

Встраиваемые модули MeshLogic для построения беспроводных сенсорных сетей

Сергей Баскаков, ООО «Высокотехнологичные системы»

В статье представлены радиочастотные модули ML-Module-Z, предназначенные для разработки беспроводных сенсорных сетей на базе платформы MeshLogic. Встроенный в модули сетевой стек отличается простотой в использовании и высокой эффективностью в задачах распределенного сбора информации по беспроводным каналам связи.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы беспроводные сенсорные сети (БСС) привлекают все большее внимание, так как эта технология позволяет эффективно решать множество прикладных задач, в которых требуется распределенный сбор информации и/или передача команд управления по радиочастотному каналу связи.

На данный момент в области БСС наиболее установленным стандартом является ZigBee, спецификация которого с 2004 года была несколько раз обновлена и дополнена. В июне 2007 года была принята 7 версия стандарта HART, в которую включена спецификация WirelessHART для беспроводной передачи HART-сообщений. Находящийся в процессе разработки стандарт ISA SP100.11a предназначен для более широкого применения беспроводной связи в области промышленной автоматизации.

Для создания БСС могут также использоваться и частные решения от западных компаний, например, Sensicast (www.sensicast.com), Millennial Net (www.millennial.net), Dust Networks (www.dustnetworks.com) и Crossbow (www.xbow.com), а также российская разработка — платформа MeshLogic (www.meshlogic.ru), о которой пойдет речь в настоящей статье.

Платформа MeshLogic предназначена для создания беспроводных сенсорных сетей под различные приложения. В MeshLogic возможно применение на физическом уровне разных типов приемопередатчиков, отличающихся диапазоном частот, модуляцией и другими параметрами, но на данный момент основной является реализация на базе приемопередатчиков широко распространенного стандарта IEEE 802.15.4, который используется как во всех перечисленных выше стандартах

сетевых технологиях, так и в большинстве проприетарных решений. Отличие MeshLogic от других продуктов заключается в собственном стеке сетевых протоколов, который обеспечивает следующие ключевые преимущества [1, 2]:

- полностью многоячеичковая топология сети;
- все узлы равноправны и являются маршрутизаторами;
- самоорганизация и автоматический поиск маршрутов;
- устойчивость к соканальной интерференции;
- высокая масштабируемость и надежность доставки данных;
- возможна работа всех узлов от автономных источников питания.

Беспроводные OEM-модули ML-Module-Z [3] (рис. 1) представляют собой законченное интегрированное решение, которое позволяет сторонним разработчикам самостоятельно создавать беспроводные сети по технологии MeshLogic. В модули встроена специальная версия сетевого стека MeshLogic, оптимизированная для построения распределенных систем сбора информации, в которых множество устройств передает данные в одну или нескольких точек сбора (базовых станций, шлюзов и т.п.) (рис. 2). Подобный тип трафика типичен для многих приложений, например:

- автоматический съем показаний счетчиков;
- системы мониторинга в промышленной и домашней автоматизации;
- мониторинг состояния несущих конструкций зданий и сооружений и т.д.

Главная особенность модулей ML-Module-Z заключается в том, что все они одинаковы и являются маршрутизаторами, то есть способны в случае необходимости ретранслировать

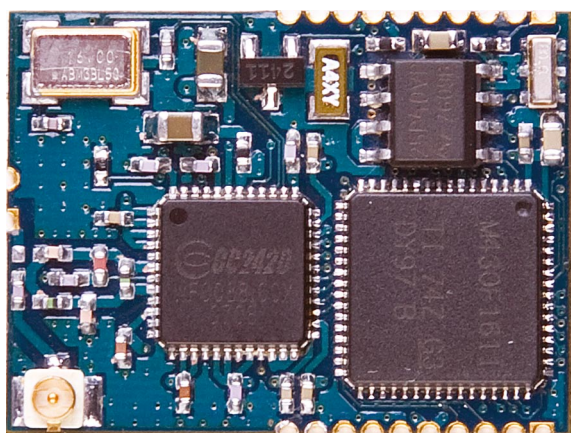


рис. 1. Беспроводной модуль ML-Module-Z

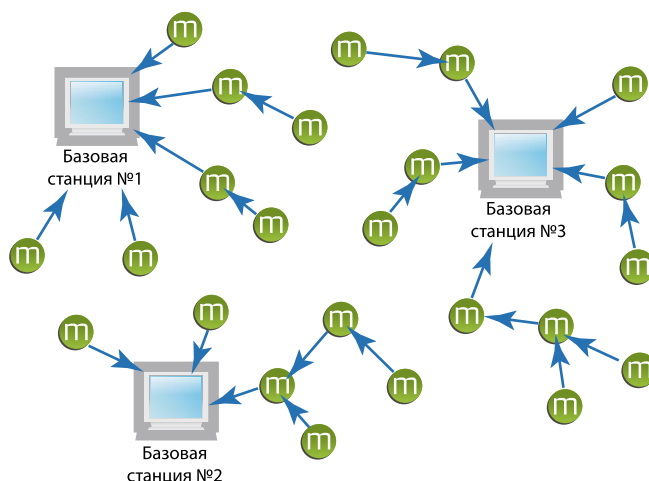


рис. 2. Беспроводная система сбора информации

пакеты, но при этом автоматически переходят в «спящий» режим, значительно сокращая среднее энергопотребление и увеличивая срок службы элементов питания. Для перехода маршрутизаторов в дежурный режим не требуется настраивать синхронизированный доступ к среде или задавать какие-то другие параметры, поскольку модули самостоятельно определяют оптимальный режим работы в зависимости от сетевой нагрузки.

Заметим, что далеко не все представленные на рынке решения для БСС позволяют создавать полноценные mesh-сети, в которых все узлы могут выполнять ретрансляцию при работе от автономных элементов питания.

ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ

Модуль ML-Module-Z (рис. 3) состоит из микроконтроллера, приемопередатчика стандарта IEEE 802.15.4, 48-битного серийного номера, флэш-памяти емкостью 4 Мб и предусматривает два варианта подключения 50-Омной антенны: через контактные площадки или U.FL-разъем. Основные технические характеристики модуля приведены в таблице 1.

На рис. 4 показана структурная схема типового беспроводного сенсорного узла на базе модуля ML-Module-Z. Как правило, хост-устройством является микроконтроллер, который подключен к радиомодулю по последовательному интерфейсу UART и нескольким цифровым линиям. Микроконтроллер периодически опрашивает подключенные к нему датчики или другие источники сигналов (например, счетчики, расходомеры и т.д.), выполняет предварительную обработку измерений и передает результат одной из базовых станций (см. рис. 2).

Управление модулем выполняется набором API-команд [4], при этом большинство из них необязательно задействовать. Основной является команда «Передача адресного пакета», в которой хост-устройство указывает номер базовой станции и до 95 байт пользовательских данных (например, показания датчиков), которые должны быть ей доставлены. Если в команде в явном виде не задан номер базовой станции, то пакет по умолчанию отправляется ближайшей к модулю базовой станции. Если невозможно передать пакет данных базовой станции напрямую, то модули автоматически определяют оптимальный маршрут доставки данных без какого-либо вмешательства со стороны их хост-устройств.

Если все оконечные устройства передают данные в одну точку сбора, то возможна перегрузка сети или значительное сокращение времени ее жизни из-за роста трафика по мере приближения к базовой станции. Установка в сети нескольких точек сбора позволяет снизить влияние этого эффекта за счет разделения потоков трафика, а также повышает надежность системы сбора данных. Текущая версия стека модулей ML-Module-Z поддерживает до 4 базовых станций в сети, при этом в процессе функционирования можно любой модуль перевести из режима оконечного устройства в режим базовой станции и обратно, так как все модули имеют идентичное программное обеспечение.

В модуле предусмотрена функция измерения напряжения источника питания (сигнал PM на рис. 4), использование которой рекомендуется при работе устройства от автономного источника питания (например, от батарей или аккумуляторов), так как в этом случае модуль способен использовать эту информацию для более рационального использования запаса энергии. Эффективность данного подхода наглядно продемонстрирована в статье [2].

Каждый модуль имеет уникальный 48-разрядный серийный номер для адресации узлов в беспроводной сети, но он также может быть использован хост-устройством для идентификации всего конечного изделия. Установленная на модуле флэш-память доступна хост-устройству для хранения пользо-

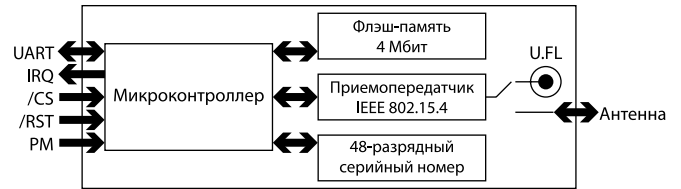


рис. 3. Структурная схема модуля

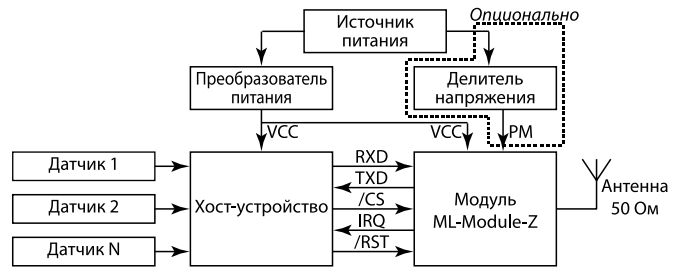


рис. 4. Типовое изделие на базе модуля

вательских данных (например, для накопления результатов измерения).

На целевую плату модуль устанавливается SMD-монтажом или через штыревые разъемы. Чип-антенна или антенна в виде проводника на печатной плате подключается к модулю через контактные площадки. При монтаже модуля на штыревой разъем и/или при металлическом корпусе изделия необходимо применение внешней антенны, которая подключается к модулю через кабельную сборку, например, U.FL-SMA(RP).

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

В технических характеристиках модуля указаны значения тока потребления в различных режимах работы, но на практике необходимо знать среднее значение, так как от величины средней потребляемой мощности зависит срок службы элемента питания, что принципиально важно для большинства приложений БСС.

Среднее энергопотребление модуля в основном определяется объемом передаваемого и принимаемого в единицу времени трафика. На сайте www.meshlogic.ru [5] доступен набор Matlab-функций, описывающих упрощенную модель энергопотребления модуля ML-Module-Z, которая позволяет оценить среднюю потребляемую мощность в зависимости от следующих параметров:

- Ttxu и Trxu — период передачи и приема адресных пакетов данных, сек;
- Ttxb и Trxb — период передачи и приема широкополосных пакетов данных, сек.

На рис. 5 показаны примеры графиков, полученных с помощью данной модели. Видно, что при высокой частоте передачи

таблица 1. Основные технические характеристики модуля

Параметр	Значение
Тип радиоканала	IEEE 802.15.4
Диапазон частот	2400...2483,5 МГц
Выходная мощность передатчика	до 1 мВт (0 дБм)
Чувствительность приемника	-95 дБм
Напряжение питания	от 2,7 до 3,6 В
Ток потребления в режиме передачи, приема, управления, спящем (при 3,3 В)	21 мА/24 мА/3,7 мА/9 мкА
Интерфейс управления	UART (LVCMOS)
Скорость интерфейса UART	от 9600 до 921600 бит/с
Габаритные размеры	25,4 × 19,05 × 2,7 мм
Температурный диапазон	-40...85°C

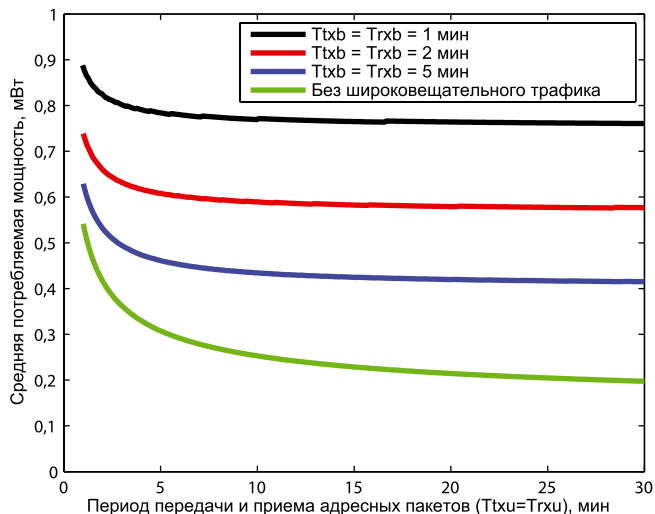


рис. 5. Зависимость средней потребляемой мощности от трафика

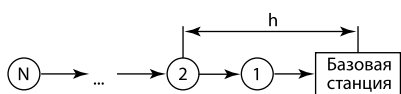


рис. 6. Пример топологии сети

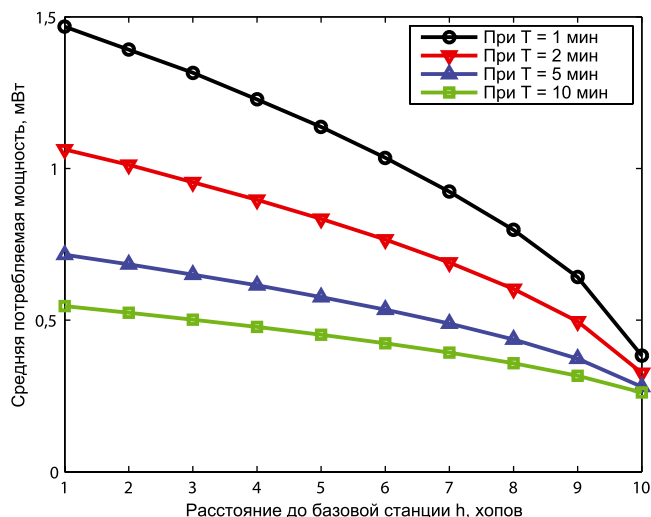


рис. 7. Зависимость средней потребляемой мощности от расстояния до базовой станции

и приема адресных пакетов энергопотребление существенно зависит от интенсивности сетевого обмена, но при малом трафике в основном имеют место служебные затраты на поддержание работоспособности сети (прослушивание канала и т.п.).

Модули периодически обмениваются специальными широковещательными пакетами, частота передачи которых определяет скорость реакции на возможные изменения в сети. Чем меньше периоды передачи сигнальных пакетов, тем быстрее узлы адаптируются к изменениям в топологии сети, но при этом возрастает энергопотребление. Из рис. 5 следует, что при низком адресном трафике энергопотребление модуля определяется широковещательным трафиком, поэтому значения периодов передачи сигнальных пакетов следует задавать в соответствии с особенностями условий эксплуатации сети.

Поскольку в платформе MeshLogic все узлы являются маршрутизаторами, при расчете энергопотребления модуля следует указывать суммарный сетевой трафик, то есть учиты-

вать как пакеты данных, источником которых является непосредственно сам модуль, так и пакеты, которые он принимает и передает, выполняя функции ретранслятора. Следовательно, средний ток потребления модуля существенно зависит от его положения в топологии сети и направлений прохождения сетевого трафика.

В качестве примера расчета энергопотребления рассмотрим сеть с линейной топологией, в которой N узлов по цепочке с номинальным периодом T передают пакеты данных базовой станции (рис. 6). При этом каждый узел (кроме базовой станции и крайнего узла) способен связываться только с двумя соседними узлами, а период передачи широковещательных пакетов равен Tb. Тогда узел, находящийся на расстоянии h промежуточных передач до базовой станции, испытывает следующую сетевую нагрузку: $Ttxu = T/(N-h+1)$, $Ttxb = Tb$, $Trxb = 2Tb$.

На рис. 7 представлен результат расчета для сети из N = 10 узлов и Tb = 30 мин. Видно, что средние потребляемые мощности ближайшего к базовой станции узла и крайнего узла значительно отличаются, при этом разница увеличивается по мере роста количества узлов в сети и, следовательно, длины маршрутов, а также интенсивности генерации трафика.

Как правило, при проектировании сети достаточно примерно оценить ее топологию и характер распределения потоков трафика для определения узла, испытывающего максимальную сетевую нагрузку. Поскольку энергопотребление данного узла будет максимально среди остальных узлов, то по соответствующему ему значению Pmax (мВт) можно получить нижнюю оценку величины срока службы элемента питания по формуле $Tmin = Cbat/(24 \cdot Pmax)$, дней, где Cbat — емкость элемента питания (мВт·ч).

Естественно, общее энергопотребление законченного изделия на базе модуля будет включать также затраты энергии на работу хост-устройства, на опрос внешних датчиков и т.д. Обычно эти величины пренебрежимо малы по сравнению с потребляемой мощностью радиомодуля, но в некоторых случаях их также следует учитывать при оценке срока службы беспроводного узла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность успешного практического внедрения технологии беспроводных сенсорных сетей во многом определяется наличием готовых продуктов, которые просты в использовании, обладают необходимой функциональностью и эффективно решают поставленные задачи. Одним из таких продуктов являются радиочастотные модули ML-Module-Z на базе платформы MeshLogic.

Встраиваемые модули ML-Module-Z полностью реализуют все функции по работе с радиоканалом и сетевым взаимодействием, сокращая срок и стоимость разработки беспроводной сенсорной сети для распределенного сбора информации. В отличие от других решений интегрированная в них версия стека MeshLogic отличается простой системой команд и минимальным количеством настроек, но при этом обеспечивается высокая эффективность и гибкость системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков С.С., Оганов В.И. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic™//Электронные компоненты. 2006. № 8. С. 65—69.
2. Баскаков С.С. Стандарт ZigBee и платформа MeshLogic: эффективность маршрутизации в режиме «многие к одному»//Первая миля (приложение к журналу «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес»). 2008, № 2—3, С. 32—37.
3. Беспроводной модуль ML-Module-Z: Руководство пользователя. <http://www.meshlogic.ru/data/ML-Module-Z Product Manual.pdf>.
4. Беспроводной модуль ML-Module-Z: Описание системы команд. <http://www.meshlogic.ru/data/ML-Module-Z API Reference Guide.pdf>.
5. http://www.meshlogic.ru/data/EnergyModel_ML-Module-Z.zip