

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ Bluetooth для замены кабельного соединения

А.В. Бренев (ООО "ЭФО")

Рассматривается применение технологии Bluetooth в задачах промышленной автоматизации для обеспечения возможности беспроводной передачи данных. Приводятся преимущества перед другими беспроводными технологиями. Рассматриваются основные характеристики и процедура конфигурирования Bluetooth-модулей компаний LM Technologies, Stollmann и Silicon Labs.

Ключевые слова: беспроводная передача данных, технология Bluetooth, встраиваемые радиомодули, замена кабельного соединения, профиль последовательного порта.

Введение

Bluetooth дает возможность развернуть в производственном помещении беспроводную систему передачи данных, которая может использоваться как для взаимодействия с находящимся в труднодоступных областях оборудованием, так и для сбора информации с сетей датчиков.

Несмотря на то, что Bluetooth в первую очередь известен как способ передачи данных между мобильными телефонами, он также хорошо подходит для беспроводной интеграции различных устройств в полевую шину или промышленный Ethernet. В настоящий момент проникновение Bluetooth в сферу промышленной автоматизации еще только начинается, но, используя опыт и огромные объемы производства в области мобильных устройств, данная технология может предоставить потенциальным потребителям модули невысокой стоимости, отличающиеся миниатюрными размерами и низким энергопотреблением.

Основные особенности технологии Bluetooth

По дальности действия Bluetooth-устройства делятся на модули первого класса (дальность на открытом пространстве ≥ 100 м), второго класса (дальность ≥ 10 м) и третьего класса (дальность действия — 1 м). Некоторые модули способны передавать данные на расстояние до 1 км в зоне прямой видимости. Основными отличительными свойствами стандарта Bluetooth являются адаптивная скачкообразная перестройка частоты (Adaptive Frequency Hopping), помехоустойчивое кодирование (Forward Error Correction), узкополосные каналы и низкая чувствительность к переотражениям и многолучевому распространению сигнала.

Модули Bluetooth работают в частотном диапазоне 2400...2485 МГц. Для исключения взаимного влияния данный диапазон поделен на 79 каналов шириной 1 МГц. Переход на новый канал происходит через каждые 625 мкс, причем любая пара Bluetooth-устройств имеет свой собственный алгоритм скачкообразной перестройки частоты. Такой подход минимизирует возможность возникновения конфликтов как между различными парами Bluetooth-модулей, так и с другими беспроводными системами передачи данных.

Для повышения надежности и устойчивости ко внешним воздействиям в Bluetooth одновременно

применяются помехоустойчивое кодирование и повторная передача пакетов данных¹. Используются два FEC-кода: кодирование со скоростью 1/3 для заголовков пакетов и со скоростью 2/3 для полезной нагрузки. Данный способ кодирования позволяет автоматически исправлять все однобитовые ошибки и обнаруживать все двухбитовые ошибки.

Для повторной передачи поврежденных пакетов используется протокол ARQ (acknowledgement/repeat request). Полезная нагрузка каждого пакета содержит контрольную сумму (CRC) для обнаружения ошибок, и каждый передаваемый пакет содержит бит ACK/NAK, показывающий состояние предыдущего принятого пакета. Повторная передача происходит в том случае, если пакет был потерян или не подтвержден.

Для обеспечения наилучшего качества связи при минимальном энергопотреблении в Bluetooth используется контроль излучаемой мощности на основе величины RSSI (Received Signal Strength Indicator). При этом уменьшается вероятность возникновения взаимных помех между разными Bluetooth-устройствами, работающими в одной области, что приводит к увеличению скорости передачи и меньшему числу повторных отправок пакетов.

Следует обратить внимание, что в зависимости от реализуемой версии стандарта Bluetooth-модули кардинально отличаются по своим характеристикам. Модули стандарта Bluetooth 2.1 и более ранних версий предназначены для передачи значительных объемов информации, при этом их энергопотребление может составлять десятки или сотни милливатт. Устройства, реализующие спецификацию Bluetooth 4.0 и выше (также часто называемые Bluetooth Smart или Bluetooth Low Energy), отличаются существенно более низким энергопотреблением, что обеспечивает их работу от одной батарейки на протяжении нескольких лет. При этом скорость передачи и дальность действия таких модулей также значительно ниже по сравнению с модулями стандарта Bluetooth 2.1.

Важным свойством любого Bluetooth-устройства является список поддерживаемых им профилей, то есть набор функциональных возможностей, доступных для данного устройства [1]. Два модуля Bluetooth могут взаимодействовать только в том случае, если

¹ Bluetooth Specification Version 4.2, Bluetooth SIG, 2014
https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=286439

они оба поддерживают один и тот же профиль. Например, для подключения беспроводной гарнитуры к мобильному телефону оба устройства должны реализовывать профили Headset или Hands-Free.

Наиболее целесообразным вариантом исполнения Bluetooth-устройств для применения в условиях предприятия являются корпусированные Bluetooth-преобразователи, устанавливаемые на DIN-рейку (рис. 1). Такие преобразователи позволяют быстро организовать беспроводной доступ к любому оборудованию, работающему по различным проводным интерфейсам (RS-232/422/485 и др.). При развертывании на предприятии сети датчиков с батарейным питанием оптимальным вариантом будет использование модулей, реализующих спецификацию Bluetooth 4.0 и выше [2].

Рассмотрим характеристики Bluetooth-модулей компаний LM Technologies, Stollmann и Silicon Labs, на базе которых могут быть разработаны как корпусированные преобразователи, так и миниатюрные датчики со сверхнизким энергопотреблением.



Рис. 1. Корпусированный Bluetooth-преобразователь

предназначенных для замены кабеля беспроводным соединением. При этом основной упор LM Technologies делает на передачу данных посредством технологии Bluetooth. Модули LM Technologies ориентированы на широкий круг приложений, включая системы промышленной автоматизации, медицинское оборудование, охранные комплексы, торговые автоматы и M2M приложения.

LM Technologies разрабатывает для Bluetooth-модулей собственное программное обеспечение, а также использует их в своих законченных продуктах, таких как адаптеры LM048 и LM058.

Модуль LM072 (рис. 2 а) отвечает требованиям стандарта Bluetooth 2.0 + EDR и обеспечивает беспроводную передачу данных на расстояния до 100 м

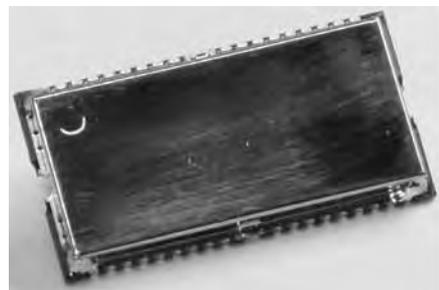
(класс 1). Модуль производится в корпусе с размерами 28,2 x 15 x 2,8 мм и не требует использования внешних компонентов, за исключением антенны.

Модуль LM780 (рис. 2 б) реализует спецификацию Bluetooth 2.1 + EDR. Излучаемая мощность LM780

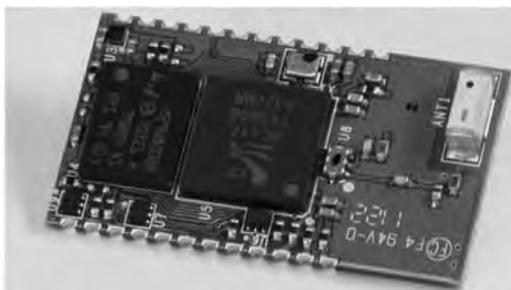
соответствует классу 2 (дальность передачи — до 25 м). Модуль имеет встроенную антенну и не требует использования внешних компонентов.

Основные характеристики модулей LM072 и LM780 приведены в табл. 1.

Модули LM072 и LM780 предназначены для передачи телеметрической информации. Оба модуля реализуют профиль последовательного порта (SPP). Этот профиль позволяет организовать “прозрачный” беспроводной канал между двумя устройствами, которые ранее были связаны проводным последовательным интерфейсом. Встраиваемый Bluetooth-модуль осуществляет преобразование потока данных, поступающих по проводному асинхронному последовательному каналу, в беспроводной поток в соответствии с профилем последовательного порта. На удаленной стороне



а)



б)

Рис. 2. Bluetooth-модули LM Technologies: а) LM072; б) LM780

Таблица 1. Основные характеристики Bluetooth-устройств компании LM Technologies

	LM072	LM780	LM048
Стандарт	Bluetooth 2.0 + EDR	Bluetooth 2.1 + EDR	Bluetooth 2.0 + EDR
Поддерживаемые профили	SPP, HSP/HFP, HID, DUN	SPP, HID	SPP
Дальность передачи, м	100	25	100
Выходная мощность, дБм	18 (класс 1)	4 (класс 2)	18 (класс 1)
Чувствительность приемника, дБм	-88	-88	-86
Напряжение питания, В	3,0 ...3,6	3,0...5,5	5,0... 6,0
Температурный диапазон, °С	-20...75	-10...70	-20...75
Размеры, мм	28,2 x 15 x 2,8	26,9 x 15,2 x 2,0	34 x 36 x 13

Характеристики модулей компании LM Technologies

Компания LM Technologies (Великобритания) является ведущим производителем линейки изделий,

в качестве приемопередатчика Bluetooth можно использовать штатный Bluetooth-адаптер ПК или второй встраиваемый модуль.

Если необходимо обеспечить беспроводной доступ к уже законченному изделию с интерфейсом RS-232, то оптимальным решением будет использование адаптера LM048 (рис. 3). Благодаря наличию у адаптера разъема DB9 его подключение является предельно простым. LM048 реализует стандарт Bluetooth 2.0 + EDR и обеспечивает передачу данных на расстояния до 100 м со скоростью 1200...921600 бод. Адаптер можно использовать как с устройствами DTE (Data Terminal Equipment), так и с устройствами DCE (Data Communication Equipment). Для этого корпус LM048 снабжен переключателем, позволяющим попарно менять назначение контактов TxD/RxD и CTS/RTS. Адаптер может получать питающее напряжение от внешнего блока питания 5 В, от USB-порта ПК, а также от 9-го контакта разъема DB9.



Рис. 3. Внешний вид адаптера LM048

Преимуществом модулей и адаптеров LM Technologies является поддержка AT-команд, которые используются для задания начальных настроек модуля и для управления соединением. При помощи таких команд можно изменять статус устройства

участия пользователя или внешнего микроконтроллера.

Характеристики модулей компании Stollmann

В ассортименте компании Stollmann (Германия) представлены Bluetooth-модули BlueMod+SR и BlueMod+S (рис. 4). Оба модуля выполнены в миниатюрном корпусе 17 x 10 мм и полностью совместимы друг с другом как программно, так и аппаратно. BlueMod+SR реализует стандарт Bluetooth 4.0 Dual Mode и поддерживает профиль последовательного порта. При работе в режиме Bluetooth Low Energy модуль реализует профиль Terminal IO, позволяющий передавать информацию о состоянии выводов GPIO и данные интерфейса UART в прозрачном режиме, аналогично профилю SPP.

BlueMod+SR и BlueMod+S имеют варианты исполнения со встроенной антенной, при котором модулям не требуются внешние компоненты. Для BlueMod+SR также доступен вариант исполнения без антенны (ВЧ-сигнал выведен на один из контактов модуля).

Конфигурирование обоих модулей происходит при помощи широкого набора AT-команд, позволяющего не только задавать основные параметры, но и осуществлять тонкую настройку параметров Bluetooth-соединения. Например, допускается возможность изменения длины

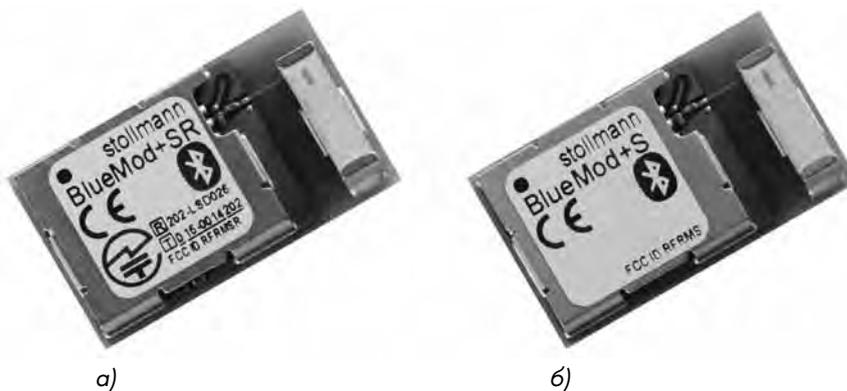


Рис. 4. Bluetooth-модули Stollmann: а) BlueMod+SR; б) BlueMod+S

Таблица 2. Основные характеристики Bluetooth-модулей компании Stollmann

	BlueMod+SR	BlueMod+S
Стандарт	Bluetooth 4.0 Dual Mode	Bluetooth 4.0 Single Mode
Поддерживаемые профили	SPP, Terminal IO, любой профиль GATT	Terminal IO, любой профиль GATT
Дальность передачи, м	100	50
Выходная мощность, дБм	7 (класс 1)	3 (класс 2)
Чувствительность приемника, дБм	-91	-88,5
Напряжение питания, В	2,5...3,6	1,8...3,6
Температурный диапазон, °С	-30... 85	-25... 75
Размеры, мм	17 x 10 x 2,6	17 x 10 x 2,6

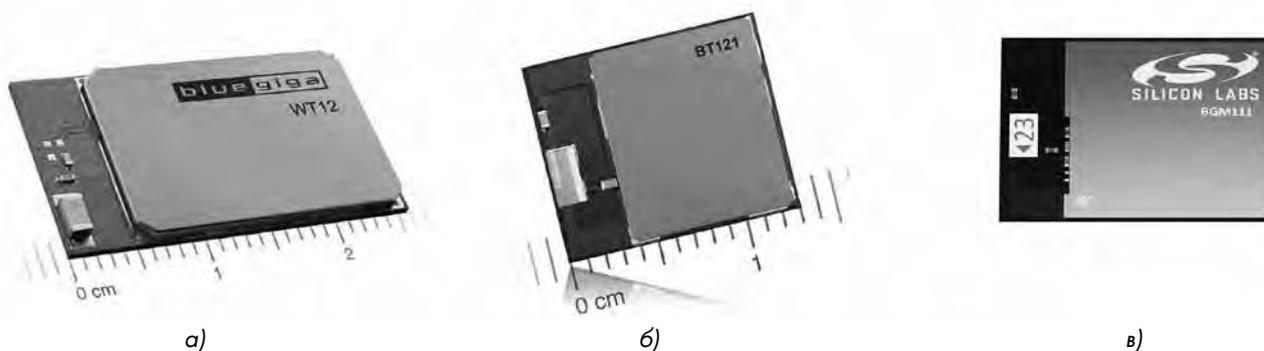


Рис. 5. Bluetooth-модули Silicon Labs: а) WT12; б) BT121; в) BGM111

Таблица 3. Основные характеристики Bluetooth-модулей компании Silicon Labs

	WT12	BT121	BGM111
Стандарт	Bluetooth 2.1 + EDR	Bluetooth 4.1 Dual Mode	Bluetooth 4.1 Single Mode
Поддерживаемые профили	SPP, GAP, HFP, HSP, A2DP, AVRCP, HID, DUN, DI, OPP, FTP, HDP, PBAP, MAP	SPP, любой профиль GATT	Любой профиль GATT
Дальность передачи, м	30	400	200
Выходная мощность, дБм	3 (класс 2)	12 (класс 1)	8 (класс 1)
Чувствительность приемника, дБм	-86	-96	-91
Напряжение питания, В	2,7...3,6	2,2...3,6	2,4...3,8
Температурный диапазон, °С	-40... 85	-40... 85	-40...85
Размеры, мм	25,5 x 14 x 2,2	11 x 13,9 x 2,2	12,9 x 15 x 2,2

передаваемого по беспроводному интерфейсу пакета данных и интервала установления соединения.

Характеристики модулей компании Silicon Labs

В ассортименте компании Silicon Labs (США) имеется множество модулей как стандарта Bluetooth 2.1, так и Bluetooth Low Energy. Рассмотрим основные характеристики нескольких модулей, наиболее подходящих для применения в задачах промышленной автоматизации.

Модуль WT12 (рис. 5 а) отвечает требованиям стандарта Bluetooth 2.1 и обеспечивает передачу данных на расстояние до 30 м [8]. Встроенное программное обеспечение iWRAP позволяет реализовать как профиль последовательного порта, так и множество других Bluetooth-профилей (табл. 3).

Двухрежимный модуль BT121 (рис. 5 б) отличается высокой мощностью передатчика и чувствительностью приемника, благодаря чему он позволяет передавать данные беспроводным способом на расстояние до 400 м. BT121 обеспечивает взаимодействие с модулями стандарта Bluetooth 2.1, при этом пропускная способность модуля в режиме последовательного

порта достигает 1000 кбит/с. Кроме того, BT121 позволяет реализовать любой профиль Bluetooth Low Energy. Модуль содержит встроенный программируемый микроконтроллер ARM Cortex M0 с возможностью загрузки внешнего приложения. В этом случае пользователь получает доступ к широкому набору периферийных интерфейсов для подключения внешних датчиков: UART, SPI, I2C, 12-битные АЦП и ЦАП.

Модуль BGM111 (рис. 5 в) реализует стандарт Bluetooth 4.1 Single Mode и обеспечивает беспроводную передачу данных на расстояние до 200 м. Главным преимуществом BGM111 является минимальное энергопотребление как в режимах передачи и приема (8,2 и 7,5 мА соответственно), так и в режиме энергосбережения (1,7 мкА).

Заключение

На основе рассмотренных модулей разработчики могут создавать как корпусированные Bluetooth-преобразователи, так и миниатюрные датчики с батарейным питанием для построения беспроводной системы сбора данных. Основными преимуществами использования такой системы на промышленном предприятии являются простота развертывания и высокая надежность радиоканала даже в условиях сильных промышленных помех.

Список литературы

1. Нильсон Р. Технология Bluetooth в промышленных применениях // Беспроводные технологии. 2014. №2.
2. Стукало С. Модули BLE112 и BLE113. Практические аспекты использования технологии Bluetooth 4.0 // Беспроводные технологии. 2014, №1.

Бренев Андрей Владимирович – старший инженер ООО “ЭФО”.
Контактный телефон: (812) 327-86-54.
E-mail: bav@efo.ru