

Вік.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко, Н.О. Владимирська
**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ
ТРИВАЛОСТІ ЇЇ ІСНУВАННЯ**

Анотація. Запропоновано підхід оптимізації тривалості існування бездротової сенсорної мережі за рахунок більш ефективного вибору діапазону передачі та розкладу активності/сну сенсорних вузлів. Проведений аналіз дозволив дійти висновку, що статистичні характеристики й час життя не залежать від кількості вузлів мережі, а визначаються вибором стратегії та параметрів оптимізації.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, тривалість існування, оптимізація, діапазон передачі, режим активності/сну.

Постановка проблеми

Бездротові сенсорні мережі (BSM, WSN) призначені для реєстрації параметрів різної фізичної природи в заданій області досліджень. Кожна BSM містить сенсорний вузол, який оснащений одним або декількома датчиками, контролером, приймачем-передавачем та джерелом живлення [1–5]. У той же час вузли можуть здійснювати тимчасове зберігання й попередню обробку даних, отриманих як від власних датчиків, так і по мережі від інших вузлів [5,6]. Оскільки ресурси вузла (пам'ять, обчислювальна потужність, ємність джерела живлення) обмежені, і в основному енергія витрачається в процесі збору, обробки й передачі даних, то розробляються різні способи зниження навантаження на вузли [7]. Виходячи з цього для забезпечення своєчасної доставки критично важливих даних або ресурсів необхідно коректувати параметри мережі (наприклад, збільшення дальності діапазону передачі вузлів) за рахунок збільшення споживання енергії. Як слідство, актуальними напрямками в області BSM є створення нових апаратних платформ, розробка спеціалізованих операційних систем й алгоритмів доступу до середовища, маршрутизації для складних мережевих топологій, які мають метою підвищення енергоефективності BSM, що, у свою чергу, дозволяє збільшити час

автономної роботи. Таким чином, забезпечення вимог до продуктивності мережі й подовження її часу життя з використанням енергетичних запасів є актуальним завданням [8].

Аналіз останніх досліджень

Час існування БСМ і стратегії енергозбереження розглянуті в [9-13]. Ці підходи припускають зміни протоколів маршрутизації, схем збору й передачі даних, графіків активності/сну (очікування) та топології розташування вузлів мережі, обмеження енергії батареї.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи полягає у виборі оптимальних параметрів бездротової сенсорної мережі: загальної дальності передачі даних для всіх сенсорних вузлів, рівня реплікації ресурсів і графіка активності/очікування вузлів, які задовольняють обмеженням якості обслуговування й збільшення часу забезпечення зв'язку.

Основна частина

Досліджується вплив оптимального вибору діапазону передачі й розкладу активності/сну на тривалість життя БСМ. Щоб побачити вплив налаштування параметрів для кожного періоду, порівнюємо чотири випадки мережі з N вузлами ($N \in \{600, 700, 800, 900, 1000\}$), розташованих випадково на полі. Імітаційне моделювання мереж проводилося в пакеті OPNET. У чотирьох випадках визначається наступне:

1. Оптимізація/Оптимізація (ОО): оптимізувати дальність передачі, графіки активності/сну й рівень передачі даних для кожного періоду планування;

2. Встановлення/Оптимізація (ВО): встановити дальність передачі, оптимізувати графік активності/сну й рівень передачі даних для кожного періоду планування;

3. Оптимізація/Встановлення (ОВ): оптимізувати рівень і дальність передачі даних для кожного періоду планування, коли сенсорні вузли завжди активні;

4. Встановлення/Встановлення (ВВ): встановити дальність передачі, сенсорні вузли завжди активні й оптимізувати рівень передачі ресурсів.

Для кожного із цих чотирьох випадків оптимальний час життя лічильника вибирається для кожного періоду часу. Хоча сценарії ОО,

ОВ і ВО і називаються оптимальними, важливо відзначити, що оптимальні рішення для кожного періоду часу прийняті апріорно. Проте, ці рішення дійсно, фактично, пояснюють топологію мережі, що змінюється в часі, через виснаження батареї сенсора вузла. У випадках ВО і ВВ, дальність передачі фіксується на мінімальному обраному значенні, яке визначено при оптимізації дальність передачі для кожного періоду часу.

При проведенні експериментів припускаємо, що спочатку енергія батареї кожного вузла 10 джоулів (Дж) [14]. Витрата енергії вузла в періоді τ припускає значення випадкових величин: середнє $c(s_r, a_r)$ - енергія батареї, що витрачена активним вузлом під час періоду τ , σ - стандартне відхилення. Стандартні значення для існуючих у цей час передавачів $e_t=50 \times 10^{-9}$ Дж/біт/м², $e_d=100 \times 10^{-12}$ Дж/біт/м² [15,16]. Довжина кожного періоду в моделі оптимізації є однією одиницею часу (наприклад, один тиждень). Для аналізу впливу дисперсії витрати енергії, також порівнюємо терміни служби мережі чотирьох планів експеримента, коли $\sigma \in \{0.2, 0.4, \dots, 2.0\}$. Більша дисперсія значень витрат енергії, імовірно, буде переважати через неоднорідність навколишнього середовища, або якщо деякі вузли служать передавальними станціями частіше, ніж інші. Параметри значень для тестових екземплярів:

- Розподіл часу життя Tr_i (0.1,10.0,19.9)
- Розподіл часу життя запиту U (0.1, 9.9)
- Витрати енергії під час τ -го періоду $Tr-N(c_r(n_r, a_r), \sigma^2)$
- Значення межі відмови запиту (φ) 0.025
- Мінімальна ймовірність підключення (ξ) 0.99
- Планування експерименту (τ) {1,2..., 20}

У всіх експериментах час життя подій і запитів мають трикутний й рівномірний розподіли, відповідно.

При імітаційному моделюванні розглядаємо змішану цілочисельну лінійну модель для визначення оптимального діапазону передачі й частини активних режимів сенсорів (серед тих, які живі) для кожного часу в T . Для цих експериментів оптимальне рішення проблеми є наближеним, тому що $\Delta(n_r, a_r)$ -безумовна інтенсивність відмов запиту й $\psi(n_r, a_r)$ - імовірність того, що мережа підключена в момент часу τ , оцінюються з використанням наближень.

Таким чином, для обчислень доцільно використовувати дану модель оптимізації параметрів з урахуванням тільки підмножини альтернативних значень, що істотно не впливає на якість одержуваних рішень. Отже, s_r може приймати тільки одне з 20 цілочисельних значень від 0 до N й n_r - одне з 10 цілочисельних значень між 0 й s_r , де

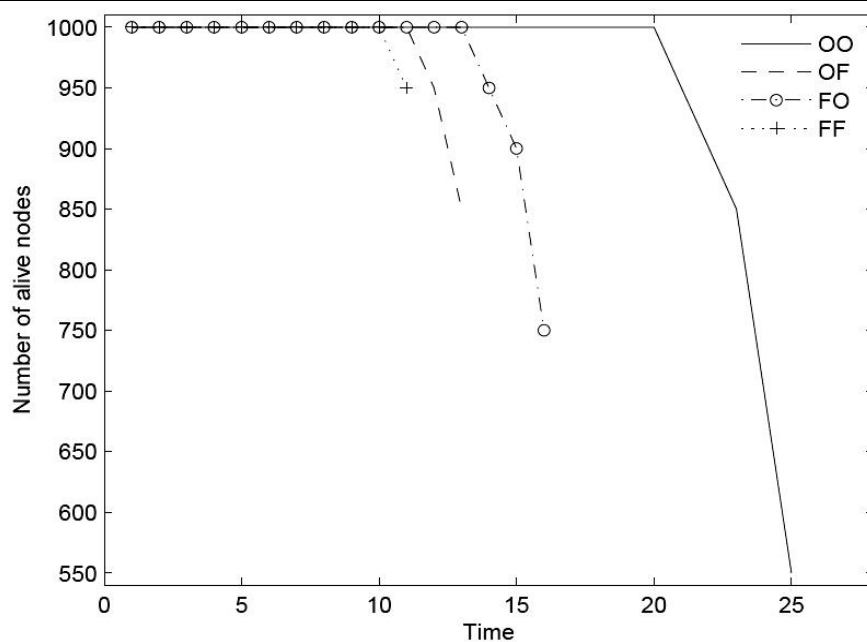
s_r - кількість вузлів, які живі на початку періоду T , $s_r \in N$;

n_r - очікувана кількість активних вузлів на початку періоду T , $n_r = \lceil s_r p_r \rceil$.

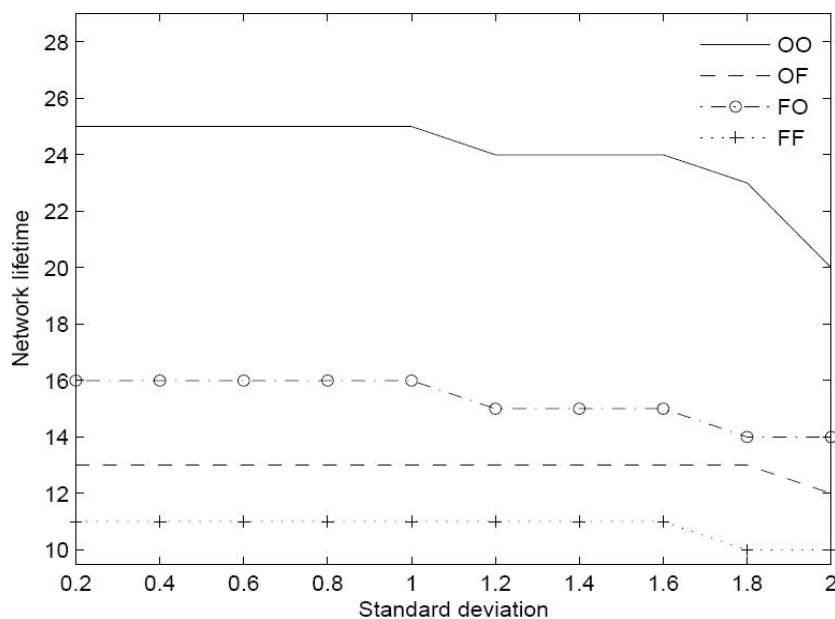
На початку періоду, кожен живий вузол може або перейти в режим очікування з імовірністю $(1 - p_r)$ або залишатися активним з імовірністю p_r . Припустимо, що p_r є однаковою для всіх живих вузлів.

На рисунку 1а представлений ефект настроювання діапазону передачі й режиму очікування залежно від кількості живих вузлів протягом тривалого часу при $N=1000$. Коли діапазон передачі й режими активності/очікування фіксуються тривалий час, то кількість живих вузлів у мережі різко падає. Коли один з діапазонів передачі й режими активності/очікування оптимізовані для кожного періоду, то інтенсивність відмов вузла менше, ніж у випадку, коли рішення є статичними. З іншого боку, коли діапазон передачі й режими активності/очікування оптимізовані, то збільшується час життя мережі, оскільки вузли виходять із ладу з меншою швидкістю стосовно часу. Крім того, при оптимізації даних характеристик з урахуванням відмов вузлів, мережа задовольняє QoS і вимогам підключення навіть після виходу з ладу багатьох вузлів. Подібні результати спостерігаються коли $N \in \{600, 700, 800, 900\}$.

Результати представлені в таблиці 1 є середнім часом життя 10 прикладів, коли стандартне відхилення змінюється від 0.2 до 20. Ця таблиця ілюструє істотний вплив оптимізованих рішень і показує, що для різних розмірів мереж установка оптимального діапазону передачі й режимів активності/очікування збільшує середню тривалість життя мережі.



а



б

Рисунок 1 - Вплив оптимальних рішень щодо часу життя мережі:

(а) кількість живих вузлів ($N=1000$, $\sigma=1.0$),(б) Час життя мережі як функція від σ ($N=1000$)

Таблиця 1

Середній час життя бездротової сенсорної мережі

N кількість вузлів мережі	ОО	ВО	ОВ	ВВ
600	27.4	17.1	12.9	10.9
700	27.8	13.6	13.3	10.5
800	18.6	15.3	10.8	10.8
900	26.9	13.4	12.9	10.5
1000	24.0	15.3	12.9	10.8

Рисунок 1б показує деякі дуже цікаві результати. Зазначимо, по-перше, завдання діапазону передачі й активних режимів активності/очікування в кожен період планування перевершує інші випадки з погляду середнього максимального часу життя мережі майже для всіх стандартних значень відхилень. По-друге, термін служби мережі зменшується, оскільки збільшується стандартне відхилення витрати енергії. Одним з можливих пояснень зменшення строку життя мережі є те, що, як і збільшення дисперсії витрати енергії, більша частина вузлів може одержувати тимчасову відмову, що значно менша, ніж середній час відмови, тим самим збільшуючи випадки, у яких забезпечення зв'язку й/або обмежень QoS порушуються на початку етапу планування.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У результаті дослідження діапазону передачі й розкладу активності/сну (очікування) сенсорних вузлів визначені оптимальні значення цих параметрів для збільшення тривалості існування бездротової мережі. Запропоновано чотири сценарії для оптимізації й установаження характеристик, які впливають як на час життя, так і на QoS. Завдання діапазону передачі й режимів активності/сну вузлів (ОО) у кожен період дає кращі результати максимізації середнього часу життя мережі в порівнянні з іншими сценаріями. Аналіз результатів показав, що оптимізація не залежить від кількості вузлів мережі, а визначається вибором стратегії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баскаков, С.С. Беспроводные сенсорные сети: вопросы и ответы / С.С. Баскаков // Автоматизация в промышленности. – 2008. – №4.
2. Иванова, И.А. Проблема автоматизации передачи сигнала при ограниченной мощности передатчика / И.А. Иванова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 7. – С. 15–16.
3. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / пер. с англ. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
4. Воронин, А. Сенсорные сети [Электронный ресурс]/А.Воронин. – 2008. – Режим доступа:
<http://www.technofresh.ru/technology/appearance/sensorable.html>.
5. Остроух, А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / А.В. Остроух. – М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-94385-056-1.
6. Сергиевский, М.В. Беспроводные сенсорные сети / М.В. Сергиевский КомпьютерПресс, 2007. – №8.

7. Морозова, Т.Ю. Оценка качества защитного шума в беспроводных компьютерных сетях для безопасной передачи данных / Т.Ю. Морозова, В.В. Никонов, А.Н. Тверской // Научные технологии. – М.: МГУПИ, 2008. – №7. – т. 9 «Автоматизированные системы, обработки информации и управления». – С. 11-15.
8. Гнатушенко В.В. Аналітичний підхід оптимізації передачі даних в бездротових сенсорних мережах / В. В. Гнатушенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Выпуск 3 (50). – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 122-126.
9. Anastasi, G. Extending the lifetime of wireless sensor networks through adaptive sleep. / G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco //IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2009. – vol. 5. – P.351-365.
- 10.Ok, C. Distributed energy balanced routing for wireless sensor networks / C. Ok, S. Lee, P. Mitra, S. Kumara // Computers and Industrial Engineering. – 2009. – vol. 57. – P.125-135.
- 11.Padmanabh, K.Transmission range management for lifetime maximization in wireless sensor network. / K. Padmanabh, P. Gupta, R. Roy //Proceedings of the International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems. – 2008. - P.138-142.
- 12.Shi, L. Resource optimisation in a wireless sensor network with guaranteed estimator performance/ L. Shi, A. Capponi, K. H. Johansson, R. M. Murray// IET Control Theory and Applications. – 2010. – vol. 4(5). – P.710-723.
- 13.Zhu, Y. An energy-efficient data gathering algorithm to prolong lifetime of wireless sensor networks./ Y. Zhu, W. Wu, J. Pan, Y. Tang, // Computer Communications. – 2010. – vol. 33. – P.639-647.
- 14.Chen, I. Adaptive fault-tolerant QoS control algorithms for maximizing system lifetime of query-based wireless sensor networks / I.Chen , A. P. Speer, M. Eltoweissy//IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2011. - vol. 8(2). - P.161-176.
- 15.Gao, Q. Radio range adjustment for energy efficient wireless sensor networks/ Q. Gao, K. J. Blow, D. J. Holding, I. W.Marshall, X. H. Peng, // Ad Hoc Networks. – 2006. – vol. 4(1). – P.75-82.
- 16.Zhang, Z. On the effective energy consumption in wireless sensor networks [Text]/ Z. Zhang, G. Mao, B. D. Anderson// Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC).- 2010. - P.1-6.