

О методах повышения эффективности использования энергоресурсов сетей «Интернета вещей»

С.Ш. Кутбитдинов, А.В. Дурель (ГУП «UNICON.UZ»)

В настоящей статье рассмотрены возможные подходы к увеличению сроков эксплуатации перспективных сетей "Интернета вещей" путем повышения эффективности использования ресурсов автономных источников электропитания элементов этих сетей.

Ушбу мақолада «Интернет жиҳозлар» истиқболли тармоқлари элементларининг электр таъминоти автоном манбаларининг ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш йўли билан ушбу тармоқларни эксплуатация қилиш муддатларини оширишга эҳтимолий ёндашувлар кўриб чиқилди.

This article reviews possible approaches to increase of the "Internet of things" perspective networks life-time by improving efficiency of these networks elements autonomous power supply sources resource using.

Одним из наиболее часто употребляемых в прогнозах перспективного развития инфокоммуникационных технологий является понятие «Интернет вещей».

В соответствии с Рекомендацией ITU-T Y.2060 [1] «Интернет вещей» должен представлять собой глобальную инфраструктуру информационного общества, включающую развитые службы соединения "вещей" (под которыми подразумеваются как физические, так и виртуальные объекты), которая будет основываться на существующих и вновь разрабатываемых взаимодействующих между собой информационных и телекоммуникационных технологиях.

Более реалистичное определение «Интернета вещей», отражающее его фактическое состояние, приводится в IT-словаре международного аналитического агентства «Гартнер» [2] в виде:

- «Интернет вещей» - это сеть физических объектов, содержащих встроенные технологии, позволяющие обмениваться информацией или взаимодействовать между собой или с внешним окружением.

Исходя из вышеприведенных определений, можно прогнозировать, что

в рамках реализации предложенной ITU-T концепции «Интернета вещей» следует ожидать появления целого ряда значительно отличающихся сетей передачи данных, реализованных на основе различных технологий, в зависимости от области их применения.

Среди уже развиваемых или прогнозируемых [3,4] областей применения сетей "Интернета вещей" можно выделить:

- системы мониторинга или автоматизированного управления стационарными объектами, например - инфраструктурой зданий (эксплуатируемых в качестве сооружений бытового, промышленного или социального назначения);

- комплексы устройств учета ресурсов, систем управления или мониторинга, в том числе - систем контроля подвижных объектов;

- мониторинг параметров живых организмов, в том числе на основе объединяющих все персональные электронные устройства пользователя персональных сетей (Personal Area Network) и беспроводных "нателных" сетей (Wireless Body Area Networks), используемых в медицинских приложениях.



Рис. 1. Внешний вид промышленных модулей Zigbee для построения БСС.

Необходимо отметить значительный отрыв футуристических описаний «Интернета вещей» [5] от реально существующих в настоящее время технологий. В частности, при описании технологической основы узлов сбора и приёма-передачи информации (далее - узлов) в сетях «Интернета вещей», нередко используется [1,6] выражение «мот» («mote» - «пылинка»), но серийно производимые в настоящее время комплектующие (например, беспроводные модули технологии Zigbee, наиболее часто применяемой при реализации сетей «Интернета вещей») являются несколько более весомыми, как можно увидеть на рис. 1.

Одним из практических ограничений, возникающих при выборе конкретного принципа организации «Интернета вещей», является ограниченность возможных технических решений, основанных на существующих технологиях беспроводных сенсорных сетей (БСС), таких как Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, ZigBee.

БСС – это одноранговая беспроводная сеть передачи данных с переменной топологией и отсутствием четкой инфраструктуры (ячеистая сеть, "mesh-network"), где каждый узел может выполнять функции маршрутизатора и принимать участие в ретрансляции пакетов данных.

Среди технологий построения БСС можно выделить относительно новую технологию ZigBee [7,8], которая изначально разрабатывалась с ориентацией

на промышленное применение, и на сегодняшний день является наиболее перспективной технологией для построения БСС с малой скоростью передаваемой информации (до 250 kb/s).

В число наиболее распространённых задач, реализуемых с помощью БСС на основе технологий ZigBee [7,8], входят:

- мониторинг промышленных объектов и характеристик технологических процессов;
- экологический мониторинг состояния окружающей среды (прогнозирование природных явлений и наблюдение за ними);
- контроль местоположения подвижных объектов, в том числе мониторинг дорожного трафика.

Технологическое развитие БСС идет в направлениях увеличения скорости передачи данных и степени интеллектуальности сетевого и абонентского оборудования, а также улучшения степени использования радиочастотного спектра.

Наибольшее распространение получили стационарные БСС, при этом, в связи с тем, что конкретные условия их эксплуатации могут значительно затруднять или делать полностью невозможной замену источников электропитания мотов БСС, уменьшение их энергопотребления (в целях соответствующего увеличения срока эксплуатации сети в целом) стало одной из ключевых исследовательских задач, возникающих при проектировании БСС.

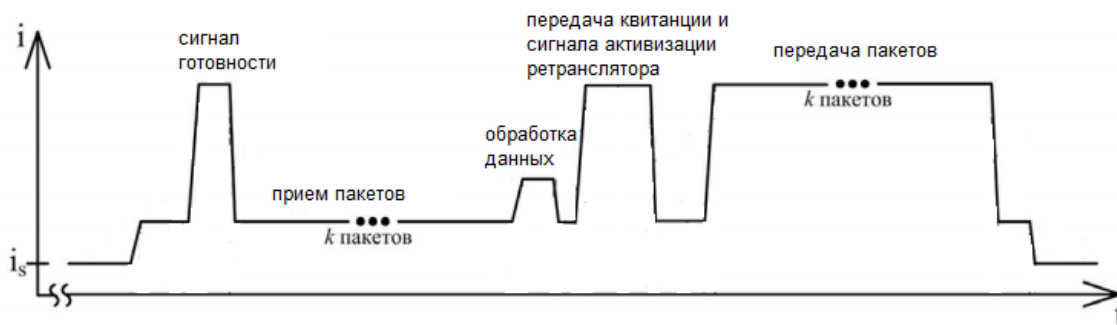


Рис. 2. Циклограмма энергопотребления мота БСС в режиме ретрансляции пакетов

Интенсивность потребления ресурсов источников автономного электропитания мотов БСС зависит от ряда таких параметров как топология сети, количество узлов БСС и расстояние между ними, уровень электромагнитных помех, интенсивность обмена информацией в сети и состав функциональных требований к моту БСС. Например, наиболее полная из известных моделей энергопотребления мотов БСС [9], позволяет учитывать более 20 функциональных состояний мота (пример циклограммы энергопотребления мотов БСС в обобщенном виде представлен на рис. 2).

В качестве одного из способов решения вышеперечисленных задач в [10] предложено применение в БСС элементов искусственного интеллекта для создания на их основе когнитивных беспроводных сетей с применением нечеткой логики для оптимизации маршрутов передачи данных с помощью реактивного протокола маршрутизации FAODV (Fuzzy Ad-hoc On-demand Distance Vector - нечеткая одноранговая дистанционно-векторная маршрутизация по запросу), не требую-

щего периодического обновления таблиц маршрутизации, что позволяет экономить энергоресурсы мотов БСС.

Результаты моделирования FAODV показывают, что при 10 транзитных узлах в сети доля доставленных пакетов увеличивается на 5 % (с соответствующей экономией энергоресурсов).

Заслуживающий рассмотрения подход [11] к обеспечению экономии энергоресурсов основан на осуществлении так называемой энергетической балансировки сети, под которой понимается управление мотами БСС с целью обеспечения равномерности их энергопотребления и соответствующего увеличения срока эксплуатации их автономных источников электропитания. Для решения данной задачи в [11] предложен алгоритм работы специализированного устройства, осуществляющего энергетическую балансировку БСС, в частности, путем управления мощностью излучения передатчиков мотов БСС с учетом влияния определенных внешних факторов, а также построена соответствующая модель БСС.

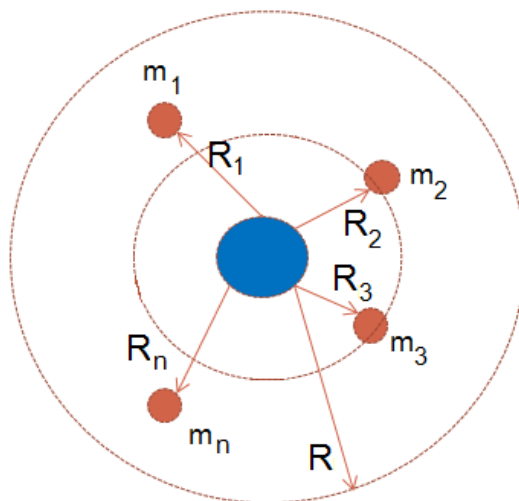


Рис. 3. Структурная схема моделируемой БСС

Структурная схема данной модели (приведена на рис. 3) состоит из одного центрального управляющего узла (ЦУУ) и n узлов сети, расположенных на произвольных расстояниях $R_1 \dots R_n$ от ЦУУ. Для мотов БСС m , на основе которых реализованы узлы сети, в рассматриваемой модели установлены следующие параметры: радиус зон покрытия, равный радиусу зоны покрытия ЦУУ R ; равные значения емкостей автономных источников питания C_g , $g=1, n$; равные значения максимальных потребляемых мощностей приемника и передатчика P_r и P_t и индивидуальные значения потребляемого тока от их автономных источников электропитания. Все моты БСС регулярно генерируют перманентный объем пакетов данных и поочередно передают их в ЦУУ (без перекрытия времени сеансов связи).

Согласно результатам, приведенным в [11], для некоторой части мотов мощности передаваемых сигналов могут быть уменьшены с учетом энергетического состояния канала передачи данных между мотом и ЦУУ. Физический смысл данного предположения основывается на том, что если при приеме информации от i -го мота уровень шума мал, то мощность излучения его передатчика можно уменьшить (вплоть до установленного в стандарте IEEE 802.15.4 [12] предельного отношения сигнал/шум для передачи данных, равного 3 dB, при котором количество ошибок на приеме не превышает 1%), что позволит снизить потребление этим мотом ресурсов его автономного источника электропитания.

Определение допустимой величины уменьшения мощности излучения передатчика для каждого конкретного мота БСС осуществляется соответствующим специализированным устройством в реальном масштабе времени на основе метода ветвей и границ [11].

Проведенный анализ эффективности рассмотренных выше методов совершенствования технологической базы БСС позволил выявить определенные их недостатки.

В частности, применение специализированного устройства для энергетической балансировки сети, а также внедрение в мотах БСС элементов искусственного интеллекта приводит к значи-

тельному повышению стоимости технической реализации БСС, а потребление электроэнергии устанавливаемыми в моты дополнительными микропроцессорными модулями соответственно сокращает ресурсы источников автономного электропитания мотов.

При этом выявленное противоречие в частных случаях реализации БСС может быть устранено без применения дополнительных технических средств за счет использования особенностей топологии БСС.

Предположим, что шлюз доступа БСС к сети Интернет или ее центральный управляющий узел ЦУУ находится в центре радиальной БСС относительно равномерно распределенных в пространстве N узлов.

Очевидно, что при прямой доступности всех узлов к ЦУУ топология сети фактически вырождается в "звезду" (за исключением ситуаций, когда желательно предварительное агрегирование пакетов, адресуемых к ЦУУ).

В свою очередь, если для каждого узла БСС существует возможность установления связи только с ближайшими к нему узлами, то даже в случае запрета на "размножение трафика", для любого маршрута с количеством участков переприема m , нагрузка на приемопередатчик непосредственно подключенного к ЦУУ узла будет с учетом служебного трафика более чем в m раз больше нагрузки на приемопередатчик оконечного узла по (с неизбежным прямо пропорциональным ростом расхода ресурсов автономного электропитания и соответствующим снижением срока эксплуатации). Следовательно, при проектировании БСС с приемопередатчиками малого радиуса действия (относительно размеров самой сети) в случае постановки задачи увеличения срока ее эксплуатации путем обеспечения максимальной экономии ресурсов автономного электропитания, необходимо повысить плотность сети для увеличения числа возможных межузловых связей и разработать также алгоритм маршрутизации трафика, обеспечивающий выравнивание нагрузки на транзитные узлы.

Таким образом, выявлена необходимость комплексного решения по выбору

топологии БСС и алгоритма маршрутизации, обеспечивающего равномерность нагрузки на транзитные узлы (равные или незначительно отличающиеся значения количества маршрутов, проходящих через каждый узел), при этом обязательно должны выполняться следующие два условия:

1) через каждый транзитный узел k_i любого маршрута должно проходить менее чем $i+1$ маршрутов;

2) общее количество i -ых транзитных узлов n_i всех маршрутов должно быть меньше 2^{n_i-1} (или 2^i по).

Очевидно, что показатель "количество маршрутов через транзитный узел" является зависимым от показателя "количество i -ых транзитных узлов" n_i .

Так, при $n_i=2^{n_i-1}$ количество маршрутов через транзитный узел будет иметь одинаковое значение для любого i , а при $n_i=n_i-1$ этот показатель будет возрастать на единицу по сравнению с каждым предыдущим узлом (как видно из формулы 3).

$$N = \sum_{i=0}^n 2^i n \quad (3)$$

Количество M кратчайших маршрутов к ЦУУ при этом будет зависеть от количества узлов, которые могут непосредственно подключаться к ЦУУ, и при условии, что непосредственно к ЦУУ подключаются только ближайшие узлы каждого маршрута из n узлов, общее количество маршрутов M складывается (согласно формуле 4) из суммы k конечных узлов и числа транзитных узлов, равного $(N-2k)/(n-2)$.

$$M = 2k + \frac{N - 2k}{n - 2} \quad (4)$$

Очевидно, что при такой организации связей между узлами БСС, нагрузка на узлы будет возрастать с приближением к ЦУУ и соответственно для ближайших к нему узлов будет в $n-1$ раз больше, чем для конечных узлов.

В принципе, равномерность загрузки всех транзитных узлов может быть достигнута только за счет повышения ее плотности по мере приближения к центру, но такое решение потребует удвоения количества узлов сети на каждом звене маршрута от конечного узла к центральному (согласно формулы 5), что приводит к чрезмерной аппаратной избыточности и неприемлемому удорожанию сети

$$N = \sum_{i=0}^n 2^i n \quad (5)$$

Например, при количестве конечных узлов БСС $n=103$, предел емкости беспроводной сенсорной сети по распространенной технологии ZigBee (около 64000 узлов) будет достигнут уже при 5 транзитных узлах на каждом маршруте, что означает более чем 10-кратную избыточность и соответствующее удорожание сети по сравнению с вариантом её топологии типа "звезда".

Однако указанное обстоятельство актуально только при наличии ранее установленного ограничения "каждый узел БСС имеет возможность установления связи только с ближайшими к нему узлами", которое действует применительно к первым поколениям мотов ZigBee, дальность действия которых не превышала 10-30 метров, а современные публикации свидетельствуют об увеличении доступной для мотов ZigBee дальности связи до нескольких километров [13] и даже до десятков километров [14].

Таким образом, в условиях стационарной БСС со стабильно низким уровнем помех, фиксированным объемом передаваемых данных и неизменным расписанием сеансов связи существует возможность организации перманентной маршрутизации трафика, обеспечивающей равномерное энергопотребление для всех мотов БСС, что позволяет значительно увеличить срок ее эксплуатации.

Выводы:

Как показал проведенный анализ [3-5, 13,14], сети передачи данных, реализующие концепцию "Интернета вещей" в

настоящее время находятся на начальном этапе их жизненного цикла, о чем свидетельствует большой объем проводимых исследований в области совершенствования технологической базы этих сетей.

Значительную роль в ряде применений сетей "Интернета вещей" будет играть их долговечность, что в частности обуславливает требование по обеспечению максимальной экономичности использования ресурсов применяемых в них источников автономного электропитания.

Проводимые исследования в данной области направлены преимущественно на повышение "интеллектуальности" элементов сетей "Интернета вещей", в том числе и в части управления доступными им энергоресурсами.

В частных случаях реализации сетей "Интернета вещей" возможно повышение эффективности использования ресурсов их автономных источников электропитания только за счет использования особенностей топологии этих сетей.

Литература

1. Recommendation ITU-T Y.2060:2012 "Overview of the Internet of things". ITU, 2012

2. Gartner IT glossary, New-York, 2014 <http://www.gartner.com>

3. Л. Черняк Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии, "Открытые системы", № 04, 2013, <http://www.osp.ru>

4. И.Куксов Пять ключевых трендов развития интернета, Digit.ru 2013 <http://digit.ru/>

5. Дэйв Эванс (Dave Evans) Интернет вещей: как изменится вся наша жизнь на очередном этапе развития Сети MobileDevice.ru, <http://www.mobiledevice.ru>

6. Ch. McLellan M2M and the Internet of Things: A guide, 2013, <http://www.zdnet.com>

7. О.Пушкарев ZigBee-модули XBee: вопросы практического применения, Беспроводные технологии, № 3, 2009 <http://www.wireless-e.ru>

8. Пушкарев О. И. Использование конечных спящих узлов в сети ZigBee // Электронные компоненты. 2011. № 5.

9. А.Н. Зеленин, В.А. Власова Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей Восточно-Европейский журнал передовых технологий Информационно-управляющие системы 3/9 (57) 2012

10. Саид Моджиб АбдулхакиМ Саиф Модели и методы применения нечеткой логики в Когнитивных беспроводных системах передачи данных. автореф. дисс. к.т.н. - СПб, 2012.

11. Комаров М.М. Разработка и исследование метода энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания. автореф. дисс. к.т.н. - Москва, 2012.

12. IEEE 802.15.4™-2011 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey, United States, 2011 <http://www.ieee.org>

13. ZigBee-модули XBeePro повышенной мощности с дальностью связи до 1,6 километра от Digi XBeePro ZNet 2.5 – серия модулей повышенной мощности <http://www.radioradar.net>

14. Связь на расстоянии 40 километров с модулями XBee-PRO® 868 Мир электроники <http://www.megalux-brv.ru/>

