

# Технологии беспроводной передачи данных ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi

Николай АГАФОНОВ  
nicaga@yandex.ru

**В статье рассматриваются три технологии беспроводной передачи данных, названия которых, что называется, у всех на слуху: ZigBee, Bluetooth и Wi-Fi, а также приводятся возможные области их использования и рекомендации по выбору технологии для конкретной задачи.**

## Технология беспроводной передачи данных Bluetooth

Технология Bluetooth (стандарт IEEE 802.15) стала первой технологией, позволяющей организовать беспроводную персональную сеть передачи данных (WPAN — Wireless Personal Network). Она позволяет осуществлять передачу данных и голоса по радиоканалу на небольшие расстояния (10–100 м) в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц и соединять ПК, мобильные телефоны и другие устройства при отсутствии прямой видимости.

Своему рождению Bluetooth обязана фирме Ericsson, которая в 1994 году начала разработку новой технологии связи. Первоначально основной целью являлась разработка радиointерфейса с низким уровнем энергопотребления и невысокой стоимостью, который позволял бы устанавливать связь между сотовыми телефонами и беспроводными гарнитурами. Однако впоследствии работы по разработке радиointерфейса плавно переросли в создание новой технологии.

На телекоммуникационном рынке, а также на рынке компьютерных средств успех новой технологии обеспечивают ведущие фирмы-производители, которые принимают решение о целесообразности и экономической выгоде от интеграции новой технологии в свои новые разработки. Поэтому, чтобы обеспечить своему детищу достойное будущее и дальнейшее развитие, в 1998 году фирма Ericsson организовала консорциум Bluetooth SIG (Special Interest Group), перед которым ставились следующие задачи:

- дальнейшая разработка технологии Bluetooth;
- продвижение новой технологии на рынке телекоммуникационных средств.

В консорциум Bluetooth SIG входят такие фирмы, как Ericsson, Nokia, ZCOM, Intel, National Semiconductor.

Логично было бы предположить, что первые шаги, предпринимаемые консорциумом

Bluetooth SIG, будут заключаться в стандартизации новой технологии с целью совместимости Bluetooth-устройств, разработанных разными фирмами. Это и было реализовано. Для этого были разработаны спецификации, детально описывающие методы использования нового стандарта и характеристики протоколов передачи данных.

В результате был разработан стек протокола беспроводной передачи данных Bluetooth (рис. 1).

Технология Bluetooth поддерживает как соединения типа «точка–точка», так и «точка–многоточечек». Два или более использующих один и тот же канал устройства образуют пикосеть (piconet). Одно из устройств работает как основное (master), а остальные — как подчиненные (slave). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств, при этом остальные подчиненные устройства находятся в состоянии «парковки», оставаясь синхронизированными с основным устройством. Взаимодействующие пикосети образуют «распределенную сеть» (scatternet).

В каждой пикосети действует только одно основное устройство, однако подчиненные устройства могут входить в различные пикосети. Кроме того, основное устройство одной пикосети может являться подчиненным в другой (рис. 2).

С момента появления на рынке первых модулей Bluetooth их широкому применению в новых приложениях препятствовала сложная программная реализация стека протокола Bluetooth. Разработчику необходимо было самостоятельно реализовать управление Bluetooth-модулем и разработать профили, определяющие взаимодействие модуля с другими Bluetooth-устройствами с помощью команд интерфейса хост-контроллера (HCI — Host Controller Interface). Интерес к технологии Bluetooth возрастал с каждым днем, появлялись все новые и новые фирмы, разрабатывающие для нее компоненты, но не было решения, которое бы в значительной степени упростило бы управление Bluetooth-модулями. И такое решение было найдено. Финская фирма, изучив ситуацию на рынке, одной из первых предложила разработчикам следующее решение.

В большинстве случаев технология Bluetooth используется разработчиками для замены проводного последовательного соединения между двумя устройствами на беспроводное. Для организации соединения и выполнения передачи данных разработчику необходимо программно,

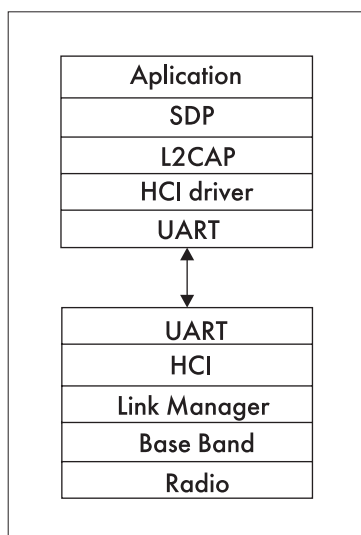


Рис. 1. Стек протокола Bluetooth

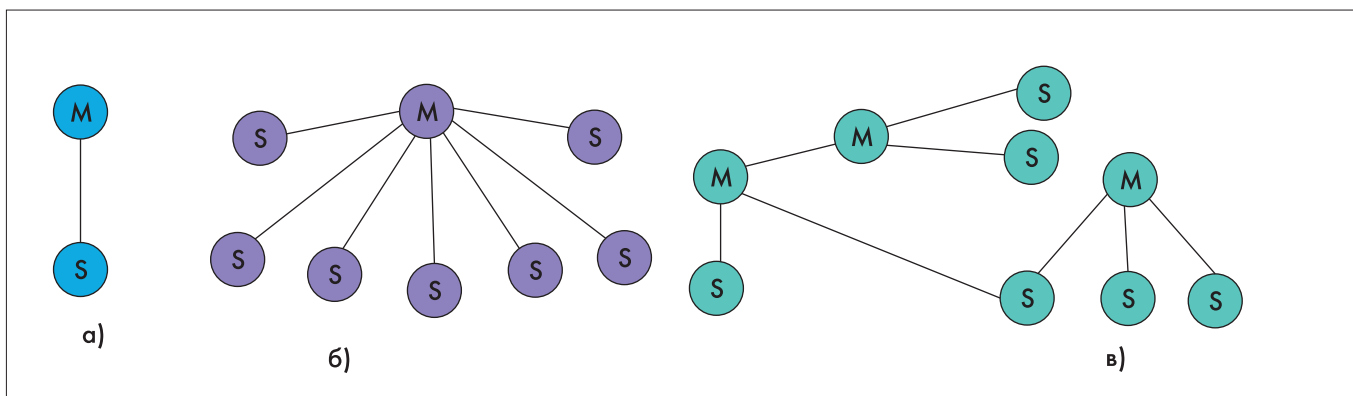


Рис. 2. Пикосеть с подчиненными устройствами. а) с одним подчиненным устройством. б) несколькими. в) распределенная сеть

с помощью команд интерфейса хост-контроллера реализовать верхние уровни стека протокола Bluetooth, к которым относят: L2CAP, RFCOMM, SDP, а также профиль взаимодействия по последовательному порту — SPP (Serial Port Profile) и профиль обнаружения услуг SDP (Service Discovery Profile). На этом и решила сыграть финская фирма, разработав вариант прошивки Bluetooth-модулей, представляющий законченную программную реализацию всего стека протокола Bluetooth (рис. 1), а также профилей SPP и SDP. Это решение дает возможность разработчику осуществлять управление модулем, устанавливать беспроводное последовательное соединение и выполнять передачу данных с помощью специальных символьных команд, точно так же, как это делается при работе с обычными модемами через стандартные AT-команды. На первый взгляд, рассмотренное выше решение позволяет существенно сократить время интеграции технологии Bluetooth во вновь разрабатываемые изделия. Однако это накладывает определенные ограничения на использование возможностей технологии Bluetooth. В основном это сказывается на уменьшении максимальной пропускной способности и количестве одновременных асинхронных соединений, поддерживаемых Bluetooth-модулем. В середине 2004 года на смену спецификации Bluetooth версии 1.1, которая была опубли-

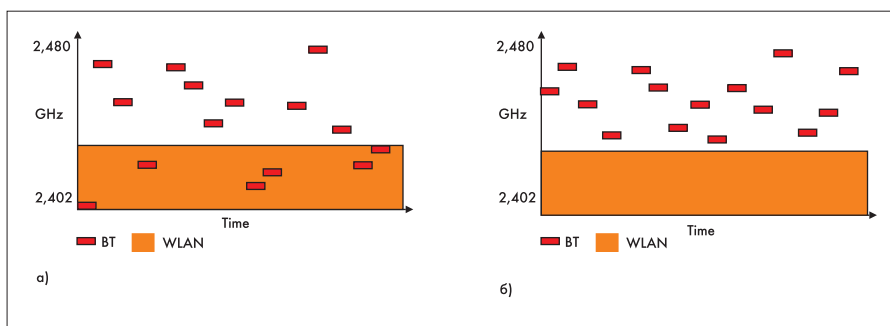


Рис. 3. Принцип действия технологии AFH. а) коллизии б) уход от коллизий при помощи адаптивной перестройки частоты канала

кована в 2001 году, принята спецификация Bluetooth версии 1.2. К основным отличиям спецификации 1.2 от 1.1 относят:

1. Реализация технологии адаптивной перестройки частоты канала (Adaptive Frequency hopping, AFH).
2. Усовершенствование голосового соединения.
3. Сокращение времени, затрачиваемого на установление соединения между двумя модулями Bluetooth.

Известно, что Bluetooth и Wi-Fi используют один и тот же нелицензируемый диапазон 2,4 ГГц. Следовательно, в тех случаях, когда Bluetooth-устройства находятся в зоне действия устройств Wi-Fi и осуществляют обмен данными между со-

бой, это может привести к коллизиям и повлиять на работоспособность устройств. Технология AFH позволяет избежать появления коллизий: во время обмена информацией для борьбы с интерференцией технология Bluetooth использует скачкообразную перестройку частоты канала, при выборе которой не учитываются частотные каналы, на которых осуществляют обмен данными устройства Wi-Fi. На рис. 3 проиллюстрирован принцип действия технологии AFH. Развитие технологии Bluetooth не стоит на месте. Консорциумом SIG разработана концепция развития технологии до 2008 года (рис. 4). В настоящее время на рынке работает большое количество фирм, предлагающих моду-

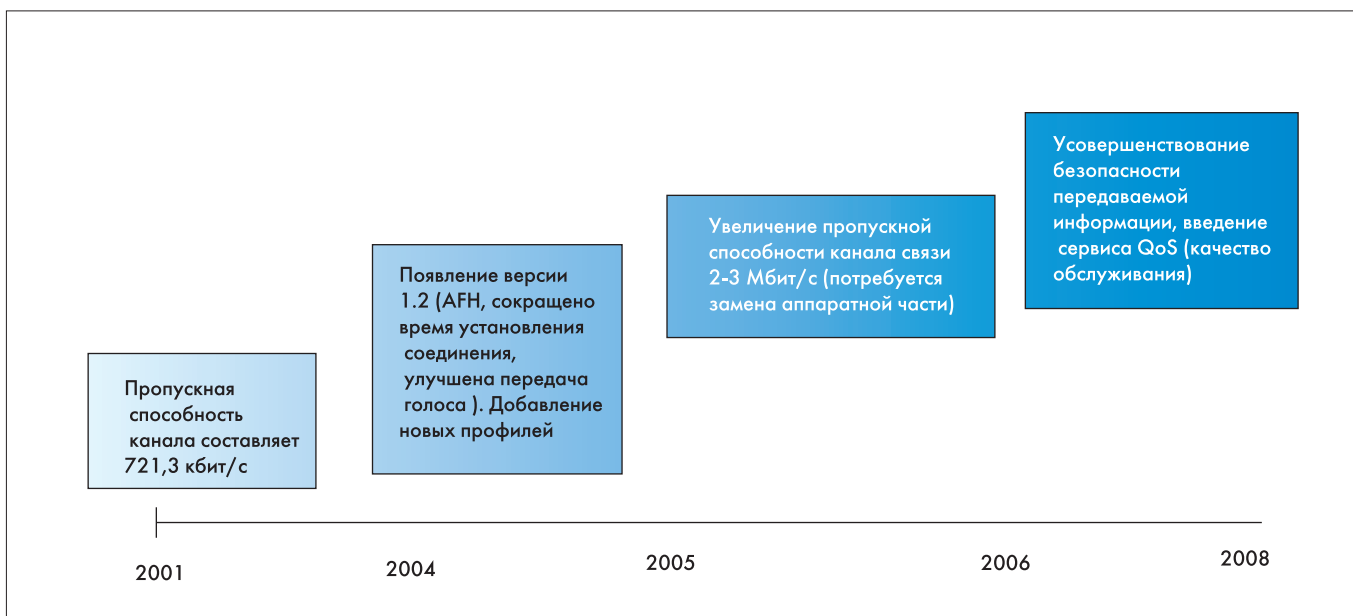


Рис. 4. Этапы развития технологии Bluetooth

ли Bluetooth, а также компоненты для самостоятельной реализации аппаратной части Bluetooth-устройства. Практически все производители предлагают модули, поддерживающие спецификации Bluetooth версии 1.1 и 1.2 и соответствующие классу 2 (диапазон действия 10 м) и классу 1 (диапазон действия 100 м). Однако, несмотря на то, что версия 1.1 полностью совместима с 1.2, все рассмотренные выше усовершенствования, реализованные в версии 1.2, могут быть получены, только если оба устройства соответствуют версии 1.2.

В ноябре 2004 года была принята спецификация Bluetooth версии 2.0, поддерживающая технологию расширенной передачи данных (Enhanced Data Rate, EDR). Спецификация 2.0 с поддержкой EDR позволяет осуществлять обмен данными на скорости до 3 Мбит/с. Первые серийно изготавливаемые образцы модулей, соответствующие версии 2.0 и поддерживающие технологию расширенной передачи данных EDR, были предложены производителями в конце 2005 года. Радиус действия таких модулей составляет 10 м при отсутствии прямой видимости, что соответствует классу 2, а при наличии прямой видимости он может достигать 30 м.

Как уже отмечалось ранее, основное назначение технологии Bluetooth — замена проводного последовательного соединения. При этом профиль SPP, используемый для организации соединения, конечно же, не единственный профиль, который разработчики могут использовать в своих изделиях. Технологией Bluetooth определены следующие профили: профиль общего доступа (Generic Access Profile), профиль обнаружения услуг (Service Discovery Profile), профиль взаимодействия с беспроводными телефонами (Cordless Telephony Profile), профиль интеркома (Intercom Profile), профиль беспроводных гарнитур для мобильных телефонов (Headset Profile), профиль удаленного доступа (Dial-up Networking Profile), профиль факсимильной связи (Fax Profile), профиль локальной сети (Lan Access Profile), профиль обмена данными (Generic Object Exchange), профиль передачи данных (Profile Object Push Profile), профиль обмена файлами (File Transfer Profile), профиль синхронизации (Synchronization Profile).

## Технология беспроводной передачи данных Wi-Fi

С Wi-Fi сложилась несколько запутанная ситуация, поэтому для начала определимся с используемой терминологией.

Стандарт IEEE 802.11 является базовым стандартом для построения беспроводных локальных сетей (Wireless Local Network — WLAN). Стандарт IEEE 802.11 постоянно совершенствовался, и в настоящее время существует целое семейство, к которому относят спецификации IEEE 802.11 с буквенными индексами a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w. Однако только четыре из них (a, b, g и i) являются основными и пользуются наибольшей популярностью у производителей оборудования, остальные же (c-f, h-n) представляют собой дополнения, усовершенствования или исправления принятых спецификаций.

В свою очередь, Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) только разрабатывает и принимает спецификации, на вышеле-

рчисленные стандарты. В его обязанности входят работы по тестированию оборудования различных производителей на совместимость.

Для продвижения на рынке оборудования для беспроводных локальных сетей (WLAN) была создана группа, которая получила название Альянс Wi-Fi. Этот альянс осуществляет руководство работами по сертификации оборудования различных производителей и выдает разрешения на использование членами Альянса Wi-Fi логотипа торговой марки Wi-Fi. Наличие на оборудовании логотипа Wi-Fi гарантирует надежную работу и совместимость оборудования при построении беспроводной локальной сети (WLAN) на оборудовании различных производителей. В настоящее время Wi-Fi-совместимым является оборудование, построенное по стандарту IEEE 802.11a, b и g (может также использовать стандарт IEEE 802.11i для обеспечения защищенного соединения). Кроме того, наличие на оборудовании логотипа Wi-Fi означает, что работа оборудования осуществляется в диапазоне 2,4 ГГц или 5 ГГц. Следовательно, под Wi-Fi следует понимать совместимость оборудования различных производителей, предназначенного для построения беспроводных локальных сетей, с учетом изложенных выше ограничений.

Первоначальная спецификация стандарта IEEE 802.11, принятая в 1997 году, устанавливала передачу данных на скорости 1 и 2 Мбит/с в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц, а также способ управления доступом к физической среде (радиоканалу), который использует метод множественного доступа с опознаванием несущей и устранением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA). Метод CSMA-CA заключается в следующем. Для определения состояния канала (занят или свободен) используется алгоритм оценки уровня сигнала в канале, в соответствии с которым выполняется измерение мощности сигналов на входе приемника и качество сигнала. Если мощность принятых сигналов на входе приемника ниже порогового значения, то канал считается свободным, если же их мощность выше порогового значения, то канал считается занятым.

После принятия спецификации стандарта IEEE 802.11 несколько производителей представили на рынке свое оборудование. Однако оборудование стандарта IEEE 802.11 не получило широкого распространения вследствие того, что в спецификации стандарта не были однозначно определены правила взаимодействия уровней стека протокола. Поэтому каждый производитель представил свою версию реализации стандарта IEEE 802.11, не совместимую с остальными.

Для исправления сложившейся ситуации в 1999 году, IEEE принимает первое дополнение к спецификации стандарта IEEE 802.11 под названием IEEE 802.11b. Стандарт IEEE 802.11b стал первым стандартом построения беспроводных локальных сетей, получившим широкое распространение. Максимальная скорость передачи данных в нем составляет 11 Мбит/с. Такую скорость разработчикам стандарта удалось получить за счет использования метода кодирования последовательностью дополнительных кодов (Complementary Code Keying). Для

управления доступом к радиоканалу используется тот же метод, что и в первоначальной спецификации стандарта IEEE 802.11 — CSMA-CA. Приведенное выше значение максимальной скорости передачи данных, конечно же, является теоретическим значением, так как для доступа к радиоканалу используется метод CSMA-CA, не гарантирующий наличия свободного канала в любой момент времени. Поэтому на практике при передаче данных по протоколу TCP/IP максимальная пропускная способность составит около 5,9 Мбит/с, а при использовании протокола UDP — около 7,1 Мбит/с.

В случае ухудшения электромагнитной обстановки оборудование автоматически снижает скорость передачи в начале до 5,5 Мбит/с, затем до 2 Мбит/с, используя для этого метод адаптивного выбора скорости (Adaptive Rate Selection, ARS). Снижение скорости позволяет использовать более простые и менее избыточные методы кодирования, отчего передаваемые сигналы становятся менее подверженными затуханию и искажениям вследствие интерференции. Благодаря методу адаптивного выбора скорости оборудование стандарта IEEE 802.11b может осуществлять обмен данными в различной электромагнитной обстановке.

Следующим стандартом, пополнившим семейство стандарта IEEE 802.11, является стандарт IEEE 802.11a, спецификация которого была принята IEEE в 1999 году. Основное отличие спецификации стандарта IEEE 802.11a от первоначальной спецификации стандарта IEEE 802.11 заключается в следующем:

- передача данных осуществляется в нелицензируемом диапазоне частот 5 ГГц;
- используется ортогональная частотная модуляция (OFDM);
- максимальная скорость передачи данных составляет 54 Мбит/с (реальная скорость — около 20 Мбит/с).

Так же, как в стандарте 802.11b, в 802.11a реализован метод выбора адаптивной скорости (ARS), снижающий скорость передачи данных в следующей последовательности: 48, 36, 24, 18, 12, 9 и 6 Мбит/с. Передача информации осуществляется по одному из 12 каналов, выделенных в диапазоне 5 ГГц.

Использование диапазона 5 ГГц при разработке спецификации 802.11a обусловлено прежде всего тем, что данный диапазон менее загружен, чем диапазон 2,4 ГГц, а следовательно, передаваемые в нем сигналы менее подвержены влиянию интерференции. Несомненно, данный факт является преимуществом, но в то же время использование диапазона 5 ГГц приводит к тому, что надежная работа оборудования стандарта IEEE 802.11a обеспечивается только на прямой видимости. Поэтому при построении беспроводной сети требуется установка большего количества точек доступа, что, в свою очередь, влияет на стоимость развертывания беспроводной сети. Кроме того, сигналы, передаваемые в диапазоне 5 ГГц, более подвержены поглощению (мощность излучения оборудования IEEE 802.11b и 802.11a одна и та же).

Первые образцы оборудования стандарта IEEE 802.11a были представлены на рынке в 2001 году. Следует отметить, что оборудование, поддерживающее только стандарт IEEE 802.11a, не пользовалось большим спросом на рынке по нескольким

причинам. Во-первых, на тот момент оборудование стандарта IEEE 802.11b уже зарекомендовало себя на рынке, во вторых, все отмечали недостатки использования диапазона 5 ГГц и, в-третьих, оборудование стандарта IEEE 802.11a не совместимо с IEEE 802.11b. Однако впоследствии производители для продвижения IEEE 802.11a предложили устройства, поддерживающие оба стандарта, а также оборудование, позволяющее адаптироваться в сетях, построенных на оборудовании стандарта IEEE 802.11b, 802.11a, 802.11g.

В 2003 году была принята спецификация стандарта IEEE 802.11g, устанавливающая передачу данных в диапазоне 2,4 ГГц со скоростью 54 Мбит/с (реальная скорость составляет около 24,7 Мбит/с). Для управления доступом к радиоканалу используется тот же метод, что и в первоначальной спецификации стандарта IEEE 802.11 — CSMA-CA, а также ортогональная частотная модуляция (OFDM).

Оборудование стандарта IEEE 802.11g полностью совместимо с 802.11b, однако, из-за влияния интерференции, в большинстве случаев реальная скорость передачи данных 802.11g сопоставима со скоростью, обеспечиваемой оборудованием стандарта 802.11b. Поэтому единственным правильным решением для потенциальных пользователей беспроводных локальных сетей является покупка оборудования, поддерживающего сразу три стандарта: 802.11a, b и g.

Wi-Fi-совместимое оборудование у большинства разработчиков ассоциируется прежде всего с организацией точек доступа для выхода в Интернет и с абонентским оборудованием. Следует отметить, что и индустрия встроенных систем не обошла своим вниманием стандарты IEEE 802.11a, b и g. Уже сейчас на этом сегменте рынка есть предложения, позволяющие сделать любое устройство Wi-Fi-совместимым. Речь идет о OEM-модулях стандарта IEEE 802.11b, в состав которых входят: приемопередатчик, процессор обработки приложений и исполнения ПО. Таким образом, эти модули представляют собой полностью законченное решение, позволяющее существенно сократить время и стоимость реализации Wi-Fi-совместимости разрабатываемого изделия. В основном OEM-модули стандарта IEEE 802.11b интегрируются в изделия для удаленного мониторинга и управления через Интернет. Для подключения OEM-модуля стандарта IEEE 802.11b к изделию используется последовательный интерфейс RS-232, а управление модулем выполняется АТ-командами. Максимальное расстояние между OEM модулем стандарта IEEE 802.11b и точкой доступа при использовании специальной выносной антенны может составлять до 500 м. В помещении максимальное расстояние не превышает 100 м, а при наличии прямой видимости увеличивается до 300 м. Существенным недостатком таких OEM-модулей является их высокая стоимость.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики стандартов IEEE 802.11a, b и g.

## Технология беспроводной передачи данных ZigBee

Технология беспроводной передачи данных ZigBee была представлена на рынке уже после появления технологий беспроводной передачи данных Bluetooth и Wi-Fi. Появление

Т а б л и ц а 1. Основные технические характеристики стандартов IEEE 802.11a, b и g

Стандарт	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
Частотный диапазон	2,4–2,483 ГГц	5,15–5,25 ГГц 5,67–5,85 ГГц	2,4–2,483 ГГц
Метод доступа к радиоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA
Метод модуляции	BPSK, CCK	OFDM	OFDM
Максимальная скорость передачи	11 Мбит/с	54 Мбит/с	54 Мбит/с
Количество абонентов на один канал	64	64	64
Дальность связи в помещениях	20–100 м	10–20 м	20–50 м

Т а б л и ц а 2. Основные характеристики оборудования

	Диапазон частот	Количество каналов	Скорость передачи данных	Тип модуляции
868 МГц	868–870 МГц	1	20 кбит/с	BPSK
915 МГц	902–928 МГц	10	40 кбит/с	BPSK
2,4 ГГц	2,4–2,4835 ГГц	16	250 кбит/с	O-QPSK

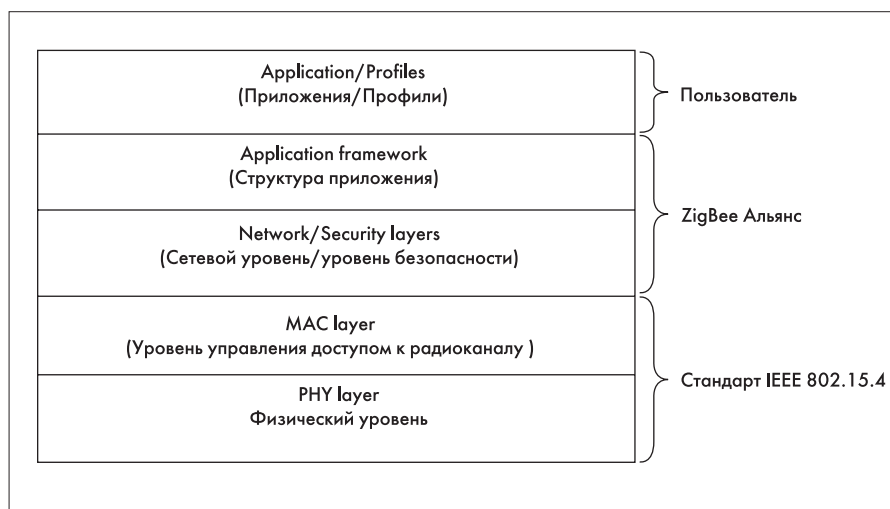


Рис. 5. Модель взаимодействия стандарта IEEE 802.15.4, технологии беспроводной передачи данных ZigBee и конечного пользователя

технологии ZigBee обусловлено, прежде всего, тем, что для некоторых приложений (например, для удаленного управления освещением или гаражными воротами, либо считывания информации с датчиков) основными критериями при выборе технологии беспроводной передачи является малое энергопотребление аппаратной части и ее низкая стоимость. Из этого следует малая пропускная способность, так как в большинстве случаев электропитание датчиков осуществляется от встроенной батареи, время работы от которой должно превышать несколько месяцев и даже лет. Иначе ежемесячная замена батареи для датчика открывания-закрывания гаражных ворот кардинально изменит отношение пользователя к беспроводным технологиям. Существующие на тот момент времени технологии беспроводной передачи данных Bluetooth и Wi-Fi не соответствовали этим критериям, обеспечивая передачу данных на высоких скоростях, с высоким уровнем энергопотребления и стоимости аппаратной части. В 2001 году рабочей группой № 4 IEEE 802.15 были начаты работы по созданию нового стандарта, который бы соответствовал следующим требованиям:

- очень малое энергопотребление аппаратной части, реализующей технологию беспроводной передачи данных (время работы от батареи должно составлять от нескольких месяцев до нескольких лет);

- передача информации должна осуществляться на не высокой скорости;
- низкая стоимость аппаратной части.

Результатом стала разработка стандарта IEEE 802.15.4. Во многих публикациях под стандартом IEEE 802.15.4 понимают технологию ZigBee и наоборот под ZigBee — стандарт IEEE 802.15.4. Однако это не так. На рис. 5 приведена модель взаимодействия стандарта IEEE 802.15.4, технологии беспроводной передачи данных ZigBee и конечного пользователя.

Стандарт IEEE 802.15.4 определяет взаимодействие только двух низших уровней модели взаимодействия: физического уровня (PHY) и уровня управления доступом к радиоканалу для трех нелицензируемых диапазонов частот: 2,4 ГГц, 868 МГц и 915 МГц. В таблице 2 приведены основные характеристики оборудования, функционирующего в этих диапазонах частот.

Уровень MAC отвечает за управление доступом к радиоканалу с использованием метода множественного доступа с опознаванием несущей и устранением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA), а также за управление подключением и отключением от сети передачи данных и обеспечение защиты передаваемой информации симметричным ключом (AES-128).

В свою очередь, технология беспроводной передачи данных ZigBee, предложенная альянсом ZigBee, определяет остальные уровни модели взаимодействия, к которым относят сетевой

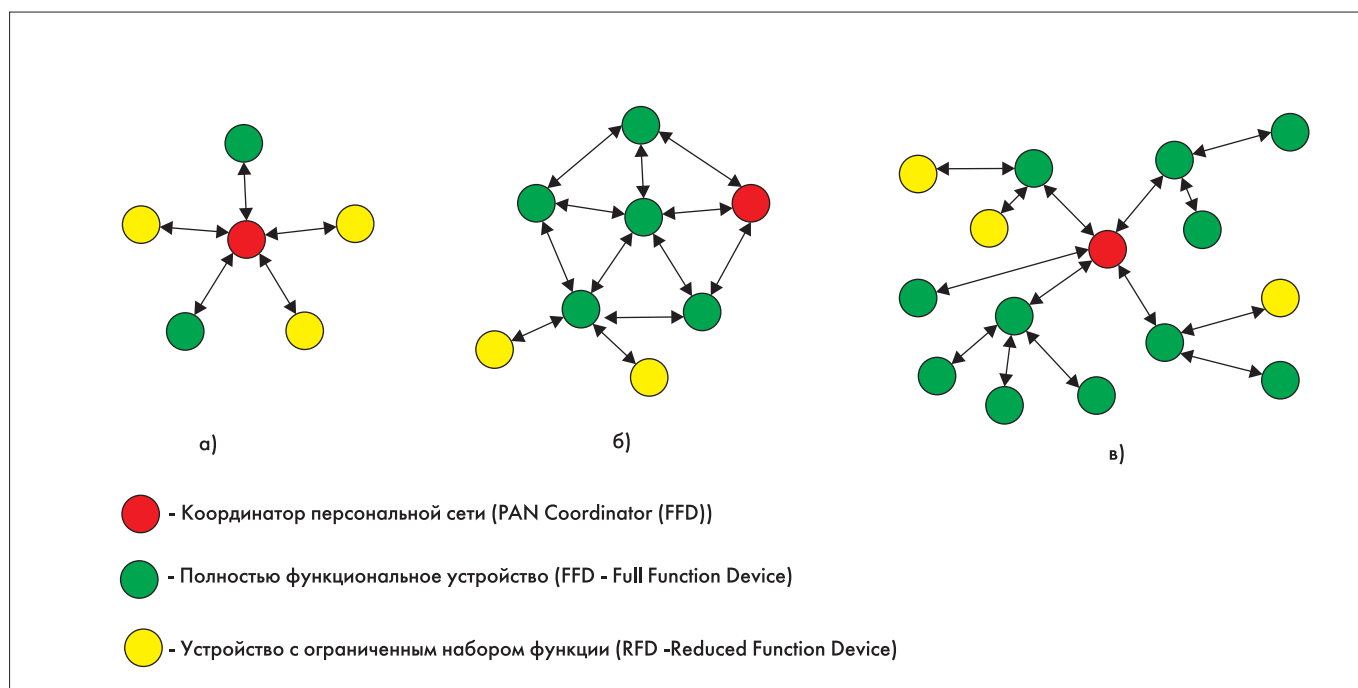


Рис. 6. Три варианта топологии сети

Т а б л и ц а 3. Перечень функций, выполняемых устройствами FFD и RFD

RFD-устройства	FFD-устройства
При объединении RFD-устройств может использоваться только топология «звезда»	При объединении FFD-устройств могут быть следующие топологии сети: «звезда», «каждый с каждым» и «кластерное дерево»
В роли сетевого координатора выступать не могут	Могут выполнять функции сетевого координатора, обеспечивающего маршрутизацию передаваемых данных в сети
Для обмена данными могут устанавливать соединение только сетевым координатором (FFD-устройством)	Обмен данными может осуществляться с сетевым координатором, другим FFD-устройством и RFD-устройством
Как правило, питание RFD-устройств осуществляется от встроенной батареи	Как правило, питание FFD-устройств осуществляется от внешнего источника питания

Т а б л и ц а 4. Сравнительные характеристики технологий Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee

Технология беспроводной передачи данных (стандарт)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотный диапазон	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц
Пропускная способность, кбит/с	250	11 000	723,1
Размер стека протокола, кбайт	32-64	более 1000	более 250
Время непрерывной, автономной работы от батареи, дни	100-1000	0,5-5	1-10
Максимальное количество узлов в сети	65 536	10	7
Диапазон действия, м (средние значения)*	10-100	20-300	10-100
Области применения	Удаленный мониторинг и управление	Передача мультимедийной информации (Интернет, электронная почта, видео)	Замещение проводного соединения

\* Примечание. Диапазон действия зависит от материалов среды между приемником и передатчиком. Например, железобетонные перекрытия и электромагнитные помехи снижают максимальную дальность связи. На открытой местности в зоне прямого видения максимальное расстояние может достигать 300 м. В офисных зданиях расстояние равно примерно 50 м. В заводских корпусах оно меньше 50 м.

уровень, уровень безопасности, уровень структуры приложения и уровень профиля приложения. Сетевой уровень, технология беспроводной передачи данных ZigBee, отвечает за обнаружение устройств и конфигурацию сети и поддерживает три варианта топологии сети, приведенные на рис. 6.

Для обеспечения низкой стоимости интеграции технологии беспроводной передачи ZigBee в различные приложения физическая реализация аппаратной части стандарта IEEE 802.15.4 выполняется в двух исполнениях: устройства с ограниченным набором функции (RFD) и полностью функциональные устройства (FFD). При

реализации одной из топологий сети, приведенной на рис. 6, требуется наличие, по крайней мере, одного FFD-устройства, выполняющего роль сетевого координатора. В таблице 3 приведен перечень функций, выполняемых устройствами FFD и RFD.

Низкая стоимость аппаратной части RFD-устройств обеспечивается за счет ограничения набора функций при организации взаимодействия с сетевым координатором или FFD-устройством. Это в свою очередь, отражается на неполной реализации модели взаимодействия, приведенной на рис. 5, а также предъявляет минимальные требования к ресурсам памяти.

Кроме деления устройств на RFD и FFD, альянсом ZigBee определены три типа логических устройств: ZigBee-координатор (согласующее устройство), ZigBee-маршрутизатор и оконечное устройство ZigBee. Координатор осуществляет инициализацию сети, управление узлами, а также хранит информацию о настройках каждого узла, подсоединенного к сети. ZigBee-маршрутизатор отвечает за маршрутизацию сообщений, передаваемых по сети от одного узла к другому. Под оконечным устройством понимают любое оконечное устройство, подсоединенное к сети. Рассмотренные выше устройства RFD и FFD как раз и являются оконечными устройствами. Тип логического устройства при построении сети определяет конечный пользователь посредством выбора определенного профиля (рис. 5), предложенного альянсом ZigBee. При построении сети с топологией «каждый с каждым» передача сообщений от одного узла сети к другому может осуществляться по разным маршрутам, что позволяет строить распределенные сети (объединяющие несколько небольших сетей в одну большую — кластерное дерево) с установкой одного узла от другого на достаточно большом расстоянии и обеспечить надежную доставку сообщений.

Трафик, передаваемый по сети ZigBee, как правило, разделяют на периодический, прерывистый и повторяющийся (характеризующийся

небольшим временным интервалом между посылками информационных сообщений).

Периодический трафик характерен для приложений, в которых необходимо дистанционно получать информацию, например от беспроводных сенсорных датчиков или счетчиков. В таких приложениях получение информации от датчиков или счетчиков осуществляется следующим образом. Как уже упоминалось ранее, любое оконечное устройство, в качестве которого в данном примере выступает беспроводной датчик, подавляющую часть времени работы должно находиться в режиме «засыпания», обеспечивая тем самым очень низкое энергопотребление. Для передачи информации оконечное устройство в определенные моменты времени выходит из режима «засыпания» и выполняет поиск в радиозфире специального сигнала (маяка), передаваемого устройством управления сетью (ZigBee-координатором или ZigBee-маршрутизатором), к которой подсоединен беспроводной счетчик. При наличии в радиозфире специального сигнала (маяка) оконечное устройство осуществляет передачу информации устройству управления сетью и сразу же переходит в режим «засыпания» до следующего сеанса связи.

Прерывистый трафик свойственен, например, для устройств дистанционного управления освещением. Представим ситуацию, когда необходимо при срабатывании датчика движения, установленного у входной двери, передать команду на включение освещения в прихожей. Передача команды в данном случае осуществляется следующим образом. При получении устройством управления сетью сигнала о срабатывании датчика движения оно выдает команду оконечному устройству (беспроводному выключателю) подключиться к беспроводной сети ZigBee. Затем устанавливается соединение с оконечным устройством (беспроводным выключателем) и выполняется передача информационного сообщения, содержащего команду на включение освещения. После приема команды соединение разрывается и выполняется отключение беспроводного выключателя от сети ZigBee.

Подключение и отключение оконечного устройства к сети ZigBee только в необходимые для этого моменты позволяет существенно увеличить время пребывания оконечного устройства в режиме «засыпания», обеспечивая тем самым минимальное энергопотребление. Метод использования специального сигнала (маяка) является гораздо более энергоэффективным.

В некоторых приложениях, например охранных системах, передача информации о срабатывании датчиков должна осуществляться практически мгновенно и без задержек. Но надо учитывать тот факт, что в определенный момент времени могут «сработать» сразу несколько датчиков, генерируя в сети так называемый повторяющийся трафик. Вероятность данного события невелика, но не учитывать его в охранных системах недопустимо. В беспроводной сети ZigBee для сообщений, передаваемых в беспроводную сеть при срабатывании сразу нескольких охранных датчиков (оконечных устройств), предусмотрена передача данных от каждого датчика в специально выделенном временном слоте. В технологии ZigBee специально выделяемый временной слот называют гарантированным временным слотом (Guaranteed Time Slot, GTS). Наличие в

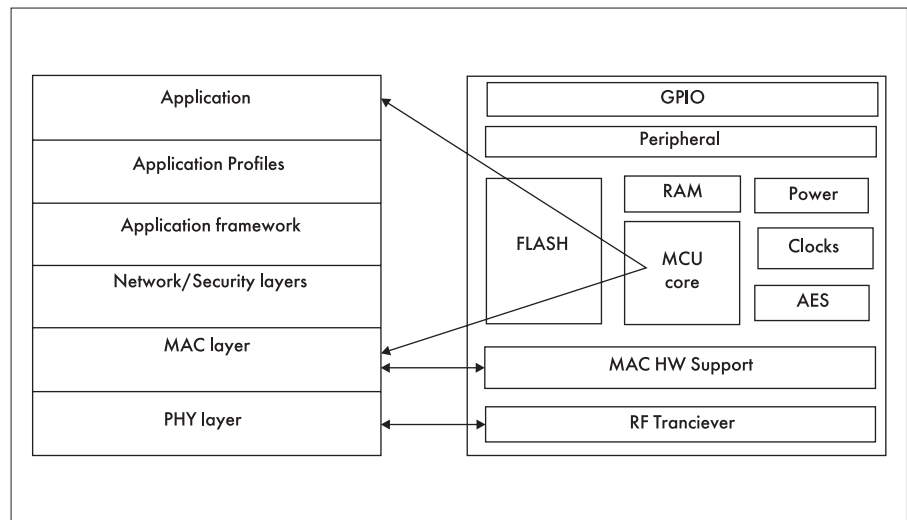


Рис. 7. Концепция исполнения аппаратной части технологии беспроводной передачи данных ZigBee

технологии ZigBee возможности предоставлять гарантированный временной слот для передачи неотложных сообщений позволяет говорить о реализации в ZigBee метода QoS (качество обслуживания). Выделение гарантированного временного слота для передачи неотложных сообщений осуществляется сетевым координатором (рис. 6, PAN Coordinator).

При разработке аппаратной части технологии беспроводной передачи данных ZigBee, реализующей модель взаимодействия, практически все производители придерживаются концепции, в соответствии с которой вся аппаратная часть размещается на одном чипе. На рис. 7 приведена концепция исполнения аппаратной части технологии беспроводной передачи данных ZigBee.

Для построения беспроводной сети (например, сеть с топологией «звезда») на основе технологии ZigBee разработчику необходимо приобрести по крайней мере один сетевой координатор и необходимое количество оконечных устройств. При планировании сети следует учитывать, что максимальное количество активных оконечных устройств, подсоединенных к сетевому координатору, не должно превышать 240. Кроме того, необходимо приобрести у производителя ZigBee-чипов программные средства для разработки, конфигурирования сети и создания пользовательских приложений и профилей. Практически все производители ZigBee-чипов предлагают на рынке целую линейку продукции, отличающейся, как правило, только объемом памяти ROM и RAM. Например, чип со 128 Кбайт ROM и 8 Кбайт RAM может быть запрограммирован на работу в качестве координатора, маршрутизатора и оконечного устройства.

Высокая стоимость отладочного комплекта, в состав которого входит набор программных и аппаратных средств для построения беспроводных сетей ZigBee любой сложности, является одним из сдерживающих факторов массового распространения технологии ZigBee на рынке России. Необходимо отметить, что появление технологии беспроводной передачи ZigBee стало определенным ответом на потребности рынка создания интеллектуальных систем управления частными домами и строениями, спрос на которые с каждым годом увеличивается. Уже в ближайшем бу-

дущем частные дома и строения будут оснащены огромным количеством беспроводных сетевых узлов, осуществляющих мониторинг и управление системами жизнеобеспечения дома. Инсталляция данных систем может быть произведена в любое время и за короткие сроки, так как не требует разводки в здании кабелей.

Перечислим приложения, в которые может быть интегрирована технология ZigBee:

- Системы автоматизации жизнеобеспечения домов и строений (удаленное управление сетевыми розетками, выключателями, реостатами и т. д.).
- Системы управления бытовой электроникой.
- Системы автоматического снятия показаний с различных счетчиков (газа, воды, электричества и т. д.).
- Системы безопасности (датчики задымления, датчики доступа и охраны, датчики утечки газа, воды, датчики движения и т. д.).
- Системы мониторинга окружающей среды (датчики температуры, давления, влажности, вибрации и т. д.).
- Системы промышленной автоматизации.

## Заключение

Приведенный в статье краткий обзор технологий беспроводной передачи данных Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee показывает, что даже для имеющих опыт разработчиков бывает затруднительно однозначно отдать предпочтение той или иной технологии только на основании технической документации.

Поэтому подход к выбору должен основываться на комплексном анализе нескольких параметров. Сравнительные характеристики технологий Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee приведены в таблице 4. Эта информация поможет принять правильное решение при выборе технологии беспроводной передачи данных. ■

## Литература

1. В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. «Системы и сети радиодоступа», М.: ЭкоТрендз, 2005 г.
2. w [www.ieee.c om](http://www.ieee.c om)
3. w [www.chipcon.c om](http://www.chipcon.c om)
4. w [www.ember.c om](http://www.ember.c om)
5. w [www.BlueTooth.o rg](http://www.BlueTooth.o rg)