Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

УДК 004.772

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Б.Я. Лихтциндер, Ю.О. Бакай

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики Россия, 443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23

E-mail: lixt@psuti.ru

Аннотация. Содержание данной статьи определяется актуальностью использования стандартов беспроводных сенсорных сетей. Рассматривается разнообразие беспроводных сетей. Представляются стандарты персональных беспроводных сетей. В частности, представляется подробный разбор технологии GPRS. Представляются различные протоколы передачи данных. Лаконично обозреваются скорости передачи данных. Представлено развитие стандартов Bluetooth. Описаны скорости передачи данных. Подробно рассмотрены стандарты технологии Bluetooth, представлен обзор преимуществ и недостатков данных стандартов, представлено разнообразие областей применения беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: беспроводные технологии, сети, протоколы передачи данных, данные, блютуз, скорости передачи данных, сенсорные сети.

Введение

Существует большой ряд практических задач, в которых требуется контролировать состояние некоторого множества датчиков или простых исполнительных устройств, размещенных на относительно небольших расстояниях и к которым затруднительно или нежелательно подводить проводные линии. Вот некоторые примеры таких задач:

– Система обеспечения безопасности здания или территории. В ней есть датчики регистрации движения разного типа, видеокамеры наблюдения, контролируется появление или уход сотрудника, снабженного радиоэлектронным пропуском.

Лихтииндер Борис Яковлевич (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Сети и системы связи».

Бакай Юлия Олеговна, студентка бакалавриата.

- Система автоматизации здания: включение дверей, кондиционеров, опрос аварийных датчиков.
- Промышленное управление и мониторинг: сбор данных о процессах, состоянии станков и агрегатов.
- Управление доступом и освещением в зданиях, сбор информации от счетчиков воды и электроэнергии для ЖКХ.
- Индивидуальное медицинское диагностическое оборудование: опрос датчиков, размещенных непосредственно на больных средней степени тяжести, передвигающихся по территории лечебницы или санатория.

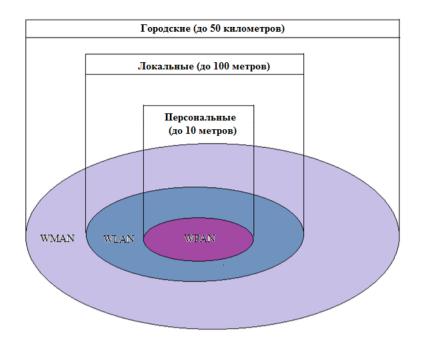
Для решения таких задач предназначены беспроводные цифровые сети, работающие по стандарту ZigBee. Это общее название набора протоколов высокого сетевого уровня, использующих небольшие маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4 [1], который описывает беспроводные персональные вычислительные сети. ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и высокая степень безопасности при относительно небольших скоростях передачи данных. Основное досточиство технологии ZigBee заключается в том, что она при относительно невысоком энергопотреблении поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка – точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений [2].

Иными словами, сеть ZigBee – это распределенная, самоорганизующаяся сеть множества датчиков. Однако помимо ZigBee имеется ряд других технологий.

Многообразие беспроводных технологий

Все многообразие современных беспроводных технологий условно можно разбить на несколько типов (см. рисунок) [3]:

- 1. Для связи оборудования в пределах рабочего места, например сотового телефона и ноутбука (или компьютера, или принтера), предназначены персональные беспроводные сети WPAN (Wireless Personal Area Network). Очевидно, что такие сети обслуживаются самим пользователем или системным (сетевым) администратором без привлечения телекоммуникационного оператора. Среди WPAN-сетей наибольшей популярностью пользуется сеть Bluetooth, позволяющая связать портативные вычислительные или телекоммуникационные устройства (сотовые телефоны, КПК, ноутбуки) с беспроводной периферией и аксессуарами, расположенными в небольшом удалении (до 10 м, а в отдельных случаях до 100 м) от пользователя.
- 2. Беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network), которые, по ассоциации с наиболее популярной беспроводной сетью, также называют Wi-Fi (сокращение Wireless Fidelity) сетями, обеспечивают дальность связи в помещении порядка 50–150 м или на открытом пространстве до 300 м. Предназначены они в основном для развертывания беспроводных сетей в пределах одного или нескольких помещений, хотя возможно их использование и на открытых площадках ограниченных размеров. Также определенной популярностью пользуются так называемые хот-споты беспроводные сети, развертываемые с целью обеспечения доступа в Интернет или корпоративную сеть в публичных местах (в гостиницах, аэропортах, кафе, ресторанах, выставочных залах и пр.).



Виды беспроводных технологий

3. Характерный радиус действия распределенных беспроводных сетей масштаба города WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) составляет величину порядка 50 км. Такие сети призваны дополнить (а в перспективе и полностью заменить) в качестве «последней мили» инфраструктуру кабельных городских коммуникационных сетей, служащих для высокоскоростного доступа в Интернет и телефонии. К этой категории относятся сети широкополосного доступа WiMAX (семейства стандартов IEEE 802.16) [4].

Стандарты персональных беспроводных сетей

Infrared Data Association (IrDA, ИК-порт, инфракрасный порт) – группа стандартов, описывающая протоколы физического и логического уровня передачи данных с использованием инфракрасного диапазона световых волн в качестве среды передачи. Является разновидностью оптической линии связи ближнего радиуса действия.

Была особо популярна в конце 1990-х — начале 2000-х годов. В данное время практически вытеснена более современными способами связи, такими как $\underline{\text{Wi-Fi}}$ и Bluetooth. Основными причинами отказа от IrDA являются:

- усложнение сборки корпусов устройств, в которых монтировалось ИК-прозрачное окно;
- ограниченная дальность действия и требования прямой видимости пары приемник передатчик;
- относительно низкая скорость передачи данных первых реализаций стандарта. В последующих ревизиях стандарта этот недостаток исправили: скоростные

возможности немного превышают, например, возможности самой распространенной на сегодняшний момент версии протокола Bluetooth. Однако широкого распространения скоростные варианты IrDA получить уже не успели.

В повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с ИК-портами.

Дистанционный пульт управления передает команды на телевизор или видеомагнитофон с помощью IrDA. До недавнего времени ИК-портами оснащалась большая часть мобильных телефонов, ноутбуков и карманных компьютеров. ИК-портами оснащаются некоторые принтеры и цифровые фотоаппараты. Большинство настольных ПК, напротив, не имеет инфракрасного порта в стандартной системной конфигурации, и для них необходим ИК-адаптер, который подключается к компьютеру через USB, COM-порт или в специальный разъем на материнской плате.

Через ИК-порт с помощью протокола высокого уровня IrOBEX можно, например, передать цифровую визитную карточку, мелодию, картинку или файл на другой мобильник или компьютер, на котором также имеется ИК-порт. Этот же протокол позволяет организовать синхронизацию данных. Обеспечивает возможность обмена произвольными объектами данных: контактами, событиями календаря и даже исполняемыми приложениями.

IrCOMM (Infrared Communications Protocol) — протокол позволяет использовать ИК-соединение в качестве последовательного или параллельного порта (СОМ). Протокол IrCOMM позволяет использовать мобильный телефон как беспроводной модем.

IrLAN (Infrared Local Area Network) – протокол, позволяющий подключиться к LAN-сети через IrDA-соединение одним из трех способов: как точка доступа, одноранговая связь реег-to-реег или в качестве хоста. Протокол IrLAN позволяет подключить и связать устройства в локальную сеть наподобие Ethernet.

Ввиду того, что пульты дистанционного управления используют этот же протокол, КПК со встроенным ИК-портом можно использовать как пульт для управления. Для этого, как правило, необходимо установить соответствующее ПО.

IrPHY (Infrared Physical Layer Specification) представляет обязательный протокол самого низкого уровня среди спецификаций IrDA. Соответствует физическому уровню сетевой модели OSI.

Основные характеристики спецификации IrPHY выглядят следующим образом:

- дальность: не менее 1 м;
- минимальное поддерживаемое отклонение от оси приемника/передатчика: не менее 15°;
- скорость передачи данных: от 2,4 кбит/с до 16 Мбит/с (100-мегобитная версия находится в разработке);
 - модуляция: немодулированный сигнал, без несущей;
 - волновой диапазон: от 850 до 880 нанометров;
 - режим передачи данных: полудуплексный.

Интересно, что спецификация не определяет максимальных допустимых значений для таких параметров, как дальность или отклонение от оси, тем не менее типичное расположение устройств для организации соединения подразумевает расстояние от 5 до 50 см на одной оси. Устройства с односторонней связью (например, пульт ДУ и телевизор), как правило, поддерживают дальность не менее 10 м.

Использование полудуплексного режима мотивируется тем, что при попытке одновременного приема и передачи данных излучение собственного передатчика

будет сильно мешать приему сигнала от передатчика удаленного, что делает реализацию полнодуплексного режима очень сложной и нецелесообразной.

IrLAP (Infrared Link Access Protocol) – обязательный протокол второго уровня, располагается поверх IrPHY, соответствует канальному уровню сетевой модели OSI.

IrLAP отвечает за следующие функции:

- контроль доступа;
- поиск расположенных вблизи устройств;
- установление и поддержка двунаправленного соединения;
- распределение первичной и вторичной ролей среди устройств.

IrLAP делит все сообщающиеся устройства на одно первичное и остальные (одно и более) вторичные. Первичное устройство контролирует все вторичные и может передавать им данные без «разрешения». Вторичное устройство может отправлять данные только по запросу с первичного.

IrLMP (Infrared Link Management Protocol) – обязательный протокол третьего уровня. Соответствует сетевому уровню сетевой модели OSI. Состоит из двух подуровней – LM-MUX (Link Management Multiplexer) и LM-IAS (Link Management Information Access Service).

LM-MUX отвечает за следующие функции:

- разделение потока данных на различные каналы связи;
- смена первичных/вторичных устройств.

LM-IAS отвечает за следующие функции:

- публикация списка доступных сервисов;
- доступ клиентских устройств к опубликованным сервисам.

Tiny TP (Tiny Transport Protocol) – протокол, основанный на базе IrLMP. Позволяет передавать большие массивы данных и управлять потоком данных, расставляя приоритеты каждому логическому каналу.

IrOBEX (Infrared Object Exchange) – протокол, упомянутый выше основанный на базе Tiny TP.

IrFM (Infrared Financial Messaging) – протокол, позволяющий проводить денежные транзакции между двумя устройствами. Находится в стадии разработки [5].

Скорости передачи данных

Скорости передачи данных делятся на несколько поддиапазонов – SIR, MIR, FIR, VFIR, UFIR, каждый из которых характеризуется не только разными скоростями, но и использованием различных кодовых схем. Что, собственно, и делает возможной более быструю передачу данных.

SIR (Serial Infrared) использует те же скорости передачи данных, что и в спецификации последовательного соединения RS232 (COM-порт), а именно 9.6 Кбит/с, 19.2 Кбит/с, 38.4 Кбит/с, 57.6 Кбит/с, 115.2 Кбит/с. Совпадение поддерживаемых скоростей не случайно и позволяет довольно легко реализовать COM IrDA адаптеры.

Как правило, наименьшая доступная скорость для устройств составляет именно 9600 бит/с, и именно она используется для передачи сигналов поиска, оповещения и сопряжения.

MIR (Medium Infrared) поддерживает скорости передачи данных 0.576 Мбит/с и 1.152 Мбит/с. Хотя MIR и не является официальным термином IrDA, однако то,

что схема кодирования, используемая для этих скоростей, отлична как от SIR, так и от FIR, делает этот термин довольно удобным и распространенным.

FIR (Fast Infrared) – устаревший термин спецификации IrDA, ранее использовавшийся для обозначения устройств, поддерживающих скорость передачи данных от 9600 бит/с до 4 Мбит/с, что включает в себя и SIR, и MIR. В наше время, как правило, термин FIR используется для обозначения собственно скорости 4 Мбит/с. Некоторые источники используют термин FIR для обозначения всех скоростей, превышающих SIR.

VFIR (Very Fast Infrared) – термин, использующийся для обозначения поддержки скоростей передачи вплоть до 16 Мбит/с.

Хотя детали спецификации все еще находятся в состоянии разработки, на данный момент 16 Мбит/с — это самая высокая скорость передачи данных по IrDA, поддерживаемая серийными устройствами. Например, инфракрасный передатчик TFDU8108 поддерживает все скорости передачи данных от 9.6 Кбит/с до 16 Мбит/с.

UFIR (Ultra Fast Infrared) находится в состоянии разработки, ожидается, что будет поддерживать скорости вплоть до 100 Мбит/с.

GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) [6] – надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволяет пользователю сети сотовой связи производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в том числе Интернет. GPRS предполагает тарификацию по объему переданной/полученной информации, а не по времени, проведенному онлайн.

При использовании GPRS информация собирается в пакеты и передается через неиспользуемые в данный момент голосовые каналы. Такая технология предполагает более эффективное использование ресурсов сети GSM. При этом что именно является приоритетом передачи — голосовой трафик или передача данных, выбирается оператором связи. Федеральная тройка в России использует безусловный приоритет голосового трафика перед данными, поэтому скорость передачи зависит не только от возможностей оборудования, но и от загрузки сети. Возможность использования сразу нескольких каналов обеспечивает достаточно высокие скорости передачи данных, теоретический максимум при всех занятых таймслотах ТDMA составляет 171,2 Кбит/с. Существуют различные классы GPRS, различающиеся скоростью передачи данных и возможностью совмещения передачи данных с одновременным голосовым вызовом.

Передача данных разделяется по направлениям «вниз» (downlink; DL) — от сети к абоненту и «вверх» (uplink, UL) — от абонента к сети. Мобильные терминалы разделяются на классы по количеству одновременно используемых таймслотов для передачи и приема данных. Современные телефоны поддерживают до 4 таймслотов одновременно для приема по линии «вниз» (то есть могут принимать 85 Кбит/с по кодовой схеме CS-4) и до 2 для передачи по линии «вверх» (class 10 или 4+2 всего 5). Новейшие телефоны поддерживают class 12 (или 4+4, всего 5).

Абоненту, подключенному к GPRS, предоставляется виртуальный канал, который на время передачи пакета становится реальным, а в остальное время используется для передачи пакетов других пользователей. Поскольку один канал могут использовать несколько абонентов, возможно возникновение очереди на передачу

пакетов и, как следствие, задержка связи. Например, современная версия программного обеспечения контроллеров базовых станций допускает одновременное использование одного таймслота шестнадцатью абонентами в разное время и до 5 (из 8) таймслотов на частоте, итого – до 80 абонентов, пользующихся GPRS на одном канале связи (средняя максимальная скорость при этом 21,4·5/80 = 1,3 Кбит/с на абонента). Другой крайний случай – пакетирование таймслотов в один непрерывный с вытеснением голосовых абонентов на другие частоты (при наличии таковых и с учетом приоритета). При этом телефон, работающий в режиме GPRS, принимает все пакеты на одной частоте и не тратит времени на переключения. В этом случае скорость передачи данных достигает максимально возможной, как и описано выше, 4+2 таймслота (class 10) или 4+4 (class 12).

Технология GPRS использует GMSK-модуляцию. В зависимости от качества радиосигнала данные, пересылаемые по радиоэфиру, кодируются по одной из 4 кодовых схем (CS1–CS4). Каждая кодовая схема характеризуется избыточностью кодирования и помехоустойчивостью и выбирается автоматически в зависимости от качества радиосигнала. По той же схеме и используя то же самое оборудование работает и технология EDGE. Но внутри таймслота EDGE используется другая, более плотная упаковка информации (модуляция 8PSK).

Стандарты Bluetooth

Стандарт Bluetooth (назван в честь короля викингов Харальда Синезубого, поэтому его часто называют просто «синий зуб») сегодня является одним из самых известных и распространенных. Его первая спецификация была выпущена в 1998 году компанией Ericsson (в разработке принимали участие также IBM, Intel, Nokia и Toshiba) для обмена данными без проводов между двумя и более устройствами. Поскольку эта компания занималась производством мобильных телефонов, то именно для них новая технология и предназначалась — как тривиальная замена интерфейсного кабеля. Именно поэтому от Bluetooth не требовалось ни большого радиуса действия, ни высокой скорости передачи данных, да и в какой-то особой функциональности нужды не было. Зато требовались простота подключения и максимально низкое энергопотребление.

Однако к настоящему времени область применения «синего зуба» существенно расширилась — он превратился в универсальный беспроводной интерфейс для персональных сетей, в которые могут входить практически любые устройства. Так, помимо сотовых телефонов и различных дополнений к ним (беспроводные гарнитуры и пр.), Bluetooth широко используется для передачи данных в КПК и ноутбуках, в беспроводных компьютерных мышках и клавиатурах. Многие принтеры (и не только мобильные) и МФУ используют этот интерфейс для «избавления» от проводов. Кроме того, он стал фактическим стандартом передачи данных между GPS-навигаторами и устройствами отображения (КПК или ноутбуками).

Радиосвязь Bluetooth осуществляется в стандартном ISM-диапазоне (2,4–2,48 ГГц). Спектр сигнала формируется по методу частотных скачков FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) — несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду (всего предусмотрено 79 рабочих частот) по псевдослучайному закону. Таким образом, если в одном и том же месте работают несколько устройств Bluetooth, то они не мешают друг другу. Передача цифровых данных происходит со скоростью 723,2 Кбит/с [7].

По «дальнобойности» все устройства Bluetooth подразделяются на три класса (дальность очень зависит от преград и помех):

- Class 1 передатчик мощностью до 100 мВт обеспечивает радиус действия до 100 м:
- Class 2 передатчик мощностью до 2,5 мВт обеспечивает радиус действия до 10 м;
- Class 3 передатчик мощностью до 1 мВт обеспечивает радиус действия до 1 м.

Естественно, что сегодня больше всего распространены устройства 1-го и 2-го классов как обеспечивающие более или менее приемлемый радиус устойчивой работы.

На сегодня известны следующие стандарты Bluetooth:

Bluetooth 1.0. Устройства версий 1.0 (1998) и 1.0В имели плохую совместимость между продуктами различных производителей. В 1.0 и 1.0В была обязательной передача адреса устройства (BD_ADDR) на этапе установления связи, что делало невозможной реализацию анонимности соединения на протокольном уровне и было основным недостатком данной спецификации.

Bluetooth 1.1. В Bluetooth 1.1 было исправлено множество ошибок, найденных в 1.0В, добавлена поддержка для нешифрованных каналов, индикация уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI).

Bluetooth 1.2. В версии 1.2 была добавлена технология адаптивной перестройки рабочей частоты (AFH), что улучшило сопротивляемость к электромагнитной интерференции (помехам) путем использования разнесенных частот в последовательности перестройки. Также увеличилась скорость передачи и добавилась технология eSCO, которая улучшала качество передачи голоса путем повторения поврежденных пакетов. В НСІ добавилась поддержка трех-проводного интерфейса UART.

Главные улучшения включают следующее:

- быстрое подключение и обнаружение;
- адаптивная перестройка частоты с расширенным спектром (AFH), которая повышает стойкость к радиопомехам;
- более высокие, чем в 1.1, скорости передачи данных, практически до 721
 Кбит/с:
- расширенные синхронные подключения (eSCO), которые улучшают качество передачи голоса в аудиопотоке, позволяя повторную передачу поврежденных пакетов, и при необходимости могут увеличить задержку аудио, чтобы оказать лучшую поддержку для параллельной передачи данных;
- в Host Controller Interface (HCI) добавлена поддержка трехпроводного интерфейса UART;
 - утвержден как стандарт IEEE Standard 802.15.1-2005 [8];
- введены режимы управления потоком данных (Flow Control) и повторной передачи (Retransmission Modes) для L2CAP.

Bluetooth 2.0 + EDR. Bluetooth версии 2.0 был выпущен 10 ноября 2004 г. Имеет обратную совместимость с предыдущими версиями 1.х. Основным нововведением стала поддержка Enhanced Data Rate (EDR) для ускорения передачи данных. Номинальная скорость EDR — около 3 Мбит/с, однако на практике это позволило повысить скорость передачи данных только до 2,1 Мбит/с. Дополнительная производительность достигается с помощью различных радиотехнологий для передачи данных.

Стандартная (базовая) скорость передачи данных использует GFSK-модуляцию радиосигнала при скорости передачи в 1 Мбит/с. EDR использует сочетание модуляций GFSK и PSK с двумя вариантами: π/4-DQPSK и 8DPSK. Они имеют большие скорости передачи данных по воздуху – 2 и 3 Мбит/с соответственно.

Bluetooth SIG издала спецификацию как «Технология Bluetooth 2.0 + EDR», которая подразумевает, что EDR является дополнительной функцией. Кроме EDR есть и другие незначительные усовершенствования к 2.0 спецификации, и продукты могут соответствовать «Технологии Bluetooth 2.0», не поддерживая более высокую скорость передачи данных. По крайней мере, одно коммерческое устройство, HTC TyTN Pocket PC, использует «Bluetooth 2.0 без EDR» в своих технических спецификациях.

Согласно 2.0 + EDR спецификации, EDR обеспечивает следующие преимущества:

- увеличение скорости передачи в 3 раза (2,1 Мбит/с) в некоторых случаях;
- уменьшение сложности нескольких одновременных подключений из-за дополнительной полосы пропускания;
 - более низкое потребление энергии благодаря уменьшению нагрузки.

Bluetooth 2.1. В 2007 году были добавлены технология расширенного запроса характеристик устройства (для дополнительной фильтрации списка при сопряжении), энергосберегающая технология Sniff Subrating, которая позволяет увеличить продолжительность работы устройства от одного заряда аккумулятора в 3–10 раз. Кроме того, обновленная спецификация существенно упрощает и ускоряет установление связи между двумя устройствами, позволяет производить обновление ключа шифрования без разрыва соединения, а также делает указанные соединения более защищенными благодаря использованию технологии Near Field Communication.

Bluetooth 2.1 + EDR. В августе 2008 года Bluetooth SIG представил версию 2.1+EDR. Новая редакция Bluetooth снижает потребление энергии в 5 раз, повышает уровень защиты данных и облегчает распознавание и соединение Bluetooth-устройств благодаря уменьшению количества шагов, за которые оно выполняется.

Bluetooth 3.0 + HS. 3.0+HS была принята Bluetooth SIG 21 апреля 2009 года. Она поддерживает теоретическую скорость передачи данных до 24 Мбит/с. Ее основной особенностью является добавление AMP (асимметричная мультипроцессорная обработка) (альтернативно MAC/PHY), дополнение к 802.11 как высокоскоростное сообщение. Две технологии были предусмотрены для AMP: 802.11 и UWB, но UWB отсутствует в спецификации.

Модули с поддержкой новой спецификации соединяют в себе две радиосистемы: первая обеспечивает передачу данных в 3 Мбит/с (стандартная для Bluetooth 2.0) и имеет низкое энергопотребление; вторая совместима со стандартом 802.11 и обеспечивает возможность передачи данных со скоростью до 24 Мбит/с (сравнима со скоростью сетей Wi-Fi). Выбор радиосистемы для передачи данных зависит от размера передаваемого файла. Небольшие файлы передаются по медленному каналу, а большие – по высокоскоростному. Bluetooth 3.0 использует более общий стандарт 802.11 (без суффикса), то есть несовместим с такими спецификациями Wi-Fi, как 802.11b/g или 802.11n.

Bluetooth 4.0. Bluetooth SIG утвердил спецификацию Bluetooth 4.0 30 июня 2010 г. Bluetooth 4.0 включает в себя протоколы: классический Bluetooth, высокоскоростной Bluetooth и Bluetooth с низким энергопотреблением. Высокоскоростной Bluetooth основан на Wi-Fi, а классический Bluetooth состоит из протоколов предыдущих спецификаций Bluetooth.

Протокол Bluetooth с низким энергопотреблением предназначен прежде всего для миниатюрных электронных датчиков (использующихся в спортивной обуви, тренажерах, миниатюрных сенсорах, размещаемых на теле пациентов, и т. д.). Низкое энергопотребление достигается за счет использования специального алгоритма работы. Передатчик включается только на время отправки данных, что обеспечивает возможность работы от одной батарейки типа CR2032 в течение нескольких лет. Стандарт предоставляет скорость передачи данных в 1 Мбит/с при размере пакета данных 8–27 байт. В новой версии два Bluetooth-устройства смогут устанавливать соединение менее чем за 5 миллисекунд и поддерживать его на расстоянии до 100 м. Для этого используется усовершенствованная коррекция ошибок, а необходимый уровень безопасности обеспечивает 128-битное AES-шифрование.

Сенсоры температуры, давления, влажности, скорости передвижения и т. д. на базе этого стандарта могут передавать информацию на различные устройства контроля: мобильные телефоны, КПК, ПК и т. п.

Первый чип с поддержкой Bluetooth 3.0 и Bluetooth 4.0 был выпущен компанией ST-Ericsson в конце 2009 года.

Bluetooth 4.0 поддерживается в MacBook Air и Mac mini (с июля 2011 года), iMac (ноябрь 2012 года), iPhone 4S (октябрь 2011 года) и iPhone 5 (сентябрь 2012 года), iPad 3 (март 2012 года) и iPad mini (с ноября 2012 года), смартфонах LGOptimus 4X HD (февраль 2012 года), Google Nexus 4, HTC One X, S, V и Samsung Galaxy S III (май 2012 года), Explay Infinity (август 2012 года), HTC One X+ (2012), HTC Desire C, HTC Desire V, Google Nexus 7 (2012), Sony VAIO SVE1511N1RSI, Nokia Lumia 920 (18 сентября 2012 г.).

Bluetooth 5.0. 16 июня 2016 года Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила спецификацию Bluetooth 5.0. Изменения коснулись в основном режима с низким потреблением и высокоскоростного режима. Радиус действия увеличен в 4 раза, скорость увеличена в 2 раза. Максимальный диапазон работы — до 200 м на открытом пространстве и до 40 м в помещении. Bluetooth 5.0 увеличивает пропускную способность до 2 Мбит/с.

Bluetooth 5.1. 29 января 2019 года Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила спецификацию Bluetooth 5.1. Система позиционирования теперь может определять направление, с которого поступает сигнал Bluetooth. Учитывая расстояние и направление, устройства Bluetooth теперь смогут определить точное местоположение устройства вплоть до сантиметра. Bluetooth 5.1 предлагает два разных метода определения направления: «Угол прибытия» (AoA) и «Угол вылета» (AoD). Одно из двух устройств должно иметь массив из нескольких антенн, и данные, полученные от этих антенн, могут использоваться для определения направления, с которого поступает сигнал Bluetooth. Одной из новых функций является «рандомизация индексации вещательных каналов». Bluetooth 5.0 требовал, чтобы устройства проходили по каналам 37, 38 и 39 в строгом порядке. Теперь устройства могут выбирать каналы в произвольном порядке. Это уменьшает вероятность того, что два устройства Bluetooth будут мешать друг другу и «разговаривать» друг с другом по одним и тем же каналам при объявлении о готовности к подключению, и это будет полезно в местах с большим количеством устройств Bluetooth [9].

Bluetooth Low Energy Mesh (BLE Mesh). 18 июля 2017 представили технологию Bluetooth Low Energy Mesh. Технология предназначена для обеспечения связи между главным контроллером и сенсорными устройствами. Распределенная сеть

BLE Mesh использует метод управляемого потока для передачи сообщений на подключенные устройства, которые называются узлами. Этот метод предусматривает отправление сообщений широковещательной рассылкой BLE тем узлам, которые находятся в пределах досягаемости. Принимающие узлы ретранслируют или перенаправляют это сообщение другим узлам в пределах своего диапазона. Как только соответствующий узел получает сообщение, инициируется заранее определенное событие [10].

Заключение

В данной работе проведен анализ различных технологий беспроводной передачи данных. Изложены принципы работы основных протоколов беспроводных сетей. Выявлены недостатки и возможности развития той или иной технологии беспроводных сетей. В частности, проведен подробный обзор стандартов технологии Bluetooth, представлены последовательные этапы перехода и развития данных стандартов. На основе изложенных фактов можно сделать вывод, что технологии беспроводных сенсорных сетей имеют потенциал развития и расширения области применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. IEEE 802.15.4-2020. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html (дата обращения: 18.12.2020).
- Варгаузин В.А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. С. 29–32.
- 3. ITU-T Y.4104/F.744: Service description and requirements for ubiquitous sensor network middle-ware. URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.744-200912-I!!PDF-E&type=items (дата обращения: 18.12.2020).
- 4. IEEE 802.16. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_16-2009.html (дата обращения: 18.12.2020).
- 5. IrDA Library of Specifications and Technical Papers for EMF. URL: https://www.irda.org/library-of-specs (дата обращения: 18.12.2020).
- 6. Cambridge English Dictionary. URL: https://dictionary.cambridge.org/ (дата обращения: 18.12.2020).
- Scarfone K., Padgette J. Guide to Bluetooth security. NIST Special Publication 800-121 Revision 1, 2008
- 8. IEEE 802.15.1-2005. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2005.html (дата обращения: 18.12.2020).
- 9. ITU-T Y.4251/F.747.1: Capabilities of ubiquitous sensor networks for supporting the requirements of smart metering services. URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.747.1-201206-I!!PDF-E&type=items
- ITU-T Y.4403/Y.2026: Functional requirements and architecture of the next generation network for support of ubiquitous sensor network applications and services. URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2026-201207-I!!PDF-R&type=items

Статья поступила в редакцию 13 января 2021 г.

WIRELESS SENSOR NETWORK TECHNOLOGIES

B. Ya. Likhttsinder, Yu.O. Bakai

Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatic 23, L. Tolstoy st., Samara, 443010, Russian Federation

E-mail: lixt@psuti.ru

Abstract. The content of this paper is determined by the relevance of wireless sensor network standards. The paper discusses the diversity of wireless networks. Personal wireless network standards are presented. In particular, a detailed analysis of GPRS technology is presented. Various data transmission protocols are presented. Data transmission speeds are briefly reviewed. The evolution of Bluetooth standards is presented. Data transmission rates are described. Standards for Bluetooth technology are discussed in detail, an overview of the advantages and disadvantages of these standards is given, and the variety of applications for wireless sensor networks is presented.

Keywords: wireless technology, networks, data protocols, data, Bluetooth, data rates, sensor networks.

REFERENCES

- 1. IEEE 802.15.4-2020. Available at: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html (Accessed: 18.12.2020).
- 2. Vargauzin V.A. ZigBee network technology. TeleMul'tiMedia. 2005, no. 6. pp. 29–32. [in Russian]
- 3. ITU-T Y.4104/F.744: Service description and requirements for ubiquitous sensor network middle-ware. Available at: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.744-200912-I!!PDF-E&type=items
- 4. IEEE 802.16. Available at: https://standards.ieee.org/standard/802_16-2009.html (Accessed: 18.12.2020).
- 5. IrDA Library of Specifications and Technical Papers for EMF. Available at: https://www.irda.org/library-of-specs (Accessed: 18.12.2020).
- 6. Cambridge English Dictionary. Available at: https://dictionary.cambridge.org/ (Accessed: 18.12.2020).
- Scarfone K., Padgette J. Guide to Bluetooth security. NIST Special Publication 800-121 Revision 1, 2008
- 8. IEEE 802.15.1-2005. Available at: https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2005.html (Accessed: 18.12.2020).
- 9. ITU-T Y.4251/F.747.1: Capabilities of ubiquitous sensor networks for supporting the requirements of smart metering services. Available at: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.747.1-201206-I!!PDF-E&type=items
- 10. ITU-T Y.4403/Y.2026: Functional requirements and architecture of the next generation network for support of ubiquitous sensor network applications and services. Available at: https://www.itu.int/rec/dologin pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2026-201207-I!!PDF-R&type=items

Boris Ya. Likhttsinder (Dr. Sci. (Techn.)), Professor. Yulia O. Bakai, Undergraduate Student.