

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE 802.15.4

Введение

В настоящее время бурно развиваются технологии беспроводных сенсорных сетей (БСС). Это распределенные самоорганизующиеся многоячеистые сети, базирующиеся на стандарте IEEE 802.15.4 с низкой скоростью передачи данных и сверхнизким энергопотреблением узлов. Для построения беспроводных сенсорных сетей могут использоваться открытые промышленные стандарты ZigBee, Wireless HART и MiWi и проприетарные решения (например, SmartMesh от Dust Networks, Mesh Logic и Mesh Lite) [1].

Основной сферой применения сенсорных сетей является сбор по беспроводному каналу связи показаний от множества датчиков, распределенных в пространстве. Данные сети применяются:

- в промышленности, для контроля производства товаров;
- системах обеспечения безопасности и обороны;
- медицине, для дистанционного биометрического контроля;
- системах мониторинга окружающей среды;
- при построении системы «Умный дом»;
- для мониторинга местонахождения и управления транспортом.

Каждый элемент БСС имеет микроконтроллер, приемопередатчик и различного типа датчики (рис. 1). При этом в большинстве случаев оконечные узлы работают на автономных источниках питания, поэтому в первую очередь требуется эффективное использование ресурсов энергии узлов для обеспечения длительного времени жизни сети.

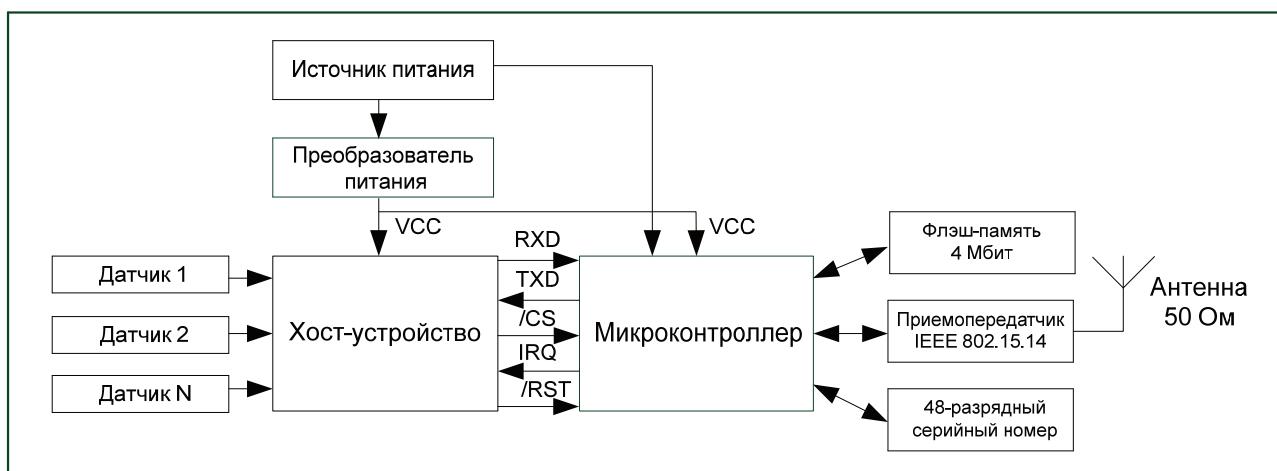


Рис. 1. Типовое изделие на базе модуля

Снижение энергопотребления элементов БСС достигается с помощью:

- выбора элементной базы и схемотехнических решений;
- использования адаптивных энергоэффективных алгоритмов аналого-цифровой обработки данных полученных от датчиков;
- снижения мощности передатчика;
- выбора размера памяти, механизмов защиты информации [2].

Результаты измерения среднего потребляемого тока в разных режимах работы для выше перечисленных технологий приведены в таблице.

Протоколы беспроводной передачи данных (технологии)	ZigBee (Контроллер Jennic) [3]	ZigBee (Контроллер Xbee) [3]	Wireless HART [4]	MiWi [5]	Mesh Logic [6]	Mesh Lite [7]	Smart Mesh [8]
Ток потребления в режиме передачи, приема и режим sleep, мА	34/34/0,2	45-215/ 50-55/ <10	58/27/25	23/19/2	21/24/9	30/28/ 0,002	18/6/8.5
Напряжение питания, В	2,0 – 3,8	2,1 – 3,6	2,7 – 3,3	2,0 – 3,6	2,7 – 3,6	2,2 – 3,6	2,85 – 5,50

Особенности расчета энергопотребления модулей БСС

От величины средней потребляемой мощности модуля БСС зависит срок службы его элемента питания, что принципиально важно для большинства приложений. Среднее энергопотребление модуля в основном определяется объемом передаваемого и принимаемого в единицу времени трафика. 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. 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 БСС все узлы являются маршрутизаторами, при расчете энергопотребления модуля определяется суммарный сетевой трафик, то есть учитываются 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 к базовой станции (рис. 2).

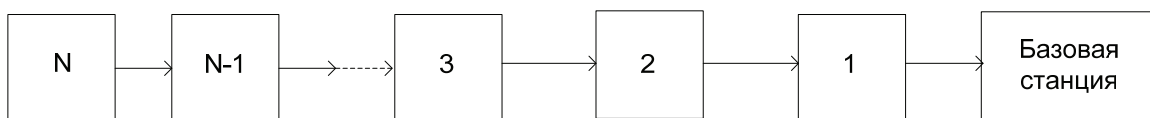


Рис. 2. Сеть с линейной топологией

При этом каждый узел (кроме базовой станции и крайнего узла) способен связываться только с двумя соседними узлами, а период передачи широковещательных пакетов равен T_b . Тогда модуль, находящийся на расстоянии M промежуточных узлов до базовой станции, испытывает следующую сетевую нагрузку [5]:

$$T_{txu} = T / (N - M + 1), T_{rxu} = T / (N - M), T_{txb} = T_b, T_{rxb} = 2T_b,$$

где T_{txu} и T_{rxu} – период передачи и приема адресных пакетов данных, с; T_{txb} и T_{rxb} – период передачи и приема широковещательных пакетов данных, с.

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 P_{\max} (мВт) можно получить нижнюю оценку величины срока службы элемента питания по формуле $T_{\min} = C_{bat} / (24P_{\max})$, дней, где C_{bat} – емкость элемента питания (мВт·ч). В дальнейших расчетах примем $C_{bat} = 7920$ мВт·ч, что примерно равно емкости одной Li/SOCL₂-батареи типоразмера AA. При другом количестве и/или типе батарей потребуется только пропорциональное масштабирование в соответствии с их суммарной емкостью.

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.

Описание модели

Для того чтобы самостоятельно определить пригодность выбранных радиомодулей для решения поставленных прикладных задач, предлагается провести математическое моделирование в среде MATLAB.

Математическая модель энергопотребления БСС предназначена для оценки средней мощности потребления узлов в зависимости от следующих параметров:

L_{data} – размер поля пакетов данных (байт);

T_L – период прослушивания радиоканала (с);

$T_L^{tx} = \left\{ T_L^{(i)} \right\}_{i=1}^N$ – периоды прослушивания радиоканала каждого из N соседних узлов (с);

$Q_{txu} = \left\{ Q_{txu}^{(i)} \right\}_{i=1}^N$ – потоки адресного трафика, передаваемого каждому из N соседних узлов (пакетов/с);

Q_{txu} – поток передаваемого широковещательного трафика (пакетов/с);

$Q_{rxu} = \left\{ Q_{rxu}^{(i)} \right\}_{i=1}^N$ – потоки адресного трафика, принимаемого без ошибок от каждого из N соседних узлов (пакетов/с);

$Q_{erxu} = \left\{ Q_{erxu}^{(i)} \right\}_{i=1}^N$ – потоки адресного трафика, принимаемого с ошибками от каждого из N соседних узлов (пакетов/с);

Q_{rxb} – суммарных поток принимаемого широковещательного трафика (пакетов/с);

Q_{oh} – поток принимаемого адресного трафика, предназначенного другим соседним узлам (пакетов/с).

Значения потоков трафика задаются в виде математического ожидания на длительном интервале времени, в течение которого можно считать, что сеть находится в стационарном состоянии. При этом в параметрах Q_{txu} , Q_{rxu} и Q_{erxu} должен быть учтен суммарный входящий и исходящий адресный трафик узла, т.е. включая пакеты данных, которые узел ретранслирует, выполняя функцию маршрутизатора. Для приближенного расчета энергопотребления не учитываются потери пакетов в условиях ненадежных каналов связи, т.е. полагаем $Q_{erxu} = 0$ и $Q_{oh} = 0$.

Результаты расчета энергопотребления

Рассмотрим простую сеть с топологией звезда, которая состоит из одной базовой станции и двух оконечных устройств (рис. 3).

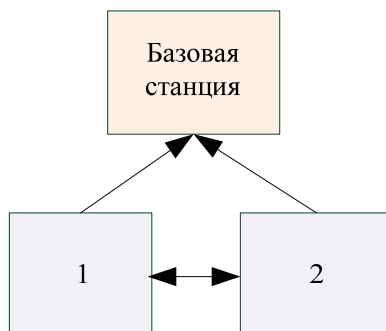


Рис. 3. Сеть с топологией звезда

Допустим, что базовая станция имеет внешний источник электропитания и постоянно прослушивает радиоканал (период прослушивания равен 0), а оконечные устройства имеют автономные источники питания и прослушивают радиоканал с заданным периодом T_L . Предположим также, что сеть находится в режиме ожидания: адресный трафик с пользовательскими данными отсутствует, и узлы передают только широковещательные служебные Link- и Route-пакеты с заданными в настройках модулей периодами T_{Link} и T_{Route} . Выполним оценку среднего тока потребления оконечных узлов в зависимости от периода прослушивания канала T_L . В данной сети все узлы имеют двух соседей, т.е. $N = 2$. При этом для удобства положим, что для каждого из оконечных узлов соседним узлом №1 является базовая станция, а соседним узлом №2 – второе оконечное устройство. Поскольку режимы работы оконечных узлов совпадают, у них одинаковая средняя потребляемая мощность, которая определяется следующими параметрами:

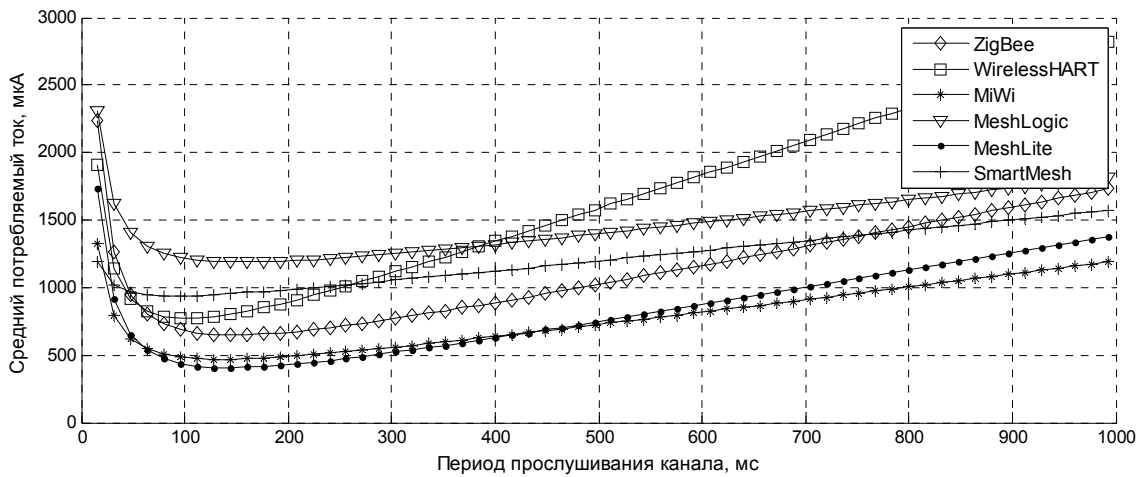
L_{data} практически не влияет на среднюю мощность потребления модуля, при расчетах задано;

$$L_{data} = 50 \text{ байт}, T_L^{tx} = \{0, T_L\} \text{ мс};$$

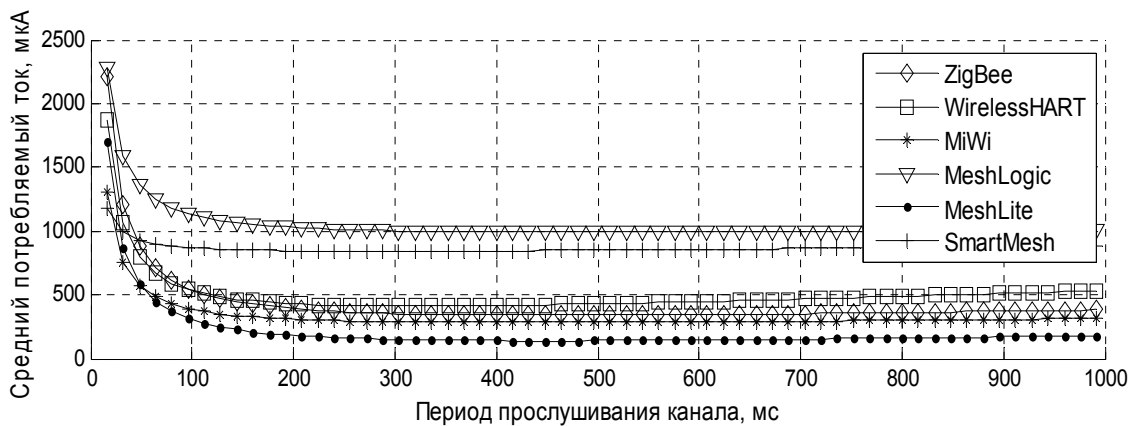
$$Q_{txu} = \{0, 0\} \text{ пакетов/с}, Q_{rxu} = \{0, 0\} \text{ пакетов/с};$$

$$Q_{txu} = \frac{1}{T_{Link}} + \frac{1}{T_{Route}} \text{ пакетов/с}, Q_{rxb} = NQ_{txb} \text{ пакетов/с}.$$

Ниже приведены расчетные значения среднего потребляемого тока оконечных устройств в зависимости от периода прослушивания канала T_L при периодах сигнальных пакетов $T_{Link} = T_{Route} = 50 \text{ с}$ (рис. 4,а) и $T_{Link} = T_{Route} = 500 \text{ с}$ (рис. 4,б). Для заданных параметров моделирования минимальное энергопотребление достигается при использовании модулей Mesh Lite.



а



б

Рис. 4. Среднее потребление тока конечных устройств в зависимости от периода прослушивания канала

Выводы

Энергопотребление стоит в ряду ключевых параметров качества БСС, поэтому вопрос о его расчете при создании подобных систем возникает одним из первых. Разумный выбор элементной базы и ее правильная настройка поможет построить распределенную беспроводную сеть с долгим бесперебойным сроком службы. С помощью описанной модели показано влияние характеристик беспроводных модулей и топологии сети на энергопотребление узлов и, как следствие, на время бесперебойной работы автономных элементов питания.

Список литературы 1. Шостко, И.С., Соседка, Ю.Э. Методы снижения энергопотребления в сенсорных сетях // 23-я Междунар. Крымская конференция СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии, 8-13 сентября 2013 г., Севастополь, Т.1, с.476-477. 2. Первунинских, В.А. Архитектура сенсорных полей в комплексах технических средств охраны на основе беспроводной радиосвязи http://conf-ulstu.ru/p5_36.php. 3. Еркин А. Разработка распределенных систем контроля датчиков на основе защищенных низкопотребляющих беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic / Chip News. // Беспроводные устройства. – 2010. – №10. –С. 1–9. 4. Официальный сайт компании SoftInG. <http://industrial.softing.com/en/search.html>. 5. Официальный сайт компании MicroChip. <http://www.microchip.com>. 6. Баскаков, С. Встраиваемые модули MeshLogic для построения беспроводных сенсорных сетей // Встраиваемые системы. – 2009. – №3. – С. 30–32. 7. Скиба, К. Создание телеметрических распределенных систем на базе модулей Telit RF с использованием технологии Mesh Lite // Беспроводные технологии. – 2011. – № 1(22). – С. 16–20. 8. Сайт компании Smart Mesh. <http://www.linear.com/product/LTC5800-WHM#overview>.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 13.02.2014