

Сверхширокополосные беспроводные нательные сенсорные сети

А.С. Дмитриев, В.А. Лазарев, М.И. Герасимов, А.И. Рыжов

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, ул. Моховая 11-7, chaos@cplire.ru

Последние достижения электроники дают возможность создавать беспроводные сенсорные сети в, на, или вокруг тела человека. Беспроводные нательные сети (БНС, называемые также беспроводными нательными сенсорными сетями – БНСС)) используются не только в медицинских приложениях, но также в немедицинских областях, таких как развлекательные и военные. В докладе обсуждаются основные черты БНС, требования к инфраструктуре БНС, рассматривается новый стандарт IEEE 802.15.6, его общие черты и различия с существующими стандартами.

Recent technologies in electronics allow to build wireless sensor networks in on or around the human body. Wireless Body Area Networks (WBAN, is also called Body Sensor Networks) is not only used in medical applications but also has non-medical applications areas such as entertainment, military. This report reviews the main features of WBAN, the requirements for WBAN, the new IEEE 802.15.6 standard, its similarities and differences with existing standards.

Введение

Беспроводные нательные сети имеют громадный потенциал для революционного преобразования будущих оздоровительных технологий. БНС поддерживает обширную область приложений медицинской и потребительской электроники. Например, БНС позволяют производить удаленный мониторинг состояния здоровья пациентов в течение длительного времени без ограничений его/ее нормальной активности. Для успешного внедрения БНС требуется стандартная модель, которая будет предназначена как для медицинских, так и для потребительских приложений. В 2007 году Комитет IEEE 802 образовал Целевую Группу, названную IEEE 802.15.6 для стандартизации БНС [1]. Задача Группы заключалась в определении новых Физического уровня и Уровня доступа к среде для БНС. Выбор физического уровня (частотных диапазонов был одним из основных вопросов). Доступные для БНС частоты определяются в разных странах соответствующими органами [2]. Приводимые ниже данные дают общее представление об этих диапазонах и решаемых в них задачах.

Диапазон частот Коммуникационной службы медицинских имплантов (КСМИ, Medical Implant Communication Service – MICS) является лицензируемым, используется для связи с имплантами и имеет полосу частот 402-405 МГц в большинстве стран. Служба Беспроводной медицинской телеметрии (СБМТ, Wireless Medical Telemetry Services – WMTS) представляет собой лицензируемую полосу частот для медицинских телеметрических систем. Как КСМИ, так и СБМТ не поддерживают приложения с высокой скоростью передачи данных. Нелицензируемая полоса частот для промышленности, науки и медицины - ПНМ (Industrial, Scientific and Medical – ISM) поддерживает высокоскоростные приложения и доступна повсеместно. Однако при этом имеются большие шансы для интерференции с другими радиосредствами, включая устройства стандартов IEEE 802.1, IEEE 802.11 и IEEE 802.15.4.

1. Стандарт IEEE 802.15.6

Стандарту IEEE 802.15.6 предшествовала разработка множества ряда, существующих в настоящее время и широко используемых, стандартов беспроводной связи. Наиболее значимыми из них являются IEEE 802.11 (WLAN), IEEE 802.15

(WPAN), включающий стандарты IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ZigBee) и др.

Первый, черновой вариант стандарта IEEE 802.15.6 был опубликован исследовательской группой в мае 2010 года. Окончательная версия стандарта была опубликована 29 февраля 2012 года [3]. Поскольку это очень свежий стандарт, опираясь на статьи и документы, опубликованные в процессе его разработки, опишем его концепцию.

Причины стандартизации НБС. Несмотря на наличие ряда предшествующих стандартов персональной беспроводной связи, была выявлена необходимость в специальном новом стандарте для нательных беспроводных сетей. Рассмотрим некоторые сравнительные данные для беспроводных стандартов связи общего применения и НБС нового стандарта.

IEEE 802.11 представляет собой группу стандартов для локальных беспроводных сетей – ЛБС (Wireless Local Area Networks – WLAN или Wi-Fi). Она включает разные варианты, такие как IEEE 802.11/a/b/g/n. ЛБС главным образом используются компьютерами или портативными устройствами и соединяют их с беспроводной коммуникационной средой. Но очевидно, что этот стандарт, в соответствии со своими применениями, не уделяет большого значения энергосбережению и сложности устройств. Это старый стандарт и от него нельзя ожидать слишком много.

Стандарт IEEE 802.15 сфокусирован на малых расстояниях передачи, невысокой сложности, низкой стоимости и малой потребляемой мощности. Он главным образом предназначен для беспроводных персональных сетей – БПС (Wireless Personal Area Networks – WPAN). Эта группа стандартов включает в себя IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ZigBee) и новый стандарт IEEE 802.15.6. Хотя упомянутые стандарты сталкиваются на некотором уровне с медицинскими требованиями, в отношении к коммуникациям внутри и вокруг тела человека мы должны быть более аккуратными.

Чтобы сделать сравнение более ясным и определенным, возьмем в качестве примера стандарт IEEE 802.15.4. Этот стандарт широко известен как ZigBee, хотя на самом деле ZigBee это – система, построенная на стандарте IEEE 802.15.4. Устройства ZigBee имеют более продолжительное время автономной работы по сравнению с устройствами Bluetooth, поскольку они требуют меньшего потребления энергии. Обычно ZigBee приложения требуют меньших скоростей передачи, тогда как Bluetooth предназначен, в основном, для передачи данных на относительно высоких скоростях. Кроме того, устройства ZigBee имеют значительно меньшее время соединения в сети. Таким образом, они обладают рядом свойств, необходимых для БПС, но, несмотря на это, при сравнении их характеристик с требованиями для беспроводных нательных сетей видна их функциональная недостаточность (см. Таблицу 1).

Сравнение стандартов IEEE 802.15.4 и IEEE 802.15.6 показывает, что они используются в разной среде. Беспроводные нательные сети предназначены для более коротких расстояний передачи, но более высоких скоростей передачи данных. Что касается энергопотребления, то БПС должны иметь чрезвычайно малое потребление в спящем режиме (stand-by mode) и меньшую мощность излучения в активной моде, по сравнению с ZigBee. Это обеспечивает устройствам длительный срок автономной службы и их рабочие характеристики. Из-за области применения БПС не требуют очень больших размеров сети, но должны отвечать требованиям безопасности и быть дружелюбными по биологическим параметрам, поскольку рабочая среда связана с телом человека.

В целом, Беспроводные нательные сети представляют собой стандарт для беспроводных коммуникационных систем малого радиуса действия, предназначенных для работы в окрестности, или внутри тела человека (но не ограничивающиеся этим). Они используют существующие ISM полосы частот, а также полосы частот принятые

национальными медицинскими и/или регулируемыми органами. Поддержка качества сервисов (Quality of Service – QoS), чрезвычайно малое потребление и скорости передачи до 10 Мбит/сек необходимы в них, чтобы обеспечить отсутствие интерференции с устройствами других типов.

Таблица 1

	IEEE 802.15.6, Требования стандарта	IEEE 802.15.4	ППС - 43
Поддерживаемые приложения	Медицинские, игровые, развлекательные, спортивные и др.	Домашние, освещение промышленная автоматизация, и др.	Домашние, освещение, промышленная автоматизация, медицинские и др.
Дальность	2 – 5 м В помещении	10-100 м в свободном пространстве 5 - 30 м в помещении	5 – 30 м в помещении
Скорость передачи данных	1 Кбит/сек – 10 Мбит/сек	20, 40, 250 Кбит/сек	1 Кбит/сек – 6 Мбит/сек
Потребляемая мощность	0,01 мВт – спящий режим 40 мВт - активный (скорость не указана)	135 – 150 мВт скорость 250 бит/сек. (модули XBee, [4])	0,09 мВт – спящий режим (100%); 27 мВт - 256 Кбит/сек; 70 мВт - 1024 Кбит/сек
Излучаемая мощность	25 мкВт (-16 дБм)	1 мВт (0 дБм)	200 мкВт (-7 дБм) - 256 Кбит/сек 800 мкВт (-1 дБм) - 1024 Кбит/сек
Размер сети	Умеренный, до 256 узлов	Большой, до 65К узлов	Большой, до 65К узлов
Безопасность, дружелюбность по биологическим параметрам	Да	Нет	Да, при пониженном уровне мощности (дальность до 5 метров)

БНС сети в общем случае имеют очень сложный разнородный трафик. Существующие протоколы доступа среде, разработанные для WLAN, Bluetooth, ZigBee не удовлетворяют требованиям низкого уровня излучения при передаче. Такие характеристики тела человека, как потери распространения не дают возможности использовать сети ZigBee для работы в приложениях внутри тела из-за требуемого уровня мощности. Медицинские приложения должны иметь высокий приоритет и качество обслуживания. Сети ZigBee не могут обеспечить требуемых решений для всех медицинских и немедицинских приложений. Вследствие этого стандарт IEEE 802.15.6 предлагает новый MAC уровень с тремя различными опциями, а именно: моду с пилот сигналом и границами суперфрейма, моду без пилот сигнала с границами суперфрейма и моду без пилот сигнала и границ суперфрейма.

Безопасность. Для безопасности связи IEEE 802.15.6 определяет три уровня:

1. Уровень 0 – незащищенная связь.
2. Уровень 1 – только аутентификация.
3. Уровень 3 – совместная аутентификация и шифрование.

Приемопередатчики на основе хаотических радиопульсов. В стандарте IEEE 802.15.6 в качестве носителей информации предлагается использовать импульсные сигналы трех типов: импульсы с линейной частотной модуляцией (chirp pulses),

хаотические импульсы (chaotic pulses) короткие импульсы (short pulses shape). В Таблице 1 проводится сравнение требований к приемопередатчикам в стандарте IEEE 802.15.6 с характеристиками типового приемопередатчика ZigBee [4] и сверхширокополосного прямохаотического приемопередатчика ППС – 43, разработанного совместно ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и ООО «Нанохаос». Приемопередатчик ППС - 43 использует в качестве носителя информации хаотические радиоимпульсы и является развитием серии приемопередатчиков ППС – 40 [5]. По сравнению с базовым устройством он обладает повышенной дальностью действия и энергосберегающими режимами работы. Кроме того расширены его возможности использования в сетевых приложениях. В частности, его программное обеспечение обеспечивает создание и работу в режиме самоорганизующихся сетей.

Из Таблицы 1 виден ряд принципиальных отличий требований нового стандарта от типичных характеристик устройств ZigBee, работающего в ISM диапазоне частот 2,4 ГГц. В то же время характеристики приемопередатчика ППС – 43, который создавался для беспроводных сверхширокополосных сенсорных сетей в диапазоне частот 3 -5 ГГц, и использует в качестве носителя информации хаотические радиоимпульсы, рекомендованные стандартом, значительно ближе к требуемым параметрам. Снижение мощности излучения устройства на 17-20 дБ, в соответствии с требуемой стандартом дальностью передачи не представляет технической проблемы. В этом случае характеристики ППС – 43 будут полностью соответствовать стандарту IEEE 802.15.6.

2. БНС инфраструктура

БНС состоит из узлов, которые осуществляют постоянный мониторинг жизненно важной информации пациента для диагностики и рекомендаций.

Трафик БНС подразделяется по категориям на трафики по запросу, аварийный и нормальный. **Трафик по запросу** инициируется координатором или врачом для получения информации, в основном для целей диагностических рекомендаций. Он в свою очередь делится на непрерывный (в случае хирургических событий) и дискретный (когда информация требуется от случая к случаю). **Аварийный трафик** инициируется узлами, когда они преодолевают определенный порог и требуется принятие решения меньше чем за секунду. Этот вид трафика не генерируется через регулярные интервалы и в общем случае непредсказуем. **Нормальный трафик** представляет трафик в нормальных условиях при отсутствии критических событий и событий запросов. Он включает в себя ненавязчивый рутинный мониторинг здоровья пациента и наблюдение многих болезней, таких как болезни желудочно-кишечного тракта, неврологические нарушения, обнаружение рака, период реабилитации и наиболее опасные болезни сердца. Нормальные данные собираются и обрабатываются координатором. Координатор включает в себя побудочную цепь, основное радио, функцию моста, все из которых связаны с интерфейсом данных. Побудочная цепь используется для адаптации к аварийному трафику и трафику по запросам. Функция моста используется для установления логической связи между различными узлами, работающими в разных частотных диапазонах.

3. Физический уровень

В БНС различают три типа узлов.

1. **Имплантированные узлы** – узлы, которые помещены внутри тела человека. Они могут быть размещены непосредственно под кожей или значительно глубже внутри тела.

2. **Поверхностные узлы** – узлы, которые расположены на поверхности тела, или на расстоянии от него до 2 сантиметров.

3. **Внешние узлы** – узлы, которые не контактируют с кожей человека и расположены вне тела на расстояниях от нескольких сантиметров до 5 метров.

При коммуникациях по поверхности тела, расстояние между передающим и приемным узлом определяется как расстояние по дуге минимальной длины, проходящей по поверхности тела и соединяющей передатчик и приемник, а не как непосредственное расстояние между этими устройствами. Это позволяет рассматривать для связи поверхностные огибающие волны. Для внешнего коммуникационного узла расстояние между передатчиком и приемником рассматривается как длина прямой линии, соединяющей поверхностный узел с внешним узлом, Это расстояние может достигать 3 - 5 метров.

Ограничение по максимуму излучаемой мощности для медицинских приборов, располагаемых на теле, определяется национальным и международным регулированием [2].

Ограничение по максимальной мощности для MICS составляет [2]: в Европе (решение ETSI - European Telecommunication Standards Institutes) $25 \mu\text{W ERP}$; в США (решение FCC & ITU – R) $25 \mu\text{W EIRP}$, что на 2,2 дБ ниже, чем ERP уровень.

Заметим, что предельное значение мощности в $25 \mu\text{W}$ относится к уровню сигнала вне тела человека (общей излучающей системы), что допускает для уровня мощности имплантированных узлов несколько большее значение с учетом потерь в теле.

При построении НБС на основе сверхширокополосных сигналов рассматривается четыре сценария работы: «поверхность тела – поверхность тела» при наличии прямого луча «поверхность тела – поверхность тела» при отсутствии прямого луча, «поверхность тела – внешний узел» при наличии прямого луча, «поверхность тела – внешний узел» при отсутствии прямого луча. В первых двух случаях используется модель канала CM3, в третьем и четвертом случаях модель канала CM4.

СШП физический уровень действует в двух полосах частот: нижней и верхней. Полосы делятся на каналы, с шириной каждого 499,2 МГц. Нижняя полоса включает в себя три канала (1-3). Второй канал имеет центральную частоту 3999,3 МГц и рассматривается как основной канал. Верхняя полоса включает в себя восемь каналов (4-11), где канал 7 с центральной частотой 7987,2 МГц рассматривается как основной, а остальные как опциональные. Типичное СШП устройство должно поддерживать как минимум один из основных каналов. Физический уровень СШП приемопередатчиком должен иметь невысокую сложность реализации и генерировать сигнал того же уровня мощности, как и используемый в полосе MICS.

4. Приложения НБС

НБС имеют большой потенциал для нескольких применений, включая удаленную медицинскую диагностику, интерактивные игры и военные применения.

Приложения внутри тела включают мониторинг и программу изменений для пейсмейкеров и имплантируемых сердечных дефибрилляторов, контроль функций мочевого пузыря и реабилитацию движения конечностей [6]. Медицинские применения на теле человека включают в себя мониторинг ЭКГ, давления крови, температуры и дыхания. К немедицинским применениям относятся: мониторинг забытых вещей, создание социальных сетей, снижение усталости солдат и повышение боеготовности.

Рассмотрим некоторые из этих применения подробнее.

Сердечно сосудистые болезни. Традиционно холтеровские мониторы использовались для сбора нарушений сердечного ритма в режиме “off line” без обратной связи. Однако, в таком режиме использования иногда трудно обнаружить

переходные аномалии. Например, многие сердечные заболевания ассоциируются с эпизодическими, а не с непрерывными аномалиями, такими как волны перехода в кровяном давлении, мерцательная аритмия или индуцированные эпизоды ишемии миокарда, и время их наступления не может быть точно предсказано [7]. НБС является ключевой технологией предупреждения наступления инфаркта миокарда, мониторинга эпизодических событий и других аномальных условий и может быть использована для амбулаторного наблюдения за здоровьем.

Обнаружение рака. Рак остается одной из самых больших опасностей для жизни человека. Согласно Национальному центру статистики здоровья, в 1999 году 9 миллионов жителей США имели диагноз ракового заболевания [8]. Множество миниатюрных сенсоров, способных обнаружить раковые клетки могут быть равномерно интегрированы в НБС. Это позволит медикам диагностировать новообразования без биопсии.

Астма. НБС могут помочь миллионам людей страдающих от астмы путем мониторинга аллергенов в воздухе и предоставления медикам обратной связи в режиме реального времени. Предложен прибор на основе GPS-технологии, который осуществляет мониторинг факторов окружающей среды и включает сигнал тревоги при обнаружении информации об аллергенах для пациента.

Телемедицинские системы. Существующие телемедицинские системы либо используют выделенные беспроводные каналы для передачи информации удаленным станциям, либо мощные протоколы по запросу, такие как Bluetooth, которые не защищены от интерференции с другими устройствами, работающими в той же полосе частот. Это накладывает ограничения на продолжительность мониторинга здоровья. НБС может быть интегрирована в телемедицинскую систему, которая осуществляет незаметный амбулаторный мониторинг в течение длительного времени.

Искусственная сетчатка. Чипы с протезом сетчатки могут быть имплантированы в глаз человека, что помогает пациенту с ослабленным зрением, или незрячему видеть на адекватном уровне.

Поле боя. НБС могут быть использованы для связи между солдатами на поле боя и передачи данных об их активности командиру. То есть бежит солдат, стреляет или ползет. Солдаты должны иметь секретный канал связи, чтобы предотвратить засады.

Заключение

Последние достижения электроники дают возможность создавать беспроводные натальные сенсорные сети различного медицинского и немедицинского назначения. Для упорядочения развития и применения таких сетей создан новый стандарт беспроводной персональной связи IEEE 802.15.6.

Стандарт IEEE 802.15.6 определяет три физических уровня – узкополосный (Narrowband – NB), сверхширокополосный (Ultra wideband – UWB) и связь по телу человека (Human Body Communication – HBC). Выбор каждого типа физического уровня зависит от требований к конкретному применению.

Важная роль в новом стандарте отводится беспроводным сверхширокополосным средствам связи на основе хаотических радиоимпульсов.

Беспроводные сети стандарта характеризуются относительно небольшим числом узлов. Однако он предусматривает достаточно сложные и многообразные типы трафиков и одновременную работу на одной и той же территории нескольких (до 10) независимых сетей.

Литература

1. IEEE P802.15.6/D01. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs) used in or around a body. May 2010.
2. A.W. ASTRIN, H.-B. LI, and R. KOHNO. Standardization for body area networks. // IEICE Transactions on Communications. V. E92.B. №. 2. 3. 366-372. 2009.
3. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks. 29 February 2012.
4. XBee®/XBee-PRO® DigiMesh™ 2.4 OEM RF Modules. Data sheet. 39 p. 2008.
5. А.С. Дмитриев, Е.В. Ефремова, А.В. Клецов и др. Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети. // РЭ. 2008. Т. 53. № 10. С. 1278-1289.
6. S. Ullah, H. Higgins, Y.W. Cho et al. Towards RF communication and multiple access protocols in a body sensor networks. // JDCTA: International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2008. V. 2. № 3. P. 9-16.
7. V. Lo, G.Z. Yang. // Key technical challenges and current implementations of body sensor networks. IEEE Proceedings of the 2nd International Workshop on Body Sensor Networks (BSN'05). April 2005. P. 1-5.
8. National Center for Health Statistics. URL: <http://www/cdc.gov/nchs/Default.htm>. Date Visited. 12 March 2009.