

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Научно-производственное объединение
«Информационные и сетевые технологии»

Институт информационных и телекоммуникационных технологий
БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ: УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛЕНИЕ, СВЯЗЬ (DCCN-2015)

**МАТЕРИАЛЫ ВОСЕМНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

(19–22 октября 2015 г., Москва, Россия)

Под общей редакцией д.т.н. В.М. Вишневского

**Москва
ИПУ РАН
2015**

УДК 004.7:004.4].001:621.391:007

ББК 32.973.202:32.968

Р 24

Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015) = Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2015) : материалы Восемнадцатой междунар. науч. конфер., 19–22 окт. 2015 г., Москва: / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук ; под общ. ред. В.М. Вишневского – М.: ИПУ РАН, 2015. – 656 с.
– ISBN 978-5-91450-170-6.

В научном издании представлены материалы Восемнадцатой международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» по следующим направлениям:

- Архитектура компьютерных и телекоммуникационных сетей.
- Управление в компьютерных и телекоммуникационных сетях.
- Оценка производительности беспроводных сетей трансляции мультимедийной информации.
- Аналитическое и имитационное моделирование сетевых протоколов.
- Теория очередей и теория надежности.
- Беспроводные сети IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 и UMTS (LTE).
- Технология RFID и ее применение в интеллектуальных транспортных системах.
- Проектирование протоколов (MAC-уровня) сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн.
- Интернет, веб-приложения и услуги.
- Интеграция приложений в распределенных информационных системах.

В материалах конференции DCCN-2015, подготовленных к выпуску Козыревым Д.В. обсуждены перспективы развития и сотрудничества в этой сфере.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников и специалистов в области теории и практики построения компьютерных и телекоммуникационных сетей.

Текст воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами

Утверждено к печати Программным комитетом конференции

ISBN 978-5-91450-170-6

© ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ 2015

15. Rachinskaya M.A., Fedotkin M.A. (Russia)	RESEARCH OF THE PROCESS OF TRAFFIC FLOWS CONTROL BY MEANS OF SIMULATION.....	136
16. Nikiforov I. (France)	QUICKEST MULTIDECISION ABRUPT CHANGE DETECTION WITH SOME APPLICATIONS TO NETWORK MONITORING.....	144
17. Efrosinin D.V., Rykov V.V. (Russia)	HEURISTIC SOLUTION FOR THE OPTIMAL THRESHOLDS IN A CONTROLLABLE MULTI-SERVER HETEROGENEOUS QUEUEING SYSTEM WITHOUT PREEMPTION.....	152
18. Veretennikov A., Zverkina G. (Russia)	ON POLYNOMIAL CONVERGENCE RATE OF THE AVAILABILITY FACTOR TO ITS STATIONARY VALUE.....	168
19. Krishnamoorthy A., Vishnevsky V.M., Manjunath A.S., Viswanath C.Narayanan (India, Russia)	ON A CLASS OF QUEUES WITH APPLICATIONS TO TELECOMMUNICATIONS.....	176
20. Krishnamoorthy A., Vishnevsky V.M., Deepak T.G., Joshua V.C. (India, Russia)	ON A RETRIAL QUEUEING MODEL WITH ORBITAL SEARCH OF CUSTOMERS - APPLICATION TO TELECOMMUNICATION ON HIGHWAYS.....	177
21. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. (Russia)	SWARM OF PUBLIC UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A QUEUING NETWORK.....	178
22. Karpov A., Voskov L.S., Efremov S. (Russia)	DEVELOPMENT OF WIRELESS CAMERA SENSOR NETWORK MODEL.....	188
23. Karpov I., Voskov L.S., Efremov S. (Russia)	AUDIO-DATA TRANSMISSION MODEL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS WITH QoS.....	196
24. Kokshenev V., Mikheev P., Suschenko S., Tkachev R. (Russia)	HETEROGENEOUS MULTI-PACKET MESSAGE DELAY IN HETEROGENEOUS DATA TRANSMISSION PATH.....	202
25. Mikheev P., Suschenko S. (Russia)	ON INITIAL WIDTH OF CONTENTION WINDOW INFLUENCE ON WIRELESS NETWORK STATION IEEE 802.11 CHARACTERISTICS.....	208
26. Basharin G., Rusina N. (Russia)	PROBABILITY CHARACTERISTIC COMPUTATIONLGORITHM OF UPSTREAM TRAFFIC IN PASSIVE OPTICAL NETWORK.....	216
27. Dronyuk I., Nazarkeych M., Fedevych O. (Ukraine)	SYNTHESIS OF NOISE-LIKE SIGNAL BASED ON ATEB-FUNCTIONS.....	223
28. Fedotkin M., Kudryavtsev E. (Russia)	LIMITING PROPERTIES OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM CONFLICT FLOWS NONHOMOGENEOUS ARRIVALS.....	233

AUDIO-DATA TRANSMISSION MODEL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS WITH QoS

I.V. Karpov¹, L.S. Voskov², S.G. Efremov²

¹ National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russia,

² Moscow State Institute of Electronics and Mathematics Higher School of Economics (MIEM HSE), Moscow, Russia

This paper focuses on the audio-data transmission model for Wireless Sensor Networks with Quality of Service support. Since audio sensor networks consist of autonomous nodes with limited energy and hardware resources, transmission quality declines, when multiple audio streams are transferred simultaneously in the network. Unlike existing models, the developed audio-data transmission model takes into account Quality of Service. In conclusion we present our method of data transmission for multiple audio streams in the network.

МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ АУДИОДАННЫХ ПО БЕСПРОВОДНЫМ СЕНСОРНЫМ СЕТЯМ С УЧЕТОМ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМОГО СЕРВИСА

И.В. Карпов¹, Л.С. Восков², С. Г. Ефремов²

¹ Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия, ² Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики", Москва, Россия

ivakarpov@gmail.com, lvoskov@hse.ru, sefremov@hse.ru

Аннотация

В статье рассматривается модель передачи аудиоданных по беспроводным сенсорным сетям. Поскольку узлы являются автономными и имеют ограниченные ресурсы, то при передаче нескольких потоков аудиоданных появляются задержки, в результате которых качество передачи данных снижается. В отличие от существующих моделей, в разработанной модели учитывается качество предоставляемого сервиса при передаче аудиоданных. Также рассматривается предлагаемый метод передачи нескольких потоков аудиоданных.

Ключевые слова: беспроводная аудио-сенсорная сеть, модель передачи данных, БСС

1. Введение

В данной работе рассматривается модель беспроводной аудио-сенсорной сети, состоящей из случайно распределенных автономных датчиков с одинаковыми техническими характеристиками (объемом памяти, запасами энергии, характеристиками микроконтроллера). Основной задачей сети является организация двусторонней аудио-связи между пользователями сети, то есть передача нескольких потоков аудиоданных между распределенными узлами с заданным качеством обслуживания.

Проведенный обзор литературы выявил небольшое число исследований в области передачи аудиоданных по низкоскоростным сетям, а также отсутствие готовых моделей, которые бы учитывали качество предоставляемого сервиса при передаче данных. Большинство работ посвящено распознаванию полученной аудиоинформации, так как данные сети могут применяться не только в качестве систем аудио-связи [1, 2], но и в качестве систем мониторинга окружающей среды [3, 4, 5, 6].

При передаче аудиоданных по беспроводной аудио-сенсорной сети возникают две основные проблемы, требующие исследования. Во-первых, ставится вопрос о времени работы подобных систем, в связи с ограниченными и не восполнимыми во время работы сети запасами энергии на узлах. Во-вторых, при передаче данных могут возникать задержки и потери пакетов, что критично для аудиоданных. В связи с этим необходимо применять такие протоколы передачи данных и алгоритмы доступа к передающей среде, которые бы позволяли передавать множество потоков данных с минимальными задержками и потерями. Необходимо так построить систему для передачи нескольких потоков аудиоданных, чтобы время ее работы было бы максимальным.

2. Общая модель реконфигурируемой аудио-сенсорной сети

В рассмотренных работах по беспроводным сенсорным сетям для построения общих моделей используют аппарат теории множеств и теории графов [7, 8]. В данной работе за основу взята модель из работы [8].

Сеть представляет собой неориентированный граф со множеством вершин $V_n = \{1, 2, \dots, n\}$ и множеством ребер $E_n \subseteq V_n \times V_n$, где вершины представляют собой аудио-сенсорные узлы, а ребра - прямые беспроводные соединения между ними (Рис. 1).

Также имеется множество потоков аудиоданных для передачи: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, где $s_i = (u, v, L_i)$, $u \in V_n, v \in V_n, u \neq v, L_i$ — величина передаваемого трафика (байт/с).

Введем понятие энергетической схемы, важное для оценки времени жизни сети. Энергетическая схема определяет набор мощностей $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, где p_i — мощность, потребляемая i -м узлом сети. Схема определяет связность сети и, следовательно, маршруты передачи потоков данных, таким образом, $E_n = f(w), w \in V_s$, где V_s — множество доступных энергетических схем.

С точки зрения качества обслуживания критичным является смена схем, при которой происходит реконфигурация сети. Введем граф G_s для энергетических схем: $G_s = (V_s, E_s)$. С каждым ребром $e \in E_s$ связан набор коэффициентов (k_1, k_2, \dots, k_m) потери качества передаваемых потоков при соответствующей смене схем. Расчет данных коэффициентов является отдельной задачей, не рассматриваемой в настоящей работе.

Таким образом, в общем виде работу аудио-сенсорной сети можно представить в виде четверки:

$$N = (G_s, \Gamma_n, S, \Pi), \quad (1)$$

где G_s — граф энергетических схем (2),

Γ_n — множество сетевых графов. Каждый граф определяется используемой энергетической схемой (3),

S - множество передаваемых по сети аудио-потоков

Π - последовательность применения энергетических схем (4).

$$G_s = (V_s, E_s) \quad (2)$$

$$\Gamma_n = \{G_n(k), k \in V_s\} \quad (3)$$

$$\Pi = (<\pi_1, t_1>, <\pi_2, t_2>, \dots, <\pi_q, t_q>), \quad (4)$$

$\pi_i \in V_s, t_i$ — время использования схемы π_i

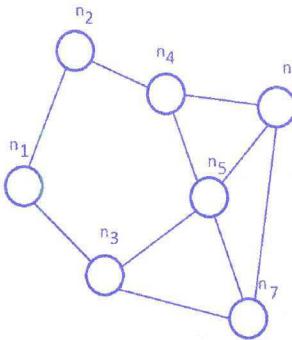


Рис. 1: Беспроводная аудио-сенсорная сеть

Мощность, необходимая для корректной передачи данных от узла i к j должна удовлетворять следующему неравенству:

$$\frac{P_i}{R_{i,j}^\alpha} \geq \beta \quad (5)$$

где P_i — мощность, необходимая для успешной передачи данных, $R_{i,j}^\alpha$ — расстояние между узлами i, j , α — показатель затухания сигнала, $\beta \geq 1$

— коэффициент, учитывающий качество передачи. Обычно, коэффициент $\beta = 1$, в то время как α зависит от окружающей среды. В идеальной среде коэффициент $\alpha = 2$, но в реальности в интервале [2, 6]. Распространение сигнала в идеальном случае представляют в виде круга с радиусом r , однако в реальных условиях в связи с неоднородностью среды (из-за неравномерного затухания сигнала по всей плоскости распространения), данное упрощение не наблюдается. Тем не менее, оно применимо в работах по беспроводным сенсорным сетям. Также, в реальных условиях, мощности, необходимые для передачи данных от узла i к j и от узла j к i со временем могут изменяться и быть несимметричными. В работе было принято, что в течение времени работы сети, условия окружающей среды не изменялись и оставались постоянными, а мощности, требуемые для передачи — одинаковыми. Также в работе не учитывался физический уровень передачи данных, когда на принимающей стороне возникали ошибки в результате интерференции радиоволн от объектов окружающей среды, а только учитывались факторы, влияющие на передачу данных от элементов сети.

Поскольку узел имеет несколько уровней мощности приемопередатчика, то каждый сенсор, во время образования и работы сети, может выбрать свою мощность, отличающуюся от остальных соседних узлов. Соответственно, при минимальной мощности дальность связи минимальная и энергопотребление низкое, а при максимальной мощности наоборот. Поэтому выбор первоначальных и последующих значений является важным этапом в работе сети. За счет регулирования дальности связи не только освобождается канал передачи данных, но и увеличивается время работы сети из-за сокращения энергопотребления при равных объемах переданной информации.

Возможны следующие варианты работы сети:

- 1) Сеть работает с предустановленным уровнем мощности на узлах (без смены мощности во время работы)
 - (a) Все узлы выбирают одинаковый уровень мощности, отличный от максимального и минимального
 - (b) Все узлы выбирают максимальный уровень мощности
 - (c) Все узлы выбирают минимальный уровень мощности
 - (d) Каждый узел выбирает свой уровень мощности
- 2) Сеть работает со сменой уровня мощности на узлах во время работы
 - (a) Все узлы меняют мощность одновременно на одинаковую
 - (b) Все узлы меняют мощность одновременно, но каждый выбирает свою
 - (c) Каждый узел сам выбирает время изменения мощности приемопередатчика на свое значение.

3. Метод пространственно-повторного разделения канала

Обычно, при работе беспроводной сенсорной сети, мощность приемопередатчика устанавливается автоматически при начале работы системы, ли-

базируется вручную при ее построении и не изменяется в процессе работы сети. К преимуществу данного подхода, с одной стороны, можно отнести предсказуемость маршрутов передачи данных, поскольку дальность связи, как и соседи, постоянны. Дальность связи, в свою очередь, может быть выбрана максимальной, когда передача данных другому узлу происходит с минимальным количеством ретрансляций, то есть передача происходит как можно ближе к узлу получателю. Минимальная дальность связи подразумевает передачу данных самому ближнему узлу, при этом количество ретрансляций может увеличиться многократно, что влечет к дополнительным временными задержками.

При рассмотрении следующей сети преимущество неизменной дальности связи превращается в недостаток. Если в сети имеется единая точка сбора данных, то ближайшие к ней узлы истощаются быстрее других, образуются так называемые „энергетические дырки“, время работы сети при этом сокращается в разы. Для решения данной проблемы было предложено изменять дальность связи соседних узлов. Таким образом, энергетические затраты распределяются между соседними узлами, в результате чего, увеличивается общее время работы сети. Пример показан на рисунке 2.

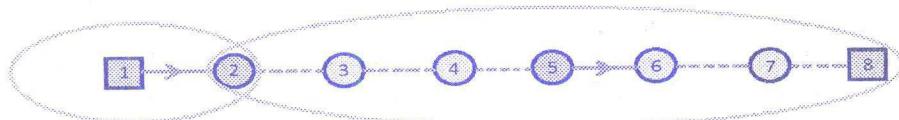


Рис. 2: Пример пространственно-повторного разделения канала

В отличие от классических БСС, когда по сети передаются телеметрические данные (температура, давление и т.п.), нагрузка на сеть при передаче аудиоданных значительно выше, как и требования к их передаче. Для распределения энергозатрат вдоль всего маршрута передачи данных каждого аудиопотока, по аналогии с решением проблемы „энергетических дырок“ около узла сбора данных, предлагается по достижению минимального энергетического порога переназначать дальности связи на узлах, участвующих в передаче. Установленные на узлах мощности называются энергетической схемой. Изменение мощности на узлах предполагает изменение энергетической схемы. Последовательность смены энергетических схем, в дальнейшем, необходимо рассчитать на основе предложенной модели. На рисунке видно, что узел 1 имеет небольшую дальность передачи, в отличие от узла 5. Со временем энергия на узле 5 будет наименьшей по пути передачи данных, что может привести к нарушению работы системы. Согласно предлагаемому методу по достижению минимального уровня энергии на маршруте система изменит энергетическую схему и узел 5 окажется с ми-

нимальной мощностью приемопередатчика, а узел 1 или 2, например, с максимальной.

4. Заключение

В работе была представлена модель беспроводной аудио-сенсорной сети с заданным качеством обслуживания. За счет регулировки мощности приемопередатчиков на узлах, то есть применения энергетических схем можно увеличить время автономной работы сети. Применение динамического изменения дальности связи на узлах является необходимостью.

В дальнейшем планируется провести имитационное моделирование с применением описанного метода регулирования мощности с большим количеством узлов и конкурирующих потоков.

«Данное научное исследование (исследовательский проект №14-05-0064) выполняется при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015гг.»

ЛИТЕРАТУРА

1. Brunelli D., Maggiorotti M. [et al.], Analysis of audio streaming capability of ZigBee networks // Wireless Sensor Networks, Lecture Notes in Computer Science, 2008, vol. 4913, 2008. - P.189-204.
2. Mangharam R., Rowe A. [et al.], Voice over sensor networks// Real-Time Systems Symposium, 2006. RTSS '06.27th IEEE International, 2006. - P.291-302.
3. Werner-Allen G. et al. Fidelity and yield in a volcano monitoring sensor network // Proceedings of the 7th symposium on Operating systems design and implementation. 2006. P. 381-396.
4. Luis E. Palafax, J. Antonio Garcia-Macias, Wireless sensor networks for voice capture in ubiquitous home environments // Wireless Pervasive Computing, 2009. ISWPC 2009.4th International Symposium, 2009. - P.1-5.
5. Hu W., The design and evaluation of a hybrid sensor network for cane-toad monitoring // Information Processing in Sensor Networks, 2005. IPSN 2005. Fourth International Symposium, 2005. - P.503-508.
6. Bidong C., Audio recognition with distributed wireless sensor networks: thes.; University of Victoria - Canada, 2010. - P.59.
7. Базенков Н.И., «Теоретико-игровые алгоритмы формирования децентрализованных беспроводных сетей» : дис. канд. технич. наук. Москва, 2014
8. Ефремов С.Г., «Моделирование времени жизни динамически реконфигурируемых сенсорных сетей с мобильным стоком» : дис. канд. технич. наук. Москва, 2013