

Обзор современных технологий беспроводной передачи данных

в частотных диапазонах ISM
(Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц

В статье рассматриваются технологии беспроводной передачи данных Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi и технологии частотных диапазонов 434/868 МГц. Приводится сравнение и анализ взаимодействия беспроводных технологий друг с другом. Указаны направления развития и области применения каждой из них. На основе проведенного обзора даются практические рекомендации по выбору той или иной беспроводной технологии в конкретном проекте разработчика.

Алексей Аникин
Anikin.A@mt-system.ru

В течение последних двух лет ощущается растущий интерес разработчиков радиоэлектронной аппаратуры к стандартам и технологиям беспроводной связи на коротких расстояниях: Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi и в частотных диапазонах 434/868 МГц. Для удобства далее данную группу стандартов будем называть Short Range RF.

Для каждого стандарта группы Short Range RF существует большое многообразие радиочастотных модулей различного уровня готовности, отличающихся друг от друга техническими параметрами и характеристиками. Актуальность приобретает проблема выбора конкретной технологии Short Range RF и конкретной элементной базы для применения в проекте. Решению этой задачи и посвящен данный материал.

Термины и классификация

Сразу определимся с терминологией. Модулем в рамках данной статьи будем считать приемопередающее радиотехническое устройство, предназначенное для монтажа внутрь другого более сложного устройства.

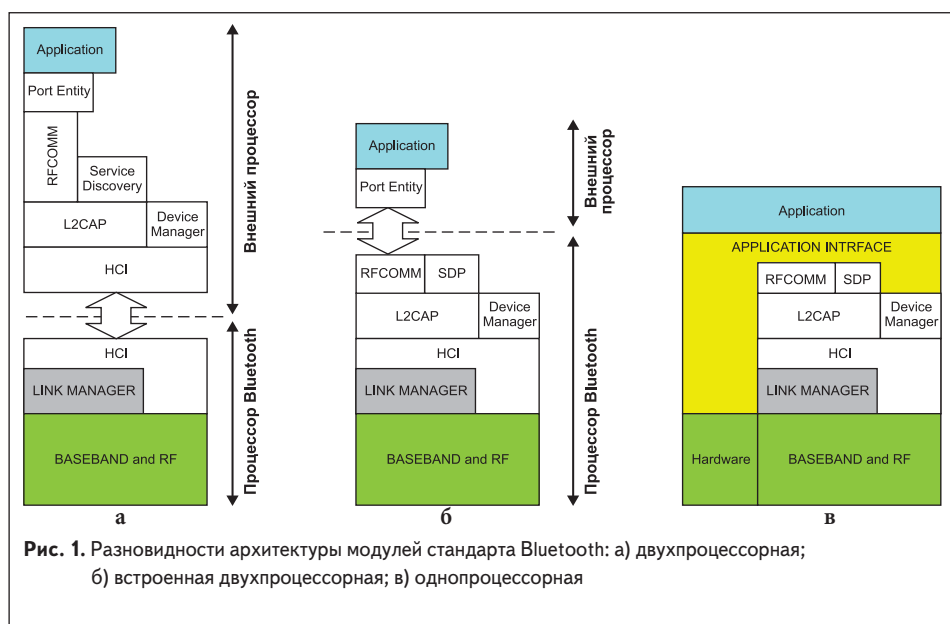
Все стандарты и технологии беспроводной передачи данных могут быть классифицированы по ряду формальных параметров. В таблице 1 приведена общая классификация наиболее актуальных на данный момент стандартов беспроводной передачи данных.

Стандарты сотовой связи GSM/GPRS/EDGE и 3G в данном случае обсуждать не будем. Рассмотрим более внимательно технологии ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth и 434/868 МГц. Существуют три технических параметра, которые наиболее часто определяют область применения того или иного стандарта группы Short Range RF в конкретном приложении пользователя: энергопотребление (или потребление тока), дальность связи и скорость передачи данных. По значению этих параметров можно условно выделить следующих лидеров:

- Wi-Fi обладает максимальной скоростью передачи данных.
- ZigBee и технологии 434/868 МГц обладают минимальным энергопотреблением.
- Технологии 434/868 МГц обладают максимальной дальностью действия в прямой видимости.

Таблица 1. Общая классификация основных стандартов беспроводной передачи данных

	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	434/868 МГц	GSM/GPRS/EDGE	3G
Частотный диапазон, МГц	2400–2483	2400–2483	2412–2484	434/868	900/1800	1885–2025; 2110–2200
Скорость передачи данных, кбит/с	250	721	11000/54000	500	14,4/171/473	144/384/2048
Дальность связи, м	200	класс 1 — 100; класс 2 — 10; класс 3 — 1	100	1000	во всей зоне покрытия	во всей зоне покрытия
Потребление тока, active мА/ sleep мкА	30/1	70/20	450	30/1	350/3500	350/3500
Модуляция, доступ к среде	DSSS	FHSS	DSSS	FHSS	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA/CDMA
Топология системы	«точка–точка», «звезда», сеть	«точка–точка», «звезда», сеть	«точка–точка», звезда	«точка–точка», «звезда», сеть	сотовая сеть	сотовая сеть
Частотный диапазон, МГц	2400–2483	2400–2483	2412–2484	434/868	900/1800	1885–2025; 2110–2200



Данная классификация является достаточно спорной. Сразу оговоримся, что она принята для упрощения предварительного обзора стандартов Short Range RF. На самом деле, как станет видно дальше, стандарты Short Range RF на практике часто пересекаются друг с другом, иногда объединяясь с целью завоевания новых ниш на рынке, иногда вступая в конкуренцию на уже существующих его сегментах. Например, ZigBee «старается» увеличить свою скорость передачи данных и повысить дальность связи, Wi-Fi «стремится» повысить дальность связи и снизить энергопотребление и т. д. Поэтому на практике достаточно сложно провести границу между различными стандартами Short Range RF.

Bluetooth

Стандарт Bluetooth является компромиссным с точки зрения соотношения параметров экономичности/дальность/скорость. По своей функциональности и возможности применения в различных приложениях он имеет наибольшее число пересечений с другими стандартами группы Short Range RF. Поэтому для начала рассмотрим именно его.

Основная идея Bluetooth [1] заключалась в создании универсального, надежного и очень дешевого радиointерфейса беспроводного доступа. Технология Bluetooth позволяет обеспечить сопряжение с различным профессиональным и бытовым оборудованием в режимах передачи речи, данных и мультимедиа, при этом гарантируется его электромагнитная совместимость с другим домашним или офисным оборудованием. Как было указано в таблице, существует всего три класса устройств Bluetooth, если градировать их по излучаемой мощности: 1-й — до 100 метров (до 100 мВт); 2-й — до 10 метров (до 2,5 мВт); 3-й — до 1 метра (до 1 мВт).

Для определения модели поведения при установлении соединения между различными типами устройств в технологии Bluetooth введено понятие профиля. Этим термином обозначается набор функций и возможностей, которые использует Bluetooth в качестве меха-

низма транспортировки. Профили гарантируют возможность обмена информацией между устройствами разных производителей. Bluetooth SIG определяет 15 стандартных профилей:

- Generic Access Profile (GAP);
- Service Discover Application Profile (SDAP);
- Serial Port Profile (SPP);
- Dial-up Networking Profile (DUNP);
- Generic Object Exchange Profile (GOEP);
- Object Push Profile (OPP);
- File Transfer Profile (FTP);
- Synchronization Profile (SP);
- AV Control, Headset Profile (HSP);
- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP);
- Basic Imaging Profile (BIP);
- Handsfree Profile (HFP);
- Human Interface Device Profile (HID);
- LAN Access Profile (LAP);
- Sim-Card Access Profile (SAP).

По характеру взаимодействия со внешними устройствами и приложениями архитектура всех существующих модулей Bluetooth может быть разделена на три вида [2] (рис. 1). Модули с двухпроцессорной архитектурой (рис. 1а) не содержат в себе программного высокоуров-

невого стека Bluetooth с поддержкой стандартных профилей. Это значит, что необходимые профили Bluetooth должны быть реализованы на внешнем процессоре. Взаимодействие внешнего процессора с модулем происходит через виртуальный интерфейс HCI (Host Controller Interface). В частном случае HCI может быть реализован через аппаратный интерфейс SPI или UART.

Модули Bluetooth со встроенной двухпроцессорной архитектурой (рис. 1б) являются наиболее распространенными. Данная разновидность архитектуры подразумевает наличие стека Bluetooth высокого уровня с поддержкой стандартных профилей непосредственно во внутреннем процессоре модуля. В этом случае приложение, работающее на внешнем процессоре, взаимодействует с модулем Bluetooth через аппаратные интерфейсы.

Однопроцессорная архитектура (рис. 1в) является наименее распространенной. Для ее реализации разработчик должен создать специальное приложение, которое будет работать на внутреннем процессоре модуля Bluetooth. В этом случае модуль превращается в автономное устройство, доступ к которому через внешние аппаратные интерфейсы закрыт.

Принадлежность модуля к той или иной архитектуре может определяться как его аппаратной реализацией, так и внутренним программным обеспечением. Например, в частном случае один и тот же модуль Bluetooth может быть отнесен к любой из трех разновидностей архитектуры в зависимости от типа прошивки, загруженной во внутренний процессор модуля. Такой подход пользуется наибольшей популярностью среди зарубежных производителей.

Немного истории

Чтобы получить наиболее полное представление о роли Bluetooth среди других представителей группы Short Range RF, обратимся к истории (рис. 2). Развитие Bluetooth с самого начала шло по пути увеличения скорости обмена данными, снижения энергопотребления, повышения безопасности и надежности соединения. Вплоть до версии 3.0 сохранялась обратная совместимость всех версий Bluetooth между собой. До сих пор в эксплуатации встре-

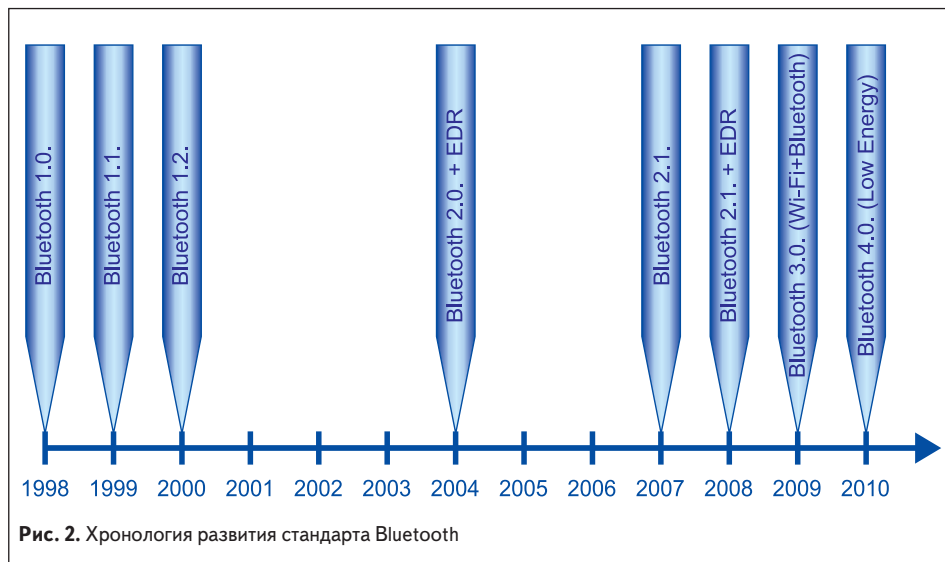




Таблица 2. Модули Bluetooth производства компании Rainsun

Модуль	Описание	Профили	Фото
BTM-222	Класс 1. Размер 28,0×15×2,2 мм	По выбору: SPP; HCI	
BTM-370	Класс 2. Аудио кодек. Контроллер аккумулятора. Размер 16,5×13×2,2 мм	По выбору: HeadSet/HandsFree; SPP; HCI	
BTM-111	Класс 2. Размер 25,0×14,5×2,2 мм	По выбору: SPP; HCI	
BTM-160	Класс 2. Размер 14,0×12,0×2,2 мм	По выбору: SPP; HCI	

чаются устройства Bluetooth версий 1.1 и 1.2, которые успешно используются совместно с 2.0 и 2.1.

Bluetooth 3.0 является чем-то средним между Bluetooth и Wi-Fi. Модули с ее поддержкой 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 (Wi-Fi) 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. Это один из наиболее ярких примеров объединения двух разных технологий для завоевания новых сегментов рынка. Правда, успеха эта попытка не имела: распространения Bluetooth 3.0 не получил.

Bluetooth 4.0 не имеет обратной совместимости с предыдущими версиями. Сверхнизкое 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 8–27 байт. В новой версии два Bluetooth-устройства смогут устанавливать соединение менее чем за 5 мс и поддерживать его на расстоянии до 100 м. Для этого используется усовершенствованная коррекция ошибок, а необходимый уровень безопасности обеспечивает 128-битное шифрование.

Предполагается, что Bluetooth 4.0 будет конкурировать и вытеснять ZigBee в классе малопотребляющих радиочастотных устройств с поддержкой сложных сетей. Это также является ярким примером пересечения двух разных технологий, в данном случае — ZigBee и Bluetooth.

Плюсы и минусы

Проанализировав современное состояние технологии Bluetooth, можно обозначить

плюсы и минусы. К достоинствам стандарта относятся:

- высокий уровень стандартизации и совместимость между устройствами Bluetooth разных производителей;
- защита передаваемых данных;
- низкая стоимость;
- высокая дальность действия (до 1000 м);
- универсальность и большое разнообразие модулей под разные задачи.

Среди недостатков отметим:

- Относительно высокое энергопотребление (работа от автономных источников питания не всегда возможна). Предполагается, что этого недостатка будет лишена новая версия спецификации Bluetooth 4.0.
- Относительно невысокая скорость обмена данными (до 1 Мбит/с). Как правило, реальная скорость обмена данными ограничивается пропускной способностью внешних аппаратных интерфейсов модуля.

Одно из основных преимуществ стандарта Bluetooth заключается в его высоком уровне стандартизации и широчайшем распространении в составе пользовательских электронных устройств. Это позволяет в ряде случаев практически в два раза сэкономить время и затраты на разработку при проектировании некоторой системы сбора данных, телеметрии или управления на основе Bluetooth, поскольку в качестве одной из сторон беспроводного обмена данными может выступать, например, обычный серийно выпускаемый ноутбук или коммуникатор с поддержкой данной технологии.

Области применения

Исходя из характерных особенностей модулей Bluetooth, сформировались их области применения в России и за рубежом:

- Автомобильная электроника. Модули Bluetooth могут использоваться в бортовых автомобильных системах контроля и управления. Эта область применения характерна для России.
- Системы удаленного управления и телеметрии. Здесь устройства Bluetooth могут использо-

ваться наряду с модулями технологий Wi-Fi, ZigBee, Short Range RF 434/868 МГц. Данная область применения в равной степени актуальна как для России, так и для зарубежных стран.

- Компьютерная техника и телекоммуникационное пользовательское оборудование. Ноутбуки, сотовые телефоны, смартфоны, торговые терминалы со встроенной функцией Bluetooth. Это применение характерно в основном для зарубежных производителей.

Устройства Bluetooth

В качестве примера рассмотрим хорошо известные в России недорогие модули Bluetooth производства тайваньской компании Rainsun (табл. 2). Характерной особенностью данных изделий является то, что они имеют встроенный стек с поддержкой одного из стандартных профилей Bluetooth (выбирается по заказу) и не имеют командного интерфейса. Для перенастройки модуля необходимо специальное оборудование и программное обеспечение. В разных применениях это может быть как достоинством, так и недостатком. С одной стороны, модуль внутри конечного устройства клиента полностью защищен от внешних несанкционированных воздействий. Настройки его не могут быть сбиты или нарушены без применения специальной аппаратуры. Но с другой стороны, пользователь не может оперативно вмешаться в настройки модуля, если есть такая необходимость.

Финская компания Bluegiga предлагает обширную линейку модулей [3–8] (табл. 3), которая перекрывает практически весь диапазон возможных применений Bluetooth. В линейке продукции этой компании можно выделить модуль WT41. За счет высококачественной радиочастотной части, собранной на дискретных компонентах, и специальной встроенной антенны с высоким коэффициентом усиления он обеспечивает дальность связи до 1000 метров. Это значит, что модуль может успешно конкурировать с технологиями 434/868 МГц. Это еще один типичный пример пересечения двух технологий группы Short Range RF.

Модуль BLE112 — самый новый в линейке [8]. Он поддерживает стандарт Bluetooth версии 4.0 и не имеет обратной совместимости с предыдущими версиями. BLE112 предназначена для конкуренции с модулями ZigBee в классе малопотребляющих радиочастотных устройств с поддержкой сложных сетей.

Wi-Fi

Стандарт беспроводной передачи данных Wi-Fi был создан специально для объединения нескольких компьютеров в единую локальную сеть. Обычные проводные сети требуют прокладки множества кабелей через стены, потолки и перегородки внутри помещений. Также имеются определенные ограничения на расположение устройств в пространстве. Беспроводные сети Wi-Fi лишены этих недостатков: можно добавлять компьютеры и прочие беспроводные устройства с минимальными физическими, временными и материальными затратами. Для передачи информации

беспроводные устройства Wi-Fi используют радиоволны из спектра частот, определенных стандартом IEEE 802.11. Существует четыре разновидности стандарта Wi-Fi (табл. 4). 802.11n поддерживает работу сразу в двух частотных диапазонах одновременно на четыре антенны. Суммарная скорость передачи данных при этом достигается 150–600 Мбит/с.

Плюсы и минусы

Сформулируем некоторые ключевые особенности стандарта Wi-Fi. К его достоинствам относятся:

- высокая скорость передачи данных;
 - компактность;
 - большое разнообразие модулей под разные задачи;
 - высокий уровень стандартизации и совместимость между устройствами Wi-Fi разных производителей;
 - защита передаваемых данных.
- Основные недостатки таковы:
- большое энергопотребление и невозможность работы в течение длительного времени от автономных источников питания;
 - относительно высокая стоимость (по сравнению с Bluetooth и ZigBee).

Области применения

Характерные особенности стандарта Wi-Fi диктуют основные области его применения. Это:

- Автомобильная электроника. Модули Wi-Fi могут применяться в системах мониторинга автотранспорта и в бортовых автомобильных системах, поскольку тут практически отсутствуют ограничения по потреблению энергии.
- Системы удаленного управления и телеметрии. Модули Wi-Fi могут применяться наряду с модулями технологий Bluetooth, ZigBee, Short Range RF 434/868 МГц. Главные преимущества — высокая скорость передачи данных и высокий уровень стандартизации.
- Компьютерная и офисная техника. Построение компьютерных сетей для обмена большими потоками данных с высоким уровнем безопасности.

Все перечисленные применения в одинаковой мере актуальны для России и других стран с достаточным уровнем технического оснащения.

Устройства Wi-Fi

Одним из наиболее популярных в России производителей модулей Wi-Fi является тайваньская компания WIZnet. В линейке ее продукции присутствует четыре их основных разновидности (табл. 5). Модуль WIZ610wi [9] был одной из первых разработок компании. В нем имеется богатый функционал, предоставляемый встроенным стекком Wi-Fi высокого уровня с поддержкой командного интерфейса. Но модуль имел некоторые технические проблемы: очень высокое энергопотребление, сильный нагрев во время работы и большое время загрузки после включения питания. Большинство этих проблем было устранено в модуле WIZ620wi [10], который, по сути, представляет собой улучшенную и усовершенствованную версию

Таблица 3. Модули компании Bluegiga







Модуль	Описание	Профили	Фото
WT11/WT11i	Класс 1. Размер 35×14×2,3 мм	16 стандартных профилей iWRAP	
WT12	Класс 2. Размер 26×14×2,4 мм	16 стандартных профилей iWRAP	
WT21	Класс 1. Размер 17,1×11,6×2,6 мм	Только HCI	
WT32	Класс 2. Аудиокодек. Размер 17,9×15,0×2,5 мм	16 стандартных профилей iWRAP	
WT41	Класс 1. Дальность до 1000 м. Размер 35,3×14×5,65 мм	16 стандартных профилей iWRAP	
BLE112	Класс 2. Размер 18,1×12×2,3 мм	SPP, Bluetooth 4.0	

Таблица 4. Разновидности стандарта Wi-Fi





Стандарт	802.11b	802.11g	802.11a	802.11n
Количество используемых неперекрывающихся радиоканалов	3	3	3	11
Частотный диапазон, ГГц	2,4	2,4	5	2,4/5
Максимальная скорость передачи данных в радиоканале, Мбит/с	11	54	54	150–600

модуля WIZ610wi. Кроме того, WIZ620wi стал поддерживать Wi-Fi 802.11n (2,4 ГГц), на что не был способен его предшественник.

Модуль WizFi210 [11] — самый новый и самый перспективный в линейке. Функционал его ограничен только поддержкой режима работы Serial-Wi-Fi, благодаря чему удалось значительно снизить энергопотребление

устройства. Добавлены режимы пониженного энергопотребления (в режиме Standby всего 5 мкА). По этим показателям модуль приближается к некоторым разновидностям модулей Bluetooth и даже ZigBee. Это еще один пример попытки нескольких беспроводных стандартов Short Range RF вступить в конкуренцию.

Таблица 5. Модули компании WIZnet

Модуль	Описание	Режимы	Фото
Wiz610wi	IEEE 802.11b/g 20 дБм; штырьковый разъем.	Serial-Wi-Fi; точка доступа; узел беспроводной сети; шлюз.	
Wiz620wi	Доработанный и улучшенный аналог WIZ610wi. Не pin-to-pin.	Serial-Wi-Fi; точка доступа; узел беспроводной сети; шлюз.	
WizFi210	IEEE 802.11b/g 8 дБм; под пайку.	Только Serial-Wi-Fi.	
WizFi220	Pin-to-pin аналог WizFi210, но с увеличенной мощностью (до 17 дБм).	Только Serial-Wi-Fi.	

Модуль WizFi220 — полный аналог модуля WizFi210, но с увеличенной выходной мощностью. Дальность связи может достигать нескольких сотен метров, что позволяет ему в ряде случаев конкурировать с модулями, поддерживающими радиосвязь в частотных диапазонах 434/868 МГц и с Bluetooth-модулем WT41 компании Bluegiga (табл. 3).

ZigBee

В случаях, когда дальность радиосвязи в прямой видимости оказывается недостаточно большой и возникает необходимость ее наращивания при сохранении энергопотребления на низком уровне, целесообразно обратиться внимание на стандарт беспроводной связи ZigBee. Характерные особенности данного стандарта позволяют:

- Создавать сложные сетевые решения с автоматической маршрутизацией, ретрансляцией пакетов данных и автоматическим восстановлением сети в случае выхода из строя отдельных узлов.
- Обеспечивать высокий уровень защиты передаваемых данных.
- Гибко настраивать узлы сети.
- Поддерживать в одной сети от нескольких сотен до нескольких тысяч узлов.
- Получить скорость обмена данными 250 кбит/с по радиоканалу.

Для облегчения процесса разработки и обеспечения максимальной совместимости устройств ZigBee разных производителей между собой была разработана библиотека ZigBee-кластеров (ZigBee Cluster Library, ZCL) [12]. Этот документ вводит понятие стандартных типов устройств, стандартных команд для этих устройств, наборы стандартных атрибутов, диапазоны значений этих атрибутов, типы данных для задания значений атрибутов и т. д. ZCL группирует кластеры по целевому предназначению: общего назначения; для работы с датчиками; для управления осветительными устройствами, вентиляцией и т. д. Использование стандартных кластеров для пересылки сообщений является обязательным требованием всех новых спецификаций ZigBee с 2007 г.

Для стандартных типов устройств существуют стандартные профили приложения [13]. Спецификация профиля определяет параметры, необходимые для совместной работы устройств в одной сети. Существует по крайней мере два основных профиля:

- Home Automation. Этот профиль дает возможность производителям беспроводных систем домашней автоматизации во всем мире разрабатывать совместимые устройства класса «Умный дом». Он регламентирует работу устройств управления

осветительным оборудованием, системами кондиционирования, отопления, вентиляции и т. д.

- Smart Energy. Этот профиль позволяет обеспечить беспроводную связь между устройствами домашней автоматизации и устройствами измерительной инфраструктуры коммунальной службы, занимающейся учетом энергоресурсов.

Плюсы и минусы

Исходя из особенностей стандарта ZigBee, сформулируем его плюсы и минусы.

Достоинства:

- защита передаваемых данных;
 - поддержка сложных беспроводных сетей;
 - ультранизкое энергопотребление (возможна автономная работа от батарейки до 10 лет).
- Недостатки:**
- недостаточно высокий уровень стандартизации и отсутствие единой программно-аппаратной платформы для разработки сложных приложений;
 - невысокая скорость передачи данных. Большая часть трафика ZigBee тратится на передачу пакетов, содержащих адресную информацию, пакеты синхронизации и т. д. Полезная скорость передачи данных составляет около 30 кбит/с.

Области применения

Основные области применения технологии ZigBee:

- Домашние развлечения и контроль — рациональное освещение, продвинутый температурный контроль, охрана и безопасность, фильмы и музыка.
- Домашнее оповещение — датчики воды и энергии, мониторинг энергии, датчики задымления и пожара, рациональные датчики доступа и переговоров.
- Мобильные службы — мобильные оплата, мониторинг и контроль, охрана и контроль доступа, охрана здоровья и тепломощь.
- Коммерческое строительство — мониторинг энергии, света, контроль доступа.
- Промышленное оборудование — контроль процессов, промышленных устройств, управление энергией и имуществом.

Устройства ZigBee

В качестве примера рассмотрим линейку модулей стандарта ZigBee известной итальянской компании Telit, построенных на основе чипа CC2430 от TI [14–16] (табл. 6). Размеры всех указанных модулей 21×14,2×2,2 мм.

Модули ZE50 и ZE60 на данный момент считаются достаточно устаревшими. Вместо

них во всех новых проектах рекомендуется использовать ZE51 и ZE61 соответственно. Немаловажно то, что компания Telit является членом ассоциации ZigBee Alliance. Вся линейка модулей может предоставляться со встроенным стекком ZigBee, поддерживающим стандартные профили этой технологии. Также существует возможность поставки модулей без стека. Такой вариант будет стоить дешевле, но конечному разработчику придется взять на себя все затраты, связанные с разработкой собственной модификации ZigBee-стека и его лицензированием в ассоциации ZigBee Alliance.

В развитии линейки модулей компании Telit прослеживается явная тенденция к увеличению дальности радиосвязи при сохранении низкого энергопотребления. Налицо явная попытка стандарта ZigBee конкурировать с технологиями частотных диапазонов 434/868 МГц, предназначенными для радиосвязи на больших расстояниях.

434/868 МГц

Иногда на практике встречаются ситуации, когда ни один из существующих стандартов беспроводной связи Short Range RF не удовлетворяет требованиям приложения разработчика. Специально для таких случаев во всем мире существует группа радиочастотных диапазонов 434/868 МГц, открытых для свободного использования, в которых не существует стандартов беспроводной связи. Устройства для передачи данных на этих РЧ имеют следующие отличительные особенности:

- Отсутствие стандартизации. Каждый разработчик может создавать свой стек протоколов взаимодействия между устройствами радиосети.
- Большое разнообразие компонентов. Разработчик всегда может подобрать компоненты, оптимальным образом соответствующие требованиям проекта по цене, степени интеграции, способу монтажа и т. д.
- Большая дальность действия по сравнению с устройствами диапазона 2,4 ГГц. Радиоволны ВЧ-диапазона менее интенсивно затухают при распространении в различных средах и лучше огибают физические препятствия.
- Относительно невысокая скорость по сравнению с устройствами диапазона 2,4 ГГц.

Плюсы и минусы

Бесспорные достоинства Short Range RF 434/868 МГц:

- высокая дальность (до 10 км);
- ультранизкое энергопотребление (возможна автономная работа от батарейки до 10 лет);
- возможность беспрепятственной разработки собственного стека.

Недостатки:


- невысокая скорость передачи данных (до нескольких десятков кбит/с).

Области применения

Характерные особенности технологий 434/868 МГц ограничивают их применение следующими областями:

- Системы контроля доступа и безопасности:
 - бесконтактные ключи и карты доступа;
 - автомобильные сигнализации.

Таблица 6. Модули компании Telit

Модуль	Описание	Фото
ZE50	Выходная мощность 1 мВт; чувствительность –92 дБм; дальность до 70 м.	
ZE60	Выходная мощность 100 мВт (встроенный усилитель); чувствительность –98 дБм; дальность до 800 м.	
ZE51	Выходная мощность 2,5 мВт; чувствительность –97 дБм; улучшенная RF-часть; дальность до 1000 м.	
ZE61	Выходная мощность 100 мВт (встроенный усилитель); чувствительность –99 дБм; улучшенная RF-часть; дальность до 4000 м.	

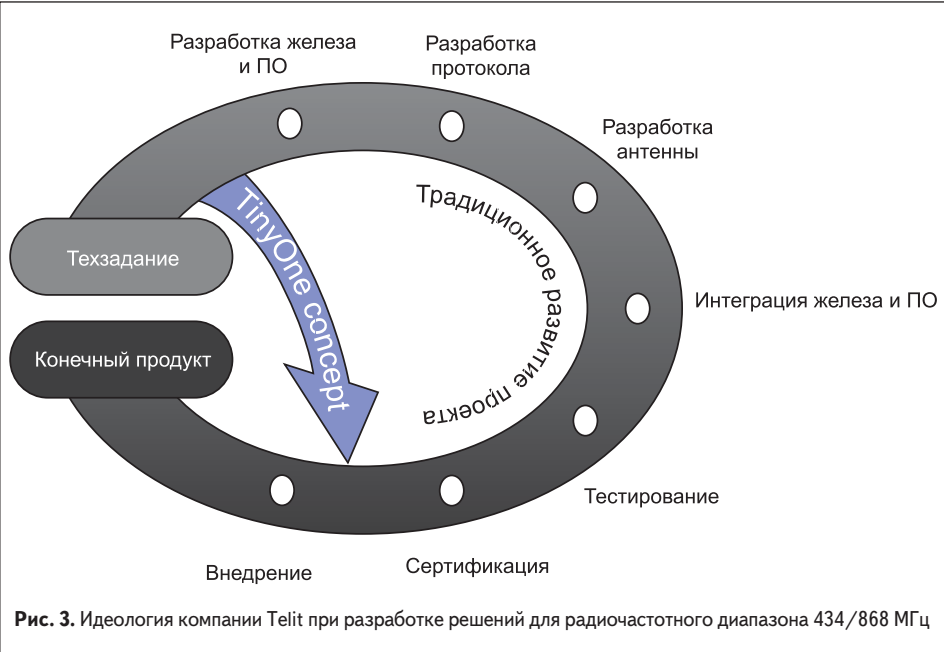


Рис. 3. Идеология компании Telit при разработке решений для радиочастотного диапазона 434/868 МГц

- Бытовая электроника:
 - пульты дистанционного управления;
 - беспроводные станции погодного мониторинга;
 - радиоуправляемые игрушки;
 - персональные пейджеры.
- Системы домашней автоматизации.

Устройства для РЧ-диапазона 434/868 МГц

Telit пошла по пути стандартизации радиосвязи в частотных диапазонах 434/868 МГц [17]. Продукция этой компании представляет собой полноценные программно-аппаратные заготовки в виде модулей со встроенным стеком собственной разработки для максимального ускорения и удешевления процесса разработки, производства и вывода на рынок конечного продукта (рис. 3).

В линейке продукции Telit присутствует два основных семейства: Tiny (Pro, Plus, Lite) [18–21] и XE50 [22–24]. Семейство Tiny является на данный момент уже устаревшим. Основная концепция данного семейства заключается в возможности свободной загрузки в модули различных разновидностей программного стека, предоставляемого Telit бесплатно по запросу. Модули семейства XE50 отличаются между собой по разновидностям заранее загруженного в них программного стека.

Модули Sim20-A и Sim20-B [25] китайской компании SimCom имеют много общего с модулями Telit (табл. 7). Они поставляются со встроенным программным стекком универсального назначения. Поддерживаются варианты соединения «точка-точка», «звезда», сеть. Выбор конкретного типа соединения и настройка модуля для работы в сети выполняются с помощью встроенного командного интерфейса.

При продвижении своих модулей компания SimCom придерживается традиционно агрессивной ценовой политики. Можно с уверенностью сказать, что Sim20 — это самое бюджетное решение в классе модулей со встроенным программным стекком.

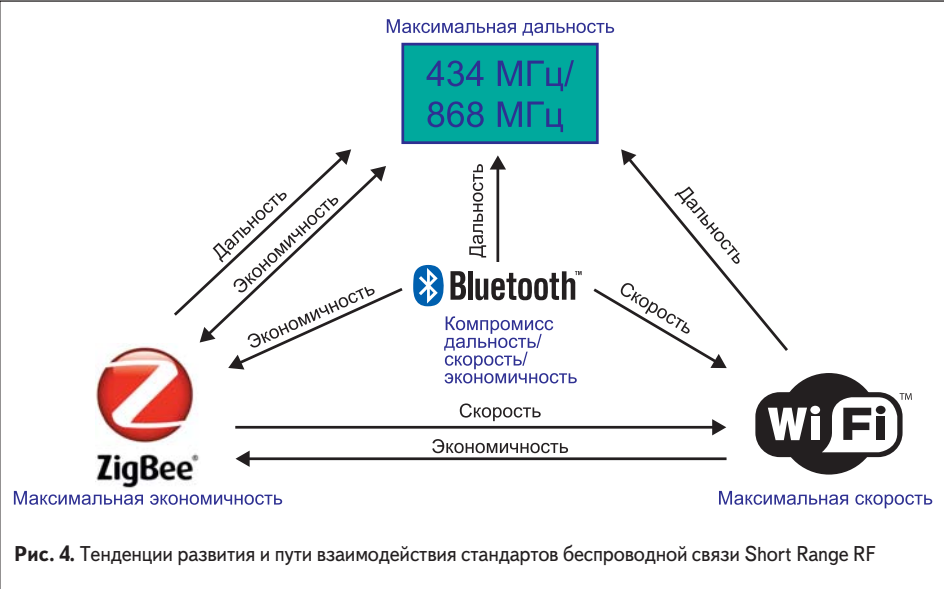


Рис. 4. Тенденции развития и пути взаимодействия стандартов беспроводной связи Short Range RF

Т а б л и ц а 7. Модули компаний Telit (семейства Tiny и XE50) и SimCom

Модуль	Описание	Фото
Tiny Pro (Telit)	Мощность до 500 мВт. Чувствительность – 105 дБм. Размер 38×21×4 мм.	
Tiny Plus (Telit)	Мощность до 25 мВт. Чувствительность – 105 дБм. Размер 38×21×4 мм.	
Tiny Lite (Telit)	Мощность до 7 мВт. Чувствительность – 100 дБм. Размер 38×21×4 мм.	
ME50 (Telit)	Только 868 МГц. Стек протоколов Wireless M-Bus. Размер 21×14,2×2,2 мм.	
LE50 (Telit)	434 МГц и 868 МГц. Стек протоколов для поддержки сетей «точка-точка» и «звезда». Размер 21×14,2×2,2 мм.	
NE50 (Telit)	Только 868 МГц. Стек протоколов MeshLite для поддержки сложных сетей. Размер 21×14,2×2,2 мм.	
Sim20-A (SimCom)	Частота 434 МГц. Мощность до 100 мВт. Встроенный универсальный стек. Размер 21×13,8×2,6 мм.	
Sim20-B (SimCom)	Частота 868 МГц. Мощность до 100 мВт. Встроенный универсальный стек. Размер 21×13,8×2,6 мм.	

Заключение

В заключение обобщим рассмотренный материал. Для удобства анализа и восприятия предлагается схема (рис. 4).

Как неоднократно отмечалось ранее, все стандарты группы Short Range RF пересекаются по многим своим параметрам и пытаются конкурировать между собой в одних и тех же практических приложениях и сегментах рынка. На рисунке стрелками показано направление развития каждого стандарта.

Между блоками «434/868 МГц» и «Wi-Fi» отсутствует стрелка «Скорость». Дело в том, что у технологий 434/868 МГц отсутствует потенциал по наращиванию скорости обмена данными. Это связано с ограниченностью данных частотных диапазонов, что в принципе не позволяет реализовать скорость обмена данными больше нескольких сотен кбит/с.

Между блоками «434/868 МГц» и «ZigBee» проведена двусторонняя стрелка «Экономичность». Это означает, что по данному параметру оба стандарта практически эквивалентны.

Стандарт Bluetooth является компромиссом с точки зрения соотношения параметров дальность/скорость/экономичность. Bluetooth стремится приблизиться по своим параметрам ко всем трем стандартам. Из рассмотренного материала следует, что ей это удастся вполне успешно, поэтому технология Bluetooth представляется наиболее перспективной с точки зрения применения в подавляющем большинстве проектов.

Как итог рассмотренного материала можно отметить и то, что на практике разделение между всеми стандартами беспроводной связи группы Short Range RF носит условный характер. Стандарты перекрываются друг другом и могут конкурировать в одних и тех же проектах. Часто выбор той или иной технологии беспроводной связи зависит от субъективных предпочтений разработчика или определяется какими-либо внешними специфическими условиями. Это могут быть:

- Наличие развитой инфраструктуры. Например, известно, что во всех крупных городах в данный момент существует и активно развивается сеть точек доступа Wi-Fi. Понятно, что в данной ситуации разработчику наиболее целесообразно использовать в своей разработке модули стандарта Wi-Fi.
- Наличие высокого уровня стандартизации и широкая поддержка стандарта множеством устройств различных производителей. В этом случае абсолютными лидерами являются стандарты Bluetooth и Wi-Fi.

- Возможность покрытия беспроводной сетью обширных территорий при сохранении низкого энергопотребления. С этой точки зрения наиболее перспективным является стандарт ZigBee.
- Возможность бесплатно разрабатывать собственный программный стек беспроводного обмена данными. Такую возможность разработчику предоставляют технологии радиочастотных диапазонов 434/868 МГц. ■

Литература

1. Реслович А., Стоян И., Чубич И. Bluetooth-технология беспроводной связи и ее применение // Ericsson Nikola Tesla d.d. REVIJA. 18/2005/1.
2. Федоров В. В. Модули Bluetooth в промышленных приложениях и системах сбора информации // Беспроводные технологии. 2006. № 2.
3. WT11. Datasheet, V. 3.2. August, 2011.
4. WT12. Datasheet. V. 2.93. March, 2011.
5. WT21. Datasheet. V. 1.81. April, 2011.
6. WT32. Datasheet. V. 2.1. March, 2011.
7. WT41-A/WT41-N. Datasheet. V. 1.33. June, 2011.
8. BLE112 PRELIMINARY. Datasheet. V. 0.98. May, 2011.
9. Каулио В. В. Управление встраиваемым Wi-Fi-модулем WIZ610wi компании WIZnet // Беспроводные технологии. 2010. № 2.
10. WIZ620wi. User's Manual. V. 1.0.
11. WiFi210. User's Manual. V. 1.0.
12. ZigBee Cluster Library Specification. October, 2007. www.zigbee.org.
13. Кривченко Т. И. Особенности новой спецификации ZigBee Pro Feature Set. // Беспроводные технологии. 2008. № 2.
14. ZE50-2.4 RF module User Guide. 1vv0300837. Rev. 0. 05/06/2009.
15. ZE60-2.4 RF module User Guide. 1vv0300844. Rev. 2. 24/08/2010.
16. ZE51/61-2.4 RF module User Guide. 1vv0300868. Rev. 2. 04/02/2011.
17. Кривченко Т. И. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц // Беспроводные технологии. 2007. № 2.
18. Аникин А. П. Радиомодемы компании One RF Technology для диапазонов 434/868 МГц: основные режимы работы // Беспроводные технологии. 2008. № 1.
19. Аникин А. П. Особенности построения радиосети Mesh Lite в частотном диапазоне 868 МГц // Беспроводные технологии. 2008. № 3.
20. Manual B-868-TinyPro. Datasheet. V. 1.3.
21. Manual B-868-TinyPlus. Datasheet. V. 1.3.
22. NE50-868 RF module User Guide. 1VV0300897. Rev. 0. 18/05/2011.
23. ME50-868 RF module User Guide. 1VV0300892. Rev. 0. 29/11/2010.
24. LE50-868 RF module User Guide. 1VV0300905. Rev. 0. 22/02/2011.
25. Design User Guide Application Note AN_SIM20_DUG_V. 1.0.