

Радиочастотные компоненты Microchip

Илья Афанасьев
ilya.afanasiev@microchip.com.ru

Компания Microchip Technology производит 8-, 16- и 32-разрядные микроконтроллеры и цифровые сигнальные контроллеры, а также аналоговые микросхемы и микросхемы Flash-памяти. В настоящий момент фирма выпускает передатчики, приемники и приемопередатчики (трансиверы) для реализации решений для IEEE 802.15.4/ZigBee, IEEE 802.11/Wi-Fi, а также субгигагерцевого ISM-диапазона. Наличие в «портфеле» компании PIC-микроконтроллеров, аналоговых микросхем и микросхем памяти позволяет ей предложить клиентам комплексные решения для беспроводных решений.

Приемопередатчики субгигагерцевого ISM-диапазона 315/434/868/915 МГц



Рис. 1. Внешний вид приемопередатчика

Системы, требующие беспроводного сообщения, характеризующегося невысокой скоростью передачи данных, малым радиусом действия и низким энергопотреблением, обычно используют ISM-диапазон частот 315/434/868/915 МГц.

Вдобавок к хорошо зарекомендовавшим себя микроконтроллерам семейства rfPIC12F, объединившим в себе Flash-микроконтроллер PIC12F675 и УКВ-передатчик с синтезатором частоты и кварцевой стабилизацией, и супергетеродинным приемникам rfRXD0420 и rfRXD0920, компания Microchip начала выпуск приемопередатчиков MRF49XA и MRF89XA (табл. 1).

MRF49XA — это полнофункциональный субгигагерцевый трансивер, поддерживающий ISM-частотный диапазон 434/868/915 МГц, идеально подходящий для реализации двух-

сторонней связи на небольших расстояниях (рис. 1). Трансивер поддерживает FSK-модуляцию с возможностью псевдослучайной перестройки рабочей частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), что позволяет повысить эффективность приема-передачи данных в канале, подверженном сильным замираниям.

Основные характеристики MRF49XA:

- полнофункциональный FSK-приемопередатчик 434/868/915 МГц;
- питание 2,2–3,8 В;
- интегрированный опорный генератор 10 МГц;
- низкое энергопотребление:
 - 11 мА — в режиме приема;
 - 15 мА — в режиме передачи (+0 дБм);
 - 0,3 мкА — в режиме энергосбережения Sleep;
- 4-проводной SPI-интерфейс;
- высокая скорость передачи:
 - 115,2 кбит/с в цифровом режиме;
 - 256 кбит/с в аналоговом режиме;
- дифференциальный вход/выход, интегрированный усилитель мощности:
 - –110 дБм чувствительность;
 - +7 дБм усиление на выходе;
- программируемые девиация частоты в режиме передачи и ширина полосы в режиме приема;
- автоматический контроль частоты.

MRF89XA — это однокристалльный многоканальный трансивер, поддерживающий работу с FSK- и ООК-модуляцией в безлицензионном ISM-диапазоне частот 863–870, 902–928 и 950–960 МГц. Трансивер оптимизирован для микроразличающихся применений (ток потребления в режиме приема всего 3 мА), что позволяет в батарейных приборах дольше работать в режиме непрерывного приема. Трансивер обеспечивает скорость передачи данных до 200 Кбайт/с и имеет функции пакетной обработки данных, включая 64-байтный буфер FIFO, распознавание входящего синхрослова, обработчик пакетов, автоматическую генерацию циклической контрольной суммы CRC и скремблирование данных.

Все критические радиочастотные функции интегрированы в микросхему MRF89XA, что минимизирует необходимое число внешних элементов. Параметры, отвечающие за радиочастотный тракт, программируются, и большинство из них могут изменяться динамически. Микроконтроллер, ПАВ-

Таблица 1. Радиочастотные продукты ISM-диапазона

Наименование	Модуляция	Скорость передачи, кбит/с	Диапазон частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Чувствительность, дБм	Особенности
Трансиверы						
MRF49XA	FSK	256	434/868/915	+7	-110	
MRF89XA	FSK/OOK	200	868/915	+12,5	-107 (FSK); -113 (OOK)	Пакетная обработка, микропотребление
MRF24J40	O-QPSK	250 (IEEE 802.15.4) 625 (Turbo Mode)	2405-2480	+0	-95	PHY и MAC, соответствие IEEE 802.15.4, готовые стеки ZigBee, MiWi
Микроконтроллеры с передатчиком						
rfPIC12F675K	FSK/ASK	40	290-350	+10		1792 кбайт Flash, 128 байт EEPROM, 64 байт RAM, 6 I/O, WDT, 18/16-бит таймер, 4 канала 10-бит АЦП, INTSOC 4 МГц
rfPIC12F675F	FSK/ASK	40	380-450	+10		
rfPIC12F675H	FSK/ASK	40	850-930	+10		
Приемники						
rfRXD0420	ASK, FSK, FM	80	380-450		-111	
rfRXD0920	ASK, FSK, FM	80	800-930		-109	

фильтр, кварц на 12,8 МГц и несколько пассивных элементов — это все, что нужно для построения приемопередающего узла. Трансивер использует несколько механизмов для снижения общего энергопотребления и увеличения срока службы в батарейных приложениях. Он построен по супергетеродинной архитектуре с двойным преобразованием частоты, что обеспечивает лучшее подавление соседних и зеркального канала и более полное использование отведенного частотного диапазона.

Основные характеристики трансивера MRF89XA:

- полнофункциональный FSK-приемопередатчик 868/915 МГц;
- питание 2,1–3,6 В;
- интегрированный опорный генератор;
- низкое энергопотребление:
 - 3 мА — в режиме приема;
 - 25 мА — в режиме передачи (+10 дБм);
 - 0,1 мкА — в режиме энергосбережения Sleep;
- 4-проводной SPI-интерфейс;
- высокая скорость передачи (200 кбит/с);
- дифференциальный вход/выход, интегрированный усилитель мощности:
 - -107 дБм чувствительность (FSK);
 - -113 дБм чувствительность (OOK);
 - +12,5 дБм усиление на выходе;
- аналоговый и цифровой выход RSSI.

Приемопередатчики IEEE 802.15.4/ZigBee 2,4 Гц

MRF24J40 — однокристальный приемопередатчик, соответствующий стандарту IEEE 802.15.4 для беспроводных решений ISM-диапазона 2,405–2,48 ГГц. Этот трансивер содержит физический (PHY) и MAC-функционал.

Вкупе с микропотребляющими PIC-микроконтроллерами и готовыми стеками MiWi и ZigBee трансивер позволяет реализовать как простые (на базе стека MiWi), так и более сложные (сертифицированные для работы

в сетях ZigBee) персональные беспроводные сети (Wireless Personal Area Network, WPAN) для портативных устройств с батарейным питанием.

Основные характеристики трансивера:

- соответствие стандарту IEEE 802.15.4, диапазон частот 2,405–2,48 ГГц;
- поддержка протоколов ZigBee, MiWi P2P и MiWi;
- 4-проводной SPI-интерфейс;
- интегрированные тактовые генераторы 20 МГц и 32,768 кГц;
- низкое энергопотребление, режим Sleep;
- аппаратная реализация CSMA-CA;
- автоквитирование (ACK);
- аппаратная реализация алгоритмов шифрования AES-128;
- возможность автоматизированного повтора передачи;
- определение уровня принимаемого сигнала;
- миниатюрный 40-выводный корпус QFN 6×6 мм.

Наличие MAC-уровня помогает уменьшить нагрузку на управляющий микроконтроллер и позволяет использовать недорогие 8-разрядные микроконтроллеры для построения радиосетей.

Готовые модули приемопередатчиков ISM-диапазона

Помимо микросхем трансиверов, компания Microchip Technology Inc. предлагает готовые решения для беспроводной связи — законченные радиомодули, применение которых позволяет уменьшить сроки разработки, решить ряд вопросов по сертификации, а также быстро реализовать малосерийные проекты (рис. 2). Такие радиомодули имеют на плате все необходимые для работы трансивера компоненты, PCB-антенну, SPI-интерфейс для связи с внешним микроконтроллером. Модули выпускаются с контактами под поверхностный монтаж, полностью готовы к применению и имеют сертификацию в FCC (для применения в США), IC (для применения в Канаде) и ETSI (для применения в Европе). Модуль на базе трансивера MRF24J40 имеет два варианта, один из которых содержит встроенный входной малошумящий усилитель и усилитель выходной мощности для создания устройств с увеличенной дальностью связи (рис. 3).

На основе каждого из модулей также выпускаются дочерние платы для подключения к популярным отладочным платам Explorer 16



Рис. 2. Внешний вид модуля MRF89XAM



Рис. 3. Внешний вид модуля MRF24J40MB 2,4 ГГц

Таблица 2. Модули и отладочные платы

Наименование модуля	Трансивер	Частота, МГц	Выходная мощность, дБм	Чувствительность, дБм
	MRF49XA	433.92	+7	-110
	MRF49XA	868/915	+7	-110
MRF89XAM8A	MRF89XA	868	+12,5	-113
MRF89XAM9A	MRF89XA	915	+12,5	-113
MRF24J40MA-1/RM	MRF24J40	2405-2480	+0	-94
MRF24J40MB-1/RM	MRF24J40	2405-2480	+20	-102
		2400		
Отладочные комплекты				
Наименование	Трансивер	Состав комплекта		
PICDEM Z	MRF24J40	2 платы с PIC18LF4620; 2 радиоплаты с MRF24J40; анализатор протоколов Zena		

Таблица 3. Требования к ресурсам микроконтроллера ZigBee RF4CE

Программное обеспечение	Память программ, кбайт	ОЗУ, кбайт	EEPROM, байт
ZigBee RF4CE			
управляемый прибор	16	1,5	256
контроллер (пульт)	14		
ZigBee Remote Control (ZRC) профиль	2		

(для работы с 16- и 32-разрядными контроллерами PIC24, dsPIC33 и PIC32) и Explorer 18 (для работы со всей линейкой 8-разрядных контроллеров PIC18) (табл. 2).

Программная поддержка

На сайте компании [1] можно найти всю документацию, последние версии стеков протоколов, а также примеры применения, диагностическое ПО для ПК и соответствующие «прошивки» для микроконтроллеров, рекомендации по настройке сети, подбору оптимальной формы антенн и т. п.

Стеки протоколов MiWi и ZigBee

Компания Microchip, являясь членом ZigBee Альянса, предлагает сертифицированную ZigBee-совместимую платформу (ZigBee Compliant Platform, ZCP) для стеков протоколов

ZigBee PRO, ZigBee RF4CE и ZigBee Residential. ZigBee-совместимая платформа — это хорошая отправная точка для начала разработки продуктов, соответствующих спецификации ZigBee.

ZigBee-совместимая платформа состоит из соответствующих стандартам IEEE 802.15.4 трансиверов и модулей MRF24J40/MA/MB, микроконтроллеров семейств PIC18, PIC24, dsPIC и PIC32, а также сертифицированных стеков протоколов.

Microchip предоставляет ZigBee Smart Energy Profile (SEP), который, наряду со Smart Energy Profile, включает стек ZigBee PRO и библиотеку ZigBee Cluster Library. Используя SEP, разработчики получают легкий способ создания приложений для реализации беспроводных домашних сетей для контроля и учета расхода ресурсов и управления умной бытовой техникой.

Для приложений, требующих простой связи между двумя устройствами, и которым не нужно создание полнофункциональной Mesh-сети, ZigBee предлагает стандарт ZigBee RF4CE. Реализация протокола ZigBee RF4CE требует меньшего объема памяти от управляющего микроконтроллера и, соответственно, такие устройства имеют меньшую стоимость. Протокол стандарта ZigBee RF4CE предоставляет возможность создавать универсальные, независимые от производителя бытовые приборы с беспроводной радиосвязью, такие как пульты управления аудио- и видеоаппаратурой, пульты управления системой «умный дом» и т. п. (табл. 3).

Компания Microchip предлагает ZigBee RF4CE-совместимую платформу: совместимый программный стек ZigBee RF4CE, микропотребляющие микроконтроллеры PIC, трансиверы и готовые модули диапазона 2,4 ГГц (рис. 4).

Реализация протокола типа «точка-точка», соответствующая спецификации ZigBee RF4CE, занимает всего лишь 16 кбайт памяти программ, что позволяет реализовать данный протокол на дешевых микроконтроллерах, а технология энергосбережения NanoWatt XLP помогает разработчикам создать пульты управления с более длительным сроком службы от одного комплекта батарей.

Еще одна часть ZigBee-совместимой платформы, предлагаемой Microchip, — это сертифицированный стек ZigBee 2006, который может быть запущен на контроллерах семейств PIC18, PIC24 и dsPIC, и позволяет выходить на связь в диапазоне частот 2,4 ГГц с помощью трансиверов и готовых модулей MRF24J40. Бесплатная реализация стека ZigBee 2006 полностью соответствует спецификации ZigBee, поддерживает топологии сети типа Mesh и «звезда» и доступна для скачивания с сайта компании Microchip. В помощь разработчикам предоставляется описание по применению AN1232 и полные исходные коды программной реализации.

Как дополнительное решение для задач, не требующих функционала ZigBee-решений, Microchip предлагает собственный стек протоколов MiWi, основные преимущества которого заключены в отсутствии необходимости сертификации в ZigBee и дополнительных отчислений, простоте реализации, меньшем объеме программной памяти микроконтроллеров и, соответственно, меньшей стоимости реализации.

Компания предлагает целый набор для реализации MiWi — MiWi Development Environment (MiWi DE) (рис. 5). Пакет включает поддержку собственных радиочастотных протоколов Microchip — MiWi Mesh и MiWi P2P.

Пакет MiWi DE состоит из двух уровней:

- MiApp. Используя его, разработчик может легко переключаться между различными беспроводными протоколами MiWi Mesh и MiWi P2P без изменений в программном обеспечении микроконтроллера.
- MiMAC. С его помощью разработчик может управлять трансиверами с различными частотными диапазонами вне зависимости, есть или нет в трансивере аппаратная поддержка MAC-уровня: MRF24J40 (2,4 ГГц) или MRF49XA и MRF89XA (диапазон 433–868–930 МГц).

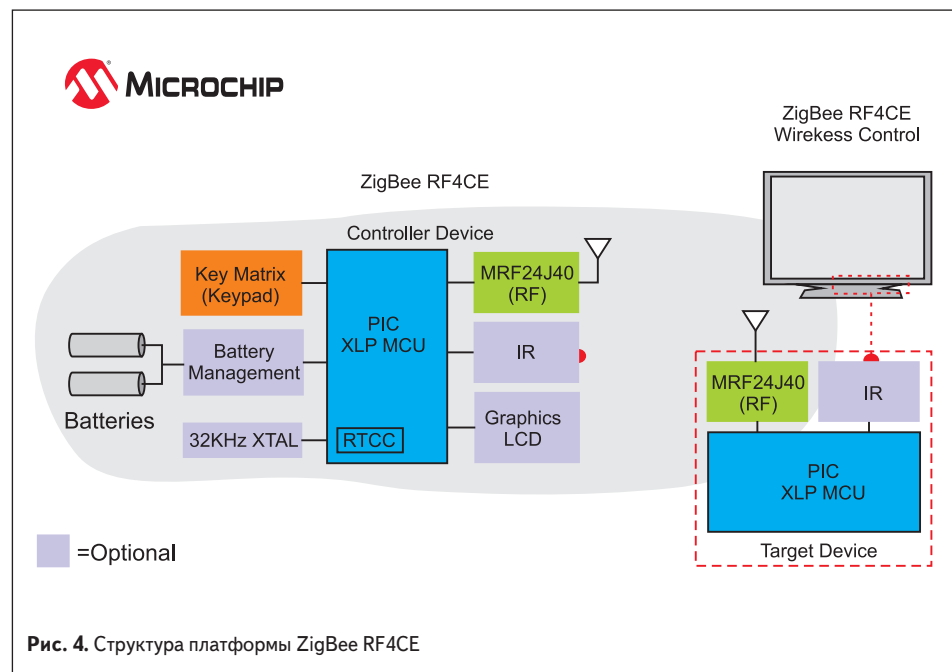


Рис. 4. Структура платформы ZigBee RF4CE

Таблица 4. MiWi DE

Поддерживаемые протоколы	Уровни интерфейса	Поддерживаемые трансиверы
MiWi Mesh MiWi P2P	MiApp MiMAC	MRF24J40 MRF89XA MRF49XA

Основные преимущества MiWi DE — это простота разработки готовых приложений и легкость портирования их между различными трансиверами Microchip и различными беспроводными протоколами, в зависимости от требований задачи, практически без изменения программного кода (табл. 4).

Подробное описание стека MiWi Mesh можно найти в заметке по применению AN1066 — *MiWi Wireless Networking Protocol Stack*.

Стек протокола MiWi P2P может быть использован в различных областях, таких как мониторинг и управление промышленными устройствами, системы «умного дома», автоматизация процессов, удаленное управление, в малопотребляющих беспроводных сетях датчиков, для управления освещением, удаленного считывания данных со счетчиков и т. д. Он поддерживает топологии равноправных узлов и «звезда». Для PIC-микроконтроллеров код стека составляет 3 кбайт. Таким образом, стек позволяет быстро и легко заменить проводные соединения типа RS232/RS432 в тех случаях, когда возникает такая необходимость, а также допускает быструю смену рабочего частотного радиодиапазона в случае необходимости обеспечить требуемую дальность работы радиоканала на более чем ста доступных микроконтроллерах. Также стек MiWi P2P обеспечивает режим ожидания (Sleep) узла сети, активное сканирование и детектирование уровня несущей, что позволяет создать надежную связь для малопотребляющих устройств с батарейным питанием. Подробное описание стека MiWi P2P, а также исходные коды программы можно найти в заметке по применению AN1204 — *Microchip MiWi P2P Wireless Protocol*.

Бесплатные стеки протоколов ZigBee, MiWi Mesh и MiWi P2P поддерживаются анализатором беспроводных сетей ZENA. Zena Network Analyzer — это программно-аппаратный набор из платы, подключаемой по USB к персональному компьютеру, и программного обеспечения, наглядно показывающего топологию и прохождение пакетов в исследуемой беспроводной сети. Программное обеспечение Zena содержит инструменты для создания конфигурации и скрипта линкера в зависимости от требований пользовательского приложения. Демонстрационная версия ПО Zena является частью бесплатного стека протоколов ZigBee и MiWi и позволяет создавать исходные коды программы под конкретную пользовательскую задачу и анализировать предварительно записанный сетевой трафик. Полнофункциональная версия работает с платой, которая анализирует радиочастотный трафик и связывается с компьютером по USB-интерфейсу. Плата позволяет захватывать и анализировать в реальном времени сетевые пакеты ZigBee и MiWi-сетей, а использование фильтров пакетов и адресов устройств позволяет гибко конфигурировать отображаемые пакеты для легкого поиска нужной информации.

Инженеры могут использовать демонстрационный набор PICDEM Z Demonstration Kit (DM163027-5) с любым из трех стеков и модулем приемопередатчика MRF24J40MA. Набор включает две материнские платы с микроконтроллером PIC18LF4620, две дочерние радиочастотные платы, полнофункциональный анализатор сетей Zena Network Analyser и утилиту настройки беспроводных сетей.

Программный драйвер

Для упрощения разработки и проверки беспроводных протоколов в устройствах на базе приемопередатчиков компания Microchip предоставляет пакет программных драйверов. Программный драйвер отладки радиоканала предоставляет инженерам платформу для тестирования и разработки устройств с применением приемопередатчиков MRF49XA, MRF89XA и MRF24J40, а также модулей, выполненных на их основе.

Программный драйвер отладки радиоканала может использоваться для тестирования возможностей передачи, приема и режима энергосбережения трансиверов, а также для тестирования различных способов модуляции и перестройки частоты посредством управления с компьютера через интерфейс командной строки или графического меню пользователя. Помимо тестирования свойств трансиверов, разработчик получает возможность тестирования собственных модулей и антенн.

Основные возможности:

- конфигурация трансиверов;
- отправка и прием данных;
- режим sniffера сетевого трафика;
- программмирование регистров трансиверов;
- перевод приемопередатчика в режим Sleep;
- Ping-Pong Test с возможностью установки размера пакета;
- тест на частоту появления ошибок в пакетах (PER Test) с возможностью установки размера пакета;
- режим генерации гармонического колебания (CW mode);
- режим приема без FIFO;
- установка рабочей частоты, полосы пропускания и девиации частоты;
- установка скорости передачи данных (TX Data Rate), задержки при передаче пакета;
- включение/выключение функции индикатора данных на выводе INT/DIO;
- установки коэффициента усиления усилителя (LNA Gain);
- установка порога RSSI;
- установка выходной мощности.

Программный драйвер может быть запущен на отладочных платах PIC18 Explorer (используется микроконтроллер PIC18F87J11) или Explorer 16 (PIC24F128GA010) при подключении к ним соответствующих дочерних плат: MRF89XA RF transceiver, MRF49XA PICtail/PICtail Plus Daughter Board, PICDEM Z MRF24J40 2,4 ГГц Daughter Card. Отладочные платы подключаются к компьютеру через последовательный COM-порт и управляются через гипертерминал. Исходные коды программных радиодрайверов и описание работы с ними можно скачать с сайта компании Microchip [1].

Приемопередатчики IEEE 802.11 — модули Wi-Fi

Для подключения к сети Wi-Fi Microchip предлагает специализированные Wi-Fi-модули для встраиваемых систем.

Однокристалльные решения, соответствующие спецификации IEEE 802.11b, включают MAC-уровень, радиочастотную часть и усилитель мощности. Предлагаются несколько вариантов

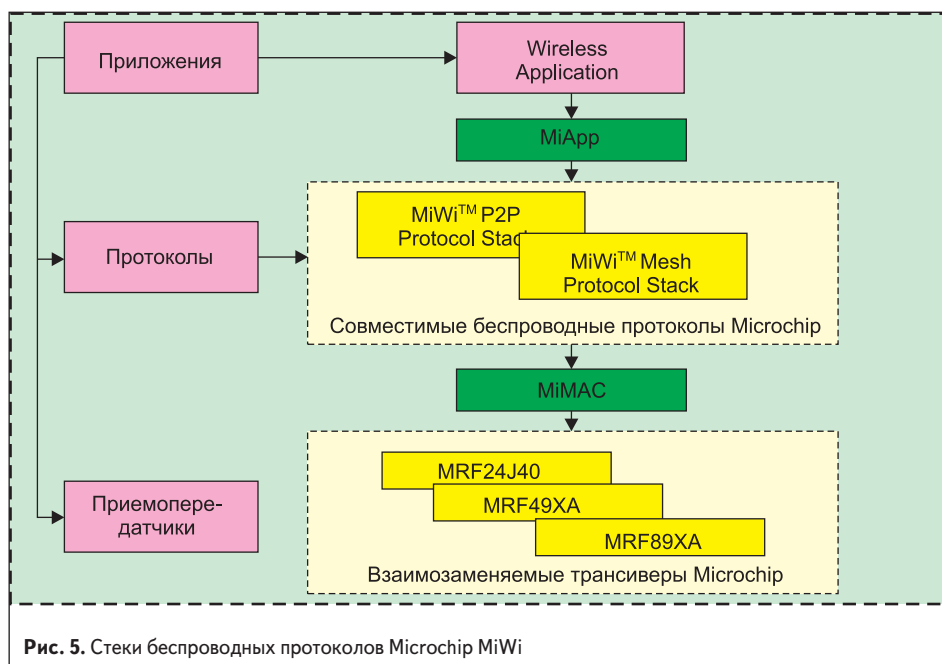


Рис. 5. Стеки беспроводных протоколов Microchip MiWi

Wi-Fi модулей: ZG2100M и его усовершенствованный вариант MRF24WB0MA (оба модуля имеют интегрированную печатную антенну) и ZG2101M и MRF24WB0MB (имеют uFL-коннектор для подключения внешней антенны рис. 6).



Рис. 6. Внешний вид модуля Wi-Fi MRF24WB0MA

Основные особенности Wi-Fi-модулей:

- скорость передачи данных 1 или 2 Мбит/с;
- совместимость со стандартами 802.11B/G и 802.11n draft 2.0;
- сверхмалое потребление, энергосберегающий режим Sleep;
- API для удобства работы, ОС не требуется;
- печатная антенна с возможностью подключения внешней;
- аппаратная поддержка шифрования AES и RC4 (WEP, WPA, WPA2);
- связь с контроллером — SPI-ведомый с поддержкой прерываний;
- диапазон питающих напряжений от 2,7 до 3,6 В;
- 21,31-мм 36-выводный корпус для планарного монтажа;
- сертификат FCC, IC, Wi-Fi;

- последовательный интерфейс для трассировки (UART).

Готовый бесплатный стек протоколов TCP/IP от Microchip включает программный драйвер для совместной работы Wi-Fi-модулей с большинством 8-, 16- и 32-битных PIC-микроконтроллеров и контроллеров цифровой обработки сигналов dsPIC. Недорогие Wi-Fi-модули семейства ZG2100 и MRF24WB0M позволяют разработчикам значительно увеличить функциональность своих систем путем добавления беспроводной Wi-Fi-связи. Они имеют невысокую стоимость и низкое энергопотребление.

Низкое энергопотребление

Модули ZG2100 и MRF24WB0M имеют встроенную аппаратную и программную поддержку управления питанием, необходимую для создания микропотребляющих Wi-Fi-устройств, работающих от батарей. Технологии сохранения энергии, примененные как в модулях Wi-Fi, так и в микроконтроллерах PIC, позволяют использовать Wi-Fi-связь для широкого класса приложений. Модули Wi-Fi автоматически снижают свое потребление без вмешательства управляющего микроконтроллера, который может находиться в режиме сохранения энергии до тех пор, пока Wi-Fi-модуль не подготовит для него пакет принятых данных. Модули автоматически переходят в режим сохранения энергии в интервалах между приемом и передачей пакетов и быстро «просыпаются» при приеме пакетов. Таким образом, режимы сохранения энергии позволяют обеспечить работу батарейных Wi-Fi-устройств до 10 лет при ежедневных сеансах связи.

Быстрый старт

Готовые библиотеки дают возможность разработчикам интегрировать Wi-Fi в свои системы на базе PIC-микроконтроллеров. Предоставляемая компанией Microchip программная и аппаратная поддержка позволяет быстро и с минимальными затратами освоить

Wi-Fi-технологии, а также, при необходимости, легко заменить проводной канал Ethernet на беспроводной с минимальными изменениями в функциональной части устройства. Модули семейства ZG2100 и MRF24WB0M разработаны для применения во встраиваемых системах и требуют минимальных ресурсов от управляющего микроконтроллера как по памяти, так и по времени обработки.

Интегрированная поддержка шифрования облегчает создание защищенных сетей WEP/WPA/WPA2. Интегрированный MAC-уровень и поддержка шифрования требуют минимальных ресурсов от управляющего микроконтроллера: до 2,8 кбайт RAM и менее чем 10 кбайт памяти программ.

С сайта [2] доступны для скачивания следующие библиотеки и примеры применения:

- Бесплатный TCP/IP-стек с поддержкой Wi-Fi (для микроконтроллеров PIC18, PIC24 и PIC32) и готовые примеры (Wi-Fi DemoApp, Wi-Fi Console DemoApp, Wi-Fi EasyConfig Demo под различные демо-платы).
- Google Power Meter — первая практическая реализация мониторинга энергопотребления различных устройств с передачей данных в соответствующий виджет сервера www.google.com для учета и контроля пользователями своих устройств из любой точки мира.

Вкупе с разнообразными средствами разработки, готовыми примерами программ и предоставляемыми стеками протоколов радиочастотные компоненты Microchip позволяют быстро и эффективно разрабатывать устройства с пониженным энергопотреблением для работы в беспроводных сетях даже тем инженерам, которые не имеют опыта работы с беспроводными сетями. ■

Литература

1. www.microchip.com/wireless
2. www.microchip.com/WiFi
3. www.microchip.com/ZigBee