

УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЕЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я.

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ "КПИ"

г. Киев, ул. Московская 45/1, 01011, Украина

Тел.: 38(044) 2562309; e-mail: beatle135@ukr.net, romanjuk@i.com.ua, soy135@ukr.net

Аннотация – рассматривается процесс управления топологией беспроводной сенсорной сети. Решение по поиску оптимальной топологии принимается на основании базы правил (метаправил) реализующих различные цели управления сетью (основная цель – минимизация расхода энергии батарей).

I. Введение

Рассматриваются беспроводные сенсорные сети (БСС) или Wireless Sensor Network (WSN) – распределенные сети, состоящие из малогабаритных сенсорных узлов (интегрируют функции мониторинга окружающей среды, обработки, передачи и ретрансляции данных) и базовых станций, которые выполняют функции шлюзов по передаче собранной информации и функции управления БСС [1]. Основными элементами сенсорных узлов являются: датчики контроля физических параметров окружающей среды (оптический, химический, движения и т.п.), блок микрокомпьютера, аккумуляторные батареи, приемопередатчик, система позиционирования (например, GPS).

Особенностями БСС являются: ограниченность и неоднородность ресурсов сенсорных узлов (энергоёмкость батарей, продуктивность процессоров, объем памяти и т. д.); разные типы трафика (данные, видео); ненадежность, ограниченность радиоресурса и коллективный характер его использования; ограниченная безопасность и др. Обеспечить эффективное управление БСС невозможно без соответствующей системы управления. Одной из основных задач оперативного управления БСС является управление ее топологией [2].

II. Основная часть

Задаче построения топологии БСС посвящено большое количество работ. В [3] определяется так называемое „магическое число“, определяющее оптимальную степень связности узлов сети для оптимизации ее пропускной способности. В [4] показано, что для N случайным образом размещенных узлов каждый узел должен быть связан, по меньшей мере, с $\Theta(\log N)$ соседями. В [5] для построения энергоэффективной топологии предложено использовать так называемые RNG-графы. В [6] использованы разные стратегии выбора узлов ретрансляторов (ближайший к отправителю, дальний от отправителя, с максимальным продвижением, с минимальным углом, ближайший к адресату) с целью оптимизации пропускной способности сети.

Однако большинство исследований не рассматривают целевой функцией мощность передачи, а предлагают отдельные правила построения топологии, которая будет иметь те или иные свойства. Поэтому, предлагается реализовать полученные правила построения топологии, провести их классификацию, объединить их в базу знаний по критериям достижения той или иной цели оптимизации.

Под построением топологии БСС будем понимать управление U_T , изменяющее ее топологию в про-

цессе функционирования за счет перераспределения мощностей передач узлов p_i с целью Z_k , $k = \overline{1, K}$:

– системной оптимизации: Z_1 – минимизация мощностей передачи узлов ($\min p_i$) и общей мощности сенсорной сети $P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N p_i$ в целом (по маршрутам передачи); Z_2 – обеспечение связности сети (связности между узлами i и u – $cv_{iu} = 1$); Z_3 – минимизации времени задержки передачи сообщений ($\min t_s$); Z_4 – максимизации пропускной способности сети ($\max S$);

– пользовательской оптимизации: Z_5 – выполнение требований по маршрутизации информационных сообщений (например, по оперативности доставки сообщений между парой отправитель-адресат) и др.

Необходимо: в режиме реального времени найти матрицу связности CV^* (определить мощность передачи p_i каждого узла i , $i = \overline{1, N}$), обеспечивающую выполнение целевой функции Z_k , $k = \overline{1, K}$. Например, для Z_1 целевая функция примет вид:

$$CV^* = \|cv_{iu}^*\| = \arg \min_{U_T \in \Omega_T} P(CV) = \arg \min_{U_T \in \Omega_T} \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N p(m_{ab}(CV)) \quad (1)$$

при выполнении ограничений на множество управляющих воздействий и ресурсы сети Ω_T

$$\Omega_T : \left\{ \begin{array}{l} t_s^\xi(m_{ab}) \leq t_{\text{здоп}}^\xi(I_{ab}^\xi(m_{ab}) \leq I_{\text{доп}}^\xi), q_{iu}^\xi \leq s_{\text{доп}}(cv_{iu}), \\ p_i \leq p_{\text{max}}, E_i \leq E_{i\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где t_s^ξ – задержка передачи трафика ξ -го типа, q_{iu}^ξ – интенсивность потоков пакетов, поступающих по всем маршрутам m_{ab} ; $(i, u) \in m_{ab}$ – маршрут с отправителем в узле a и получателем b ; p_i – мощность передачи i -го узла соответственно принятым маршрутным решениям; $s(cv_{iu})$ – пропускная способность радиоканала; I_{ab}^ξ – количество ретрансляций сообщений по маршруту m_{ab} ; $p(m_{ab}) = \sum_{(i,u) \in m_{ab}} (p_{iu})$;

p_{max} , E_{max} , $t_{\text{здоп}}$, $I_{\text{доп}}$ – допустимые (максимальные) значения вышеупомянутых параметров.

Цикл управления топологией БСС включает следующие этапы [7]:

– сбор информации базовой станцией о состоянии и параметрах функционирования сети или ее зоны (информация может быть получена при инициализации сети, при функционировании метода маршрутизации или зондированием сети);

– расчет и оценка параметров ее функционирования;

– нахождение новой топологии сети (в случае отклонения параметров функционирования от допустимых значений), которая реализует цель управления сетью;

– доведение до узлов принятого решения (мощность передатчика сенсорного узла).

Получение точного решения для сети, которая насчитывает десятки (сотни, тысячи) узлов, связано со значительными временными затратами (задача относится к классу NP-полных). Поэтому для сокращения перебора топологии предлагается использовать множество правил (структурных, потоковых, энергосберегающих), объединенных в базу правил, которые изменяют связность сети для улучшения ее параметров.

Применение базы правил включает итерационную схему, состоящую из модулей АНАЛИЗ, БАЗА ЗНАНИЙ, УПРАВЛЕНИЕ (рис. 1).

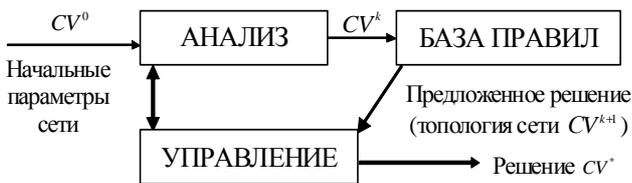


Рис. 1. Схема получения решения с использованием базы правил

Модуль АНАЛИЗ предназначен для расчета параметров БСС (мощности узлов сети P , пропускной способности сети S , средней задержки передачи пакетов t_s^{ξ} по маршрутам при заданной входной нагрузке, маршрутных решениях, связности CV и протокола доступа к каналу) с помощью аналитических моделей.

Модуль БАЗА ЗНАНИЙ содержит правила, обеспечивающие направленный поиск изменения связности, используя полученные параметры из модуля АНАЛИЗ. Правила продукционного типа состоят из двух компонент: условие и действие. Условие определяет применимость правила в количественном выражении, а действие используется для удовлетворения условия и описывает изменение связности сети. Предложены правила трех типов: структурные – анализируют структуру графа сети и пытаются создать структуру сети, которая владеет наименьшими расходами энергии или наивысшей производительностью; потоковые – обнаруживают перегруженный участок сети и пытаются направить данные по маршрутам с малой нагрузкой; энергосберегающие – пытаются построить топологию с минимальной расходуемой мощностью и/или учитывающие энергию батарей узлов на маршрутах передачи.

Модуль УПРАВЛЕНИЕ определяет последовательность применения (используются метаправила) и момент окончания применения правил.

III. Заключение

Таким образом, применение базы правил для построения топологии БСС позволяет получить близкие к оптимальным решения в режиме реального времени и реализовать предложенные правила в специальном программном обеспечении управления сенсорной сетью.

IV. Список литературы

- [1] Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку сенсорних мереж // Зв'язок. – 2008. – № 1. – С. 16 – 22.
 [2] Романюк В.А., Жук О.В., Сова О.Я. Система управління

тактичними сенсорними мережами // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2008. – № 2. – С. 88 – 97.

- [3] Takagi H., Kleinrock L. Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals // IEEE Transaction Communications., vol. 32, 1984. – Pp. 246 – 257.
 [4] Xue F., Kumar P.R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks // Wireless Networks, 2002.
 [5] Wattenhofer R., Li L., Bahl P., Wang Y.-M. Distributed Topology Control for Power Efficient Operation in Multihop Wireless Ad-hoc Networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2001.
 [6] Романюк В.А. Геомаршрутизація в мобільних радіосетях // Зв'язок. – № 5. – 2001. – С. 37 – 39.
 [7] Міночкін А.І., Романюк В.А. Управління топологією мобільної радіосетей // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.

TOPOLOGY CONTROL PROCESS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Zuk A.V., Romanjuk V.A., Sova O.Y.

Military Institute of Telecommunications and Information Technology, 45/1 Moscovska St., Kyiv – 01011, Ukraine.

Phone: 38(044) 2562309

E-mail: beatle135@ukr.net, romanjuk@i.com.ua, soy135@ukr.net

Abstract – topology control process for the wireless sensor network is considered, consisting in using of database rules for decreasing consumption of battery energy by transmission power controlling of nodes.

I. Introduction

The given wireless sensor networks (WSN) consist of small-size wireless nodes and base station that communicate with each other and behave as a gateway for transmitting information to the control unit. Sensors consist of the main parts: sensor unit, computer, battery unit, radio transmitter (receiver) and positioning unit. One of the main problems WSN operational control is topology control.

II. Main part

A lot of topology construction methods for using in WSN have been offered. However, a lot of researches do not discuss transmission power as a criterion function. They offer individual rules for topology construction with some properties. So it is necessary to combine them in database according to minimum transmission power criterion.

The topology control is a control process that changes WSN topology at the time of functioning process with the aim of:

- system optimization (minimum transmission power of nodes and total network power);
 - user optimization (execution of requirements for routing).
- It is performed by transmission power controlling.

Topology control cycle consists of the following stages:

- information acquisition by the base station about network condition;
- characteristics calculation and analyze of network functioning;
- new network topology calculation for node control purpose realization.

Obtaining exact value for large network needs a lot of time. So that it is proposed to use a set of rules (structural, streaming, energy-saving) for changing of network connectivity.

Database using includes iteration procedure consisting of ANALYSIS, DATABASE, CONTROL modules.

III Conclusion

Realization of proposed topology construction database rules allows to find suboptimum network topology at the real-time mode. In addition, realization of proposed rules in special software of the sensor allows to increase the effectiveness of WSN resources usage (battery capacity).