

Особенности проектирования беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic

Экономичные низкоскоростные беспроводные сети на основе стандарта ZigBee все чаще используются для автоматизации производства и сбора данных от различных датчиков в промышленности и в жилых зданиях. Для создания таких сетей полупроводниковая промышленность выпускает миниатюрные, экономичные и недорогие микроконтроллеры со встроенными приемопередатчиками. В данной статье рассматриваются особенности проектирования сетей ZigBee на основе беспроводных микроконтроллеров английской фирмы Jennic.

Александр Еркин, к. т. н.
alexerk@macroteam.ru

Где нужны беспроводные сети

Спецификация ZigBee [1] была разработана для решения ряда практических задач, в которых требуется контролировать состояние некоторого множества датчиков или простых исполнительных устройств, размещенных на относительно небольших расстояниях, и к которым затруднительно или нежелательно подводить проводные линии. В таких задачах не требуется передавать большие объемы информации, но важны прежде всего экономичность, автономность, надежность. Существовавшие до этого другие беспроводные персональные сети, такие как Bluetooth и Wi-Fi, были недостаточно просты и дешевы для этих задач. Кроме того, в подобных сетях время активации из ждущего состояния слишком велико, что делает работу узлов сети крайне неэкономичной. Узлы ZigBee могут активироваться менее чем за 15 мс (для сравнения — при использовании Bluetooth задержка активации может достигать 3 с). Таким образом, узлы ZigBee могут больше времени находиться в спящем режиме с низким уровнем потребления энергии, обеспечивая тем самым более продолжительную работу батарей.

Вот некоторые примеры задач, в которых используются сети ZigBee [2, 3]:

- Система обеспечения безопасности здания или территории. В ней есть датчики регистрации движения разного типа, видеокамеры наблюдения, контролируется появление/уход посетителя или сотрудника, снабженного радиоэлектронным пропуском.
- Система автоматизации здания: включение дверей, кондиционеров, опрос аварийных датчиков.
- Промышленное управление и мониторинг: сбор данных о процессах, рабочем состоянии станков и агрегатов.
- Управление доступом и освещением в зданиях, сбор информации от счетчиков воды и электроэнергии для ЖКХ.

- Индивидуальное медицинское диагностическое оборудование: опрос датчиков, размещенных непосредственно на теле больных средней степени тяжести, передвигающихся по территории лечебницы или санатория.

История стандарта 802.15.4 началась в 1998 г., когда пришло понимание, что существовавшие стандарты Bluetooth и Wi-Fi были и остаются энергетически слишком расточительными, неоправданно сложны и не слишком быстры для множества нужных рынку устройств. Для решения задачи был образован ZigBee Alliance, сформировавший в мае 2003 г. первую версию сетевого стандарта ZigBee, основанного на стандарте беспроводной связи IEEE 802.15.4. Спецификация ZigBee 1.0 была ратифицирована 14 декабря 2004 г. и стала доступной для членов альянса ZigBee, а 30 октября 2007 г. появилась спецификация ZigBee 2007.

ZigBee работает в промышленных, научных и медицинских (ISM) радиодиапазонах: 868 МГц в Европе, 915 МГц в США и в Австралии, 2,4 ГГц в большинстве стран мира, включая Россию. Первый выпуск стека называется сейчас ZigBee 2004. Второй — ZigBee 2006, он в основном заменяет структуру MSG/KVP, использовавшуюся в 2004 г. вместе с «библиотекой кластеров». Однако стек 2004 г. сейчас более или менее вышел из употребления, и в настоящее время стек ZigBee 2007 является текущим. Он содержит два профиля: № 1 (который называют просто ZigBee) для домашнего и мелкого коммерческого использования и № 2 (или ZigBee Pro). Достоинством ZigBee является меньший требуемый объем оперативной и флеш-памяти. К улучшениям в профиле № 2 относятся: поддержка масштабируемости сетей; возможность разделения длинных сообщений на части для реализации взаимодействия с другими протоколами и системами (фрагментация); высокая стабильность частоты и средства автоматизированного управления адресами устройств.

3 марта 2009 г. концерн RF4CE («Радиочастоты для бытовой электроники») согласился работать с альянсом ZigBee для совместного распространения стандартизированной спецификации, предназначенной для радиочастотного дистанционного управления. ZigBee RF4CE был разработан для широкого употребления в дистанционно управляемых аудио/видеоаппаратах, таких как телевизоры и телеприставки. Это сулит много преимуществ для дистанционного управления по сравнению с существующими техническими решениями, включая гибкость, расширение связей и функций, повышение надежности, совместимость и снятие ограничения прямой видимости.

Беспроводные микроконтроллеры — основа сетей ZigBee

По существу, ZigBee — это распределенная, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. За счет способности узлов ретранслировать сообщения от одного элемента к другому область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров. Узлы беспроводной сети ZigBee состоят из микроконтроллеров, снабженных сенсорами (датчиками температуры, давления, освещенности, уровня вибрации, местоположения и т. п.) и приемопередатчиками сигналов, работающими в выделенном радиодиапазоне. Успехи микроэлектроники позволили объединить приемопередатчик и управляющий микропроцессор на одном кристалле, образовав универсальный элемент — беспроводной микроконтроллер (далее МК). В соответствии со стандартом 802.15.4 ZigBee к радиочастотной части МК для выделенного в России диапазона частот для ZigBee 2,4 ГГц (решение Государственной комиссии по радиочастотам РФ в мае 2007 г. о свободном использовании данного диапазона при мощности менее 100 мВт) предъявляются следующие требования:

- 16 частотных каналов в диапазоне 2400–2483,5 МГц;
- полоса частот канала 5 МГц;
- максимальная скорость 250 кбит/с;
- тип модуляции O-QPSK;
- номинальная выходная мощность 0 дБм (1 мВт),
- чувствительность приемника –85 дБм;
- дальность действия 10–100 м;
- размер стека 4–32 кбайт;
- срок службы батареи 100–1000 дней;
- число узлов сети 65536 (16-разрядные адреса).

Производством беспроводных микроконтроллеров в мире занимаются ряд фирм, но на российском рынке находят применение МК ZigBee в основном компаний Jennic, Ember, Freescale, TI (по технологии фирмы Chipcon), Maxstream. Основные параметры МК, выпускаемых указанными компаниями, приведены в [4, табл. 4]. Сравнение показывает, что, несмотря на различия в функциональных возможностях и цене беспроводных микроконтроллеров разных производителей (обычно чем дешевле чип, тем меньше возможности), разброс удельной

стоимости — цена/производительность — не превышает 20%. Это означает, что разные производители используют очень близкие технологии для изготовления микросхем. По совокупности технических параметров и готового программного обеспечения весьма привлекательной выглядит продукция английской фирмы Jennic, что обусловило интерес к ней автора данной статьи.

Особенности беспроводных микроконтроллеров фирмы Jennic

Рассмотрим детально характеристики микроконтроллеров компании Jennic [5]. Компания давно выпускает очень удачный МК JN5139, развитием которого в 2009 г. стал JN5148. Это базовый МК, на основе которого изготавливаются готовые модули, различающиеся в основном типом и способом подключения антенны. На одном кристалле объединены приемопередатчик и микроконтроллер.

МК JN5148 ориентирован на работу с сетевыми приложениями ZigBee PRO. В его состав входит (рис. 1) 32-разрядный RISC-процессор с высоким быстродействием (производительность до 32 MIPS), приоритетной обработкой прерываний и программно регулируемой тактовой частотой 4–32 МГц. В спящем режиме тактовая частота ЦПУ может снижаться до 4 МГц. МК оснащен 128-кбайт ПЗУ и 128-кбайт ОЗУ. Поскольку стек ZigBee Pro занимает не более 96 кбайт, то остальная память может быть использована для записи кода приложения пользователя. Использование переменной длины кодовых слов позволяет повысить эффективность программирования. Наличие 32-байтного OTP eFuse, хранящего MAC ID, позволяет организовать шифрование по стандарту AES. Также МК включает в себя приемопередатчик 2,4 ГГц по стандарту IEEE802.15.4, широкий выбор интерфейсов для подключения аналоговых и цифровых периферийных устройств. Благодаря большому объему памяти приложение пользователя обрабатывается совместно со стеком ZigBee Pro. Низкий ток потребления (18 мА в активном режиме) позволяет использовать обычные литиевые батарейки «таблетки». МК работает, как правило, в импульсном

режиме с большой скважностью, проводя большую часть времени в спящем состоянии с током потребления около 1 мкА; тем самым обеспечивается более длительный срок службы без замены батареи.

В приборе имеются 3 таймера/счетчика для подсчета импульсов в AMR-приложениях, 3 системных таймера с низким потреблением, работающие в спящем режиме, а также охранный таймер и схема сброса Power-on-Reset.

МК JN5148 обладает следующими встроенными интерфейсами:

- интерфейс JTAG для отладки;
- два порта UART;
- четырехканальный 12-разрядный АЦП, два 12-разрядных ЦАП;
- 2 компаратора и датчик температуры;
- последовательный порт SPI с 5 режимами;
- двухпроводной последовательный интерфейс;
- до 21 DIO (цифровые порты ввода/вывода);
- четырехпроводной цифровой аудиоинтерфейс I²S.

Четырехпроводной цифровой аудиоинтерфейс I²S для подключения к внешним устройствам и для работы со звуком (спецификация предложена фирмой Philips) представляет собой последовательную шину для синхронного обмена цифровой стереофонической аудиоинформацией между передатчиком и приемником. По одному из проводов транслируется синхросигнал (SCLK), по другому — данные (SD), а по третьему — признак канала (WS), к которому относятся передаваемые в конкретный момент данные. Смена значений сигналов WS и SD производится по переходу сигнала SCLK с высокого уровня на низкий. Данные представлены в двоичном дополнительном коде и передаются старшим битом вперед. Считывание данных производится приемником по переходу сигнала SCLK с низкого уровня на высокий.

Энергетические характеристики МК JN5148:

- частота излучения 2,4 ГГц;
- мощность передатчика 2,5 дБм;
- чувствительность приемника –95 дБм;
- напряжение питания 2,0–3,6 В, обеспечивающее возможность работы от батареек;
- ток, потребляемый при передаче, 18 мА;
- ток, потребляемый при приеме, 15 мА;

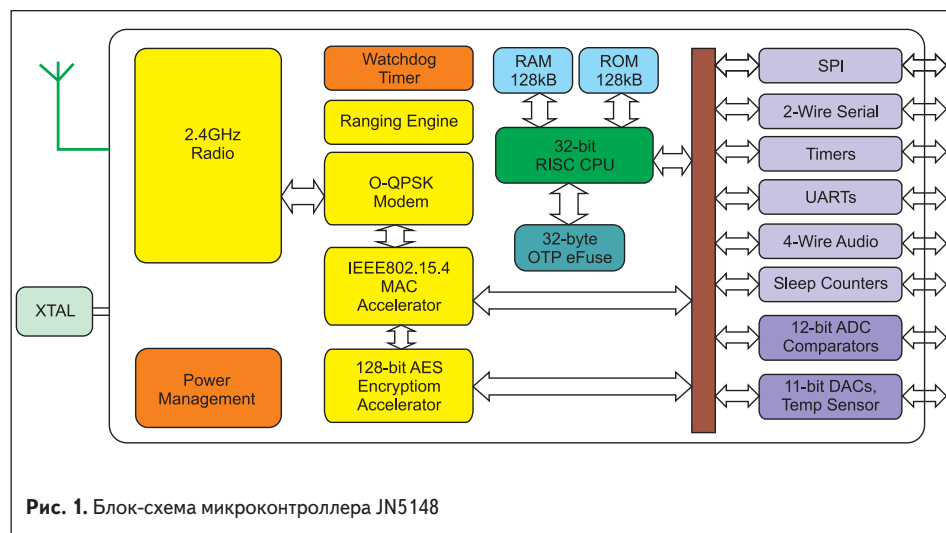


Рис. 1. Блок-схема микроконтроллера JN5148

- спящий режим для экономии энергии с потреблением 0,12 или 1,25 мкА при включенном таймере;
- промышленный диапазон рабочих температур $-40 \dots +85$ °C;
- корпус QFN 8×8 мм с 4×14 выводами, есть соответствие стандарту RoHS.

Особенности приемопередатчика МК JN5148:

- встроенная система позиционирования, которая по задержкам сигналов от смежных узлов оценивает свое местоположение;
- наличие MAC-ускорителя с пакетным форматированием, CRC, проверкой адреса и перезапросом при недопустимом количестве ошибок;
- возможность передачи данных на скоростях 500 и 667 кбайт/с;
- встроенный модуль 128-битного шифрования данных AES.

Беспроводные модули на базе МК JN5148

Для создания рабочего узла сети на основе МК JN5148 требуется минимальное количество внешних компонентов: сам МК, внешняя флэш-память, несколько пассивных компонент согласования и антенна. Флэш-память нужна для записи содержимого ПЗУ МК при первоначальном включении, поскольку в МК постоянная память ROM реализована на ОЗУ статического типа, которое не сохраняет информацию при отключенном питании.

На рис. 2 показан вид типового модуля без экрана со встроенной миниатюрной керамической антенной; площадь модуля около 6 см².



Рис. 2. Типовой модуль ZigBee фирмы Jennic

На плате установлен микроконтроллер, кварцевый резонатор, микросхема флэш-памяти и несколько резисторов и конденсаторов. Вместо антенны может быть установлен антенный разъем типа uFl.

В серии JN5148 имеются три типа модулей: JN5148-001-M00 со встроенной керамической антенной, JN5148-001-M03 с разъемом для подключения антенны и JN5148-001-M04 с антенным разъемом, усилителем мощности и малошумящим усилителем (LNA) для увеличения дальности действия. Все модули могут работать как с сетевым стеком ZigBee PRO, так и с приложениями пользователя. Ток потребления в спящем режиме (с активным таймером) составляет 2,6 мкА. Основные характеристики модулей:

• JN5148-001-M00/03

- Дальность связи до 1 км (с внешней антенной);

- M00: встроенная антенна 18×32 мм;
- M03: антенный разъем uFl 18×30 мм;
- мощность передатчика TX +2,5 дБм;
- чувствительность приемника -95 дБм;
- ток при передаче TX 15 мА;
- ток при приеме RX 17,5 мА;
- рабочее напряжение питания 2,3–3,6 В.

• JN5148-001-M04

- Дальность до 4 км (с внешней антенной);
- мощность передатчика TX 20 дБм;
- чувствительность приемника -98 дБм;
- разъем для антенны uFl;
- ток потребления при передаче TX 110 мА;
- ток потребления при приеме RX 23 мА;
- размеры 18×41 мм;
- рабочее напряжение питания 2,7–3,6 В.

Средства проектирования сетей на основе МК Jennic

Рассмотрим основные этапы процесса проектирования системы ZigBee. Беспроводная сеть ZigBee представляет собой совокупность узлов, каждый из которых содержит модуль Jennic и датчик или исполнительное устройство. Сопряжение с датчиком, выбор типа антенны и флэш-памяти, источника питания и корпуса модуля — вот все, что нужно сделать на «железном» уровне. Вся остальная часть разработки производится на программном уровне и заключается в программировании спецификаций сети, датчиков и окончных устройств. В комплект программного обеспечения входит несколько типовых применений, и тогда достаточно просто задать некоторые спецификации.

Сначала формируются узлы сети, которые работают с окончными устройствами. Разработчику необходимо обеспечить сопряжение датчика с МК по одному из портов, определить режимы работы и форматы данных, составить форматы для вывода данных из сети и прописать все это в ПЗУ МК. Сетевой стек беспроводных протоколов содержит уни-

кальный MAC-адрес IEEE802.15.4, которым снабжается каждый из официально поставляемых модулей. Благодаря объему памяти 128 кбайт JN5148 может поддерживать стек ZigBee PRO и почти любое типовое приложение одновременно. При необходимости может быть обеспечена совместимость с сетевым протоколом для IP-соединения 6LoWPAN и с собственным стеком JenNet.

Стандарт ZigBee описывает все уровни, через которые проходит поток передаваемой информации, начиная с физического и заканчивая уровнем поддержки профилей устройств. Нижние два уровня описываются стандартом IEEE 802.15.4 и определяют физические параметры приемопередатчика, структуру радиочастотной посылки, число адресуемых устройств, механизмы проверки и подтверждения целостности принятых данных, процедуры оценки качества канала связи и алгоритмы предотвращения коллизий. Уровни с третьего по шестой описываются непосредственно спецификацией стека ZigBee. На этих уровнях определяется, какими свойствами должны обладать устройства, входящие в сеть, каким образом пакет информации передается от одного узла сети к другому, как обеспечивается безопасность передачи информации, как новое устройство подключается к сети и ее топология, какой узел в сети является главным, а какой — подчиненным. В спецификации стека предусмотрены три типа устройств: координатор, маршрутизатор и окончное устройство. Координатор инициализирует сеть, управляет ее узлами, хранит информацию о настройках каждого узла, задает номер частотного канала и идентификатор сети PAN ID, а в процессе работы может являться 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 являться источником, приемником или ретранслятором сообщений. Оконечное устройство не участвует в управлении сетью

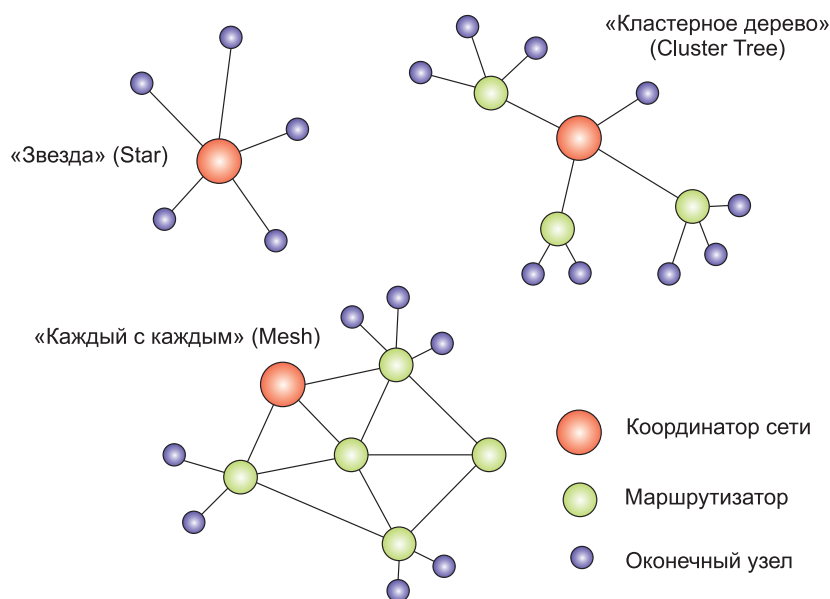


Рис. 3. Варианты топологии сетей ZigBee

и ретрансляции сообщений, являясь только источником/приемником сообщений.

ZigBee поддерживает сложные топологии сетей (рис. 3), в которых данные могут идти в центр сбора данных не только напрямую, но и через промежуточные узлы. За счет этого дальность связи может быть весьма значительной, несмотря на короткий радиус действия отдельных устройств. В сети теоретически может быть объединено до 65 тыс. устройств, поскольку возможна 16-рядная адресация узлов ($2^{16} = 65536$). В расширенном варианте разрядность адресов может быть увеличена до 64.

Замечательной особенностью сети ZigBee является возможность самовосстановления работоспособности в случае выхода из строя отдельных узлов. Это свойство основано на том, что каждый узел следит за своими соседями, постоянно обновляя маршрутные таблицы на основе оценки мощности принятых от них сигналов. В результате при изменении пространственного расположения соседей или выходе из сети одного из устройств вычисляется новый маршрут следования сообщения. Это преимущество является исключительно важным в сетях, функционирующих на промышленных объектах в жестких условиях эксплуатации при наличии промышленных помех, а также в тех случаях, когда часть узлов находится на движущихся объектах.

Для разработчиков компания Jennic предлагает бесплатные программные пакеты нескольких уровней сложности (бинарный пакет начального уровня, JN-SW-4041, JN-SW-4040, JN-SW-4035, JN-SW-4031, Cygwin Command Line-интерфейс и др.) и ряд библиотек к ним (SDK Libraries).

Пакет JN-SW-4041 Eclipse Integrated Development Environment (IDE) является вторым поколением платформы для разработки программного обеспечения Jennic. Он содержит средства создания и управления проектом, редактор кода со встроенным контролем синтаксиса, навигацию по источникам кодов, утилиту конфигурирования графического RTOS и инструменты визуальной отладки. В пакет входят интегрированная среда проектирования фирмы Eclipse (версия Ganymede-SR2-win32), отладочные инструменты для инициализации и создания бинарных файлов, компилирующие инструменты и программатор флэш-памяти. Имеются драйверы для работы с последовательными портами, программирования по порту JTAG и проведения проверки функционирования дерева сети. Поддерживаемые продукты: JN5148 802.15.4, ZigBee PRO, JenNet.

Пакет JN-SW-4031 Code::Blocks Integrated Development Environment предоставляет все возможности IDE, включая полное управление проектом, редактирование кодов источников, управление конфигурацией и построением проекта, утилиту для программирования флэш-памяти и встроенный отладчик. Поддерживаемые продукты: JN5121, JN5139, 802.15.4, JenNet, ZigBee2004, 6LoWPAN.

Пакет Cygwin Command Line Interface (CLI) является общим для обоих SDK, содержит инструменты разработки для Linux-подобного интерфейса, работающего в Windows и предназначенного для пользователей, которые пред-



Рис. 4. Макетная плата узла с датчиками



Рис. 5. Макетная плата узла с ЖК-дисплеем

почитают использовать файлы для создания и управления проектом.

Аппаратные комплекты для проектирования и оценки сетей

Чтобы помочь разработчикам сети беспроводных датчиков, Jennic предлагает серию комплектов, ускоряющих разработку проекта. Они содержат все необходимые аппаратные и программные средства для создания новых продуктов и их тестирования. В каждый комплект входит макетная плата с разъемами, на которую можно устанавливать любые модули Jennic и подключать периферийные устройства. Имеются два типа плат — с набором датчиков температуры, освещенности и влажности (рис. 4) и с ЖК-дисплеем (рис. 5)

На платах имеются 40-пиновые разъемы IDE и 6-пиновые разъемы UART с кабелем-преобразователем для подключения к порту USB. Питая платы можно либо от двух батареек типа AAA, либо от внешнего источника 5 В. Имеются программируемые кнопки для изменения режимов и сброса. Наборы включают в себя также полный комплект программных средств разработки (SDK), включая компилятор C, графические и текстовые отладчики, ассемблер, программатор, библиотеки сетевых стеков

и периферийных устройств, интерфейс для программирования приложений (API) и управления датчиками и устройствами на модулях.

JN5148-EK010

Набор разработчика JN5148-EK010 предоставляет возможность создать полную сетевую среду разработки приложений для ZigBee PRO, JenNet и IEEE802.15.4 на основе беспроводных микроконтроллеров серии JN5148. Содержит полный пакет аппаратного и программного обеспечения, включая пять беспроводных узлов с датчиками, SDK без каких-либо ограничений и пример программного кода. В SDK входят полный набор программных инструментов, программные библиотеки и интерфейс программирования API для написания программы и управления встроенными в JN5148 периферийными устройствами, для организации и управления сетью, для передачи данных. Входящие в набор модули предварительно запрограммированы и позволяют продемонстрировать работу типовой домашней сети датчиков с отображением их состояния на ЖК-дисплее одной из плат, входящей в комплект поставки. Также в набор входят 5 модулей стандартной мощности, из которых 2 имеют встроенную антенну и 3 — антенный разъем, 2 модуля повышенной мощности с uFl-разъемом, датчики температуры, влажности и освещенности, порт расширения ввода/вывода, 2 кабеля для подключения к компьютеру через USB-порт, источники питания (обычно батареи типа AAA) и один узел с ЖК-дисплеем.

JN5148-UG010

Этот набор позволяет обновить ранее приобретенный JN5139-EKxxx, работающий с серией 5139, до последней версии 5148. В него входят 7 модулей серии 5148 — 5 стандартной мощности и 2 повышенной. Функционально идентичен предыдущему.

JN5139 6LoWPAN

Набор предназначен для разработки приложений, использующих беспроводное IP-соединение. Содержит 5 беспроводных узлов, сетевую плату Ethernet-роутера, полноценный SDK для разработки сети, включая пример готовой программы.

JN5139-XK006 6LoWPAN

Пользователи, имеющие набор разработчика JN5139-EKxxx, могут оценить потенциал решения 6LoWPAN и разработать на его основе систему с выходом в сеть Ethernet, используя набор JN5139-XK006 6LoWPAN, который добавляет плату Ethernet-роутера 6LoWPAN, PSU, кабель Ethernet и 6LoWPAN SDK.

JN5139 IEEE802.15.4/JenNet

Этот набор предназначен для быстрого проектирования беспроводной сети на основе протокола IEEE802.15.4/JenNet. Демонстрация работы домашней автоматике: от датчиков поступает информация о температуре, влажности и освещенности и отображается на ЖК-дисплее одного из узлов сети, после чего посылается команда по узлам на включение управляющих сигналов.

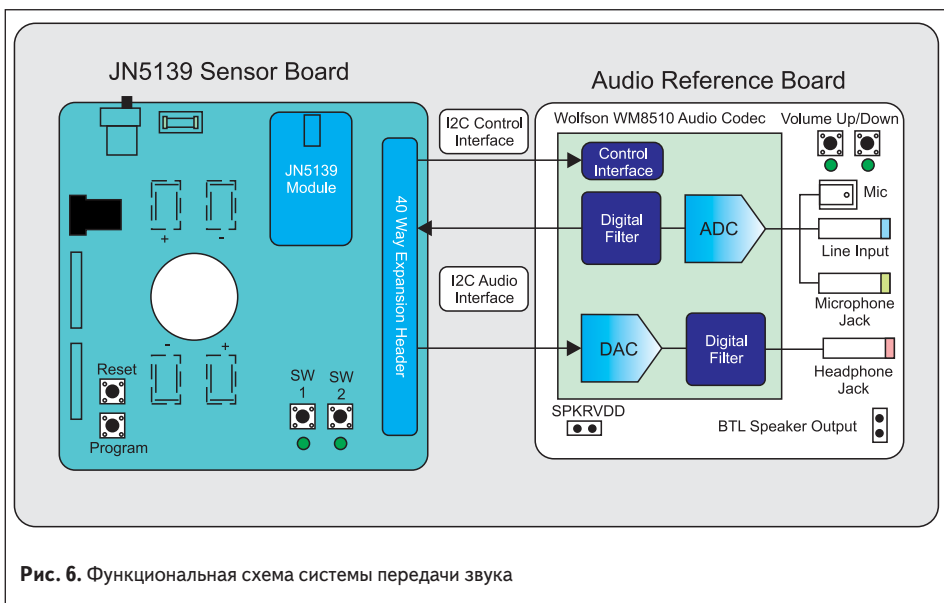


Рис. 6. Функциональная схема системы передачи звука

Наборы для передачи звука и изображения

Датчики аудио- и видеосигналов являются самыми сложными для сетей ZigBee, поскольку требуют большой скорости передачи данных. Тем не менее уникальные возможности микроконтроллера Jennic — большая производительность 32-разрядного процессора — позволяют реализовать на нем такие системы.

Набор JN5139-ХК001 содержит 2 платы со встроенными микрофонами и кодеком для работы со звуком и служит для демонстрации работы системы для беспроводной передачи голоса. Такая аудиосистема может иметь следующие применения:

- Безопасная гарнитура: пожарный или полицейский шлем, в котором вместо дорогостоящего огнеупорного и прочного кабеля используется радиоканал с сохранением возможности связи в случае аварии.
- VoIP-гарнитура.
- Контроль доступа в маломощном узле домофонной связи.
- Звуковой пейджер в большой сети.

К параметрам связи предъявляются следующие требования:

- дальность передачи голоса <20 м (беспроводная симплексная связь push-to-talk);
- дуплексный режим работы;
- надежный канал связи (помехозащищенность + быстрая перестройка частоты);
- защищенная передача голоса;
- качество звука, эквивалентное VoIP;
- одновременная работа с несколькими аппаратами;
- минимум 24 ч непрерывной работы в дуплексном режиме.

МК Jennic позволяют реализовать данную систему, при этом сжатие голоса выполнено с использованием алгоритма сжатия IMA ADPCM. В макете задействован аппаратный сопроцессор AES с обработкой по обеспечению безопасности, происходящей без участия ЦПУ, что смягчает требования к программной поддержке.

Для сравнения: конкурирующие 8-битные ЦПУ Microchip едва справляются с функцией управ-

ления кодеком, им необходимо дополнительное питание для работы стека, дополнительные 9 МГц для кодирования, 8 МГц для декодирования и 16 МГц для стека ZigBee. Функциональная схема системы показана на рис. 6.

В макете имеются: внешний микрофон, стандартные разъемы 3,5 мм (линейный вход, вход для микрофона и выход на наушники), открытый выход, усилитель мощности для динамика (BTL) 0,8 Вт на 8 Ом и внешний аудиокодек Wolfson WM8510 (моно, 16 бит АЦП/ЦАП, смещение для маломощного микрофона, автоматическая регулировка уровня).

Внешний вид макета системы на основе отладочных плат из наборов JN5139-EK010 и JN5139-ХК001 показан на рис. 7 (система состоит из двух таких устройств).

В макете реализованы следующие функции:

- дуплексная и симплексная конфигурации;
- программное сжатие ADPCM 32 кбит/с для звукового потока (симплексного);
- сканирование РЧ-каналов с адаптивным переключением при обнаружении помех и с индикацией выхода из диапазона дальности;
- переключаемая частота дискретизации 8/16 кГц (16 кГц только для симплекса/полудуплекса);
- регулировка громкости;
- индикация разряда батареи;



Рис. 7. Внешний вид макета системы передачи звука

- наличие тестового сигнала частотой 400 Гц;
- спаривание двух устройств через кнопочный интерфейс.

Примерно такой же по сложности оказывается система для передачи видео. В ней вместо микрофона с кодеком устанавливается миниатюрная видеочка со своим кодеком, выполненным на одном чипе. Информация передается кадрами с разрешением 320×240 точек с темпом до 3 кадров в секунду при использовании сжатия в формате JPEG. Такой датчик не заменяет систему непрерывного видеонаблюдения, но может быть полезным дополнением в простых системах безопасности: при срабатывании какого-либо простого датчика вторжения можно по сети ZigBee активировать видеочка и получить изображение для выяснения обстановки или опознавания посетителя. В таком режиме видеочка потребляет очень мало энергии и может работать от той же батарейки, что и микроконтроллер.

Заключение

Беспроводные сети ZigBee предоставляют хорошую основу для построения надежных недорогих сетей сбора и передачи данных. Такие сети находят применение в промышленности для управления технологическим оборудованием; для передачи информации от движущихся объектов (конвейеров, роботов) или от объектов, находящихся под высоким напряжением; во взрыво- и пожароопасных условиях; в коммунальном хозяйстве для контроля и управления теплоснабжением, освещением и вентиляцией; в системах пожарной безопасности и автоматического пожаротушения; для коммерческого учета потребленного тепла, электроэнергии и воды; в системах управления лифтовым оборудованием. ZigBee являются также удобной основой для систем домашней автоматизации, медицинских систем мониторинга и охранных комплексов. Достоинством таких сетей является то, что их развитие и модернизация не требуют замены уже созданной аппаратуры.

Высокие технические характеристики элементной базы компании Jennic позволяют проектировать сеть на современном уровне от самой простой до максимально сложной, которую только можно реализовать в стандарте ZigBee. Развитые средства разработки, включающие наборы готовых решений для типовых приложений, позволяют быстро подготовить необходимое программное обеспечение даже начинающим разработчикам. ■

Литература

1. ZigBee Alliance. ZigBee Specification. <http://www.zigbee.org>.
2. Варгаузин В. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4. // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6.
3. Кривченко Т. Технология ZigBee // Коммунальный комплекс России. 2006. № 4.
4. Еркин А. Разработка распределенных систем контроля датчиков на основе защищенных низкопотребляющих беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic // CHIP NEWS. 2010. № 1.
5. <http://www.jennic.com>