

ПРОГРАММНАЯ НАСТРОЙКА ИНТЕРФЕЙСА BLUETOOTH С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Тонко Илья Анатольевич

магистрант,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь, г. Минск

Боровиков Сергей Максимович

канд. техн. наук, доц.,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь, г. Минск

В настоящее время объём данных, собираемых различными электронными устройствами, постоянно увеличивается. Получение актуальных и своевременных данных является необходимостью как в повседневной жизни, так и в сферах промышленного производства, обслуживания, транспорта, медицины и многих других областях. Источниками данных могут быть постоянно изменяющаяся информация об окружающей среде или конкретных объектах, результаты протекания физических или химических процессов, а также различных математических вычислений.

Для сбора данных находят применение интеллектуальные датчики, основным способом передачи информации которых является не визуальное представление человеку изображений посредством дисплеев и шкал, а коммуникация с другими электронными устройствами для передачи информации посредством различных интерфейсов. Это позволяет избавить пользователей от снятия показаний, автоматизировать статистическую обработку данных и принимать решения на основе только последних собранных данных, а также значительно уменьшить влияние человеческого фактора, который может являться источником ошибок. Переданная информация может быть автоматически объединена в единое целое и затем представлена на компьютерных мониторах и дисплеях смартфонов.

Беспроводные интерфейсы передачи данных позволяют избавиться от жёсткой привязки к местоположению датчиков, использовать мобильные устройства, обеспечивая удобство их применения в сравнении с проводными аналогами интерфейсов. Всё шире используют беспроводные камеры, датчики, предназначенные для контроля температуры и давления, трекеры для определения местоположения и многие другие виды других устройств [1]. С развитием радиоэлектронных и информационных технологий энергопотребление беспроводных интерфейсов снижается, а скорость передачи данных увеличивается, что способствует росту количества беспроводных решений на рынке информационных услуг [2].

Bluetooth Low Energy (BLE, Bluetooth с низким энергопотреблением) – глобальный стандарт для энергоэффективной передачи данных, позволяющий устройствам связываться друг с другом посредством радиоканала. Устройства, использующие этот стандарт, потребляют мало энергии, поэтому они могут работать месяцами или даже годами без необходимости перезарядки или замены батареек. Скорость передачи данных в версии BLE 5.0 может достигать 2 Мбит/с, а радиус действия составляет до 400 метров. На рисунке 1 представлен типичный диапазон скоростей передачи данных и возможные расстояния передачи (охват) с помощью различных беспроводных технологий.

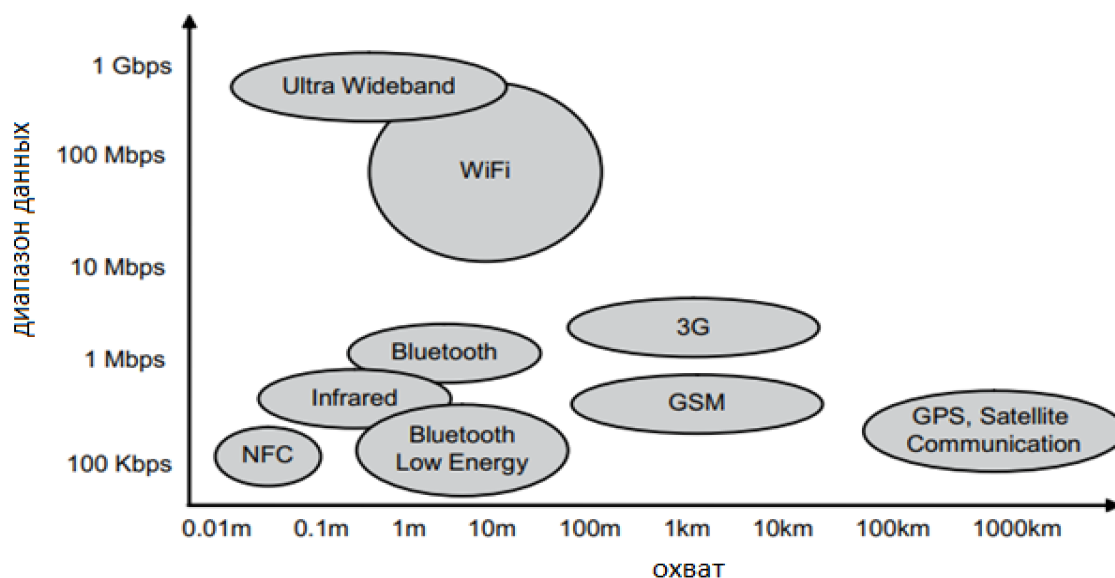


Рисунок 1. Типичный диапазон данных и охват беспроводных технологий

Благодаря своим преимуществам стандарт BLE широко распространен в смартфонах и других мобильных устройствах. Мобильность устройств во многих случаях является решающим фактором выбора в пользу выбора BLE по сравнению с другими беспроводными технологиями, такими как ZigBee и ANT [3].

При разработке беспроводных устройств различного назначения вначале реализуются прототипы, что позволяет экспериментировать с компонентами проектируемого устройства и параллельно разрабатывать его программное обеспечение («прошивку» микроконтроллера) до того, как финальный вариант устройства будет выбран. Многие производители используют для разработки устройств с поддержкой стандарта BLE специальные платы, называемые отладочными или оценочными платами. Они представляют собой печатные платы с установленным на них микроконтроллером со всей необходимой периферией. На платах предусматриваются монтажные провода и разъёмы для подключения плат расширения, выделяют места для компоновки и монтажа пользовательских электрических схем.

Разработчики заинтересованы в оптимальности функционирования устройств при обеспечении необходимого сценария сбора данных, зависящего от предназначения самих данных. Приведём примеры. Так, некоторые устройства, такие как беспроводные видеокamеры, обычно потребляют довольно много электроэнергии, обладают возможностью передавать сравнительно большие объёмы информации на заданной скорости, но нуждаются в частой зарядке батареи. Фитнес-трекеры передают меньше информации и менее чувствительны к скорости передачи данных, но с учётом непрерывного использования и небольшого размера самих устройств их срок работы без очередной зарядки исчисляется несколькими днями или даже неделями. Такой тип устройств, как беспроводные термометры, рассчитан на долгую работу, не чувствителен к скорости передачи небольших объёмов данных и их срок службы до заряда батарейки оказывается достаточно продолжительным.

Отметим, что разработка беспроводных узлов сбора данных обычно выполняется при ориентировочно известных сценариях сбора информации. Это позволяет примерно рассчитать срок службы узла без зарядки батареи при необходимой скорости передачи данных, либо наоборот, оценить максимально достижимую скорость при которой срок службы оказывается не ниже заданного. Однако более надёжным вариантом является использование тестовой прошивки, позволяющей оценить интересующие параметры функционирования BLE при изменении программной конфигурации использования BLE-интерфейса.

Во многих случаях разработчики экспериментируют с настраиваемыми параметрами функционирования BLE (интервал соединения, интервал широковещания, задержка широковещания и другие) применительно к чётко определённой сценарию использования проектируемого устройства.

В рамках данного исследования ставилась задача о проектировании такой (универсальной) прошивки для микроконтроллеров с поддержкой стандарта BLE, которая позволяла бы задавать значения регулируемых параметров функционирования BLE для различных сценариев сбора данных и в качестве результата получать полезную информацию об энергопотреблении и скорости передачи данных. Кроме того, решение поставленной задачи должно было установить наиболее выраженные особенности параметров функционирования BLE и помочь сформулировать рекомендации по их настройке.

Однозначно нельзя утверждать, что полученная от тестовой прошивки информация будет совпадать с итоговыми показателями производительности реального устройства, так как помимо передачи данных посредством BLE в программе прошивки предусмотрено выполнение и других функций, а на самой плате могут располагаться и иные компоненты, включая другие модули передачи данных, например модули GSM, GPS, WiFi, вносящие свой вклад в энергопотребление устройства. Однако полученная о производительности BLE информация важна для общей оценки эффективности, особенно для устройств, где функция BLE является определяющей.

Для проектирования выбрана платформа nRF52840 известного производителя Nordic Semiconductor, сочетающая BLE-совместимый радиомодуль и современный ARM-процессор.

При выполнении исследования предусмотрена возможность рассмотрения сбора данных при двух основных подходах: сбор при широковещании и сбор при установке соединения. Используя широковещание без установления соединения, BLE-устройство может отправлять данные на любое сканирующее устройство (приёмник) в диапазоне прослушивания. Этот механизм позволяет отправлять данные в одну сторону кому-либо или устройству, которое способно собирать передаваемые данные. Соединение же является постоянным периодическим обменом пакетами между двумя устройствами. Такой обмен по своей сути является частным, так как данные отправляются и принимаются только двумя узлами, участвующими в соединении [4].

Подход к сбору данных посредством широковещания актуален для периодического неинтенсивного сбора данных, когда не нужна высокая скорость передачи данных. В этом случае узел датчика постоянно передает изменяющиеся показания в широковещательном пакете, а мобильное устройство собирает их без подключения. Широковещание может быть при этом как публичным, при котором содержимое пакета видно для всех сканирующих устройств, так и направленным по определённому адресу. Так как полезная нагрузка широковещательного пакета ограничивается 251 байтом (а во многих случаях для большего энергосбережения используется пакет до 30 байт [5]), такой режим не рекомендуется при передаче большого количества данных. Однако этот подход позволяет создавать более экономные сценарии использования устройства, если пакеты данных уместятся в широковещательный пакет [6].

Подход к сбору данных посредством соединения рассчитан на передачу большого количества информации. Передаваемые данные не доступны прослушивающим устройствам. Перед соединением узел датчика должен находиться в режиме ширококовещания. Сбор данных посредством соединения может использовать гораздо меньше энергии, чем ширококовещательный режим, так как он позволяет увеличивать задержку между событиями соединения или отправлять большие порции данных только при наличии новых значений, вместо того, чтобы постоянно отправлять всю полезную нагрузку в ширококовещательных пакетах.

В результате исследований были определены основные закономерности сбора данных посредством BLE-канала.

1. Установлено, что при использовании реалистичных сценариев функционирования мобильного устройства срок службы батарейки ёмкостью 450 мА·ч в узле датчика может достигать 10 лет при ширококовещании и 6 лет при соединении (с поправкой на потребление тока другими модулями устройства).

2. Найден компромисс между скоростью передачи данных, собираемых устройством в течение

интервала контакта, и экономией потребления тока, особенно проявляющийся при ширококовещании, что особенно зависит от одного из настраиваемых параметров, называемого интервалом ширококовещания.

3. Установлено, что подход, основанный на соединении, на 1...4 порядка эффективнее с точки зрения энергопотребления на каждый пришедший бит данных, чем подход, использующий ширококовещание, однако при объеме собираемых данных ниже 40 КБ приемлем подход на основе ширококовещания.

4. Определена роль параметра, называемого интервалом соединения (connInterval): неподходящая настройка при соединении может уменьшить объем собираемых данных на 15%, но несущественно влияет на потребление тока и срок службы мобильного устройства до очередной зарядки батареи.

Принимая во внимание эти закономерности разработчики устройств могут использовать тестовую прошивку для определения более точных параметров функционирования BLE. Структурная схема алгоритма (прошивки микроконтроллера), обеспечивающего уменьшение потребления узлом датчика в случае регулярной передачи определённого объема данных в режиме соединения, приведена на рисунке 2.

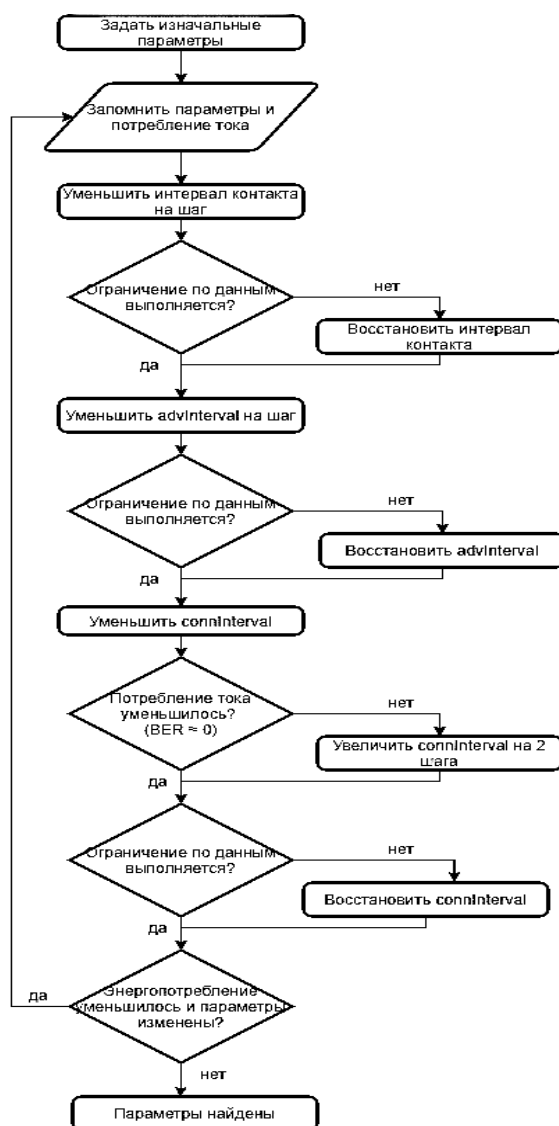


Рисунок 2. Пример уточнения основных параметров для улучшения энергопотребления в режиме соединения

Выводы. Полученные в результате исследований закономерности могут быть полезны разработчикам программного обеспечения беспроводных устройств, реализующих технологию Bluetooth Low Energy как на этапе прототипирования при уже известных сценариях сбора данных, так и при точной настройке параметров функционирования Bluetooth-канала на

более поздних стадиях разработки программного обеспечения узла датчика. Подтверждён эффект использования тестового программного обеспечения, позволяющего гибко настраивать параметры протокола BLE и получать информацию о предполагаемой производительности мобильного устройства и его уровне энергопотребления.

Список литературы:

1. Colotta, M. A Solution Based on Bluetooth Low Energy for Smart Home Energy Management / M. Colotta, G. Pau (Faculty of Engineering and Architecture, Kore University of Enna) // *Energies*. – 2015, no. 8. – P. 11916-11938.
2. Ohtsu T. Bluetooth Low Energy Technology that Brings the IoT to Life / T. Ohtsu // *Renesas Electronics Corporation*, 2019. – 14 p.
3. Gomez, C. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology / C. Gomes, J. Bosch, J. Paradells (Universitat Politècnica de Catalunya) // *Sensors*. – 2012, no. 12. – P. 11734-11753.
4. Gupta, N. *Inside Bluetooth Low Energy* / N. Gupta. – Boston-London : Artech House, 2013. – 360 p.
5. Bluetooth Low Energy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mt-system.ru/catalog/bluetooth-low-energy>. – Дата доступа: 8 апреля 2021.
6. Aguilar S. Opportunistic Sensor Data Collection with Bluetooth Low Energy / S. Aguilar, R. Vidal, C. Gomez (Universitat Politècnica de Catalunya) // *Sensors*. – 2017, no. 17(1), 159. – 29 p.