

BLUETOOTH SMART — ЛУЧШАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ БАТАРЕЙНОГО УЗЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ?

ОЛЕГ ПУШКАРЕВ, o.pushkarev@compel.ru

В статье рассматриваются преимущества и недостатки нового стандарта Bluetooth Smart по сравнению с его ближайшими конкурентами — технологией 802.15.4/ZigBee и проприетарными решениями на базе пакетных трансиверов безлицензионных диапазонов.

Создание беспроводного автономного устройства не является тривиальной задачей в силу того, что параметры энергоэффективности, дальности связи и скорости передачи данных находятся в противоречии — попытка улучшить один из них неизбежно приводит к ухудшению других. Поэтому в мире не существует универсальной технологии для реализации беспроводного канала для устройств, работающих на батарейном питании и обладающих ограниченным запасом энергии. Наиболее распространенные технологии Wi-Fi, 802.15.4/ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN, RF4CE конкурируют в этих приложениях с проприетарными технологиями DigiMesh, ANT, WirelessHART, Z-Wave и др. Несмотря на обилие стандартов, до последнего времени не появилась беспроводная технология (кроме, может быть, проприетарных), которая идеально подходила бы для работы с компактными маломощными источниками питания, рассчитанными на ток не более 10–20 мА. Новый стандарт Bluetooth Smart существенно расширил границы хорошо известной технологии Bluetooth, добавив возможность создания беспроводных устройств, способных работать годами от дисковых элементов питания.

НОВЫЙ СТАНДАРТ BLUETOOTH ПРОТИВ «СТАРОГО»

Новая спецификация стандарта Bluetooth [1] появилась в 2010 г. (Bluetooth 4.0). Она включает в себя две технологии — классическую Bluetooth (Bluetooth версии 2.1 + трансивер EDR Enhanced Data Rate) и новую технологию Bluetooth Low Energy, которая заметно отличается от классической Bluetooth как по техническим параметрам, так и по областям применения (см. табл. 1). Технология Bluetooth Low Energy (Bluetooth Smart) ориентирова-

на на приложения, обеспечивающие продолжительное (месяцы, годы) функционирование множества устройств (беспроводных датчиков), который работают от миниатюрных батареек малой емкости (десятки-сотни мА/ч). Классический стандарт Bluetooth плохо подходит для таких задач в силу следующих факторов.

1. Высокая скорость передачи данных (сотни Кбит — единицы Мбит) не позволяет существенно снизить потребление, которое составляет 30...300 мА.

2. Классический стандарт Bluetooth ориентирован на потоковую передачу данных, в то время как беспроводные датчики передают небольшие пакеты длиной в единицы — десятки байт. Служебные данные (overhead) классического Bluetooth неоправданно велики для этого случая (54 bits Header + 72 bits access code).

3. В классическом Bluetooth используется постоянная синхронизация узлов, которая требует энергии даже без фактической передачи данных.

4. Процедура установления связи (спаривания) требует много времени (единицы секунд). Стандартом не предусмотрена односторонняя передача данных или обмен данными без спаривания, что затрудняет реализацию мобильных узлов.

5. Максимальное число соединений ограничено семью.

Спецификация Bluetooth Low Energy (BLE) определяет параметры радиочастотного тракта и стека протоколов, предназначенные для создания беспроводных устройств с очень низким потреблением. В отличие от классического Bluetooth, который ориентирован на потоковую передачу данных между двумя узлами, BLE использует переменный интервал передачи пакетов, изменяющийся в широких пределах — от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. В стандартном режиме работы узла Bluetooth Smart происходит периодическая отправка коротких пакетов (~30 байт) в ответ на запросы от другого подсоединен-

Таблица 1. Сравнение нового и классического стандартов Bluetooth

Технические параметры	«Классический» Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Рабочая частота, МГц	2400	2400
Расстояние (класс 2), м	10	50
Скорость в эфире, Мбит/с	до 3	1
Скорость полезная, Мбит/с	0,7–2,1	0,3
Количество узлов	до 7	800*
Шифрование	56–128 бит	AES 128
Мгновенная доступность (latency), мс	более 100	менее 6 мс
Передача голоса	да	нет
Потребление энергии	1	0,01–0,5
Обнаружение сервисов	да	да
Концепция «профилей»	да	да
Применение	Мобильные телефоны, наушники, компьютеры	То же + промышленная телеметрия; игровые пульты; датчики в автомобилях, медицине; домашняя электроника

* Реально существующие стеки поддерживают не более 8.

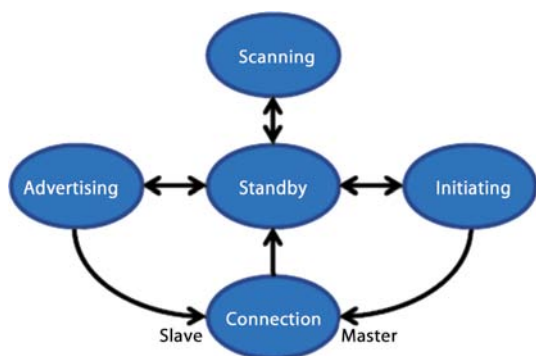


Рис. 1. **Режимы работы BLE-устройства** (Scanning — сканирование эфира с целью найти другое устройство и подсоединиться к нему для парного обмена данными. В процессе сканирования можно получать информацию от другого устройства даже без подсоединения к нему. Standby — дежурный режим. Радиочасть не используется. Advertising — устройство периодически рассылает информацию о себе. В отсылаемый широковещательный пакет могут быть включены и полезные данные, например измеряемая датчиком температура. Initiating — устройство запрашивает (инициирует) соединение с другим устройством. Connection — устройство находится в режиме парного соединения и может производить регулярный двухсторонний адресный обмен данными. Slave — ведомое устройство. Master — ведущее устройство)

ного BLE-устройства. В промежутках между сеансами обмена батарейное устройство находится в режиме сна с выключенной радиочастью. Более того, благодаря очень малому времени соединения, BLE-устройство может быть в состоянии «не подключено» большую часть времени, устанавливая при необходимости связь на минимальное время. Алгоритм вхождения в связь существенно упрощен, при этом в Bluetooth Smart появляется возможность односторонней передачи данных и обмена данными даже без процедуры спаривания двух узлов. Процедура обнаружения сервисов и установления

выделенного двухстороннего канала для обмена данными занимает теперь десятки миллисекунд против единиц секунд в классическом Bluetooth.

Bluetooth Smart, как и классический Bluetooth, использует технологию частотных скачков для уменьшения помех от других радиопередающих устройств, работающих в диапазоне 2400 МГц. Однако Bluetooth Smart использует меньше частотных каналов и больше передает на одном частотном канале, что снижает требования к производительности встроенного процессора и временной точности синхронизации узлов. Bluetooth Smart

использует более узкополосный сигнал, обеспечивая большую дальность при той же мощности по сравнению с классическим Bluetooth. В Bluetooth Smart впервые введен опциональный механизм генерации случайного адреса для обмена данными с беспроводным узлом, что защищает потребителя от возможности слежки за его оборудованием. Значительно уменьшена длина пакета — до 31 байта данных против 343 байт в классическом Bluetooth. На рисунке 1 показана машина состояний BLE-устройства на канальном уровне. Более подробное описание технических аспектов технологии Bluetooth Smart см. в последнем разделе данной статьи.

BLUETOOTH SMART ПРОТИВ ZIGBEE И ПРОПРИЕТАРНЫХ РЕШЕНИЙ

Потребление ZigBee-узла находится в пределах 25...40 мА, что больше допустимого тока для типичного дискретного элемента CR2032. Применение более емких батарей ведет к увеличению габаритов устройства, что затрудняет создание беспроводных узлов для наручных часов, медицинских датчиков постоянного ношения и встраиваемых в спортивную одежду/обувь датчиков движения. Именно эти приложения являются целевыми для нового стандарта Bluetooth Smart, который позволяет создавать т.н. сети BAN (Body Area Network — сеть датчиков, окружающих тело человека). В отличие от ZigBee и проприетарных решений, где

Таблица 2. Сравнение Bluetooth Smart с ближайшими конкурентами

Технические параметры	Bluetooth Smart	ZigBee	802.15.4	Проприетарный (пакетный трансивер)
IEEE	802.15.1	802.15.4	802.15.4	-
Рабочая частота, МГц	2400	2400	2400	433/868/2400
Обмен данными	Синхронный	Асинхронный	Асинхронный	Асинхронный или синхронный*
Максимальная дальность	50 м	Десятки км (при ретрансляциях)	До 3 км	Десятки км (в узкополосном режиме)
Скорость в эфире	1 Мбит/с	250 Кбит/с	250 Кбит/с	до 1 Мбит/с
Скорость полезная, Кбит/с	300	5...35	115	до 900
Количество узлов	сотни	сотни	тысячи	нет*
Шифрование	AES 128	AES 128	AES 128	AES 128
Время подключения к сети	менее 6 мс	до 30 с	150 мс	нет*
Сетевая топология	звезда	ячеистая сеть	звезда	нет*
Потребление энергии (относительное)	1	2 для конечного устройства, 200 для маршрутизатора	2 для спящего узла, 200 для координатора	1
Обнаружение сервисов	да	да	не предусмотрено	нет*
Мобильность	высокая	ограниченная (в пределах PAN ID)	низкая	нет*
Концепция «профилей»	да	да	не предусмотрено	нет*
Совместимость с потребительской электроникой	высокая	низкая (внешние адаптеры/шлюзы)	низкая (внешние адаптеры/шлюзы)	нет
Области применения	Беспроводные датчики для медицины, спорта фитнеса. Датчики приближения, поиска/идентификации объектов взаимодействующие с персональными ПК и устройствами	Промышленная автоматизация, управление светом, безопасность, интеллектуальные энергосети	Беспроводные низкоскоростные приложения. Стандарт лежит в основе ZigBee, 6LoWPAN	Беспроводная передача данных широкого профиля (кроме высокоскоростных приложений)

* Определяется протоколом верхнего уровня.

дальность действия достигает единиц километров, Bluetooth Smart не претендует на расстояния более нескольких десятков метров. Максимальная выходная мощность передатчика (10 мВт) в данном стандарте в 10 раз ниже по сравнению с ZigBee, при этом на практике в BLE применяется даже меньшая мощность — 1...3 мВт. Bluetooth Smart не предназначен для построения сложной сети с ретрансляцией сообщений — топология ограничена простой звездой. Зато минимальное время одной транзакции и скорость подключения узла к сети в BLE существенно лучше, что позволяет создавать динамические (мобильные) беспроводные узлы, которые, хоть и декларированы в ZigBee, однако на практике малоприменимы (время подключения узла ZigBee на практике может достигать 30 с!). Обобщенные данные по Bluetooth Smart в сравнении с ближайшими конкурентами приведены в таблице 2.

Технология ZigBee, как и Bluetooth Smart, ориентирована на получение данных от беспроводных датчиков, однако она теряет свои позиции при необходимости создавать приложения, ориентированные на взаимодействие с персональными устройствами — смартфонами, ноутбуками, планшетными компьютерами. Реалии таковы, что стандарт ZigBee за восемь лет своего существования отвоювал плацдарм в области промышленной телеметрии, интеллектуальных энергосетей, управлении освещением, но не был поддержан производителями потребительской техники. В настоящее время персональные устройства поддерживают только 3G/GSM, Wi-Fi и классический Bluetooth в качестве беспроводных каналов доступа к внешнему миру. Подключение ZigBee-устройств к ноутбукам и ПК еще возможно с помощью разного рода адаптеров и шлюзов, однако прямой обмен данными между ZigBee и смартфоном так и не стал реальностью. В схожей ситуации находятся и проприетарные беспроводные решения — обладая подходящими техническими характеристиками на уровне железа (пакетные трансиверы 433/868/2400 МГц от TI, ST и других производителей) или даже протокола (ANT — Nordic, DigiMesh — Digi), они находят лишь частичное применение из-за отсутствия их поддержки со стороны игроков массового рынка. Рынок персональных устройств в силу гигантских объемов крайне привлекателен с коммерческой точки зрения, поэтому именно Bluetooth Smart претендует на незанятую нишу низкоскоростного малопотребляющего беспроводного стандарта потребительской и промышленной электроники, построенной на основе распространенных операцион-



Рис. 2. Часы Casio дополняют iPhone



Рис. 3. Беспроводной пульсометр



Рис. 4. Кроссовки с чипом Bluetooth Smart

ных систем (iOS 6, Windows 8, Android 4.1 Jelly Bean). Огромные преимущества новому стандарту дает именно бренд Bluetooth и поддержка его членами альянса Bluetooth SIG. Два миллиарда уже работающих Bluetooth-чипов (предыдущего поколения) создают оптимистичный настрой относительно перспектив новой технологии. Компании TI, CSR, Broadcom, Atheros, Nordic Semiconductor и др. предлагают сегодня чипы Bluetooth Smart. Компания Apple стала одной из первых компаний в мире, кто добавил поддержку Bluetooth Smart в свои новые разработки (начиная с iPhone 4S).

Компания Casio выпустила свой первый продукт с использованием технологии Bluetooth Smart — часы G-Shock GB6900AA с Bluetooth 4.0 могут синхронизироваться с iPhone и сообщать о телефонных звонках или новых сообщениях, пришедших на электронную почту (см. рис. 2). Они также проинформируют об изменениях погоды, котировках акций или напомнят о событиях в календаре. Часы даже могут напомнить владельцу о том, что он забыл свой телефон — в данном случае Bluetooth Smart используется как активная радиометка. Батареи хватит на два года при работе Bluetooth-функционала по 12 ч в день.

Компания Dayton выпустила легкий беспроводной пульсометр (см. рис. 3), совместимый с любыми устройствами с поддержкой технологии Bluetooth Smart Ready. Пульсометр построен на базе микросхемы nRF8001 (Nordic Semiconductor) и способен работать до

полутора лет от одной батареи CR2032 (1 ч в день).

Компания Nike встроила чип Bluetooth Smart в кроссовки серии Nike Hyperdunk+ (см. рис. 4). Благодаря нескольким датчикам, расположенным в подошве, информация о параметрах движения спортсмена передается на телефон или ноутбук для последующего анализа.

Ожидается, что будущие модели телефонов, планшетов и ноутбуков всех производителей станут поддерживать новый стандарт Bluetooth 4.0. По прогнозам аналитиков из Research and Markets, стандарт Bluetooth Smart будет господствовать на рынке беспроводных сенсорных сетей, составляя около половины всех поставок в 2015 г.

BLUETOOTH SMART — ЧТО ДОСТУПНО РАЗРАБОТЧИКУ СЕГОДНЯ?

Компания Bluegiga, одной из первых выпустила на рынок радиомодули Bluetooth Smart (BLE112, BLED112) для

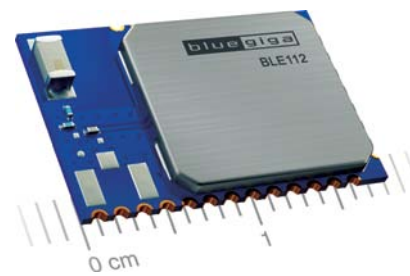


Рис. 5. Радиомодуль BLE112-A-v1

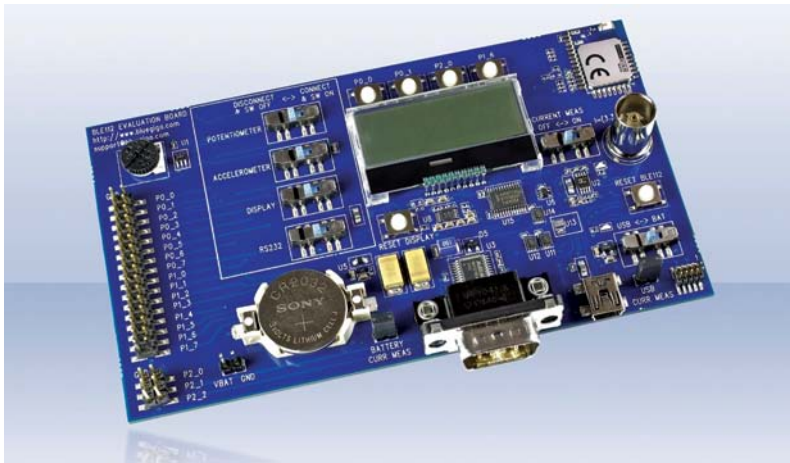


Рис. 6. Отладочный комплект DKBLE112

построения периферийных датчиков и модули Bluetooth Smart Ready (BLE111) для использования совместно с центральными устройствами [2].

Радиомодуль BLE112-A-v1 (см. рис. 5) предназначен для создания автономных беспроводных датчиков, годами работающих от одного дискового элемента. Благодаря оптимизированному радиопrotocolу BLE112-A-v1 может работать от одного дискового элемента на 3 В, передавая радиопакет за единицы миллисекунд. Радиомодуль BLE112-A-v1 имеет чувствительность –93 дБм и выходную мощность до 4 дБм, что позволяет передавать данные на несколько десятков метров. Ток потребления в режиме сна составляет всего 400 нА. Простые законченные устройства можно создавать на базе BLE112-A-v1 буквально за считанные дни благодаря возможности загрузки программ, написанных на специальном языке Bluegiga BGScript. Для быстрого создания приложений предусмотрен отладочный набор DKBLE112 (см. рис. 6), включающий основную плату с установленным модулем BLE112, акселерометром, датчиком температуры и ЖК-индикатором. В состав комплекта также включено два дополнительных модуля BLE112 и USB-донгл BLED112-V1. Для загрузки программ используется



Рис. 7. Радиомодуль BT111 Bluetooth v.4.0

программатор CC- Debugger от Texas Instruments.

Новый модуль BT111 (см. рис. 7) был выпущен в конце 2012 г. Он поддерживает одновременно как классический Bluetooth, так и новый стандарт Bluetooth Smart (Bluetooth Low Energy). Миниатюрный модуль с USB HCI-интерфейсом предназначен для работы под управлением операционных систем Windows (7, 8, CE) и Linux (BlueZ Bluetooth stacks). Аудиоинтерфейс можно настроить для работы с протоколом PCM или I2S. Модуль содержит встроенную антенну, что облегчает интеграцию беспроводного канала для разработчиков, не имеющих большого опыта в проектировании высокочастотных устройств. Модуль BT111 имеет хорошие характеристики радиочастот-

ного тракта — выходную мощность 8 дБм и чувствительность –90 дБм, что позволяет поддерживать связь на расстоянии до 100 м. Широкий интервал напряжения питания 2,3–5,7 В облегчает подключение к 3- и 5-В системам. Модуль BT111 построен на базе микросхемы CSR8510 и имеет размеры 13,05×9,3×2,3 мм. Диапазон рабочих температур: –30...85°C. Для быстрого старта предлагается отладочный набор DKBT111, включающий оценочную плату с запаянным модулем BT111 и необходимые аксессуары.

BLUETOOTH SMART — ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Блок-схема стека протоколов Bluetooth Smart приведена на рисунке 8. В качестве физического уровня (Physical Layer) используется радиосигнал в диапазоне 2400 МГц со скоростью передачи данных 1 Мбит/с и модуляцией GFSK. Это менее сложное радио по сравнению с используемыми в стандартах ZigBee (802.15.4) или Wi-Fi (802.11b.g.n.). Для передачи данных используются 40 частотных каналов, расположенных с шагом в 2 МГц. Радиосигнал Bluetooth Smart не совместим с классическим Bluetooth, поэтому в полной микросхеме Bluetooth 4.0 физически включены два радиочастотных тракта. Устройства, которые поддерживают стандарт Bluetooth 4.0 в полном объеме, способны работать как с классическими Bluetooth-устройствами (Bluetooth v2.1 + EDR, Bluetooth 3), так и с периферийными устройствами, соответствующими только стандарту Bluetooth Low Energy

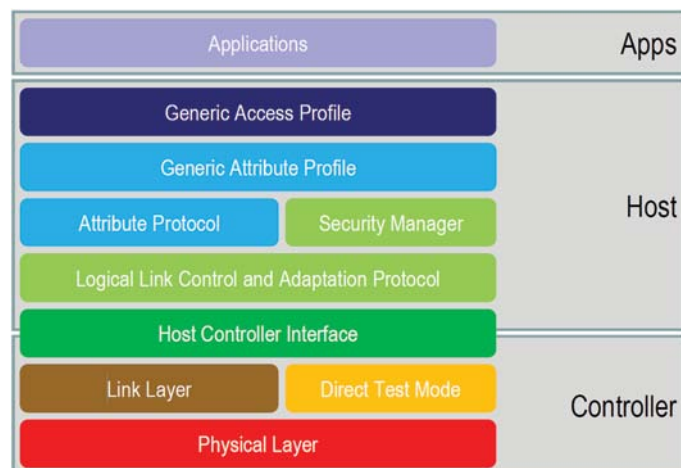


Рис. 8. Стек протоколов Bluetooth Smart (Applications — приложения. Apps — приложения. Generic Access Profile — профиль общего доступа (обнаружение сервисов, установка соединения). Generic Attribute Profile — профиль обмена атрибутами. Attribute Protocol — протокол обмена атрибутами (между сервером и клиентом). Security Manager — управление безопасностью. Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) — протокол логической связи (мультиплексор для протоколов более высоких уровней). Host — хост. Host Controller Interface — интерфейс управляющего контроллера. Link Layer — канальный уровень (структура радиопакета). Direct Test Mode — служебный формат пакета для тестирования. Physical Layer — уровень физического радиосигнала (частота, вид модуляции). Controller — контроллер)

(Bluetooth Smart). Такие полнофункциональные устройства Bluetooth 4.0. называются двухрежимными (dual-mode) и имеют торговую марку Bluetooth Ready, что отражает их способность обмениваться информацией с однорежимными (single-mode) устройствами Bluetooth Smart, включающими в себя только малопотребляющую версию протокола Bluetooth 4.0 (т.е. BLE). Большинство появившихся в 2012 г. ноутбуков и телефонов с Bluetooth (за исключением топовых iPhone, new iPad, Samsung Galaxy S III, Motorola Droid RAZR) не способны взаимодействовать с беспроводными датчиками, созданными на базе однорежимных трансиверов Bluetooth Low Energy.

Спецификация определяет выходную мощность до 10 мВт, что обеспечивает связь на расстоянии 50–100 м, однако в устройствах с дальностью действия в единицы метров мощность может уменьшаться, например, до 1 мВт (0 дБм) для экономии энергии батарей. Три частотных канала выделены для специальных служебных целей — с их помощью устанавливается связь между устройствами (согласование параметров). Служебные каналы расположены таким образом, чтобы минимизировать влияние на них от Wi-Fi-сетей (см. рис. 9). Обмен данными происходит короткими пакетами

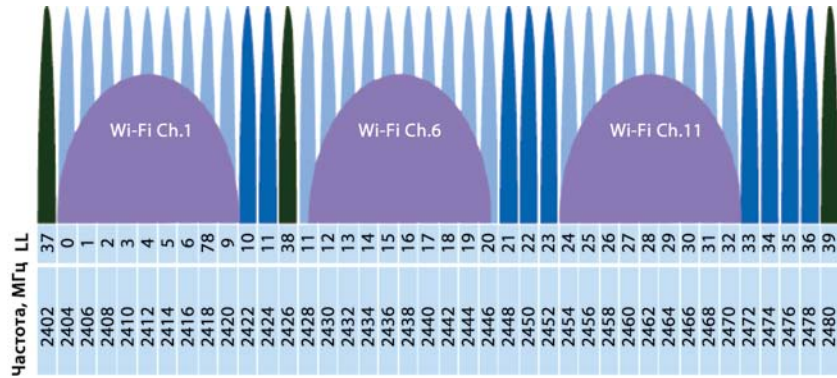


Рис. 9. Частотные каналы Bluetooth Smart

с простой структурой — 1 байт для преамбулы, 4 байта кода доступа (коррелируются с номером используемого частотного канала) и полезная нагрузка (PDU) длиной 2–39 байт, завершающаяся 3 байтами контрольной суммы (CRC). Таким образом, минимальный пакет длиной 80 бит передается лишь за 80 мкс, что минимизирует время активной работы трансивера и является одной из составляющих общей экономии энергии источника питания батарейного узла.

Устройства BLE работают в разных режимах в зависимости от функционала. Как правило, одно устройство явля-

ется центральным узлом, другое — периферийным. Центральный BLE-узел имеет высокую вычислительную мощность и стационарное питание (ПК) или аккумулятор высокой мощности (смартфон, ноутбук). Периферийное устройство — это миниатюрное устройство с дисковым элементом питания и малопотребляющим микроконтроллером (датчик). Каждое из устройств находится в одном из следующих состояний (см. рис. 1).

1. Режим рассылки приглашений (Advertising)

Устройство рассылает о себе общую информацию по служебным кана-

Новые линейки маломощных источников питания

TRA 1, TRA 3, TRV 1

ПОЛУРЕГУЛИРУЕМЫЕ

- Выходная мощность до 3Вт
- Высокий КПД — до 89%
- Компактный корпус SIP
- Электрическая прочность изоляции 1000 и 3000 В
- Улучшенная стабильность выходного напряжения
- Для решений требующих высококачественную гальваническую развязку

TSN-1

НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ

- Отрицательное выходное напряжение
- Функциональный аналог линейных стабилизаторов серии LM79XX
- Высокий КПД — до 94%
- Защита от перегрузки
- Тепловая защита
- Не требуют дополнительных радиаторов

TEM 3N

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ

- Низкие пульсации и шумы
- Устойчивы на холостом ходу
- Популярный корпус DIL24
- Оптимизированны по критерию цена/качество

НА ШАГ ВПЕРЕДИ

www.argussoft.ru

ARGUSSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

• Москва
Тел.: (495) 660-2855
Факс: (495) 660-2855
E-mail: cmp@argussoft.ru

• Санкт-Петербург
Тел.: (812) 412-0107
Факс: (812) 412-1849
E-mail: spb@argussoft.ru

• Новосибирск
Тел.: (383) 227-1155
Факс: (383) 222-4031
E-mail: nsk@argussoft.ru

• Екатеринбург
Тел.: (343) 378-3242
Факс: (343) 378-3241
E-mail: urai@argussoft.ru

• Казань
Тел.: (843) 293-4100
Факс: (843) 293-4100
E-mail: kazan@argussoft.ru

лам. Это делается, чтобы другие узлы могли с ним соединиться. Рассылаемая информация может включать в себя и произвольные данные, что позволяет реализовать одностороннюю передачу (даже без соединения с другим устройством). Например, в приглашении может рассылаться следующая информация: «Я устройство, к которому можно подсоединиться; выходная мощность передачи — 4 дБм; моя температура 20,5°C; я поддерживаю сервисы измерения температуры и состояния батареи».

2. Режим сканирования (Scanning)

Устройство прослушивает служебные каналы и принимает информацию от других устройств, которые работают в режиме Advertising. Если используется режим активного сканирования (Active Scanning), устройство может запрашивать на этом же служебном канале дополнительную информацию от устройства, которое рассылает приглашения (находится в режиме Advertising).

3. Дежурный режим (Standby)

Радиочастотная Bluetooth-часть устройства неактивна. Устройство может находиться в состоянии сна.

4. Инициирование и установка парного соединения (Initiating)

Устройство находится в режиме поиска партнера для соединения. Оно прослушивает приглашения, рассылаемые на служебных каналах, и посылает запрос на соединение (Connection Request) в ответ на принятое приглашение с ожидаемыми параметрами.

5. Режим передачи данных (Connecting)

Устройство периодически передает данные на одном из 37 частотных каналов парному узлу (с которым установлено соединение). При передаче данных используется адаптивная перестройка частоты, т.е. очередной канал выбирается по псевдослучайному закону, который известен обоим узлам, участвующим в обмене.

После установления соединения устройство, инициировавшее соединение, выступает в роли ведущего (Master), в то время как устройство, рассылавшее приглашения (Advertiser), становится ведомым (Slave). Ведомое устройство (например, малагабаритный датчик) может иметь только одно соединение, в то время как ведущее (например, ноутбук) — множество установленных соединений с ведомыми узлами. Стандарт не ограничивает число возможных соединений, но исходя из практических соображений, можно говорить о сети не более чем из нескольких десятков узлов. Во всяком случае, текущие стеки протоколов ограничивают число одновременных соединений для ведущего устройства

цифрой 4. Увеличение числа одновременных соединений требует большей памяти, производительности процессора и снижает пропускную способность для каждого отдельного соединения. Если каждый узел передает данные в течение 10 мс, то за 1 с ведущее устройство может поддержать связь только со 100 узлами.

В процессе установки соединения инициатор (который затем становится ведущим устройством) сообщает будущему ведомому устройству основные параметры связи, а именно — используемые каналы (Hopping Sequence), шифрование, интервал соединений (Connection Interval) и допустимую «невидимость» (Slave Latency). Интервал соединений определяет время между началом передачи пакетов данных, а параметр Slave Latency позволяет подчиненному устройству пропускать некоторое количество интервалов соединений, которое еще не рассматривается ведущим устройством как разрыв связи. Данный механизм позволяет низкоскоростному подчиненному устройству, с одной стороны, спать продолжительное время для экономии батареи, а с другой — быстро (т.е. часто) передавать данные в случае необходимости.

Каждый сеанс по обмену данными (Communication Event) начинается с передачи ведущего устройства, которая служит отправной точкой (временным маяком) для отсчета времени для следующей передачи. В течение этого сеанса каждый из узлов (ведущий и ведомый) по очереди передает/принимает данные. Число отправляемых пакетов в течение этого сеанса может быть различным — в служебных полях пакета предусмотрен бит MD (More Data), который сообщает другому узлу, что не следует в текущий момент засыпать до следующего сеанса Communication Event, т.к. еще не все данные отосланы. Периодичность сеансов связи находится в диапазоне 7,5 мс...4 с. Поскольку обмен данными происходит через регулярные интервалы времени, то каждое из устройств может находиться в режиме сна между сеансами обмена.

На канальном уровне предусмотрен упрощенный механизм подтверждения пакетов (Acknowledgments). Для экономии служебного трафика в BLE нет отдельного пакета подтверждения (бит подтверждения включен в состав стандартного пакета).

Для обмена полезными данными используется модель клиент-сервер (на уровне Attribute Protocol). Батарейный узел, как правило, выступает в роли сервера, который имеет несколько структур данных, называемых атрибутами (текстовая строка, однобайтовая

переменная, многобайтовое число только для чтения и т.д.). Клиент обращается к серверу и считывает/записывает значения атрибутов. Одни атрибуты сервер может изменять, тогда как другие имеют признак «только для чтения». Например, клиент может запросить у сервера значения атрибута «Напряжение питания батареи», но он не может изменить его, т.к. это не имеет физического смысла. Для большей гибкости сервер может инициативно отсылать запросы к клиенту с сообщениями двух типов, содержащими атрибуты (нотификации и индикаторы). Каждый слой стека протокола добавляет в пакет служебные поля. В результате длина полезной нагрузки пакета на самом высоком уровне протокола составляет всего лишь 20 байт.

Интересные цифры относительно практических технических характеристик BLE-устройств можно найти в [3]. По результатам теоретических расчетов и практических измерений, проведенных на базе трансивера CC2540, центральный узел может получать сообщения одновременно от 5917 устройств. «Одновременно» в данном случае означает временной интервал длительностью 4 с при условии малого количества ошибок в канале. Максимально достигнутая скорость передачи данных составила 58,48 Кбит/с. В этой статье указано, что продолжительность работы устройства от одного элемента CR2032 может находиться в диапазоне от 2 дней до 14 лет в зависимости от настроек периодичности отправки пакетов (7,5 мс...4 с).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый стандарт Bluetooth Smart позволяет создавать миниатюрные беспроводные датчики, совместимые с будущим поколением персональных гаджетов, ноутбуков и ПК. Оптимизация радиотракта и протокола на передачу коротких пакетов позволяет создавать автономные устройства, способные годами работать от дисковых батарей малой емкости. Поддержка нового стандарта ведущими производителями чипов и мировыми лидерами в области потребительской электроники создают реальные предпосылки для внедрения технологии Bluetooth Smart в миллионы электронных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спецификация Bluetooth 4.0//www.bluetooth.com.
2. www.compel.ru.
3. Carles Gomez, Joaquim Oller and Josep Paradells. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. Sensors. ISSN 1424-8220//www.mdpi.com.