

Диагностика качества работы беспроводных устройств стандарта BLE

Проверка эксплуатационных характеристик устройств стандарта BLE может быть трудной задачей из-за особенностей их корпусного исполнения, но новые методы «эфирных» измерений помогают успешно решать эту задачу — в частности, измерять коэффициент пакетных ошибок и чувствительность приемника. В статье рассматриваются новые методики измерения, разработанные специально для определения величины ошибок в системе BLE OTA при приеме/передаче.

Аллен Хенли (Allen Henley)

Перевод: Артем Вахитов

Стандарт Bluetooth Low Energy (BLE) стремительно становится одной из наиболее широко применяемых технологий беспроводной связи. Среди прочего, он находит применение в таких областях, как слежение за активами, мониторинг физической активности, геолокация и телеметрия. Часто устройства стандарта BLE имеют миниатюрные размеры и усиленную конструкцию, а во многих случаях полностью заключены в герметичный корпус, защищающий их от воздействия внешних факторов. Таким образом, особенности их корпусного исполнения ставят трудную задачу перед конструкторами и испытателями: как проверить эксплуатационные характеристики радиочастотной части, не подключаясь к радиочастотным или цифровым цепям?

«Эфирные» испытания — один из способов решения этой задачи, позволяющий быстро измерять параметры качества работы передатчиков и приемников. Передатчик и приемник одинаково важны, но проверка таким способом эксплуатационных характеристик приемника стандарта BLE представляет особую трудность

и требует разработки новых методов измерения. В статье исследуются новые методы «эфирных» измерений, специально разработанные для определения коэффициента пакетных ошибок (Packet Error Rate, PER) и чувствительности приемника устройств стандарта BLE.

Две основные проблемы, решаемые «эфирными» испытаниями

Проблема № 1

Обычно при «не-эфирных» испытаниях для управления испытуемым устройством (ИУ) к нему подключаются через цифровой интерфейс, например UART или USB. Для испытаний приемника устройство переводится в режим приема пакетов, после чего испытательная система передает известное число пакетов, а затем устройству направляется запрос о том, сколько пакетов было успешно принято. По этой информации испытательная система рассчитывает коэффициент пакетных ошибок (PER) — принятый в отрасли количественный показатель качества работы приемника. При «эфирных» испытаниях отсутствует прямая проводная связь с устройством, поэтому требуется новый метод, который бы позволял узнать, приняты ли пакеты надлежащим образом.

Решение № 1

Чтобы рассчитывать PER без проводного подключения, система для «эфирных» испытаний должна использовать стандартные сообщения эфирного протокола BLE и по ним определять, приняты пакеты или нет. Устройства стандарта BLE ведут передачу на трех конкретных частотах оповещения, рассредоточенных в диапазоне 2,4 ГГц.

Каждый раз после того, как устройство с приемником передает пакет оповещения (Advertising), оно в течение короткого периода времени прослушивает эфир на предмет стандартного сообщения BLE под названием

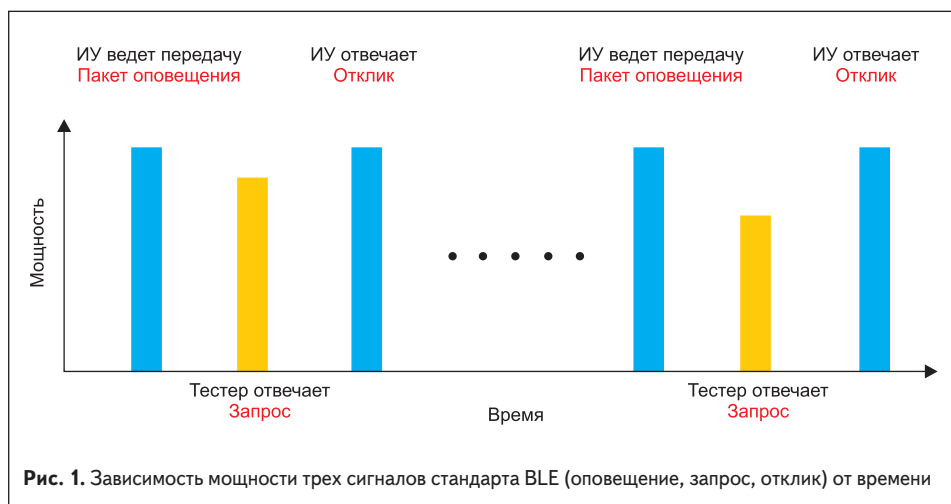


Рис. 1. Зависимость мощности трех сигналов стандарта BLE (оповещение, запрос, отклик) от времени

Scan_Request (запрос в режиме активного сканирования). Это сообщение обычно передают расположенные поблизости устройства, которым требуется связаться с источником оповещения. Если источник оповещения получает сообщение Scan_Request, он отвечает на него сообщением Scan_Response (отклик в режиме активного сканирования). Этот процесс схематически изображен на рис. 1. Источник оповещения передает пакет оповещения (показан синим цветом). За ним следует сообщение Scan_Request от расположенной поблизости станции (показано оранжевым цветом), на которое источник оповещения отвечает сообщением Scan_Response (показано синим цветом, как и пакет оповещения).

Этот обмен сообщениями происходит при нормальной работе устройств стандарта BLE, и система для «эфирных» испытаний пользуется им, чтобы измерять PER. В ходе испытания приемника ИУ передает оповещение, испытательная система отвечает сообщением Scan_Request, а затем ИУ, если оно получило пакет, подтверждает его получение сообщением Scan_Response. Испытательная система ведет учет отправленных сообщений Scan_Request и полученных сообщений Scan_Responses. По этой информации рассчитывается PER приемника.

Для измерения чувствительности испытательная система подбирает такой уровень радиосигнала, при котором достигается определенное значение PER. Этот уровень, называемый чувствительностью приемника, служит распространенным показателем качества приемника. Метод с использованием пакетов оповещения, сообщений Scan_Request и сообщений Scan_Response реализован в «эфирном» тестере устройств стандарта BLE и обеспечивает точное определение PER и чувствительности приемника без непосредственной проводной связи с ИУ.

Проблема № 2

Технология BLE характеризуется низкими скоростями передачи данных по сравнению с другими распространенными технологиями беспроводной связи, например Wi-Fi или сотовой связью. При испытаниях приемников требуется передавать большое число пакетов, чтобы результаты измерений были статистически значимыми и точными.

Соответственно, ввиду низких скоростей передачи данных испытания приемников стандарта BLE на производстве будут занимать слишком много времени, из-за чего существенно повысится себестоимость. Разумеется, это неприемлемо, поэтому возникает вторая проблема: необходим новый метод измерения, позволяющий точно определять PER по значительно меньшему числу пакетов, чем принято в традиционных методах определения этого параметра.

Решение № 2

Чувствительность приемника обычно определяется путем измерения в некотором диапазоне уровней радиосигнала. Организация Bluetooth SIG (Special Interest Group), ведающая стандартизацией технологии Bluetooth, предписывает

измерять чувствительность приемника по 1500 пакетам. Если применять описанный выше метод оповещения, у типичного устройства стандарта BLE уйдет несколько минут на передачу такого количества пакетов при каждом установленном значении уровня радиосигнала. В предположении, что измерение производится при нескольких значениях уровня, весь цикл определения чувствительности может занять более 10 мин.

Это явно неприемлемо во многих случаях, поэтому нужен новый, более быстрый метод. Решить эту проблему можно, применив в системе для «эфирных» испытаний алгоритм быстрого определения кривой распределения PER. Этот т. н. «метод быстрого определения PER» позволяет за короткое время найти уровень сигнала, при котором PER равняется 50%.

Испытание по методу быстрого определения PER начинается с того, что тестер передает одиночный пакет (Scan_Request) при произвольном значении уровня радиосигнала. Если этот пакет принимается, уровень радиосигнала понижается, и следующий пакет передается на этом пониженном уровне. Если этот пакет не принимается, уровень радиосигнала повышается, и следующий пакет передается на этом повышенном уровне. Используя интеллектуальный алгоритм корректировки шага изменения уровня радиосигнала и запоминая, на каких уровнях пакеты принимались, а на каких нет, можно быстро и точно построить кривую распределения коэффициента пакетных ошибок по минимальному числу пакетов.

На рис. 2 показана обычная кривая распределения PER для устройства стандарта BLE. Кривая демонстрирует наибольшую чувствительность к изменению уровня радиосигнала в точке, где PER = 50%, поэтому алгоритм быстрого определения PER ищет именно эту точку.

В ходе варьирования уровня радиосигнала большинство пакетов передается при значениях уровня, близких к точке PER = 50%, и по мере схождения алгоритма в ее окрестности шаг изменения уровня уменьшается. Тем самым обеспечивается хорошо повторяемое и очень точное измерение чувствительности приемника ИУ, позволяющее обойтись менее чем 5% от того числа пакетов, которое потребовалось бы для определения PER традиционным методом прямой развертки по уровню радиосигнала в широких пределах.

Резюме

Конструкторам радиоаппаратуры необходимо проверять эксплуатационные характеристики готовых изделий, а не полагаться исключительно на измерения радиочастотных параметров на уровне плат, которые могут давать кардинально иные результаты. Испытатели на производстве зачастую не имеют доступа к радиочастотным и цифровым цепям на уровне плат, поэтому им нужна возможность быстро проводить «эфирные» испытания и получать при этом точные и повторяемые результаты.

Решать эти задачи позволяют системы для «эфирных» испытаний устройств стандарта BLE. С помощью этих систем инженеры могут совершенствовать свои конструкции, а производители — проверять качество готовых изделий по основным параметрам. В контексте технологии BLE эксплуатационные характеристики радиочастотной части имеют первостепенное значение, потому что плохое качество беспроводной связи означает плохую работу всего устройства в целом. Системы для «эфирных» испытаний устройств стандарта BLE облегчают конструктивное совершенствование изделий и проверку качества их изготовления. ■

