МОДУЛЬ BT-03A С ПОДДЕРЖКОЙ BLE

ДМИТРИЙ ПОКАТАЕВ
iot@ptelectronics.ru

В статье рассматриваются преимущества стандарта Bluetooth Low Energy. На примере нового модуля BT-03A компании НАВИА представлены возможности применения этой технологии для широкого спектра устройств, в том числе и для «Интернета вещей» (IoT). Подробно описаны характеристики модуля и основные принципы построения устройств BLE на его основе.

ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТА BLE

Стандарт Bluetooth Low Energy (BLE) был выпущен в 2009 г. и является версией спецификации классического Bluethooth. Наиболее существенным достоинством BLE является сверхнизкое пиковое и среднее энергопотребление, а также энергопотребление в режиме простоя. Устройства, использующие BLE, оптимально подходят для решения задач, где не требуется передача большого объема данных, но встроенная батарея должна обеспечить работу устройства как приемопередатчика без замены батареи в течение всего его срока службы. Характерным примером являются приборы учета газа, тепла и воды, срок службы которых без замены батареи должен быть от трех до десяти лет и более. По сути, конкурентоспособность таких приборов на рынке определяется именно межповерочным интервалом, который непосредственно связан с током потребления и зависит от ресурса батареи питания. Кроме того, все чаще для приборов учета воды и газа декларируется возможность дистанционного снятия показаний как обязательная[1]. На сегодня именно применение BLE, как основного радиоканала, позволит обеспечить выполнение этих очень жестких требований к энергопотреблению достаточно простыми средствами, причем практически без увеличения емкости батарей питания.

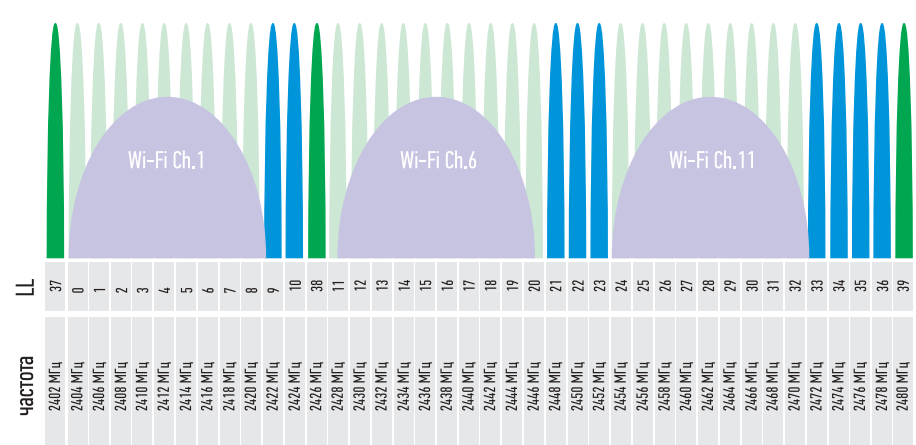
Какие еще преимущества есть у BLE по сравнению с другими малопотребляющими системами данных?

Самое главное, что устройство BLE всегда на связи, если дистанция позволяет ее осуществить (до 50 м в помещении и до 150 м на открытом пространстве).

Также устройство в режиме периферии (Slave) всегда готово к подключению к нему со стороны центрального устройства (Master). Более того, устройство в режиме Slave (именно про этот режим мы и будем в основном говорить далее, причем это устройство, с точки зрения протокола GATT (Generic Attribute Profile), является сервером данных характеристик, а центральное устройство — GATT-клиентом) постоянно передает в эфир информацию о себе в виде пакета BLE Advertisement (advertising packet — «рекламный пакет»), содержащего, кроме обязательных 6 байт MAC-адреса устройства, до 31 байт полезной информации в спецификации BLE 4.0. Рекламный пакет передается по трем каналам (это каналы 37 (2402 МГц), 38 (2426 МГц) и 39 (2480 МГц)) до нескольких раз в секунду и доступны всем устройствам, находящимся в режиме пассивного сканирования. Структура каналов BLE и структура рекламного пакета показаны на рис. 1 и 2. Дополнительно при активном сканировании по запросу Scan Request может быть передано до 31 байт полезной информации в пакете Scan Response. Рекламный пакет может быть передан как в стандартном формате SIG Bluetooth (флаги режима обнаружения устройства, доступные сервисы, имя устройства, уровень сигнала и данные об изготовителе), так и в собственном формате производителя, например, в форматах, применяемых в маяках позиционирования iBeacon и Eddystone. Причем данные могут обновляться в каждом вновь передаваемом пакете, как, например, это реализовано в Eddystone TLM для передачи данных о текущем времени работы, заряде батарей и температуре, который чередуется с основным пакетом идентификатора маяка.

Таким образом, становится совершенно очевидно, что у BLE-устройства в режиме периферии нет выраженного режима сна, оно всегда в эфире, готово к подключению и так до 10 и более лет, в зависимости от емкости батареи. Это выгодно отличает его, скажем, от устройств LoRa или Sigfox, где очевидна сеансовая возможность связи, хотя и на большем расстоянии. Кроме того, соединение с BLE может установить практически любой современный смартфон, причем многие смартфоны уже поддерживают не только режим центрального устройства,

РИС. 1. ▼
Структура каналов BLE и Wi-Fi



[1] В настоящее время в России готовится законодательная база для удаленного и автоматического сбора данных с домовых приборов учета. Подгруппа «Интернет+Город» IT-комиссии при помощнике Президента Игоре Щеголеве подготовила документ, согласно которому Минэнерго совместно с Минстроем и ФАС России должны будут разработать поправки в закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...». Цель — переход к дистанционному сбору данных о потреблении ресурсов ЖКХ. Изменения предлагается подготовить до октября 2017 г. — Прим. ред.

но и режим периферии. То есть стандартное оборудование BLE есть сейчас практически у каждого.

Как удается достигнуть таких отличных результатов по энергопотреблению? В первую очередь, за счет жесткой экономии электроэнергии. Да, при передаче ток потребления составляет 4–5 мА, но это очень короткий период времени (не более 1–2 мс), все остальное время ток потребления 1–2 мкА или даже менее. Причем количество каналов передачи рекламного пакета можно сократить до одного, а периодичность передачи увеличить до 5 с и более. Устройство будет немного сложнее обнаружить при сканировании, но и батарея будет расходоваться экономнее. Конечно, при установлении соединения передача и прием будут идти более длительное время, но обычно продолжительность фазы приема или передачи при подключении к Slave со стороны Master весьма мала и составляет не более 0,1% времени работы устройства. К тому же и в режиме подключения устройство продолжает экономить энергию, и потребление энергии в целом при этом тоже импульсное, поскольку пользовательские данные передаются порциями максимум по 20 байт, что, даже с учетом того, что они вставляются в пакет с заголовком и контрольной суммой, в принципе немного. В среднем потребление при подключении возрастает всего примерно в три-четыре раза, а в случае получения данных характеристики по уведомлению — не более чем в два раза по сравнению с режимом передачи рекламного пакета. Кроме того, в радиоканале применяется модуляция GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) с индексом модуляции 0,45–0,55, что тоже позволяет экономить энергию. При этом физическая скорость канала достигает 1 Мбит/с на каждом из 40 доступных каналов в диапазоне 2,4 ГГц, но данные передаются очень короткое время в количестве не более десятков байт, а затем следует большой перерыв. Также следует отметить, что, согласно стандарту, доступно семь уровней мощности передатчика и режим повышенной мощности (от –14 дБм до +8 дБм), что делает управление расходом энергии источника питания еще более гибким. Кроме того, у BLE-устройств нет режима экономии энергии как отдельной функции: оно экономит энергию всегда, это часть стандарта. Конечно, для систем на кристалле (СнК, SoC), какой и является решение BlueNRG-1, определенную роль может играть текущая загрузка процессора самого интегрированного с радиоканалом чипа, но здесь все решено в духе лучших традиций малопотребляющих микропроцессорных систем ST: ядро может работать как в режиме экономии энергии, так и развивать максимальную вычислительную мощность, если это необходимо. Благодаря этому производитель конечного устройства может сам определить, как и когда расходовать ресурсы питания, чисто программным путем.

Следует также отметить, что с развитием BLE заметна тенденция к увеличению максимальной длины данных в пакетах, что говорит о том, что технология развивается в сторону расширения возможностей при сохранении ее ключевых преимуществ, постепенно приближаясь к классическому Bluetooth, но сохраняя гибкость настроек по использованию ресурсов источника питания.

Таким образом, можно сделать вывод, что устройства BLE могут обмениваться данными в режиме подключения или без подключения, расходуя минимальное количество энергии батарей при работе в безлицензионном диапазоне 2,4 ГГц, причем в большинстве уже присутствующих на рынке BLE-устройств, как ни странно, незашифрованные рекламные пакеты часто применяют для передачи данных, так как этот режим самый экономичный, а более защищенный режим подключения, в котором применяется шифрование, — только для настройки устройств. В качестве примера подобного подхода можно привести спецификацию iBeacon, где маяк калибруется по коэффициенту мощности путем записи данных при подключении, но большую часть времени просто передает свой идентификатор и коэффициент мощности для определения дистанции до него со стороны смартфона по уровню сигнала.

Так как устройство BLE всегда можно активировать по радиоканалу, многие устройства, для которых совсем недавно применение внешнего источника питания было неизбежным, теперь могут перейти на батарейное питание. Например, ультразвуковой датчик уровня, для питания которого необходим ток 10 мА, но только в рабочем режиме и всего пару секунд, и считывать данные нужно только раз в день. Теперь все просто: обнаруживаем устройство по идентификатору, подключаемся со смартфона, вводим пароль, чтобы войти в рабочий режим, подать питание на датчик и получить результаты измерения,

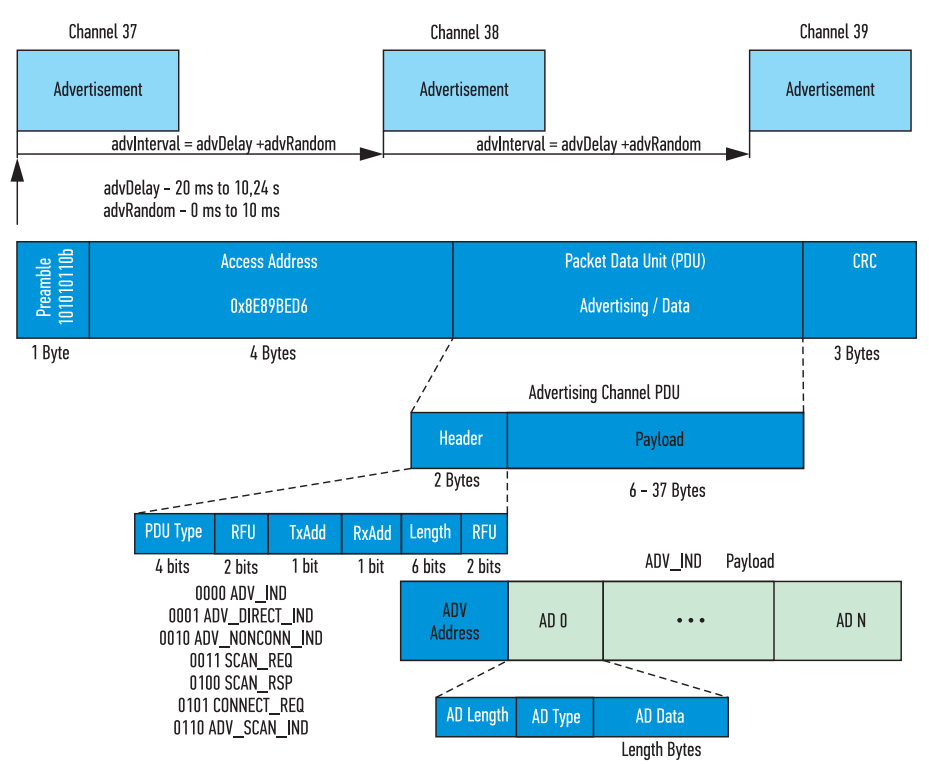


РИС. 2. ▼ Временные диаграммы передачи рекламного пакета по трем каналам и структура рекламного пакета

и получаем данные об измерении через характеристику. Если данные не конфиденциальны, то можно еще проще: будить устройство раз в сутки через прерывание RTC, делать измерения и еще сутки транслировать значение измерения в рекламном пакете. Таким же образом можно организовать периодический беспроводной доступ к COM-порту уже готового устройства, управлять дистанционно каким-либо оборудованием. В общем, можно найти еще очень много вариантов применения замечательных свойств технологии BLE.

МОДУЛЬ С ПОДДЕРЖКОЙ BLE ОТ НАВИА

Хотя существуют решения, поддерживающие оба стандарта Bluetooth (классический и BLE), целью компании НАВИА при создания нового модуля BT-03A было именно получение полноценного устройства BLE для задач, где не требуется передача большого объема данных, но встроенная батарея должна обеспечить работу устройства как приемопередатчика без замены батареи в течение всего срока службы устройства.

Основные характеристики

BT-03A — уже не первый модуль с поддержкой стандарта Bluetooth Low Energy (BLE), созданный компанией НАВИА. Он логически продолжает линейку модулей BT-01, но при этом является еще более компактным и — самое главное — максимально энергоэффективным законченным устройством BLE. В простейшем случае требуется только подключить батарею 3,0 В (диапазон допустимого напряжения питания модуля 1,7–3,6 В), например CR2032 или CR2477, загрузить соответствующее ПО, и уже готов маяк iBeacon или Eddystone. Внешний вид модуля BT-03A показан на рис. 3. Модуль имеет совсем небольшие габариты: вместе со встроенной антенной 19×15×2 мм.

Низкое энергопотребление модуля позволяет применять его в таких приложениях, как:

- приборы учета газа, тепла и воды;
- беспроводные охранные датчики;
- брелоки автосигнализаций;
- устройства передачи данных;
- маяки позиционирования (iBeacon, Eddystone и другие спецификации);
- медицинская техника;
- диагностические комплексы;
- мониторинг персонала.

Программное обеспечение

В зависимости от загруженного в модуль ПО (это может быть готовое бесплатное ПО от производителя или приложение пользователя, созданное с помощью бесплатного SDK) можно получить более сложное устройство, подключив к модулю ЖК-индикатор, клавиатуру, пьезоизлучатель, различные измерительные цепи. Модуль имеет встроенный АЦП и RTC с часовым кварцевым резонатором, что позволяет реализовать сложные устройства — например, приборы учета газа и воды с батарейным питанием, и полностью отказаться от основного процессора прибора учета, передав его функции процессорному ядру модуля Cortex M0, которому доступно 160 кбайт Flash-памяти программ и 24 кбайт оперативной памяти. Применению BT-03A в качестве замены основного процессора также способствует рекордно малое в своем классе энергопотребление чипа BlueNRG-1, на котором модуль построен.

Модуль полностью поддерживает работу с отладчиком STLink/V2 и загрузку ПО через UART, также поддерживается обновление ПО через эфир (FOTA).

BT-03A поставляется с базовой прошивкой Direct Test Mode (DTM), поддерживающей Bluetooth Host Controller Interface (HCI), который позволяет настраивать модуль для работы в любом режиме с помощью приложения BLUENRG GUI, запускаемого в среде Windows. Достаточно подать питание на модуль и подключить выводы UART_Rx и UART_Tx через преобразователь к последовательному порту компьютера. Это законченное полноценное ПО, которое позволяет использовать все ресурсы радиоканала модуля, в том числе и управление тестовыми режимами приемопередатчика, о чем говорит слово «test» в названии, и обеспечивает запуск модуля в режимах центрального устройства и периферии, управление данными в рекламном пакете, установку режимов видимости модуля для других устройств, дает возможность осуществлять подключение, передавать и принимать данные и многое другое.

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ BT-03A В ОСНОВНЫХ РЕЖИМАХ BLE

Рассмотрим работу BT-03A в основных режимах BLE и оценим его энергопотребление с применением программы BlueNRG Current Consumption Estimation Tool V.1.2.

Основной рабочий режим

Данный режим типичен для устройств всех типов — как с возможностью подключения, так и без нее. Это основной рабочий режим, на работу в котором тратится основной ресурс элементов питания BLE-устройства. Именно он и определяет экономичность устройства в целом и реализует все преимущества технологии BLE. На рис. 4 и 5 показаны результаты моделирования энергопотребления BlueNRG-1 в режиме включенного встроенного DC/DC, при частоте основного резонатора 16 МГц, питании 3,0 В, максимальной мощности передатчика

РИС. 3. ▶
Внешний вид модуля BT-03A

и передаче рекламных пакетов с полезной нагрузкой 31 байт каждые 5 секунд на одном канале (рис. 4) и на трех каналах (рис. 5). Следует отметить, что среднее время сканирования у большинства устройств и приложений более 20 с, поэтому даже при передаче рекламного пакета каждые 5 с на одном канале устройство будет обнаружено без особых затруднений.

При работе на одном канале ток потребления в среднем 2,89 мкА, при этом в активной фазе, которая длится 1,68 мс, ток потребления достигает 6,22 мА, а затем почти 5000 мс ток не превышает 1 мкА. Стандартная батарея CR2477, по расчету, должна проработать 39 лет, что превышает ее период полного саморазряда. Если передавать рекламный пакет на трех каналах, то активная фаза увеличится до 3,61 мс, средний ток возрастет до 6,38 мкА, а батарея CR2477 прослужит почти 18 лет. Конечно, эти цифры полезны только как теоретические, в реальном устройстве процессорное ядро будет пробуждаться, чтобы обработать прерывания, будут происходить подключения других устройств по BLE, если это разрешено, но в целом понятно, что радиоканал позволит выделить на другие цели в устройстве несколько микроампер. Это предоставляет возможность создать устройство с периодом работы от одной батареи CR2477 как минимум 5–10 лет с постоянно активным радиоканалом; этого достаточно, чтобы уложиться в очень жесткие лимиты потребления для приборов учета с автономным питанием или маяков позиционирования. Реальные данные по энергопотреблению при передаче рекламного пакета по трем каналам показаны на рис. 6.

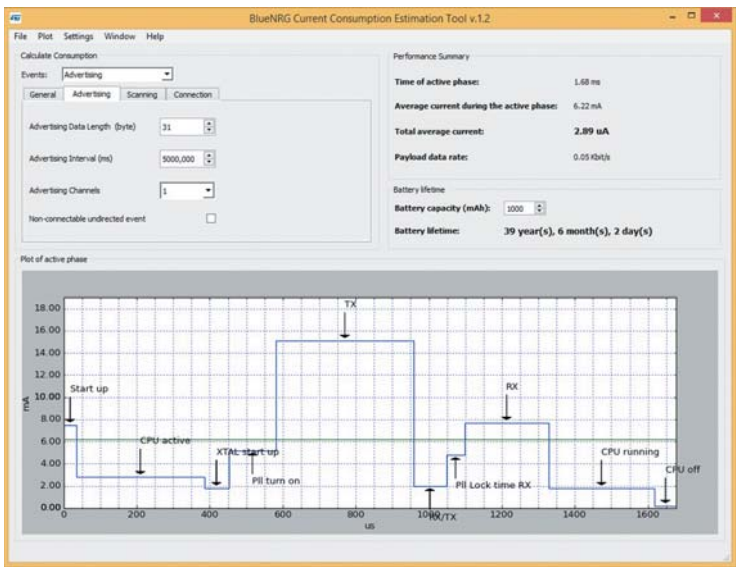


РИС. 4. ◀ Передача рекламного пакета по одному каналу — расчетное энергопотребление и ресурс батареи

РИС. 5. ◀ Передача рекламного пакета по трем каналам — расчетное энергопотребление и ресурс батареи

Соединение в режиме Master

Речь идет о среднем потреблении в режиме чтения значения характеристики по уведомлению. По сути, это прием или передача данных в установившемся режиме по 20 байт данных в каждом пакете несколько раз в секунду. Вроде бы это совсем немного, но при этом средний ток потребления не более 8,0 мкА при дальности 50 м и более. В таком режиме батарея CR2477 прослужит почти 14 лет, что сравнимо по экономичности с передачей рекламных пакетов по трем каналам. Время активной фазы 1,68 мс, поскольку данные передаются только по одному каналу

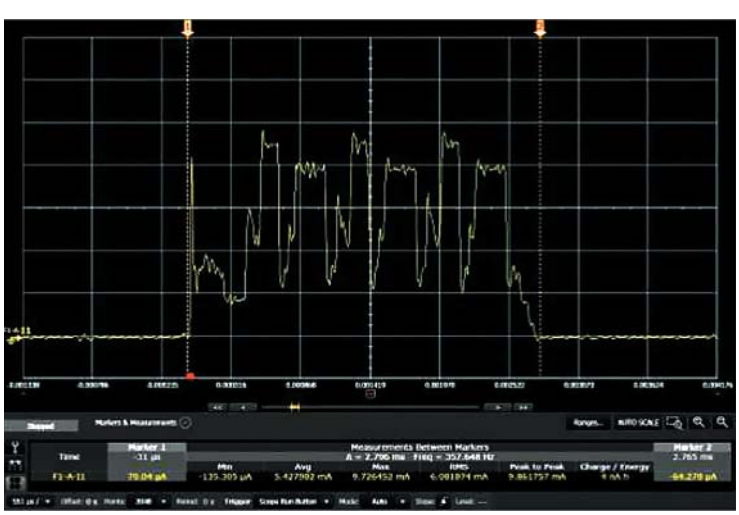


РИС. 6. ◀ Реальное потребление BT-03A при передаче рекламного пакета по трем каналам

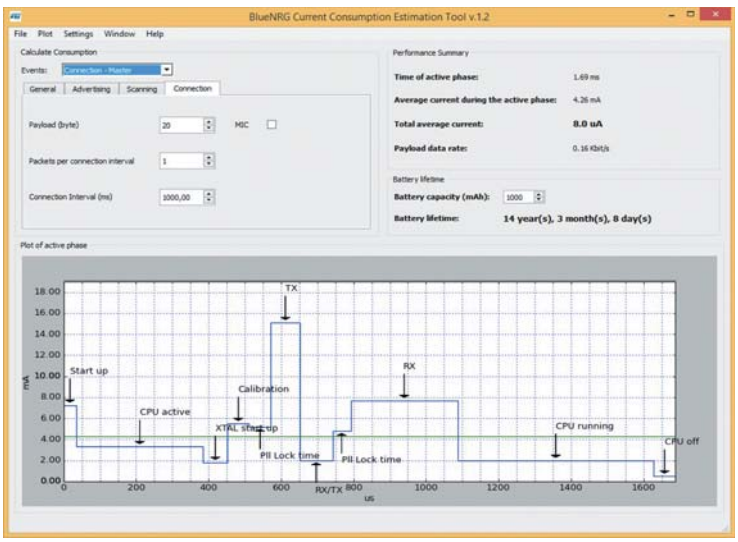


РИС. 7. Соединение в режиме Master — расчетное энергопотребление и ресурс батареи

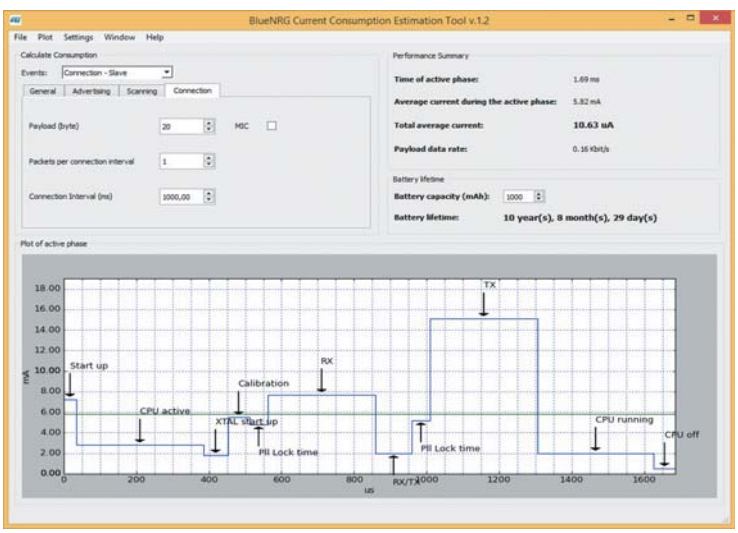


РИС. 8. Соединение в режиме Slave — расчетное энергопотребление и ресурс батареи

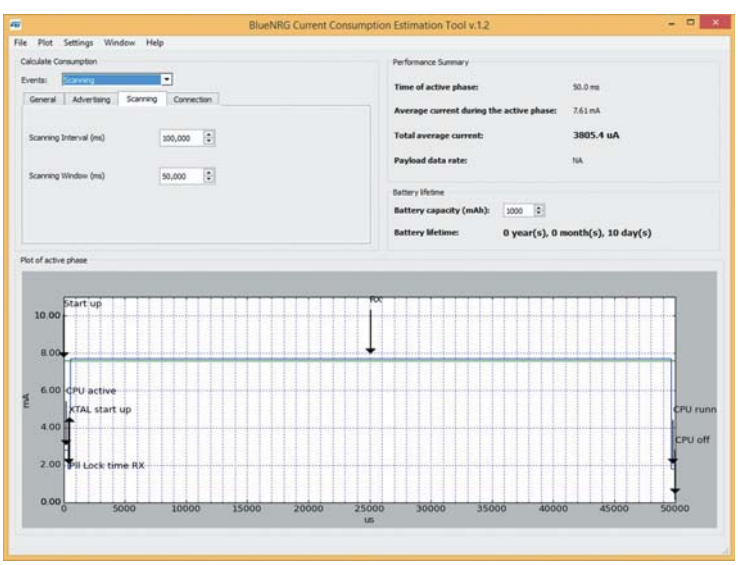


РИС. 9. Режим сканирования — расчетное энергопотребление и ресурс батареи

связи. Результаты моделирования данного режима показаны на рис. 7

Соединение в режиме Slave

По сути, этот режим похож на режим Master, ведь при этом со стороны Slave установлено соединение с другим устройством Master. Скорее всего, в режиме Slave некоторые ресурсы питания тратятся на поддержку работы сервера GATT, и средний ток потребления немного больше — 10,63 мкА при том же времени активной фазы 1,68 мс. Результаты моделирования данного режима показаны на рис. 8.

Режим сканирования

В данном режиме каждые 100 мс приемник включается на 50 мс и прослушивает три канала, по которым передаются рекламные пакеты от всех доступных устройств. Режим малопотребляющим не назовешь, но используется он редко, либо для устройств, ведущих непрерывное сканирование, обычно предусмотрено внешнее питание. Батареи CR2477 хватит всего на 10 дней. Результаты моделирования данного режима показаны на рис. 9.

Режим подключения, кроме более сложного протокола, использует шифрование AES 128, что существенно увеличивает потребление, но зато данные при этом достаточно надежно зашифрованы, и, кроме того, канал связи часто переключается, что затрудняет перехват данных. В то же время передача незашифрованных данных в рекламном пакете значительно экономичнее и поэтому часто применяется для передачи неконфиденциальных данных и данных, предназначенных для широковещательной передачи в маяках позиционирования. При передаче данных в рекламном пакете экономия данных присутствует, конечно, только на стороне передачи, но при этом у приемника (например, смартфона) лимит потребления куда менее жесткий, и сканирование может идти почти непрерывно.

ОСОБЕННОСТИ ЧИПА BLUENRG-1

Рассмотрим некоторые специфические функции BlueNRG-1, доступные через SDK помимо основных стандартных для Cortex M0 интерфейсов, устройств и периферии, которые могут быть использованы при разработке приложения для BT-03A.

Часы реального времени

BlueNRG-1 в модуле работает в наиболее энергоэффективном режиме от встроенного DC/DC и тактируется от двух резонаторов — часового и опорного. Хотя резонатор часовой точности 32,768 кГц не обязателен для работы BlueNRG-1, тем не менее, в соответствии с рекомендациями STMicroelectronics, в модуле установлен резонатор NDK, поскольку достаточно много устройств, использующих BLE, требуют также наличия информации о точном времени. Чаще всего необходим даже не сам календарь как таковой, хотя он есть в BlueNRG-1, а достаточно точные секундные импульсы, которые крайне необходимы в приборах учета газа, в маяках Eddystone-EID и ряде других применений.

Поддержка цифрового микрофона

PDM stream processor — фильтр для поддержки микрофона формата PDM (Pulse Density Modulation, плотностно-импульсная модуляция), по сути, представляет собой прямую поддержку цифрового микрофона.

Пропускная способность BLE позволяет передать звук только низкого качества при условии сжатия, но возможности встроенного ядра Cortex M0 позволяют реализовать распознавание определенных звуков в различных датчиках. Как пример можно привести датчик разбития стекла по звуку на основе микрофона для систем охраны.

Генератор случайных чисел

RNG (Real Random Number Generator) — это подходящий для криптографических целей 16-битный генератор случайных чисел, повторяемость которых удовлетворяет понятию «криптографическая стойкость», что позволяет применять модуль BT-03A как криптографическую метку или ключ доступа. Новое случайное число может быть получено каждые 1,25 мс, что достаточно для генерации длинных ключей шифрования за короткий интервал времени.

Интерфейсы

Все, без исключения, интерфейсы (UART, SPI, I²C, GPIO, 10-bit ADC) чипа BlueNRG-1 выведены на контактные площадки модуля.

Другие функции BlueNRG-1

- Многофункциональный таймер MFT (Multi-Function Timer) — два таймера с поддержкой ШИМ и достаточно гибкой настройкой функций по сравнению с обычными таймерами.
- Дифференциальный АЦП 10-бит.

* * *

В статье рассмотрены основные понятия технологии BLE, приведена информация о том, как и где она используется. Найти новые сферы применения для разработок поможет подробно представленный модуль BT-03A, который может стать и просто надежным радиоканалом, дополняющим устройство, и его основой, для чего он, собственно, и создан компанией НАВИА. ⬢

Более подробную техническую информацию и средства разработки вы можете найти здесь:

ЛИТЕРАТУРА

1. Модуль Bluetooth Low Energy BT-03A. http://naviaglonass.ru/product/bluetooth-low-energy-modul-navia-bt-03a
2. BlueNRG-1 Bluetooth low energy wireless system-on-chip. www.st.com/content/st_com/en/products/wireless-connectivity/bluetooth-bluetooth-low-energy/bluenrg-1.html