

СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ZigBee

ОБЗОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

М.Шейкин max.shaking@yandex.ru

В современных системах управления и сбора данных все чаще используются беспроводные технологии. Появившийся менее 10 лет назад стандарт ZigBee был ориентирован прежде всего на промышленное применение. Однако в последнее время недорогие и экономичные сетевые устройства ZigBee применяются в самых разных областях. Ведущие фирмы-производители электронного оборудования предлагают различные решения для разработки аппаратуры, работающей в сетях ZigBee.

ЧТО ТАКОЕ ZigBee

Протокол ZigBee определяет правила работы аппаратно-программных комплексов, с помощью которых организуется беспроводный информационный обмен. Нижние уровни протокола, определяющие физические параметры передатчика, методы проверки качества связи и организации передачи пакетов в сети, основаны на стандарте IEEE 802.15.4-2006 (рис.1, табл.1).

Одно из важных свойств сетей ZigBee – возможность организации сложных децентрализованных ad-hoc (образованных случайными абонентами) структур. В таких сетях каждый узел напрямую связан с несколькими другими узлами (топология mesh). Эти связи могут обновляться и оптимизироваться при отключении устройств от сети или при появлении новых. Динамическая структура сети позволяет быстро устранять аварии, прокладывая новые пути передачи данных в обход сбойного участка. 16-битная адресация дает возможность использовать больше 65 тыс. узлов, хотя в реальности при количестве узлов >300 из-за возрастания служебного трафика пропускная способность сети падает до неприемлемого уровня. Тем не менее, гибкая топология сети позволяет



Рис.1. Структура протокола ZigBee

Таблица 1. Спецификация стандарта 802.15.4

Скорость передачи данных	250 Кбит/с
Частотный диапазон*	2,405–2,480 ГГц
Число каналов	16
Шаг каналов	5 МГц
Дальность действия	>100 м на открытой местности

* Международный стандарт. В странах Европы также разрешено использовать диапазон 868 МГц, в Америке – 900 МГц.

покрывать достаточно большие площади, используя лишь маломощные устройства – как фиксированные, так и находящиеся на подвижных объектах.

В спецификации стека ZigBee предусмотрено три типа устройств: координатор, маршрутизатор и оконечное устройство. Координатор инициализирует сеть, управляет сетевыми узлами, хранит информацию о настройках каждого сетевого узла, задает номер частотного канала и идентификатор сети PAN ID, а в процессе работы может быть источником, приемником и ретранслятором сообщений. Маршрутизатор отвечает за выбор пути доставки сообщения, передаваемого по сети от одного узла к другому, и в процессе работы также может быть источником, приемником или ретранслятором сообщений. Оконечное устройство не участвует в управлении сетью и ретрансляции сообщений, являясь только источником или приемником сообщений.

Крайне низкое энергопотребление – одна из ключевых особенностей сетевых устройств ZigBee. Большую часть времени устройство проводит в режиме сна, включаясь лишь в моменты приема или передачи данных. Время выхода из спящего режима крайне мало – 15 мс или меньше, в отличие от, например, устройств Bluetooth, которым для этого может потребоваться несколько секунд. Экономичность устройств ZigBee позволяет им работать автономно с питанием от батарей в течение нескольких лет.

Протокол ZigBee – открытый, т.е. доступный любому желающему для некоммерческого использования. Право применения технологии ZigBee в коммерческих продуктах дает членство в альянсе ZigBee – организации, разрабатывающей и публикующей стандарты ZigBee. Альянс

ZigBee объединяет ведущих производителей радиокомпонентов и приборов, использующих эту технологию – Philips, STMicroelectronics, Texas Instruments, Freescale Semiconductors, Schneider Electric, Cisco, Atmel, Intel, Logitech, Huawei, AT&T и многих других.

МИКРОСХЕМЫ ZigBee И ПРИМЕРЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сегодня на рынке представлен достаточно широкий ассортимент микросхем и модулей ZigBee. Разработчик, желающий использовать эту технологию в собственных приборах, может выбрать один из нескольких схемотехнических методов реализации ZigBee и подобрать соответствующую элементную базу.

В качестве примера можно рассмотреть некое устройство управления или сбора информации, в котором имеется DSP-процессор или микроконтроллер. Если процессор не сильно загружен выполнением основной задачи, то можно использовать его и для обработки стека ZigBee. В этом случае для организации радиочастотного интерфейса нужно использовать радиочастотный модем (трансивер) 802.15.4, который выполняет функции приема и передачи радиосигнала и поддерживает лишь нижние уровни протокола ZigBee – 802.15.4. Обмен данными с микроконтроллером или процессором осуществляется по стандартному протоколу SPI (рис.2а).

Сравнительные характеристики некоторых имеющихся на рынке трансиверов приведены в табл.2. Все они обеспечивают поддержку сетей 802.15.4 как простых, так и сложных топологий. Увеличить выходную мощность передатчика до 14 дБм и чувствительность приемника на 6 дБ можно с помощью антенного усилителя Texas Instruments MC2590.

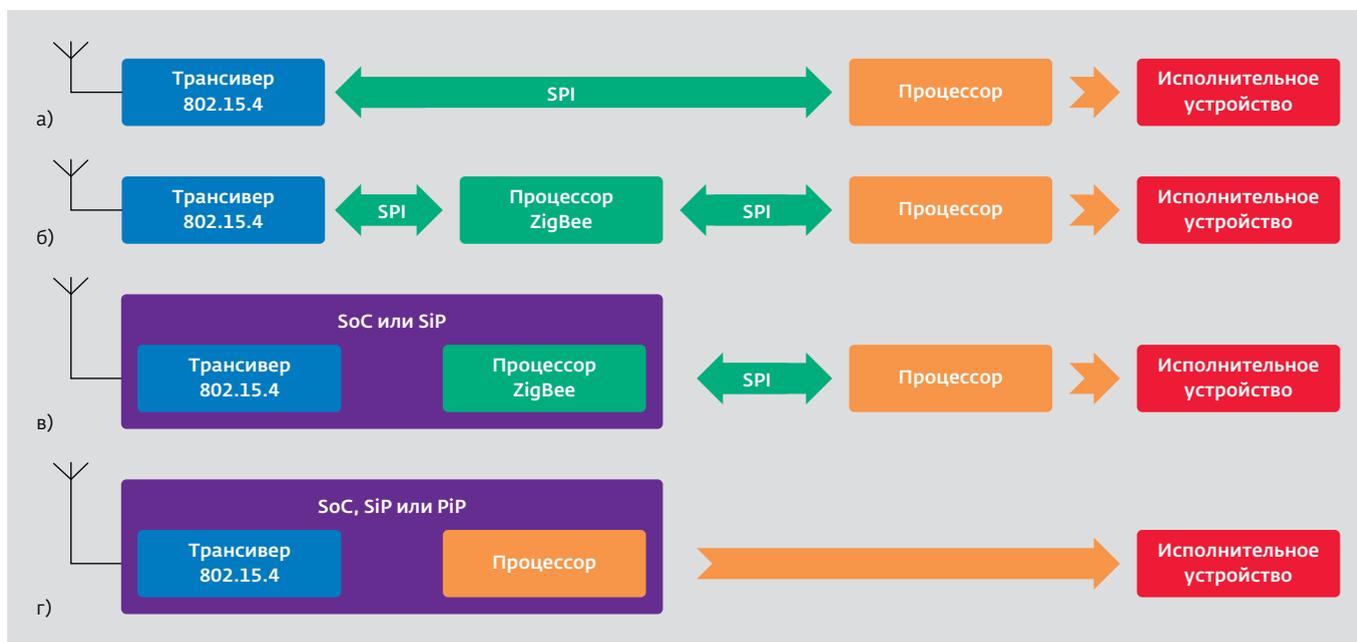


Рис.2. Варианты построения устройств с поддержкой ZigBee

Нужно отметить, что некоторые 2,4-ГГц трансиверы (например, Freescale MC 13201) несовместимы со стандартом 802.15.4 и не годятся для применения в устройствах ZigBee.

В случае, когда ресурсов основного процессора не хватает для обработки стека ZigBee, необходим отдельный микроконтроллер (рис.2б).

Можно решить эту задачу более компактно, используя микросхему, объединяющую радиочастотную часть и процессор, который обрабатывает стек ZigBee и, при необходимости, может выполнять иные задачи (рис.2в, г). Наиболее широко на рынке представлены системы на кристалле (System on chip, SoC) компании Freescale, в которых, помимо трансивера и микроконтроллера, могут присутствовать дополнительные

модули, расширяющие функциональность системы. Кроме микросхем SoC, Freescale также предлагает гибридный модуль (System in package, SiP) MC13213, представляющий собой кристаллы трансивера и микроконтроллера в едином корпусе.

Отдельно следует отметить ZigBee-сопроцессоры Ember EM260. Функционально они аналогичны рассмотренным выше микросхемам, но микроконтроллер в них жестко запрограммирован для обработки стека ZigBee. Такое решение избавляет разработчика от необходимости самостоятельного программирования стека, но не позволяет использовать встроенный микроконтроллер для пользовательских задач (рис.2в). Как и в прочих микросхемах этого типа,

Таблица 2. Характеристики некоторых трансиверов 802.15.4

Производитель	Analog Devices	Atmel	Freescale	TI	Pt
Название	ADF7241	AT86RF2331	MC13202	CC2420	CC2520
Напряжение питания, В	1,8..3,6	1,8..3,6	2,0..3,4	2,1..3,6	1,8..3,8
Ток в режиме ожидания, мкА*	1,7	0,02	1,0..35	20	30..175
Ток в режиме работы, мА*	16,5..25	12,3..14	37	8,5..18,8	18,5..33,6
Выходная мощность передатчика, дБм	-25..4,8	-17..3	-4..4	-25..0	-20..5
Чувствительность приемника, дБм	-95	-101	-92	-95	-98

* В зависимости от режима работы.

Таблица 3. Характеристики ZigBee-процессоров

Производитель	Freescale		TI	Ember	
Обозначение	MC13213	MC13224/26	CC2530/31/33	EM250	EM351/57
Тип	SiP	PiP	SoC	SoC	SoC
Напряжение питания, В	2 – 3,4	2-3,6	2 – 3,6	2,1 – 3,6	2,1 – 3,6
Ток в режиме ожидания, мкА*	1 – 35	0,85	0,4	1	1
Ток в рабочем режиме, мА*	7,5 – процессор, 42 – трансивер	29	29	36	30
Частота процессора, МГц	40	24	32	12	12
Объем памяти, КБ	4	96	8	5	12
Объем флеш-памяти, КБ	60	128	32 - 256	128	128 – EM351 192 – EM357
Программные решения	BeeKit – программный инструмент для конфигурирования устройств		Z-Stack – набор модулей, разработанный для продуктов TI	Пакет ZigBee Development Tools	
Дополнительно	Гибридная микросхема	Платформа, Имеет 80КБ ROM, интерфейс клавиатуры, два АЦП, четыре таймера и т.д.	CC2531 – имеет встроенный USB-интерфейс; CC2533 – оптимизирована для систем ДУ		

* В зависимости от режима работы.

для обмена данными в них служит интерфейс SPI/UART.

Самое мощное и функционально полное на сегодняшний день решение – платформа (Platform in package, PiP) Freescale MC13224/26, построенная на базе процессора ARM7TDMI и имеющая ПЗУ с зашитыми в нем драйверами устройств и 802.15.4 MAC. Микросхема имеет большое количество портов и интерфейсов, а также всю необходимую ВЧ-обвязку, кроме антенны.



Рис.3. Модули XBee

Для упрощения разработки программного обеспечения для процессоров и модулей ZigBee производители элементной базы ZigBee предлагают программные пакеты и средства разработки (SDK). Они включают в себя библиотеки и программные модули, необходимые для реализации стека ZigBee, а также вспомогательные программы и утилиты, позволяющие конфигурировать устройства и сети ZigBee.

МОДУЛИ И ОТЛАДОЧНЫЕ НАБОРЫ ZigBee

Если перед разработчиком стоит задача в короткие сроки обеспечить работу прибора в сетях ZigBee, то наилучшее решение – использовать готовые модули. Они представляют собой функционально законченные устройства, включающие антенну, трансивер 802.15.4, микроконтроллер, реализующий стек Zigbee, внешний интерфейс, схемы питания и управления и т.д. Такие модули производят многие компании (Jennic/NXP, Microchip,

Таблица 4. Характеристики модулей ZigBee и ZigBee Pro

Параметр	XBee	XBee Pro	Программируемые XBee Pro
Дальность действия, открытое пространство/город, м	120/40		1500/90
Мощность передатчика, мВт	1,25–2		10
Чувствительность приемника, дБм	-96		-102
Напряжение питания, В	2,1–3,6		2,7–3,6
Ток в режиме передачи/приема, мА	35/38	205/47	220/62
Ток в спящем режиме, мкА	<1	3,5	4
Интерфейсы	3,3В КМОП UART, АЦП, цифровой вход/выход	3,3 В КМОП UART, SPI, I2C, ШИМ, АЦП, цифровой вход/выход	
Тип антенны или разъема*	Чип-антенна, проводная, разъемы U.FL, RP-SMA	Печатная, проводная, разъемы U.FL, RP-SMA	
Внутренняя память, МБ		–	32 флеш/2 RAM
Процессор		–	HCS08–50,3МГц

* Зависит от модели.

Rapasonic, STMicroelectronics и т.д.) на основе рассмотренной выше элементной базы.

Наиболее широко на российском рынке представлены ZigBee-модули XBee и XBee Pro производства Digi (рис.3, табл.4). Эти модули выпускаются в разных модификациях и различаются по форм-фактору, мощности передатчика, возможности программирования и т.д. Они управляются с помощью AT-команд или API-фреймов, отсылаемых по UART или SPI. Программируемые модули XBee могут работать автономно, питаясь от батареи и не нуждаясь во внешнем управлении. Алгоритм работы

в этом случае задается установкой определенной конфигурации модуля, которая сохраняется в энергонезависимой памяти. Такая конфигурация может включать в себя, например, автоматическое измерение аналоговых сигналов и/или уровней на цифровых входах с периодической отсылкой этих значений по радиоканалу с заданным (от сотен миллисекунд до нескольких недель) интервалом.

Для разработчика может быть полезной возможность подключения к сети ZigBee персонального компьютера с помощью USB-устройства XStick, построенного на базе модуля XBee.

Для упрощения процесса разработки устройств ZigBee в ассортименте фирм-производителей имеются отладочные наборы, с помощью которых инженер может осваивать работу с ZigBee и тестировать программное обеспечение (рис.4). В такие комплекты, помимо самих модулей ZigBee, могут входить интерфейсные платы с переключателями и индикаторами, программаторы, антенны и т.д, а также программное обеспечение. Как правило, в комплекте имеется два или более модулей ZigBee, что позволяет организовать тестовую сеть на рабочем месте без использования дополнительного оборудования. ●

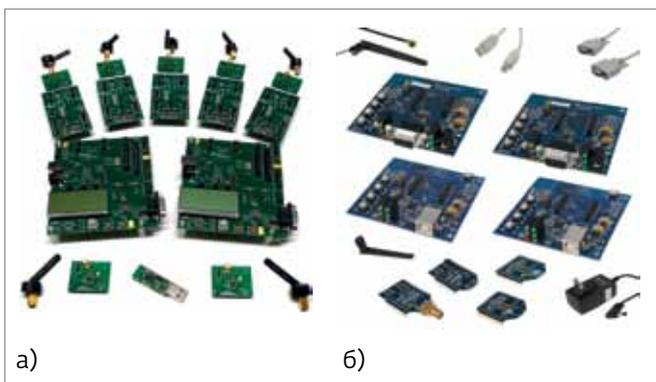


Рис.4. Отладочные комплекты ZigBee компании Texas Instruments (a) и Digi (б)