



Олег Пушкарев

ZIGBEE-МОДУЛИ XBEE SERIES 2 С ПОДДЕРЖКОЙ MESH-ТОПОЛОГИИ

В октябре 2007 года компания MaxStream представила своим клиентам новые ZigBee-модули XBee Series 2. Они предназначены для построения полноценных ZigBee-сетей с топологией Mesh. В статье даны краткие технические характеристики новых модулей, отличия от предыдущей линейки и особенности их применения. Рассмотрена работа с отладочным комплектом и приведены практические примеры организации ZigBee-сети на основе новых модулей.

Компания MaxStream хорошо известна российским разработчикам своими радиочастотными модулями XBee/XBeePro [1] и корпусированными радиомодемами с диапазоном 2,4 ГГц. Радиомодули MaxStream используют как технологию ZigBee, так и собственный формат передачи данных, построенный на основе протокола с «прыгающими частотами». Продукты MaxStream завоевали широкую популярность благодаря отличным техническим характеристикам и упрощенному набору команд управления, что позволяет работать с серьезной системой беспроводной передачи данных даже неспециалисту в этой области инженеру. Компания MaxStream уже несколько лет выпускает модули XBee/XBee-Pro, которые востребованы на рынке и не планируются к снятию с производства. Зачем же компании потребовалось осваивать новую линейку XBee Series 2? Для того чтобы правильно ответить на этот вопрос, нужно вспомнить эволюцию ZigBee-стандарта и историю поглощений компаний на этом рынке:

1. Начало выпуска XBee/XBeePro-модулей приходится на 2005 год, когда только-только появилась первая спецификация ZigBee-стандарта (далее ZigBee-2004). В момент выпуска модули поддерживали передачу данных по стандарту 802.15.4, который

является нижним уровнем для построения ZigBee-сетей.

2. Компания MaxStream начинает разработку ZigBee-версии Firmware. Выпущена бета-версия ZigBee-прошивки, которая позволяет работать с Mesh-топологией ограниченной структуры (согласно спецификации ZigBee-2004). Прошивка построена на базе ПО от Freescale, которая в свою очередь сотрудничает с компанией Figure 8 Wireless. Независимая на тот момент компания Figure 8 Wireless поставляет свой стек ряду производителей ZigBee-трансиверов, в том числе имеет стек протоколов ZigBee для микропроцессора Freescale MC9S08GT60, являющегося основой модулей XBee/XBeePro [2].

3. В 2005 году компания Figure 8 Wireless поглощается компанией Chipcon и становится процессорно-зависимой компанией. Далее, в этом же году, компания Texas Instruments приобретает Chipcon. Как следствие, сворачивается поддержка версии собственного стека, ориентированная на продукцию теперь уже конкурирующих брендов.

4. В 2006 году ZigBee-альянс принимает новую спецификацию стандарта ZigBee (ZigBee-2006), который несовместим с предыдущей версией ZigBee-2004. Нужно отметить, что в связи с несовершенством ZigBee-2004 реальных продуктов на его основе было вы-



пущено ничтожно мало. В 2008 году ожидается обнародование новой спецификации ZigBee PRO*, доступной сегодня только членам ZigBee-альянса.

Итак, что же компания MaxStream имеет на сегодняшний день? ZigBee-версия прошивки для модулей XBee/XBeePro существует, доступна для загрузки, но все еще находится в статусе «бета». Данная прошивка позволяет модулям работать в Mesh-сети, но имеет ряд ограничений:

- не поддерживает конечные устройства (End-device);
- соответствует уже устаревшему стандарту ZigBee-2004.

Согласно последней информации с сайта производителя, в связи с изменениями в аппаратной части доступные ранее бета-версии ZigBee-прошивок (8x13, 8x14 и 8x17) более не поддерживаются компанией MaxStream. Модули XBee/XBeePro с прошивкой (Firmware) 802.15.4 прекрасно подходят для построения сетей типа Точка-точка или Звезда, т.е. сетей без ретрансляции сообщений. Для увеличения дальности в такие сети можно добавлять «прозрачные» репитеры, которые представляют собой модуль XBee/XBeePro с замкнутыми выводами «Вход» и «Выход» UART. Модули XBee/XBeePro были и остаются эффективной платформой для построения сетей стандарта 802.15.4 и не планируются к снятию с производства.

* Название модулей XBeePro не имеет никакого отношения к спецификации ZigBee Pro. Это просто модули с повышенной выходной мощностью, с тем же самым набором ПО, что и модули XBee.

Модули XBee Series 2.

Общая информация

Новая серия модулей XBee Series 2 выступает в качестве аппаратно-программной платформы, полностью соответствующей спецификации ZigBee-2006 и, в дальнейшем, версии ZigBee PRO. Модули XBee Series 2 (рис. 1) совместимы по габаритам и выводам с модулями XBee, однако построены на однокристальном ZigBee-чипе EM250 компании Ember. Выбор данного решения был не случаен. Компания Ember имеет в своем арсенале как аппаратные (микросхемы EM2420, EM250, EM260), так и программные (ПО EmberZStack) решения. Компания входит в пятерку производителей-лидеров в области ZigBee, является промоутером ZigBee-альянса и активно участвует в разработке спецификации XBee Pro. На момент написания данной статьи потребителям доступны только маломощные (2 мВт) модули новой серии. Коммерческий выпуск модулей с повышенной мощностью ожидается в январе 2008 года. Технические параметры модулей XBee Series 2 приведены в таблице 1. Для сравнения приведены параметры модулей XBee и XBee Pro. Благодаря более высокой выходной мощности и чувствительному приемнику, модули новой серии обеспечивают большую дальность связи. Энергопотребление модулей в спящем режиме снижено с 10 до 1 мкА, что очень важно для устройств с батарейным питанием. Модули выпускаются в четырех вариантах подключения антенны. Для заказа нужного модуля на сайте MaxStream есть генератор обозначений <http://www.maxstream.net/products/part-number-generator/xbee-module.php>.

В качестве программного обеспечения для модулей XBee Series 2 выступает ZigBee-стек от компании Ember EmberZstack 2.5. Этот стек включает в себя отдельные элементы спецификации ZigBee Pro, например:

- Метод распределения адресов на основе случайных чисел. В отличие от предшествующего метода CSKIP (распределение адресов по дереву), новый алгоритм

позволяет исключить вероятность нехватки адресов в одной ветви сети, при избытке в другом сегменте.

- В качестве единственного метода маршрутизации используется алгоритм оптимальной прокладки маршрута по запросу (п. 3.7.3 [3], см. также алгоритм AODV [4]).

- Нет жестких ограничений на число узлов (`max_children`, `max_routers`). Максимальная глубина ретрансляций (`max_hops`) ограничена только разумным временем ожиданием ответа.

Ключевое отличие модулей XBee Series 2 от модулей XBee лежит в области программного обеспечения. Модули XBee Series 2 предназначены для построения полноценных ZigBee-сетей с топологией Mesh (каждый с каждым). Однако модули XBee Series 2 не являются заменой старых модулей XBee. В зависимости от сложности проектируемой сети, в более выигрышном положении может оказаться любая из модулей. Использование модулей XBee предпочтительнее, когда необходимо строить простые сети типа «Звезда» (802.15.4). В последнем случае разработчик получает более полный контроль над сетью. Несмотря на единую скорость в радиоканале (250 кБит/сек), в сети ZigBee наблюдаются большие задержки, и реальная пропускная способность ниже, чем у сети 802.15.4.

Модули XBee Series 2.

Структура ПО

Модули XBee Series 2 предназначены для построения сетей ZigBee с Mesh-топологией. Все не-

обходимое ПО для формирования и поддержания работоспособности ZigBee-сети (ZigBee-стек) загружается при производстве модуля. В зависимости от сетевой функции узла (Координатор/Роутер/Конечное устройство), модуль XBee Series 2 должен содержать соответствующую прошивку:

- Координатор;
- Роутер/Конечное устройство.

В связи тем, что для роутера/конечного устройства используется одна прошивка, выбор сетевой роли модуля определяется AT-командой «SM». Прошивки модулей также различаются по типу управления модулем:

- Прозрачный режим. Управление с помощью AT-команд;
- Пакетный режим. Управление с помощью API-фреймов.

Таким образом, существует 4 уникальных прошивки для модуля. С завода модули могут поставляться с любой прошивкой (рис. 2); все имеющиеся на складе КОМПЭЛа модули имеют прошивку Роутер/Конечное устройство с управлением с помощью AT-команд. Любой модуль можно запрограммировать под любую сетевую роль и управление тем или иным методом. Следует учитывать, что все модули в разрабатываемой сети должны иметь единый тип управления.




Управление с помощью AT-команд

При разработке конечного устройства инженер самостоятельно выбирает тип управления модулем. Режим управления с помощью AT-команд наиболее прост и



Рис. 1. Модули XBee Series 2

Таблица 1. Технические параметры модулей XBee Series 2

Параметры	XBee Series 2	XBee	XBee-PRO
			
Топология сети	ZigBee Mesh	Точка-точка, Звезда, 802.15.4	Точка-точка, Звезда, 802.15.4
Рабочая частота, ГГц		2,4...2,4835	
Радиус действия в помещении, м	40	30	100
Радиус действия в свободном пространстве, м	120	100	1200
Максимальная выходная мощность, мВт	2	1	100
Скорость передачи данных по радиоканалу, бит/с		250000	
Скорость передачи данных по интерфейсу, бит/с	1200...230400	1200...115200	1200...115200
Чувствительность, дБм	-98 (1% PER)	-92 (1% PER)	-100 (1% PER)
Напряжение питания, В	2,1...3,6	2,8...3,4	2,8...3,4
Ток потребления в режиме передачи, мА	38	45	270
Ток потребления в режиме приема, мА	35	50	55
Ток потребления в режиме энергосбережения, мкА	<1	<10	<10
Количество каналов	16	16	12
Шифрование	AES-128		
Возможности адресации в сети	PAN ID – 16 бит, Адрес – 16 бит		
Варианты антенн	Керамическая, Проводная, или UFL/RPSMA-разъем	Керамическая, Проводная, или UFL-разъем	Керамическая, Проводная, или UFL-разъем
Внешние интерфейсы	UART, GPIO, PWM, ADC		
Размеры, мм	24,4 x 27,6		24,4 x 32,9
Рабочий диапазон температур, °C	-40...85		

применяется для создания «прозрачных» соединений между узлами сети. «Прозрачный» в данном случае означает следующее: все данные, подаваемые на вход UART одного узла сети, будут передаваться на выход UART другого узла в том же виде. При этом узлы могут быть как в пределах прямой радиовидимости, так и вне нее. В последнем случае ретрансляцию сообщений будут осуществлять другие роутеры, входящие в данную сеть ZigBee. В режиме управления с помощью AT-команд для изменения сетевых настроек, например, для смены адреса модуля-приемника, необходимо переходить в специальный командный режим. Данный переход осуществляется подачей на модуль специальной последовательности символов «+++», причем до и после подачи этой последовательности необходимо выдержать паузу заданной длительности. Такой «хитрый» механизм предотвращает случайный переход в командный режим, даже если в потоке символов встречается сочетание трех символов «+».

Управление с помощью API-фреймов

Режим управления с помощью API-фреймов [2] позволяет более гибко управлять модулем и получать дополнительную информацию о принимаемых пакетах данных, например адрес отправителя. Для отправляемых пакетов можно в самом теле пакета указать адрес получателя. Также при пакетном режиме после каждой отправки данных можно получать специальный пакет, уведомляющий об успешном или неуспешном прохождении пакета до точки назначения через узлы ZigBee-сети. Подробное описание AT-команд и API-фреймов выходит за рамки данной статьи, поэтому ознакомиться с ними можно самостоятельно, загрузив с сайта производителя данный документ — http://www.maxstream.net/products/xbee-series-2/product-manual_XBee_Series2_OEM_RF-Modules_ZigBee.pdf. Предварительная русскоязычная версия данного документа доступна по запросу. Запрос можно выслать в произвольной форме на адрес: wireless@compel.ru.

Развертывание ZigBee-сети

Очень удобно начинать знакомство с новыми модулями с помощью отладочного комплекта XB24-BPDK (рис. 3). Набор включает в себя 5 модулей и пять переходных плат для подключения к ПК с помощью интерфейсов USB или RS-232. Для автономной работы модулей предусмотрены переходные кабели питания для батарей типа 9F22 («Крона»). Сами батареи в комплект не входят, зато компьютерные кабели, сетевые блоки питания и различные переходники присутствуют в большом количестве (рис. 2):

Если у вас есть опыт работы с модулями XBee/XBeePro, то на него полагаться не стоит, т.к. работа с модулями XBee Series 2 несколько отличается. Модули предназначены для работы в составе ZigBee-сети, поэтому для проведения экспериментов необходимо понимать логику сетевого взаимодействия. Однако это не значит, что развернуть сеть будет сложной задачей. До начала «прозрачной» передачи полезной информации от одного узла к другому

Состав комплекта XB24-BPDK	Количество, шт
XBee Series 2 Модуль Координатора с проводной антенной	1
XBee Series 2 Модуль Роутера/Конечного устройства с проводной антенной	1
Series 2 Модуль Роутера/Конечного устройства с чип-антенной	1
XBee Series 2 Модуль Роутера/Конечного устройства с разъемом UFL	1
XBee Series 2 Модуль Роутера/Конечного устройства с разъемом RPSMA	1
RS-232 переходная плата	3
USB переходная плата	2
RS-232-кабель	3
USB-кабель	2
Полуволновой диполь с RPSMA-разъемом	2
Кабель с разъемом для подключения батареи 9 В	3
Заглушка последовательного порта	1
Адаптер нуль-модема (male-to-male)	1
Адаптер нуль-модема (female-to-female)	1
Инструкция пользователя	1
Компакт-диск с документацией, программой конфигурации и тестирования	1
Переходной кабель для подключения антенны (RPSMA – U.FL)	1

необходимо выполнение следующих условий:

- Все модули сети работают с управлением AT-командами;
- Координатор включен и сеть сформирована;
- Все узлы сети (роутеры) включены и успешно присоединились к сети;
- Передающий узел знает 64-битный адрес узла-получателя.

Формально, запуск ZigBee-сети должен включать в себя следующий набор событий:

Запуск Координатора

1. Определите список рабочих каналов и PAN ID с помощью команды SC (Scan Channels) и команды ID (PAN ID). По умолчанию, значение параметра SD (Scan Duration) должно быть достаточно. Если эти значения изменены, то их необходимо сохранить в энергонезависимой памяти с помощью команды WR (Write).

2. Если с помощью параметра D5 (DIO5 Configuration) активирован светодиод индикации, он будет мигать раз в секунду после запуска Координатора. Если активирован режим управления с помощью API-фреймов (параметр AP > 0): статус режима API «Координатор стартовал» отсылается из UART.

3. Параметр AI (Association Indication) будет установлен 0, что означает успешный запуск.

4. Параметр MY (16-битный адрес источника) равен 0 (16-битный сетевой адрес ZigBee Координатора).

5. После запуска, Координатор позволит присоединение к сети в течении времени NJ (Node Join Time).

6. Рекомендуется настроить в Координаторе строковый идентификатор NI (NI-строку). Эта NI-строка должна быть сохранена в постоянной памяти с помощью команды WR (Write).

Добавление дочернего устройства (Роутера)

1. Определите список рабочих каналов (SC) и желаемый PAN ID для присоединения к сети (ID) (0xFFFF – для любой сети). По умолчанию, значение параметра SD (Scan Duration) должно быть достаточно. Если эти значения изменяются со значений по умолчанию, их необходимо сохранить в постоянной памяти с помощью команды WR (Write).

2. После включения Роутер попытается найти родительское устройство для присоединения на основе его параметров SC и ID.

3. Как только Роутер присоединился к родительскому устройству, Ассоциированный LED (если

активирован (D5)), начнет мигать 2 раза в секунду. Параметры ID и CH будут содержать рабочий PAN ID и текущий канал. Параметр MY будет содержать 16-битный сетевой адрес Роутера. Команда MP возвратит 16-битный сетевой адрес родительского устройства Роутера (узла, к которому он присоединился). Если активирован API (параметр AP > 0): статус режима API «Присоединен» отсылается из UART.

4. Если Роутер не присоединился надлежащим образом, параметр AI (Association Indication) может быть считан для определения причины ошибки. Для устранения ошибки необходимо проверить, что PAN содержит Координатор или Роутер с соответствующим каналом (SC, CH) и разрешает узлам присоединяться к сети (параметр NJ).

5. Как только Роутер присоединился к PAN, Роутер позволит присоединение другим устройствам на основе параметра NJ.

6. Рекомендуется настроить в Роутере NI-строку. Эта NI-строка должна быть сохранена в посто-

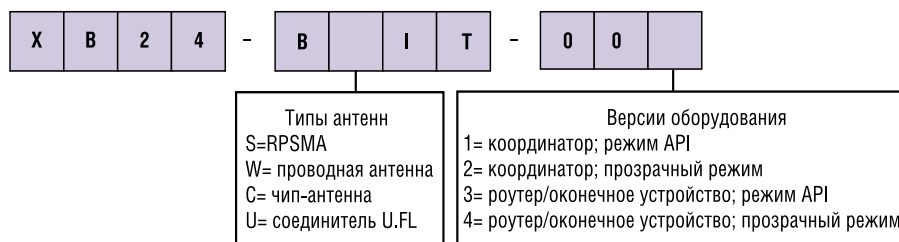


Рис. 2. Кодировка наименования модулей XBee Series 2



Рис. 3. Отладочный комплект

янной памяти с помощью команды WR (Write).

Подавляющее большинство настроек модулей уже выполнено для простого запуска ZigBee-сети, если речь идет о модулях, входящих в состав отладочного комплекта. Для развертывания простейшей сети ZigBee на базе отладочного комплекта XB24-BPDK достаточно проделать следующие действия:

1. Установите на ПК USB драйвер и программу X-CTU с приложенного CD-диска или с сайта MaxStream (<http://www.maxstream.net/support/downloads.php>)

2. Установите модули на переходные платы, подключите антенны

3. Подключите одну USB-переходную плату к ПК. Запустите программу X-CTU и, при необходимости, обновите FW модулей,

что бы у вас был 1 координатор и 4 роутера с управлением AT-командами.

4. С помощью закладки Modem Configuration присвойте простой строковый идентификатор (NI) каждому модулю, например 1, 2, 3, 4, 5. Сохраните измененные параметры кнопкой «Write» в энергонезависимую память каждого модуля.

5. Перейдите в режим Terminal, нажмите на клавиатуре три раза «+» (без паузы). После того, как модуль ответит «OK», введите с клавиатуры ATNR0 и нажмите «Enter». Эта команда сбрасывает сетевые настройки модуля. *Это необязательный пункт, но он может понадобиться, если в роутерах сохранены старые сетевые настройки.*

6. Подключите координатор к ПК. Запустите программу X-CTU. На плате координатора начнет мигать светодиод с периодом

один раз в секунду. Такая индикация означает успешный старт Координатора.

7. Поставьте красную заглушку на одну из переходных плат RS-232, например на которую установлен роутер с NI = «2».

8. Последовательно подайте питание на все роутеры (4 шт.). При возможности, подключите вторую USB-переходную плату с одним из установленных роутеров ко второму ПК (лучше, если это будет ноутбук). При успешном присоединении к сети на каждой плате роутеров будет 2 раза в секунду мигать светодиод.

9. Подайте команду (закладка Terminal) ATND на любой из плат, подключенных к ПК. Координатор будет опрашивать вашу сеть и через 6 секунд вы увидите список узлов с их 64-битными адресами и строковыми идентификаторами.

10. По образцу п. 5 подайте команду ATDN2. Тем самым будет проложен маршрут к роутеру «2». Перейдите на закладку Range Test, нажмите кнопку Advanced и увеличьте параметр Data Receive Timeout до 5000. Это может оказаться полезным, в случае если сеть сама будет перепрокладывать маршрут.

11. Запустите Range Test кнопкой Start. Если все сделано правильно, вы увидите возвращенные от роутера «2» пакеты. Естественно, для проведения теста не обязательно, что бы между координатором и нашим роутером «2», была прямая радиовидимость, информация может ретранслироваться другими узлами.

Список литературы

[1] Новости Электроники, №2, 2006, стр. 15-20

[2] Новости Электроники, №2, 2007, стр. 25-27

[3] Спецификация ZigBee-2006 (ZigBee-Specification-2006-Download.pdf, сайт www.zigbee.org)

[4] <http://en.wikipedia.org/wiki/AODV>



Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: wireless.vesti@compel.ru