

# Кирпичики для построения сети ZigBee:

## трансиверы стандарта 802.15.4, трансиверы, микромодули и программные реализации стека

Олег ПУШКАРЕВ  
wireless-202@a.compel.ru

**В статье дается обзор выпускаемых сегодня микросхем-трансиверов стандарта 802.15.4, интегрированных модулей, программного обеспечения и отладочных средств.**

Новый стандарт ZigBee у всех на слуху. Не проходит и месяца, чтобы не появился очередной пресс-релиз о появлении микросхем, модулей или программных продуктов, так или иначе связанных с ZigBee. Как известно, ZigBee опирается на стандарт 802.15.4, который описывает физическую среду передачи сигнала (PHY уровень) и способы доступа к ней (MAC уровень). Другими словами, стандарт 802.15.4 оговаривает следующие параметры радиосети: диапазон частот, тип модуляции, структуру пакетов, правила формирования контрольной суммы, способы предотвращения коллизий и т. д. Все эти характеристики, в большей или меньшей степени, реализуются в микросхеме приемопередатчика (трансивера). Трансиверы, отвечающие стандарту 802.15.4, могут использоваться как самостоятельные устройства, если разработчику нужно организовать связь типа точка-точка или звезда. Для реализации полноценной сети ZigBee необходимо добавить микроконтроллер, в который должен быть загружен набор управляющих программ, так называемый стек протоколов ZigBee. К управляющему контроллеру выдвигаются определенные требования — память программ должна быть не менее 64 кбайт, если устройство будет исполнять роль координатора, а для окончного устройства достаточно 4 кбайт программной памяти.

### Аппаратные средства

Сегодня трансиверы стандарта 802.15.4 выпускает не так уж много производителей (табл. 1). Все они работают в диапазоне частот от 2400 до

2483 МГц, имеют 16 каналов передачи с шагом 5 МГц, обеспечивают скорость 250 кбит/сек и используют расширение спектра кодовой последовательностью. В таблицу не попал трансивер 86RF210 от Atmel и ZMD44101 от ZMD Group, т. к. они работают только в диапазоне 868/915 МГц.

Freescale и Chipcon — безусловные лидеры в производстве приемопередатчиков стандарта 802.15.4. Они регулярно объявляют о новых разработках в этой области. Chipcon уже успел продать более 1 млн своих чипов. Компания Ember лицензировала свой чип EM2420 у компании Chipcon. Это «брат-близнец» трансивера CC2420. Ember ориентирован на продажу своих чипов OEM-производителям аппаратуры в совокупности со своими программными наработками — стеками EmberNet, EmberZNet, EmberZNet v2. Одна из первых реально работающих сетей 802.15.4 развернута в Корее — это система сбора показаний бытовых счетчиков электроэнергии. В данной сети из 250 узлов используются чипы и стек от Ember. Jennic позиционирует себя как первого производителя интегрированного ZigBee чипа (трансивер и управляющий микроконтроллер в одном корпусе). Об этом чипе довольно мало информации, хотя UBEC и является членом ZigBee альянса. Трансивер UBEC uz2400 анонсирован в сентябре 2004 года, а в сентябре 2005 года Microchip объявила, что его версия стека ZigBee будет поддерживать эту микросхему. Что же касается чипа ML7065, то в действительности это совместная разработка с компанией ComX, которая представляла ранее его как CX1540. Компания ComX разработала также отладочные средства для этого трансивера. Документацию по чипу CX1540 еще можно найти в Интернете, однако сайт ComX уже не доступен, т. к. фирма ComX была приобретена компанией Integration Associates (fabless компания из Силиконовой долины, член альянса ZigBee).

Рассмотрим краткие технические характеристики трансиверов.

### MC13192

Рекомендованное напряжение питания от 2.0 до 3.4 В; три режима энергосбережения: < 1 мкА в состоянии Off, 3.0 мкА в режиме Hibernate, 40 мкА в режиме Doze; чувствительность приемника -91 дБм (типичное) при 1.0% ошибок передачи пакетов; выходная мощность передатчика

Т а б л и ц а 1. Трансиверы стандарта 802.15.4

	Freescale	Chipcon	Ember	Jennic	UBEC	OKI (ComX)
Трансивер	MC13192	CC2420	EM2420	JN5121	uz2400	ML7065 (CX1540)
Корпус	QFN32 EP 5SQ*1	QLP48 7×7 мм <sup>2</sup>	QLP48 7×7 мм <sup>2</sup>	QFN56 выводной 8×8 мм <sup>2</sup>	QFN40 без-выводной 6×6 мм <sup>2</sup>	VQFN48 7×7 мм <sup>2</sup>
Отладочные средства	Стартовый набор разработчика \$299	SmartRF@CC2420DK Набор разработчика \$540	Набор разработчика \$13950	Оценочный набор \$499	Нет данных	CX1540 Оценочный набор

от 0 дБм (типовая) до 3,6 дБм (максимальная); буферы приема и передачи для упрощения программы управляющего микроконтроллера, четыре внутренних таймера для упрощения программы управляющего микроконтроллера; управление через SPI с частотой до 10 МГц; выход тактового сигнала; семь линий ввода/вывода; температурный диапазон от -40 до 85 °С.

## CC2420

Напряжение питания 2,1...3,6 В; ток потребления приемника 18,8 мА, передатчика 17,4 мА (8,5 мА при снижении выходной мощности до -24 дБм); программируемая выходная мощность — 8 ступеней; формирование пакетов до 128 байт с применением входного и выходного буферов; измерение силы принимаемого сигнала (RSSI); аппаратная шифрация и аутентификация (AES-128); встроенный монитор батареи; не требуется внешний антенный фильтр или коммутатор; полностью IEEE 802.15.4/ZigBee™-совместимый трансивер с поддержкой протокола MAC; подходит для реализации любых узлов сети: FFDs (Full Function Devices) и RFDs (Reduced Function Devices)

## EM2420

Напряжение питания 2,0...3,6 В при использовании встроенного регулятора напряжения или 1,6...2,0 В от внешнего стабилизированного источника; потребление энергии 30 мВт в работе и менее 1 мкА в спящем режиме; чувствительность приемника -90 дБм при 1% ошибок передачи пакетов емкостью 20 байт; выходная мощность передатчика — 0 дБм, возможно снижение мощности до -24 дБм (8 ступеней); дальность связи 75 м при прямой видимости; встроенные функции — CRC и AES-128 шифрование; полная буферизация пакетов при приеме и отправке; управление через SPI с частотой до 10 МГц; встроенный антенный коммутатор; температурный диапазон от -40 до +85 °С.

## JN5121

### Чип со встроенным микроконтроллером

#### Параметры трансивера:

Напряжение питания от 2,2 до 3,6 В; встроенный монитор питания и режим снижения энергопотребления; ток потребления в спящем режиме менее 5 мкА; потребление в режиме приема менее 50 мА, в режиме передачи менее 40 мА; чувствительность приемника -93 дБм; выходная мощность +1 дБм; стоимость внешних компонентов менее \$1.

#### Параметры

#### встроенного микроконтроллера:

- 16 МГц 32-битный RISC-процессор, оптимизированный по потреблению (3MIPS/мА);
- 96 кбит RAM для программ, данных и таблиц;
- 64 кбит ROM для программного кода;
- 4 входа 12-битного АЦП, 2 выхода 11-битного ЦАП, 2 компаратора, датчик температуры;
- 2 таймера-счетчика для применения в пользовательских целях; 3 системных таймера;
- 2 интерфейса UART (один для отладочных целей);
- Интерфейс SPI;
- Двухпроводный последовательный интерфейс I<sup>2</sup>C;
- 21 вывод ввода/вывода общего назначения.

## uz2400

Чувствительность приемника -95 дБм; выходная мощность 0 дБм, может программно снижаться до -31 дБм; дифференциальный V<sub>Ч</sub> вход и выход; встроенные таймеры 20 МГц и 100 кГц; выход частоты 20 МГц для тактирования внешнего микроконтроллера; встроенный АЦП разрешением 8 бит и двойной ЦАП разрешением 4 бит; есть режим энергосбережения; ток потребления в спящем режиме 5 мкА; напряжение питания ядра 1,8 В; для линий ввода-вывода требуется напряжение питания 3,3 В; для производства используется технология 0,18 мкм.

## ML 7065 (CX1540)

Напряжение питания от 2,4 до 3 В; выходная мощность 1 мВт; чувствительность приемника -90 дБм; потребление передатчика 56 мА, потребление приемника 57 мА; потребление в режиме сна менее 2 мкА; управление по интерфейсу SPI; три режима энергосбережения — Idle, Sleep и Suspend; температурный диапазон от -25 до +70 °С; используется технология 0,22 мкм.

У всех трансиверов поддержка уровня MAC включает в себя следующие возможности:

- Автоматическая генерация преамбулы
- Вставка/обнаружение синхрослова
- Формирование и проверка контрольной суммы CRC-16
- Оценка занятости канала перед передачей
- Цифровой измеритель уровня принимаемого сигнала (RSSI)
- Индикатор качества радиолинии
- Встроенные процедуры обеспечения безопасности

Несмотря на то, что все трансиверы отвечают требованиям стандарта 802.15.4, изделия разных производителей имеют некоторые отличия и могут интегрировать в себе разный уровень MAC протокола. В связи с этим невозможна прямая замена одного трансивера на чип другого бренда. В этом плане разработчика ожидает более простая жизнь при создании ZigBee «систем на кристалле» (SoC), когда и трансивер, и управляющий микроконтроллер будут реализованы в едином чипе. Данные решения уже анонсированы производителями. У Jennic это чип JN5121 (8051-совместимый микроконтроллер), Ember — EM260 (16-битный XAP-2 микропроцессор), Freescale анонсировала MC1321x1 (HCS08), Chipcon готовится завоевывать рынок с помощью CC2430 (8051-совместимый микроконтроллер). Не все из этих SoC-чипов реально доступны для заказа, но направление движения определено, и массовый выпуск ZigBee устройств будет опираться именно на такие интегрированные решения.

## Модули ZigBee

Пока ZigBee «системы на кристалле» существуют в виде пресс-релизов и опытных образцов, на рынке безраздельно властвуют ZigBee-модули (табл. 2). Это небольшие платы (3...5 см<sup>2</sup>), на которых установлен чип трансивера, управляющий микроконтроллер и необходимые дискретные элементы. В управляющий микроконтроллер, в зависимости от желания и возможностей производителя, закладывается либо полный стек протоколов ZigBee, либо иная программа, реализующая возможность простой связи между однотипными модулями. В последнем случае модули именуются

ZigBee-готовыми (ZigBee-ready) или ZigBee-совместимыми (ZigBee-compliant). Все модули очень просты в применении — они содержат широко распространенные интерфейсы (UART, SPI) и управляются с помощью небольшого набора несложных команд. Некоторые производители, например американская компания MaxStream, предоставляют подробнейшую документацию по своим модулям, которая включает в себя как информацию по применению, так и вспомогательные программы для ПК, причем уровень подачи отдельных материалов позволяет работать с ZigBee-модулями даже школьнику!

## Отладочные комплекты

Отладочный комплект включает в себя все необходимое для организации связи точка-точка либо небольшой сети. С помощью такого комплекта удобно отлаживать как собственную систему передачи данных, так и знакомиться с работой сети на основе стека протоколов ZigBee. Каждый производитель трансиверов 802.15.4 выпускает свой комплект разработчика. Без применения этого комплекта разработчику довольно проблематично начать работу с микросхемой — в силу малого размера ее невозможно распаять «на коленке», как минимум необходимо заказывать печатную плату, желательно с рекомендованной топологией производителя чипа (рис. 1).

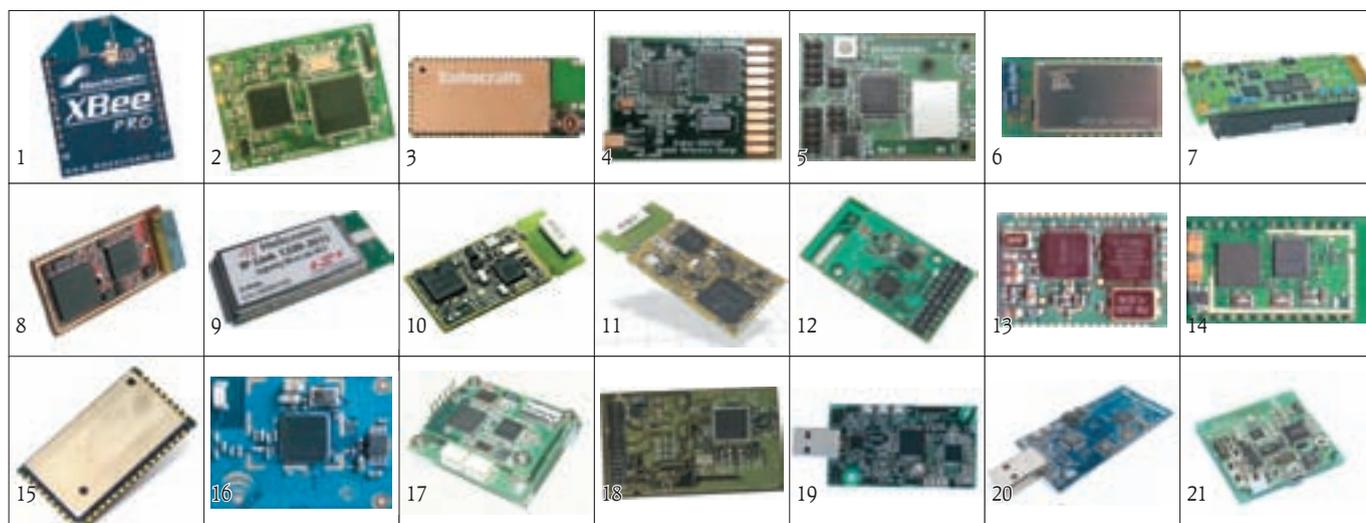


Рис. 1. Примеры монтажа трансивера CC2420 на переходную плату для отладочных целей

Более удобно начинать работу с модулем ZigBee. Очень прост в применении модуль XBee от MaxStream — он имеет стандартные штырьковые разъемы с шагом 2 мм. Кроме трансивера MC13193 модуль XBee содержит управляющий микроконтроллер, благодаря которому передача данных по радиоканалу приравнивается для разработчика к передаче данных по стандартному последовательному интерфейсу. Компания бесплатно распространяет программу для программирования модулей и проверки дальности связи. Для выполнения теста дальности один модуль подключается к ПК, а на удаленный модуль ставится заглушка, соединяющая выход и вход UART. На экране ПК можно наблюдать индикатор силы принимаемого сигнала (рис. 2). MaxStream выпускает законченный отладочный комплект «XBee™/XBee-PRO™ OEM Development Kit» который включает в себя CD с программным обеспечением, 5 модулей XBee™ и XBee-PRO™, антенны, все необходимые переходники

Таблица 2. ZigBee-модули

	Компания	Трансивер	Контроллер	Дальность	Питание	Порты ввода-вывода	Примечания
1	MaxStream Xbee-PRO	MC13193	HCS08	1,6 км	2,8...3,4 В	UART, GPIO, АЦП	Готовы к применению «из коробки», управление AT-командами, есть ZigBee модемы для системных интеграторов.
2	Cirronet ZMN-2400	CC2420	ATMega	Нет данных	2,7...5,5 В	SPI GPIO; 10-бит АЦП; PWM; UART	Встроенный стек. Допускает загрузку программ разработчика
3	Radiocraft RC2200	CC2420	ATMega32L	100 м	2,7...3,6 В	UART, GPIO цифровые и аналоговые	Имеется стек ZigBee от AirBee
4	Ember Reference module	EM2420	Atmega128L	75 м	3,3 В	UART	Для изучения стека ZigBee от Ember
5	Panasonic PAN802154HAR00	MC13193	MC9S08GT60CFB	Нет данных	2,2...3,4 В	RS-232; 2 Аналоговые входы 10-бит АЦП; GPIO	Лицензирован для использования всех стеков от Freescale
6	Telegesis ETRX1	EM2420	Atmega128L	Нет данных	2,7...3,6 В	UART, 8 general-purpose I/O lines and 2 analogue inputs	Использует стек от Ember; управление AT-командами.
7	Luxoft Labs/ MeshNetics MeshBean	Chipcon CC2420	Atmel ATMega 128L	Нет данных	1,8...3,0 В (питание от батарей); 5 В +/- 5% (внешнее питание)	USB1.1/2.0; RS-232C, I2C; SPI; UART	Универсальный кирпичик для построения ZigBee-сети.
8	Luxoft Labs / MeshNetics ZigBee Drop-In Module	Chipcon CC2420	TI MSP430	Нет данных	1,8...4,5 В	UART/SPI/I2C; GPIO, АЦП	Базовый модуль для построения ZigBee-совместимых устройств.
9	Helicomm IP_Link	Нет данных	8051-based F121	400 м	3 В	2 RS232, SMB, C2	Используется собственная версия стека.
10	SenTec Zebra	MC13193	MC9S08GT60	500 м	2,0...3,4 В	SCI, I <sup>2</sup> C, GPIO, АЦП	Поставляются с SMAC протоколом. ZigBee-стек — выборочно.
11	Falcom M-ZigBee	MC13192	MC9S08GT60	300 м	3,3 В	GPIO, UART, I2C	Версия с усилителем — до 3 км.
12	Tecnova ZigRay	MC13193	MC9S08GT60)	Нет данных	2,5...3,0 В	TTL serial 19.2, 4 10-битный АЦП; GPIO	Выходная мощность передатчика 15 мВт.
13	EaziX EZZBM01	CC2420	ATMega32L	Нет данных	3,3 В	UART, GPIO, SPI	Есть прошивки для беспроводного UART и пульта ДУ. Управление AT-командами.
14	FlexiPanel PICZee	CC2420	PIC18LF6720	Нет данных	2,1...3,6 В	GPIO; 8-канальный 10-битный АЦП; UART; SPI	Бесплатный стек от Microchip
15	OneRF Technology TinyOne	CC2420	Freescale	75 м	2,2...3,6 В	RS232	Есть USB-версия.
16	IWTwireless AXON	Chipcon	MSP430	Нет данных	3,3...6 В	UART; GPIO; 12-битный АЦП; SPI	Есть собственный стек Synatrix™.
17	Korwin KW-ZM-2420	CC2420	ATMEGA128L	Нет данных	Нет данных	UART; GPIO; АЦП; JTAG	Выпускают также анализатор радиопотокола ZigBee
18	Linköping University RF+MCU module	CC2420	ATMEGA128L	180 м	2,7...10 В	USART; SPI; I2C; JTAG; GPIO; 10-битный АЦП	Диссертация Johan Lönn, Jonass Olson
19	Craftlon C701	CC2420	MSP430	100 м	3 В	JTAG; GPIO; 12-битный АЦП	Используется смена каналов при наличии помех. Батарейное питание.
20	Moteiv TMoteSky	CC2420	MSP430	125 м	2,1...3,6 В	JTAG; GPIO; 12-битный АЦП; USB; UART; I2C	На плате установлена флэш-память 1 Мбайт
21	NEC ZigBee™-ready Wireless Network Evaluation Board	CC2420	NEC78K0/KF1+	Нет данных	5 В	GPIO; АЦП; USB	Входит в демонстрационный комплект RELEASE-IT



и кабели. Стоимость отладочного комплекта около \$300. С целью экономии бюджета разработчик может ограничиться приобретением только двух модулей (в сумме около \$50) — для подключения к ПК можно использовать простейший согласователь уровней на микросхеме MAX232. Для подключения модуля к собственному микроконтроллеру достаточно задействовать 4 линии — 2 линии питания и линии приема-передачи UART. Модули поставляются полностью готовыми для «прозрачной» передачи данных со скоростью 9600 бод без какого-либо дополнительного программирования.

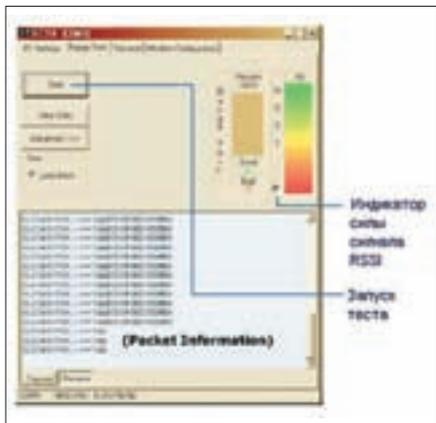


Рис. 2. Измерение дальности связи для модулей XBee компании MaxStream

Компания SoftVaugh выпускает отладочную плату DZ1612 с процессором MSP430 и трансивером CC2420 (рис. 3).

В комплекте поставки идет программное обеспечение от компании AirBee (Airbee-ZNS Lite Version T12.03), которое позволяет построить сеть ZigBee из 4 узлов. Тестовая программа позволяет сформировать сеть (обнаружение и связывание 4 устройств) и организовать эстафетную передачу, когда два узла сети находятся вне зоны действия друг друга и передача пакетов осуществляется через промежуточный роутер (рис. 4а). Стек протоколов также поддерживает процедуру самовосстановления сети. Даже если

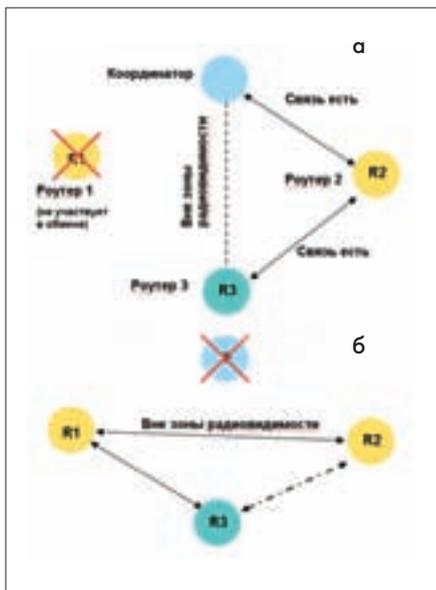


Рис. 4. Передача пакетов через промежуточный роутер и режим самовосстановления сети

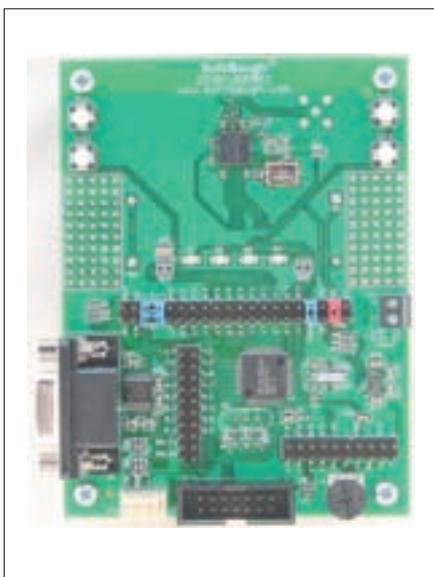


Рис. 3. Отладочная плата DZ1612 с микроконтроллером MSP430 и трансивером CC2420

отключить питание координатора, пакеты все равно будут доставлены адресату через другие роутеры (рис. 4б).

Отладочный модуль MC13192DSK компании Freescale (рис. 5) представляет собой две законченные платы с интерфейсом RS-232 и установленным измерителем ускорения (микросхемы MMA6261Q и MA1260D). Плата позволяет строить беспроводные сетевые решения, совместимые со стандартом IEEE® 802.15.4. В состав набора входит документация и программное обеспечение для быстрой разработки собственных беспроводных сетей передачи данных. Программное обеспечение позволяет выполнить следующие демонстрационные операции: проверка дальности связи и оценка количества ошибок (Packet Error Rate), беспроводной UART, акселерометр, управление освещением.

На базе модулей MC13192DSK энтузиастами создан ряд забавных практических разработок. Например, усилитель низкой частоты с пультом дистанционного управления. В этом бы не было ничего необычного, если только не учитывать тот факт, что для изменения громкости достаточно взмахнуть пультом в воздухе. Данные об ускорении передаются платой MC13192DSK в усилитель и используются для регулировки

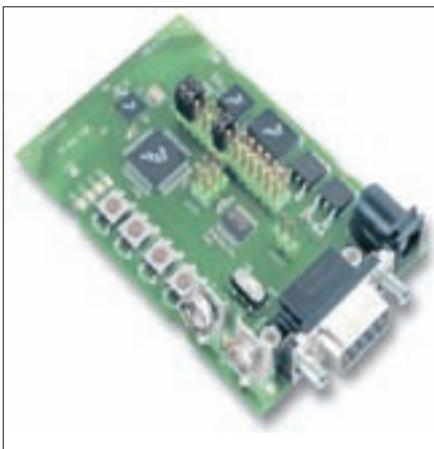


Рис. 5. Отладочный модуль MC13192DSK компании Freescale

звука. Другая разработка — беспроводная система авторизации. Для получения доступа пользователю достаточно «расписаться» рукой в воздухе (рис 6).

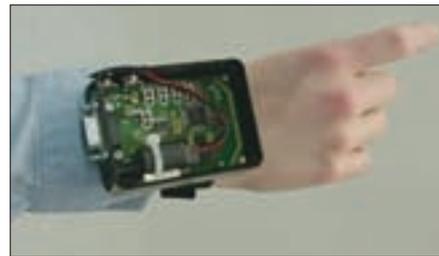


Рис. 6. «Невидимая подпись» на базе MC13192DSK

Программное обеспечение ZBDemo, входящее в комплект разработчика от компании Cirronet (рис. 7) позволяет организовать сеть из координатора и от одного до четырех роутеров. Плата



Рис. 7. Комплект разработчика от компании Cirronet

координатора подключается к ПК и самостоятельно обнаруживает находящиеся в зоне его действия роутеры. После обнаружения координатор выводит на экран MAC-адрес каждого обнаруженного модуля и может передавать и принимать сообщения с использованием этого адреса. Разработчик может менять программное обеспечение входящих в комплект модулей. Cirronet предоставляет пользователю API к запрограммированному в модуль стеку протоколов. Для доступа к ресурсам модуля используется профиль Cirronet Standard Module (CSM). Управление идет через UART интерфейс помощью набора команд записи-чтения регистров во внутренней памяти модуля (кластеров). API пользователя поддерживает следующие группы функций: организация сети, обнаружение устройств, конфигурация модуля, передачи и прием данных, обслуживание линий ввода-вывода модуля. Отличительной особенностью комплекта является то, что модули имеют выходную мощность до 100 мВт, что позволяет строить сети даже для сложных промышленных применений. Стоимость комплекта порядка \$400.

Microchip разработала собственную версию протоколов для построения беспроводной сети на базе микроконтроллера семейства PIC18F и трансивера CC2420. Отладочный комплект PICDEM Z 2.4 GHz Demonstration Kit (рис. 8) позволяет изучить следующие возможности стека от Microchip: организация сети типа «звезда», процедуру связывания устройств, работу оконечного устройства с минимизацией энергопотребления, дистанционное управление (кнопка-светодиод). Все программы поставляются в исходных кодах на языке C и могут использоваться разработчиком в собственных изделиях без лицензионных отчислений. Описанный

в Application Note AN965 набор программ устарел и не является полностью ZigBee-совместимым, но в архиве, доступном для скачивания с сайта [www.microchip.com](http://www.microchip.com), содержится намного более функциональная версия ПО. Ориентировочная цена комплекта \$250.

Комплект разработчика Ember Developer Kit 9 (рис. 9) включает в себя все необходимое для быстрого развертывания беспроводной сети и проверки работы собственной разработки Ember. CD с программным обеспечением, отладочные средства и 12 собранных плат обойдутся разработчику в солидную сумму — \$13 950.

Компанией Luxoft Labs/Meshnetics создан модульный отладочный ZigBee комплект (ZDK) предназначенный для дизайна оптимизированных беспроводных систем. ZDK представляет собой полный набор компонент и программного обеспечения, необходимых для создания функциональных приложений. Расширяемая аппаратная архитектура на базе Meshnetics CUBE (рис. 10) предоставляет необходимую гибкость при выборе различных комбинаций микроконтроллеров, приемно-передающих устройств и датчиков. Пакет программного обеспечения ZigBee включает базовые сетевые решения стандарта IEEE 802.15.4, поддерживающие звездообразные и ветвистые Mesh-топологии а также ZigBee-совместимые программные интерфейсы (API), облегчающие создание приложений. Luxoft Labs/Meshnetics предлагает также отладочные ZigBee-комплекты, основанные на модуле MeshBean (табл. 2).

### Программные решения стека ZigBee

Когда вы последний раз писали собственный стек протоколов Ethernet? Скорей всего, никогда. То же самое верно и для ZigBee. Производители чипов и независимые компании-разработчики предлагают свои стеки протоколов для построения полнофункциональных сетей ZigBee. Кроме ZigBee-совместимых решений на рынке имеется много собственных (proprietary) разработок, которые позволяют строить сети 802.15.4 с довольно сложной топологией. Стеки ZigBee сегодня написаны для многих популярных микроконтроллеров: MSP430, ATmega, HCS08 и других.

Некоторые производители стека ZigBee ориентированы на продажу своих разработок только производителям чипов или модулей и не работают с конечными потребителями напрямую.

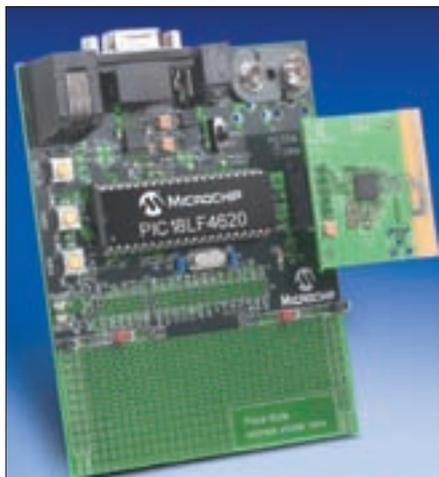


Рис. 8. Комплект разработчика от компании Microchip

Т а б л и ц а 3. Производители стеков протоколов для построения беспроводных сетей 802.15.4

Разработчик	Продукт	Примечание
Airbee	Airbee-ZNS™, Airbee-ZNMS™	Независимый разработчик стека для контроллеров MSP430, ATmega, HCS08.
Luxoft Labs (Meshnetics)	eZeeNet, ZigBeeNet	Поддержка Chipcon, Jennic, MSP430, Atmega, Renesas, ARM7
Chipcon	Z-Stack	Разработчиком стека является компания Figure 8 Wireless (приобретена компанией Chipcon в январе 2005 года).
Figure 8 Wireless	Z-Stack, Z-Tool	Для трансиверов CC2420 и MC13192.
Ember	EmberNet, EmberZNet, EmberZNet v2.0	EmberNet — собственное решение, EmberZNet, EmberZNet — ZigBee стек. Ориентированы на чипы EM2420 собственной разработки.
Freescale	MAC 802.15.4	Нижний уровень протокола для трансиверов MC1319X.
Microchip	Microchip Stack for the ZigBee™ Protocol	Процессор PIC18F. Для CC2420 и uz2400. Версия 3.3 поддерживает 254 узла сети.
Helicomm	Helicomm's ZigBee stack, IEEE 802.15.4 MAC, IPv6 Mesh Stack	Стеки ориентированы на ZigBee модули собственной разработки на основе 8051-совместимого процессора.
Innovative Wireless Technologies	IWT's Synaptrix™	Собственные стеки для своих модулей AXON™ module IEEE 802.15.4 (MSP430)

После выпуска ZigBee систем на кристалле, последние, по-видимому, будут поставляться с уже загруженным стеком ZigBee и стоимость ПО будет включена в стоимость чипа. В таблице 3

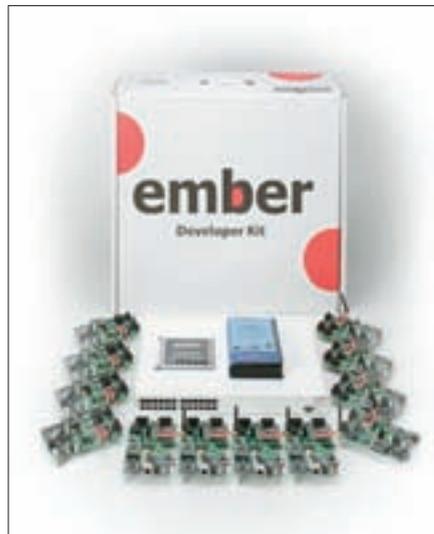


Рис. 9. Комплект разработчика от компании Ember



Рис. 10. Комплект разработчика на базе Meshnetics CUBE компании Luxoft Labs/Meshnetics

приведен список разработчиков стеков ZigBee. Уровень цен на законченные стеки ZigBee-протокола лежат в диапазоне \$5000...25 000. Таких существенных затрат можно избежать, если разработчик планирует строить собственную беспроводную систему, опираясь только на стандарт 802.15.4 без использования полного стека протоколов ZigBee. Необходимое для этого программное обеспечение нижнего уровня предоставляется бесплатно практически всеми производителями чипов или модулей. Еще один вариант оплаты за ZigBee-стек — это отчисления с каждого проданного конечного устройства, использующего стек. По экспертным оценкам размер отчислений при таком подходе может составить \$0,2...1 на устройство, что на текущий момент составляет где-то от 5 до 20% от стоимости «железной» части оконечного узла ZigBee.

При построении большой сети (десяtkи узлов) невозможно обойтись без управляющей программы, которая отображает структуру сети, позволяет менять параметры работы, показывает неисправные узлы и т.д. Как правило, для таких целей используется отдельный компьютер со стандартной операционной системой Windows. Управляющая программа имеет простой и наглядный графический интерфейс, позволяющий видеть топологию сети в реальном времени, содержимое пакетов от конкретного узла и другую информацию. Если постоянный мониторинг ZigBee сети не требуется, то управляющая программа может запускаться обслуживающим специалистом на ноутбуке или даже PDA только для проверки функционирования или при изменении конфигурации сети. **Б**

Компания Texas Instruments (TI) объявила о приобретении компании Chipcon — ведущего производителя беспроводных устройств радиочастотной передачи данных. Поглощение Chipcon упрочит позиции компании в сегменте ZigBee™. Таким образом, на рынке ZigBee решений появляется новый, очень мощный игрок. Приобретение Chipcon обойдется TI примерно в \$200 млн, завершить сделку планировалось в январе 2006 года.