

ВЫБОР СТАНДАРТА БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ НАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ

А. А. Петухов*

** Департамент компьютерной инженерии,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», НИУ ВШЭ.
ул. Таллинская, д. 34, 123458, Москва, Россия*

Аннотация. Взаимодействие человека с виртуальной средой остается одной из проблем при внедрении технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности в такие области, как образование, производство, медицина, игры и аттракционы. В данной работе дается описание разрабатываемой натальной системы захвата движения человека, которая служит человеко-компьютерным интерфейсом для VR и AR-приложений. Проводится сравнительный анализ стандартов беспроводной связи и моделирование различных вариантов системы на базе IEEE 802.15.4. Рассматриваются такие стандарты, как IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6).

Ключевые слова: Система захвата движения, беспроводные сенсорные сети, BCC, беспроводные натальные сети, стандарты беспроводной связи, человеко-компьютерный интерфейс, виртуальная реальность.

1. Введение

Сегодня системы захвата движения используются в индустрии игр и кино, робототехнике, медицине, обучающих тренажерах и развлекательных приложениях. С появлением на массовом рынке устройств виртуальной реальности (шлемы виртуальной и дополненной реальности, системы компьютерного зрения) стали развиваться человеко-компьютерные интерфейсы, позволяющие пользователю полноценно взаимодействовать с трехмерной средой. Можно сформулировать основные требования к новым системам: низкая цена, работа в режиме реального времени и удобство использования (отсутствие проводов, масштабируемость системы, скорость развертывания). Реализация беспроводной связи является наиболее сложным и «узким» местом системы, так как изначально накладывает ряд ограничений. Целью данной работы является определение критериев выбора, сравнительный анализ и выбор наиболее подходящего стандарта беспроводной передачи данных для натальных систем захвата движения.

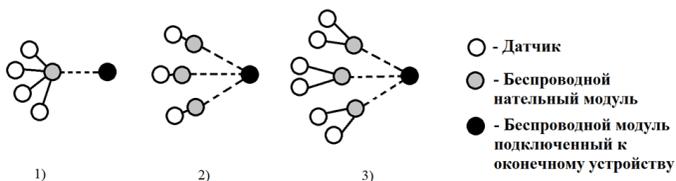


Рис. 1. Схемы компоновки даттельной системы захвата движения

2. Основная часть

2.1. Даттельная система захвата движения

Даттельная система захвата движения представляет собой набор измерительных датчиков, которые крепятся на тело человека и передают данные о перемещении или вращении суставов в режиме реального времени. Для обеспечения свободы движения такие системы по возможности оборудуются беспроводной связью. Следовательно, используются автономные источники питания, которые ограничивают время активной работы. Количество датчиков и передающих устройств может быть различным.

Рис. 2. 1) – все датчики подключаются к одному беспроводному модулю. Рис. 2. 2) – по одному датчику на каждый беспроводной модуль. Рис. 2. 3) – по несколько датчиков на каждый беспроводной модуль. В данной работе учитывался опыт разработки WiSeMocar [1], системы захвата движения на базе сенсорной сети стандарта IEEE 802.15.4.

2.2. Критерии выбора стандарта беспроводной связи

Учитывая основные требования к новым системам захвата движения (низкая цена, работа в режиме реального времени, удобство использования), определим, по каким критериям выбирать стандарт беспроводной связи для будущей системы. Требования к беспроводной сети датчиков:

- Достаточная пропускная способность канала (подключение от 1 до 25 датчиков, не менее 20 байт данных на одно измерение)
- Передача не менее 60 измерений в секунду с каждого датчика (для комфортной работы в режиме реального времени в приложениях с частотой кадров 60 Гц)
- Качество обслуживания (задержка не более 100мс, минимальные потери пакетов)
- Топология беспроводной сети звезда или точка-точка (без ретрансляций)
- Низкое энергопотребление модулей

- Малый размер носимых модулей (крепятся на тело)
- Низкая цена модулей (требования рынка)

Исходя из данных требований, можно посчитать необходимую пропускную способность (Т) на один приемопередатчик. $T=N*\text{packetRate}*\text{payload}$. Где N – количество датчиков, packetRate – количество пакетов в секунду (60), payload - полезная нагрузка пакета (20 байт на датчик). Рассмотрим три варианта компоновки системы (рис. 2).

- Вариант 1. 25 датчиков – 1 приемопередатчик (рис. 2 п.1). $T = 30$ кбайт/с, 1 канал, нагрузка пакета 500 байт
- Вариант 2. По 1 датчику на 15 приемопередатчиков (рис. 2 п.2). $T = 1,2$ кбайта/с, 15 каналов, всего 18 кбайт/с, нагрузка пакета 20 байт
- Вариант 3. По 2 датчика на 5 приемопередатчиков (рис. 2 п.3). $T = 2,4$ кбайта/с, 5 каналов, всего 12 кбайт/с, нагрузка пакета 40 байт

Основная проблема беспроводных систем захвата движения – это генерирование большого количества сетевых пакетов с маленькой нагрузкой, которые должны передаваться в реальном времени. Поэтому при выборе технологии беспроводной связи, необходимо обеспечить не только пропускную способность, но и достаточный уровень качества обслуживания. Размер пакета и количество повторных отправок могут влиять на задержку.

2.3. Обзор стандартов беспроводной связи

Рассмотрим актуальные стандарты беспроводных сетей, которые могут быть использованы для построения натальной системы захвата движения.

2.3.1. Wi-Fi (802.11 b/g/n/ac)

Беспроводные сети на базе стандартов IEEE 802.11 [2] широко распространены. Сегодня наиболее массовыми являются модули Wi-Fi стандарта 802.11n. Стоит отметить обратную совместимость с более старыми версиями 802.11a/b/g. Новая версия 802.11ac используется в основном в точках доступа, современных смартфонах и ноутбуках. **Преимущества.** Большая пропускная способность, дальность действия и размер полезной нагрузки пакета данных. Wi-Fi широко распространен, использует Internet Protocol (IP), поэтому можно передавать данные на смартфон или домашнюю точку доступа без подключения специального оборудования, например, на шлем виртуальной реальности на базе смартфона. На рынке представлено большое количество недорогих модулей стандартов 802.11g/n **Недостатки.** Самое высокое энергопотребление по сравнению с сетями других стандартов, порядка 300 мА. **Вывод.** Для продолжительной работы системы по Wi-Fi

понадобится батарея большой емкости. При этом пропускной способности одного (150 Мбит/с) модуля хватит для передачи данных со всех датчиков натальной системы.

2.3.2. Bluetooth (IEEE 802.15.1, Classic, 4.0, 4.1, 4.2, 5)

Стандарт беспроводной связи для организации персональных сетей [3]. Последняя на данный момент версия - 5 [4]. Наиболее распространены модули 4-й версии. Можно выделить 3 типа модулей: Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy (Smart), Bluetooth Smart Ready (поддерживает оба режима). Bluetooth Classic совместим с более старыми версиями 1.0 и 2.0. **Преимущества.** Bluetooth Classic (в том числе с поддержкой Enhanced Data Rate, EDR) – хорошая пропускная способность 2 Мбит/с. Bluetooth Low Energy – очень низкое энергопотребление. Также, как и Wi-Fi, Bluetooth модули могут подключаться к смартфонам без дополнительного оборудования. **Недостатки.** Bluetooth Classic – высокое энергопотребление, малое количество узлов сети (7). Bluetooth LE – небольшая пропускная способность (1 Мбит/с). Очень маленький размер пакета данных (23 байта) в версиях 4.0 и 4.1. **Вывод.** Отношение пропускной способности к затрачиваемой энергии Bluetooth Classic хуже, чем у Wi-Fi. А использование Low Energy версий 4.0 и 4.1 возможно только при передаче данных с одного датчика. В Bluetooth версии 5 размер полезной нагрузки пакета увеличен до 255 байт, но стандарт пока не распространен.

2.3.3. IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Стандарт для беспроводных персональных сетей малого радиуса действия [5]. Использует частоты 2,4 ГГц, 868 МГц (Европа) и 915 МГц (Северная Америка). ZigBee представляет собой программную надстройку 802.15.4 и используется в основном в «Интернете вещей» или для построения промышленных сетей. Для натальных систем захвата движения функции ZigBee бесполезны, поэтому рассматривается подуровень media access control (MAC) 802.15.4. В стандарте 802.15.4 следует выделить два основных режима работы: безмаячковый (non-beacon mode), в котором узлы сети постоянно конкурируют за доступ, и маячковый (beacon mode), в котором координатор сети рассылает сообщения (маячки) для синхронизации сети, и конкуренция за канал происходит в заданный промежуток времени. Также стоит отметить возможность в маячковом режиме выделять конкретному узлу гарантированный временной слот (Guarantee Time Slot, GTS), где он не будет конкурировать за доступ к каналу. Это используется в приложениях, где важны малые задержки. Максимум можно выделить до 7

временных слотов. Следует учесть, что в маячковом режиме устройства постоянно находятся в режиме приема/передачи, это не дает модулю возможности войти в режим сна и повышает энергопотребление. **Преимущества.** Низкое энергопотребление. Дешевые доступные модули. Хорошая документация. **Недостатки.** Всего 16 частотных каналов, что ограничивает количество одновременных потоковых передач. Стандарт предполагает не более 7 GTS. Небольшой размер пакета данных (127 байт). Небольшая пропускная способность (250 кбит/с). **Вывод.** Сеть на базе стандарта 802.15.4 хорошо подойдет для построения системы нательной захвата движения с небольшим количеством датчиков (1-2 на модуль) и беспроводных модулей (не более 7 при использовании GTS).

2.3.4. IEEE 802.15.6

Новый стандарт беспроводных нательных сетей (БНС) [6]. Разрабатывался для медицинских телеметрических систем. Помимо работы на распространённой частоте 2,4 ГГц, предполагается работа на частотах 5-50 МГц для передачи данных по телу человека, а также 400 МГц, 800 МГц, 900 МГц и в 3-10 ГГц сверхшироком диапазоне. **Преимущества.** По ряду параметров (скорость, качество обслуживания, энергопотребление) превосходит 802.15.4. **Недостатки.** На данный момент нет устройств с поддержкой 802.15.6 **Вывод.** Дождаться появления на рынке устройств стандарта 802.15.6

2.4. Моделирование

Для дальнейшего понимания, какой стандарт подходит для использования в различных компоновках системы захвата движения (рис. 1), будут использованы методы имитационного моделирования. Обзор сетевых симуляторов [7] показал, что для моделирования нательных сетей наиболее подходящим является симулятор Castalia на базе OMNeT++ [8]. Из рассмотренных сетевых стандартов, в Castalia поддерживаются MAC-уровни 802.15.4 и 802.15.6. На данный момент проведено моделирование сенсорной сети на базе 802.15.4 для трех вариантов системы, описанным в главе 2.2. Учитывалась мобильность узлов в радиусе 15 метров и встроенная модель помех, характерная для нательных сетей. Рассматриваются режимы работы с выделением GTS и без. Безмаячковый режим на данный момент симулятором не поддерживается. Наблюдаемые параметры – коэффициент доставленных пакетов и задержка. Время моделирования - 50с.

Учитывая передачу большого количества пакетов в реальном времени, параметры сенсорной сети на базе 802.15.4 BeaconOrder (BO) и SuperframeOrder (SO) выбраны BO=SO=2. Таким образом, время между синхронизирующими маячками равно 61.44 мс и узлы работают в полном цикле, без режима сна.

Таблица 1

Результаты моделирования в симулятор Castalia

Сценарий	Коэффициент доставки	Задержка
1	0,678	до 20 мс(рис. 2a))
2	0,671	от 20 до 450 мс(рис. 2b)
3	0,799	до 20 мс(рис. 2c)
4	0,797	до 20 мс(рис. 2d)

Проведем моделирование по 4-м заданным сценариям. Результаты представлены в табл. 1.

- Сценарий 1 - 2 узла, 300 пакетов/с (5*60), нагрузка пакета 100 байт
- Сценарий 2 - 16 узлов, 60 пакетов/с, нагрузка пакета 20 байт. Без GTS
- Сценарий 3 - 6 узлов, 60 пакетов/с, нагрузка пакета 40 байт. Без GTS
- Сценарий 4 - 6 узлов, 60 пакетов/с, нагрузка пакета 40 байт. Выделение 5 GTS 5 узлам

3. Заключение

В рамках данной работы были определены требования к беспроводной связи нательных систем захвата движения. По заданным критериям проведен обзор и анализ следующих стандартов беспроводной связи: IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, выделены преимущества и недостатки. В симуляторе Castalia проведено моделирование сети 802.15.4 с отслеживанием следующих параметров: коэффициент доставки пакетов и задержки. Результаты показали, что во всех сценариях была потеря от 20% до 30% пакетов, что негативно сказывается на работе системы. Наименьшие задержки были в 1-м сценарии (1 узел, 100 байт нагрузка, 300 пакетов/с). Где большое количество пакетов в секунду связано с необходимостью порционной передачи данных (500 байт) из-за ограниченного размера пакета (127 байт) в сетях 802.15.4. Во 2-м сценарии (15 узлов, 20 байт нагрузка, 60 пакетов/с) были наибольшие задержки. Лучшие результаты получились в 3-м сценарии (5 узлов, 40 байт нагрузка, 60 пакетов/с) – потеря пакетов 20%, задержка до 20 мс. При этом использование механизма гарантированных временных слотов (GTS) для всех узлов несколько ухудшило ситуацию (рис. 2d), это связано с большой плотностью потока отправляемых пакетов. Можно отметить, что для нательной системы захвата движения из 5 беспроводных узлов

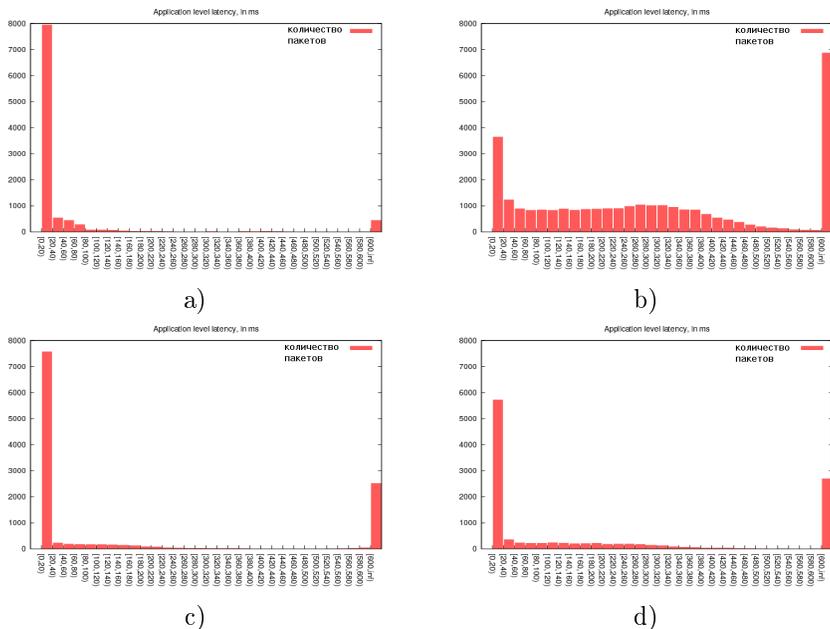


Рис. 2. Распределение задержек: а) Сценарий 1 - 1 передатчик б) Сценарий 2 - 15 передатчиков в) Сценарий 3 - 5 передатчиков, без GTS д) Сценарий 4 - 5 передатчиков, 5 GTS

с 2-мя датчиками на каждом подходе сеть стандарта IEEE 802.15.4. Для 1-го сценария компоновки системы следует попробовать сети на базе Wi-Fi и Bluetooth LE 4.2 и 5-й версии, так как они могут передавать пакет большего размера. Для 2-го сценария в дальнейшей работе планируется провести моделирование сети на базе Wi-Fi и Bluetooth.

Благодарности

Статья подготовлена в ходе проведения исследования (№ проекта 17-05-0017) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2017г. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации "5-100".

Литература

1. Проект WiSeМосар [Электронный ресурс]. URL:<http://www.vr-tech.ru/> (дата обращения: май 2017)
2. IEEE Std. 802.11-2012, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 29 March 2012
3. IEEE Std. 802.15.1-2005, Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs), 14 June 2005
4. Bluetooth Core Specification 5, 06 December 2016 [Электронный ресурс]. URL: https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=421043 (дата обращения: май 2017)
5. IEEE Std. 802.15.4-2011, Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 5 September 2011
6. IEEE Std. 802.15.6-2012, Part 15.6: Wireless Body Area Networks, 29 February 2012
7. Хромов И. А., Петухов А. А. Выбор системы моделирования для беспроводных нательных сетей // Качество. Инновации. Образование. 2015. No 12. С. 79-85.
8. Сетевой симулятор Castalia на базе OMNeT++. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/boulis/Castalia> (дата обращения: июнь 2017)
9. Сетевой симулятор ns-3. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsnam.org/> (дата обращения: июнь 2017)

UDC 004.7

WIRELESS STANDARD SELECTION FOR BODY-AREA MOTION CAPTURE SYSTEM

A. A. Petukhov*

* *School of Computer Engineering, National Research University Higher School of Economics, 34 ul. Tallinskaya, Moscow 123458, Russia*

Human interaction with the virtual environment remains one of the problems when introducing virtual (VR) and Augmented (AR) technologies in such areas as education, industry, medicine, games, and other areas. In this paper, a description of the human motion capture system that serves as a human-computer interface for VR and AR applications is given. Comparative analysis of wireless communication standards and modeling of the 802.15.4-based motion capture system were conducted. IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.15.4, and IEEE 802.15.6 standards are considered.

Keywords: motion capture system, wireless sensor networks, WSN, wireless body-area networks, wireless communication standards, human-computer interaction, virtual reality.