

## СБОР ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ НА БАЗЕ BLUETOOTH LOW ENERGY

Тонко И.А.

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

Научный руководитель: Боровиков С.М. – канд.техн.наук, доцент

**Аннотация.** Рассмотрены некоторые подходы к сбору данных с помощью датчиков на базе беспроводной технологии Bluetooth Low Energy. Определены основные настраиваемые параметры конфигурации, оказывающие воздействие на качественные характеристики процедуры сбора данных. Описаны условия, необходимые для успешной и надежной передачи данных.

**Ключевые слова:** Bluetooth Low Energy, датчик, ширококовещание, соединение

**Введение.** Технология Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy – BLE) широко распространена в смартфонах, планшетах и других мобильных программируемых устройствах. Эту технологию можно использовать для выполнения гибкого сбора данных с датчиков в случаях, когда узел датчика не может взаимодействовать с узлами мобильного устройства посредством проводного соединения [1]. Мобильное устройство, оснащённое функциональным узлом с поддержкой BLE, может собирать данные, полученные датчиком в ситуациях, когда оба устройства находятся в пределах прямой связи.

Указанным способом могут считываться показания устройств как в транспортной сфере и промышленности (например, информация из видеокamer, датчиков температуры и давления, оснащённых Bluetooth), так и в случаях персонального использования (например, при использовании устройств, реализующих технологию «умный дом» и различного рода носимых трекеров для контроля здоровья и определения местоположения) [2]. Для проектирования программного обеспечения таких устройств необходимо выбрать оптимальный метод сбора данных посредством BLE.

**Основная часть.** В BLE связь между устройствами может происходить в соответствии с двумя основными шаблонами взаимодействия канального уровня: два устройства могут действовать или как ширококовещатель и сканер, когда ширококовещатель однонаправленно передает данные, которые могут быть получены сканером; или как ведущий и ведомый, при этом между устройствами установлено соединение, и они могут обмениваться данными в двух направлениях. Каждый механизм имеет свои преимущества и ограничения, и они оба подчиняются рекомендациям, установленным в общем профиле доступа (GAP - Generic Access Profile, что означает «общий профиль доступа») [3].

Подход к сбору данных посредством ширококовещания актуален для периодического неинтенсивного сбора данных, когда не требуется высокоскоростная передача. В этом случае узел датчика постоянно передает изменяющиеся показания в ширококовещательном пакете. Широковещание может быть при этом как публичным (содержимое пакета видно для всех сканирующих устройств) так и направленным (по определенному адресу). Так как полезная нагрузка ширококовещательного пакета ограничивается 251 байтом (а зачастую для большего энергосбережения используется пакет до 30 байт), такой режим не рекомендован, если требуется передача большого количества данных. Однако, если пакеты данных уместятся в ширококовещательный пакет, такой подход позволяет создавать более экономные сценарии использования устройства.

Подход к сбору данных посредством соединения, как правило, рассчитан на передачу большего количества данных, чем при ширококовещании. Также передаваемые данные не доступны прослушивающим устройствам без необходимости настраивать передачу на опреде-

ленный адрес приемника, как при направленном широковещании. При соединении на стороне узла датчика может быть затребован пароль или осуществлена проверка по списку разрешенных устройств, что предусмотрено непосредственно в спецификации BLE. Это полезно в случае, если стоит задача ограничить возможность считывания данных. Следует заметить, что перед соединением узел датчика должен находиться в режиме широковещания. Однако оно в данном случае предназначается лишь для оповещения приемника – широковещательный пакет в таком случае рассматривается как приглашение к подключению. При соединении могут передаваться потоковые данные, например, поток кадров с видеокамеры. Оба устройства могут оборвать соединение.

Рассмотрим сценарий сбора данных, при котором устройство, считывающее показания, попадает в зону покрытия сенсорного узла с поддержкой BLE (и наоборот) в течение определенного времени контакта. Предположим, что узел датчика накопил данные из показаний сенсора, снятых за определенный период, и во время контакта происходит получение накопленных данных от узла датчика.

Широковещатель передает пакеты по широковещательным каналам в периоды времени, называемые широковещательными событиями. Время между двумя последовательными событиями равно  $\text{advInterval} + \text{advDelay}$ , при этом  $\text{advInterval}$  имеет фиксированное значение, которое может быть настроено от 20 мс до 10,24 с (для широковещательных пакетов, не ориентированных на соединение,  $\text{advInterval}$  находится в диапазоне от 100 мс до 10,24 с), а  $\text{advDelay}$  – это случайная величина, равномерно распределенная между 0 и 10 мс, предназначенная для предотвращения возможных вредных эффектов синхронизации с другими широковещателями. В одном событии широковещатель передает пакет по одному, двум или трём широковещательным каналам.

Для обеспечения двунаправленного обмена данными между двумя устройствами необходимо между ними установить соединение канального уровня. Для этого одно из устройств должно объявить, что оно может быть подключено. Другое устройство, называемое инициатором соединения, прослушивает широковещание. Когда инициатор обнаруживает присутствие широковещателя, с которым можно установить соединение, он может отправить ему сообщение с запросом на соединение. При получении широковещателем сообщения с запросом на соединение, соединение канального уровня устанавливается, и оба устройства могут обмениваться данными, используя каналы данных.

В рамках соединения бывший широковещатель и инициатор будут играть роли подчиненного и главного соответственно. Сообщение с запросом на соединение включает параметры, которые управляют соединением. После передачи сообщения с запросом на соединение истекает время ожидания 1,25 мс, и ведущее устройство может задержать передачу своего первого пакета данных до времени  $\text{TransmitWindowSize}$  ( $\text{TransmitWindowSize}$  определяет временные рамки для первого события соединения) [4].

Первый способ основан на использовании узла датчика в качестве широковещателя. В этом случае широковещательные объявления, отправленные сенсорным узлом, используются в качестве канала для передачи информации. Если размер передаваемого объекта данных превышает полезную нагрузку широковещательного пакета, то предполагается, что объект фрагментирован на единицы, соответствующие максимальному размеру полезной нагрузки широковещательного пакета. Узел датчика последовательно передает фрагменты, а после последнего начинает передавать ту же последовательность заново. Если объект данных, который должен быть передан узлом датчика, помещается в один широковещательный пакет, узел датчика непрерывно передает этот объект в широковещательных пакетах. Мобильное устройство прослушивает широковещательные пакеты, отправленные узлом датчика. Узел датчика может отправлять от одного до трёх рекламных пакетов в каждом широковещательном событии. Хотя такой вариант обеспечивает большее частотное разнесение, он приводит к большему потреблению энергии узлом датчика.

Схема широковещания при одном пакете на широковещательное событие приведена на рисунке 1.

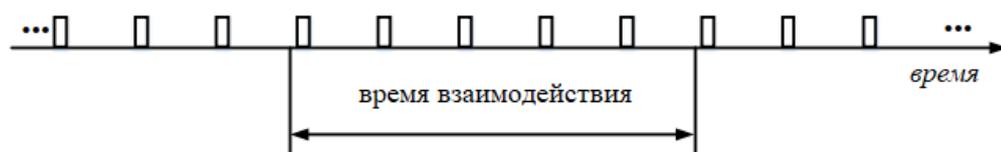


Рисунок 1 – Широковещание: один пакет на широковещательное событие

Схема широковещания при нескольких пакетах на широковещательное событие приведена на рисунке 2.

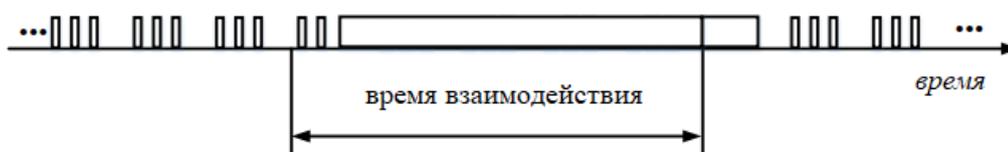


Рисунок 2 – Широковещание: несколько пакетов на широковещательное событие

Второй подход к сбору данных сенсорного узла основан на установлении соединения между сенсорным узлом и мобильным устройством, как только происходит контакт между ними. В этом подходе сенсорный узел по умолчанию передает рекламные пакеты, чтобы объявить о возможности подключения. Широковещательные пакеты в этом подходе, как правило, не несут пользовательские данные и, следовательно, имеют меньший размер, чем те, которые используются в подходе, основанном на широковещании. Как и в подходе, основанном на широковещании, в каждом широковещательном событии может быть отправлено от одного до трёх рекламных пакетов, и узел датчика потребляет большее количество энергии с последним вариантом. Когда мобильное устройство получает один из широковещательных пакетов, оно инициирует установление соединения, отправляя запрос на соединение узлу датчика. При установлении соединения сенсорный узел передаёт накопленные данные мобильному устройству. Как только две конечные точки выпадают из диапазона друг друга и после того, как таймер наблюдения сенсорного узла запускает обнаружение сбоя соединения, сенсорный узел возвращается к отправке рекламных пакетов, чтобы объявить о своей возможности подключения.

Схема соединения при одном пакете на широковещательное событие приведена на рисунке 3.

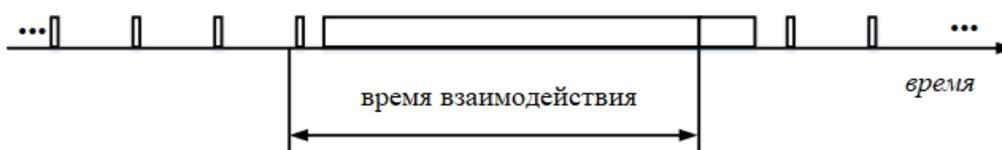


Рисунок 3 – Соединение: один пакет на широковещательное событие

Схема соединения при нескольких пакетах на широковещательное событие приведена на рисунке 4.

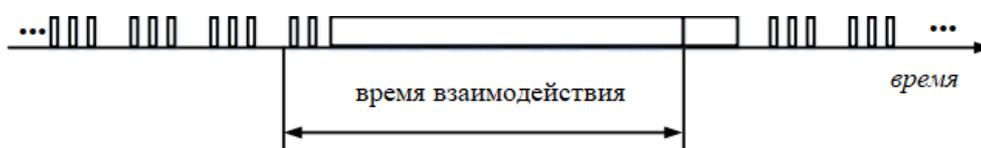


Рисунок 4 – Соединение: несколько пакетов на широковещательное событие

При ширококовещании экономия потребляемого тока достигается за счет кратких интервалов контакта устройств, размеры которых регулируются переменными *advInterval* и *advDelay* в любой реализации стека протоколов BLE. Скорость передачи данных, однако, заметно ниже, чем при соединении [5]. Как правило, даже устройства, рассчитанные на передачу показаний датчиков только путём ширококовещания, поддерживают возможность соединений для передачи более объёмных пакетов данных, например, пакетов пользовательских настроек.

Стоит заметить, что в сценарии сбора данных путём ширококовещания с несколькими пакетами на одно ширококовещательное событие может возникать ситуация малого интервала между событиями контакта. Если количество пакетов на ширококовещательное событие увеличивается с целью увеличения пропускной способности, то имеет смысл использовать подход, основанный на соединениях. Соединения менее энергоэффективны, и в данном случае промежуток времени между интервалами контакта устройств можно соответственно увеличить [6].

**Заключение.** Рассмотрены способы сбора данных с помощью стека протоколов Bluetooth Low Energy, описаны ключевые настраиваемые параметры конфигурации, влияющие на качественные характеристики сбора данных с датчиков. Спецификация BLE позволяет гибко настраивать режимы сбора произвольных данных с учётом необходимой скорости их сбора и желаемого уровня энергосбережения.

Приведённые сведения следует учитывать при проектировании узлов различных датчиков с поддержкой BLE для достижения оптимальных характеристик передачи данных. Для определения программной конфигурации в конкретном сценарии использования может потребоваться проведение экспериментальных исследований.

Следует отметить, что спецификация BLE позволяет реализовать во встраиваемом программном обеспечении множество подобных конфигураций и выполнять переключение между ними, так как для узла датчика может потребоваться реализация нескольких различных режимов работы, для которых требования по оптимальности передачи данных могут существенно отличаться.

### Список литературы

1. Ohtsu T. *Bluetooth Low Energy Technology that Brings the IoT to Life* / T. Ohtsu – Renesas Electronics Corporation, 2019
2. Colotta M., Pau G. *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, 2015
3. Gomez C., Bosch J.O. *Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology* / C. Gomez, J.O. Bosch – Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.
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.
5. Gupta N. *Inside Bluetooth Low Energy* / N. Gupta – Pearson Education, Inc., 2013.
6. Heyden R. *Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook* / R. Heyden – Pearson Education, Inc., 2014. - Text : electronic.

UDC 004.716

## DATA COLLECTION USING INTELLECTUAL BLUETOOTH LOW ENERGY SENSORS

Tanko I.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Borovikov S.M. – PhD, associate professor*

**Abstract.** Some approaches to data collection using sensors based on Bluetooth Low Energy wireless technology are considered. Basic configurable configuration parameters have been identified that have an impact on the quality characteristics of the data collection procedure. The conditions necessary for successful and reliable data transmission are described.

**Keywords.** Bluetooth Low Energy, sensor, broadcasting, connection