

Новинка Digi:

радиомодуль Xbee 868LP для диапазона 868 МГц

Олег Пушкарёв
o.pushkarev@compel.ru

В этом году компания Digi расширила линейку популярных радиочастотных приемопередатчиков Xbee. Новый модуль Xbee 868LP отвечает всем требованиям российского радиочастотного комитета: выходная мощность не превышает 25 мВт, рабочие частоты лежат внутри отведенных российским законодательством участков диапазона 868 МГц, модуль реализует алгоритм доступа к среде AFA + LBT (Adaptive Frequency Agility + Listen Before Talk). Высокая чувствительность модуля и «выгодный» диапазон обеспечивают связь на расстоянии единиц километров на открытом пространстве и сотни метров внутри помещений. Радиомодуль Xbee 868LP предназначен для использования в счетчиках энергии, промышленной телеметрии и системах безопасности. В статье рассматриваются технические особенности нового модуля и поддерживаемый сетевой протокол DigiMesh.

Почему 868 МГц?

Радиомодули Xbee с 2004 г. и по настоящий момент выпускаются, в основном, для диапазона 2400 МГц. Это проверенные временем и используемые в огромном количестве проектов по всему миру изделия. Почему же компания Digi решила «освоить» новый диапазон? Дело в том, что для многих применений диапазон 868 МГц имеет ряд преимуществ в виде большей дальности, сниженного энергопотребления и меньшей стоимости, что важно в таких приложениях, как системы безопасности, сбор данных со счетчиков энергии и низкоскоростные устройства промышленной телеметрии.

Увеличенная дальность связи систем 868 МГц обусловлена несколькими факторами. Во-первых, Xbee 868LP использует меньшую скорость

передачи данных и относительно узкополосный приемный тракт, что позволило достичь значения чувствительности –106 дБм по сравнению с –102 дБм для модулей Xbee 2400 МГц. Во-вторых, при прохождении через препятствия внутри зданий радиоволны субгигагерцового диапазона ослабляются в меньшей степени, что особенно заметно при наличии железобетонных конструкций. Даже на открытом пространстве затухание низкочастотного сигнала меньше, т. к. дальность распространения радиоволн прямо пропорциональна длине волны (обратно пропорциональна частоте сигнала). Инженерное правило гласит: увеличение частоты в два раза приводит к двойному сокращению дистанции связи. Радиоволны субгигагерцового диапазона обладают большей дифракцией, т. е. способностью огибать препятствия. К сожалению, радиоволны диапазона 2,4 ГГц распространяются подобно световому лучу, поэтому наличие зоны радиотени даже от относительно небольшого объекта может нарушать связь. Например, для модулей Xbee Pro 2400 МГц заявленная дальность связи в 3 км легко подтверждается экспериментом. Однако на таком расстоянии наличие даже небольшого препятствия между приемной и передающей антеннами (человек, дерево, столб, машина) приводит к снижению количества успешно принятых пакетов практически до 0. И, в заключение, из всех безлицензионных диапазонов (433, 868, 2400 МГц) частоты 868 МГц являются в настоящий момент наиболее «спокойными» с точки зрения количества работающих радиоустройств — возможно, из-за того, что безлицензионным этот диапазон стал в нашей стране относительно недавно. Разрешенные участки частот диапазона 868 МГц приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики и условия использования устройств беспроводной передачи данных в диапазоне 868 МГц

Частота, МГц	Основные характеристики	Назначение	Регламентирующий документ
868–868,2	10 мВт; рабочий цикл <10%	Устройства охранной радиосигнализации — системы радиосигнализации, включающие системы общественной радиосигнализации и системы радиосигнализации для обеспечения безопасности.	Приложение 3 к решению ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001
864–865	25 мВт (EN 300 220); рабочий цикл 0,1%	Неспециализированные (любого назначения) устройства — малого радиуса общего применения, включая устройства дистанционного управления и передачи телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и т. п. Запрещается использование в пределах аэропортов (аэродромов).	Приложение 11 к решению ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001
868,7–869,2	25 мВт (EN 300 220)	Неспециализированные (любого назначения) устройства — малого радиуса общего применения, включая устройства дистанционного управления и передачи телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и т. п.	Приложение 11 к решению ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001
863–865	10 мВт (EN 301 357); рабочий цикл 100%	Беспроводное аудиооборудование — устройства малого радиуса действия, используемые для передачи данных между акустическими системами, наушниками, микрофонами и др.	Приложение 14 к решению ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001

Примечание: В таблицу не включены основные технические характеристики и условия использования устройств радиочастотной идентификации 868 МГц, требующих присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов в установленном порядке.

Технические характеристики XBee 868LP



Рис. 1. Радиомодули XBee 868LP

Радиомодуль XBee 868LP (рис. 1) включает в себя трансивер ADF7023 и 32-битный микроконтроллер Energy Micro EFM32G230F128 на ядре Cortex-M3, реализующий как простую передачу данных между двумя модулями («точка–точка»), так и фирменный протокол DigiMesh, позволяющий объединять в сеть сотни узлов. Технические характеристики модуля приведены в таблице 2. Для российских потребителей он интересен тем, что имеет максимальную выходную мощность 25 мВт, разрешенную в РФ для диапазона 868 МГц, и работает на разрешенных частотных участках. Дальность связи достигает 4 км на открытом пространстве и до 150 м внутри помещений. Модуль может использовать несколько частотных каналов, автоматически переходя на новый канал в случае помех. Скорость передачи данных в зависимости от прошивки может быть 10 или 80 кбит/с. Модули поддерживают режим защищенной передачи данных, когда все пакеты шифруются по алгоритму AES-128. Уровень принимаемого сигнала (RSSI) может быть получен в цифровом виде в единицах –дБм (один байт) или в виде аналогового уровня на выводе PWM0. Управление модулем заключается в подаче простых AT-команд конфигурации. В простейшем случае обмен данными между двумя модулями может производиться в прозрачном режиме, когда все данные, поступающие на вход UART одного модуля, выдаются на выход UART другого модуля в неизменном виде («прозрачный UART»).

Управлять модулем можно как со стороны ПК (микроконтроллера) через интерфейс UART (SPI), так и по эфиру. Управление по эфиру предусматривает возможность обновления внутреннего программного обеспечения (firmware). Расширенные возможности конфигурации позволяют создавать на базе модуля XBee 868LP законченные приложения без применения внешнего микроконтроллера. Имеющиеся на борту порты ввода/вывода, АЦП и UART-интерфейс могут быть задействованы дистанционно. Разработчик может использовать для своих целей до 20 портов GPIO, четыре 10-битных АЦП и два выхода ШИМ. Управлять этими выводами можно либо с помощью команд со стороны хост-микроконтроллера, либо по эфиру. Модуль может также периодически отправлять значения цифровых входов и уровня АЦП на любой узел в сети. Частота отсылки настраивается в широких пределах — от долей секунды до 65 с. Между посылками модуль

Таблица 2. Технические характеристики XBee 868LP

Характеристика	Значение
ВЧ-приемопередатчик и процессор	ADF7023 transceiver, Cortex-M3 EFM32G230 при 32 МГц
Частотный диапазон	863–870 МГц (30 каналов LBT + AFA)
Дальность связи внутри помещений	до 150 м с антенной 2,1 дБи, до 75 м со встроенной PCB-антенной
Дальность связи на открытом пространстве	до 4 км с антенной 2,1 дБи, до 1 км со встроенной PCB-антенной
Скорость передачи данных в радиоканале	10 или 80 кбит/с
Выходная мощность	Программируемая до 12 дБм (16 мВт)
Чувствительность приемника	–101 дБм при 80 кбит/с, –106 дБм при 10 кбит/с
Полоса приемного тракта, кГц	100
Порог срабатывания алгоритма LBT, дБм	–88
Сетевые топологии	DigiMesh, Repeater, Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer
Адресация	Preamble ID, PAN ID, 64-бит адрес модуля
Шифрование	AES-128 бит (отключаемое)
Поддержка спящих устройств	Да (пробуждение по таймеру и по сигналу GPIO)
Варианты подключения антенны	U.FL, RF pad, PCB
Скорость UART, бит/с	1200–230400
Скорость тактирования SPI, МГц	до 3,5
Порты ввода/вывода	13/18 (выходной ток до 6 мА)
АЦП	4 канала 10-бит ($U_{вх} = 0–1,25$ В или 0–2,5 В)
Напряжение питания, В	2,7–3,6
Ток потребления (передача), мА	48
Ток потребления (прием), мА	27
Ток потребления (сон), мкА	1,7
Рабочая температура, °С	–40...+85
Вес, г	4
Размеры, мм	34×21×3

может находиться в режиме сна, потребляя единицы микроампер. Такой режим позволяет реализовать автономные узлы, работающие от батарей годами. Внешний микроконтроллер для такого режима не требуется, достаточно задать все параметры и сохранить их в энерго-независимой памяти модуля. В модулях имеется свободная flash-память, которую разработчик может использовать для своих целей. Она разбита на 119 блоков по 512 байт. Здесь можно организовать хранилище данных, таблицы для вычислений или использовать ее для временного хранения загружаемых по эфиру прошивок для внешнего микроконтроллера. Доступ к этой памяти осуществляется через UART или удаленно по эфиру с помощью набора специальных API-фреймов (пакетов данных определенной структуры).

Сетевые возможности XBee 868LP

Модуль XBee 868LP может работать в трех режимах: «точка–точка»/«многоточка» (Point-to-Point/Multipoint, P2MP), репитер (Repeater/Direct Broadcast) и сетевой режим DigiMesh. Во всех сетевых режимах узлы на модулях XBee 868LP равноправны. Хотя в документации встречаются наименования «координатор», «роутер» и «конечное устройство», однако эти значения не соответствуют ролям узлов в понятиях сети ZigBee.

Просто гибкие настройки позволяют реализовать некоторые привлекательные функциональные возможности ZigBee, например поддержку спящих устройств, ретрансляцию сообщений, временное хранение сообщений на промежуточном узле до момента выхода получателя из режима сна (indirect messaging), запрос спящим узлом отложенных сообщений (polling) и т. д.

В режиме P2MP модуль передает два типа сообщений — адресные и широковещательные. Ретрансляция сообщений в данном режиме не предусмотрена. Передача данных возможна только между модулями, которые находятся в пределах прямой радиовидимости. Время передачи одного пакета между двумя точками составляет примерно 200 мс (зависит от настроек). Скорость передачи данных в режиме P2MP приведена в таблице 3.

В режиме Repeater/Direct Broadcast каждый узел сети ретранслирует как адресные, так и широковещательные сообщения. По умолчанию узел отправляет сообщение четыре раза, столько же раз оно ретранслируется каждым узлом в сети. Подтверждения ACK здесь не используются. Для конкретной пространственной конфигурации сети можно ограничить «глубину» ретрансляций (число хопов) и запретить ретрансляцию на определенных узлах, чтобы не перегружать эфир избыточным трафиком.

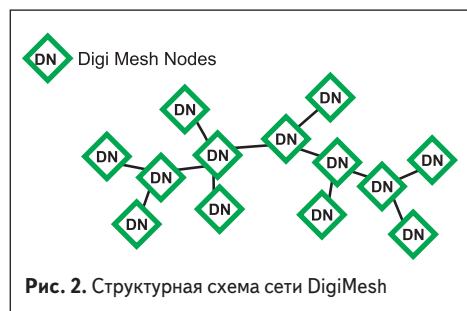
Таблица 3. Практическая скорость передачи данных для режима P2MP

Прошивка модуля 10 кбит/с, скорость UART 115,2 кбит/с, передача 100 000 байт	
«Точка–точка», адресная посылка, нет шифрования	8,4 кбит/с
«Точка–точка», адресная посылка, есть шифрование	8,3 кбит/с
Прошивка модуля 80 кбит/с, скорость UART 115,2 кбит/с, передача 100 000 байт	
«Точка–точка», адресная посылка, нет шифрования	54,7 кбит/с
«Точка–точка», адресная посылка, есть шифрование	53,9 кбит/с

При адресной отсылке пакет дойдет до многих узлов в сети за счет ретрансляций, однако он будет выведен через UART только на модуле с соответствующим адресом. Данный режим позволяет построить достаточно надежную сеть, устойчивую к отключению отдельных узлов. Сообщения здесь будут достигать получателя не за счет оптимального маршрута, а за счет некоторого избыточного трафика, порождаемого множественными ретрансляциями.

Протокол DigiMesh

Мощный управляющий 32-битный микроконтроллер и малое потребление в спящем режиме (1,7 мкА) позволили производителю реализовать протокол DigiMesh, который объединяет в беспроводную Mesh-сеть спящие роутеры (ретрансляторы). В сети DigiMesh нет координатора с выделенной ролью: каждый из узлов сети может взять его функции на себя. Прокладка и восстановление маршрутов в сети DigiMesh осуществляется автоматически. Подобное построение сети гарантирует прохождение информации при выходе из строя любого узла, так как в сети DigiMesh нет «слабого звена», отказ которого мог бы привести к полной неработоспособности системы. Структурная схема сети DigiMesh приведена на рисунке 2.



Преимущества сети DigiMesh по сравнению с ZigBee заключаются в возможности использования «спящих» роутеров, в то время как в модулях XBee 2400 МГц (ZigBee) спящий режим возможен только для конечных устройств [2]. Возможность перевода роутеров в режим сна обусловлена реализованным механизмом временной синхронизации всех узлов сети. В качестве маяка выступает координатор — один

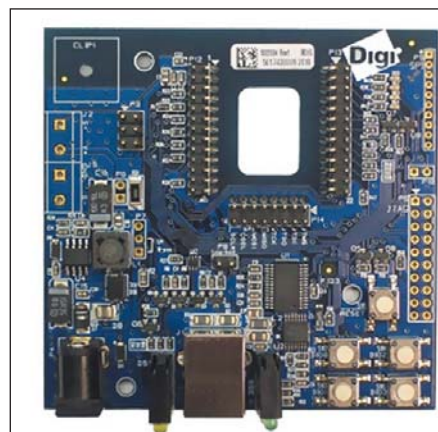


Рис. 3. Плата XBIB-U-SS

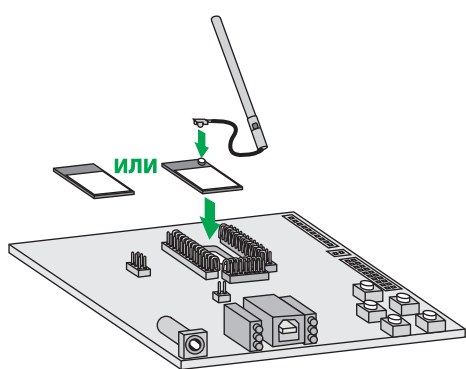
Таблица 4. Практическая скорость передачи данных для режима DigiMesh

Прошивка модуля 80 кбит/с, скорость UART 115,2 кбит/с, передача 100 000 байт, спокойная помеховая обстановка	
Адресная посылка в Mesh-сети, 1 hop (нет ретрансляций), нет шифрования	35,6 кбит/с
Адресная посылка в Mesh-сети, 3 hop (два промежуточных ретранслятора), нет шифрования	11,9 кбит/с
Адресная посылка в Mesh-сети, 6 hop (пять промежуточных ретрансляторов), нет шифрования	7,1 кбит/с
Адресная посылка в Mesh-сети, 1 hop (нет ретрансляций), шифрование включено	35,3 кбит/с
Адресная посылка в Mesh-сети, 3 hop (два промежуточных ретранслятора), шифрование включено	11,8 кбит/с
Адресная посылка в Mesh-сети, 6 hop (пять промежуточных ретрансляторов), шифрование включено	7,0 кбит/с

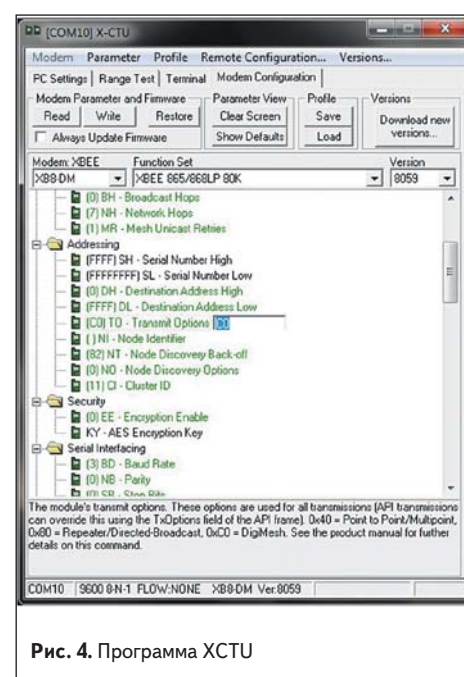
из узлов сети, назначенный разработчиком. Если этот узел выходит из строя, его функции начинает выполнять любой другой узел сети. Протоколом предусмотрены специальные механизмы «Номинирования» (Nomination) и «Выборов» (Election), которые позволяют разрешать коллизии, если сразу несколько узлов сети пытаются взять на себя функции координатора. С помощью команд конфигурирования можно определить узлы, которые будут иметь преимущество при «выборах» координатора. Для подключения новых узлов к сети необходимо включить новый узел и поместить его в зону действия сети. После подачи питания новый узел будет постоянно включен на прием, ожидая синхронизирующего пакета координатора. В полученном широковещательном пакете синхронизации содержится информация о временных параметрах сети — временах сна/бодрствования, что позволяет новому узлу перейти в режим сна до следующего сеанса синхронного обмена информацией с другими узлами. Текущие временные параметры в сети можно считать с любого модуля. Режим DigiMesh может работать только с прошивкой модуля, обеспечивающей скорость 80 кбит/с. Скорость передачи данных в режиме DigiMesh приведена в таблице 4.

Средства отладки

Инженеры могут использовать отладочный набор XBee 865/868LP Development Kit для оценки параметров модуля и быстрой разработки приложений. В состав набора XK8-DMS-0 входят три модуля XB8-DMUS-002 (с разъемом UFL), три интерфейсные платы USB, антенны, кабели и вспомогательное программное обеспечение. Модули XBee 868LP pin-to-pin совместимы с модулями XBee SMT (ZigBee), поэтому для них можно использовать продающиеся отдельно



платы XBIB-U-SS [3], которые можно вставлять и вынимать благодаря специальному подпружиненному разъему-держателю (рис. 3). Модуль поддерживается программой XCTU, которая позволяет изменять настройки, обновлять внутреннее программное обеспечение (firmware), проводить тест дальности и взаимодействовать со всеми узлами сети (рис. 4).



Заключение

Радиомодули XBee 868LP представляют собой простые в применении приемопередатчики 868 МГц со встроенным программным обеспечением, которое позволяет быстро построить беспроводной канал даже неискушенному в этой области разработчику. Опциональный протокол DigiMesh предназначен для создания надежной Mesh-сети со спящими роутерами, при этом в сети DigiMesh реализованы механизмы самовосстановления и перепрокладки маршрутов. Простота управления и высокие технические характеристики модулей XBee 868LP позволяют с успехом использовать их в системах охраны, устройствах промышленной телеметрии и беспроводных системах сбора данных со счетчиков энергии, в том числе и с батарейным питанием.

Литература

1. www.digi.com
2. Пушкарев О. Использование конечных спящих узлов в сети ZigBee // Электронные компоненты. 2011. № 5.
3. www.compel.ru