного ящика») на основе базовой линии, линейной регрессии, нейронной сети, авторегрессии, тройного экспоненциального сглаживания (модель Хольта-Винтерса), авторегрессионной модели с поддержкой сезонности (SARIMA), а также методы на основе ансамблевых моделей. Предложена схема интеграции расчетно-аналитических моделей с IoT платформами InfluxData и EMS INSYTE. Приводятся результаты экспериментальных исследований работоспособности пользовательских аналитик в составе IoT платформ при реализации сценариев управления проветриванием в предиктивном режиме на сутки вперед.

Введение

Режим работы любой энергосистемы отличается неравномерностью спроса на электрическую энергию и мощность. Для сглаживания пиков потребления производится повышение стоимости в определенные часы. Такая стимуляция приводит к необходимости точно прогнозировать и затем реализовывать снижение своего энергопотребления в часы электрической и сетевой мощности, а также в часы, задаваемые Системным оператором Единой

энергетической системы ходе реализации событий управления спросом на электроэнергию. Такие процессы управления энергопотреблением реализуются специальными системами класса *EMS* [1].

Технологическая база *EMS* подразумевает вовлечение платформ на базе стека протоколов Интернета вещей (*IoT*), [2]. В этом случае объединение одиночных источников данных, к которым также относятся технологические установки и оборудование, в единую *IoT* экосистему приводит к формированию более четкой структуры потребления электрической энергии с возможностью менять суммарную нагрузку в течение дня. Практическое создание эффективных *EMS* приложений на базе *IoT* платформ в каждом конкретном случае предусматривает использование различных предиктивных моделей, поскольку часто встроенные методы не обеспечивают требуемой точности прогноза. Таким образом, актуальной становится задача исследования работоспособности различных пользовательских предиктивных моделей в составе *IoT* платформ.

Аналитический обзор методов, применимых для краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки на сутки вперед. Прогнозирование технических метрик в настоящий момент изучается довольно активно. Так, например, известны работы, в которых задача решается с применением ограниченного набора методов. В работе [3] авторы предлагают реализацию с использованием регрессии.

Стоит отметить, что нейронные сети показывают высокую эффективность при прогнозировании потребления электроэнергии на региональном уровне [4], что особенно важно для оценки часа региона (часа совмещенного максимума).

Известна интеллектуальная система прогнозирования объемов энергопотребления и цен на оптовом рынке электроэнергии, использующая несколько алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных [5].

Для прогнозирования выработки и потребления электроэнергии могут применяться и классические инструменты классификации и регрессии. Один из таких вариантов приведен в работе [3], где рассмотрен алгоритм поиска и описания зависимостей между данными о потреблении электроэнергии.

В исследовании [6] отмечено, что в случае суточного прогнозирования наиболее точным методом является *Huber Regressor*, а в случае недельного прогнозирования – модель Хольта-Винтерса.

С учетом приведенного аналитического обзора можно сделать вывод, что довольно сложно выделить какой-то один или несколько определенных методов прогнозирования, которые будут эффективны в конкретном случае. Это обусловлено тем, что характеры нагрузок сильно отличаются друг от друга, часто влияние оказывает сезонность, работа персонала и оборудования. Огромное значение имеют сами параметры временного ряда, в том числе количество измерений, разбросы и общая динамика изменений прогнозируемой величины, различные неявные зависимости и другие факторы.

Интеграция предиктивных моделей с *IoT* платформами *InfluxData* и *EMS INSYTE*.

Реализация алгоритмов на основе базовых линий (N_same_day для усреднения по дням недели, N_days для усреднения последовательно идущих дней) не требует библиотек машинного обучения. При разработке использовались лишь методы библиотек *Pandas*, *Numpy* и *Datetime* для упрощения работы с данными.

Для того чтобы рассчитать прогноз с помощью модели регрессии необходимо воспользоваться библиотеками *numpy*, *pandas* и *sklearn*. Для реализации моделей, основанных на нейронных сетях, используются библиотеки *pandas*, *numpy*, *sklearn* и *tesorflow*. Для реализации авторегрессионнных моделей целесообразно применять библиотеки *Pandas*, *Numpy* и *Statsmodels*. В данной работе для реализации модели Хольта-Винтерса (HW) использованы библиотеки *Sklearn*, *Pandas*, *Numpy* и *Time Series*. Особенность реализации метода заключается в том, что коэффициенты модели подбираются автоматически. Для реализации SARIMA используются библиотеки *Pandas* и *Statsmodels*. Для реализации ансамблевой модели в данном случае было предложено скомбинировать модели на основе базовой линии и авторегрессионную модель с равными весовыми коэффициентами.

При интеграции рассмотрена архитектура *IoT* платформы *InfluxData*, в основе которой находится кластеризируемая база данных временных рядов *InfluxDB*, [7]. Для сбора данных в составе платформы имеется специальный блок – *Telegraf*, который также связан с блоком для потокового анализа данных – *Kapacitor*, реализующим возможности детекции аномалий и машинного обучения. Для визуализации используется блок *Chronograf*. Архитектура достаточно универсальная и позволяет быстро создавать аналитические *EMS* сервисы, кроме сервисов управления.

Рассмотрена архитектура *EMS INSYTE*. В основе платформы располагается ядро, реализованное на языке программирования *JAVA*, которое непосредственно связано с реляционной базой данных и базой данных временных рядов. К ядру по специализированному интерфейсу подключаются следующие блоки: внешние *IoT* устройства; веб-клиент и мобильные приложения; аналитики; сервисы связи и сбора данных.

Особенностью представленных платформ является наличие базы данных временных рядов *InfluxDB*. Для интеграции предиктивных моделей предлагается ввести в состав платформ отдельный сервер аналитик.

Экспериментальное исследование пользовательских предиктивных аналитик, интегрированных в состав в *IoT* платформ. Для исследования моделей были использованы исторические данные об энергопотреблении системы проветривания крупного здания. Исполнение прогнозных моделей проводилось в конце каждых суток *d*, формируя массив из 96 (для шага 15 минут) значений профиля нагрузки на сутки вперед *d*+1. Как и ожидалось, методы показали разную точность, оценка среднеквадратичной ошибки приведена в таблице 1.

Таблица 1. Среднеквадратичная ошибка прогнозирования энергопотребления для различных моделей

Модель	**Один день 22.10.2016**	**Одна неделя 17.10.2016 – 23.10.2016**	**Один месяц 01.10.2016 – 31.10.2016**	**Пол года 16.10.2016 – 15.04.2017**
N_same_day	153	163	189	128
N_days	153	188	205	120
HW	380	289	284	138
SARIMA	211	141	163	117

SARIMA показала лучший результат. На ее основе были спрогнозированы посуточные профили нагрузок для выбранных рабочих дней, когда требовалось уйти от энергопотребления в часы сетевой и электрической мощности. На рисунках 1 и 2 показаны результаты имитационного моделирования сценария отключения проветривания в рамках работы предприятия по 3 и 4 ценовым категориям (ЦК).

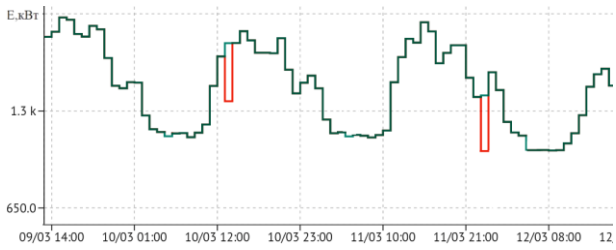


Рис.1. Результаты прогнозирования отключения проветривания в час сетевой мощности в рамках работы предприятия по 3 ценовой категории

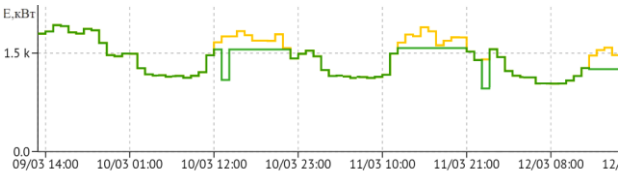


Рис.2. Результаты прогнозирования отключения проветривания в часы сетевой и электрической мощности в рамках работы предприятия по 4 ценовой категории

Заключение

Имея сформированный прогноз нагрузки с отображением результата участия в сценариях управления энергопотреблением, компания может корректировать график работы персонала или оборудования, заранее определять экономический эффект от реализации снижения мощности, заранее обеспечивать безопасные условия отключений, планировать использование накопителей энергии.

Представленные результаты экспериментальных исследований позволяют создавать и исполнять такие прогнозные техники, которые будут показывать более высокую точность для конкретного объекта или в определенных условиях, включая внешние факторы и имеющиеся вычислительные мощности.

Представленная система управления энергопотреблением является частью киберфизической системы и востребована в интеллектуальных зданиях и на промышленных предприятиях, так как реализует предиктивное управление мощностью, [8]. Решение может быть использовано при управлении проветриванием подземных горнодобывающих предприятиях, а также при оценке возможности участия в событиях управления спросом на электроэнергию.

Список литературы:

1. Faizrakhmanov R.A., Frank T., Kychkin A.V., Fedorov A.B. Sustainable energy consumption control using the MYJEVIS energy management data system // Russian Electrical Engineering. No. 82 (11). pp. 607-611. 2011.

2. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // Future generation computer systems. – 2013. – Vol. 29. – №. 7. – pp. 1645-1660.

3. Кычкин А.В., Микрюков Г. П. Метод обработки результатов мониторинга группы энергопотребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. № 6. С. 9-14.

4. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. Программный комплекс моделирования и прогнозирования системы временных рядов // Вестник ульяновского государственного технического университета 2013. №2. С.24-27

5. Каракулов И.В., Клюев А.В., Столбов В.Ю. Прогнозирование технического состояния электроцентробежного насоса на основе нейросетевого моделирования // Вестник южно-уральского государственного университета. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника 2020 №4 С. 37-46

6. Беглов Р.Р., Воронов К.Н., Гнатюк Б.А. Нейросетевая система почасового прогнозирования потребления электроэнергии "На сутки вперед", инвариантная к графикам нагрузки // Сборник статей Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне: в 2 томах. под ред. М.А. Щербакова. 2015, С. 8-10

7. Кычкин А.В., Дерябин А.И., Викентьева О.Л., Шестакова Л.В. Архитектура сетевого управляющего комплекса здания на базе IoT-устройств // Датчики и системы. 2018. № 5 (225). С. 32-38.

8. Викентьева О.Л., Дерябин А.И., Шестакова Л.В., Кычкин А.В. Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10 (109). С. 1191-1201.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Д. Марквирер[1,2], А.В. Кычкин[1], А.И. Дерябин[1]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», кафедра информационных технологий в бизнесе, факультет экономики, менеджмента и бизнес-информатики;
[2]Пермский Национальный исследовательский Политехнический университет, кафедра строительного инжиниринга и материаловедения строительный факультет

Аннотация

Цифровизация энергоменеджмента на промышленных предприятиях предполагает внедрение технологий оптимизации потребления ресурсов в режиме на сутки вперед. В работе рассматривается метод динамической оптимизации энергопотребления, который разрабатывается в рамках проекта «Разработка промышленного интеллекта для повышения эффективности управления проветриванием горнодобывающего предприятия», выполняемого при поддержке гранта СТАРТ «Цифровые технологии». Проект предусматривает построение оптимальной траектории управления энергопотреблением с целью минимизации затрат на энергоресурсы при заданных ограничениях по параметрам безопасности ведения работ и требуемого объема выпуска продукции.

Введение

Процессы проветривания зданий и промышленных сооружений строго регламентируются правилами и законами, при этом объем подачи воздуха, как правило, задается сотрудниками вручную. Это приводит к необоснованным затратам ресурсов, что влияет в свою очередь на себестоимость производимых продуктов и услуг. В виду того, что все механизмы, обеспечивающие безопасность труда и жизни людей на предприятиях, также управляются вручную, имеется потенциал для снижения энергопотребления. Это возможно, потому что ручное управление может быть подвержено человеческому фактору. Рассматривая систему проветривания промышленного здания (вентиляцию), оператор может принудительно повысить объемный расход воздуха на величину большую, чем нужно по показаниям определённых датчиков (например, влажности воздуха, температуры, загазованности и другие), тем самым

энергии, необходимой для закачки свежего воздуха требуется больше теоретически обоснованного уровня, и наоборот. В свою очередь, объемный расход воздуха, его распределение внутри здания, уровень открытия изолирующих устройств и воздушных дверей зависит не только от внутренних показателей датчиков загазованности и пыли, но и от внешних факторов, а также от характеристик самого воздуха, его температуры, плотности и влажности.

Целью работы является построение оптимального плана энергопотребления на сутки вперёд. В качестве исходных данных необходимо рассматривать:

а) прогнозные данные о потреблении энергоресурсов, полученные на основе снятых показаний об энергопотреблении в прошлом;

б) цены на электроэнергию в динамике.

При заданной дискретности в 60 минут (24 точки измерения) поставленную задачу предлагается решить с помощью метода динамического программирования (ДП).

В работе представлен анализ метода динамического программирования и постановка задачи оптимизации энергопотребления.

Метод динамического программирования

Зачастую управление промышленными механизмами на предприятиях основано на правилах («если…, то…»), то есть при определённом состоянии факторов, влияющих на выбор того или иного действия оператора, выбирается определённая стратегия. Данный подход является точным и достоверным, но при возрастании количества переменных, от которых зависит выбор действия, скорость получения ответа снижается экспоненциально. Иногда бывает сложно дать правильный ответ на определённую ситуацию, так как зависимость нескольких факторов может быть многозначной, также не все зависимости могут быть описаны в правилах, поэтому операторы иногда принимают решение наиболее простое и нетрудозатратное, которое не является оптимальным.

Для повышения эффективности и оптимальности принятия решений используют метод динамического программирования (ДП). В статье [1] метод динамического программирования относят к традиционным методам оптимизации принятия решения математического итеративного поиска, наряду с линейным и нелинейным программированием. ***Эффективность*** – некоторое числовое представление, характеризующее полученную выгоду принятия решения по оптимальному методу от прогнозных или среднестатистических значений. Оптимальность определяется *принципом оптимальности Беллмана*:

Оптимальное поведение обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения [2, 3].

Таким образом, оптимальность – это набор наилучших действий, приводящих к наилучшему решению задачи.

Суть динамического программирования заключается в разбиении сложной задачи на маленькие подзадачи, связанные между собой. Причём пошаговое решение всех подзадач, начиная с известных начальных значений, приводит к нахождению общего оптимума [4-6]. Задачи принято решать «с конца», но возможен вариант прямого прохода по шагам «с начала» [7].

Общие ограничения для метода динамического программирования:

- задача решается в конечном временном горизонте;
- задача решается в динамической дискретной по времени системе;
- стоимость решения накапливается с течением времени;

Цель динамического программирования – минимизация стоимости решений по всем шагам. Стоимостью может являться как денежным эквивалентом суммы затрат на всех шагах, общим временем, затраченным на переход из одного состояния в другое, так и общим расстоянием, преодолённым при решении задачи.

В общем виде функция, описывающая ожидаемое значение стоимости системы представлена ниже:

$$E_{opt} = min\{g_N(x_N) + min(\sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k))\}, \quad (1)$$

где k – момент времени, x_k – состояние системы в момент времени k (это состояние влияет на другие), u_k – решение, которое будет выбрано в момент времени k (управление, имеет ограничения на значения, которые определяются задачей), w_k – случайный шум, зависит от контекста, N – размерность системы (количество дискретных состояний), g_k – накопленная стоимость k-го шага, g_N – стоимость последнего шага.

Постановка задачи оптимизации энергопотребления

Для постановки задачи необходимо выделить основные элементы и ограничения [8]. Нагрузка в задаче – это система проветривания здания (вентиляция). Для систем проветривания используют накопитель энергии, чтобы обеспечить безотказную работу вентиляции в аварийной ситуации. Необходимо обеспечить оптимальный расход энергии, управляя накопителем вентиляции, зная цену на электроэнергию и параметры окружающей среды.

Проецируя общий метод динамического программирования на поставленную задачу оптимизации энергопотребления на промышленном предприятии, получаем следующие понятия. ***Оптимальное энергопотребление*** – это безопасный и менее затратный режим работы вентиляционного оборудования в течение суток, которое обеспечит достаточные условия для дыхания работников на производстве. При этом ***эффективность*** выражается в численном сокращении энергопотребления из накопителя системы вентиляции предприятия.

Для формализации задачи необходимо составить профиль нагрузки системы на сутки вперёд, то есть 24 часа (24 точки) – прогноз. Цены на электроэнергию могут меняться в течение суток от пиковых значений в периоды интенсивной работы до минимальных значений в период простоя и малого спроса.

Необходимо понимать, что имеется минимальное значение нагрузки, которое будет постоянным, а есть переменные события, при которых нужно дать либо больше энергии системе или, наоборот, уменьшить потребление. Таким образом видим, что система находится в динамике и она должна постоянно подстраивать потребление энергии под заданный оптимальный ожидаемый график.

На каждый день должна строится своя оптимальная траектория потребления при этом нужно также помнить, что необходимо поддерживать общую оптимальность на более длительные периоды: неделя / месяц / год, то есть учитывать фактическое потребление в день в выдаче прогноза на следующий день. Получается, что, зная историю потребления и прогноз на день вперёд, можно контролировать общую оптимальность энергопотребления. При этом нельзя допускать сильного занижения относительно профиля потребления и завышения, так как это отобразится на будущем профиле.

Получается, что для данной задачи N = 24 (часа), k = {0, …, 23} – каждый час в сутках, x_k – цена электроэнергии в момент времени k, u_k – управление накопителем энергии в момент времени k, w_k – непредвиденные затраты

(могут отсутствовать), g_k – накопленные затраты на энергию в момент времени k, g_N – стоимость затрат на сутки. Управление имеет ограничения, которые описаны ниже.

$$\begin{cases} u_k > 0 \\ u_k \le critic\_value \\ \frac{total\_vol}{\mathrm{N}} * \alpha \le \mathrm{critic_{value}} \le \frac{total\_vol}{\mathrm{N}} * 2\alpha \end{cases}, \quad (2)$$

где critic_value – параметр максимального предаварийного потребления, total_value – ёмкость накопителя энергии, α – доля накопителя, которую можно минимально потребить за один час (значение зависит от того, сколько времени выделяется на устранение аварийных ситуаций), 2α – максимально возможная доля потребления энергии в час.

На рис. 1 представлен график различных траекторий потребления электроэнергии в системе вентиляции за сутки. Оптимальная стратегия выделена чёрной сплошной линией, она показывает профиль потребления энергии в течение суток. Две других стратегии (траектории) отражают чрезмерное потребление.

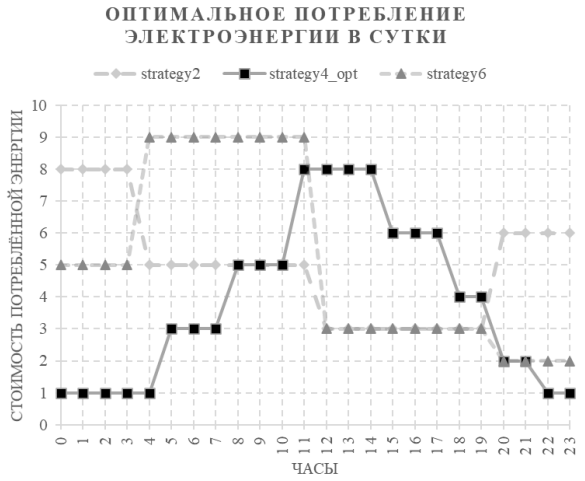


Рис.1. Выбор оптимальной траектории

Заключение

В работе представлен краткий обзор особенностей динамического программирования, спроецированный на задачу оптимизации энергопотребления промышленного предприятия. Также дана постановка задачи получения стратегии оптимального энергопотребления, которую далее планируется решить, написав программу [9], вычисляющую оптимальный график энергопотребления в зависимости от цены электроэнергии и внешних условий. Далее также планируется изучить метод аппроксимированного динамического программирования, позволяющего значительно улучшить показатели времени реакции на возникающее событие, как, например, в логистической задаче о распределении инженеров обслуживания к поломкам [10, 11]. Также интересно будет рассмотреть связку динамического программирования с обучением с подкреплением, которое включает в себя поощрения за правильно выбранную стратегию и позволяет увеличить эффективность и экономию ресурсов [12].

Данный метод оптимизации энергопотребления можно предложить к реализации и внедрению на модули обработки управляющих сигналов системы управления зданием с IoT датчиками [13-15], с дальнейшим переходом системы в производственные комплексы.

Список литературы:

1. Sap, Anny. «Searching for Policies in Python: An intro to Optimization» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://annisap.medium.com/ searching-for-optimal-policies-in-python-an-intro-to-optimization-7182d6fe4dba, свободный - Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2021).
2. Гольдштейн А. Л. Теория принятия решений. Задачи и методы исследования операций и принятия решений : учебное пособие для вузов / А. Л. Гольдштейн. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009.
3. Беллман, Р. Динамическое программирование / Dynamic Programming / Р. Беллман ; пер. с англ. И.М. Андреевой, А.А. Корбут, И.В. Романовского, И.Н. Соколовой и др. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с. : ил. – Режим доступа: https://booksee.org/book/496344 (дата обращения: 20.02.2021).
4. J. Zhang, L. Chu, C. Guo, Z. Fu and D. Zhao, "A Novel Energy Management Strategy Design Methodology of a PHEV Based on Data-Driven Approach and Online Signal Analysis," in IEEE Access, vol. 9, pp. 6018-6032, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048783.
5. Динамическое программирование VS «Разделяй и властвуй» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://proglib.io/p/dp-vs-dc/, свободный - Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2021).
6. Dynamic Programming [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.geeksforgeeks.org/dynamic-programming/, свободный - Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2021).
7. Динамическое программирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Динамическое_программирование, свободный - Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2021).
8. Лежнёв А. В. Динамическое программирование в экономических задачах : учебное пособие / А. В. Лежнёв. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 176 с. : ил.
9. Динамическое программирование для начинающих [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tproger.ru/articles/dynprog-starters/, свободный - Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2021).
10. Pechina, A., Usanov, D., van de Ven, P., & van der Mei, R. (2019). Real-time Dispatching and Relocation of Emergency Service Engineers. arXiv preprint arXiv:1910.01427.
11. Mes, Martijn & Rivera, Arturo. (2017). Approximate Dynamic Programming by Practical Examples. 10.1007/978-3-319-47766-4_3.
12. Busoniu, Lucian & De Schutter, Bart & Babuska, Robert. (2010). Approximate Dynamic Programming and Reinforcement Learning. Doi: 10.1007/978-3-642-11688-9_1.
13. Кычкин А.В., Дерябин А.И., Викентьева О.Л., Шестакова Л.В. Архитектура сетевого управляющего комплекса здания на базе IoT-устройств // Датчики и системы. 2018. № 5 (225). С. 32-38.
14. Кычкин А.В., Артемов С.А., Белоногов А.В. Распределенная система энергомониторинга реального времени на основе технологии IoT // Датчики и системы. 2017. № 8-9 (217). С. 49-55.
15. Викентьева О.Л., Дерябин А.И., Шестакова Л.В., Кычкин А.В. Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10 (109). С. 1191-1201.

ВЕБ СЕРВИС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМ КОНТЕНТОМ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ ЗДАНИЙ

П.И. Самойленко, Р.А. Вольнова, А.В. Немашкало, А.С. Степченко, И.М. Калиманов, М.М. Ткаченко, Т.И. Хусаенов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается система управления цифровым контентом дополненной реальности в цифровых двойниках зданий, реализованная на основе веб-технологий.

Введение

Разработанное мобильное приложение для навигации в зданиях ВШЭ в дополненной реальности позволяет определять позицию смартфона с точностью до 1 метра и демонстрировать цифровой 3D-контент в дополненной реальности. Однако, на уровне пользователя мобильного устройства добавлять, удалять контент и управлять им нецелесообразно, поэтому существует необходимость в административном сервисе, реализующем этот функционал.

С помощью рассмотренной в работе административной панели пользователь сможет загружать 3D-контент для последующего расположения его в здании, управлять созданными зданиями и этажами. Наш встроенный редактор позволяет пользователю редактировать 3D-сцену, импортировать новые объекты, загружать 3D-модели зданий, полученных из чертежа.

Внедрение данного веб-сервиса позволяет людям создавать цифровые двойники зданий, импортировать любой необходимый контент и получать его в дополненной реальности. Программный комплекс в виде приложения для AR-навигации и разработанной нами веб-платформы позволит использовать мобильные приложения для AR-навигации для демонстрации контекстно-зависимого 3D-контента в дополненной реальности.

Целью нашего проекта является разработка веб-платформы, с помощью которой пользователь сможет управлять цифровым двойников здания, а также добавлять и редактировать любой нужный контент, преобразуя его в объект в дополненной реальности. Веб-платформа включает в себя панель администратора, позволяющую создавать и редактировать WebAR страницы. Данные технологии позволяют строить маршруты из положения пользователя до заданной им области карты. В данной работе будет рассмотрена архитектура платформы, включающая в себя задачи, находящиеся в ведении у проекта, реализующего мобильное приложение для indoor-навигации, а также административная панель, позволяющая пользователю создавать AR-контент для любого местоположения, управлять созданными зданиями, этажами, WebAR страницами.

RESTFUL API архитектура

Наша распределенная платформа отвечает архитектурному стилю REST API [1], соблюдая все ограничительные условия. Например: наша архитектура приведена к модели клиент-сервер по принципу разграничения потребностей.

Разделение потребности интерфейса клиента и потребностей сервера, который хранит данные, позволяет повысить переносимость кода клиентского интерфейса на любые другие платформы, а упрощение серверной части улучшает масштабируемость. Также в период между запросами информация о клиенте не хранится на сервере. Данное условие называется отсутствием состояния. Следовательно, за счет отсутствия необходимости сохранения информации о состоянии клиента, которая может быть утеряна, увеличивается надежность платформы. Ответы сервера могут кэшироваться клиентами. За счет того, что ответы сервера отвечают требованиям кэшируемости и имеют обозначение, возможность получения клиентом неактуальных или неверных данных в ответ на последующие запросы пропадает. Такое использование кэширования способно в разы повысить производительность системы. Соблюдение данных условий обеспечивает нашей платформе надежность, масштабируемость, способность к изменениям, приспособлению к новым требованиям и высокую производительность.

Таким образом, создание единого API для административной панели, WebAR страницы, мобильного приложения-сканера облака точек и интеграций с другими клиентами мобильного AR делают архитектуру более гибкой.

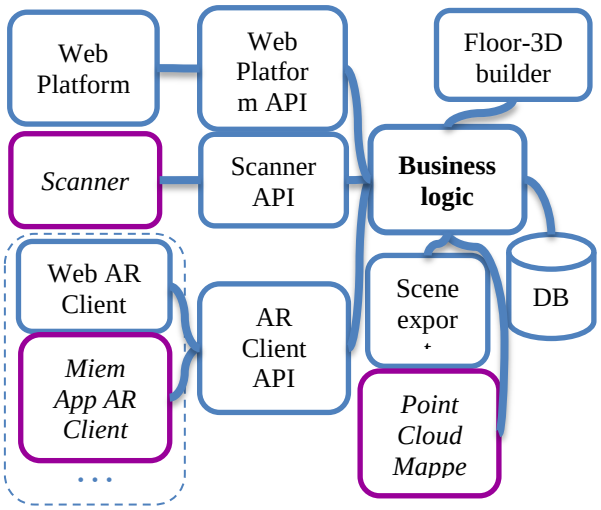


Рис.1. RESTful архитектура

Процесс создания 3D контента в дополненной реальности

Для того, чтобы создать 3D-контент в дополненной реальности, пользователь должен зарегистрироваться на веб-платформе и скачать приложение-сканер. После успешной авторизации пользователя в системе, ему предстоит отсканировать свое здание с помощью сканера и получить облако точек. Следующий шаг — это создание здания и его этажей. Для создания этажа, пользователю нужно будет загрузить чертеж этажа и отсканированное облако точек на платформу. При создании этажа автоматически создается 3D-сцена, которую можно будет потом изменять в редакторе. Для удобного размещения 3D-контента в редактор импортируется 3D-модель этажа, сгенерированная по чертежу. Для того, чтобы увидеть 3D-контент в дополненной реальности, пользователю достаточно зайти на WebAR страницу и ввести код своего здания. Затем с помощью системы визуального позиционирования приложение определяет местоположение пользователя относительно здания и загружает 3D-контент согласно модели в редакторе. Аналогичные шаги следует проделать администраторам приложения МИЭМ, чтобы наполнить его контентом.

Стек технологий

Для хранения данных, которые не имеют большой вложенности и содержат простые связи (например, таких как информация об этажах, пользователях, зданиях), мы используем систему управления базой данных PostgreSQL [2]. Данные о 3D-сценах хранятся в базе данных с откры-

тым исходным кодом MongoDB [3], которая не требует описания схемы таблиц: данные в ней хранятся в виде документов и коллекций с поддержкой различной структуры. Главное — чтобы данные хранились в формате JSON. MongoDB обеспечивает более быстрый доступ к данным благодаря тому, что для хранения данных используется внутренняя память [4]. Серверная часть написана на ASP.NET Core 3 [5] с использованием таких фреймворков, как Entity Framework Core, ASP.NET Core Identity и MongoDB Driver. Entity Framework Core реализует взаимодействие с реляционными базами данных. MongoDB Driver реализует взаимодействие с нереляционной базой данных MongoDB. Документация к API автоматически формируется с помощью Swagger [6].

Клиент веб-платформы написан на Vue.js [7]. Данный компонентно-ориентированный фреймворк упрощает разработку фронтенда, благодаря разделению всего приложения на компоненты.

Для создания встроенного редактора мы используем кросс-браузерную библиотеку для JavaScript — Three.js [8]. Она используется для создания анимированной компьютерной 3D-графики при разработке веб-приложений. Она позволяет использовать встроенные функции, а не писать их с нуля.

Для конвертации 3D-файлов реализован микросервис, написанный на Node.js [9]. Для создания простого API используется Express.js, а для преобразования форматов 3D-файлов — библиотека Three.js

Административная панель и редактор

Панель администратора предоставляет нескольким пользователям (команде) функционал создания и редактирования WebAR страниц. Она же содержит редактор, позволяет пользователям редактировать 3D-сцену, импортировать новые объекты, загружать 3D-модели зданий, полученных из чертежей.

В административной панели пользователь (админ) может просматривать все здания, получать список всех этажей и облаков точек. Здесь же производится управление WebAR страницей: ограничение доступа пользователей и просмотр статистики посещения. Также при переходе в редактор пользователь может менять и редактировать этажи. Кроме того, пользователи могут объединяться в команды для редактирования одного здания вместе.

Результаты

На данный момент уже разработан дизайн веб-платформы, 3D-редактора (рис.2) и часть API: регистрация; функционал создания, просмотра и редактирования для этажей и зданий; возможность модификации и добавления элементов в 3D-сцену в редакторе Three.js; хранение данных в базах данных MongoDB и SQLite; инициализация 3D-сцены в браузере.

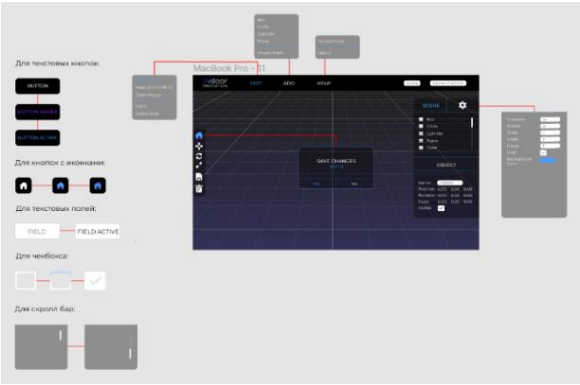


Рис.2. Интерфейс 3D-редактора

Заключение

Таким образом, данная веб-платформа представляет собой готовый к использованию сервис. Его могут внедрять в свою деятельность коммерческие и некоммерческие организации, чтобы позволить людям проще ориентироваться внутри зданий со сложной структурой. Кроме того, существует возможность монетизации посредством размещения рекламного 3D-контента для пользователей.

Список литературы:

1. Sanjay Patni. Pro RESTful APIs: Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS (2017)
2. Документация PostgreSQL 13.2 [Электронный ресурс]: https://www.postgresql.org/docs/13/index.html
3. Документация MongoDB 4.4 [Электронный ресурс]: https://docs.mongodb.com/manual/
4. Кайл Бэнкер. MongoDB в действии(2017)
5. Документация ASP.NET Core 3 [Электронный ресурс]: https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/?view=aspnetcore-3.0
6. Спецификация Swagger OpenAPI [Электронный ресурс]: https://swagger.io/specification/
7. Документация Vue.js [Электронный ресурс]: https://v3.vuejs.org/api/
8. Документация Three.js [Электронный ресурс]. URL: https://documentation.help/three.js-ru/documentation.pdf (дата обращения: 17.04.2020)
9. Документация Node.js [Электронный ресурс]: https://nodejs.org/docs/latest-v13.x/api/

СИСТЕМА УДАЛЕННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ПОДДЕРЖКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕШАННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д.В. Поздняков, А.А. Евсиков,
Д.Э. Смирнова, А.В. Толмачева
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается система двусторонней аудио-видеосвязи на основе технологий передачи информации в реальном времени и технологий смешанной реальности.

Введение

Рассматриваемая система обеспечивает связь между двумя пользователями. Один из них выступает в роли *клиента* и транслирует изображение от первого лица с очков смешанной реальности. Другой выступает в роли *эксперта* и транслирует видео с любого используемого им устройства. В отличие от *клиента*, *эксперт* может передавать документы и медиафайлы.

Такая функциональность позволяет системе обеспечить оперативную связь, которая может быть использована для консультации полевых сотрудников удаленным экспертом. Использование носимого устройства смешанной реальности позволяет освободить обе руки клиенту и получать информацию прямо во время выполнения работ, что повышает концентрацию, уменьшает количество ошибок и увеличивает общую скорость выполнения работ [9].

Общая схема системы:

Система состоит из трёх частей (см. рис. 1):

- клиентское ПО для платформы Microsoft Hololens;
- клиентское ПО для ПК;

- серверное ПО;

Осуществляется сбор заявок с ПО на Microsoft Hololens, на серверной части собирается очередь и выдается на клиентскую часть для PC – для эксперта. После выбора осуществляется соединение клиента и эксперта.

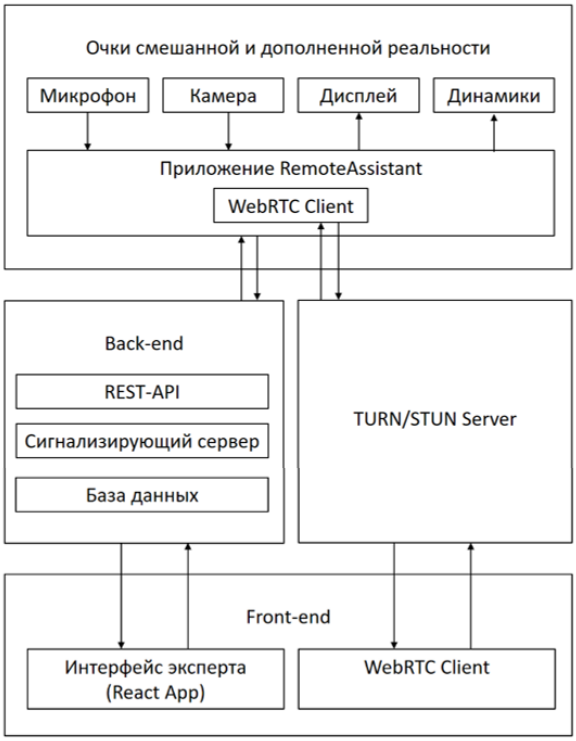


Рис.1. Структурная схема программного комплекса

Клиентское ПО для Microsoft Hololens

ПО позволяет полевому сотруднику создавать запросы удаленным экспертам и связываться с удаленным экспертом, принявшим заявку. Реализовано на языке C# с использованием WebRTC и движка Unity. Весь медиаконтент, приходящий от *эксперта* (файлы, видеопоток), размещается на голографических виртуальных экранах в пространстве вокруг *клиента*. Клиент может перемещать экраны по своему усмотрению и менять их размер. У экранов есть переключаемый режим следования за *клиентом*, в котором они автоматически располагаются на некотором расстоянии от головы *клиента* и всегда находятся в поле его зрения (рис. 2).



Рис.2. Интерфейс клиента во время сеанса связи

Клиентское ПО для ПК

Программа позволяет удаленному *эксперту* просматривать список активных заявок и связываться с *клиентом* для консультирования в режиме он-лайн.

На экран выводится большое изображение с камеры *клиента* для обзора предмета консультирования и маленькая камера для вывода изображения с камеры эксперта (см. рис. 3). Планируется добавление блока с очередью запросов, личный кабинет *эксперта* и чат с *экспертом*.

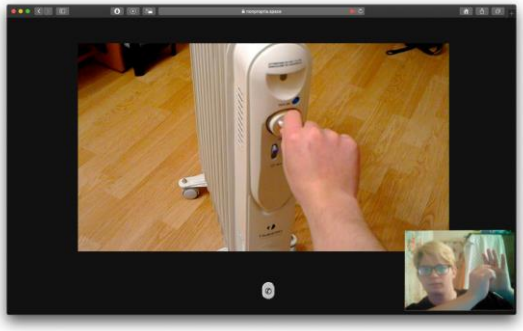


Рис.3. Интерфейс эксперта во время сеанса связи

Серверное ПО

Реализует функцию связующего звена между *клиентом* и *экспертом*, а также базы данных, хранящей всю информацию о произведенных в информационной системе операциях.

Для организации передачи видео и звука используется в серверной части используется Turn- сервер для технологии WebRTC.

Заключение

Рассмотренная система соединяет полевого сотрудника и эксперта, обладающего нужными для выполнения работы компетенциями. При использовании такой связи производство экономит средства, время, здоровье людей и строит более эффективное взаимодействие между сотрудниками.

Программно-аппаратный комплекс решает актуальную задачу производства. Он может быть использован как во время штатных, так и во время критических ситуаций, возникших из-за неожиданной поломки оборудования, требующей оперативного решения.

Описанная система не полностью раскрывает возможности смешанной реальности – так, если эксперт будет использовать устройство смешанной или виртуальной реальности, в перспективе возможно создание связи с использованием цифровых двойников помещения и участников связи.

Список литературы:

1. Randell Jesup, Salvatore Loreto, Michael Tüxen. WebRTC Data Channel Establishment Protocol // 26.01.2021 - 12 p.

2. Документация по библиотеке React [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.reactjs.org

3. Владимир Дронов. Django 2.1. Практика создания веб-сайтов на Python // БХВ-Петербург, 2019

4. Документация по Microsoft Hololens [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dynamics365/mixed-reality/remote-assist/ra-overview

5. Adrian Holovaty. The Definitive Guide to Django: Web Development Done Right // First Edition, 2009

6. Salvatore Loreto. Real-Time Communication with WebRTC // First Edition, 2014

7. Zac Gordon. React Explained: Your Step-by-Step Guide to React // First Edition, 2019

8. Документация по PTC Chalk [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ptc.com/en/products/vuforia/vuforia-chalk

9. Hoover, Melynda, "An evaluation of the Microsoft HoloLens for a manufacturing-guided assembly task" (2018). Graduate Theses and Dissertations. 16378. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lib.dr.iastate.edu/etd/16378

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ НАВИГАЦИИ В ЗДАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

П.И. Самойленко, П.А Граур, Ф.А. Абаполов, Р.И. Заев, Д.В. Поздняков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается разработанное мобильное приложение для пешеходной навигации внутри зданий с использованием технологий дополненной реальности. Использование технологий компьютерного зрения позволит определять позицию мобильного устройства пользователя внутри зданий более точно, чем ее определяют системы на основе GPS/Bluetooth, и уменьшит сложность восприятия навигационных маршрутов за счет указателей в дополненной реальности.

Введение

Люди ежедневно сталкиваются с задачей навигации в городских пространствах как на улицах, так и в зданиях. Во многих помещениях тяжело ориентироваться из-за отсутствия указателей и сложности планировки. Возникает необходимость в проводнике. Задача навигации делится на несколько частей: позиционирование в системе координат, поиск оптимального пути и трекинг – отслеживание позиции агента навигации.

С распространением смартфонов со встроенными GPS датчиками люди начали пользоваться мобильными приложениями-навигаторами вместо традиционных карт. Однако, стены здания негативно влияют на качество GPS сигнала, и точность определения позиции снижается. В некоторых случаях для позиционирования в закрытых помещениях используют сеть Bluetooth-маячков iBeacon. Данный метод работает надежнее, чем GPS, однако сигналы bluetooth также подвержены помехам, которые могут усиливаться от препятствий, в том числе от людей, а увеличивающаяся погрешность позиционирования ухудшает трекинг.

Технологии компьютерного зрения позволяют определять разного рода объекты по их изображению или потоку изображений(object detection). Одной из таких технологий является определение маркеров – уникальных изображений. Имея фиксированное физическое местоположение маркера в здании можно с точностью до 1 метра определять позицию смартфона с помощью изображения камеры.

Современные технологии дополненной реальности, реализованные в таких программных библиотеках, как ARCore[1] и ARKit[2], основаны на алгоритмах SLAM(Simultaneous Localization and Mapping – одновременная локализация и отображение)[3] и VIO(Visual-Inertial Odometry – визуально-инерциальная одометрия). Они позволяют смартфону оценивать и отслеживать свое положение в окружающем пространстве с помощью данных с камеры и инерциально-измерительного модуля IMU(Inertial measurement unit). Подобные алгоритмы отслеживают позицию и перемещение смартфона почти непрерывно. В данной работе эти алгоритмы используются для непрерывного трекинга позиции пользователя. Технологии дополненной реальности также позволяют отрисовывать маршрут в новом, более иммерсивном, чем на карте, формате – в виде указателей в дополненной реальности.

Таким образом, камера и IMU смартфона с технологиями дополненной реальности легли в основу разработанной навигационной системы.

Цель нашей работы: мобильное программное обеспечение для навигации в зданиях с использованием технологий дополненной реальности. В данной работе рассмотрены задачи разработки этого ПО.

Стек технологий

Отправной точкой разработки навигационной системы является выбор системы координат. В приложениях, основанных на GPS/ГЛОНАСС используется геодезическая система координат. Ее выбор обусловлен кривизной земной поверхности. В случае навигации в зданиях целесообразно использовать декартову систему координат. В качестве среды разработки нами была выбрана межплатформенная среда для разработки компьютерных игр Unity[4]. Ее выбор обусловлен наличием визуальной среды разработки, метрической системой, в которой удобно разместить 3D модель здания масштабом 1:1, наличием библиотек для работы с AR(Augmented Reality), мультиплатформенностью и встроенным модулем для поиска путей на плоскостях NavMesh.

Архитектура

Для использования преимуществ объектно-ориентированности и компонентности Unity и разделения зон ответственности команды был выбран паттерн Model-View-Presenter.

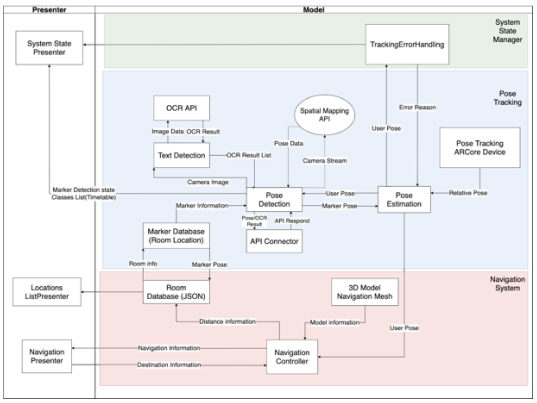


Рис.1. Архитектура MVP

Позиционирование

Изначальное определение позиции смартфона в приложении основано на маркерной технологии. В нашем случае маркерами являются таблички аудиторий в здании МИЭМ НИУ ВШЭ (рис.2).

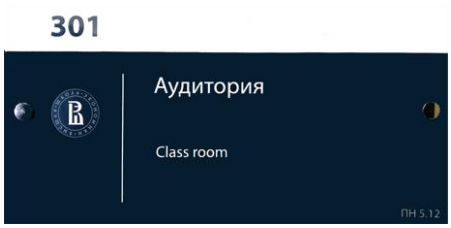


Рис.2. Табличка аудитории МИЭМ НИУ ВШЭ

Обычно, в качестве объектов для распознавания используются уникальные изображения с большим количеством так называемых feature-points – это углы или контрастные точки на изображении. Однако, таблички аудиторий не обладают достаточным количеством feature-points и отличаются только текстом, поэтому в приложении распознавание маркеров реализовано за счет сервиса по опти-

ческому распознаванию символов Google Cloud Vision OCR[5]. Он позволяет определить номер на табличке, с помощью которого в сцене Unity происходит поиск заранее размещенного объекта GameObject соответствующего табличке с таким же номером в сцене Unity. Этот объект имеет компонент Transform, в котором хранятся абсолютные координаты таблички, которые приложение использует для позиционирования.

Трекинг устройства в здании осуществляется за счет SLAM-подобного алгоритма Concurrent Odometry and Mapping, встроенном в библиотеку Google ARCore. Особенность таких алгоритмов состоит в накапливающейся с пройденным расстоянием погрешностью измерений, поэтому в приложении предусмотрена система репозиционирования по изображению камеры, основанная на технологии Spatial Mapping. Каждые 10 метров пройденного пути погрешность трекинга обнуляется за счет повторного позиционирования. На момент публикации мы тестируем Immersal SDK[6] и ARWay SDK[7], но также ведем разработку собственного аналога такой системы.

Навигация

Движок Unity включает в себя набор компонентов для поиска путей на плоскости NavMesh[8]. Он включает в себя NavMeshAgent – агент навигации, который прикрепляется к объекту камеры в сцене, NavMesh – плоскость, являющаяся аналогом графа навигации. Используя методы классов NavMesh, приложение вычисляет пути на NavMesh-плоскости из точки местоположения пользователя в сцене Unity к выбранному пользователем виртуальному GameObject объекту аудитории, абсолютные координаты которого содержатся в компоненте Transform.

Интерфейс

Особенностью интерфейса разработанного приложения является рендеринг указателей в пространстве дополненной реальности. Тестируется несколько методов указания пути: 3D стрелка, указывающая путь, линия маршрута на поверхности пола и виртуальный помощник(рис.3).

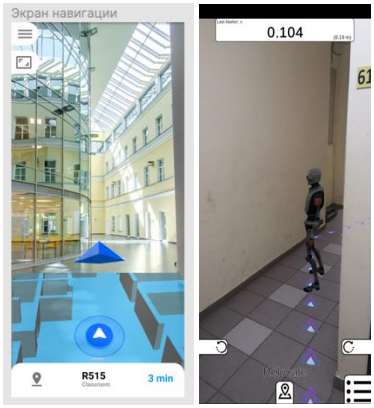


Рис.3. Интерфейс: 3D указатель слева, стрелки на плоскости пола и виртуальный робот-проводник справа

Помимо указателей в AR в приложении реализована более привычная для пользователей навигаторов в 2D-карта с указанием текущего местоположения пользователя на ней.

Также, тестируется разработанный нами отдельный интерфейс для слабовидящих на основе вибромотора смартфона. Частота вибраций увеличивается, когда пользователь поворачивает камеру смартфона в сторону маршрута.

AR и управление контентом

С помощью AR-технологий можно отрисовывать любой 3D контент в дополненной реальности, основанный на позиции смартфона в здании. Для удобства размещения и контроля этого контента нами реализован механизм связи мобильного приложения с веб-платформой с панелью администратора для динамической подгрузки 3D моделей в формате glTF[9] в сцену Unity.

Заключение

Результатом данной работы является полностью функционирующее мобильное приложение для навигации, в основе которого лежат технологии компьютерного зрения и дополненной реальности. Приложение будет использоваться студентами, сотрудниками и посетителями НИУ ВШЭ для навигации в зданиях университета.

Список литературы:

1. Документация Google ARCore для Unity [Электронный ресурс]: https://developers.google.com/ar/reference/unity
2. Apple ARKit [Электронный ресурс]: https://developer.apple.com/augmented-reality/
3. Szeliski R. Computer vision algorithms and applications. 2011, p. 325 http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0.
4. Документация Unity [Электронный ресурс]: https://docs.unity3d.com/ScriptReference/
5. Основные концепты Google ARCore [Электронный ресурс]: https://developers.google.com/ar/discover/concepts
6. Immersal SDK [Электронный ресурс]: https://developers.immersal.com/
7. ARWay SDK [Электронный ресурс]: https://developer.arway.app/
8. Документация Unity NavMesh [Электронный ресурс]: https://docs.unity3d.com/ScriptReference/AI.NavMesh.html
9. Документация glTF [Электронный ресурс]: https://github.com/KhronosGroup/glTF#overview

СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ВИРТУАЛЬНОЙ КАРТЫ

Д.В. Поздняков, П.И. Самойленко, Ф.А. Абаполов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается система определения местоположения пользователя относительно виртуальной карты с использованием регистрации облаков точек.

Введение

Системы навигации в помещении позволяют определять местоположение объектов в закрытых пространствах, таких как, например, здания. Такие системы представляют большой интерес для науки и сферы предпринимательства, так как имеют множество возможностей для применения [1][2][3]. Они могут использоваться для построения маршрутов, определения местоположения людей, предоставления информации, привязанной к определённой локации или помощи людям с ограниченными возможностями [3].

Есть системы навигации (алгоритмы SLAM), которые могут строить карту в локальных координатах для неиз-

вестного пространства, и затем использовать её для определения местоположения относительно неё. Но такие системы редко предоставляют возможность сохранить карту для использования в другой сессии и не могут определить местоположение относительно здания, а не локальной карты.

Рассматриваемая система используется для решения задачи повторного использования карт и организации навигации в помещении – более точного, чем у аналогов, определения изначальных координат пользователя в системе координат здания.

Сравнение с аналогами

Распространённый подход при решении такой задачи – определить некоторую опорную точку, которая станет началом координат и которая будет одинаковой между сессиями.

Существуют решения по определению местоположения пользователя в здании на основе беспроводных сетей. Они могут определять координаты пользователя с точностью от 20 метров до 0.76 метров [4]. Такие решения чувствительны к изменениям в диапазоне Wi-Fi (добавление и удаление точек доступа).

Есть решения на базе AR-меток, которые дают большую точность, чем решения на беспроводных сетях, однако накапливают погрешность порядка 1 метра при удалении от метки более чем на 20 метров [5]. Кроме этого, AR-метки предъявляют требования к инфраструктуре – по всему зданию должны быть размещены метки, положение которых определено и сохранено заранее.

Наиболее современное решение – пространственные якоря [6, 7]. Они обеспечивают наилучшую точность и так или иначе опираются на трехмерные пространственные данные. Большинство из существующих и изученных технологий пространственных якорей является проприетарными, имеет закрытый исходный код и требует взаимодействия с удалёнными серверами разработчика технологии.

Решение

Рассматриваемая система предлагает использование облаков точек как для создания карты помещения, так и для определения местоположения пользователя.

Для создания глобальной карты с использованием регистрации облаков точек необходимо:

1) Получить представление картографируемого пространства в виде облака точек.

2) Разместить вспомогательные точки в системе координат полученного облака точек.

Вспомогательные точки используются для хранения информации, привязанной к местности, и построения маршрутов.

Для организации навигации в рамках очередной сессии необходимо:

1) Инициировать локальную навигацию (например, с помощью SLAM)

2) Собрать некоторое количество данных о пространстве в виде облака точек

3) Зарегистрировать собранное облако точек относительно глобальной карты и получить матрицу трансформации

4) Использовать матрицу трансформации (смещение, поворот, масштаб) для перехода из локальной системы координат в глобальную

5) При потере трекинга SLAM повторить процесс

Рассмотрим рисунок, показывающий глобальную и локальную системы координат для двумерного пространства (рис. 1).

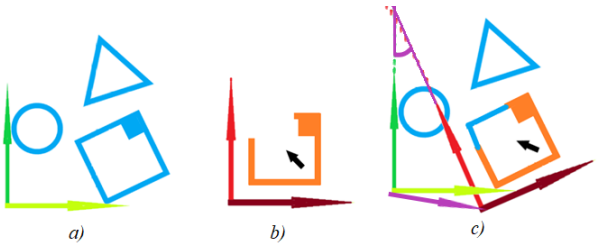


Рис.1. Локальная и глобальная карты.

Под пунктом *a)* на рисунке изображена глобальная карта:

- Данные всей геометрии (синий).
- Глобальная система координат (зелёный).

Под пунктом *b)* на рисунке изображена локальная карта:

- Пользователь (черная стрелка)
- Локально известная геометрия (оранжевый)
- Локальная система координат (красный)

В пункте *b)* пользователь отсканировал то, что его окружает и знает, где находится он сам относительно квадрата. При этом пользователь не знает, где он находится относительно карты.

Под пунктом *c)* на рисунке изображен результат регистрации локальной карты относительно глобальной:

- Пользователь (черная стрелка)
- Локальная и глобальная системы координат (красный и зеленый соответственно)
- Вектор смещения и угол поворота (фиолетовый)

В результате совмещения пользователю в его локальной системе координат становятся доступны любые данные карты.

Получение карты

Для получения облака точек глобальной карты предлагается использовать ORB-SLAM 3[8]. Этот метод в процессе работы использует только данные с камеры, что позволяет снизить требования к оборудованию для картографирования. Кроме того, в результате он даёт достаточно плотные облака точек, что повышает точность карты (рис. 2).

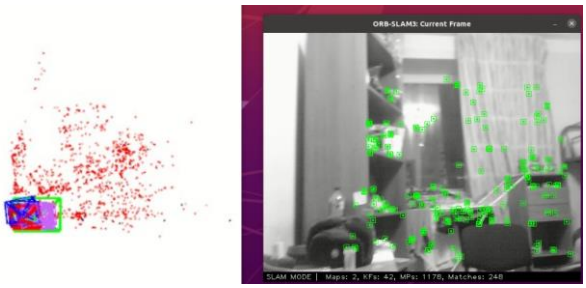


Рис.2. Получение облака точек с помощью камеры.

Регистрация облаков точек

Для регистрации облаков точек существует множество решений. Для определение наиболее подходящего несколько из них было рассмотрено.

Для проверки алгоритмов использовались следующие данные:

- Глобальное облако – 9129 точек
- Локальное облако – 2001 точка
- Размер вокселя – 0.01

Тестовые облака точек были получены путём случайной выборки точек с поверхности трехмерной модели здания (рис. 3, рис. 4)

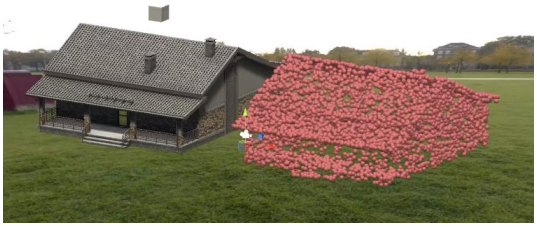


Рис.3. Глобальное облако точек

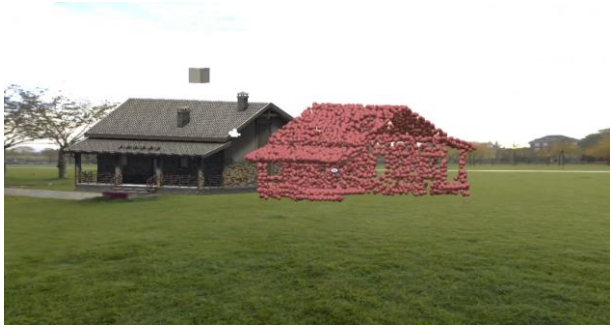


Рис.4. Локальное облако точек (половина здания)

В результате тестирования были получены следующие результаты:

Таблица 1. Результаты сравнения различных методов регистрации облаков точек

Алгоритм	Время на регистрацию, сек.	Точность от 1 до 10 (больше - лучше)
CPD	36,3	7
FilterReg	0,27	8
GMM Tree	8,61	10
SVR	0,84	6
BCPD	103	0
TEASER++	> 120	0

В качестве меры точности была введена шкала субъективной оценки точности от 1 до 10, где большая оценка значит меньшую погрешность.

Система предъявляет высокие требования к скорости регистрации, поэтому среди протестированных методов для дальнейшей работы был выбран FilterReg, как наиболее быстрый и достаточно точный.

Изначальное взаимное положение облаков точек (глобальное – зеленое, локальное - красное) представлено на рисунке 5.

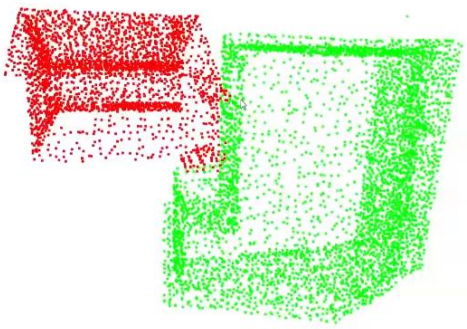


Рис.5. Изначальное положение облаков точек

Результат регистрации (новое положение локального облака - синее) представлен на рисунке 6.

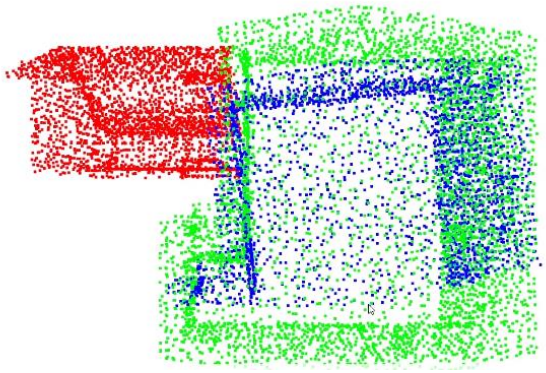


Рис.6. Результат регистрации

Заключение

Предлагаемый метод позволяет организовать навигацию в помещении без использования дополнительных датчиков или меток.

По мнению авторов, инновационная составляющая работы представлена авторизированной идиомой, согласно которой локализации пользователя предложено использовать регистрацию облаков точек.

Список литературы:

1. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://www.hindawi.com/journals/js/2017/2630413/
2. A 2016 Global Research Report On The Indoor Positioning Market [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://www.indooratlas.com/wp-content/uploads/2016/09/A-2016-Global-Research-Report-On-The-Indoor-Positioning-Market.pdf
3. DataSpace: Applications of Machine Learning to Location Data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://dataspace.princeton.edu/jspui/handle/88435/dsp01r494vk25x
4. [1505.06125] Machine Learning for Indoor Localization Using Mobile Phone-Based Sensors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://arxiv.org/abs/1505.06125
5. How Augmented Reality Indoor Navigation System Works - MobiDev [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-indoor-navigation-app-developement-arkit
6. Share AR Experiences with Cloud Anchors | ARCore | Google Developers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://developers.google.com/ar/develop/java/cloud-anchors/overview-android
7. Azure Spatial Anchors overview - Azure Spatial Anchors | Microsoft Docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный, https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/overview
8. ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual-Inertial and Multi-Map SLAM Carlos Campos∗, Richard Elvira∗, Juan J. Gomez Rodriguez, Jose M.M. Montiel and Juan D. Tard´os
9. FilterReg: Robust and Efficient Probabilistic Point-Set Registration using Gaussian Filter and Twist Parameterization, Wei Gao, Russ Tedrake
10. Point Set Registration: Coherent Point Drift Andriy Myronenko and Xubo Song.

АНСАМБЛЬ LSTM НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ

Д. Озмаден, А.П. Крымов
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент программной инженерии, факультет компьютерных наук

Аннотация

Выполнен анализ существующих методов прогнозирования цен акций на фондовом рынке. Предложен метод ансамблевого усреднения нейронных сетей LSTM с длинной кратковременной памятью. На наборе исторических данных ценных бумаг для обучения нескольких LSTM моделей оценена комбинированная эффективность решения.

Введение

Возможность эффективных предсказаний цен акций интересует многих трейдеров и аналитиков, поскольку даже небольшое представление о будущей ситуации на фондовом рынке может иметь решающее значение для своевременного успешного инвестирования.

Предсказуемость финансовых рынков — это предмет давней дискуссии, в ходе которой было высказано много различных мнений. Основой современной теории финансов является гипотеза эффективного рынка. Она утверждает, что цены акций уже отражают всю имеющуюся информацию. Следовательно, цены акций уже представляют собой настоящую стоимость актива. Поскольку будущая информация всегда неизвестна, инвесторы не могут методически делать успешные ставки и «обыграть» рынок. Также популярной является гипотеза случайного блуждания, которая утверждает, что в отличие от других временных рядов, финансовые данные не имеют никаких скрытых закономерностей, а значит рынок бессмысленно моделировать.

Однако есть основания полагать, что фондовый рынок — это не просто стохастический процесс, поскольку современные методы машинного обучения позволяют находить закономерности внутри данных. При прогнозирования финансовых временных рядов уже использовались опорные векторные машины [1], рекуррентные [3], конволюционные [3, 6] и гибридные нейронные сети [6]. В силу своей уникальной внутренней структуры, эффективными в прогнозировании цен акций оказались нейронные сети LSTM с длинной кратковременной памятью [2, 4].

Метод ансамблевого усреднения LSTM нейронных сетей

Архитектура LSTM сетей, ячейка которой представлена на рис. 1, позволяет запоминать долгосрочные закономерности и зависимости внутри данных [4]. Ансамблевые методы с конволюционными сетями хорошо проявили себя для решения задач анализа изображений [5]. Новизна нашего метода заключается в использовании в ансамбле LSTM сетей. Метод заключается в обучении несколько нейронных LSTM сетей на основе финансовых временных рядов, которые представляют из себя набор японских свечей [10], расположенных в хронологическом порядке. Финальное предсказание выполняет LSTM сеть, выполняющая ансамблевое усреднение.

Планирование эксперимента

В рамках исследования использовался собственный набор данных японских свечей тринадцати крупных американских компаний [7]. Для каждой компании данные представлены в двух временных форматах разной длины: днях и часах. Поскольку окончательная стоимость актива в японских свечах ничем не ограничена, перед тренировкой выполняем нормализацию данных.

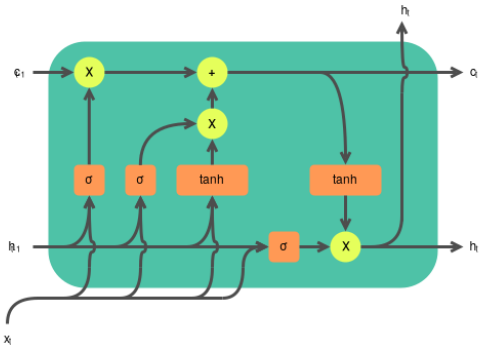


Рис.1. Ячейка LSTM - ключевая часть многих нейронных сетей [9]

Базовый блок данных для входного слоя LSTM может иметь различную временную дискретность - от минуты до года. Мы обучаем ансамблевую модель на ежедневных и почасовых данных. Между обучающей выборкой и тестовыми данными используем соотношение 80% и 20%.

Десять LSTM сетей было обучено на исторических данных последних двух лет для десяти случайно выбранных компаний. Их комбинированная эффективность была оценена на данных трех оставшихся компаний. После анализа эффективности алгоритмов стохастического градиентного спуска RMSprop и Adagrad, выбран оптимизатор Adam, который является вычислительно эффективным и подходит для задач, где используются большие объёмы данных. Архитектура каждой нейронной сети состоит из входного слоя, за которым следуют три LSTM слоя (64, 32, 16 нейронов в каждом). Выходной слой использует линейную функцию активации и сравнивает сгенерированное выходное значение с истинной ценой актива.

Для уменьшения высокого разброса значений прогнозов, сделанных индивидуальными LSTM сетями, используется ансамблевое усреднение для получения комбинированного предсказания.

Увеличение скорость вычисления комбинированного предсказания получаем за счет использования кластеров облачных вычислений. Децентрализированная структура ансамбля позволяет делегировать обучение моделей в контейнерах Docker. Длительный процесс обучения нескольких моделей распределен между виртуальными машинами, а генерируемые веса нейронных сетей объединяются в единый ансамбль (рис. 2). Использование Kubernetes для оркестровки портфеля параллельных задач позволяет в режиме реального времени управлять производительностью системы в целом.

Результаты эксперимента

Для анализа эффективности ансамблевой модели используем несколько метрик. Первая из них – среднеквадратичная ошибка RMSE. Это популярная метрика в прогнозировании временных рядов. Она сильно «наказывает» за большие ошибки в предсказаниях.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}},$$

где $\hat{y}_i$ – это реальная цена, y_i – это прогнозируемое значение, а n – количество всех наблюдений.

Чтобы более точно понимать, насколько прогнозы отличаются от реальных данных, мы также вычисляем MPE – среднюю процентную ошибку.

$$\mathrm{MPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^{n} \frac{\hat{y}_i - y_i}{\hat{y}_i}$$

В качестве дополнительных метрик используем максимум и минимум процентных ошибок, допущенных во время прогнозирования, и процент всех правильно и неправильно спрогнозированных движений акций.

Результаты предсказаний ансамбля на ежедневных и почасовых данных компаний Microsoft, Disney и Facebook приведены в таб. 1, 2 и содержат значения вышеупомянутых метрик. Сравнение реальных и прогнозируемых цен акций представлено на рис. 3-6.

Заключение

Предложенный метод ансамблевого усреднения нескольких сетей LSTM значительно снижает разброс прогнозов. Результаты эксперимента показывают, что использование метода более эффективно на коротких временных рамках. Поэтому его целесообразно использовать при высокочастотной торговле.

Дальнейшее направление работ связанно с улучшением предсказаний модели. Один из возможных путей дальнейшего исследования - использование стэкинга (stacked generalization), для улучшения комбинированной эффективности решения. При стэкинге создаётся новая модель, которая учится как лучше сочетать все предсказания разных LSTM сетей в ансамбле.

Исходный код, использовавшийся при эксперименте, доступен в GitHub репозитории [8].

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке НИУ ВШЭ, проект «Интеллектуальный анализ финансовых рынков на основе унифицированного терминала»

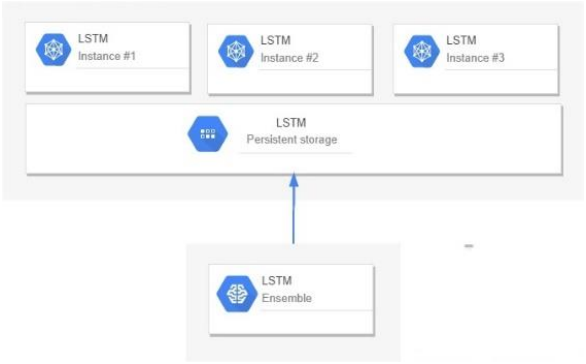


Рис.2. Модель распределенной архитектуры

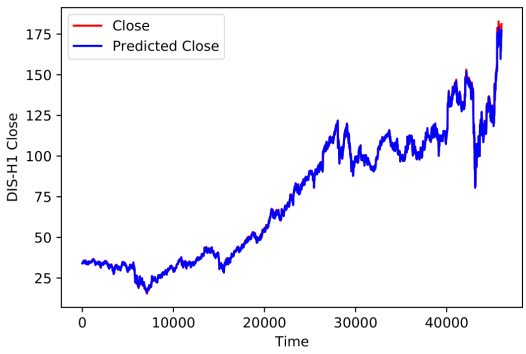


Рис.3. Почасовой график исходных и предсказанных цен DIS

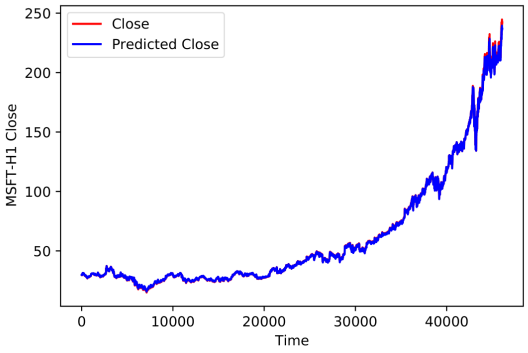


Рис.4. Почасовой график исходных и предсказанных цен MSFT

Таблица 1. Метрики почасовых предсказаний

	MSFT	DIS	FB
RMSE	0.71	0.54	1.16
MPE	-0.174	0.154	-0.0727
Max. PE	10.443	11.016	18.809
Min. PE	-12.516	-13.377	-22.817
Correct direction	0.536	0.571	0.509
MPE (of correct predictions)	-0.1754	-0.0327	-0.0476
Max. PE (of correct predictions)	9.18	8.66	18.808
Min. PE (of correct predictions)	-11.34	-13.377	-22.818
Wrong direction	0.464	0.429	0.491
MPE (of wrong predictions)	0.172	-0.3305	0.0969197
Max. PE (of wrong predictions)	12.51	8.1851	18.755
Min. PE (of wrong predictions)	-10.44	-11.0167	-12.762719

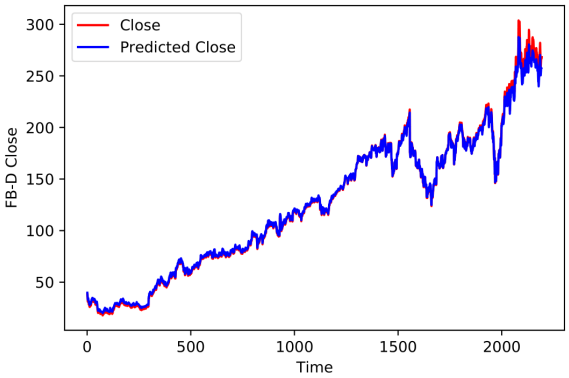


Рис.5. Ежедневный график исходных и предсказанных цен FB

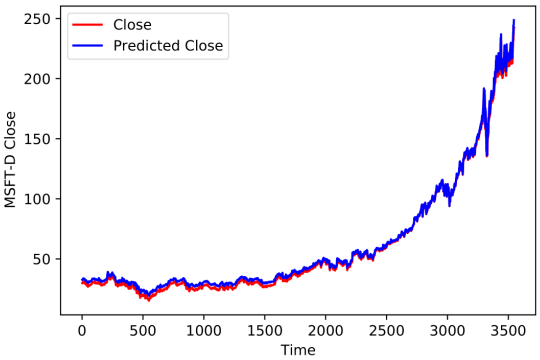


Рис.6. Ежедневный график исходных и предсказанных цен MSFT

Таблица 2. Метрики ежедневных предсказаний

	MSFT	DIS	FB
RMSE	2.91	1.92	4.10
MPE	-6.473	-2.478	-1.3048224
Max. PE	11.9	12.474	17.348574
Min. PE	-35.71	-24.307	-21.688463
Correct direction	0.533	0.583	0.514
MPE (of correct predictions)	-5.064	-1.275	-0.5703
Max. PE (of correct predictions)	11.891	12.47	17.34857
Min. PE (of correct predictions)	-25.701	-17.91	-21.69
Wrong direction	0.467	0.417	0.486
MPE (of wrong predictions)	7.995	3.773	2.093
Max. PE (of wrong predictions)	35.711	24.307	21.61
Min. PE (of wrong predictions)	0.158	0.187	-11.32

Список литературы:

1. Y. Lin, H. Guo and J. Hu, ”An SVM-based approach for stock market trend prediction,” The 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Dallas, TX, 2013, pp. 1-7, doi: 10.1109/IJCNN.2013.6706743.
2. K. Chen, Y. Zhou and F. Dai, ”A LSTM-based method for stock returns prediction: A case study of China stock market,” 2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Santa Clara, CA, 2015, pp. 2823-2824, doi: 10.1109/BigData.2015.7364089.
3. Selvin, Sreelekshmy & R, Vinayakumar & Gopalakrishnan, E.A & Menon, Vijay & Kp, Soman. (2017). Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model. 1643-1647. 10.1109/ICACCI.2017.8126078.
4. Roondiwala, Murtaza & Patel, Harshal & Varma, Shraddha. (2017). Predicting Stock Prices Using LSTM. International Journal of Science and Research (IJSR). 6. 10.21275/ART20172755.
5. K. Liu, M. Zhang and Z. Pan, "Facial Expression Recognition with CNN Ensemble," 2016 International Conference on Cyberworlds (CW), Chongqing, China, 2016, pp. 163-166, doi: 10.1109/CW.2016.34.
6. Kim T, Kim HY (2019) Forecasting stock prices with a feature fusion LSTM-CNN model using different representations of the same data. PLoS ONE 14(2): e0212320. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212320
7. Ozmaden, D. OHLC Financial data, Version 1. Available from: https://www.kaggle.com/dozmaden/ohlc-financial-data (Дата обращения: 19.02.2021, режим доступа: свободный)
8. Ozmaden, D. (2021; February). Ensemble LSTM for forecasting time series. Private from: https://github.com/dozmaden/Ensemble-LSTM-forforecasting-time-series (Дата обращения: 19.02.2021, режим доступа: свободный)
9. Wikimedia Commons, the free media repository. File:LSTM cell.svg. Available from https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title= File:LSTM cell.svg&oldid=530725370 (Дата обращения: 19.02.2021, режим доступа: свободный)
10. Understanding Basic Candlestick Charts // Investopedia URL: https://www.investopedia.com/trading/candlestick-charting-what-is-it/ (Дата обращения: 19.02.2021, режим доступа: свободный)

ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ

Я.В. Пащенко
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент программной инженерии, факультет компьютерных наук

Аннотация

На основе анализа атрибутов качества дизайна архитектуры предложена методика построения архитектуры высоконагруженных систем. Методика апробирована при создании унифицированного торгового терминала.

Введение

Большая часть современных сервисов является в той или иной степени высоконагруженной. Например, социальные сети, торговые сайты и видео-хостинги.

Если сервис будет иметь локально оптимизированную архитектуру, дальнейшее развитие такой системы будет высокозатратным [1] и сложным для реализации [2]. Для снижения издержек необходимо выбрать оптимальную стратегию проектирования.

Software Engineering Body of Knowledge определяет качество дизайна архитектуры через три вида атрибутов качества:

1. проявляющиеся во время работы системы,
2. применимые к design-time,
3. концептуальные атрибуты.

Атрибуты качества, проявляющиеся во время работы системы

Рассмотрим данные атрибуты подробнее.

Надежность. В процессе эксплуатации системы бывают ошибки двух видов: аппаратные сбои и человеческий фактор.

Аппаратный сбой – физическое повреждение системы, повлекшее за собой нарушение работы. Например, отключение питания дата-центров, либо фатальный сбой устройств хранения информации.

Одним из лучших решений для предотвращения аппаратных сбоев, в отличие от метода быстрой замены поврежденного компонента резервным, является создание распределенной системы, способной перенести отказ нескольких компонентов. В этом случае чем больше количество элементов распределенной системы, тем более надежной она является. Такая архитектура позволяет использовать «плавающие» обновления, которые позволяют осуществлять развёртывания без простоев, шаг за шагом заменяя старые части системы на новые. Такое обновление позволяет приложению быть измененным без влияния на его доступность.

Человеческий фактор оказывает влияние на возникновение ошибок в процессе функционирования системы. По приблизительным подсчетам с человеческим фактором связано около 80 процентов ошибок [3].

В качестве меры, направленной на противодействие таким ошибкам, является создание качественной системы телеметрии и пред-тестирование релизов.

Безопасность. Для обеспечения безопасности и подтверждения того, что и клиент, и сервер – те, за кого они себя выдают, при установке соединения широко используется TSL-рукопожатие, изображенное на рис. 1.

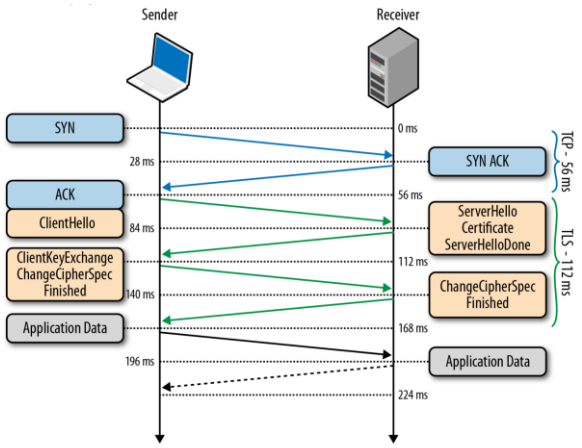


Рис.1. TSL рукопожатие [4]

Атрибуты качества, применимые к design-time

В список этих атрибутов входят атрибуты системы, которые проявляются при сопровождении и улучшении системы.

Масштабируемость - один из главных атрибутов данного типа. Это способность системы справляться с растущей нагрузкой [5], что крайне важно для высоконагруженной системы. Конечно, при десятикратном увеличении средней нагрузки системы качество работы большинства систем неизбежно падает, что приводит к необходимости переделки архитектуры. При этом используют два подхода [6]: горизонтальное и вертикальное масштабирование.

Вертикальное масштабирование связано с увеличением мощности и производительности сервера, на котором расположена система. Использование только этого подхода не применимо для высоконагруженной системы из-за того, что при отказе одного сервера вся система рушится [7].

Горизонтальное масштабирование связано с увеличением количества серверов, выполняющих одну и ту же функцию. Если при таком подходе не забывать о вертикальном масштабировании он более всего будет отвечать вызовам, стоящим перед разработчиком высоконагруженной системы.

Как один из вариантов такого масштабирования рассмотрим микросервисную архитектуру.

Микросервисная архитектура представляет систему как набор коммуницирующих друг с другом сервисов небольшого размера. Эти сервисы независимо работают каждый над свое задачей и при этом могут быть написаны на разных языках. Такой подход позволяет значительно повысить отказоустойчивость системы [8].

Тестируемость - важная характеристика, отображающая качество написанных тестов. Чем эти тесты специфичнее и чем больше их охват - тем данная метрика выше. Специфичность и охват тестов можно повысить, применяя технику разработки Test-Driven Development (TDD).

Данная техника предоставляет одно из самых полных покрытий тестами [9], так как каждая новая функция имеет свой собственный тест.

Другой метод повышения тестируемости – дымовые тесты [10]. Они выполняются для подтверждения того, что критически важные функции заново собранного кода работают согласно ожиданиям. Такие тесты должны автоматически выполняться при обновлении системы.

Концептуальные атрибуты качества

Концептуальная полнота является важным атрибутом любой системы и значительно упрощает ее разработку и использование, делая ее менее подверженной ошибкам [11]. Концептуально полная система имеет следующие признаки:

- действует по единому протоколу API
- сохраняет единый стиль кода
- использует один тип баз данных
- использует единый шаблон наименования методов
- назначение методов ясно из их названия

Для достижения концептуальной полноты необходимо до начала разработки создать единый принцип именования и стиль кода. Также, желательной является ситуация, при которой большая часть разработчиков примерно представляет себе будущую архитектуру проекта.

Заключение

Описанная методика применена при создании унифицированного торгового терминала, предназначенного для работы со всеми основными биржами, предоставляя пользователю полный функционал: покупку и продажу активов, отображение графиков. При разработке терминала приоритет был отдан масштабируемости и надежности. Использование микросервисной архитектуры позволило справится с повышением нагрузки за счет автоматического выделения необходимого количества серверов. Все модули написаны с использованием TDD, обеспечивающей высокое покрытие кода тестами. Стабильность выпускаемых обновлений обеспечена процедурой запуска дымовых тестов.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке НИУ ВШЭ, проект «Интеллектуальный анализ финансовых рынков на основе унифицированного терминала»

Список литературы:

1. The Importance of Scalability In Software Design // Concepta URL: https://www.conceptatech.com/blog/importance-of-scalability-in-software-design (дата обращения: 19.02.2020).
2. WHAT IS HIGH LOAD AND WHEN TO CONSIDER DEVELOPING A HIGH LOAD SYSTEM FOR YOUR PROJECT? // Geniusee – Software development outsorcing URL: https://geniusee.com/single-blog/introduction-to-high-load-what-is-it (дата обращения: 19.02.2020).
3. Мартин Клеппман. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка, Издательский дом «Питер», 2018
4. High Performance Browser Networking // HPBN URL: https://hpbn.co/transport-layer-security-tls/
5. Scalability From Wikipedia, the free encyclopedia // Wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Scalability
6. What is Vertical Scaling & Horizontal Scaling? // ESDS URL: https://www.esds.co.in/blog/vertical-scaling-horizontal-scaling/#sthash.hYLrmTwv.dpbs (дата обращения: 19.02.2020).
7. Scaling is a good problem. How to scale your application? // Medium URL: https://medium.com/coding-monk/scaling-is-a-good-problem-how-to-scale-your-application-d389cd052ffe (дата обращения: 19.02.2020).
8. Microservices // MartinFlowler URL: https://martinfowler.com/articles/microservices.html#footnote-etymology (дата обращения: 19.02.2020).
9. Advantages and disadvantages of Test Driven Development (TDD) // GeeksforGeeks URL: https://www.geeksforgeeks.org/advantages-and-disadvantages-of-test-driven-development-tdd/ (дата обращения: 19.02.2020).
10. Smoke test vs Sanity test vs retest vs regression test // AskTester URL: https://www.asktester.com/smoke-test-vs-sanity-test-vs-retest-vs-regression-test/ (дата обращения: 19.02.2020).
11. Fred Brooks. The Mythical Man-Month, Essays on Software Engineering, 20th Anniversary Edition.

СИСТЕМА СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АПАРТАМЕНТОВ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Т.Р. Ракипов, Н.В. Сиротинский, М.А. Матвеев, А.С. Иделевич, И.В. Быконя
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается вопрос создания системы, предоставляющей возможность удаленной аренды апартаментов и доступа к ним при помощи электронного замка и цифрового ключа. В основе системы два ключевых компонента – программное обеспечение, разворачиваемое на микрокомпьютере OrangePI и осуществляющее управление замками при помощи беспроводных технологий связи, и серверное программное обеспечение, предоставляющее интерфейс (REST API) для управления справочниками и устройствами с учетом системы разграничения прав. В качестве промежуточного программного обеспечения для взаимодействия между серверным ПО и микрокомпьютером используется облачная платформа Интернета Вещей Rightech IoT Cloud.

Введение

Все более популярными становятся системы совместного использования различных предметов обихода. Рынок экономики совместного потребления показывает кратный рост [1]. Таким образом можно арендовать как средства передвижения, так и подручные средства, например внешние аккумуляторы. Логичным развитием данной концепции стало бы создание сервиса для удаленной аренды апартаментов. Это решение будет выгодным как с точки зрения удобства, оно позволит автоматизировать процесс аренды жилья и сделать его более удобным и для арендодателя, и для квартиросъемщика, так и с учетом текущей эпидемиологической ситуации, которая вынуждает сокращать личное взаимодействие между людьми. Целью данной работы является создание двух ключевых компонентов для данной системы – серверного и встраиваемого программного обеспечения. Следующая диаграмма наглядно описывает процессы, происходящие в системе:

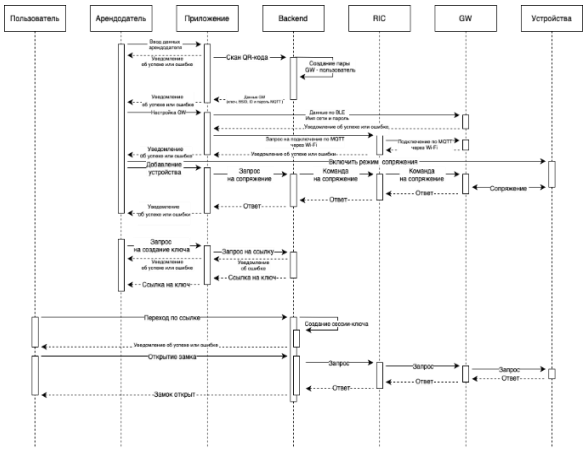


Рис.1. Диаграмма процессов

Серверное программное обеспечение

Серверная логика разрабатывается на языке Python, с использованием фреймворка Flask, а также СУБД MongoDB. Программное обеспечение включает в себя контроллеры для взаимодействия с базой данных, систему авторизации и разграничения доступа к разным компонентам API, контроллеры для создания “ключей-ссылок”, временных web-приложений с подробной информацией о снятой квартире и кнопками удаленного управления замком. Создание временных web-приложений, с помощью которых происходит взаимодействие с замком, является особенностью нашего решения. Выбор такого подхода к построению интерфейса обусловлен в первую очередь требованиями к удобству квартиросъемщика. Процесс краткосрочной аренды происходит не так часто, клиентами в основном являются люди, приехавшие в другой город с целью туризма или командировки, в связи с чем им не требуется постоянно установленное приложение. Наше ПО учитывает этот факт, и предоставляет более оптимальное с точки зрения удобства и экономии памяти решение. Как уже было упомянуто, чтобы получить доступ, пользователю понадобится лишь ключ-ссылка на временное web-приложение, с помощью которого и производится управление замком. Основной проблемой, которую предстояло решить, являлось обеспечение достаточного уровня безопасности и при этом сохранение простоты использования конечными пользователями. Решением стал модуль Flask.session, который с помощью секретного ключа кодирует cookies браузера пользователя, чтобы их нельзя было как-то изменить злоумышленникам [2]. Также активация ссылки отслеживается на сервере, чтобы другой человек не смог получить доступ при действующем ключе. Владельцам квартир, в отличие от квартиросъемщиков, необходимо будет регистрироваться в приложении, для хэширования их паролей используется адаптивная криптографическая хэш-функция bcrypt [3].

Контроллер

Контроллер играет роль межпротокольного моста, соединяя серверную и облачную части системы с замками. Он представляет собой одноплатный компьютер, в нашем случае это Orange PI Zero, с BLE и Zigbee модулями. Для подключения к Интернету используется встроенный Wi-Fi модуль. Операционная система — Armbian — аналог Debian для процессоров ARM [4].

Обобщенная схема работы такова: контроллер подключен в точке доступа Wi-Fi и, используя протокол передачи данных MQTT, взаимодействует с облачной платформой Rightech IoT Cloud, а также является координатором в сети Zigbee для замков [5]. BLE используется на этапе установки и настройки системы, когда контроллер еще не подключен к сети, чтобы передать на него данные для подключения к точке доступа Wi-Fi. После этого BLE не используется, поскольку является небезопасным [6].

Для разработки программного агента используется язык Python, поскольку позволяет проще вести разработку в силу простого синтаксиса и, что самое главное, имеет множество различных библиотек. Функции контроллера были распределены на независимые модули, в качестве архитектуры рассматривались несколько вариантов, два из которых — многопоточность и многопроцессность.

От многопоточности было решено отказаться, поскольку язык Python имеет GIL — Global Interpreter Lock — система синхронизации потоков, которая, с одной стороны, делает работу многопоточных систем безопаснее, поскольку исключает любые конфликты, а с другой стороны, ограничивает параллельность. GIL увеличивает эффективность выполнения однопоточных скриптов, но в одно время может выполняться только один поток, что снижает эффективность многопоточных программ [7].

Именно по этой причине было решено выбрать многопроцессную архитектуру, когда каждый модуль запускается в качестве отдельного системного процесса.

Для этих целей используется модуль multiprocessing, который является частью стандартной библиотеки Python. Для синхронизации работы модулей используются очереди, через которые процессы обмениваются данными. Также есть центральный модуль Controller, который управляет работой остальных и управляет передачей данных между ними. Остальные модули распределяют между собой все остальные задачи.

Модуль BLE, как уже было указано, нужен только на начальном этапе для настройки. Владелец подключается к контроллеру, используя смартфон и приложение, и передает ему параметры точки доступа. Далее этот модуль завершает работу.

Модуль WIFI управляет соединением с точкой доступа. Вернее он является посредником между программой и ОС. На этапе установки передается системному сетевому менеджеру параметры точки доступа. В дальнейшем ОС сама может поддерживать и восстанавливать соединение, а модель может только проверять состояние.

Модули Subscriber и Publisher нужны для взаимодействия с облачной платформой по протоколу MQTT. Это протокол прикладного уровня, работает поверх TCP/IP. Как видно из названий модулей, они выполняют роли подписчика и издателя в структуре работы протокола. Облачная платформа выступает в роли брокера. Subscriber, он же подписчик, слушает определенный топик, получая таким образом команды, которые далее передаются управляющему модулю. Publisher, он же издатель, получает от контроллера данные о состоянии системы и, в частности, замков, и отправляет брокеру, то есть облачной платформе.

Модуль LockManager осуществляет управление замками по протоколу Zigbee [8]. Это беспроводной протокол передачи данных, регламентированный стандартом IEEE 802.15.4. Каждый замок является независимым конечным устройством, а контроллер — координатором. На этапе настройки, после подключения к облачной платформе, координатор переходит в режим подключения, позволяя подключаться к нему замкам. При этом необходимо также включить режим подключения на замках. После того, как сеть Zigbee сформируется, система начнет функционировать в нормальном режиме.

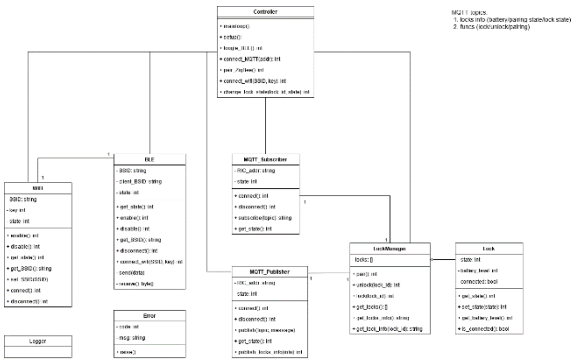


Рис.2. Диаграмма классов ПО микроконтроллера.

Заключение

В результате выполнения данного проекта было разработано программное обеспечение, реализующее функции удаленного управления замками и управления базой данных устройств и пользователей, а также предоставляющее удобный интерфейс для работы с этими функциями. Интеграция этого программного обеспечения со специализированным мобильным приложением позволит создать систему, которая заметно упрощает процесс аренды жилья.

Список литературы:

1. Sharing or paring? Growth of the sharing economy // pwc URL: https://www.pwc.com/hu/en/kiadvanyok/assets/pdf/shari.. (дата обращения: 19.01.2021)
2. Flask-Session // flask-session.readthedocs.io URL: https://flask-session.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 15.01.2021)
3. bcrypt // wikipedia URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bcrypt (дата обращения: 25.01.2021)
4. Armbian // Armbian Documentation URL: https://docs.armbian.com/ (дата обращения: 2.02.2021)
5. MQTT // wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT (дата обращения: 14.01.2021)
6. Bluetooth Low Energy // wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy (дата обращения: 28.01.2021)
7. GlobalInterpreterLock // wiki.python.org URL: https://wiki.python.org/moin/GlobalInterpreterLock (дата обращения: 10.01.2021)
8. Zigbee // wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee (дата обращения: 05.02.2021)

МИКРОСЕРВИС АНАЛИТИКИ ЦЕНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВОЛАТИЛЬНОСТИ

А.О. Калугин
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент программной инженерии, факультет компьютерных наук

Аннотация

Предложена предсказательная модель цены актива на основе анализа значений индикаторов волатильности. Модель реализована в виде микросервиса аналитики цены унифицированного торгового терминала, построенного на базе микросервисной архитектуры.

Введение

Работы по алгоритмической торговле в целом [1, 2], и высокочастотной торговле в частности [3] не затрагивают вопросов интеграции инструментов волатильности финансовых активов в торговые системы. Исследования этих инструментов являются либо комплексным анализом волатильности [4], либо представляют анализ паттернов и стратегий [5].

Анализ волатильности

Волатильность – диапазон, в рамках которого в краткосрочном периоде колеблется цена актива [9]. Волатильность (изменчивость) определяют также, как разницу между максимальным и минимальным значениями актива во временном промежутке [10].

Волатильность разделяют на историческую и подразумеваемую [11].

Историческая волатильность Vol (при условии, что в промежутке n торговых дней) вычисляется по формулам:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{\text{ср}})^2}{n-1}}$$

$$Vol = S * \sqrt{n}$$

Здесь n – размер выборки S – стандартное отклонение, x_i – величина отдельного значения выборки, $x_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое выборки.

Подразумеваемая волатильность по определению – уровень ожидаемой волатильности цены актива в течение срока жизни опциона. Ее вычисляют по формуле Блэка-Шоулза [8] через стоимость опционов call & put:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot T$$

$$call = S \cdot N(d_1) - X \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2)$$

$$put = X \cdot e^{-rT} \cdot N(-d_2) - S \cdot N(-d_1)$$

Здесь $N(x)$ - функция распределения стандартного закона распределения вероятностей, S – текущая цена актива, X – цена исполнения опциона, T – время до исполнения опциона, r – безрисковая процентная ставка, σ – стандартное отклонение доходности актива.

Индикаторы волатильности

Существуют различные индикаторы волатильности – Полосы Боллинджера [12], Канал Кельтнера [13], индикатор Чайкина [14] и другие [15].

В данной работе используем индикатор Чайкина *vol*, поскольку он наиболее подходит с вычислительной точки зрения:

$$vol = \frac{EMA[H-L]_i - EMA[H-L]_{i-10}}{EMA[H-L]_{i-10}} \cdot 100,$$

где: *EMA* – скользящая средняя, H – максимальная цена актива в интервале, L – минимальная цена актива в интервале, i – индекс свечи.

Повышение волатильности активов при резком колебания цен

В рамках исследования использовался набор японских свечей компании 18 компаний на минутных интервалах [7]. Метод исследования заключался установлении зависимости трендов от частоты скачков, предшествующих им.

Продемонстрируем метод исследования на акциях компании Apple. Колебания цены рассмотрим в интервале от -2.0% до +2.0% с шагом в 0.25%.

В табл.1 показано как часто происходят скачки, а рис. 2-5 для некоторых строк таблицы демонстрируют тренды, следующие за ними.

Таблица 1. Частота скачков

Диапазон колебаний	Количество скачков	
	Положительных	отрицательных
±1.75%	2	3
±1.5%	3	6
±1.25%	11	12
±1.0%	25	27
±0.75%	67	67
±0.5%	295	290
±0.25%	2454	2411

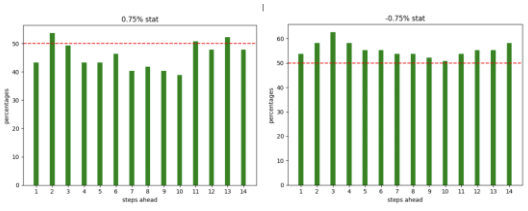


Рис.2. Статистика восходящих трендов при колебаниях в ± 0.75% от цены актива

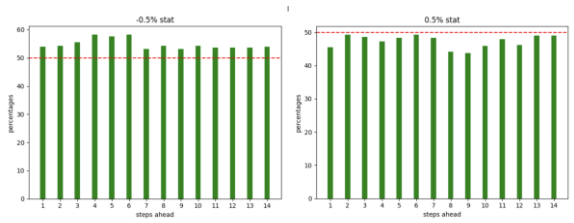


Рис.3. Статистика восходящих трендов при колебаниях в ± 0.50% от цены актива

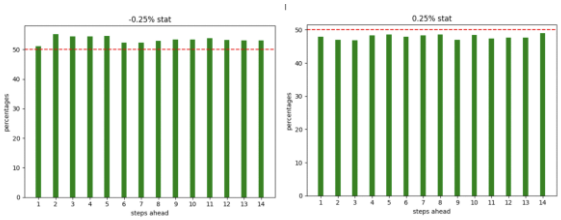


Рис.4. Статистика восходящих трендов при колебаниях в ± 0.25% от цены актива

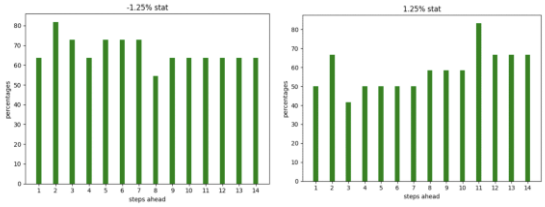


Рис.5. Статистика восходящих трендов при колебаниях в ± 1.25% от цены актива

Из рис. 2-5 видно, что при отрицательных скачках шанс последующего восходящего тренда выше. Кроме того, с увеличением процента отрицательного колебания шанс последующего восходящего тренда увеличивается.

Рассмотрим средние значения следующих параметров трендов: минимальное, максимальное и среднее отклонение от конца рассматриваемого интервала. Табл. 2 и 3 содержат параметры последующих трендов для некоторых строк табл. 1.

Таблица 2. Параметры трендов после колебания в -1.25%.

	percent	future_steps	min	max	mean_abs	mean_positive	mean_negative
0	-1.25	1	-0.197674	0.715248	0.211688	0.283465	0.086078
1	-1.25	2	-4.038261	2.391071	0.945992	0.612945	2.444704
2	-1.25	3	-3.093732	2.674407	1.203368	1.053933	1.601862
3	-1.25	4	-2.477387	2.995750	0.959053	1.068015	0.768370
4	-1.25	5	-3.001681	2.988839	1.063052	0.990861	1.255561
5	-1.25	6	-2.321300	2.802253	1.310487	1.202485	1.598492
6	-1.25	7	-2.425358	3.389655	1.319616	1.242750	1.524592
7	-1.25	8	-2.969663	3.738641	1.463948	1.776846	1.088471
8	-1.25	9	-2.985672	4.063439	1.381700	1.554464	1.079362
9	-1.25	10	-2.745538	4.111814	1.700080	1.822515	1.485818
10	-1.25	11	-2.161210	3.925227	1.656069	1.684977	1.605481
11	-1.25	12	-2.620449	3.800836	1.665508	1.580024	1.815105
12	-1.25	13	-1.817018	3.648803	1.524355	1.668757	1.271651
13	-1.25	14	-1.531970	4.028886	1.516152	1.666717	1.252662

Из сравнения табл. 2 и 3 видно, что при положительных скачках последующие нисходящие тренды сильнее чем восходящие.

Сила тренда характеризуется стабильностью и продолжительностью средних значений его параметров внутри интервала.

Сравнивая столбцы *mean_abs* в обоих таблицах можно сделать вывод, что все тренды после отрицательных скачков в среднем сильнее чем после отрицательных.

Таблица 3. Параметры трендов после колебания в +1.25%.

	percent	future_steps	min	max	mean_abs	mean_positive	mean_negative
14	1.25	1	-12.968424	0.145319	1.117576	0.065901	2.191218
15	1.25	2	-13.684097	0.631072	1.466357	0.423440	1.987815
16	1.25	3	-13.115874	2.635202	1.769155	0.750753	3.194918
17	1.25	4	-12.580019	2.268033	1.772098	0.808153	2.736043
18	1.25	5	-12.608789	3.163008	2.185420	1.268562	3.102279
19	1.25	6	-11.889520	2.099748	2.084642	1.231543	2.937741
20	1.25	7	-11.429188	1.463332	2.029060	0.837961	3.220159
21	1.25	8	-10.418615	1.781007	2.054369	0.985322	2.817974
22	1.25	9	-10.094944	1.828320	1.868941	0.857244	2.591582
23	1.25	10	-10.181256	1.645826	2.033244	0.606347	3.052457
24	1.25	11	-9.796447	1.524164	1.872650	0.842332	2.078713
25	1.25	12	-9.343307	1.375465	1.976276	0.479757	2.724535
26	1.25	13	-9.357693	1.747212	2.048054	0.680376	2.731893
27	1.25	14	-10.051787	2.129098	2.292412	0.783684	3.046777

Предсказательная модель цены актива

Состоит из двух частей предсказания

1. после отрицательного скачка,
2. после положительного скачка.

В каждой из частей после любого скачка в рассматриваемом диапазоне увеличится значение индекса волатильности, служащее сигналом для покупки актива.

При отрицательном скачке определяется промежуток времени через который вероятнее всего сформируется восходящий тренд, что послужит сигналом для продажи актива.

При положительном скачке определяется через какой промежуток времени сформируется наиболее сильный восходящий тренд что послужит сигналом для продажи актива.

Планирование эксперимента

Предсказательная модель цены актива реализована в виде микромервиса.

Эксперимент проводим как с одним активом, так и на основе эмуляции параллельной торговли на множестве активов. Итоговую сумму после торгов *Sum* вычисляем по формуле:

$$Sum = start \cdot \prod_{i \in n} \left({}^{i}/_{100} + 1 \right)$$

Здесь *start* – начальная цена актива, *n* – списки процентных отклонений при колебаниях, длины которых указаны в таб. 1. Например, для первой строки табл. 1 *n* = [0.51, -0.07,0.71,0.05, …,0.20]

Усреднив формулу, получим:

$$Sum \approx start \cdot \prod_{i \in \{+,-\}} \left(\frac{\mathrm{L}_i * Mean_i}{100} + 1 \right)$$

Здесь L_+– количество положительных колебаний, $Mean_+$– среднее положительное колебание, $L\_$– количество отрицательных колебаний,

$Mean\_$– среднее отрицательное колебание.

Результаты эксперимента

Эксперимент проведен на реальном наборе данных [7] в интервале с 01.01.2020 по 01.01.2021. Изменение торгуемой суммы в процессе эксперимента представлено на рис 6.

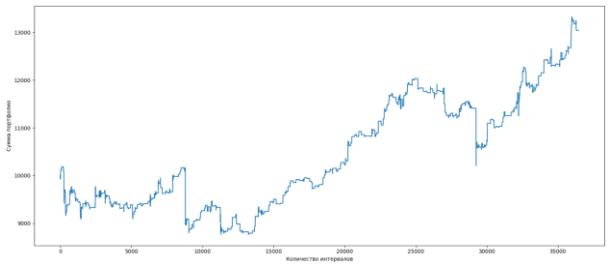


Рис.6. Изменение торгуемой суммы

В результате эксперимента получены следующие значения параметров:

- начальная сумма: 10000
- итоговая сумма: 13042
- общее количество сделок: 5211
- количество прибыльных сделок: 2902
- количество неприбыльных сделок: 2309
- максимальный прирост за сделку: 2.75%
- средний прирост за сделку: 0.094%
- максимальное снижение за сделку: 10.51%
- среднее снижение за сделку: 0.064%

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- средний прирост за сделку больше снижения,
- модель предсказывает правильно будущий тренд более чем в 50% случаев,
- стратегия торговли, заложенная в модель, эффективна на минутных интервалах, где необходима быстрота принятия решений;
- возможна параллельная торговля на множестве активов;
- микросервис в составе микросервисной архитектуры унифицированного торгового терминала может производить все сделки автоматически, исходя из заранее заданных настроек и собирать статистику по всем проведённым за всё время сделкам.

Заключение

Выявлены закономерности волатильности и трендов после резких скачков цены акций. Проведён эксперимент с микросервисом, показавший эффективность как торгового микросервиса, так и построенной модели.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке НИУ ВШЭ, проект «Интеллектуальный анализ финансовых рынков на основе унифицированного терминала»

Список литературы:

1. Sachin Napate, Mukul Thakur Algorithmic Trading and Strategies //URL https://www.researchgate.net/publication/345319146_Algorithmic_Trading_and_Strategies (Дата обращения: 19.02.2021)
2. Robert L. Kissel, Algorithmic trading. Fordham University, 2006.
3. Mr. Mihir Rajan Patil, Algorithmic Trading & High Frequency Trading. //URL https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=23955 (Дата обращения: 19.02.2021)
4. Giese Guido, Optimal design of volatility-driven algo-alpha trading strategies. Risk. Jun2012, Vol. 25 Issue 6, p68-73. 6p.
5. Amihud Yakov, Mendelson Haim, Liquidity, Volatility, and Exchange Automation, Journal of Accounting, Auditing & Finance. Fall88, Vol. 3 Issue 4, p369-395. 27p
6. Jean-Edouard Colliard, Catching Falling Knives: Speculating on liquidity stock. //URL

https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1545.pdf (дата обращения: 19.02.2021)
7. Kalugin Artem, Apple stock data, //URL https://github.com/artemkalugin01/AAPL-stock-data (Дата обращения: 22.02.2021)
8. Модель Блэка-Шоулза //URL https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_Блэка_—_Шоулза (Дата обращения: 22.02.2021)
9. Волатильность //URL https://www.egartech.ru/fields/riskfactors/ (Дата обращения: 22.02.2021)
10. Определение волатильности //URL https://www.finam.ru/education/likbez/volatilnost-chto-eto-takoe-i-kak-ispolzuetsya-v-treiydinge-20201009-12220/ (Дата обращения: 23.02.2021)
11. Историческая и ожидаемая волатильности //URL https://answr.pro/articles/4719-istoricheskaya-volatilnost/ (Дата обращения: 23.02.2021)
12. Bollinger Bands //URL https://www.earnforex.com/guides/bollinger-bands/ (Дата обращения: 23.02.2021)
13. Keltner Channel // URL https://www.investopedia.com/terms/k/keltnerchannel.asp Дата обращения: 23.02.2021)
14. Индикатор волатильности Чайкина // URL https://equity.today/indikator-volatilnosti-chajkina.html#:~:text=Волатильность%20рассчитывается%20по%20формуле%3A,%20случившемся%20n%2Dпериодами%20раньше (Дата обращения: 23.02.2021)
15. Прочие индикаторы волатильности // URL https://forex-method.ru/indikatory-volatilnosti-dlya-mt4 (Дата обращения: 23.02.2021)

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СЕРВИСА MIRTOKENS ДЛЯ ПЛАТЁЖНОЙ СИСТЕМЫ «МИР»

О.О. Манжула
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент программной инженерии факультета компьютерных наук

Аннотация

Разработана концепция облачного сервиса MirTokens, позволяющего реализовать идею выпуска физическими и юридическими лицами цифровых векселей, дающих право держателю на гарантированное получение фиксированной денежной суммы, товара или услуги. Внедрение сервиса позволит ввести в оборот универсальный долговый инструмент, что позволит участникам совершать сделки с гарантированной и, возможно, отложенной оплатой; в том числе – между работодателями и их сотрудниками.

Введение

Концепция сервиса разработана для национальной платёжной системы «Мир» в рамках её развития за счёт создания инновационных сервисов с применением облачных технологий. Технология MirTokens уникальна тем, что впервые в практике всех действующих платёжных систем предлагает единую площадку эмиссии и выплаты универсальных долговых документов. В рамках данной технологии также будет решена актуальная проблема работодателей нехватки доступных денежных средств для мотивации сотрудников на переработку или качественный, эффективный труд. Предположение об актуальности данной проблемы основано на количестве юридических лиц, только в России их около 3,5 млн по состоянию на 01.01.2021 [1].

Анализ аналогов

Некоторые коммерческие организации уже применяют внутрикорпоративные токены: «Qiwi Blockchain Technologies» вознаграждает сотрудников токенами стандарта ERC20 [2]; авиакомпания «S7 Airlines» продаёт корпоративным клиентам Сбербанка билеты за токены [3]. Также в начале января 2021 Сбербанк подал заявку в Банк России на регистрацию собственной криптовалюты, причём зампред правления Сбербанка Анатолий Попов считает, что «самое простое применение сберкоина – это цифровой вексель» [4].

Сервис не имеет полных аналогов, так как представляет собой унифицированную среду для выпуска цифровых векселей с гибким стандартом описания векселя [5]: токен сервиса может представлять собой простой или переводной вексель; обеспечиваться валютой, товарами или услугами; иметь любую ависту; являться именным или быть свободным к обмену.

Архитектура сервиса

Ниже при описании сервиса используются следующие термины:

- Токен – универсальный цифровой вексель, жизненный цикл которого полностью обеспечивается сервисом.
- Эмитент – участник сервиса; физическое (дееспособное) или юридическое лицо, обладающее ресурсами для возмещения токенов.
- Трассат – участник сервиса; физическое или юридическое лицо, заключившее посредством прямого токена с эмитентом договор, обязывающий возмещать токены эмитента держателям этих токенов оговорёнными заранее денежными суммами, товарами или услугами.
- Держатель – участник сервиса; физическое или юридическое лицо, обладающее правом получения возмещения по токену.
- Представитель эмитента – участник сервиса; физическое лицо, получившее от эмитента права на объявление предложений и использование токенов эмитента в предложениях.
- Предложение – существующий в рамках сервиса контракт, предлагающий конкретные токены за выполнение описанных в нём условий. Предложение может быть *персонализированным* (обращённым к конкретному участнику сервиса) или *обезличенным*.
- Ависта – дата, после наступления которой токен обязан быть возмещён по требованию держателя.
- Стенд предложений – публичный список обезличенных предложений.



Рис.1. Общий вид архитектуры сервиса

Серые прямоугольники – участники сервиса (акторы), синий овал – сервис. Красные стрелки – двусторонние

взаимодействия (информационные потоки), синяя стрелка – распоряжения на межбанковские переводы денежных средств. Операции перевода средств между счетами банков в ЦБ и опущены для облегчения схемы.

На схеме изображены участвующие в сервисе стороны (компоненты всей системы) и основные взаимодействия между ними:

1. Сервис MirTokens.
2. ОПКЦ п.с. «Мир». Выполняет функции:
   - Клиринг, обработка операций, транзакций.
   - Предоставление данных о картах пользователей.
3. Эмитент. Юридическое или физическое лицо. Выполняет функции:
   - Регулирует эмиссию токенов.
   - Обеспечивает токены и гарантирует их выплату.
   - Предоставляет другим участникам сервиса права представителя.
   - Совершает договорённости с трассатами.
   - Вывешивает предложения на стенд.
   - Объявляет персонализированные предложения.
4. Держатель. Юридическое или физическое лицо. Выполняет функции:
   - Получает токен во владение в результате какого-либо договора с эмитентом.
   - Получает возмещение по токену.
5. Представитель эмитента. Физическое лицо. Опциональный участник. Выполняет функции:
   - Предоставляет уже выпущенные эмитентом (давшим право на представительство) токены держателям.
   - Вывешивает предложения на стенд.
   - Объявляет персонализированные предложения.
6. Трассáт. Юридическое или физическое лицо. Опциональный участник. Выполняет функции:
   - Выплачивает возмещение по токену.
   - Заключает договора с эмитентами о включении в список трассатов токена.

Фактически одно и то же физическое или юридическое лицо, являющееся участником сервиса, может играть несколько из представленных ролей (эмитент, держатель, представитель, трассат).

На схеме изображены следующие информационные потоки:

1. Взаимодействие между сервисом и ОПКЦ п.с. «МИР» (АО НСПК), обработка операций. Этот информационный поток порождает движение денежных средств между банками.
2. Двустороннее взаимодействие между сервисом и эмитентом: регистрация в сервисе, эмиссия токенов (регистрация новых токенов), запрос на заключение договора с держателем или трассатом, уведомление эмитента о возмещении токена, запрос в сервис на открытие нового предложения, уведомление о бронировании предложения, уведомление о выполнении предложения, запрос в сервис на подтверждение выполнения предложения.
3. Двустороннее взаимодействие между держателем и сервисом: регистрация в сервисе, уведомление о включении в список возможных держателей токена, запрос в сервис на бронирование предложения, начисление токенов (уведомление), запрос в сервис на возмещение токена, уведомление о списании токенов.
4. Двустороннее взаимодействие между представителем эмитента и сервисом: запрос в сервис на открытие нового предложения, уведомление о бронировании предложения, уведомление о выполнении предложения, запрос в сервис на подтверждение выполнения предложения.
5. Двустороннее взаимодействие между трассатом и сервисом: уведомление о запросе держателя на возмещение токена, запрос на закрытие токена.

Области применения сервиса

Российский вексельный рынок имеет ряд проблем. Не имеющие реального обеспечения векселя встречаются более, чем в 2/3 операций. [6] Часто заключаются криминальные сделки. [7] Действующее законодательство, регулирующие операции с векселями, не соответствует актуальным потребностям участников рынка. Кроме того, переход к цифровой экономике способствует переводу многих форм сделок и операций в сферу электронной коммерции, включая и сделки на рынке ценных бумаг. [8] За счёт этого повышается их эффективность и защищённость.

Сервис MirTokens, при условии разрешения противоречий со статьёй 4 Федерального закона от 11.03.1997 № 48-ФЗ «О переводном и простом векселе», устраняет вышеперечисленные проблемы вексельного рынка. Это позволит физическим и юридическим лицам быстро и удобно заключать сделки. Безопасность сделки обеспечивается контролем над соблюдением обязательств обеими сторонами сделки. Более того, токен сервиса расширяет представление о векселе, позволяя возмещать его не только денежными суммами, но и различными товарами и услугами.

В частности, это сделает мотивирование сотрудников организации любого типа проще и доступнее за счёт сделок между работодателями и их подчинёнными. Работодатель может дать гарантированное обещание выплатить денежную премию позднее, либо предложить иную награду работнику. Предполагается, что это должно привлечь вложения юридических лиц.

Заключение

Предлагаемый сервис потенциально способен стать стандартом цифровых векселей в Российской Федерации. Помимо широкого практического применения в качестве долгового инструмента, сервис может быть интересен возможностью внедрения технологии блокчейн [9], а также принципиально новыми данными для изучения экономики токенов.

Список литературы:

1. «Сведения о работе по государственной регистрации юридических лиц по состоянию на 01.01.2021», официальный сайт Федеральной налоговой службы Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://www.nalog.ru/rn77//related_activities/statistics_and_analytics/forms/9558929/ (дата обращения: 18.02.2021).
2. Официальный сайт независимого информационного агентства «Интерфакс» [Электронный ресурс]. URL: https://www.interfax.ru/ (дата обращения: 18.02.2021).
3. «Билеты улетят за токены», газета «Коммерсантъ» №153 от 26.08.2020, стр. 6 [Электронный ресурс]. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4467224 (дата обращения: 18.02.2021).
4. «Сбербанк регистрирует собственную криптовалюту», ежемесячный журнал «CNews» [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-01-22_sberbank_vserez_natselilsya (дата обращения: 18.02.2021).
5. Вексель // Финансово-кредитный словарь. — Москва: Издательство "Финансы и статистика", 1984.
6. Боброва О.Е., Макарова Т.С. О проблемах вексельного обращения в России // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. -2012. -№ 3. -С. 264-270.
7. Белов В. А. Вексельные преступления//Законодательство. -1997. -№ 5.
8. Аладин Н.В. Электронный документооборот для всех и для всего // Банковские технологии, 2008.

Beck, Roman. (2018). Beyond Bitcoin: The Rise of Blockchain World. Computer. 51. 54-58. 10.1109/MC.2018.1451660.

VR-ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ЯХТСМЕНОВ

А.С. Юлдашов, М.М. Соловьев,
Е.А. Еременко, А.В. Капочкина, А.А. Азаров
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается возможность применения технологии виртуальной реальности в разработке симулятора для яхтсменов. Симулятор планируется использовать на начальных этапах обучения управлению яхтой.

Введение

В условиях периода третьего энергетического перехода люди стали больше отдавать преимущество эффективным и малозатратным технологиям взамен привычным моделям. Например, в ходе обучения яхтсменов требуется реальная яхта для отработки маневров. С целью упрощения обучения заказчики, школы «Спортфлот» и «Далеко», заказали VR-тренажёр для яхтсменов. Задачей данной разработки было предоставление пользователями возможности отработки практических навыков маневрирования килевой яхты в марине (порту) под мотором.

Разрабатываемое комплексное решение основывается на специфическом математическом аппарате, инженерных механизмах и программном обеспечении.

Решение

Разработка включает в себя VR-очки, соединенные с компьютером, реальный прототип штурвала и ‘гашетки’, содержащий специально разработанную электронику и передающий данные на VR о положениях управляющих элементов. Идея заключается в передаче реальных ощущений обучения на яхте посредством соответствующей визуализации и механизмов.

Аналоги

Аналогичных разработок не существует, однако есть обучающие приложения для смартфона. Например, Dock your Bot, являющееся обычным 3D симулятором-приложением.

Математический базис

Математика движения яхты в VR-пространстве строится на основе волнового воздействия, динамических и математических уравнений движения, которые описываются программно.

Уравнение движения лодки, характеризующее поступательное движение центра инерции лодки, согласно 2-му закону Ньютона имеет вид:

$$m_1 \frac{dv}{dt} = F \quad (1)$$

Уравнение (1) описывает равенство вектора равнодействующей силы для внешних сил F произведению m_1 (масса судна с учетом присоединенной массы воды) на линейное ускорение лодки dv_c/dt.

Уравнение (2) представляет собой равенство вектора главного момента внешних сил F относительно вертикальной оси вращения судна M_c произведению момента инерции судна с учетом присоединенного момента инерции масс воды относительно той же оси J_1 на угловое ускорение dw/dt:

$$J_1 = \frac{dw_c}{dt} \quad M_c \quad (2)$$

Уравнение (2) характеризует вращательное движение судна.

В некоторых случаях необходимо рассматривать сложное движение: движение относительно неинерциальной системы.

Тогда уравнения движения будут иметь вид:

$$m_x \frac{dv_x}{dt} + m_z w_y v_z = F_x \quad (3)$$

$$m_z \frac{dv_z}{dt} - m_x w_y v_x = F_z \quad (4)$$

$$J_y \frac{dw_y}{dt} + (m_x - m_z) v_x v_z = M_y \quad (5)$$

Силы и моменты в системе включают в себя силы от средств управления, гидро- и аэродинамические силы и ветро-волновые возмущения [1]:

$$F_x = F_{xH} + F_{xP} + F_{xR} + F_{xA} + F_{xW} \quad (6)$$

$$F_z = F_{zH} + F_{zP} + F_{zR} + F_{zA} + F_{zW} \quad (7)$$

$$M_y = M_{yH} + M_{yP} + M_{yR} + M_{yA} + M_{yW} \quad (8)$$

где:

- F_{xH}, F_{zH}, M_{yH} – гидродинамические силы и момент;
- F_{xP}, F_{zP}, M_{yP} – тяга, боковая сила и момент от гребных винтов;
- F_{xR}, F_{zR}, M_{yR} – сопротивление, подъемная сила и момент на рулях;
- F_{xA}, F_{zA}, M_{yA} – аэродинамические силы и момент;
- F_{xW}, F_{zW}, M_{yW} – силы и момент, вызванные волнением.

Инженерная часть

Прототип состоит из реальных штурвала и ‘гашетки’, также микроконтроллера Arduino Pro Micro, энкодеров на основе шаговых моторов Nema 17, редуктора с мотором для возвращающегося усилия. Для создания такого усилия использован войлочный круг, который, взаимодействуя с мотором и с осью штурвала, может создавать нужные для реального ощущения моменты сопротивления или доворачивания.

Компоненты тренажера образуют цельный и собранный механизм.

Использование шаговых моторов в качестве энкодеров

Для того, чтобы сделать из шаговых моторов энкодеры, использована специфическая схема с усилителем, как на рис. 1 слева. Для проектирования были использованы материалы из источника [2].

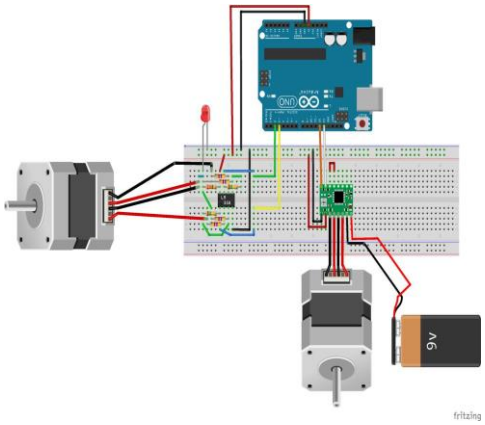


Рис.1. Шаговый мотор с двойным усилителем, подключенный к Arduino Uno

Программное обеспечение

Для соединения физического оборудования и VR-гарнитуры со стороны микроконтроллера эмулирована клавиатура с помощью HID, данные значения принимаются в программе виртуальной реальности. Значения отсылаются с энкодеров как сигналы с клавиатуры. Для того, чтобы сделать из Arduino Pro Micro HID устройство был

использован источник [3]. Для получения значений в Unrial Engine 4 был использован материал [4]. Происходит моделирование движений в виртуальной среде, реагирующей на действия человека с тренажером.

Команды для создания возвращающего усилия посылает сам микроконтроллер.

Архитектура разработки

Физическая архитектура разработки изображена рис. 2, VR-архитектура представлена на рис. 3.

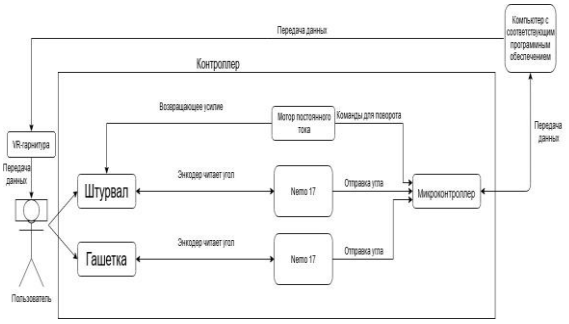


Рис.2. Физическая архитектура

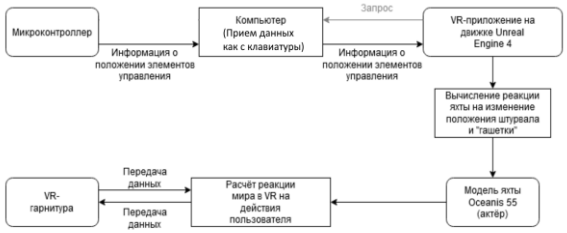


Рис.3. VR-архитектура

Скриншоты результатов

Скриншоты с электроникой и VR-гарнитурой с экраном продемонстрированы на рис. 4 и рис. 5.

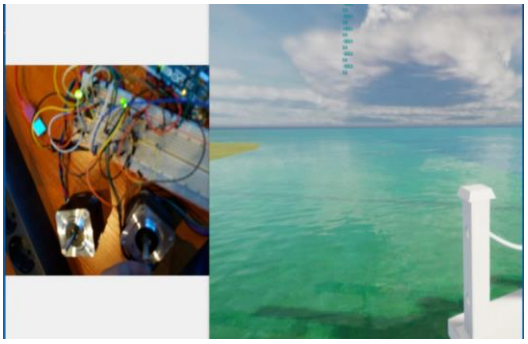


Рис.4. Скриншот с электроникой - энкодерами и VR-монитором

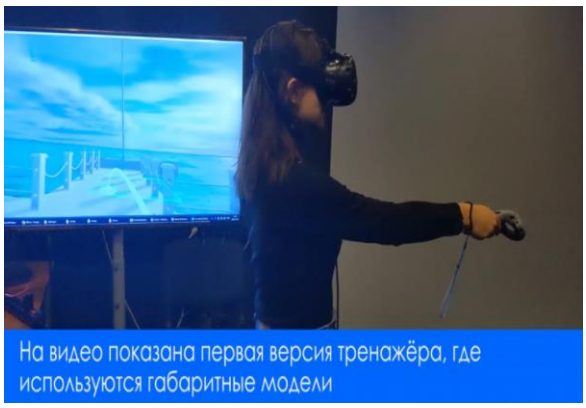


Рис.5. Скриншот с монитором, где изображено море с яхтой и мариной; с VR-очками

Заключение

На данный момент интегрирована модель яхты, организована передача данных с Arduino на компьютер, опробовано алгоритмическое движение яхты по плоскости, продумано и реализовано считывание с энкодеров, продуман механизм возвращающегося усилия, проанализирована модель движения яхты, сделана первичная модель управления яхтой с клавиатуры.

Для механической части выбраны шаговые моторчики из-за своих габаритов. Возвращающее усилие будет реализовано через войлочный круг. Для программирования VR использована IDE Unrial Engine 4, предоставляющая подходящий широкий инструментарий для моделирования [5].

Список литературы:

1. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»: Описание математической модели движения морского подвижного объекта в горизонтальной плоскости. — Санкт-Петербург, 2018. https://etu.ru/assets/files/Faculty-FEA/ksu/modeldescription.pdf
2. Using Stepper Motor As Rotary Encoder. URL: https://www.instructables.com/Using-Stepper-Motor-As-Rotary-Encoder/ (дата обращения 18.02.21)
3. https://cxem.net/arduino/arduino231.php
4. https://docs.unrealengine.com/en-US/BlueprintAPI/Input/KeyboardEvents/index.html
5. https://docs.unrealengine.com/en-US/Resources/index.html

Секция
«Инновационные технологии в дизайне»

ВИРТУАЛЬНАЯ ОДЕЖДА КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В СЕТЕВОМ ИСКУССТВЕ

Д.П. Корекова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», школа дизайна

Аннотация

В работе рассматривается взаимодействие моды и компьютерных технологий в перспективе развития новых путей коммуникации и изменения восприятия внешнего облика человека в сети Интернет.

Введение

Развитие технологий влияют на все сферы жизнедеятельности человека, в том числе и на сферу искусства и культуры. Для искусства важно взаимодействовать со зрителем, получать обратную связь на художественное высказывание. Диалог между создателем предмета искусства и конечным получателем дает импульс развития отрасли. Появление широких дешевых каналов связи, развития социальных сетей и ресурсов Web 2.0 привело к разнообразию форм взаимодействия. Так для выражения эмоций и смысла произведения активно используются интерактивные элементы, виртуальная и дополненная реальность. Во время локдауна из-за пандемии COVID-19 резко возросла интернет-активность: пользователи работали и искали развлечения в онлайне. Благодаря карантину началось развитие рынка виртуальной одежды. Произошли первые продажи, появились специализированные магазины и коллаборации с известными брендами.

Целью данной работы является определить художественную ценность развития виртуальной модной индустрии, вывить проблематику и предположить пути развития. Популярность виртуальной одежды может изменить отношение к покупкам для создания имиджа в социальных сетях.

Предпосылки развития

Виртуальная одежда – это одежда, созданная с помощью компьютерной графики и пригодна только для использования в социальных сетях: на фотографиях или видео. Для того, чтобы примерить виртуальную одежду необходимо в специальном магазине выбрать понравившийся набор предметов, отправить фотографию специалистам магазина и через сутки получить готовую работу.

Первым дизайнером цифровой одежды принято считать Кэт Тейлор, известную под псевдонимом Cattytay. Она разрабатывает виртуальную одежду с 2015 года. Cattytay сотрудничает с всемирно известными брендами, такими как Vetements, Gucci, Off-White, Balenciaga и Alexander Wang, трансформируя их известные сшитые модели в digital-формат, но вещи собственного авторства не продает. Первые упоминания об исследованиях 3D технологий для применения в модной индустрии были в 2015 году, на специальной конференции в Сеуле, Южная Корея. Швейцарский коммуникационный журнал SComS - Studies in Communication Sciences опубликовал специальный тематический раздел, посвященный коммуникации в моде: между традициями и цифровой трансформацией. Первое цифровое кутюрное платье Iridescence от The Fabricant было продано в 2019 году за 9500 долларов США, об этом сообщил журнал Forbes.

Важным этапом для развития виртуальной одежды стало развитие игровой индустрии. Пользователи обращают особое внимание на внешний вид игрового персонажа и сопутствующую атрибутику. Создание собственного аватара, в некоторых играх и фильмах является главной сюжетной линией. Для популярных брендов – это стало отличным способом расширения в интернет пространство. В апреле 2019 года Moschino совместно с симулятором The Sims выпустил капсульную коллекцию, в которой была представлена фирменная одежда Джереми Скотта.

Прорывным для digital моды стал период карантина из-за пандемии COVID-19 в 2020 году. Многие сферы, в том числе и мода, были вынуждены адаптироваться под условия новой реальности с ограничениями на социальный контакт. 4-го марта того же года, российский дизайнер Регина Турбина продала свой первый виртуальный наряд — за 5000 рублей.

На сегодняшний день существует несколько магазинов виртуальной одежды, самые известные из которых: The fabricant и dress-x. Они также делают коллаборации с различными брендами и дизайнерами. Стоимость дизайнерских вещей в digital варианте заметно ниже, например, кроссовки Buffalo, коллекции 2021 во флагманском магазине стоят 150 евро, а новая коллекция совместно с dress-x в виртуальном мире стоит 25 евро.

Таким образом, развитие модной индустрии в цифровой реальности позволит снизить стоимость производства вещей люксового сегмента и сделать их более доступными. Снижение темпа производства легкой промышленности, приведет к сокращению отходов, что окажет благоприятное влияние на экологию.

Проблематика

Мода является одной из форм социального взаимодействия. С помощью внешнего облика человек транслирует свои ценности и определяет желаемое место в обществе. Цифровая мода помогает расширить границы интерпритации создаваемых образов из-за отсутствия рамок в подборе текстур и практическими свойствами конструкции костюма.

Благодаря специальным технологиям, в виртуальной одежде могут быть использованы более смелые, чем в реальности, фасоны, с нанесением нереальных фактур и эффектов. Такая одежда дает больше свободы для выражения художественной мысли дизайнера, не вызывая сложностей с конструированием и практическим удобством. Благодаря диджитализации дизайн одежды может создаваться не только человеком, но и искусственным интеллектом. Это расширит понимание человеком дизайна и изменит художественную ценность работы.

Благодаря появлению 3D-технологий производство одежды станет быстрее, что приведет к ускоренному темпу смены актуальных тенденций. Но на данный момент этому препятствует сложность процесса производства. Для примерки вещи требуется ручной труд дизайнера. Тем не менее, глава Агентства инноваций моды в Лондонском колледже моды Мэтью Дринкуотер считает, что через некоторое время виртуальная одежда станет обычным делом.

Заключение

Оцифровка различных сфер жизни человечества идет достаточно быстрыми темпами. Мода, не исключение и индустрию ждут большие перемены. Однако, виртуальная одежда не сможет заменить реальную, но внесет больше разнообразия. Можно сказать, что COVID-19 ускорил цифровую трансформацию моды.

В итоге доступность виртуальных коллекций сможет решить проблему покупки одежды ради создания имиджа на просторах интернет, позволит внести большее разнообразие во внешний облик.

Список литературы:

1. Алябьева Л. Теория моды: одежда, тело, культура. Выпуск 52. Лето 2019. М.: Новое литературное обозрение, 2019.

2. The Evolution of Space Age Fashion. [Электронный ресурс] URL: https://www.highsnobiety.com/p/evolutionspace-aged-fashion/

3. Sabine Seymour. Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science and Technology. Springer Vienna Architecture, 2008.

4. Designers explore the future of digital clothing. [Электронный ресурс] URL: https://www.voguebusiness.com/technology/digital-fashion-virtual-clothing-3d-design

5. Компьютерные технологии в фэшн-коммуникации: проблемы и перспективы. [Электронный ресурс] URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44157511

6. Fashion communication: Between tradition and digital transformation [Электронный ресурс] URL: https://www.hope.uzh.ch/scoms/article/view/j.scoms.2018.02.005

7. Virtual Catwalks And Digital Fashion: How COVID-19 Is Changing The Fashion Industry [Электронный ресурс] URL: https://www.forbes.com/sites/brookerobertsislam/2020/04/06/virtual-catwalks-and-digital-fashion-how-covid-19-is-changing-the-fashion-industry/?sh=7cf9f456554e

8. The Fabricant [Электронный ресурс] URL: https://www.thefabricant.com/

9. Dress-x [Электронный ресурс] URL: https://dress-x.com/

10. Cattytay [Электронный ресурс] URL: https://www.instagram.com/cattytay/?hl=ru

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

А.С. Силантьева
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет коммуникаций, медиа и дизайна, школа дизайна

Аннотация

С появлением новых медиа изменяется и способ взаимодействия с архитектурой, обусловленный возникновением нового пространства для ее существования. В виртуальном мире, как и в реальном, архитектура остается предметно-пространственной структурой, созданной человеком для человека, воплощенной формой которой становятся различные здания, постройки, объекты и коммуникации между ними. Проекты, существующие в виртуальном пространстве, так или иначе тяготеют к представлениям о реальной архитектуре, к архитектурной фантазии, основанной на жизненном опыте и впечатлениях проектирующего человека. Таким образом виртуальное пространство в той или иной степени отражает реальное. Тем не менее представления о реальной и виртуальной архитектуре находятся в конфронтации друг с другом, подчеркнутой в том числе и лингвистически. Одним из главных отличий является изменение способа воздействия на наблюдателя. Кроме того, объем переосмысляется за счет изменения способа передвижения в пространстве, когда привычные законы физики могут не работать при перемещении камеры (в связи с этим частой проблемой становится обозначение масштабов разрабатываемого объекта, решаемой посредством добавления предметов с узнаваемыми размерами для визуального сравнения). В этом пространстве материальность становится трансцендентной, а привычная парадигма пространства, времени и места перестает быть актуальной. Таким образом можно создавать то, что в реальности не имело бы места быть в связи с тем, что конструктивный скелет здания может не приниматься во внимание.

Введение

Виртуальную архитектуру можно условно разделить на ту, которая предполагает последующее реальное исполнение и не ориентированную в этом смысле на реальность. В первом случае виртуальная архитектура представляет из себя промежуточный этап проектирования, тогда пространство, в котором она разрабатывается, полностью имитирует привычное нам трехмерное и использует физику реального мира, а компьютер выступает в качестве средства оптимизации в прошлом ручной работы. Такая архитектура обладает отдельной ценностью лично для архитектора как документация его работы, идеи для будущей конструкции (часто еще не подвергшаяся различным правкам). Интересно отметить в этом случае наиболее распространенную тенденцию в архитектурной визуализации - стремление к максимальной фотореалистичности. Таким образом виртуальное пространство выступает в качестве полной симуляции реального. В другом случае виртуальная архитектура становится самоцелью, а не промежуточным результатом, также она не предполагает дальнейшей реализации в реальности. Тогда она находится в противопоставлении реальной архитектуре, объединяя в себе определение архитектуры, совокупность ее идеальных свойств и новые методы воздействия на смотрящего (иная архитектурная форма, свет, звук, изображение и цветовые решения). Таким образом виртуальная архитектура оказывает непосредственное влияние на осмысление и развитие реальной, создаются новые материалы, новые методы формообразования и взаимодействия с человеком и окружающим пространством.

Зарождение виртуальной архитектуры

Маркос Новак - один из пионеров в экспериментах с виртуальной архитектурой, разработчик концепции транслируемой архитектуры. Погружение в четырехмерное пространство с помощью генеративной архитектуры, которая претерпевает изменения во времени, заложено изначально в виде кода.

По мнению философа Стефена Перелла, конфликт между виртуальной и реальной архитектурой может быть снят путем их наложения, «дабы устремить противоречие между миром программ и параметров (данных) и миром образов и смыслов. Виртуальное пространство понимается как отражение нового (высокого) измерения, внедренного в физические объекты и запечатленного в их архитектуре». [1].

Хареш Лалвани продолжил концепцию Перелла о гипероболочке, экспериментируя со свободным формообразованием и многомерными пространствами. Он реализовал множество проектов в 1990-х годах, например, «Сплетение волн», «Гаптические горизонты», которые позже можно было бы использовать в концертных залах в качестве перекрытия.

Параметрическое моделирование

Одно из направлений развития реальной архитектуры может задать параметрическое моделирование, которое подразумевает наличие у математической модели заранее прописанных параметров, которые могут изменяться, трансформируя объект под нужды использующего. Пара-

метрическое моделирование реализует принцип динамичности формы, которая может подстраиваться под использующего. Так проект приобретает способность к изменчивости, реагируя на различные факторы и события, происходящие в экономике, культуре, политике и иных областях. Акцент ставится на взаимодействие с людьми, использующими такие параметрические модели, поэтому процесс проектирования может осуществляться не только самим архитектором, но и рядовым пользователем без потери моделью авторской идентичности. Помимо этого, процесс проектирования начинает плавно сливаться с процессом эксплуатации уже функционирующего проекта. Таким образом виртуальная архитектура становится толчком к переосмыслению роли между архитектором, производителем и пользователем.

Идея параметрического моделирования, изначально направленная на ускорение и рационализацию рабочего процесса, открывает новые перспективы как для виртуальной, так и для реальной архитектуры. Создание динамичных моделей, с которыми может взаимодействовать любой участник процесса, развивает идею будущей интерактивности архитектуры в реальном пространстве и времени. Изменения в такой архитектуре могли бы происходить по сходным принципам с параметрическим моделированием, за счет внесения в общую программу дополнительного кода. Asymptote - Виртуальный музей Гуггенхейма, Нью-Йорк, США, 1999-2002 Проект предполагает то, что посетители музея могут взаимодействовать с пространством, изменяя его форму.

Проект Second Life — трёхмерный виртуальный мир с элементами социальной сети, который насчитывает свыше 1 млн активных пользователей. Проект был разработан и запущен в 2003 году компанией Linden Lab. 2ND LIVE пытается ответить на следующие вопросы посредством программы практических проектов, возможностей профессионального развития для художников, материалов конференций и статей: «Чему можно научиться путем переноса реальных практик в контекст Second Life?», «Как можно сконструировать пространство и событие, чтобы использовать потенциал виртуальной среды, а не просто имитировать повседневную динамику?» Галерея Искусств Принстонского университета в виртуальном кампусе Принстона в Second Life - первое сооружение в серии архитектурных работ, заказанных университетом sl-архитектору Скоупу Кливеру. Основная функция здания - хранение и демонстрация произведений искусства, созданных участниками университетского сообщества. Галерея расположена в центре кампуса "Принстонский Университет». Здание Центра цифровых медиа предназначалось для студентов программы "Магистр цифровых медиа", запущенной в сентябре 2007, и предполагало возможность деконструкции и пересборки. Студенты могли редактировать сооружение под свои потребности.

Взаимодействие человека и архитектуры

Одним из перспективных направлений разработок становится архитектура, находящаяся в симбиозе с человеком и отвечающая его потребностям, но при этом в некоторой степени живущая сама по себе, имитирующая природные структуры и модели поведения. Создание климатически-адаптивной оболочки здания (CABS) определено имитацией поведения живого организма, отвечающего определенными реакциями на воздействие окружающей среды. Фасады и крыши здания в таком случае становятся «кожей» архитектуры, которая обеспечивает динамическое взаимодействие между внешней средой и внутренним пространством здания. Подобные возможности, предоставляемые при работе в виртуальном пространстве, задают определенные направления для развития архитектуры в реальности.

«И далее - устаревшие или вышедшие из строя элементы инфраструктуры будут саморемонтироваться и обновляться посредством нано-атомов, последствия аварий и природных катаклизмов будут «затягиваться» подобно порезам на коже. Сам город уподобится второй «коже» человека, он станет подвижной, эластичной оболочкой, быстро меняющейся и адаптирующейся под нужды своих обитателей. В нём будет своя экосистема, гармонично связанная с природой и адекватно интерпретирующая сигналы извне. Сезонные и погодные изменения климата станут своего рода «раздражителями» «нервной» системы Большого Организма, активирующими соответствующие программы по очистке улиц. Температура, влажность воздуха и дорожных покрытий будет регулироваться целой системой «умных» аппаратов-увлажнителей и ионизаторов, подконтрольных единому компьютерному центру. Инженерное оборудование перестанет существовать в привычном виде, оно станет частью инфраструктурной сети, подобно кровеносной системе, присутствующей изначально, с момента возникновения и «растущей» вместе с оболочкой. Освещение города будет активироваться не в конкретно заданное время, а согласно изменению солнечного цикла и погодным условиям, автоматически регулируя яркость и необходимое количество света». [2]

Фрактальная архитектура

Архитектура сама по себе является системой пространств, ориентированных на различные нужды людей, отделенных как друг от друга, так и от внешнего мира физическими стенами, перегородками. Так важность представляет и внутренний объем, и его оболочка, представление о которых видоизменялось с течением времени и изменениями культурного контекста. Сейчас актуальным остается поиск новых форм, пропорций и методов формообразования. В качестве такого метода могут выступать математические алгоритмы в связке с разработками в сфере искусственного интеллекта, образующими фрактальные архитектурные формы. Фракталы основываются на свойстве самоподобия многих природных явлений – молний, снега, развития клеток и т.д. Например, естественные паттерны Системы Линдермайера (L-systems) придумал венгерский биолог Аристид Линдермайер во время изучения роста водорослей. Теперь L-systems используются в дизайне для визуализации растений, образования снежинки Коха и ковра Серпинского. Бесконечное самоподобие в математических алгоритмах реализуется с помощью рекурсии. Двумерные и трёхмерные аналоги фракталов могут являться основой архитектурных проектов, влияя на внешний облик сооружений и их планировку. Все эти методы так или иначе описывают природные процессы, жизнь живых систем и их эволюцию. Итальянский профессор и архитектор Челестино Содду вместе с группой исследователей из Политехнического института Милана создал несколько лет назад генеративное программное обеспечение, которое генерировало трёхмерные модели итальянских средневековых городов из характерных элементов, аналогичных искусственным ДНК.

Архитектор и программист Майкл Хансмайер создаёт новые архитектурные формы с помощью алгоритмов 3D Subdivision и L-Systems. В проекте «Subdivided Columns» резные колонны полностью повторяют пропорции дорических колонн, но колонны Хансмайера сделаны на 3D-принтере 16 миллионами пластин шириной в 1 мм и достигают 2,7 метров в высоту.

Джулиус Хорстаус использует Mandelbulb 3D (MB3D) Fractal Rendering Software для создания миров из фракталов.

Компания Kokkugia исследует самоорганизующиеся генеративные системы. Они создают алгоритмы, имити-

рующие поведенческие свойства сложных структур, что позволяет взглянуть в направлении "живой" архитектуры, изменяющейся во времени.

Также они проектируют архитектурные формы в пространстве с экстремальными условиями. Такие проекты вне земных законов физики пока что возможны только в специально выстроенной для этого виртуальной реальности, но они уже дают направление для будущего развития реальной архитектуры.

3D печать в архитектуре

Существующая технология 3D печати позволяет не только рационализировать производство, но и воплотить в некоторой степени идеи параметрического моделирования в реальности за счет возможности перехода от массового производства к индивидуальным моделям быстрее и экономичнее, чем в случае с ручным производством по индивидуальным проектам. Так модели смогут оперативно редактироваться, подстраиваясь под нужды конкретного индивида и воспроизводиться с использованием новых материалов.

Саломе Гальяр из инженерной фирмы Arup создаёт 3D-печатные строительные компоненты, которые приведут к более эффективным и разнообразным архитектурным формам, позволят сделать конструкции легче и использовать гораздо меньше материала, чем традиционные методы сварки.

Заключение

Виртуальная архитектура задает направления для развития реальной. Эксперименты в виртуальном пространстве позволяют создать то, что не могло бы существовать. Благодаря этому происходит переосмысление архитектуры, то, что сложно было понять в реальности. Виртуальная архитектура позволяет найти новые формы, методы формообразования. Новые технологии помогают рационализировать процесс создания архитектурных проектов и адаптировать архитектуру к человеку и природе. Расширяет границы впечатлений и чувств. Заставляет задуматься о возможности жизни в виртуальной реальности (далее: VR). Что из этого сейчас более значимо, то, что находится в VR или в реальности? С чем мы вообще сейчас чаще взаимодействуем? Особенно когда возможности передвижения ограничены.

Список литературы:

1. Локотко А. И. Архитектура: авангард, абсурд, фантастика / А.И. Локотко - Минск: Беларус. навука, 2012

2. Сапрыкина Н.А., Сапрыкин И.А. «Безбумажная» архитектура в контексте виртуальной реальности. - Московский архитектурный институт (Государственная Академия), Москва, Россия, 2012.

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ПОЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСНЫХ ПРАКТИК МОЛОДОГО АКТУАЛЬНОГО ИСКУССТВА В РОССИИ

А.А. Сапожникова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет коммуникаций, медиа и дизайна, школа дизайна

Аннотация

Доклад посвящен исследованию тенденций особенностей развития актуального российского молодого искусства в контексте цифровых и мультимедийных практик на примере выпускников московских институций современного искусства. Особое внимание уделено демонстрации изменчивости применения тела в современных перформативных практиках, а так же его интеграции в междисциплинарный контекст.

Введение

Основной целью исследования является выявление тенденций и систематизация особенностей актуального российского молодого искусства в рамках заданной темы, а также демонстрация изменчивости применения тела в современном искусстве, его интеграции в междисциплинарные практики. Таким образом, основным актуальным методом является: сопоставление и обобщение фактологической информации, а именно личные интервью с художниками- респондентами. Так, основным предметом исследования является тело как инструмент в работах художников на примере работ Катрин Ненашевой, Саши Пучковой, Андрея Ишонина, Эллины Халяпиной и Алисы Смородины в 2010-х годах [1,2,3,4,5].

Истоки, тенденции и перспективы мультимедийного искусства в России

Начиная с анализа исторических и теоретических основ для развития искусства связанного с понятием тела, а также разнообразных медиа практик на российской арт сцене во второй половине 2010-х годов, и соотносим их с актуальными практиками в поле глобального мирового искусства; далее рассмотрим данную проблему на примере актуальных художественных практик, где проанализируем разнообразные кейсы, которые находятся в поле смешанных художественных практик, обратим особое внимание на используемые медиумы.

Работая с темой перформативности в пространстве современных медиа, прежде всего обратим внимание на искусство интернета, потому как оно включает в себя понимание тела в пространстве цифровом пространстве сети, что, в свою очередь, помогает художникам с дистрибуцией, и ставит их в один ряд с нечеловеческими производителями искусствоподобного контента [6,7]. Также обратимся к исходным смыслам и личным рефлексиям художника-актора, которые осуществляются в виртуальной реальности, социальных сетях и мессенджерах в смартфонах, где художники демонстрируют переживания, сопутствующие поиску безопасного пространства, переходя между мирами.

Докладчик предпринимает попытку провести компаративный анализ практик молодых художников, на примере актуальных работ, таких как «Между здесь и там» и «Россия 2020» Катрин Ненашевой, «Capture Мар» Саши Пучковой и «Зона» Эллины Халяпиной, и не только вписать их в имеющуюся критическую систему, но и увидеть тенденции развития мультимедийного тела в искусстве, что бы подтвердить или опровергнуть тезис: перформанс, как телесная практика в российском искусстве в XXI веке продолжает развиваться, впитывая в себя различные элементы современной культуры и питая в ответ актуальное искусство новыми идеями, именами и формами.

Заключение

Основным итогом представленного исследования является выявление магистральной тенденции [исследование виртуального пространства и поиск безопасного пространства в нем] в работе с виртуальным телом, которое становится во многом релевантнее реального, а также демонстрация влияния современных мультимедийных технологий на развитие смешанного искусства.

Список литературы:

1. Lucento A. Care Outside the Comfort Zone: Maternal aesthetics, Katrin Nenasheva and the new politics of performance art in Russia //Performance Research. – 2017. – Т. 22. – №. 4. – С. 79-88.

2. Егор Софронов. Медиация вместо искусства: о Саше Пучковой // Винзавод. Образование Лаборатория художественной критики URL: https://labs.winzavod.ru/egor-sofronov (дата обращения: 17 мая 2020)

3. Заявление Художника // Андрей Ишонин Художник URL: http://www.ishonin.com (дата обращения: 17 мая 2020)

4. Выставка «Тело: цифровые границы» // ОБЪЕДИНЕНИЕ ВЫСТАВОЧНЫЕ ЗАЛЫ МОСКВЫ URL: https://vzmoscow.ru/events/archive/2019/iyun/vistavka_telo_cifrovie_granici/index.php (дата обращения: 19 мая 2020)

5. CV и контакты // Алиса Смородина URL: http://alisasmorodina.com/cvrus.html (дата обращения: 17 мая 2020)

6. Лика Карева. Искусство и интернет // SPECTATE URL: https://spectate.ru/net-art-of-internet/ (дата обращения: 19 мая 2020)

7. Пол К. Цифровое искусство. – Ad Marginem, 2017. С. 120-121.

КИБЕРПЕРФОРМАНС. ФЕНОМЕН ПРИСУТСТВИЯ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

А.С. Ларцев
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет коммуникаций, медиа и дизайна, школа дизайна

Аннотация

В работе рассматривается специфика киберперформанса как формы искусства, проводится анализ феномена присутствия в цифровом перформансе и его эстетическое значение в контексте современных художественных практик. Так же в статье разбирается вопрос о том, как возникновение перформативных практики в киберпространстве расширяет традиционное определение перформанса.

Введение

Перформанс сторониться жесткого самоопределения, прирастает разными жанрами искусств. Киберперформанс тем более флуктуирующее понятие. Чтобы приблизиться к пониманию этой новой для современного искусства сущности следует прояснить само понятие «перформанс» в контексте цифрового поворота, в современном коммуникационном обществе; определить границы перформативной практики на пересечении с другими художественными жестами; исследовать феномен «цифровой телесности» и «кибертелесности», выяснить специфику взаимодействия автора и зрителя в пространстве сети.

Кибертело

Киберсреда дает нам новое цифровое тело, технологии социальных сетей и виртуальной реальности, смешивают границы повседневного и символического, меняют привычное восприятие континуума собственного присутствия. И если кибертело еще пока не существует само по себе, сегодня тело практически каждого человека частично цифровое.

Больше всего с телесностью связан жанр перформанса, который постоянно наращивает свои методы и прирастает инструментарием различных жанров искусств. Естественно, что с возникновением цифрового тела, возник и перформанс в киберсреде.

“Здесь и сейчас”

Исследователи в попытках определить перформанс, часто говорят о важности ощущения присутствия “здесь и сейчас”, и об импровизации перформера в текущем моменте времени, как неотъемлемой части перформанса. То есть можно говорить о том, что перформанс никогда не имеет финальной формы, как, например, картина.

При этом перформеры, все чаще занимаются не только фиксацией процесса, но и изначально выполняют перформанс “под монтаж”, с учетом операторской работы, постобработки и прочего. Это логично для жанра, направленного на преодоление любых границ. В том числе собственных. Но как же различить, это видеоарт или это видеоперформанс? Перестал ли быть перформанс сам собой, если осталась только фиксация действия художника, но перформанс больше не воспроизводиться.

Моя гипотеза, что объект искусства не зафиксирован никогда. Финальный объект искусства складывается в массовом сознании зрителей, смешиваясь с их опытом восприятия действительности. Зритель находится в постоянном взаимодействии объектом искусства. И это взаимодействие никогда не статично. И никогда не повторяется.

То есть даже запись перформанса, это всегда “здесь и сейчас”. Перформанс непосредственного присутствия, не может присвоить себе это ощущение. Любой объект искусства всегда остранен, он направлен на работу с моим восприятием. Не важно насколько непосредственно привязано к текущему моменту времени происходящее в перформансе. Пока зритель переживает момент прямого контакта с произведением, оно не зафиксировано. Но существует в океане интерпретаций, и питается притоками новых зрительских впечатлений.

Итого произведение, никогда не финализировано, оно всегда пластично, поскольку его всегда меняют зрители, контекст, текущая парадигма восприятия, меняющиеся теория.

Значит цифровое воспроизведение перформанса имеет быть право носить название перформанс. Оно сохраняет свойство импровизационности, но эту импровизацию доигрывает зритель в своем сознании.

Если же говорить, о киберперформансе, то возможности интерактивности очевидны. Цифровые устройства и сети, предоставляют художнику весь спектр инструментов, Встроенные функции соцсетей, специальные приложения смешанной реальности.

Природа цифрового перформанса

Киберперформанс я определяю, как перформанс, где коммуникация через киберпространство добавляет нечто новое, свойственное исключительно цифровому миру в коммуникацию между перформером и зрителем.

При этом стоит отметить, что создание виртуальной реальности в принципе свойственно практически всем жанрам искусств. Уникальность же цифрового пространства как инструмента современного перформера в способности создать интимный контакт со зрителем находящимся в отдалении во времени и пространстве, при этом оно позволяет преодолеть барьер отторжения, который может возникать при непосредственном контакте.

Киберпространство подталкивает к исследованию, мы склонным больше себе позволять в виртуальной среде. То, что не могли бы себе позволить в жизни защищенный социальными условностями или физическими ограничениями. Взаимодействие в киберопространстве происходит быстрее, что ускоряет прогресс художественного исследования.

Исследуя киберперформанс

Изучая массив информации о перформансах в цифровой среде, удобно их структурировать по степени нарастания важности digital-фактора как в пространства перформанса, так и в самом перформере. При этом перформансы могут соответствовать критериям разных разделов, приведенных ниже. Попадание в тот или иной раздел, определяется степенью важности именно этого аспекта в изучаемом перформансе.

Прямая трансляция

Перформер это реальный человек в реальном пространстве, показывает свой перформанс через стриминговый сервис. Такой перформанс больше всего похож на традиционный перформанс.

Однако перенос традиционного перформанса в киберпространство меняет как восприятие зрителя, так и ощущения перформера от друг друга и «слитого», многосоставного пространства в котором они находятся. Оно состоит из реальных физических пространств, в которых они существуют в этот момент времени, полностью цифрового пространства программы стриминга, и доступной через камеру цифровой копии пространства зрителя и актора в окне программы.

Цифровой монтаж

Сегодня перформанс не обязательно подразумевает непосредственное присутствие зрителя в момент физических действий перформера. Запись акции может быть только, частью финального перформанса. Монтаж, спецэффекты, создание вымышленного персонажа с фиктивным видео-блогом — возможности перемонтажа записи, открывают широкий инструментарий перед художником. Обозначать видеозапись как перформанс, а не как видеоарт, остается за художником.

Обратная связь в киберпространстве

Перформансы, где медиум киберпространства активно используется для выстраивания и изучения коммуникации между зрителем и перформером, а так же между художниками в групповых перформансах.

Например, в перформансе «Домашнее напряжение» иракский художник Вафаа Билал вел трансляции через Интернет 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, приглашая зрителей смотреть и общаться с ним в любое время суток. Зрителям также была предоставлена возможность стрелять в Билала из пейнтбольного пистолета с роботизированным управлением.

«Домашнее напряжение» было одной из попыток Билала привлечь внимание к насилию и расизму в культуре США после 11 сентября и привлечь внимание к страданиям, которым иракцы подвергались в течение многих лет.

Помимо выдвижения на первый план пережитого опыта войны, «Домашнее напряжение» исследовало феномен насилия с помощью цифровых технологий и геймификации. Одним щелчком мыши онлайн-участники могли становиться солдатами, стреляя из пейнтбольного ружья, которое могло нанести Билалу реальный (если не смертельный) вред.

Использование дополнительного программного и компьютерного обеспечение

Перформансы, для осуществления которых создаются нестандартные программное обеспечение и/или технические устройства

Пример такой акции. «Мы видим во всех направлениях». Шведский художник Йонасом Лунд, создал веб-браузер для совместного синхронизированного просмотра. Перформанс представлял из себя сёрф-вечеринку. Пользователи могли вводить, щелкать и изменять URL-адреса вместе в реальном времени; они могули бороться за контроль над браузером или сидеть сложа руки и позволить своим друзьям показывать им веб-страницы.

Full-digital перформанс

Перформансы, где и художник, и пространство, полностью смоделированы цифровыми

Примерами таких перформансов, могут быть работы художников в виртуальном мире Second Life. Они создают цифровую среду со своими законами, отличными от реальности (антигравитация и полет, неестественные позы, глитчи как способ взаимодействия тел). Художники создают свои цифровые копии (аватары) и взаимодействуют друг с другом в пространстве виртуального мира. Такие работы связаны с исследованием тела, телесности, осязанием.

Заключение

Цифровой перформас уходит все дальше от театральной сцены и даже пространства галереи – в дигитальное пространство, где действуют совершенно новые конвенции, складывающиеся прямо на наших глазах и пока никем не проанализированные систематически.

Киберперформанс расширяет границы определения перформативности, включая в себя акции, не происходящие в непосредственном присутствии зрителя, но зафиксированные каким-либо образом в сети, за счет свойства интерактивности киберпространства.

Настоящая работа побуждает исследователей, занимающимися историей и теорией перформанса, а также художников и дизайнеров обратить внимание на эту малоисследованную область художественных практик.

СТРАТЕГИИ ВИЗУАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ СЕТЕВОГО ИСКУССТВА

П.Ю. Сковородников
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет коммуникаций, медиа и дизайна, школа дизайна

Аннотация

Данное исследование посвящено стратегиям визуальной коммуникации в произведениях сетевого искусства. Мы проанализируем стратегии визуальной коммуникации на основе интернет-технологий и произведений сетевого искусства в разрезе исторического и теоретического аспектов. В рамках исследования мы разберем основные проблемы и влияние технологий на развитие коммуникаций и произведений сетевого искусства.

Понятие «сетевое искусство»

Термин «Сетевое искусство» маркирует тот вид медиаискусства, которое использует в качестве основного средства выражения среды глобальной сети Интернет[1]. В рамках сетевого искусства создаются креативные виртуальные пространства, являющиеся площадкой для неформального взаимодействия художников, теоретиков и зрителей как субъектов сегодняшнего коммуникационного общества. Как отмечал Лев Манович, цифровые технологии изменили не только «ландшафт» в поле современного искусства, но и саму суть медиа, которые в некоторой степени утрачивают свою специфичность, преобразовываясь в ряды нолей и единиц внутри цифровых интерфейсов[2]. Будучи переведены в «цифру», живопись, скульптура, музыка, текст и другие формы произведения лишаются части изначально присущей им фактуры и приобретают новые качества, такие как модульность, вариативность, интерактивность и другие. сегодня же, когда среды глобальной сети становятся креативным пространством для всех пользователей, вопрос о том, что является сетевым искусством и каковы его границы, снова делается актуальным.

Проблема роли автора в сетевом искусстве

Основной технической особенностью сетевого искусства является интерактивность, благодаря которой сетевые произведения взаимодействуют со зрителями, а также дают возможность зрителям-пользователям влиять на контент и взаимодействовать друг с другом.

Интерактивность — это принцип организации системы, при котором цель достигается информационным обменом элементов этой системы. При этом в сетевом искусстве это приводит к размытию роли автора, зритель фактически становится соавтором произведения.

Хотя тезис Ролана Барта о смерти Автора был выдвинут еще в 1960-е годы, на заре развития новых медиа и компьютерных сетей, он сохраняет свою актуальность и даже становится с каждым годом все более значимым, поскольку семиолог рассуждал о возникновении и функционировании знаков в поле изначально не раз-и-навсегда-данных смыслов, а в живом пространстве речи, игры символов и образов, которые могут быть соединены разными цепочками «гиперссылок» и потому роль Читателя в них сопоставима по значимости с ролью автора, а «окончательный монтаж» нарратива зависит от степени включенности каждого из интерпретаторов в процесс порождения смысла [3].

Натали Букчин и Алексей Шульгин опубликовали статью «Введение в Net.art» в 1994 г. [4], которую вскоре окрестили программным манифестом. Они сделали акцент на включенности пользователей сети в процесс создания арт-объекта, на взаимодействие в виртуальном пространстве, на обратную связь. То есть уникальной особенностью сетевого искусства является то, что художник, создавая произведение может не знать, как оно будет выглядеть в итоге, так как произведение в сетевой интерактивной среде может непредсказуемым образом видоизменяться и развиваться. Зритель-пользователь оказывается не пассивным реципиентом, а активным соучастником процесса[5].

Далее мы проанализируем интерактивность в разрезе развития интернет-технологии и произведений сетевого искусства.

Развитие технологий и поиск коммуникаций

Сетевое искусство начинает свою историю от простых буквенно-цифровых конструкций, и сегодня уже приобретает сложные гибридные формы, в которых соединяются самые разные виды медиа. В рамках сетевого искусства создаются креативные виртуальные пространства, являющиеся площадкой для неформального взаимодействия художников, теоретиков и зрителей как субъектов сегодняшнего коммуникационного общества.

Первыми проектами в области сетевого искусства были буквенно-цифровые произведения (ASCII-графика), массово появляющиеся в конце XX века. Это стало возможно благодаря распространению компьютерных сетей и персональных компьютеров. Авторам стало доступно новое пространство для творчества и самовыражения, которое по началу было аскетично, но манило мгновенным общением с людьми по всему миру и новыми возможностями. Из-за низких возможностей компьютерной техники и сетей в этот период приходилось использовать в основном буквенно-цифровую графику в сетевых произведениях.

В конце 1990-х все активнее раскрывается нарративная составляющая, выраженная как в изображениях, так и в тексте. Произведения сетевого искусства становится подобными «интерактивному роману» (пример: О. Лялина «Мой парень вернулся с войны», 1996 г.), а позже нет-арт наполняется звуками и анимированными роликами, его форма становится созвучна «интерактивной анимации». В 2002 году греческий мультимедиа художник Милтос Манетас создаёт со своей молодой командой онлайн-галерею современного искусства, чем бросает вызов знаменитой Биеннале Уитни. Сайт построен на популярной в то время технологии Flash и представлял из себя фронтальную перспективу интерьера галереи, по которой мог перемещаться пользователь[6].

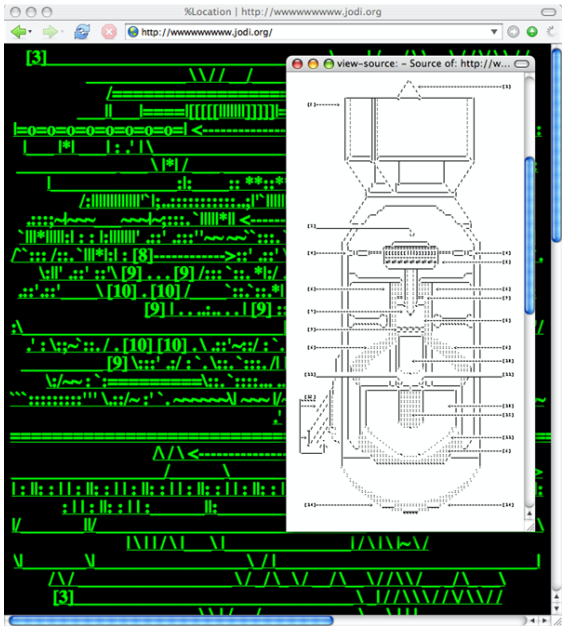


Рис.1. wwwwwwwww.jodi.org
Йоан Хемскерк и Дирк Пасманс, 1995 г.

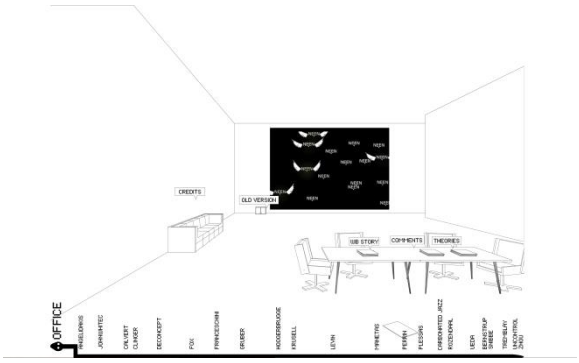


Рис.2. Whitneybiennial.com, Милтас Манетас, 2002 г.

Однако, здесь речь идет все же не о полноценной интерактивности, как показывает Л. Манович, а о «вариативности», то есть, о выборе внутри заданной автором системы. Художники исследуют все возможности графики и интерактивности, которые стали доступны в сети.



Рис.3. Виртуальный город «RMB City», Сяо Фей, 2008 г.

Это становится возможным после появления доступных сетевых игровых движков для создания игровой графики и сетевых игр. Художники переходят от разработки сайтов к созданию трёхмерных миров, используя существующие сетевые платформы. Ярким примером является

создание Сяо Фей галереи современного искусства на платформе онлайн-игры «Second life» («RMB City», 2008 г.), где механизмы арт-рынка «переигрывались» в изначально внерыночных обстоятельствах, однако, уже скоро традиционные формы производства, ценообразования и потребления создали своих «двойников» в игре, благодаря действиям аудитории художницы.

После 2010 года в сети становятся популярны социальные сети, которые позволяют легко организовывать сообщества пользователей и генерировать большие объемы контента. К этому моменту графика уже была хорошо изучена и авторы начали терять к ней интерес, обратив свои взоры в сторону контента. В качестве примера можно привести спектакль Dorm Daze, поставленный английским художником Эдом Форниелесом, который проходил в социальной сети Facebook.

Одним из современных трендов последних лет является использования в произведениях концепции «Интернета вещей». Таким образом пользователем в сетевом произведении может стать не только человек, но и физический предмет («вещь»), что создает новые ниши для творчества. Например, проект eCLOUD художников Арона Коблина, Ник Хафермасс и Дан Гоодс в международном аэропорту Сан-Хосе представляет собой интерьер терминала аэропорта состоящий из 3000 поликарбонатных плиток под названием «LTI SmartGlass», каждая из них способна менять цвет по метеорологическим данным.

Популярной тенденцией 2020 года в интернете является виртуальная одежда, которая появилась в 2015 году, но до эпохи COVID-19 слабо развивалась. Первым дизайнером виртуальной одежды принято считать Кэт Тейлор, которая работает под псевдоним Cattytay.

Важной новостью для сетевого искусства в 2021 году стало известие, что впервые аукционный дом Christie's выставил на продажу полностью цифровое произведение искусства. Продаваемая работа «Каждый день: первые 5000 дней» (2021) создана сетевым художником и графическим дизайнером Майком Винкельманом (псевдоним Beeple), который известен коммерческими проектами для поп-звезд и таких брендов, как Louis Vuitton и Nike. Произведение состоит из 5000 изображений, которые создавались ежедневно в течение 13 лет с 2007 по 2021 год и существуют в виде зашифрованного файла[7].

Заключение

Одной из ключевых и ярких характеристик сетевого искусства является интерактивность, вовлеченность зрителя, становящегося одновременно пользователем/игроком/собеседником художника.

Интернет позволил сетевым художникам обрести уникальную площадку для творчества, которая позволяет мгновенно взаимодействовать со зрителем, обладает интерактивностью, а бурное развитие компьютерных технологий снабжает художников новыми инструментами и возможностями для творчества. Именно поэтому мы можем наблюдать развитие сетевого искусства, которое активно взаимодействует с новыми компьютерными технологиями, быстро подстраиваясь и использует новые технические возможности. При этом стратегии визуальной коммуникации постоянно развиваются и подстраиваются под новые процессы и потребности в сети Интернет.

Произведения сетевого искусства, требуют выработки новых критериев осмысления, описания и оценки этого феномена как такового, встает вопрос о том, что считать нет-артом и как анализировать его развитие, как оно вписывается в логику сайнс-арт и искусства новых медиа [8]. Это поле с необходимостью является междисциплинарным, поскольку здесь должны объединяться разные направления науки.

Сетевое искусство, зародившиеся в первых компьютерных сетях в виде ASCII-графики, пересекает границы медиумов, разворачиваясь в виртуальном пространстве социальных сетей, замыкающих на себе все формы искусства и аспекты реальности. Сегодня сетевое искусство переживает второе рождение как концептуальное пространство, поскольку Lockdown более чем на год вынудил авторов трансформировать все средства выражения в цифровой формат, а интернет стал единой опосредующей все виды искусства средой.

Список литературы:

1. Пол К. Цифровое искусство М.: Ад Маргинем Пресс, 2017.
2. Манович Л. Язык новых медиа. М.: Ад Маргинем Пресс, 2018.
3. Барт, Р. Camera lucida. Комментарий к фотографии. М.: Ад Маргинем, 2011.
4. Introduction to net.art (1994-1999) http://www.easylife.org/netart/
5. Старусева-Першеева А. Д. Роль зрителя в экранных искусствах // Обсерватория культуры. 2017. Т. 14. № 3. С. 302-309.
6. WhitneyBiennial http://whitneybiennial.com
7. «Артгид» — интернет-ресурс, посвященный художественной жизни России. https://artguide.com/news/7682
8. Фадеева Т. Е. Концептуальные стратегии сближения науки и искусства: синтопия против индустрии образов // Коммуникации. Медиа. Дизайн. 2017. Т. 2. № 4. С. 91-104.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ГИД С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПО ДОМУ ДУРАСОВА

И.А. Мотайленко[1], М.Е. Фирсова[1], Д.С. Егоров[1], П.И. Самойленко[2], Д.Р. Рахимова[1]

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

[1] департамент компьютерной инженерии,

[2] департамент прикладной математики

МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе представлено описание интерактивного гида с использованием технологий дополненной реальности для Дома Дурасова, описана разработка приложения и создания 3D контента для экскурсий с использованием технологий дополненной реальности.

Введение

Городская усадьба Дурасова (дом Дурасова) — бывшая усадьба семьи Дурасовых, находится в Москве на Покровском бульваре, 11. Построена в конце XVIII века. Роду Дурасовых дом принадлежал до 1825 года. Затем в течение 14 лет им владел граф Дмитриев-Мамонов. В 1839 году в Доме Дурасова размещается Практическая академия коммерческих наук. С этого момента бывшая усадьба служит на благо системы высшего образования страны, и за следующие полтора столетия успела побывать и Социалистической академией, и Высшим инженерно-строительным училищем, и Военно-инженерной академией имени Валериана Куйбышева. С 2006-го и по настоящее время здание является одним из корпусов кампуса Национального исследовательского университет Высшая школа экономики.

В рамках реализации социальной миссии НИУ ВШЭ Дом Дурасова позиционируется как яркий объект культурного и исторического наследия города Москвы, который

нуждается в создании цифровой инфраструктуры для повышения иммерсии посетителей Дома Дурасова как объекта культурного наследия.

Современный рынок технологий предоставляет решения как для крупных, так и для маленьких музеев, которые могут преследовать две цели [1-2]:

- осуществление регистрации, хранения и учета музейных коллекций;
- повышение интереса посетителей к выставкам путем лучшей репрезентации коллекций.

Подобные разработки применяются как для создания глобальных платформ для доступа к историческим объектам из любой точки мира, так и для создания интерактивного опыта посетителей внутри музеев. Специфика каждого решения зависит от целей, преследуемых каждым музеем. В работе [3] авторы подробно описывают примеры использования технологий виртуальной и дополненной реальности в музейном деле и при проектировании выставочных пространств. Новые цифровые технологии преобразуют классические формы представления исторической и культурной информации в качественно новые продукты культурных индустрий [4-8].

Область настоящего исследования принадлежит ко второй вышеупомянутой группе. Разрабатываемый интерактивный гид с элементами дополненной реальности (AR-гид) включает в себя аудиогид и текстовое сопровождение, которые сопровождаются AR-визуализацией уникальных объектов, украшавших Дом Дурасовых, и интерактивной моделью самого здания городской усадьбы.

3D-контент

Одной из значительных частей при разработке AR-гида являлась разработка трехмерных сцен.

Трёхмерные сцены разрабатывались в двух направлениях. Первое направление - для визуализации без масштабирования. Второе - с возможностью масштабирования (модель здания Дома Дурасовых).

В рамках первого направления были разработаны 3D модели предметов, украшавших как интерьер Дома Дурасова [9] (барельефы известных полководцев, бюсты Энгельса, Маркса и Ленина), так и пространство возле дома (конный манеж). В ходе работы применялись следующие методы разработки трехмерной графики - скульптинг и полигональное моделирование. Скульптинг - способ моделирования, который применяется для создания органических фигур с высокой детализацией. Программы для скульптинга оптимизированы для работы с большим количеством полигонов, и позволяют переносить детали с высокополигональных моделей на низкополигональных путем проекции или запекания карт нормалей. В проекте для скульптурирования органических моделей была использована программа Zbrush. Полигональное моделирование чаще всего применяется для создания объектов искусственных объектов с твердой поверхностью. Для полигонального моделирования были использованы программы 3Ds Max и Cinema 4D.



Рис.1. 3D модели барельефа М. Кутузова и бюста К.Маркса

В рамках второго направления сцен - с возможностью масштабирования, была разработана модель здания Дома Дурасова. А с использование платформы Autodesk Forge реализована возможность интерактивного взаимодействия с копией музея-усадьбы (рис. 2). Для моделирования здания с украшающими фасад лепнинами, были также использованы программы для скульптинга (Zbrush) и полигонального моделирования (3Ds Max, Cinema 4D).

Для тестирования качества текстурирования моделей и вида 3D сцен, была использована профессиональная программа для рендеринга KeyShot 5.

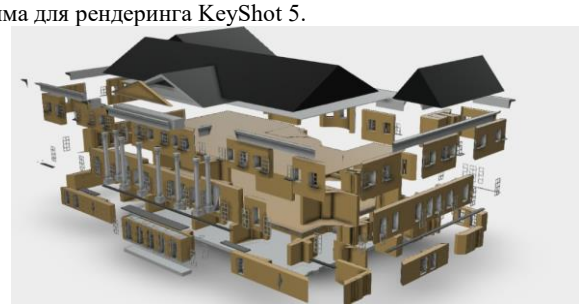


Рис.2. 3D модель здания в Autodesk Forge



Рис.3. 3D лепнины и интерьера

Сцены дополненной реальности

Для создания AR-сцен использовалась среда ARFoundation [10]. В составе среды реализованы уникальные особенности Unity, такие как физика и фотореалистичный рендеринг. Для использования ARFoundation устройство должно поддерживать ARCore для Android или ARKit для iOS. С помощью ARFoundation возможно:

- Отслеживание положения и ориентации устройства в физическом пространстве.
- Отслеживание горизонтальных и вертикальных плоскостей.
- Обнаружение и отслеживание 2D и 3D объектов.

При создании сцен дополненной реальности, были использованы 3D модели, разработанные специально для Дома Дурасовых.

Для корректного размещения 3D моделей в дополненной реальности используется технология Image Tracking и Plane Detection, а в качестве изображений для трекинга, используются QR-коды, расположенные в Доме Дурасовых. Модуль сканирования изображений интегрирован в приложение; сканирование происходит с помощью камеры устройства.

Специфика приложения AR-гида по Дому Дурасова

Одним из основных аспектов в создании AR-гида по музею-усадьбе Дома Дурасова является разработка приложения.

Следует отметить, что при разработке гида дополненной реальности была учтена специфика дома Дурасова, а именно: расположение точек интереса как снаружи здания и в больших залах, так и в камерных комнатах, а также разнородный контент, использованный в гиде - от аудиодорожек до анимированных сцен в дополненной реальности.

С учетом вышеупомянутой особенности Дома Дурасова, был проведен обзор и анализ существующих аналогов на российском и мировых рынках в области приложений для музеев. Результатом стало решение разработать соб-

ственное приложение, которое бы удовлетворяло всем ожидаемым требованиям - наличие аудиогида и текстового описания для каждой точки интереса, поскольку критически важно рассказать об исторической ценности каждой комнаты здания, попутно иллюстрируя повествование видео или интерактивным AR-контентом.

AR-гид по Дому Дурасова призван вывести экскурсии на новый уровень путем повышения вовлеченности посетителя за счет интерактивного медиа-контентом.

Описание разработанной информационной системы

С учетом анализа существующих аналогов, был выделен необходимый функционал системы:

- наличие обучающего раздела, который раскрывает пользователю способ взаимодействия с AR-гидом;
- начальный экран с описанием основной информации о музее;
- аудио плеер, отвечающий за управление воспроизведением аудио файла и навигацию между аудиофайлами;
- режим сканирования QR-кода, открывающий интерактивный контент;
- режим просмотра 2D карты здания, с отмеченным маршрутом.
- настройки приложения, где реализован выбор языка.

Дизайн приложения полностью оптимизирован под имеющиеся для экскурсий планшетные компьютеры Samsung Galaxy Tab S6 и согласуется с последними рекомендациями Samsung One UI Design. Используемая тёмная тема приложения привычна пользователям и удобна в условиях низкой освещенности. Система реализована для мобильной ОС Android с использованием среды разработки Android Studio.

Для разработки приложения использовался язык программирования Java. При проектировании системы нашёл применение архитектурный шаблон MVVM (Model-View-ViewModel), который облегчает разделение разработки графического пользовательского интерфейса от разработки бизнес-логики или внутренней логики модели, позволяет совершать их изменения независимо друг от друга (рис. 5).

Использование элементов Android Jetpack, таких как ViewBinding, Navigation Component, Room, LiveData, согласуется с новейшими подходами в мобильной разработке и позволяет улучшить стабильность работы приложения.

Для обеспечения большей производительности и экономии ресурсов компонента дополненной реальности вынесена в отдельное служебное приложение, которое вызывается с помощью стандартного механизма намерений из основного приложения. Такой подход имеет некоторые преимущества, среди которых гибкость в разработке и обновлении этих компонент.

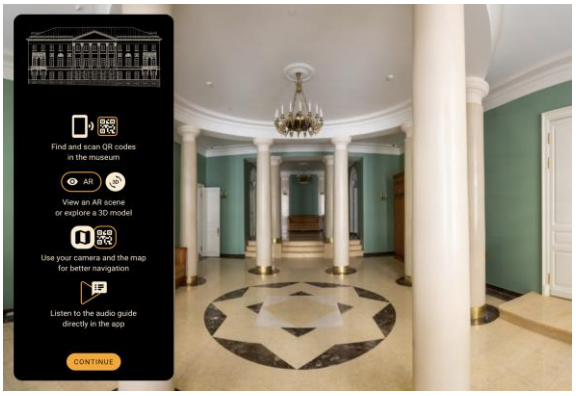


Рис.4. Экран обучения у AR-гида

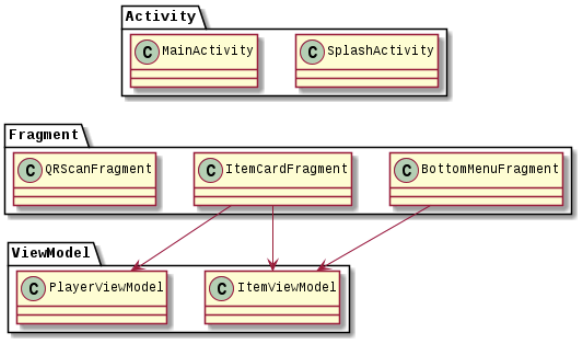


Рис.5. Диаграмма классов приложения

Заключение

На данный момент разработана архитектура конечного пользовательского приложения, которое будет использоваться посетителями Дома Дурасова во время экскурсий, произведена интеграция сцен дополненной реальности и 3D-контента. Разработанный 3D-контент может быть использован в других проектах, направленных на популяризацию культурного наследия Дома Дурасова. Разработанное приложение является одной из составных частей целостной информационной системы хранения и распространения исторического контента, связанного с Домом Дурасова.

Список литературы:

1. Hammady, Ramy, Minhua Ma, and Nicholas Temple: Augmented reality and gamification in heritage museums. Joint International Conference on Serious Games, Springer, Cham (2016).
2. Hammady, Ramy, Minhua Ma, and Nicholas Temple: Augmented reality and gamification in heritage museums. Joint International Conference on Serious Games, Springer, Cham (2016)
3. Aristova U., Rolich A., Staruseva-Persheeva A., Rolich A. Digital Museum Transformation: From a Collection of Exhibits to a Gamut of Emotions // Communications in Computer and Information Science. 2020. Vol. 1. P. 419-435.
4. Определенов В. В., Бузина Ю. В. Как организовывать "цифровой" учет предметов: опыт Пушкинского музея // Справочник руководителя учреждения культуры. 2019. № 9. С. 1-6.
5. Определенов В. В., Бузина Ю. В. Музей в цифровой среде. Как эффективно и системно представить музей в сети // В кн.: Цифровое пространство музея. Сборник статей о цифровом опыте посетителя в современном музее. Политехнический музей, 2019.
6. Определенов В. В., Бузина Ю. В. Сайт музея. Чеклист, который позволит оценить существующий сайт или спланировать работу над новым // В кн.: Цифровое пространство музея. Сборник статей о цифровом опыте посетителя в современном музее. Политехнический музей, 2019.
7. Определенов В. В., Бузина Ю. В., Давлет-Кильдеева С., Великоднева Т., Кислицин Б., Стравинская М., Якубович Н., Козыревская А. Цифровое пространство музея. Сборник статей о цифровом опыте посетителя в современном музее. Политехнический музей, 2019.
8. Определенов В. В., Бузина Ю. В., Пахолкова А. Ю. Виртуальные технологии в музее – опыт Пушкинского // Справочник руководителя учреждения культуры. 2017. № 9
9. Сысоев А.Н. Наш дом истории зданий, занимаемый академией - Издание ВИА, Москва - 1994.
10. ARFoundation Дост. по ссылке: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@2.2/manual/index.html

ФЕНОМЕН AR-МАСОК В СОВРЕМЕННОЙ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СРЕДЕ

М.Е. Фирсова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Распространение дополненной реальности во всех областях, в особенности ее всеобъемлющее присутствие в социальных сетях, которое обещает быть долгосрочным, стало предметом множества исследований за последние годы. Главной целью настоящей работы является разработка прототипов масок, как одного из элементов дополненной реальности.

Итогом исследования являются прототипы масок дополненной реальности, готовые к загрузке в сеть Instagram.

Введение

Современная жизнь или частично, или полностью погружается в онлайн, где господствуют свои тренды и зарождаются новые идеи, перерастающие в тенденции.

Один из самых больших трендов на сегодняшний день — это дополненная реальность.

Каждый раз опыт дополненной реальности по-своему уникален, что подталкивает людей возвращаться к нему снова и снова. Люди испытывают потребность заявлять о своей уникальности другим. Маски дополненной реальности дают им эту возможность.

Данное исследование в большей части будет рассматривать применение дополненной реальности в современном искусстве и социальных медиа, поскольку преследуемой целью настоящей работы, является разработка прототипов масок дополненной реальности.

Слияние технологии и искусства

До 19-го века доминировало классическое традиционное изобразительное искусство, такое как живопись, рисунок и гравюра.

С возникновением буржуазии как класса в новом капиталистическом обществе, процесс создания предметов искусства начал меняться и принимать новые позиции и значимость. Появление оптического оборудования позволило получать изображения, не зависимо от ремесленного производства. Фотография стала новым способом воспроизведения изображений, который уже не связан с ремесленным производством, а скорее с видением и его технологической воспроизводимостью.

В начале 20го века, в эпоху революций, происходило некоторое отрицание традиционной высокой культуры. Авангардисты, особенно футуристы, ратовали за полное её уничтожение [1]. Элементы повседневной жизни начали вторгаться в двумерное пространство фотографии, обозначая начало отношений между искусством и технологией.

Поэтому, 19й век можно считать началом слияния технологии и искусства. С появлением фотографии произошел перелом в традиционном искусстве, согласно Вальтеру Беньямину, Сьюзен Зонтаг [2]. Этот процесс заставил художников задуматься о новых статусе и социальной функции произведения искусства, о его новых производящих материалах, а также послужил отправной точной для медленной и глубокой реорганизации искусства, которая разворачивалась на протяжении всего 20го века.

Использование искусством современных технологических устройств значительно отличается от использования их другими индустриями, такими как сектор потребительских товаров, на что в своем эссе указывает Арлиндо Мачадо [3]. В общем инструменты и кибернетические машины не предназначены для производства предметов искусства, во всяком случае, не в светском понимании этого процесса, как это было в мире примерно с 15-го века. Киберустройства в основном проектируются для автоматизации и редукции каких-либо процедур, но никогда-для производства единичных, “возвышенных” объектов искусства.

Говоря о новых технических достижениях, связь между техникой и искусством может иногда являться результатом противоречий и перевернутых присвоений, поскольку изначально устройства для фотографии и кинематографа не были предназначены для производства искусства и участия в творческом мышлении. Появившееся сплочение между технологией и искусством было установлено вопреки самому искусству.

Возникновение цифрового языка еще больше способствует процессам гибридизации и смешения между творческими медиа. Если аналоговые медиа - фотография, видео, кино – относительно быстро завоевали свое признание в искусстве, то использование цифрового языка и компьютеров подверглось некоторому сопротивлению со стороны художественных СМИ из-за антитехнологических тенденций 70-80х годов 20го века.

И только к концу 20го века стали появляться творческие процессы на исключительно цифровом языке, к примеру как создание сетей, интерактивные произведения, интервенции в виртуальные среды, и многие другие.

Виртуальная и дополненная реальности в искусстве

Если рассматривать техническую сторону вопроса, можно сказать, что создание виртуальных сред или сред дополненной реальности подразумевает под собой полное или частичное погружение пользователя в трехмерную реальность, создаваемую с помощью компьютера, и доступную с помощью оптических устройств, как, например 3D-очки или шлем виртуальной реальности, и/или аксессуаров, таких как перчатки, контроллеры, одежда, оснащенная датчиками, или же просто телефоном (как в случае дополненной реальностью). Теперь речь идет уже не приходится зрителях и создателях, а об участниках. Галерея The Acute Art, расположенная в Лондоне, вовлекает создателей контента и посетителей выставки в обсуждение на тему использования технологий в искусстве.

Работы в знаменитых современных художников в VR Джеффа Кунса - «Phryne» [4] и Марины Абрамович - «Rising» [5], и AR Марко Брамбиллы - «The Four Temperaments» (рис. 1), подтверждают слияние технологий и искусства.



Рис.1. «The Four Temperaments» Марко Брамбиллы

Социальные сети и AR

Компьютерная медиа-культура кардинально изменила представление об изображениях; цифровые фотографии, представляющие собой набор пикселей, принципиально отличаются от аналоговых предшественников. Трудно

сказать, что является главным следствием подобной трансформации фотографии - простота подделки изображения, невозможность точно установить, чем является связь между сделанным изображением и событиями, которые оно запечатлело, но скорее всего, или их неотделимости существования цифровых изображений от сети [6].

Instagram — это социальная сеть, которая позволяет своим пользователям применять фильтры и маски к фотографиям, и загружать получившиеся снимки в сам Instagram, а также в другие социальные сети, такие как Twitter, Tumblr, Facebook. Доступ к самой сети Instagram осуществляется исключительно через мобильное устройство, что образует закрытый канал между смартфоном и сетью.

Маска SWINE

На рисунке 2 слева представлен начальный этап моделирования маски, а справа ее окончательный низкополигональный вариант в программе для 3D моделирования популярной программе 3Ds Max. ПО 3Ds Max предназначено для 3D-моделирования, визуализации и анимации для разработки игр и проектировании, поставляется компанией Autodesk [7].

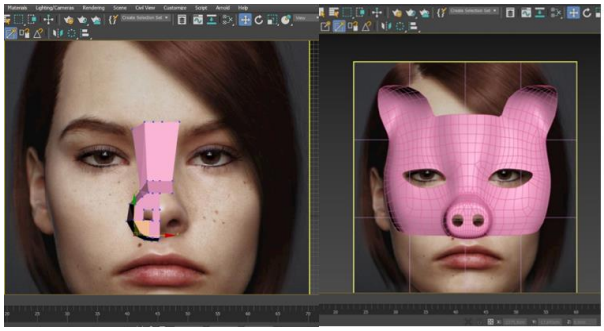


Рис.2. Начальный этап разработки маски в программе 3ds Max

Процесс добавления рельефа в виде топологии множества драгоценных камней огранки «Old European» в программе Zbrush для достижения отражающего эффекта (рис. 3).

Программное обеспечение Zbrush является пакетом для 3D моделирования, разработанным компанией Pixologic. Отличительной особенностью программы является возможность работать с внушительным количеством полигонов, которое измеряется десятками миллионов, и возможностью создавать собственные текстуры.

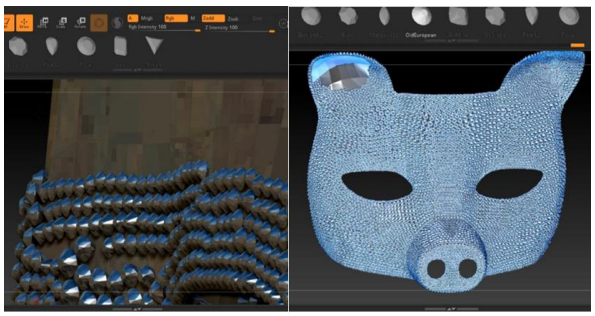


Рис.3. Этап разработки маски в программе Zbrush

Рендер маски на 3d модели, сделанной также в ПО Zbrush, сделанный в программе для рендеринга KeyShot 5 (рис.4).



Рис.4. Окончательный вариант будущего прототипа маски дополненной реальности на 3D модели

Spark AR является партнером социальной сети Instagram, что сделало дополненную реальность еще более доступной для всех. В настоящее время приложение Spark AR позволяет создать собственный AR-фильтр, как художникам, так и рядовым пользователям, и загрузить его в Instagram для того, чтобы поделиться с ним другими пользователями. Результат в Spark AR наложения разработанной маски на 3D сетку человеческой головы можно наблюдать на рисунке 5. Как видно на иллюстрации, в программе можно не только точно разместить маску для корректного отображения на лице, и создать кастомизированную текстуру, но также и увидеть результат предпросмотра на модели.

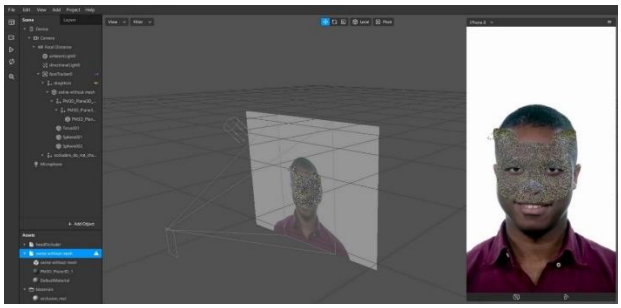


Рис.5. Результат отображения маски на модели в программе Spark AR

AR маска на шею

Заготовка для шейного украшения выполнена также в программе 3ds Max. Заготовка – цилиндр с большим количеством боковых граней и удаленными верхней и нижней гранями (рис 6).

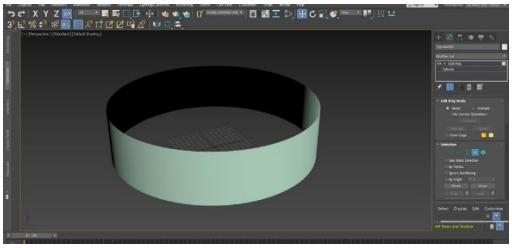


Рис.6. Заготовка для AR маски в виде шейного украшения

В Фотошопе была создано изображение с текстом для использования в альфа-канале текстуры шейного украшения (рис. 7).

В качестве текста используется цитата из произведения «Любовные элегии» Овидия. «Síc ego néc sine té nec técum vívere póssum», что переводится как «не в силах я жить ни с тобой, ни в разлуке с тобою» (Перевод С. Шервинского).



Рис.7. Заготовка текстуры для AR маски шейного украшения

Результат в наложения шейного AR украшения в программе Spark AR. Украшение обладает анимацией – неоновый текст движется по оси Y для возможности прочтения полной цитаты (рис. 8).



Рис.8. Предпросмотр маски с цитатой Овидия в Spark AR

AR маска в виде шейного украшения на модели (рис. 9). Изображение снято с камеры мобильного телефона с помощью приложения Spark AR Player, и является результатом слияния дополненной реальности и действительного окружающего мира. Как видно на рисунке 9, текст отображается корректно и в заданной позиции на человеке.



Рис.9. Неоновая AR маска

Заключение

В современном мире технологии дополненной реальности стали частью социальной культуры, инструментом современного искусства, символом индивидуальности. Дополненная реальность сегодня уже потеснила виртуальную реальность, поскольку дарит возможность пользователю пережить уникальный опыт с помощью всего лишь смартфона. И каждый день, чтобы испытать этот особенный опыт, в социальные сети, охват которых безграничен, возвращаются миллионы людей, примеряя бесконечные варианты масок дополненной реальности.

Список литературы:

1. Хобсбаум Э., Change of the Avant-Garde, RA Magazine, - winter 2007, - №97.
2. Беньямин В., Краткая история фотографии, Ад Маргинем Пресс, - 2017.
3. Machado A., Art and Media, Extensão em Foco, -2008, -№ 2.
4. How Jeff Koons created Phryne, his virtual ballerina, [Электронный ресурс] // URL: https://acuteart.com/jeff-koons-virtual-ballerina-phryne/ (дата обращения: 28.01.2021)
5. Behind the scenes of Marina Abramovic's Rising, [Электронный ресурс] // URL: https://acuteart.com/marina-abramovic-behind-the-scenes/ (дата обращения: 29.01.2021)
6. Stiegler B., The Image and the After Image, Art/Digital Photography: Reinventing the Image, - 1995
7. Gahan A., 3ds Max Modeling for Games, : Insider's Guide to Game Character, Vehicle, and Environment, Autodesk - 2011

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ АНАТОМИЧЕСКИХ ВЕНЕР

А.Д. Гармаш
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», школа дизайна

Аннотация

Первые анатомические Венеры были созданы в XVIII веке в Италии. Несмотря на то, что изначально Венеры разрабатывались для медицинского сообщества, почти мгновенно они приобрели популярность и среди остального населения. Начиная с XXI века благодаря возможности 3D моделирования анатомические модели были переведены в виртуальную среду: приложения для изучения анатомическими с 3D моделями, экспонаты в музеях виртуальной реальности, проекты позволяющие взаимодействовать с объектами с использованием дополненной и смешенной реальности.

Введение

В конце XVIII века скульптор Клемент Сусини (Clemente Susini) создал серию восковых фигур под названием «Анатомические Венеры». После себя скульптор оставил более 2000 произведений, выполненных в этой технике. Реалистичные модели Сусини анатомически точны и даже украшены драгоценностями и человеческими волосами. В каждой скульптуре воплощён образ застывшей красавицы, поэтому анатомические Венеры встают в один ряд с остальными представительницами своего имени в мировой художественной культуре (рис. 1). Анатомические Венеры изменили представление о методических материалах того времени, став «ожившей» медицинской иллюстрацией. В Венерах совмещена научная достоверность и художественный подход к визуализации анатомии. «Слои» Венеры колористически выверены, поэтому каждая скульптура является уникальной по цветовой гамме. Особое внимание уделялось глазам Венеры и эмоциям, запечатлённым на лице. Самые популярные экземпляры, дошедшие до наших дней, были созданы между 1770 и 1782 годами, их можно увидеть в музее зоологии и естественной истории La Specola во Флоренции или Спицера в Германии (рис. 2).

Для того чтобы понять секрет популярности анатомических Венер важно учитывать историю публичного экспонирования. Хотя притягательность анатомических скульптур в качестве экспонатов для широкого зрителя частично обязана новизной, важную роль сыграл еще один фактор – традиция изобразительного искусства представлять обнаженных женщин в образе Венер. Среди самых известных можно выделить Венеру Милосскую, «Рождение Венеры» Боттичелли и «Венеру Урбинскую» Тициана. Существование этой более ранней традиции и ее вклад в формирование образа анатомических Венер одновременно объясняет частично популярность последних, а также ту

легкость и стремительность, с которой они смогли переместиться из профессионального узко-медицинского контекста в сферу искусства.

Анатомия в сети

Несмотря на огромную популярность, восковые скульптуры так и не вышли на широкий рынок. Это было связано с тем, что производить такие скульптуры было сложно, долго и дорого. Поэтому Венер передислоцируют в музеи под стекло, присваивая статус объекта искусства.



Рис.1. The sleeping Beauty, Philippe Curtius, 1925 (реплика скульптуры 1767)



Рис.2. Анатомическая Венера из Музея Спицера, Германия

Начиная с XX с ужесточением прежних законов, и введением новых, происходит нехватка материалов для анатомических театров. Это приводит к появлению пластиковых манекенов (копии тел и отдельных органов) для обучения студентов медиков. Из-за того, что кадаверный (трупный) материал для изучения анатомии и вовсе убрали из институтов, с 1980-х благодаря развитию технологий и всемирной сети интернет на смену пластиковым анатомическим моделям пришли сайты, а затем и приложения с 3D анатомическими моделями

(рис. 3). Сейчас студентам для обучения предлагают использовать современные технологии, ведь их применение не требует особых разрешений или условий. Виртуальное пособие представляет собой компьютерное приложение, способное показать не только классическое строение внутренних органов и костей, характерное только для тела здорового человека, но и объемные модели практически любых существующих патологий.

С первыми виртуальными моделями можно было взаимодействовать только на специальных сайтах, что исключало доступ к контенту без использования интернета. За последние 10 лет качество и текстурирование моделей, а также технические возможности программ значительно повысились. Точная визуализация достигается при помощи технологии 3D-реконструкции по анонимизированным снимкам КТ и МРТ (для воспроизведения костной ткани используются снимки КТ, мягких тканей — мышц, жировой клетчатки, сухожилий, кожи — МРТ). Все анатомические области дополняются соответствующей терминологией и комментариями. С приложениями также как и с манекенами можно рассматривать объекты по отдельности (например кожу, чтобы изучить экорше или оставить только кровеносную систему, если не понятно, как работают круги кровообращения). Такие приложения позволяют взглянуть по-новому на процесс обучения и мотивировать студентов к углубленному изучению анатомии человека, помимо возможности визуализировать конкретный клинический случай дизайн тела намного приятнее и информативнее чем у пластиковых манекенов. Однако по сравнению с Венерами тела в приложении выглядят «бездушно» и представляют меньшую эстетическую ценность. Это может быть связано с выбором цвета. В отличие от восковых моделей, в 3D каждый орган, система проработаны отдельно. Поэтому при общем взгляде на модель изображение выглядит разрозненным.

Новые технологии – реальности

С начала XXI века технологией виртуальной реальности интересуются все больше исследователей и инвесторов, что служит катализатором активного развития отрасли. Сейчас существует несколько разновидностей альтернативной реальности: Виртуальная реальность (VR) – пользователь полностью погружается в смоделированную виртуальную среду; дополненная реальность (AR) – пользователь может видеть цифровое изображение или модель, наложенную на реальный мир; смешанная реальность (MR) – представляет из себя смесь реального и виртуального миров. Пользователь может взаимодействовать как с виртуальными, так и с реальными предметами (используется при обучении хирургов); расширенная реальность (XR) – общий термин для всех вышеописанных реальностей, а также любых других терминов, которые включают в себя использование реального мира с цифровыми взаимодействиями.

Виртуальная реальность работает с помощью гарнитуры, которая позволяет отображать виртуальный мир в реальном. На экранах с высоким разрешением каждому глазу отображаются немного разные изображения. Для обеспечения реалистичности программное обеспечение должно учитывать реальные движения и положение, особенно головы. Это позволяет пользователю естественно двигать головой (и глазами), не теряя в правдоподобности отображения виртуального мира во время движений. Помимо визуальных эффектов в сцене может присутствовать звук, для обеспечения большего погружения. Иммерсивный опыт в виртуальной реальности и любой другой реальности зависит от ряда факторов, которые объединяются для всего опыта. Для погружения необходим мультимодальный опыт, а это означает, что для этого должны быть объединены ряд визуальных и сенсорных стимулов.

В виртуальном мире может присутствовать звук, но он должен быть напрямую связан с действиями, выполняемыми в виртуальном мире. Модальность прикосновения и звуковых сигналов должна восприниматься как естественная. Даже когда пользователь смотрит вверх или вниз, движение должно отображаться в симуляции.

AR может использоваться с помощью различных устройств, таких как смартфоны и планшеты, компьютеры, дисплеи, трекеры, карманные устройства, и даже проекторы. В дополненной реальности используются:

Трекеры - они будут использовать шаблоны или изображения из реального мира в качестве ориентира для устройства AR. QR-код, спрятанный в графическом изображении часто используется для взаимодействия с инфографикой в медицинских плакатах. Записанная анимация или дополнительные эффекты можно увидеть в экране смартфона, наведя камеру на такое изображение. Simultaneous Localization and Mapping или одновременная локализация и построение карты (SLAM) – это метод, используемый в мобильных устройствах для построения карты в неизвестном пространстве или ее обновления в заранее известном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути. Это помогает лучше понять и просчитать окружающую среду, в которой находится пользователь. Advanced SLAM – ряд датчиков, которые используются для оценки и просчета окружающей среды.

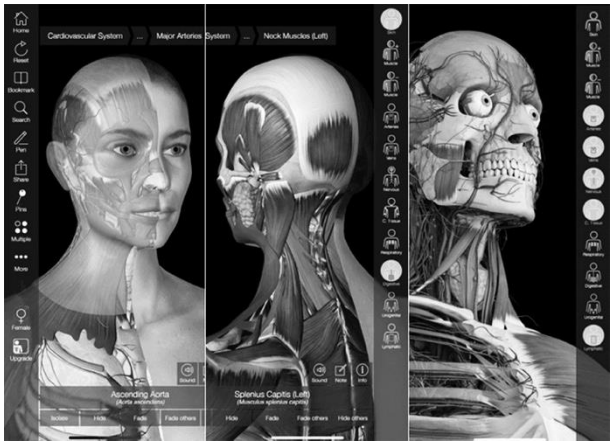


Рис.3. Анатомия - 3D Атлас, Catfish Animation Studio, 2020



Рис.4. AR anatomy, anatomy next lab

Двигательная реабилитация – это услуга, предлагаемая людям с заболеваниями или травмами для улучшения их мобильности. Одна из технологий, которой уделяется значительное внимание – Leap Motion.

Главное преимущество этой технологии в том, что она проста в использовании, улучшает скорость движения, координацию, а также мелкую моторику. Используется при таких состояниях, как инсульт, рассеянный склероз (РС), болезнь Паркинсона. Физиотерапия крайне эффективна для улучшения двигательной функции при таких условиях. Однако, как показывают исследования, распространенная проблема – это не соблюдение пациентом режима лечения, пациенты часто пренебрегают упражнениями. Преимущество виртуальной реальности в понятном интерфейсе и анатомических аватарах –3D моделях, показывающих работу задействованных мышц.

Игровые технологии и виртуальная среда становятся все более популярными еще и в области хирургии и обучения будущих врачей (рис. 4). С каждым годом разрабатывается все больше коммерческих и государственных программ для тренировки проведения хирургических процедур. Благодаря эффекту полного погружения в симуляции действия пользователя и отклик идентичен операции на настоящем пациенте. Современный способ обучения более этичный и продуктивный благодаря новым технологиям. Утверждается, что технология может позволить большему количеству пользователей просматривать или получать доступ к обучению одновременно. Это может позволить пользователю гарнитуры наблюдать за пациентом, например, во время операции или видеть анатомическую модель во время симуляции операции под разными углами и наводить зум. Также можно следить за проведением операции в режиме реального времени.

В ноябре 2018 года профессор Шафи Ахмед, соучредитель Medical Realities, вызвал большой интерес со стороны средств массовой информации относительно виртуальной реальности в хирургии. На изображениях, опубликованных в СМИ, он был одет в гарнитуру виртуальной реальности во время операции. Это позволило производить прямые трансляции в иммерсивной среде, чтобы студенты могли видеть операцию от первого лица. Позже в интервью Ахмед заявил, что использование иммерсивной среды и дополненной реальности прекрасная альтернатива старой школе. Тем не менее, подготовка хирурга, безусловно, должна означать, что он в максимальной степени знаком с реальной операционной средой и проводит операции под наблюдением. Было также заявлено, что такие технологии, как виртуальная и дополненная реальность, потенциально могут заменить анатомическое вскрытие. Однако однозначного результата исследований по данному вопросу пока нет.

Что касается визуальной составляющей, в виртуальной, смешанной и дополненной реальностях используются 3D анатомические модели. Но в отличие от большинства приложений проработка моделей находится на максимально приближенном к человеческому телу уровне, но с добавлением некого «лоска» для выразительности картинки (рис. 5). Разумеется, в среде намного лучше смотрится виртуальная модель чем пластмассовый манекен. Это может быть объяснено тем, что при создании моделей для виртуальной среды разрабатывается также сцена, где выставляются светильники, подгоняются текстуры, яркость и блики, чтобы модель выглядела приятно и художественно.

Заключение

Несмотря на то, что благодаря новым технологиям, обучение анатомии и хирургии стало проще и комфортнее, современные Венеры в некоторых моментах проигрывают своим первым аналогам. Модели могут быть детализированы или даже анимированы, но в них присутствует некая шаблонность и механичность. Не хватает трепета, с которым скульптуры передавали красоту человеческого тела, именно ей славились восковые Венеры.

Возможно, благодаря развитию технологий и спроса на хорошие 3D модели для альтернативных реальностей эволюция Венер не остановится на нынешней точке.



Рис.5. Концепция AR модели анатомической Венеры, Анастасия Гармаш, 2021

Список литературы:

1. Ballestiero, R. Anatomical models and wax Venuses, 2015
2. Michael K. Southworth, Jonathan R. Silva, Jennifer N. Avari Silva. Use of extended realities in cardiology. Trends in Cardiovascular Medicine. 2019: ISSN 1050-1738
3. Фернандес-Гонсалес, П., Карратала-Техада, М., Монж-Перейра, Э. Терапия на основе видеоигр с контролем движения Leap для реабилитации. Журнал NeuroEngineering Rehabil 16, 133, 2019
4. Bong, JH, Song, H, Oh, Y, Park, N, Kim, H, Park, S. Endoscopic navigation system with extended field of view using augmented reality technology. Int J Med Robotics Comput Assist Surg. 2018
5. The sleeping Beauty, Philippe Curtius, 1925 [Электронный ресурс]. URL: https://www.sciencephoto.com/images (дата обращения: 15.02.2021).
6. Анатомическая Венера из Музея Спицера, Германия [Электронный ресурс]. URL: https://www.sciencephoto.com/images (дата обращения: 15.02.2021).
7. Анатомия - 3D Атлас, Catfish Animation Studio, 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.catfishanimationstudio.MuscularSystemLite (дата обращения: 15.02.2021).
8. AR anatomy, anatomy next lab, 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www.anatomy.net/about-us (дата обращения: 15.02.2021).

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. «Математика и компьютерное моделирование» **5-62**

Антонов Д.А. 5-6
Моделирование пространственно-распределенных эволюционных игр

Вахрамеева Д.А. 6-7
Об асимптотике спектра и квантовых средних оператора типа Хартри с гладким потенциалом самодействия

Чашкин Л.Б. Зорин П.А. 7-9
Спектральный анализ данных коммерческого учёта тепловой энергии многоэтажных жилых домов

Клянчин Д.С. Люкшин В.С. 9-11
Асимптотика задачи фильтрации в пористой среде

Фонарева А.В. 11-13
Двухпалубная структура пограничного слоя в задаче обтекания вязкой жидкостью вращающегося диска с малыми периодическими неровностями

Потапова А.С. Пиле Я.Э. 13-15
Ферми-полярон на лестнице с двумя направляющими в модели Хаббарда

Злотник А.А. Ломоносов Т.А. 15-17
О L^2-диссипативности линеаризованных разностных схем на разнесённых сетках для регуляризованных 1D баротропных уравнений Эйлера при малых числах маха

Потапова А.С. Пиле Я.Э. 17-18
Влияние поперечной амплитуды перескока на профиль фазовой диаграммы в квазиодномерной модели Хаббарда

Румянцева С.В. 18-20
Когерентное преобразование спектральной задачи для оператора на резонансной алгебре

Самоделкина М.В. 20-22
Применение методов математического моделирования для оптимизации обслуживания пассажиропотока аэропорта

Дашко А.В. Михайлова С.О. Петухова Е.С. 22-24
Случайные блуждания на решётках

Рахель М.А. 24-26
Асимптотика фундаментального решения задачи Коши для параболического уравнения с малым параметром и вырождением

Дьячкова Н.А. 26-28
Атом водорода в слабом электромагнитном поле

Баканов Г.П. Вишневская А.Д. Липатов А.И. Подкопаева П.О. 28-30
Статические конфигурации точечных вихрей на плоскости

Булеков А.А. 30-32
Квазиклассическое приближение и осреднение для конечных спиновых систем

Файзуллина К.Н. 32-33
Модель Изинга на двумерной полимерной цепочке

Романов А.Д. 33-35
Оптимизация дисциплины обслуживания в СМО с различными типами заявок и каналов

Ищенко А.Р. 35-36
Задача эквивалентности для уравнения XL классификации Пенлеве-Гамбье

Федченко А.С. 37-39
Линеаризованная квазигидродинамическая система уравнений гомогенной газовой смеси и ее диссипативность

Миколаенко В.В. 39-42
Анализ деформационного поведения экспериментального сплава системы Al-Mg-Fe-Ni в условиях сверхпластичности

Сидоров М.А. 42-44
Автоматизация валидации данных для оценки метода неинвазивного обнаружения нарушений углеводного обмена по ЭКГ

Жданов П.А. Таранченко Ю.Г. 44-46
Исследование алгоритмов построения управления для лабораторной установки "Перевернутый маятник"

Шапошникова Н.И. 46-49
Баллистическое проектирование перелета Земля - Луна

Гафурова Д.Р. 49-52
Расчет семейств периодических орбит вокруг точек либрации L1 и L2

Гордин В.А. Романов А.С. 52-54
Компактные разностные схемы высокого порядка точности для уравнения Бюргерса, ФКПП

Гордин В.А. Шадрин Д.А. 54-56
Компактная разностная схема для эллиптических уравнений с разрывным коэффициентом

Быков Ф.Л. 56-58
Оптимальная интерполяция полей приземных метеорологических параметров в расширенном пространстве

Зиннуров Б.Д. 58-59
Популяция кооператоров в асинхронной эволюционной игре

Головкин М.А. Платонов М.В. Ясафов А.В. 59-62
Обобщенная логистическая кривая и модель SARIMA для моделирования динамики распространения COVID-19

Секция 2. «Информационно-коммуникационные технологии» **63-185**

Рзаев Э.Р. 63-65
Графы Пэли и декартово произведение для проектирования топологий сетей на кристалле

Алмакаев А.В. Кусакин И.К. Цурупа А.М. 65-66
Разработка автоматизированного классификаторов коротких текстов

Опекунова А.А. 66-68
Исследование и классификация моделей сетей на кристалле

Зунин В.В. Нечаев В.В. 68-70
Анализ производительности генеративно-состязательных нейронных сетей с использованием Intel OpenVINO Toolkit

Николаев Д.А. Лебеденко Е.В. 70-72
Подходы к проектированию программного обеспечения, реализующего алгоритм децентрализованного управления функцией многокамерного сопровождения подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения

Волгина О.А. Рогулина А.В. 72-74
Использование методов самоорганизующейся маршрутизации в сетях на кристалле

Пономарев А.С. Американов А.А. 74-75
Разработка единой среды для высокоуровневого моделирования сетей на кристалле

Тырышкина Е.С. 75-78
Ускорение операции объединения данных в Apache Spark

Овчинникова А.А. 78-79
Система дистанционного управления роботизированными устройствами

Завьялов А.О. Лежнев Е.В. 79-81
Использование высокоуровневых языков программирования для создания единой среды для симуляции и синтеза RTL-проектов

Измайлова Л.Г. Белоруков А.М. Гареев Д.Р. 81-82
Улучшение качества ухода за растениями в системе мониторинга и ухода за растениями

Мячин Н.М. 82-83
Метод борьбы с дедлоками на основе использования ацикличной подсети для обхода тупиковых ситуаций в циркулянтных топологиях

Солопченко С.А. 83-86
Анализ данных в системах электронной коммерции

Лукина А.С. Целищев И.С. 86-88
Разработка программы для расчета показателей надежности восстанавливаемой аппаратуры методом имитационного моделирования

Романов А.А. 88-90
Анализ и интеграция методов расчета картины растекания токов по поверхности космических аппаратов в ПО "SATELLITE-MIEM"

Мордвинов В.А. Санников Д.И. Кузнецов М.В. 90-92
Виды и применение информационных ресурсов

Ивлев К.И. Селин М.П. 92-93
Разработка базы твердотельных 3d моделей лаборатории САПР для freecad, autodesk fusion 360 и solidworks

Шадько Р.А. Пантелеев М.В 93-94
Интерактивная led-панель с динамическим управлением

Алексеева П.А. Ганина Д.Р. Минниханова Д.И. 95-96
Разработка приложения для построения социального графа пользователя социальной сети

Балескин В.А. Косинов А.Н. Романов Л.А. Мотайленко И.А. 96-98
Клиент-серверная реализация в решении задачи моделирования полета малого космического аппарата на околоземной орбите

Иртюга С.В. 98-99
Модуль для выбора точки электростатического разряда и детализации картины растекания токов по поверхности космического аппарата

Подчезерцев А.Е. 99-101
Применение методов обработки текстов для создания графа диалогов

Баранов Д.А. Богомолов Д.А. Губайдуллина А.Р. Зимина Е.Ю. 101-103
Разработка макета автоматизированной системы анализа медицинских данных с использованием ПО IBM SPSS

Бадалян Р.К. Эфендиев С.В. Сафронов М.А. 103-104
Система автоматизированной 3d-печати

Хасянов Р.Р. Трабун В.Г. Матвиенко М.К. Багров Д.В. Маляев И.Д. 105-106
Роботизированная шагающая платформа

Барков Г.Б. Журкина А.А. Мартиросян Б.О. Зимина Е.Ю. 106-108
Разработка на языке Python и оптимизация экспериментального макета автоматизированной системы исследования медицинских данных

Хромов Г.А. Ригвава В.Г. Плаксин В.А. Колчанова А.В. 108-110
Создание поискового сервиса на основе выделения тем, обсуждаемых в корпоративном чате

Бестаева В.В. 110-112
Использование нейроинтерфейса Emotiv Insight для управления роботизированными устройствами

Костиков Д.В. 112-113
Использование ROBOT OPERATING SYSTEM для ориентирования робота в закрытом пространстве

Татунов С.Ю. 113-115
Применение методики оптимизации одиночного комплекта ЗИП по критерию надежности

Карманов А.В. Нигметзянов И.И. Петин Д.М. Яценко И.Ю. 116-118
Разработка клиентской части системы управления микроклиматом в помещении

Калинин К.О. 118-120
Разработка измерительной системы на базе виртуального прибора AGILENT 4263B

Головин Р.Д. Зунин В.В. 120-122
Сравнение различных методов реализации нейроннных сетей для распознавания изображений

Беляков С.Р. Брагин Н.Е. Иванова Е.И. Мальцев М.О. 122-124
IT-инструменты в управлении опасными природными явлениями

Билалов А.Ю. Джамалутдинов М.Г. Чернецкий А.А. 124-126
Разработка автоматизированного измерительного комплекса на базе измерительных приборов Rigol

Алиев Н.А. Клюваков Д.Д. Пасынков А.Ю. Тонков А.С. 126-128
Разработка системы управления микроклиматом в помещении

Осипов А.С. Геворков И.С. 128-130
Способы сбора и обработки данных на примере данных аэромониторинга

Калинин Д.А. Кикбаева А.Н. 130-131
Разработка аппаратно-программного комплекса взаимодействия с физическими объектами для антропоморфного робота

Куркин А.Н. Николенко М.В. Фёдоров Т.А. 131-133
Исследования подходов в разработке клиент-серверного мобильного приложения для работы с внутренними сервисами и оборудованием университета

Зотов А.Н. 133-136
Экспертная система в методике проектирования РТУ для систем лазерной дальнометрии

Степанянц В.Г. 136-137
Исследование технологий подключенного транспорта для организации дорожного движения

Румянцева М.Ю. 137-139
Выделение контуров камней на конвейере с помощью методов компьютерного зрения

Никандров М.Д. Полунин А.А. 139-141
Формирование корпуса китайских текстов для задач машинного перевода

Елисеенко А.М. Карелина Е.А. Фёдоров А.А. 141-143
Система автоматической проверки графических работ, выполняемых в редакторе draw.io

Рогулина А.В. Волгина О.А. 144-145
Применение самоорганизующихся алгоритмов маршрутизации в сетях на кристалле

Ведмидь Е.А. 146-147
Анализ алгоритмов маршрутизации для сетей на кристалле с циркулянтными топологиями

Шорыгина Т.Е. Коробков И.А. Дубровский Н.А. 147-149
Конструктор грейдеров

Лернер А. 149-151
Метод добавления произвольной информации в аудио поток видеоконференции

Курышева М.Д. Рыбникова В.В. Сафронов А.М. 151-153
Исследование и создание сервиса онлайн оценки работ на базе GOOGLE DOCUMENTS

Глинкина К.Д. 153-155
Оптимальный выбор скорости передачи данных в сети LoRaWAN при ограничениях на количество потерянных при передаче пакетов

Филиппов И.О. 155-156
Цифровая система приема и передачи видеосигнала для FPV систем

Писарский И.Д. Рыжов А.Р. Цыгикало П.Н. Романова Д.С. 156-159
Разработка программного обеспечения для изучения лабораторных работ по механике в виртуальной реальности

Белякова Е.С. Волков М.А. 159-160
Разработка сервиса по распознаванию текста из видео презентаций

Цеплина А.Е. Глинкина К.Д. 160-162
Виртуальный лабораторный практикум по системам сбора данных

Мусин Д.Ш. Солодченков Н.А. Спирин Г.Г. 162-164
Исследование качества сетевых соединений в российском сегменте сети интернет на основе измерений односторонней сетевой задержки

Сергеенко К.А. Дубильер Я.А. Гаспарян А.О. Заволовая Н.Б. 164-165
Библиотека инструментов для моделирования измерительных приборов

Заякина А.М. Немченко А.В. Бобков И.В. Денисова М.А. 166-167
Развертывание студенческой телевизионной студии в МИЭМ НИУ ВШЭ

Жукова С.Д. Абдуллаева С.Э. 167-170
Оценка надежности волоконно-оптических линий связи

Бобков И.В. Денисова М.А. 170-172
Разработка и внедрение студийного оборудования в МИЭМ НИУ ВШЭ

Бандюков А.А. Газитуллин Ф.И. Пригородов Р.А. Метляков А.А. 172-173
Образовательный антропоморфный робот

Гайдамака А.А. 173-176
Количественная оценка эмоционального воздействия события на геолокацию с использованием анализа тональности текстов

Якименко С.И. Лобанева А.А. Ляхова К.А. Усенкова М.А. Иртикеев М.Н. 176-178
Построение и изучение характеристик сегмента сети именованных данных

Евтушенко Л.Г. Широкова Е.В. Лапутенко А.В. 178-180
Оптимизация компонентов бинарной композиции конечных автоматов на основе несущественных входных последовательностей при аппаратной реализации

Загородников А.А. Бессонова И.А. Дрожжин А.А. Бобков И.В. 180-181
Создание портативной версии IP-телестудии

Ролич А.Ю. Баканов Г.П. Подкопаева П.О. 182-183
Уменьшение объёма данных, передаваемых между киберфизическими системами по спутниковому каналу связи в условиях интернета удалённых вещей

Карабанов И.А. 183-185
Аппаратная подсистема автоматизированной системы выдачи оборудования

Секция 3. «Электроника» **186-236**

Карапузов М.А. 186-187
Оценка показателей надежности серийно выпускаемых компонентов радиотехнических систем

Хокшанов Н.С. 187-190
Разработка алгоритма формирования информационного пакета спектрометра галактических космических лучей

Кузнецов А.Д. Бердников С.Д. Иконникова Д.М. 190-192
Исследование основных характеристик и параметров меандровой антенны на гибкой подложке

Денисов М.В. 192-194
Разработка интегрального датчика угла поворота на основе анизотропного магниторезистивного эффекта

Гильманова Д.А. 194-197
Сравнительный анализ структурных схем

Кацнельсон А.И. 197-199
Разработка многофункционального драйвера электродвигателей

Билалов А.Ю. Джамалутдинов М.Г. Чернецкий А.А. 199-201
Разработка модуля ультразвукового дефектоскопа неразрушающего контроля рельсового полотна

Михайлов Д.А. 202-203
Входная оптика на базе антенны Вивальди для планарного диода Шоттки

Ротай А.Д. 203-204
Разработка системы аутентификации водителя по отпечатку пальца

Королев П.С. 205-206
Способ автоматизации расчетной оценки «коэффициента качества» радиоэлектронной аппаратуры непилотируемых автоматических космических аппаратов

Демокидов А.Р. 206-208
Разработка системы TPMS для мотовездеходной техники и кроссовых мотоциклов

Рахимов Р.М. Хлынов П.А. Бычков А.И. Костина В.А. 208-210
Разработка системы для определения параметров spice-моделей биполярных и МОП-транзисторов

Билалов А.Ю. Джамалутдинов М.Г. Чернецкий А.А. 210-212
Разработка модуля инфракрасного дефектоскопа неразрушающего контроля рельсового полотна

Брудастов А.Т. Яловнаров С.В. Прокопьева А.Н. 212-213
Исследование тепловых режимов печатных узлов с электрорадиоизделиями

Смоленчук И.К. Тарасов В.В. Рузиев Р.И. Лебедев А.А. 213-214
Робот гексапод под управлением android приложения

Приходько А.Н. 214-216
Разработка и изготовление микрополосковой СВЧ обвязки для I/Q - модулятора на базе ППВМ

Калягин А.В. Лобанов Г.П. Игуменова М.А. Сафронов А.М. 216-218
Исследование и создание походного генератора электроэнергии на термоэлектрических модулях

Галлямов Б.И. Мухаметдинова А.Р. Султанов А.О. 218-220
Моделирование сбоев в статической ячейке памяти под воздействием тяжелых заряженных частиц

Нуруллин Р.Ю. Коваев С.Б. 220-222
Исследование и разработка макромодели операционного усилителя общего применения

Пархоменко Н.А. Пашковская В.Д. 222-224
Влияние параметров ферромагнетика на характеристики туннельных Джозефсоновских переходов с ферромагнитной прослойкой

Муллахметов И.Р. Абрамешин Д.А. 224-225
Радиационная электропроводность полистирола

Петриев Д.Н. Калимуллин Р.Р. 225-227
Разработка управляющей программы и специальной платы для автоматизированного измерения параметров цифровых микросхем с использованием тестера "Formula 2K"

Нербышев К.Ю. Удодов В.Н. 227-229
Исследование разрыва сложной нити в рамках теории протекания

Кузнецов А.А. 229-230
Эффекты больших мощностей дозы ионизирующего излучения в радиационной проводимости полимеров

Самсонов В.Г. Лукашин А.Ю. Козлов А.В. Кильметова И.В. 230-232
Модернизация системы электроснабжения ускорителя ТИПр

Мошкова М.А. Смирнов К.В. 232-234
Изучение каскадного переключения сверхпроводниковых однофотонных детекторов с разрешением числа фотонов

Вовк Н.А. 234-236
Электронная структура двухслойного графена с повёрнутыми друг относительно друга слоями

Секция 4. «Информационная безопасность» **237-262**

Полосухин Н.В. 237-238
Система обнаружения вредоносного программного обеспечения с использованием методов компьютерного зрения

Бураков А.Г. 238-240
Прототип системы обнаружения вредоносного кода на основе статического и поведенческого анализа в среде эмуляции

Сидоровский Г.В. 240-241
Анализ микроконтроллерного синхронизированного по времени генератор одноразовых паролей с функцией ввода значения

Нагаева И.Э. Савченкова Д.М. 241-244
Исследование информационных характеристик художественных текстов и их переводов

Лебедева Д.С. Максимов А.И. 244-246
Исследование методов диагностики фальсификации фонограмм путем сравнения фрагментов фоновых шумов

Пантелеев В.А. 246-249
Разработка системы передачи данных на базе расширенных кодов Рида-Соломона с локализацией ошибок

Нестеренко А.Ю. Семенов А.М. 249-251
Методика оценки свойств безопасности криптографических протоколов

Спирин А.А. 251-253
Бинарная классификация псевдослучайных последовательностей

Малашина А.Г. 253-258
Предельные распределения, возникающие в задаче восстановления отдельных отрезков текстового сообщения

Кочетков Е.В. 258-260
Подход к верификации моделей безопасности операционных систем семейства Windows с использованием темпоральной логики действий Лэмпорта

Драчев Г.А. 260-262
Разработка универсального обработчика событий информационной безопасности

Секция 5. «Инновационные технологии цифровой экономики» **263-295**

Сазыкин Д.Н. Ларионов Д.Д. Плетминцев К.В. 263-264
VR-адаптация ex-vivo реконструкции трактов белого вещества мозга

Чепракова М.А. 264-266
Анализ методов разработки кроссплатформенных приложений

Наумова Е.В. Железнова А.В. Золотухин Д.С. Мотайленко И.А. 266-268
Разработка платформы виртуальных туров

Авдеев А.С. Колесник П.П. 269-270
Разработка системы управления наземной роботизированной платформой в виртуальной реальности

Чуйко Д.О. Кретова А.А. Нижегородов М.А. Мотайленко И.А. 271-272
Разработка виртуального тура по общежитию "Трилистник" НИУ ВШЭ в формате сферической панорамы

Горшков О.В. Кычкин А.В. 272-274
Экспериментальное исследование работы предиктивных моделей в составе IOT-Платформ

Марквирер В.Д. Кычкин А.В. Дерябин А.И. 274-276
Постановка задачи динамической оптимизации энергопотребления промышленного предприятия

Самойленко П.И. Вольнова Р.А. Немашкало А.В. Степченко А.С. Калиманов И.М. Ткаченко М.М. Хусаенов Т.И. 277-278
Веб сервис для управления цифровым контентом дополненной реальности в цифровых двойниках зданий

Поздняков Д.В. Евсиков А.А. Смирнова Д.Э. Толмачева А.В. 278-279
Система удаленной экспертной поддержки с использованием смешанной реальности

Самойленко П.И. Граур П.А. Абаполов Ф.А. Заев Р.И. Поздняков Д.В. 280-281
Мобильное приложение для навигации в зданиях с использованием технологий компьютерного зрения и дополненной реальности

Поздняков Д.В. Самойленко П.И. Абаполов Ф.А. 281-283
Система локального позиционирования пользователя относительно виртуальной карты

Озмаден Д. Крымов А.П. 284-286
Ансамбль LSTM нейронных сетей для прогнозирования цен на фондовом рынке

Пащенко Я.В. 286-287
Об одной методике построения архитектуры высоконагруженных систем

Ракипов Т.Р. Сиротинский Н.В. Матвеев М.А. Иделевич А.С. Быконя И.В. 288-289
Система совместного использования апартаментов в рамках концепции Интернета Вещей

Калугин А.О. 289-292
Микросервис аналитики цены на основе анализа волатильности

Манжула О.О. 292-293
Разработка концепции сервиса MirTokens для платёжной системы "МИР"

Юлдашов А.С. Соловьев М.М. Еременко Е.А. Капочкина А.В. Азаров А.А. 294-295
VR-тренажёр для яхтсменов

Секция 6. «Инновационные технологии в дизайне» **296-311**

Корекова Д.П. 296-297
Виртуальная одежда как новое направление в сетевом искусстве

Силантьева А.С. 297-299
Тенденции развития виртуальной архитектуры

Сапожникова А.А. 299-300
Тенденции и перспективы в мультимедийном поле реализации телесных практик молодого актуального искусства в России

Ларцев А.С. 300-301
Киберперформанс. Феномен присутствия в цифровой среде

Сковородников П.Ю. 301-303
Стратегии визуальной коммуникации в произведениях сетевого искусства

Мотайленко И.А. Фирсова М.Е. Егоров Д.С. Самойленко П.И. Рахимова Д.Р. 303-305
Интерактивный гид с элементами дополненной реальности по дому Дурасова

Фирсова М.Е. 306-308
Феномен AR-масок в современной мультисенсорной среде

Гармаш А.Д. 308-311
Влияние современных технологий на эволюцию анатомических Венер

СОДЕРЖАНИЕ 312-321

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. Материалы конференции.

ISBN 978-5-903650-66-8

Подписано в печать 30.12.2021 г. Формат 60х84/8. Бумага офсетная №2.
Печать ризография. Усл.печ.л. 40,25. Уч.-изд.л. 36,23. Тираж 100 экз.
ООО "Издательский дом Медиа Паблишер".