

# ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ BLUETOOTH LOW ENERGY ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ

*И.А.Тонко, Е.П. Ельников, Е.А. Житковский*  
*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*  
*г. Минск, Республика Беларусь*  
*Боровиков С.М. – канд.техн.наук, доцент*

Технология Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE, Bluetooth Low Energy) получила очень широкое распространение. Об этом свидетельствует ее широкое распространение в смартфонах, носимых устройствах и других устройствах бытовой электроники.

В этой статье приводится краткая аналитическая характеристика, с опорой на экспериментальные данные, производительности и компромиссов BLE с учетом влияния наиболее важных параметров конфигурации. Результаты показывают, что узел датчика BLE, работающий на батарее типа «таблетка», может прослужить более одного года при передаче около 10 Мбит/день при реалистичных сценариях сбора данных.

При анализе рассматриваются важнейшие параметры производительности сбора данных с помощью BLE: потребление тока и срок службы узла датчика, а также максимальный объем собранных данных за один интервал передачи данных. Предполагается, что канал связи не идеален, с возможными некоррелированными ошибками по битам. Рассматриваются подходы, основанные на широкополосном режиме и подключении.

Для оценки двух представленных подходов для сбора данных с BLE учитывается влияние основных параметров BLE и времени контакта устройств в течение времени между двумя последовательными контактами в течение одного дня. Результаты используются для определения производительности в каждом случае. При рассмотрении интервала передачи данных определяется эффективность сбора данных с точки зрения энергии, потребляемой на каждый бит собранных данных. Эксперименты также помогают исследовать ограничения, накладываемые реальным оборудованием на максимальный объем собираемых данных за интервал.

Первая цель – моделирование среднего потребления тока сенсорным узлом в подходе на основе широкополосного. Вычисление среднего потребления тока устройством требует знания различных состояний, которые оно проходит, а также продолжительности функционирования и тока, потребляемого в каждом состоянии. С целью зафиксировать реалистичное поведение в модели и без потери общности модель выводится из результатов наблюдений и измерений на реальной платформе, реализующей стандарт BLE в соответствии со спецификацией Bluetooth 5.0 и обеспечивающей радиус действия около полукилометра, что больше, чем у типичных модулей BLE.

Поскольку поведение узла датчика BLE в подходе, основанном на широкополосном, периодически, можно моделировать его текущее потребление в течение одного такого периода. Каждый период включает одно широкополосное событие, в остальное время устройство находится в спящем режиме. При этом обнаруживаются незначительные различия в каждом наборе из 10 измерений. Полученные результаты хорошо согласуются с теми, которые предоставляются производителем платформы.

При подходе, основанном на широкополосном, устройство выступает в роли широкополосного, не имеющего возможности подключения. Узел датчика изначально находится в спящем режиме, обычно потребляя ток порядка микроампер. Когда начинается широкополосное событие, устройство выходит из спящего режима, радиоинтерфейс подготавливается к работе, а затем устройство передает широкополосный пакет общим размером 47 байт. Если устройство отправляет более одного широкополосного пакета в одном широкополосном событии, то оно изменяет частоту физического канала и выполняет передачи оставшихся пакетов, следуя тому же подходу, что и для первого пакета, за исключением того, что после последней передачи радиоинтерфейс устройства отключается, и, наконец, происходит интервал постобработки, прежде чем устройство возвращается в спящий режим, в котором устройство остается до начала следующего широкополосного события. В подходе, основанном на широкополосном, радиоинтерфейс узла датчика никогда не находится в режиме приема.

Возможные битовые ошибки связи не влияют на среднее потребление тока или срок службы узла датчика в широкополосном режиме. Передача широкополосных пакетов потребляет количество энергии, не зависящее от того, будут ли эти пакеты иметь

ошибки связи, так как при отсутствии соединений обратная связь от получателя не требуется.

Потребление тока узлом датчика не зависит от коэффициента битовых ошибок канала, так как узел датчика будет передавать ширококвещательные объявления в любом случае (независимо от того, правильно ли они приняты мобильным объектом или нет).

Среднее потребление тока уменьшается с помощью регулировки интервала ширококвещания, поскольку интервалы ожидания имеют большую продолжительность для большего интервала, в то время как продолжительность ширококвещательного события остается постоянной.

Далее моделируется среднее потребление тока узлом датчика в подходе, основанном на подключении. При таком подходе узел датчика BLE по умолчанию работает как ширококвещатель, объявляющий о своей возможности подключения. Следовательно, узел датчика должен какое-то время оставаться в режиме приема после передачи каждого ширококвещательного пакета для возможных входящих сообщений запроса на соединение. Размер ширококвещательных пакетов для подхода на основе соединения составляет 23 байта. Разница с ширококвещательным профилем, не имеющего возможности подключения, заключается в том, что после передачи ширококвещательного объявления устройство переключается на прием в течение короткого интервала времени и остается в режиме приема перед переходом в режим выключения радиосвязи или до следующей передачи ширококвещательного объявления.

Когда сенсорный узел и мобильный объект находятся в пределах досягаемости, устанавливается соединение. Мы предполагаем, что обмен данными во время соединения происходит до конца интервала контакта с  $connSlaveLatency = 0$ , что обеспечивает верхнюю границу как текущего потребления узла датчика, так и максимального объема данных, которые могут быть собраны. Как только связь между сенсорным узлом и мобильным объектом выходит из строя, сенсорный узел возвращается к рекламе по истечении тайм-аута контроля соединения.

Фаза установления соединения включает в себя передачу сообщения запроса на подключение, которому предшествует межкадровый интервал, время ожидания 1,25 мс и оставшееся время до завершения окна передачи, после которого первый пакет данных будет отправлен ведущим устройством, инициировавшим соединение. Если целью является максимальный объем данных, который может собрать ведущее устройство, имеет смысл установить оставшееся время до завершения окна передачи в 0.

Для анализа подхода, основанного на подключении, изучается среднее потребление тока узла датчика в течение периода соединения (после того, как соединение было установлено), затем оценивается среднее потребление тока во время соединения и, наконец, высчитывается средний ток потребления при подходе, основанном на подключении.

Для заданного значения подход, основанный на ширококвещании, имеет более низкое потребление тока, чем подход на основе соединения. Это происходит из-за потребления тока при обмене данными в последнем и становится более значительным по мере увеличения интервала ширококвещания. Потребление тока подхода, основанного на ширококвещании, не зависит от времени взаимодействия устройств. Для самых высоких значений интервала ширококвещания текущее потребление подходов, основанных на ширококвещании, примерно на порядок ниже, чем у подходов, основанных на соединении.

**Список используемых источников:**

1. Ohtsu T. *Bluetooth Low Energy Technology that Brings the IoT to Life* / T. Ohtsu – Renesas Electronics Corporation, 2019.
2. Gomez C., Bosch J.O. *Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology* / C. Gomes, J.O. Bosch – Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.
3. Colotta M., Pau G. *A Solution Based on Bluetooth Low Energy for Smart Home Energy Management*. Colotta, G. Pau – Faculty of Engineering and Architecture, Kore University of Enna, 2015.
4. Aguilar S., Vidal R., Gomez C., *Opportunistic Sensor Data Collection with Bluetooth Low Energy* / S. Aguilar, R. Vidal, C. Gomez – Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.