

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ИЗБЫТОЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ УЗЛОВ

Коваленко И.Г., Диянчук И.Н.

ВІТІ ДУТ

E-mail: kig777@ukr.net

Methods for increasing the lifetime of wireless sensor networks with excessive number of nodes

The paper proposes methods of reducing energy consumption of nodes and algorithms for their application to increase the lifetime of wireless sensor networks with excessive number of nodes.

Современные достижения в радиоэлектронике сделали возможным создание малогабаритных, дешевых и многофункциональных беспроводных устройств (узлов), состоящих из совокупности датчиков мониторинга, микропроцессора, батареи питания и приемопередатчика. Данные узлы способны передавать данные мониторинга по радиоканалам, обеспечивать сетевое взаимодействие между множеством аналогичных узлов и создавать беспроводные сенсорные сети (БСС).

Некоторые сферы применения БСС (особенно оборона и безопасность) требуют полного многократного покрытия площади объекта зонами мониторинга датчиков. Для этого перед разворачиванием БСС осуществляется планирование мест расположения узлов. В некоторых случаях детерминированное разворачивание узлов нецелесообразно (или невозможно) из-за больших временных или экономических затрат на размещение (например, в случае боевых действий, экологических катастрофах, в районах химического или радиационного заражения, труднодоступных районах и т.д.) [1-2]. В таких случаях для оперативного разворачивания сети может использоваться рассеивание узлов над районом мониторинга с использованием летательных аппаратов (ракет, пушек и т.п.). При этом из-за случайного размещения узлов максимально покрыть сенсорами район мониторинга возможно только с использованием достаточно большого числа узлов (избыточности). Избыточность количества узлов (ИКУ) позволит обеспечить требуемое покрытие, но приведет к росту числа коллизий при передаче из-за увеличения уровня взаимных помех, задержек передачи данных, дублированию информации мониторинга и излишнему расходу ресурсов батарей на повторные передачи.

Каждый узел БСС оснащен источником энергии ограниченной ёмкости, поэтому основополагающим требованием к ним является уменьшение потребления энергии для увеличения времени жизни (ВЖ) сети.

В настоящее время универсальным стандартом построения БСС является спецификация сетевых протоколов верхних уровней ZigBee, использующая протокол физического и канального уровня IEEE 802.15.4. Очевидно, что использование стандартной технологии имеет множество преимуществ (уменьшение стоимости элементной базы, сокращение времени на разработку, возможность объединения разных сетей и т.д.). Однако спецификация ZigBee в силу своей универсальности не является оптимальной для многих приложений и ее коммерческая направленность не предусматривает использование БСС с избыточным количеством узлов. Поэтому необходимо разрабатывать методы уменьшения расхода энергетических ресурсов узлов для увеличения времени жизни БСС данного класса.

Авторами предложены методы уменьшения (перераспределения) расхода энергии батарей с целью увеличения времени жизни сетей с избыточным количеством узлов за счет планирования и управления совместной работой элементов сети на различных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Основными методами экономии энергоресурса узлов БСС является организация режимов работы (рис 1.), которая подразумевает *периодическое отключение узлов или их приемопередатчиков*. БСС осуществляют передачу данных мониторинга с заданным периодом и отключение узлов (приемопередатчиков) после передачи данных до начала следующего периода позволяет снизить расход энергоресурса, но при этом возникает задача организации взаимодействия между узлами для обеспечения ретрансляции сообщений в направлении шлюза с обеспечением минимальных задержек. Классическими подходами решения данного класса задач является организация согласованных циклов сна/пробуждения узлов (приемопередатчиков), что вносит задержки при передаче сообщений[1-2].



В отличие от классического подхода организации циклов сна/пробуждения для БСС с избыточным количеством узлов предлагается :

1. *На прикладном уровне* отключать узлы которые дублируют покрытие района мониторинга. Для продления длительности функционирования сети предлагается организовать периоды включения/выключения отдельных узлов так, чтобы в каждый момент времени функционировало множество узлов, необходимое для обеспечения заданного покрытия района мониторинга.

2. *На сетевом уровне* использовать энергосберегающий метод маршрутизации, учитывающий периодическое функционирование множеств избыточных узлов, а также метод уменьшения (сжатия) объема передаваемых данных за счет их избыточности.

3. *На канальном уровне* при возрастании нагрузки передачи данных использовать гибридные методы множественного доступа (МД) (детерминированные и случайные методы доступа имеют различные предельные значения эффективности в зависимости от нагрузки). Для приближенных к шлюзу узлов (где концентрируется трафик всей сети) для уменьшения числа коллизий передачи пакетов и увеличения скоростей передачи целесообразно использовать методы детерминированного доступа к каналу. Для удаленных от шлюза узлов целесообразно использовать методы случайного доступа к каналу, не требующих синхронизации узлов.

Управление мощностью передачи позволяет уменьшить использование энергоресурса за счет уменьшения мощностей (дальности) передачи. Исходя из того, что узлы БСС не мобильны и варианты маршрутов могут быть определены заранее, управление мощностью передачи целесообразно использовать на сетевом уровне в методах маршрутизации.

Уменьшение использования энергоресурса методом уменьшения объема данных (агрегации) происходит за счет уменьшения избыточности или потери точности сбора

данных мониторинга с внесением задержек передачи для обработки данных. БСС с избыточным количеством узлов используется для повышения надежности и качества покрытия площади объекта мониторинга, поэтому в данных сетях методы агрегации целесообразно использовать на сетевом уровне на отдельных узлах с повышенным использованием энергоресурса для предотвращения выхода их из строя при неэффективности применения других методов энергосбережения. Для уменьшения объема данных целесообразно использовать их корреляцию (временную, когда данные не меняются со временем, и пространственную, когда данные от соседних узлов совпадают).

Авторами были проанализированы методы увеличения времени жизни БСС с точки зрения целесообразности их применения в сетях с избыточным количеством узлов и были предложены следующие методы управления БСС [2]:

1) энергосберегающий метод управления БСС с избыточным количеством узлов на прикладном и сетевом уровнях модели OSI (*МУ БСС ИКУ*);

2) энергосберегающий метод управления БСС с избыточным количеством узлов на канальном уровне модели OSI – энергосберегающий метод множественного доступа к каналу (*ЕММД БСС ИКУ*);

3) энергосберегающий метод агрегации данных в БСС с избыточным количеством узлов (*ЕМАД БСС ИКУ*)

Разработанные методы могут использоваться как отдельно, так и дополнять друга в соответствии со следующим алгоритмом выбора набора применяемых методов для БСС с ИКУ (рис. 2):

1) при избыточности количества узлов $\xi \geq 1,5$ шлюз инициирует использование *ЕМУ БСС ИКУ* ($\xi = N / N_n$, N – общее количество узлов, N_n – количество необходимое для обеспечения заданного покрытия);

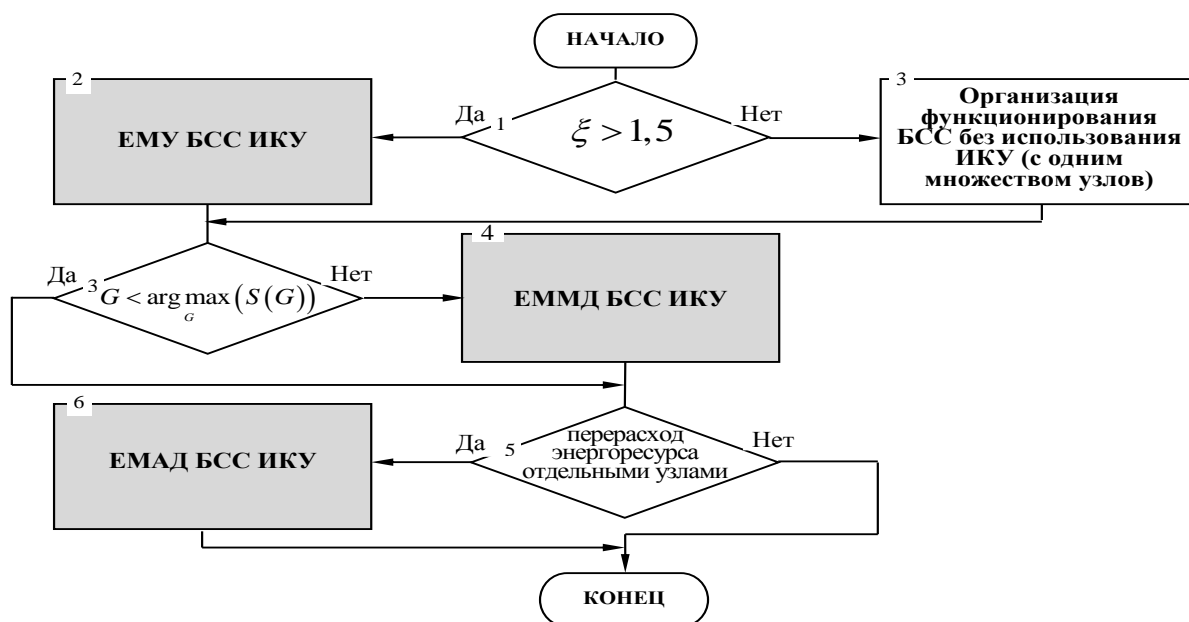


Рис.2

2) при повышении суммарной нагрузки на шлюз и приближенные к нему узлы до значений границы стойкости (критическое увеличение коллизий) для случайных методов множественного доступа $G^{rc} = \arg \max(S(G))$ (G – суммарная нагрузка на узел, S – средняя скорость передачи узла)[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], шлюз инициирует использование *ЕММД БСС ИКУ*;

3) при угрозе потери связности сети из-за исчерпания энергоресурса отдельными узлами для них используется *ЕМАД БСС ИКУ*

Для оценки эффективности предложенных методов использовалась имитационная модель БСС. В качестве показателя эффективности было предложено использовать длительность функционирования сети до исчерпания энергоресурса хотя бы одного узла. Для имитационного моделирования использовался программный комплекс The Network Simulator [3]. Функционирование модели БСС зависит от многих параметров: требований к покрытию района мониторинга, пространственных размеров сети, радиусов мониторинга и передачи, энергетических моделей узлов, а также задействованных протоколов физического и канального уровня и т.п. Была использована упрощенная модель БСС с использованием стандартных протоколов физического и канального уровня (802.11). При этом были получены результаты, которые позволили сделать вывод, что предложенные методы позволяют повысить время жизни сети до 15-20% по сравнению с аналогичными. Кроме того, метод увеличения времени жизни БСС за счет избыточного количества узлов позволяет улучшить процентный реальный покрытия района зонами мониторинга до 10%.

Выводы. Были предложены методы увеличения времени жизни БСС с избыточным количеством узлов на разных уровнях модели взаимодействия открытых систем. Предложен алгоритм применения разработанных методов в соответствии определенными критериями (повышение нагрузки и перерасход энергоресурса узла). С помощью имитационного моделирования была проведена оценка эффективности, которая позволила сделать вывод, что разработанные методы управления БСС увеличивают время жизни сети до 15-20% по сравнению с аналогичными методами данного класса. При проведении исследований было определено, что модель сбора данных БСС с одним шлюзом накладывает ограничения на возможности равномерного распределения нагрузки на узлы БСС для продления времени ее функционирования. Концентрация трафика приводит к повышенной нагрузке на приближенные к шлюзу узлы и к преждевременному выходу их из строя. Продлить длительность функционирования БСС в таких условиях возможно только агрегацией данных с потерей их точности. В дальнейшем предлагается разрабатывать методы управления расходом энергоресурса БСС с избыточным количеством узлов и несколькими шлюзами, которые позволят продлить время жизни сети без потери точности собираемых данных.

Литература

1. Kheng Y. Review of Energy Harvesting Technologies for Sustainable WSN / Y. Kheng Tan and S. Kumar Panda.// Sustainable Wireless Sensor Networks, Yen Kheng Tan (Ed.), InTech, 2010 [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.intechopen.com/books/sustainable-wireless-sensor-networks/review-of-energy-harvesting-technologies-for-sustainable-wsn>
2. Коваленко І.Г. Методы увеличения продолжительности функционирования беспроводных сенсорных сетей с избыточным количеством узлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології, ДУТ . – 2014. – № 1. – С. 44 – 54.
3. VINT Project, The Network Simulator. – Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>