

8. Бабич, Ю. О. Оценка числа вынужденных потерь цикловой синхронизации [Текст] / Ю. О. Бабич // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – №2. – С. 117-119.
9. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate [Text] / Approved 2002-12-14. – Geneva: ITU, 2002. – 34 p.
10. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Е. М. Четыркин. – М.: Статистика», 1977. – 200 с.
11. Nikityuk, L. Influence of Frame Aligner's Probabilistic and Time Characteristics on CESoETH Channel Usage Efficiency [Text] / L. A. Nikityuk, Y. O. Babich // Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University (Lviv-Slavske, Ukraine). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2014. – P. 465–466.
12. Сукачев, Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами [Текст] / Э. А. Сукачев. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
13. Спецификация оборудования Nokia FlexiHopper [Электронный ресурс] / ТелекомКонсалтинг. – Режим доступа: \www/ URL: <http://telekom.org.ru/katalog-naimenovani-res/nokia-flexihopper-7/> – 06.07.2014 г. – Загл. с экрана.

У статті проаналізовані різні моделі збору інформації з бездротової сенсорної мережі, що існують на даний час. Аналіз показав, що вибір моделі встановлює обмеження застосування мережі. Пропонуються різні підходи, по яким можливо оптимізувати такий збір інформації. Встановлено, що гібридна модель збору інформації дозволяє об'єднати декілька моделей для рішення конкретної задачі роботи мережі

Ключові слова: модель збору інформації, бездротові сенсорні мережі, маршрутизація, оптимізація, хвилеподібна передача

В статье проанализированы различные модели сбора информации с беспроводной сенсорной сети, которые существуют в настоящее время. Анализ показал, что выбор модели накладывает ограничение применимости сети. Предлагаются различные подходы, по которым можно оптимизировать сбор информации. Установлено, что гибридная модель сбора информации позволяет объединить несколько моделей для решения конкретной задачи работы сети

Ключевые слова: модель сбора информации, беспроводные сенсорные сети, маршрутизация, оптимизация, волнообразная передача

УДК 004.75:621.396.1

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28008

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

П. В. Галкін

Асистент

Кафедра проектування та
експлуатації електронних апаратівХарківський національний
університет радіоелектроніки

пр. Леніна, 16, м. Харків, Україна 61166

E-mail: : galkinletter@ukr.net

1. Вступ

За останнє десятиріччя широке поширення одержали бездротові сенсорні мережі (БСМ). Бездротова сенсорна мережа являє собою розподілену систему збору, зберігання і обробки інформації.

Побудова системи моніторингу розподілених в просторі сенсорних вузлів являє собою досить складну задачу. Вимірювання різних параметрів спостережуваної характеристики, що змінюється як у просторі, так і в часі, може породжувати значний потік інформації. БСМ повинна забезпечувати надійну і своєчасну доставку цього трафіку. В багатьох системах, особливо природних, важко або зовсім неможливо підготувати інфраструктуру для побудови такої мережі. Всі ці чинники обумовлюють інтерес дослідників у даній області до розподілених систем збору, доставки та обробки інформації. Існуючі моделі збору інформації в БСМ накладають

обмеження на їх використання. В той же час не існує моделі збору, яка здатна, з деякими обмеженнями, застосовуватися для різних за призначенням БСМ. Єдиною моделлю, що частково задовольняє цю вимогу, є гібридна.

В роботі розглядаються моделі збору інформації в бездротовій сенсорній мережі, що існують на даний час, та пропонуються підходи, по яким можливо оптимізувати такий збір інформації.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Проблема організації та оптимізації збору даних в бездротових сенсорних мережах активно вивчається вченими з різних країн світу. У числі наукових шкіл, які зробили серйозний внесок у проблематику розробки протоколів і моделей для бездротових мереж, слід перелічити багато дослідницьких центрів.

Серед них особливо слід виділити групу MANET [1]. (Mobile Ad-hoc Networks) при організації IETF (Internet Engineering Task Force). Основна мета роботи цієї групи – стандартизація функціональних можливостей протоколів IP маршрутизації для бездротових систем. Група проводила дослідження як статичних, так і динамічних топологій з великою мінливістю, пов'язаною з мобільністю пристроїв та іншими факторами.

У каліфорнійському університеті в 2002 році був створений центр – Center for Embedded Networked Sensing (CENS) [2], який орієнтований на розробку систем на базі бездротових сенсорних мереж та застосування їх в наукових і соціальних проектах. За останні роки були проведені дослідження мереж із складною топологією.

В дисертаційній роботі James E. Weimer, що розроблялась в університеті Карнегі–Меллон, були досліджені особливості протоколів маршрутизації для спеціальних бездротових мереж [3].

У Санкт-Петербурзькому університеті телекомунікацій ім. проф. М. А. Бонч-Бруєвича були проведені дослідження сенсорних мереж як інтелектуальної інфраструктури в рамках наукової школи «Інтернет вещей и самоорганизующиеся сети» під керівництвом Е. А. Кучерявого [4–6].

В інституті радіотехніки та електроніки ім. В. А. Котельникова РАН, м. Москва, було проведено роботи по створенню електронних компонентів для бездротових сенсорних мереж [7, 8].

У Нижегородському державному університеті ім. Н. І. Лобачевського були розроблені нові способи передачі інформації в бездротових мережах, засновані на властивостях середовища передачі даних [9].

Серед російських учених можна відзначити працю Д. А. Молчанова [10] під керівництвом Е. А. Кучерявого, в галузі самоорганізованих сенсорних мереж.

Результатом робіт по стандартизації БСМ стало сімейство стандартів IEEE 802.15.4 [11].

БСМ як системи моніторингу параметрів об'єктів на базі дискретних бездротових сенсорних мереж описані в роботах М. Н. Терентьєва [12].

Вирішенням завдань, пов'язаних з оцінкою, аналізом і ефективним управлінням інформаційними потоками в БСМ, займалася І. А. Іванова [13].

Дослідженню енергоспоживання [14] та створенню програмних і апаратних засобів БСМ [15] велику увагу приділяє американська компанія Texas Instruments (радіомодулі CC2530 та ін.). Також виробництвом радіомодулів займаються наступні компанії Atmel, Digi International, Ember, Freescale, Samsung, STMicroelectronics, Microchip Zigbee. Радіомодуль можна використовувати окремо з будь-яким процесором і мікроконтролером. Як правило, виробники радіомодулів пропонують також набір програмного забезпечення.

Аналізу енергоциклів вузлів БСМ приділили свою увагу Зеленін А. Н., Власова В. А. [16].

Оптимізація збору інформації в БСМ розглядалась в роботі [17] із використанням нейронної мережі з градієнтним алгоритмом навчання, а в дисертаційній роботі [18] А. Е. Жевак запропонував модель збору за розкладом. На відміну від інших, дана модель враховує

наявність у радіотрансиверів вузлів мережі декількох дискретних рівнів потужності.

У роботі [19] розглядається питання створення імітаційної моделі бездротової сенсорної мережі, яка емулює існуючі протоколи передачі даних, з метою отримання даних для розрахунку середньої кількості пересилання пакетів даних.

Оптимізацію передачі інформації в БСМ проводили різними методами, один з них – енергетичне балансування [20] мережі, інший – позиціонування вузлів [21], або – маршрутизація на основі енергетичного балансування [22] та додаткове структурування на основі кластерів [23].

Модель збору при практичній реалізації переходить в протокол передачі на основі алгоритму маршрутизації та запропонованих метрик [24].

Основною ідеєю алгоритмів збору даних за розкладом [18] є створення деякого розкладу збору даних для вузлів мережі. Розклад прописується для кожного вузла, який він повинен виконувати. При цьому час може бути розбитий на інтервали. Як правило, розклад будується таким чином, щоб виключити дублювання передачі даних. Адаптивні моделі [25] реалізують ідею так званих самоорганізуючих бездротових сенсорних мереж. Основний сенс полягає в тому, що в мережі не існує ніякого заданого ззовні розкладу.

Для збору інформації в системах пожежогасіння та інших схожих за призначенням БСМ використовують моделі за подіями [26]. Якщо потрібно досліджувати великі площі з малою кількістю параметрів, то використовують підхід усереднення значень вимірювальної величини [27, 28].

Швидкість доставки пакету даних також є предметом дослідження при розробці БСМ [29]. Така задача може вирішуватись за допомогою агрегаторів мережі [30].

Механізми зменшення споживання енергії вузлом БСМ залежать від моделі збору інформації. Також на споживання вузла впливає алгоритм роботи вузла, побудований за моделлю збору інформації. Модель визначення вузлом своїх координат може допомогти в оптимізації моделі збору інформації в БСМ для зменшення трафіку.

Розробка ефективних моделей і алгоритмів збору інформації для бездротової сенсорної мережі дозволить скоротити час збору даних з її сенсорних вузлів, а також її енергоспоживання. Завдяки чому підвищиться ефективність бездротової сенсорної мережі та її ресурс роботи в автономному режимі.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є аналіз існуючих моделей збору інформації з вузлів бездротової сенсорної мережі, а також розробка пропозицій оптимізації такого збору.

Для розв'язання поставленої мети необхідно:

- проаналізувати існуючі моделі збору інформації;
- виявити сильні та слабкі сторони моделей;
- розглянути шляхи оптимізації збору інформації;
- розглянути методи оптимізації структури БСМ, для більш ефективного збору інформації;
- запропонувати шляхи удосконалення моделей.

4. Моделі збору інформації та їх оптимізація

4.1. Аналіз моделі збору інформації, заснованої на запитах

Модель збору даних за запитом базується на взаємодії між вузлами бездротової сенсорної мережі і координатором, що реалізує логіку програми. Алгоритми, що реалізують дану модель збору даних в БСМ багато в чому схожі на механізми в традиційних системах управління базами даних (БД). Координатор відправляє запит з певними параметрами, який згодом обробляється на сенсорних вузлах. Результат обробки передається назад на сенсорний вузол. Кожен бездротовий сенсорний вузол розглядається як джерело даних, а БСМ в цілому як розподілена БД.

Найчастіше збір даних за запитом реалізується на високому рівні, приховуючи особливості реалізації топології мережі та радіозв'язку [31].

Запити можуть відправлятися періодично або по мірі необхідності. Істотним обмеженням моделі є неможливість описати в запиті просторово-часові вимоги до полів даних. Другим недоліком є складність формулювання запитів до БСМ на мовах високого рівня.

Запит надсилається всій мережі або (підмережі) і на його основі формується відповідь.

Дані з сенсорів експортуються як кортежі значень згідно до схеми, структура якої залежить від особливостей і призначення сенсорного вузла і мережі.

Кортежі даних сенсорних вузлів формують віртуальну таблицю, строки якої є сенсорними вузлами. Віртуальна таблиця оновлюється і доповнюється при появі нових значень вимірювань із сенсорних вузлів. Застосування тривалих запитів (continuous query) – дозволяє отримувати дані в режимі реального часу. Тривалі запити виконуються постійно для отримання нових даних та відображають усі зміни в спостережуваному середовищі.

Наприклад, кортеж даних, що виробляється вузлом з температурним сенсором, може мати наступну структуру: ідентифікатор сенсора (Node_id), локація вузла (Location), температура (Temperature), дата відправлення пакету (S_data), рівень заряду батареї (E_bat), що представляє собою множину пар:

$$\begin{aligned} &\{Node_id, 5\}; \\ &\{Location, room1\}; \\ &\{Temperature, 25\}; \\ &\{S_data, 18.10.18.05.2015\}; \\ &\{E_bat, 9\}. \end{aligned} \tag{1}$$

А сам дані отримані від запиту Q_{q1} можливо представити як відношення:

$$Q_{q1} = (Node_id, Location, Temperature, S_data, E_bat). \tag{2}$$

Запит для пошуку вузла с температурою меншою 18 градусів, та рівня заряду батареї, меншого за 9 В, матиме вигляд:

```
SELECT Node_id, Temperature
FROM sensors
WHERE Temperature < 18 AND E_bat < 9
```

Час автономної роботи БСМ, заснованої на моделі збору даних на запитах залежить від частоти і типу запитів, механізмів агрегації і обчислювальної складності оброблюваних запитів.

Максимальну частоту запитів можливо визначити:

$$F_q = \frac{E_{bat} \cdot E_e}{Q_t}, \tag{3}$$

де Q_t – необхідний період виконання запиту, год.; E_e – енергоспоживання вузла е за період Q_t .

Енергоспоживання вузла визначають як суму енергій його споживання в різних режимах роботи:

$$E_e = E_{sleep} + E_{MCU} + E_{rcv} + E_{trans} + E_{ather}, \tag{4}$$

де E_{sleep} – енергія, що споживається вузлом у фазі сну; E_{MCU} – енергія, що споживається вузлом під час роботи мікроконтролера або обчислювального ядра трансиверу при його відсутності; E_{rcv} – енергія, що споживається вузлом під час прийому; E_{trans} – енергія, що споживається вузлом під час передачі; E_{ather} – енергія, що споживається вузлом в інших режимах (режим пробудження та ін.).

Використання моделі збору даних за запитом дозволяє частково отримати переваги моделі збору за розкладом. Недоліком моделі збору за запитом є необхідність реалізації складного програмного забезпечення для інтерпретації запиту, агрегації та вилучення даних, а також підвищення вимоги до обчислювальної потужності вузлів.

4.2. Аналіз моделі збору інформації за розкладом

Збір інформації за розкладом дозволяє оптимізувати споживання енергії джерела живлення вузла за рахунок чергування активної (збір і відправлення даних) і пасивної (режим сну, режим зниженого енергоспоживання) фаз. Відповідно, час роботи вузла e1 при відомому заряді батареї E_{bat} становить:

$$T_{e1} = \frac{E_{bat}}{E_{e1}} (T_a + T_{sleep}), \tag{5}$$

де E_{e1} – енергоспоживання вузла e1 за 1 період зміни активної і пасивної фази, який можна визначити, як показано в виразі (6); T_a – період активної фази; T_{sleep} – період пасивної фази.

Енергоспоживання вузла e1 за 1 період зміни активної і пасивної фази:

$$E_{e1} = (E_{rcv} + E_{MCU} + E_{trans}) \cdot T_a + (E_{sleep} + E_{ather}) \cdot T_{sleep}. \tag{6}$$

Велику частину часу бездротові сенсорні вузли знаходяться в пасивній фазі і переходять в активну фазу тільки після закінчення інтервалу збору даних, або при отриманні сервісного повідомлення від сусідніх сенсорних вузлів [18].

В основі моделі закладено принцип періодичної відправки повідомлень бездротовим сенсорним вузлом про стан фізичного середовища в поточний момент часу за розкладом. Період відправлення повідомлень залежить від природи спостережуваного явища і пред'явлених вимог до частоти оновлення даних.

Використовуючи модель збору даних за розкладом, можна масштабувати БСМ до розмірів десятків тисяч вузлів [18].

Передачу даних при моделі збору за розкладом в часі можливо представити як хвилі W1-W5, що прокочуються по мережі, рис. 1. Час хвиль різний.

Для збереження працездатності мережі і забезпечення необхідної ймовірності доставки повідомлення важливим є завдання синхронізації зміни робочих фаз всіх вузлів мережі [12].

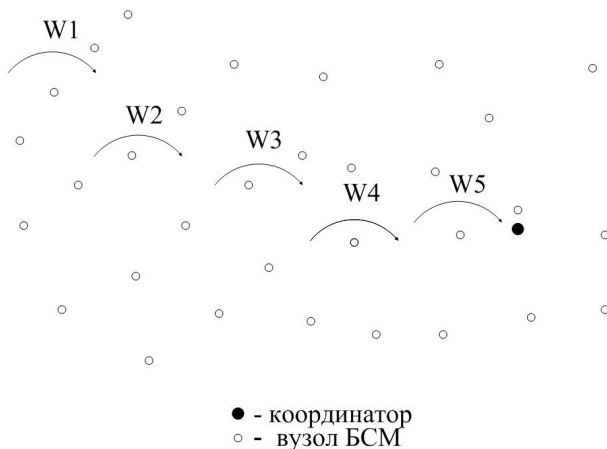


Рис. 1. Хвилеподібна передача даних в БСМ при моделі збору за розкладом

Вірогідність успішної доставки повідомлення P пов'язана з відхиленням годинника вузла наступним виразом:

$$P = 1 - \frac{\Delta\tau}{T_A - T_{\text{sleep}}}, \quad (7)$$

де $\Delta\tau$ – час, коли доставка повідомлення не можлива із-за розсинхронізації вузлів.

З метою підвищення точності годинників вузлів здійснюють їх корекцію на основі даних попередніх синхронізацій. В якості еталону часу можливо використовувати координатор, який при необхідності може бути синхронізований з зовнішнім джерелом точного часу.

Може існувати безліч варіантів розкладу. Вибір конкретного розкладу здійснюється на підставі використаного критерію (наприклад, мінімізація довжини розкладу).

Модель збору даних за розкладом оптимальна для завдань постійного відстеження параметрів досліджуваного середовища. Недоліком моделі є складність синхронізації часу на вузлах, а також надсилання повідомлень з даними в один час, що створює навантаження на мережу. Для вирішення даних проблем пропонуються механізми синхронізації робочих фаз сенсорних вузлів, що дозволяє зробити навантаження на мережу більш рівномірним.

4. 3. Аналіз моделі збору інформації на подіях

В бездротовій сенсорній мережі, заснованій на зборі даних на подіях, ініціатором повідомлення є бездротовий сенсорний вузол, що відправляє повідомлення координатору тільки в разі детектування події,

завдяки цьому може бути досягнутий великий термін експлуатації сенсорного вузла.

Застосування в даній моделі механізмів локальної фільтрації даних дозволяє зменшити навантаження на мережу за рахунок визначення важливих подій та виключити множинне оповіщення про одну й ту ж подію від різних вузлів.

Час роботи вузла e_2 змінюється відповідно

$$T_{e_2} = \frac{E_{\text{bat}}}{E_{e_2}} (T_{a_1} + T_{a_2} + T_{\text{sleep}}), \quad (8)$$

де E_{e_2} – енергоспоживання вузла e_2 при одній події; T_{a_1} – період активної фази без події; T_{a_2} – період активної фази при події.

Енергоспоживання вузла e_2 також змінюється:

$$E_{e_2} = (E_{\text{MCU}}) \cdot T_{a_1} + (E_{\text{MCU}} + E_{\text{trans}} + E_{\text{rcv}}) \times T_{a_2} + (E_{\text{sleep}} + E_{\text{ather}}) \cdot T_{\text{sleep}}. \quad (9)$$

Модель збору даних за подією найбільш ефективна для моніторингу середовища на предмет зміни стану і детектування значущих подій. У разі неможливості достовірно визначити подію, пропонують проводити колективне, або розподілене детектування подій. До недоліків моделі відноситься неможливість отримати повну картину стану мережі в короткий проміжок часу, а також обмежене застосування.

4. 4. Аналіз адаптивної моделі збору інформації

Адаптивні моделі збору інформації реалізують ідею самоорганізуючих бездротових сенсорних мереж. Основний сенс полягає в тому, що в мережі не існує ніякого заданого ззовні розкладу. Вузли мережі деяким чином самостійно організуються в мережу. Спосіб самоорганізації вузлів залежить від сфери застосування БСМ. Перевагами даної моделі є висока надійність мережі та підтримка мобільності. Недоліками адаптивної моделі є більш тривалий час збору даних та більш високе енергоспоживання в порівнянні з моделлю збору даних за розкладом.

Для розподілу пропускної здатності мережі використовують пріоритети вузлів-джерел даних і задають інтервали передачі пакетів даних вузлам-нащадкам пропорційно пріоритету вузла. Формування інтервалів передачі пакетів даних можна визначити як:

$$T_p = T_{\text{now}} \frac{e_i (p_{\text{max}} + 1) - \sum_1^{e_i} p_i}{p_{\text{max}} - p_i + 1} \beta_i, \quad (10)$$

де T_{now} – інтервал передачі пакетів даних, призначений для поточного вузла його вузлом-предком; p_{max} – максимальний пріоритет вузлів-нащадків; p_i – пріоритет вузла-нащадка; e_i – число вузлів-нащадків; β_i – час на можливу затримку передачі.

Використання такого методу організації передачі пакетів даних при побудові БСМ на практиці означає підвищення надійності і зниження затримки доставки пакетів даних з більш пріоритетних вузлів.

Основна ідея адаптивних моделей збору інформації полягає у відсутності розкладу, сформованого ззов-

ні мережі. Вузли БСМ самостійно визначають, кому передавати дані у той чи інший момент часу.

4. 5. Аналіз гібридної моделі збору інформації

Гібридна модель збору інформації об'єднує дві або більше вищеописаних моделі збору інформації. Гібридний метод спрямований на подолання недоліків окремих моделей збору інформації. Найбільш перспективними є гібридні моделі збору, засновані на комбінаціях моделі збору за розкладом і моделі збору за подією, моделі збору за подією і моделі збору за запитом, моделі збору за подією і за розкладом, а також застосування до адаптивної моделі збору всіх інших.

Гібридна модель збору інформації на основі збору за розкладом і за подією дозволяє адаптивно вибирати режим збору інформації в БСМ. При визначенні події сенсорний вузол відправляє повідомлення і переходить в режим збору інформації за розкладом до тих пір, поки не буде детектована подія, потім переходить назад в режим збору інформації за подією. Застосування даного підходу дозволяє зменшити кількість переданої інформації і збільшити корисне навантаження в загальному інформаційному потоці. Недоліками даного підходу є обмежена сфера застосування моделі для реалізації БСМ.

Гібридна модель збору інформації на основі збору даних за подією і за запитом виробляє обробку тривалих агрегаційних запитів і дозволяє сенсорним вузлам проводити перевірку локальних даних на основі встановлених порогів спрацьовування. Потім сенсорні вузли відправляють на вузол-агрегатор тільки ті дані, які задовольняють заданим порогам. На вузлі-агрегаторі в свою чергу відбувається обробка запиту на основі отриманих даних. Групова обробка даних підмережею дозволяє зменшити комунікаційні енерговитрати.

Модель гібридного збору інформації на основі збору за подією і за розкладом передбачає комплексну обробку подій (complex event processing) для детектування значущих подій повного потоку даних. При детектуванні події сенсорний вузол періодично відправляє дані на координатор. Даний підхід забезпечує тривалий моніторинг навколишнього середовища, що дозволяє виконувати довільний аналіз даних. Недоліком даного підходу є відсутність обробки даних всередині мережі, як ефективною технікою використання ресурсів, а також необхідність передавання всіх даних на кореневий вузол, що збільшує навантаження на мережу.

У підсумку можна зробити висновок, що гібридна модель збору інформації дозволяє об'єднати декілька моделей для рішення конкретної задачі роботи мережі. Недоліками гібридних моделей є велика складність алгоритмів побудови БСМ.

5. Результати досліджень аналізу моделей збору інформації і їх оптимізації

Механізми зменшення споживання енергії вузлом БСМ залежать від моделі збору інформації. Також на споживання вузла впливає алгоритм роботи вузла, побудований за моделлю збору інформації. Використання нових моделей збору даних дозволить створити якісно нову мережу, істотно розширюючи перелік

можливих вирішуваних нею завдань. Введення агрегаторів мережі забезпечують підвищення адекватності та об'єктивності одержуваних даних при низьких енергетичних витратах.

При розробці нових моделей збору інформації істотно значення має вибір математичної моделі для опису структури бездротової сенсорної мережі. Адекватність моделі можна перевірити за допомогою імітаційного моделювання [32], що дозволяє представити процес функціонування системи як послідовність подій.

6. Обговорення результатів аналізу моделей збору інформації та підходів щодо їх оптимізації

Можливості використання сенсорних мереж протягаються на багато сфер діяльності. В якості найбільш очевидних областей їх застосування експерти називають промисловий моніторинг, автоматизацію будівель («розумний будинок»), логістику, охорону здоров'я, системи безпеки і оборони.

Бездротові сенсорні мережі мають обмежену обчислювальну потужність вузлів і канали передачі даних, що накладає обмеження на пропускну здатність кожного вузла БСМ. Розмір трафіку в мережі також впливає на дальність і стабільність зв'язку. Тому питання оптимізації збору інформації в БСМ є актуальним. Проблема організації та оптимізації збору даних в бездротових сенсорних мережах активно вивчається вченими з різних країн світу.

Для збору інформації з БСМ можливо використувати різні моделі, їх розділяють на:

- модель збору даних за запитом;
- модель збору даних за розкладом;
- модель збору даних за подією;
- адаптивні моделі збору інформації;
- гібридна модель збору.

Аналіз існуючих моделей збору інформації в БСМ показав, що гібридна модель збору інформації дозволяє об'єднати декілька моделей для вирішення задачі, що ставиться перед бездротовою сенсорною мережею. Комбінація різних моделей на певному рівні дозволяє отримати більш адаптовану мережу. Недоліками гібридних моделей є велика складність алгоритмів побудови мережі. Але враховуючи стрімкий розвиток мікроелектроніки та постійне збільшення тактової частоти роботи не тільки процесорів, а й мікроконтролерів, які є складовими вузлів БСМ, то цей недолік в майбутньому має нівелюватися.

Позиціонування вузлів та введення агрегаторів мережі забезпечують підвищення адекватності та об'єктивності одержуваних даних. Оптимізація збору інформації може йти декількома шляхами. Перший – використання агрегаторів та позиціонування вузлів. Інший – комбінація моделей збору та зміна структури топології мережі в процесі роботи БСМ.

7. Висновки

Аналіз існуючих моделей збору інформації в БСМ показав, що в залежності від вибору моделі збору відбувається обмеження її застосування.

Модель збору даних за розкладом оптимальна для завдань постійного відстеження параметрів досліджуваного середовища. Використання моделі збору даних за запитом дозволяє частково отримати переваги моделі збору за розкладом та доступ до вузлів як до БД. Модель збору даних за подією найбільш ефективна для моніторингу середовища на предмет зміни стану і детектування значущих подій. Адаптивні моделі збору інформації реалізують ідею самоорганізуючих бездротових сенсорних мереж.

У той же час не існує моделі збору, яка здатна з деякими обмеженнями застосовуватися для різних БСМ.

Єдиною моделлю, що частково задовольняє цю умову, в деякому наближенні, є гібридна.

Гібридна модель збору інформації дозволяє об'єднати декілька моделей для рішення конкретної задачі роботи БСМ. Недоліками гібридних моделей є велика складність алгоритмів побудови мережі.

Позиціонування вузлів та введення агрегаторів мережі забезпечують підвищення адекватності та об'єктивності одержуваних даних при низьких енергетичних витратах.

Актуальною і практичною залишається завдання оптимізації існуючих інформаційних потоків в різних моделях збору інформації в БСМ.

Література

1. Mobile Ad-hoc Networks [Electronic resource] / Internet Engineering Task Force. – Available at: <http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/> – 25.08.2014. – Title from the screen.
2. Center for Embedded Networked Sensing [Electronic resource] / The University of California. – Available at: <http://www.cens.ucla.edu/about/> – 26.08.2014. – Title from the screen.
3. James, E. W. Large-Scale Multiple-Source Detection Using Wireless Sensor Networks [Text] / E. W. James. – Dissertation. Doctor of Philosophy: Electrical and Computer Engineering. – Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA., 2010. – 168 p.
4. Кучерявый, А. Е. Интернет вещей [Текст] / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 12. – С. 21–24
5. Кучерявый, А. Е. Выбор головного узла кластера в однородной беспроводной сенсорной сети [Текст] / А. Е. Кучерявый, А. Салим // Электросвязь. – 2009. – № 8. – С. 32–36.
6. Ермошкина, Д. Д. Классификация беспроводных сенсорных сетей по видам загрузки [Текст] / А. Е. Кучерявый, Д. Д. Ермошкина // Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – Т. 5, № 7. – С. 64–65
7. Andreev, Yu. Ultra Wideband Transceivers Based on Chaotic Pulses and Their Application to Wireless Body Area Networks [Text] / Yu. Andreev, A. Dmitriev, E. Efreanova, V. Lazarev // Proc. 2013 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2013). – Santa Fe, USA. – 2013. – P. 221–224. doi:10.15248/proc.2.221
8. Беспроводная система сбора информации [Электронный ресурс] / InformChaos Lab. – Режим доступа: <http://www.cplire.ru/win/informchaoslab/products/products.htm> 01.09.2014 г. – Загл. з экрана.
9. Труды XIII научной конференции по радиофизике, посвященной 85-летию со дня рождения М. А. Миллера [Текст] / Нижний Новгород, 7 мая 2009 г. / под ред. С. М. Грача, А. В. Якимова. – Нижний Новгород: ТАЛАН, 2009. – 275 с.
10. Молчанов, Д. А. Приложения беспроводных сенсорных сетей [Текст] / Д. А. Молчанов, Е. А. Кучерявый // Электросвязь. – 2006. – № 6. – С. 20–23.
11. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [Electronic resource] / IEEE Std. 802.15.4-2009. – Available at: \www/ URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-2009.pdf> / – 11.06.2014. – Title from the screen.
12. Терентьев, М. Н. Метод функционирования систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей [Текст] : дис. ... к. т. н.: 05.13.15 / М. Н. Терентьев. – М., 2010. – 154 с.
13. Иванова, И. А. Определение периметра зоны покрытия беспроводных сенсорных сетей [Текст] / И. А. Иванова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 10. – С. 25–30.
14. Measuring Power Consumption of CC2530 With Z-Stack [Electronic resource] / Texas Instruments Application Note AN079. – Available at: <http://www.ti.com/lit/an/swra292/swra292.pdf/> – 10.06.2014 – Title from the screen.
15. Second Generation System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / RF4CE / ZigBee [Electronic resource] / Texas Instruments. – Available at: \www/ URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf/> – 15.06.2014 – Title from the screen.
16. Власова, В. А. Аналіз енергоциклів вузлів бездротових сенсорних мереж [Текст] / В. А. Власова, А. Н. Зеленін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13–17.
17. Жевак, А. В. Оптимизация сбора данных в беспроводных сенсорных сетях с использованием нейронной сети с градиентным алгоритмом обучения [Текст] / А. В. Жевак, В. Ю. Арьков, А. М. Фридлянд, А. В. Жевак // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2007. – № 10. – С. 47–49.
18. Жевак, А. В. Моделирование и оптимизация сбора данных в беспроводной сенсорной сети на основе фиксированного распинания [Текст] : дис. ... к. т. н.: 05.13.18 / А. В. Жевак. – Уфа, 2008. – 111 с.
19. Тимков, А. В. Разработка имитационной модели беспроводной сенсорной сети [Электронный ресурс] / А. В. Тимков, А. О. Телятников // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС та КМ-2010). Матеріали І всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Донецьк, ДонНТУ, 2010. – С. 117–121. – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/12697> – 02.09.2014. – Загл. з екрану.

20. Восков, Л. С. Метод энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания [Текст] / Л. С. Восков, М. М. Комаров // Бизнес-информатика. – 2012. – № 1. – С. 70–75.
21. Восков, Л. С. Позиционирования датчиков беспроводной сенсорной сети как способ энергосбережения [Текст] / Л. С. Восков, М. М. Комаров // Датчики и системы. – 2012. – № 1. – С. 34–38.
22. Chen, Y. Energy-balancing multipath routing protocol for wireless sensor networks [Text] / Y. Chen, N. Nasser // Proceedings of the 3rd international conference on Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks QShine '06. – 2006. – Vol. 21. – P. 245–249. doi: 10.1145/1185373.1185401
23. Soro, S. Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering [Text] / S. Soro, W. B. Heinzelman // Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05), Washington, DC, USA. – Washington, 2005. – P. 236–243. doi: 10.1109/IPDPS.2005.365
24. Abolhasan, M., Performance Investigation on three-classes of MANET routing protocols [Text] / M. Abolhasan, T. Wysocki, J. Lipman // Asia-Pacific Conference on Communications, 2005. – P. 774–778. doi: 10.1109/APCC.2005.1554167
25. Vahabi, M. Adaptive Data Collection Algorithm for Wireless Sensor Networks [Text] / M. Vahabi, M. F. A. Rasid, R. S. A. R. Abdullah, M. H. F. Ghazvini // International Journal of Computer Science and Network Security. – 2008. – Vol. 8, Issue 6. – P. 125–132.
26. Jayant, G. Model-Based Event Detection in Wireless Sensor Networks [Text] / G. Jayant, T. Andreas, C. B. Randal, S. S. Alexander // Computing Research Repository. – 2009. – Vol. abs/0901.3. – P. 1–6.
27. Chao, W. Approximate Data Collection for Wireless Sensor Networks [Text] / W. Chao, M. Huadong, H. Yuan, X. Shuguang // International Conference on Parallel and Distributed Systems. – ICPADS, 2010. – P. 164–171. doi: 10.1109/ICPADS.2010.32
28. Feng, W. Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches [Text] / W. Feng, L. Jiangchuan // Communications Surveys & Tutorials, IEEE. – 2011. – Vol. 13, Issue 4. – P. 673–687. doi: 10.1109/SURV.2011.060710.00066
29. 060710.00066
30. An, M. K. Minimum latency data collection in interference-aware Wireless Sensor Networks [Text] / M. K. An, H. Cho // Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), 2014 International Conference on, 2014. – P. 1–5 doi: 10.1109/CITS.2014.6878957
31. Yonghui, S. Data Aggregation with multiple sinks in Information-Centric Wireless Sensor Network [Text] / S. Yonghui, K. Younghan // Information Networking (ICOIN), International Conference, 2014. – P. 13–17. doi: 10.1109/ICOIN.2014.6799475
32. Wei, W. Query-Driven Data Collection and Data Forwarding in Intermittently Connected Mobile Sensor Networks [Text] / W. Wei, B. L. Hock, T. Kian-Lee // VLDB 2010 – 36th International Conference on Very Large Data Bases. – Singapore, 2010. – P. 1–6. doi: 10.1145/1858158.1858166
33. Галкін, П. В. Адекватність моделей бездротових сенсорних мереж в середовищах імітаційного моделювання [Текст] / П. В. Галкін, А. С. Борисенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 4, № 9(64). – С. 52–55. doi: 10.15587/1729-4061.2013.16394.