

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

УДК 621.391.883

К.Г.Савин, П.Ю.Сергиенко, Ю.В.Прокопенко, канд. техн. наук

Тестирование низкоэнергопотребляющего и высокоскоростного режимов работы устройств Bluetooth

Целью работы является рассмотрение особенностей измерения радиочастотных характеристик низкоэнергопотребляющего (Low Energy) и высокоскоростного (High Speed) Bluetooth-устройств. Методы измерений были реализованы на основе платформы тестера TC-3000C. Проведен ряд практических измерений, получен набор характеристик, позволяющих определить основные радиочастотные параметры устройств.

The aim of this work is discussing about peculiarities of radiofrequency characteristics measurement for Low Energy and High Speed Bluetooth devices. Measurement technique was implemented in the TC-3000C tester platform. Some practical measurements have been performed. A number of characteristics which give the opportunity to determine main radiofrequency parameters have been achieved.

Введение

В данный момент в мире и, в частности, в Украине наблюдается непрерывное ускорение темпов внедрения беспроводных технологий. Одним из популярнейших беспроводных протоколов является Bluetooth. Этот протокол стал фактически стандартом для ноутбуков, мобильных телефонов, различных гаджетов. Кроме того, Bluetooth получает все большее распространение в качестве протокола передачи данных для систем дистанционного управления [1] или измерительных систем [2].

В этой связи все острее становится вопрос о тестировании Bluetooth-устройств, в частности, об измерении их радиочастотных характеристик. В работе [3] описан классический метод проведения подобных измерений. Однако, по мере развития протокола, появляется необходимость обновлять тестовые методы.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей тестирования двух новых режимов Bluetooth, высокоскоростного (High Speed) и низкоэнергопотребляющего (Low Energy), появившихся в 2009-м году. Задача этого исследования – представление особенностей тестовых

методов, реализованных на основе платформы TC-3000C.

1. Особенности тестирования режима High Speed

Особенность режима High Speed (HS) заключается в возможности Bluetooth-контроллера использовать для увеличения скорости передачи данных дополнительные приемо-передатчики, т.е. имеющиеся в системе Alternative MAC-PHY (AMP) устройства. В процессе соединения Bluetooth-устройства обмениваются информацией о поддержке технологии HS, наличии дополнительных приемо-передатчиков и об их типе. Если дополнительные приемо-передатчики доступны и существует возможность их использования, то включается параллельная передача данных по всем согласованным каналам.

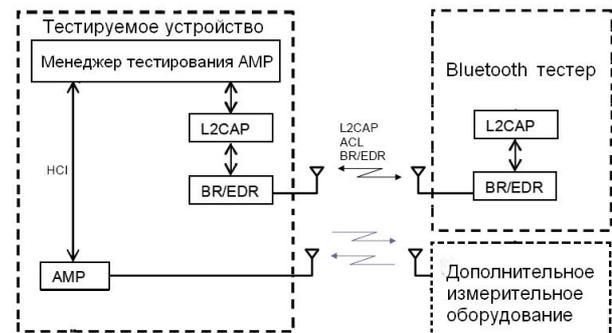


Рис.1. Схема измерения радиочастотных характеристик HS Bluetooth режима

Как правило, в качестве дополнительного приемо-передающего устройства используют Wi-Fi ввиду его широкого распространения и высокой скорости передачи данных. Таким образом, тестирование режима HS можно рассматривать как тестирование Wi-Fi-приемопередающего устройства дополнительным измерительным оборудованием (рис.1), при этом канал Bluetooth используется для управления процессом тестирования.

После завершения соединения на базовом (baseband) уровне тестер инициирует канал L2CAP (Logical Link Control and Adaptation

Protocol) для обмена сообщениями тестирования устройства AMP. Эти сообщения интерпретируются менеджером тестирования AMP, который по каналу HCI (Host Controller Interface) управляет AMP устройством.

Основными командами тестирования являются AMP_Discover_Request и AMP_Test. Первая из них используется для обнаружения AMP устройств. Ответом на нее является AMP_Discover_Response_Event, сообщаящий информацию о типах приемо-передатчиков и их идентификаторах. Команда AMP_Test управляет режимами тестирования AMP устройства. Среди параметров этой команды можно выделить следующие:

- сценарий, определяющий режим работы приемо-передатчика. Существует два сценария: передача кадров с заданными параметрами, используемый для тестирования передатчика, и прием кадров с заданными параметрами, для тестирования приемника;
- тип преамбулы;
- тип данных, длину кадра и их количество;
- тип модуляции;
- скорость передачи данных.

Для тестирования приемной части AMP устройства может использоваться команда Enable_AMP_Receiver_Reports [4].

2. Особенности тестирования режима Low Energy

Одним из недостатков стандартного протокола Bluetooth является высокое энергопотребление. Его устраняет новый режим Low Energy (LE). Уменьшение энергопотребления достигается за счет следующих мер:

- отказа от псевдослучайной перестройки частоты (Frequency Frequency Hopping Spectrum Spreading – FHSS) и работы на одной фиксированной частоте;
- адаптивной подстройки мощности передатчика;
- уменьшения длины пакетов и асинхронной передачи данных.

Предполагается, что целевая область применения этого режима – сенсорные системы.

Тестирование режима LE не требует активного поддержания соединения тестером, в отличие от обычного режима Bluetooth. Тестируемое устройство переводится в прямой тестовый режим при помощи HCI или двухпроводного интерфейса (рис. 2). Прямой тестовый режим включает два сценария: передача пакетов с заданными параметрами, который используется для тестирования передатчика, и прием пакетов

с фиксированными параметрами, используемый для тестирования приемника [5].

Для перевода тестируемого устройства в режим передачи служит команда LE_Transmitter_Test. Параметры этой команды устанавливают частоту передачи, размер пакета и тип данных. Для перевода в режим приема используется команда LE_Receiver_Test, параметром которой можно установить частоту приема. Команда LE_Test_End выводит устройство из режима тестирования. При выходе из режима приема тестируемое устройство присылает количество успешно принятых пакетов.

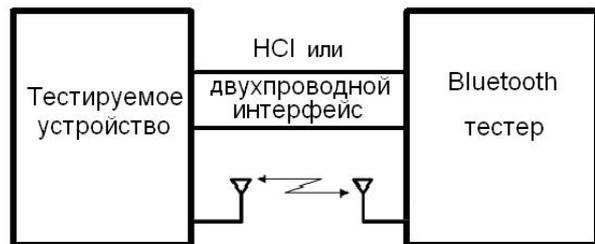


Рис. 2. Схема измерения радиочастотных характеристик LE Bluetooth режима

3. Структура измерительной системы

На рис. 3 приведена функциональная схема приемного тракта тестера. Принятый антенной электромагнитный сигнал с частотой 2,4—2,5 ГГц, преобразуется гетеродинным приемником до промежуточной частоты, составляющей 70 МГц. Сигнал обрабатывается полосовым фильтром (ПФ) для выделения полезной области спектра и фильтром низких частот (ФНЧ) для подавления всех гармоник выше максимальной частоты этой области, чтобы устранить спектральные искажения при дальнейшей оцифровке. Отфильтрованный сигнал оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП), и поступает на квадратурный приемник, в состав которого входят два умножителя, фазовращатель и цифровой генератор. В итоге, сигнал раскладывается на 2 составляющие (I и Q), спектр которых смещается в область низких частот. I и Q составляющие сигнала могут быть обработаны схемой быстрого преобразования Фурье (БПФ) для получения характеристик в частотной области, демодулятором для получения кодовой информации или схемами временной обработки сигнала.

4. Особенности реализации методов измерений на основе платформы TC-3000C

Методы тестирования и алгоритмы измерения радиочастотных характеристик были реализованы на основе платформы Bluetooth-тестера

ТС-3000С. Основные особенности реализации следующие:

- процесс оцифровки сигнала на промежуточной частоте управляется программируемой вентиляционной матрицей, аппаратно-программное обеспечение которой реализует демодуляцию сигнала и поиск синхронизирующего слова в принимаемом пакете, что обеспечивает совпадение начала оцифровки с началом пакета;
- разделение сигнала на I и Q составляющие, а также их последующая обработка реализованы на основе цифрового сигнального процессора.

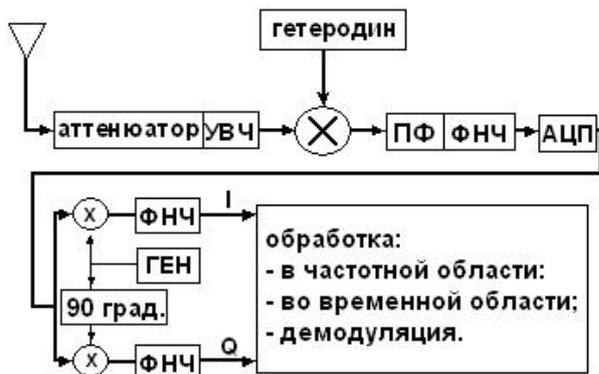


Рис. 3. Функциональная схема приемного тракта тестера

Основные характеристики тестирования режима LE Bluetooth-устройства приведены на рис. 4—6. Для их получения тестируемое устройство переводилось в прямой режим тестирования передатчика при помощи HCI команд.

По измеренной спектральной характеристике передатчика тестируемого устройства (рис. 4) можно определить спектральную плотность сигнала и ширину занимаемой им полосы частот (определяется по критерию затухания на 20 дБ по отношению к пиковой). Модуляционная характеристика передатчика тестируемого устройства (рис. 5) используется для расчета максимальной и минимальной девиации, а также смещения и ухода несущей частоты. Соответствие полученных значений этих параметров заданным ограничениям обеспечивает качество декодирования пакетов данных приемником.

Временная зависимость мощности передатчика (рис. 6) дает возможность вычислить среднюю и пиковую выходные мощности в передаваемом пакете. Этот параметр отвечает за качество и дальность связи на физическом уровне.

Для тестирования приемника Bluetooth-устройства в режиме LE оно переводилось в прямой режим тестирования приемника, а тестер передавал последовательность пакетов на заданном уровне мощности. Для определения чув-

ствительности уровень мощности передатчика уменьшался до тех пор, пока уровень потерь пакетов не достиг заданной величины. Пример уровня потери пакетов приведен на рис. 7.

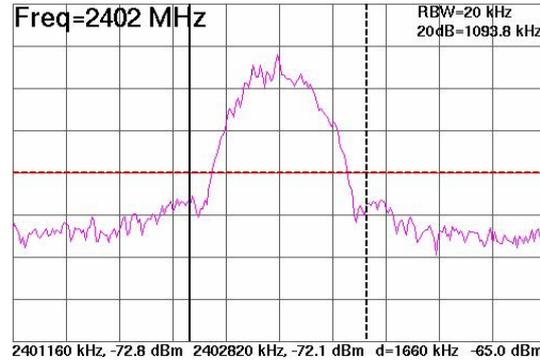


Рис. 4. Спектральная характеристика передатчика тестируемого устройства

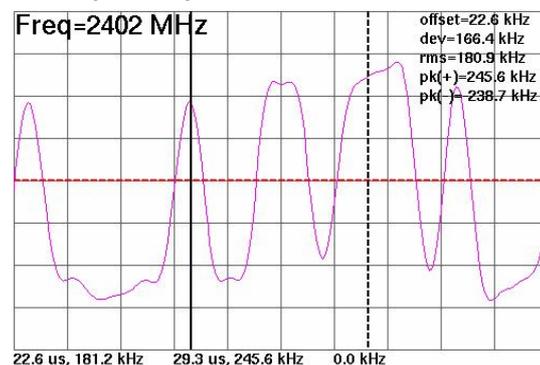


Рис. 5. Модуляционная характеристика передатчика тестируемого устройства

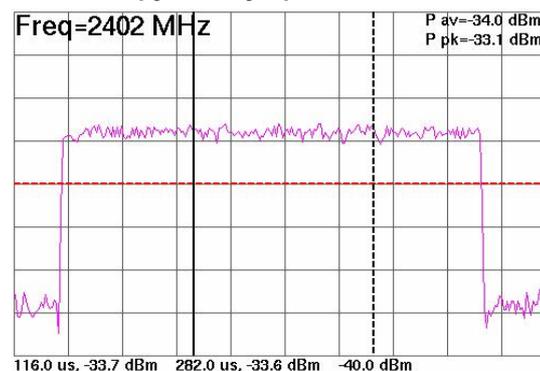


Рис. 6. Временная зависимость мощности передатчика тестируемого устройства

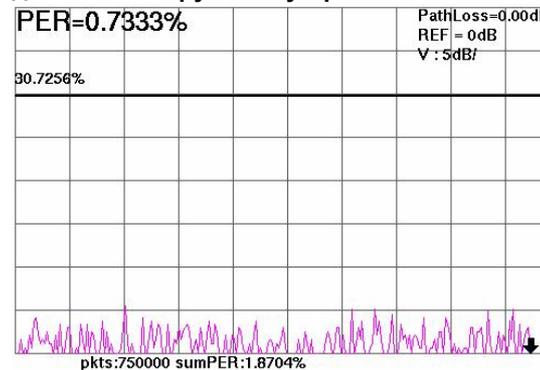


Рис. 7. Уровень потерь пакетов тестируемого устройства

Последовательность управляющих сообщений (команды тестера и ответы тестируемого устройства) при тестировании HS устройства приведены на рис. 8.

. Time	. Dir.	. Proto	.CtrlID.	.Code	.Par.Len
19:12:33	TX	AMP_cmd	-	AMP_Discover_Request	0
19:12:33	RX	AMP_ev	-	AMP_Discover_Response_Event	4
19:12:33	TX	HCI_cmd	0x01	AMP_Test_Command	16
19:12:33	RX	HCI_ev	0x01	Command_Status_Event	4
19:12:33	RX	HCI_ev	0x01	AMP_Start_Test_Event	2

Informations:scenario=Transmit_Single_Frames,preamble=Long,payload=PRBS9,country=0x000000,reg_ext_id=0xc9,reg_class=0x00,ch=1,modulation=DFSSS-OFDM,rate=108,pld_len=100,tpc=1,duty_cycle=50%,frame_count=65525,scramble=0ff

Рис. 8. Последовательность управляющих сообщений при тестировании HS устройства

Выводы

Особенностью тестирования HS и LE режимов является отсутствие необходимости активной поддержки связи. Тестируемые устройства переводятся в специальный режим прямого тестирования, что позволяет использование радиоизмерительной аппаратуры общего назначения. Предусмотрены два сценария тестирования: передача пакетов с заданными параметрами, используемый для тестирования передатчика, и прием пакетов, используемый для тестирования приемника.

Структура измерительной системы состоит из гетеродинного приемника, АЦП, который управляется программируемой вентильной матрицей, и цифрового сигнального процессора, реализующего IQ-прием и последующую обработку сигнала.

Алгоритм тестирования и методы измерений были реализованы на платформе TC-3000C.

Литература

1. *Helia Mamdouhi, Sabira Khatun and Javad Zarrin*. Bluetooth Wireless Monitoring, Managing and Control for Inter Vehicle in Vehicular Ad-Hoc Networks // Journal of Computer Science. – 2009. – Vol. 5 (12). – P. 925–932.
2. *Baoping Tang, Zhuo Chen, Yuguo Wei and Xiaofeng Qin*. Bluetooth-Based Distributed Measurement System // Journal of Physics: Conference Series. – 2006. – Vol. 48. – P. 1373–35.
3. *Craig Robinson, Alan Purvis*. A VXIBus Based Bluetooth Radio Test Set For IC Validation & Debug // University of Durham. – 2003.
4. Specification of the Bluetooth system v 3.0 + HS. – Vol. 3 – Part D. – P. 347.
5. Specification of the Bluetooth system v 4.0. – Vol. 2 – Part E. – P. 805.