

Владимир Федоров
fvv@efo.ru

Модули Bluetooth® в промышленных приложениях и системах сбора информации

Широко известная технология Bluetooth далеко не ограничивается потребительскими применениями. Идея использовать эту технологию для передачи данных в различных системах сбора информации и управления весьма привлекательна из-за низкой стоимости устройств и надежности технологии. В промышленных системах это решение все чаще используется как замена проводов в стандартном и массовом интерфейсе RS-232. В статье рассказывается об особенностях использования некоторых Bluetooth-модулей, предназначенных для этих целей, и приводятся их краткие характеристики.

Беспроводные технологии передачи информации за последние несколько лет стали неотъемлемой частью нашей жизни. Необходимость быстрой перестройки технологических линий, оперативная установка дополнительного оборудования требуют наличия гибкой инфраструктуры управления. Поэтому беспроводная связь становится важнейшей составляющей многих производственных процессов. Использование беспроводных технологий позволяет отказаться от прокладки кабельных соединений, повысив при этом гибкость и мобильность системы в целом. Когда же речь идет об обмене данными с движущимися устройствами или устройствами, находящимися под высоким напряжением, во взрывоопасной среде, беспроводные технологии становятся просто незаменимыми. Во многих случаях, когда подключения необходимо осуществлять периодически, например, при установке, настройке и диагностировании оборудования, из-за необходимости многократного подключения разъемов надежность кабельного соединения заметно снижается, поэтому использование таких технологий также становится предпочтительным.

При выборе беспроводной технологии для промышленных приложений и систем сбора информации одними из главных требований являются открытость стандарта, совместимость устройств различных производителей, доступность таких устройств в длительной перспективе, надежность и отработанность технологии, низкая цена, экономичность, возможность построения сетей различной архитектуры. Из всех существующих на сегодняшний день технологий в наибольшей степени этим требованиям соответствуют ZigBee™ (IEEE 802.15.4), WLAN

(IEEE 802.11) и Bluetooth (IEEE 802.15.1). WLAN обеспечивает высокие скорости передачи информации (в зависимости от версии 11 или 54 Мбит/с) и, очевидно, предпочтительнее в системах, базирующихся на сетях Ethernet. Однако этот стандарт отличается повышенным энергопотреблением, да и цена на модули заметно выше, чем у ZigBee™ и Bluetooth. Основная особенность технологии ZigBee™ заключается в том, что она поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка—точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений с топологиями «дерево» или «ячеистая сеть». Модули ZigBee™ из всех перечисленных технологий отличаются самым низким энергопотреблением, однако скорость передачи информации в этих сетях не превышает 250 Кбит/с. Области применения новой технологии — беспроводные сети датчиков, системы автоматизации зданий, системы управления в промышленности.

Bluetooth по скорости передачи информации и энергопотреблению занимает промежуточное положение между ZigBee™ и WLAN. На сегодняшний день это самая популярная радиотехнология ближнего радиуса действия. Протокол Bluetooth поддерживает как соединения типа точка—точка, так и точка—многоточка. Несколько устройств, использующих один и тот же канал, образуют пикосеть (piconet), при этом одно из устройств работает как ведущее (Master), а остальные — как подчиненные (Slave). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств. Для определения модели поведения при установлении соединения между различными типами устройств вводится понятие «профиль», означающее набор функций и возможностей, которые использует Bluetooth в качестве механизма транспортировки. Чаще всего технология Bluetooth применяется в мобильных телефонах, широкому потребителю она известна также как удобный способ соединения домашней и офисной электроники. Большинство профилей как раз и ориентировано, прежде всего, на решение этих задач. Количество профилей в настоящий момент достигает трех десятков, в их числе:

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP) — для передачи двухканального стерео аудиопотока, например музыки, к беспроводной гарнитуре или любому другому устройству;
- Audio / Video Remote Control Profile (AVRCP) — для пересылки изображений между устройствами;
- Basic Printing Profile (BPP) — позволяет пересылать текст, e-mails, vCard и другие элементы на принтер;

- Hands-Free Profile (HFP) — используется для соединения беспроводной гарнитуры и телефона;
- Human Interface Device Profile (HID) — для поддержки устройств с HID (Human Interface Device), таких как мышки, джойстики, клавиатуры;
- SIM Access Profile (SAP) — позволяет получить доступ к SIM-карте телефона;
- Dial-up Networking Profile (DUN) — предоставляет стандартный доступ к интернету или другому телефонному сервису через Bluetooth;
- Video Distribution Profile (VDP) — позволяет передавать потоковое видео;
- Serial Port Profile (SPP) — эмулирует последовательный порт, предоставляя возможность замены стандартного RS-232 беспроводным соединением.

Однако рынок устройств, использующих Bluetooth, не ограничивается только бытовыми и офисными применениями. В промышленных системах эта технология все чаще используется как замена проводов в широко распространенном интерфейсе RS-232. Радиоудлинители на базе Bluetooth-модулей с поддержкой SPP позволяют организовать «прозрачную» передачу данных по последовательному протоколу и быстрый ввод—вывод данных и сигналов управления в режиме реального времени. Следует, однако, учесть, что понятие «режим реального времени» в данном случае несколько условно, так как время прохождения информации через все уровни стека Bluetooth может быть различным для разных модулей и достигать 35 мс.

Bluetooth-модули в зависимости от излучаемой мощности делятся на три класса. Модули класса 1 (Рвых ≤ 100 мВт), применяемые, прежде всего, в промышленных устройствах, имеют радиус действия до 100 м. Устройства, относящиеся к классу 2 (Рвых ≤ 2,5 мВт), работают на расстояниях до 15—20 м. Изделия класса 3 (Рвых ≤ 1 мВт), который обычно используется в бытовых мобильных устройствах, имеют диапазон действия до 3—5 м. Максимальная скорость передачи данных при использовании технологии Bluetooth — 1 Мбит/с для версии протокола 1.2. Этот протокол использует одну из наиболее простых схем модуляции — GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Версия 2.0+EDR (Enhanced Data Rate) позволяет передавать данные со скоростью до 3 Мбит/с. В Bluetooth 2.0+EDR используется несколько альтернативных схем модуляции, благодаря которым скорость передачи данных возрастает почти втрое. При этом GFSK продолжает поддерживаться из соображений совместимости. Однако надо иметь в виду, что указанные скорости учитывают суммарный поток, который помимо собственно данных включает служебную информацию. Реальная скорость в асинхронном режиме передачи данных с использованием автоматического повторного запроса (ARQ — Automatic Repeat Request), контроля циклическим избыточным кодом (CRC — Cyclic Redundancies Check), прямого исправления ошибок (FEC — Forward Error Correction) в симметричном канале существенно меньше и для протокола V1.2, как правило, не превышает 286 Кбит/с.

Важнейшее требование к беспроводным устройствам, применяемым в промышленности и системах сбора информации, — надежность беспроводного канала в сложных условиях рас-



Рис. 1. Использование Bluetooth-модулей для замены кабельного соединения RS232

пространения сигнала. В производственных помещениях порой трудно обеспечить прямую видимость между двумя радиомодулями, а наличие большого количества металлических поверхностей порождает многолучевое распространение, вызывающее флуктуации уровня сигнала. Это может создавать проблемы для приемных устройств. С другой стороны, наличие отражающих поверхностей обеспечивает прохождение сигнала в отсутствие прямой видимости и может способствовать увеличению дальности действия радиомодулей. Так, исследования, проведенные в цехах целлюлозного завода, показали, что мощность принимаемого сигнала пропорциональна $d^{-1.1}$ (где d — расстояние), в то время как на открытом пространстве она пропорциональна $d^{-2.0}$ [2]. Технология Bluetooth использует метод расширения спектра скачкообразным изменением частоты (FHSS — Frequency Hopping Spread Spectrum). Выделенный частотный диапазон разбивается на 79 каналов, переключение которых происходит 1600 раз в секунду. Такой механизм позволяет быстро отстроиться от помех даже в сложной обстановке промышленного производства, обеспечив надежную и предсказуемую передачу данных. В версии Bluetooth 2.0 этот механизм усовершенствован, что позволяет полнее использовать возможности стандарта. Эксперименты, проведенные в плавильном цехе с мощными СВЧ-печами (суммарной мощностью 25 МВт), показали, что расстояние до печей практически не влияет на надежность работы радиоканала [2]. Кроме того, такой метод расширения спектра позволяет использовать параллельно множество Bluetooth-устройств. Проведенные испытания показали возможность функционирования десяти независимых Bluetooth-каналов передачи информации и одной сети WLAN, расположенных в единой зоне покрытия [1]. Время цикла передачи данных по каналу Bluetooth оставалось стабильным, не было отмечено каких-либо проблем и в работе WLAN. Тем не менее перед окончательным выбором беспроводной технологии передачи данных необходимо оценить обстановку с точки зрения помех, принимая во внимание возможность наличия в данном месте уже работающих беспроводных сетей различных стандартов.

Еще одним требованием является простота использования. Готовые устройства Bluetooth полностью удовлетворяют этому требованию. Большинство модулей является законченными устройствами и требуют для подключения минимум внешних элементов. Чаще всего применение Bluetooth для прибора сводится к эмуляции обычного асинхронного последовательного порта (UART) (рис. 1). Отличия лишь в том, что сначала должна установиться связь по радиоканалу, а далее Bluetooth-модуль используется практически как обычный нуль-модемный кабель.

Рассмотрим работу Bluetooth-модуля, используемого для замены проводного соединения UART <-> UART, на примере BT-20 (таблица). Он представляет собой бескорпусный одноплатный модуль, предназначенный для поверхностного монтажа. Необходимое программное обеспечение располагается во внутренней памяти и запускается на собственном процессоре модуля. Оно включает, помимо всех уровней собственно Bluetooth-стека (рис. 2), специальное приложение «Беспроводной UART», обеспечивающее выполнение всех процедур обнаружения Bluetooth-устройств, авторизации (Authorization) и собственно установления парного соединения (Pairing). Это приложение запускается одновременно со стеком после осуществления процедуры включения модуля.

Один и тот же модуль изначально жестко сконфигурирован либо как Slave, либо как Master. Скорость обмена по UART, конфигурация порта, имя устройства, PIN-код также программируются при изготовлении и в процессе эксплуатации не изменяются. Выбор модуля зависит от той задачи, которую нужно решить. Если требуется установить беспроводное соединение между двумя автономными устройствами, то нужна пара Master/Slave. К выводам RF модулей необходимо подключить антенны. Антенна и выход модуля соединяются микрополосковой линией с волновым сопротивлением 50 Ом (рассчитать ее параметры можно с помощью соответствующей утилиты). Использование многослойной керамической SMD-антенны позволяет получить минимальные размеры конечного устройства. Использование же внешних антенн позволяет увеличить радиус действия Bluetooth-модуля, в этом случае для ее подключения микрополосковая линия должна заканчиваться ВЧ-разъемом. Правильный выбор антенны и ее расположение является, в большинстве случаев, более важным фактором, влияющим на дальность действия, чем даже увеличение выходной мощности передатчика. Для того чтобы пара модулей (Master/Slave) начали работать друг с другом, надо просто подать на них питание и обеспечить импульс сброса (Reset) в момент включения. Никакого

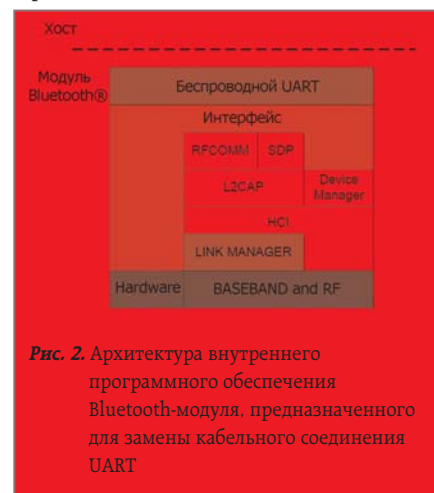


Рис. 2. Архитектура внутреннего программного обеспечения Bluetooth-модуля, предназначенного для замены кабельного соединения UART

программного обеспечения и конфигурации в общем случае не требуется! Автоматическая установка соединения между устройствами, находящимися в пределах досягаемости, является одной из важнейших особенностей Bluetooth-устройства. Без вашего участия в течение нескольких секунд модули установят парное соединение, и все, что будет подано на вход UART одного модуля, появится на выходе другого, и наоборот. При этом во внутреннем регистре каждого модуля прописывается MAC-адрес «напарника», после этого они будут работать только друг с другом. Таким образом, получается «прозрачный» канал UART <-> UART. Специальный вход (GPIO4 для Master и GPIO5 для Slave) используется для очистки регистра, хранящего адрес, в случае необходимости установления связи с другим «напарником».

В качестве ведущего может также выступать любой модуль Bluetooth, который способен работать как Master (например, встроенный в PC или КПК, или USB-адаптер, или мобильный телефон) и поддерживать профиль последовательного порта (SPP). Тогда процедура организации беспроводного канала будет выглядеть следующим образом:

- включается BT-20 (Slave) (при этом в округе не должно быть аналогичных включенных свободных модулей, сконфигурированных как Master, иначе они соединятся без вашего участия);
- включается Bluetooth-адаптер и запускается программная оболочка, поставляемая в комплекте с ним; инициируется поиск Bluetooth-устройств; через несколько секунд отобразятся имена всех обнаруженных в зоне действия адаптера Bluetooth-устройств. Выбирается устройство с именем, заданным при изготовлении модуля, определяются поддерживаемые профили (Refresh service), на появившийся запрос вводится PIN-код, в результате пройдет процедура парного соединения (pairing). И, наконец, завершающее действие — Connect (соединение). После этого устройства будут связаны друг с другом (адаптер будет работать на назначенный виртуальный COM-порт; при этом можно выбрать режим, при котором каждое

последующее открытие этого виртуального порта будет вызывать автоматическое соединение адаптера со Slave-модулем BT-20).

С аппаратной точки зрения подключение модуля осуществляется очень просто — к выводу RF присоединяется антенна, подключаются UART, на соответствующий вывод подается питание 3,3 В и в момент включения формируется импульс сброса на вывод Reset длительностью не менее 5 мс. При подключении выводов последовательного интерфейса следует обратить внимание на то, что помимо линий прием/передача (Rx/Tx) должны быть задействованы линии аппаратного контроля потока (CTS/RTS). Это необходимо для того, чтобы исключить возможность потери информации при переполнении внутреннего буфера модуля в случае, если возникают задержки в передаче информации по радиоканалу, вызванные повторной передачей при обнаружении ошибки или задержкой при переключении канала. Для индикации статуса модуля (Connect или Disconnect) используется вывод общего назначения GPIO7, к которому может быть подключен светодиод. Выводы GPIO0 и GPIO1 предназначены для индикации состояния радиопередающего тракта (прием/передача соответственно). Уровни сигналов соответствуют TTL.

Модули SPK-BTM401, SPK-EVM001A, PAN1550, включенные в таблицу 1, отличаются классом и версией протокола, логика работы с ними остается той же самой. Модуль F2M03C1 работает аналогично, но имеет более развитое внутреннее программное обеспечение. Это позволяет более гибко конфигурировать его с помощью утилиты Free2move Configuration Software, запускаемой на персональном компьютере под операционной системой семейства Windows. Конфигурация модуля осуществляется по последовательному порту, при этом сам модуль не должен находиться в состоянии Connect. Пользователь может задать имя устройства, выбрать режим работы Master или Slave, сконфигурировать асинхронный последовательный интерфейс. Имеется возможность задать режим установления соединения — с аутентификацией, в режиме парного соединения,







с шифрованием данных или без этих опций. Эта конфигурация сохраняется во внутренней flash-памяти модуля. Еще большие возможности предоставляет пользователю модуль MTS2BTSMI компании MultiTech, выполненный в стандарте Universal Socket [6]. Гибкая конфигурация модуля может осуществляться по последовательному интерфейсу с помощью набора AT-команд. Это значит, что сконфигурировать модуль можно в любой момент в процессе эксплуатации с помощью обычного микроконтроллера.

Технология Bluetooth в настоящее время удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к беспроводной передаче данных в сложных условиях промышленного производства. Массовое применение привело к тому, что на сегодняшний день это самая дешевая технология — розничная цена готового радиомодуля приближается к \$15. Модули Bluetooth обеспечивают надежную передачу информации в условиях высокого уровня электромагнитного излучения различной природы, имеют низкую цену, невысокое энергопотребление, просты в использовании. Они позволяют получать удаленный доступ к устройствам и механизмам, проводная связь с которыми невозможна или затруднена. Bluetooth уже встроен во многие современные устройства — ноутбуки, КПК, телефоны, и имеет встроенную поддержку в наиболее распространенных операционных системах. Это дает возможность легко интегрировать данную технологию в создаваемые беспроводные системы управления и сбора информации. □

Литература

1. Pape A., Weczerek J. Wireless Automation with Bluetooth // CIA2005 International Conference.
2. Ruggiero M. Bluetooth in Industrial Environment // Expert Monitoring Ltd. Cardiff University, 2004. March.
3. Козлов С. Bluetooth V2.0+EDR — хорошо доделанное стапое. http://www.3dnews.ru/communication/bluetooth_2_0/
4. SPK-BTM401-Datasheet (4M_8M). pdf
5. BT-20 Datasheet. pdf
6. Developer Guide—UniversalSocketConnectivity—Rev F. pdf

Т а б л и ц а . Характеристики некоторых Bluetooth-модулей

| | BT-20 | SPK-BTM401 | PAN1550 | SPK-EVM001A | F2M03C1 | MTS2BTSMI |
|---------------------------------|---|---|--|---|---|---|
| Внешний вид |  |  |  |  |  |  |
| Производитель | Rainsun | SPK | Panasonic | SPK | Free2move | MultiTech® |
| Чипсет | CSR BlueCore2 | CSR BlueCore4 | ZV4301 | CSR BlueCore4 | CSR BlueCore2 | Не указан |
| Версия протокола | V1.2 | V2.0 + EDR | V1.2 | V2.0 + EDR | V1.1 | V1.2 |
| Выходная мощность, макс., дБм | +4 | +3 | +4 | +20 | +14 | +15 |
| Чувствительность приемника, дБм | -83 | -80 | -86 | -88 | -90 | Не указана |
| Интерфейсы | UART, USB, SPI, PCM | UART, USB, SPI, PCM | UART, USB, SPI, PCM, JTAG | UART, USB, SPI, PCM | UART, USB, SPI, PCM | UART |
| Размеры, мм | 25 × 14,5 | 25 × 14,9 | 22,8 × 13,4 | 26 × 14,5 | 33 × 14 | 64,5 × 26,5 |
| Напряжение питания, В | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 5 или 3,3 |
| Температурный диапазон, С | -40 ...+ 105 | -20 ...+ 70 | -25 ...+ 70 | -40 ...+ 85 | 0 ...+ 70 | -40 ...+ 70 |
| Дополнительные особенности | Повышенная совместимость с модулем SPK-BTM401 | Повышенная совместимость с модулем BT-20xxx-Cxx-11x | Интегрированная антенна | | Конфигурация по UART с помощью утилиты «Free2move Configuration Software» | Конфигурация с помощью AT-команд |