

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ БЕЗДРОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ОПТИМАЛЬНІСТЮ ВИБОРУ ДІАПАЗОНУ ПЕРЕДАВАННЯ Й РОЗКЛАДУ РЕЖИМІВ АКТИВНОСТІ/ОЧІКУВАННЯ СЕНСОРІВ

© Гнатушенко В., 2015

Наведено алгоритм підвищення часу життя бездротової сенсорної мережі. Запропоновано модель оптимізації продуктивності з використанням вибору діапазону передавання й режимів активності/очікування сенсорів.

Ключові слова: бездротова мережа, оптимізація, модель, діапазон передавання.

The article examines the algorithm increase the lifetime of wireless sensor network. The model performance optimization using a range selection transmission and mode active/sleep sensors.

Key words: wireless sensor network, optimization, model, range transmission, sensor.

Постановка проблеми

При дослідженні й проектуванні бездротових сенсорних мереж (БСМ) та їхніх характеристик виникає питання створення математичних моделей максимізації часу існування мережі, що дало б змогу вирішити безліч складних завдань, які належать до різних областей застосування. Однією з основних проблем виконання вимог якості обслуговування БСМ є забезпечення високої відмовостійкості, що пов'язано з порушенням роботи мережі внаслідок відмов вузлів або каналів зв'язку. Дослідження з енергоспоживання вузлами й маршрутизації даних в останні роки показує, що енергоефективність має першорядне значення для продовження часу існування мережі [1]. Можна зробити висновок, що використовувані математичні моделі не дають змоги оцінювати час життя мереж, конфігурації яких змінюються із часом, і максимізувати час їхньої безперебійної роботи.

Аналіз останніх досліджень

Значної економії енергії можна досягти вмиканням-вимиканням можливості зв'язку вузла під час простою [2–4]. Існує два режими вузла “сон/очікування” й “активний”. Коли вузол перебуває в активному режимі, він виконує всі свої обов'язки, коли він перебуває в режимі сну, він продовжує зондування навколишнього середовища, але не спілкується з іншими вузлами для збереження енергії. Однак енергія зберігається за рахунок потенціалу пропускну здатності мережі й підвищення часу відгуку. Niyato й Hossain розробили моделі організації черг, щоб досліджувати продуктивність різного очікування й стратегії пробудження [5]. Chiasserini розробив модель для аналізу БСМ із випадковою схемою сну, де в деякий момент часу існує певна ймовірність того, що довільний вузол повинен бути активним [6].

Максимальна однохорова (однокачкова) дальність передавання вузла називається його діапазоном передавання. Chen й Deng визначили оптимальний діапазон передавання всіх вузлів, що мінімізує загальні енергетичні витрати мережі, й показали вплив дальності передавання на час життя БСМ, використовуючи загальну модель споживання енергії [7]. Доведено, що при великій дальності передавання зменшується час відгуку внаслідок збільшення споживання енергії. Gao [8] показав на простій лінійній мережі (БСМ, у якій сенсори вузлів впорядковані), що витрати енергії можна значно зменшити, якщо діапазон передавання поновляють, коли щільність вузлів мережі змінюється через списки активних/сплячих вузлів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою роботи є розроблення моделі оптимізації продуктивності бездротової сенсорної мережі, яка дасть змогу підвищити якість обслуговування й середню тривалість життя мережі.

Виклад основного матеріалу

Специфіка використання сенсорних мереж робить неможливим застосування стандартних схем функціонування бездротових мереж. Робота приймача і передавача потребує найбільших витрат енергії, тому ці пристрої повинні включатися доволі рідко. Зазвичай немає необхідності у передаванні інформації від одного сенсора іншому, – всі дані повинні доставлятися на найближчу базову станцію. Надійності під час передавання досягають завдяки підтвердженню кожного пакета даних на кожному етапі передавання, а не встановленням надійного каналу між кінцевими вузлами під час передавання. Вузли, які знаходяться ближче до базової станції, можуть не просто відсилати пакет даних далі, а агрегувати дані з результатами власних вимірювань. Тому для сенсорних мереж необхідно розробити специфічні ефективні методи оптимізації як передавання даних, так і енергопостачання.

Завдання моніторингу, як правило, не вимагають передавання інформаційних потоків високої щільності, тому знизити енергоспоживання вузлів можна, наприклад, завдяки синхронному їх включенню на час комунікації і виключенню на тривалий час. Важливою вимогою до БСС є можливість їх самоорганізації: вузли повинні вміти самостійно об'єднуватися в мережу і ретранслювати один одному пакети даних за умови обміну інформаційними пакетами тільки між вузлами, що знаходяться в області радіобачення один одного, обумовленою імовірністю доставки інформаційних пакетів між вузлами. Маршрути доставки даних повинні визначатися динамічно з урахуванням можливого виходу з ладу ретрансляторів або порушення комунікацій. Перераховані вимоги регламентує стандарт бездротового зв'язку IEEE 802.15.4 [9, 10]. Особливостями стандарту є низьке енергоспоживання, короткий час підключення до мережі, підтримка великої кількості клієнтів, можливість реалізації вимог стандарту в недорогих пристроях.

Існують методи, спрямовані на вирішення проблеми максимізації продуктивності бездротової сенсорної мережі. До них можливо віднести індивідуальний підбір ємності батарей, щільності розміщення вузлів, потужності передавачів, застосування різних протоколів маршрутизації, позиціонування вузлів мережі.

Припускаємо, що агенти події передаються від вузла до вузла за допомогою методу випадкового розповсюдження, поки або не минає подія (тобто досягає свого терміну дії), або вичерпується час життя лічильника. Наша модель припускає, що вузли передають інформацію до випадково обраного вузла з набору вузлів у межах його діапазону передавання. Вузли можуть також згенерувати запити, щоб запросити дані або ресурси з мережі. Якщо запит не може визначити місцезнаходження інформованого вузла до закінчення функціонування запиту, то запит зазнає невдачі. Загальна частка генерувальних запитів, які не обслуговуються вчасно, тобто обмеження частки відмов запитів, є критично важливою мірою QoS.

Крім цього, датчики вузлів самі по собі мають обмежені терміни служби. Якщо вузол не працює через розрядку акумулятора, то ми говоримо, що вузол не обслугований. В іншому випадку вузол є живим. Живий вузол може бути або в режимі сну (очікування), або в активному. У сплячому режимі вузол виключає свої можливості зчитування й комутації для збереження енергії [11]. У густонаселених мережах розміщують підмножини вузлів у режимі очікування сеансу комутації для продовження терміну служби мережі. Проте продуктивність мережі може погіршуватися, коли деякі з вузлів доступні для зчитування й відправлення агентів подій або пакетів запитів.

Нехай N – кількість вузлів у мережі. Розглянемо експеримент $T = \{1, 2, \dots, T\}$ ($T < \infty$), де кожен елемент T є рішенням та час між двома рішеннями – період (наприклад, тиждень). На початку періоду кожен живий вузол може або перейти в режим очікування з імовірністю $(1-p_i)$, або залишатися активним з імовірністю p_i . Ми припускаємо, що p_i є однаковою для всіх живих вузлів.

Розглянемо модель для визначення дальності передавання (r_t), часу життя лічильника подій (l_t) і ймовірності того, що вузол перебуває в активному режимі p_t для кожного $t \in T = \{1, 2, \dots, T\}$. Для побудови моделі оптимізації параметрів введемо позначення:

- A – множина можливих рішень.

$$A = \{(r, l, p) : r \in (0, \bar{r}], l \in \mathbb{N} \setminus \{N\}, p \in (0, 1]\},$$

де $\bar{r} = \sqrt{2L}$ – максимальна відстань між двома вузлами у квадратній області розгортання R ;

- $a_t \in A$ – рішення, прийняте на самому початку періоду t .

$$a_t = (r_t, l_t, p_t) \in A,$$

де r_t – діапазон передавання; l_t – час життя лічильника подій; p_t – частина активних вузлів.

- s_t – кількість вузлів, які живі на початку періоду t , $s_t \in \mathbb{N}$;
- n_t – очікувана кількість активних вузлів на початку періоду t ;
- $c(s_t, a_t)$ – очікувана енергія батареї, що витрачена активним вузлом під час періоду t .

Припускаємо, що в період t енергетичні витрати всіх вузлів незалежні й рівномірно розподілені.

• b_t – очікувана доступна енергія батареї у вузлі на початку періоду t . Для спрощення використаємо середню доступну енергію як реальну доступну енергію в одному вузлі. Активний вузол (у режимі очікування) не споживає енергію з імовірністю $1-p_t$. Однак, в активному режимі споживає енергію з імовірністю p_t . Отже, очікувана доступна енергія в періоді $t+1$ визначається рекурсивно $b_{t+1} = b_t - p_t c(s_t, a_t)$;

• $f(s_t, a_t, b_t)$ – імовірність того, що вузол живий на початку періоду t і не обслуговується протягом цього періоду. Ми припускаємо, що будь-який активний вузол не обслуговується до кінця періоду t , якщо енергія, необхідна в період перевищує середню енергію, яка існує на початок періоду.

- x_t – стан мережі на початку періоду t

$$x_t = \begin{cases} 1, & \text{мережа функціонує} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

- $\Delta(n_t, a_t)$ частина відмов запитів у момент часу t .

Функціонування мережі передбачає, що мережа підключена й задовольняє вимоги QoS на початку періоду t . Обмеження частини запитів, які не обслужені вчасно, є критичною мірою QoS оснований на запитах бездротової сенсорної мережі й визначається при розгляді граничного поведіння одного запиту, що згенерований у неінформованому вузлі.

Модель оптимізації

Нехай ϕ – максимально припустимий відсоток відмов запиту, ξ – мінімально припустима ймовірність, що мережа підключена, й \bar{b} – початкова доступна енергія у вузлі. Загалом, ξ повинне бути близько до 1 та ϕ повинне бути близько до 0. Ми пропонуємо таку модель для визначення оптимального діапазону передавання, часу життя лічильника і частини активних режимів (зокрема ті, які не вдалися) для кожного вирішального періоду в T . Позначимо це як:

$$\max \sum_{t=1}^T x_t \quad (1)$$

$$\Delta(n_t, a_t) \leq \phi + M(1 - x_t), \quad t \in T \quad (2)$$

$$y(n_t, a_t) \leq \bar{b} - M(1 - x_t), \quad t \in T \quad (3)$$

$$n_t \leq s_t p_t, \quad t \in T \quad (4)$$

$$s_{t+1} \leq s_t - f(s_t, a_t, b_t) n_t, \quad t \in T \setminus \{T\} \quad (5)$$

$$b_{t+1} = b_t - p_t c(s_t, a_t), \quad t \in T \setminus \{T\} \quad (6)$$

$$x_t \geq x_{t+1}, \quad t \in T \setminus \{T\} \quad (7)$$

$$a_t = \{r_t, \mathbf{1}_t, p_t\} \in A, \quad t \in T \quad (8)$$

$$x_t \in \{0, 1\}, \quad b_t \in [0, \bar{b}], \quad t \in T \quad (9)$$

$$s_t \in \{0, 1, \dots, N\}, \quad n_t \in \{0, \dots, N\}, \quad t \in T \quad (10)$$

Цільова функція (1) являє собою кількість підряд часових періодів, у яких мережа задовольняє QoS і вимоги підключення. В обмеженнях (2) і (3), M велика позитивна постійна, котра змушує x_t прийняти значення 1 тоді й тільки тоді, коли одночасно виконуються в періоді t QoS й обмеження підключення. Для повноти ми також включаємо обмеження (4) і (5), щоб встановити кількість активних і живих вузлів. Обмеження (6) гарантує, що очікувану доступну енергію в кожен період часу розраховують з урахуванням енергетичних витрат у попередньому періоді часу. Обмеження (7) гарантує, що мережа задовольняє QoS й обмеженням підключення в послідовних періодах. Припустимі діапазони величин наведено в (8) через (9) і (10). Ця модель є нелінійною з додатковими обмеженнями.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропоновано модель підвищення продуктивності бездротової сенсорної мережі за рахунок оптимізації часу життя всієї системи, що дає змогу також вирішити питання підвищення якості QoS. Запропоновані вирази визначення оптимального діапазону передавання даних, часу життя лічильника і частини активних режимів вузлів дає змогу виконувати на етапі проектування порівняння топологій мережі для побудови найефективнішої, а також дають можливість без проведення дорогих натурних експериментів одержати оцінки характеристик бездротової сенсорної мережі.

1. Anastasi, G. *Energy conservation in wireless sensor networks: A survey* / G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco, A. Passarella // *Ad Hoc Networks*. – 2009. – Vol. 7. – P. 537–568. 2. Akyildiz, F. *Wireless sensor networks: A survey* / F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // *Computer Networks*. – 2002. – Vol. 38. – P. 393–422. 3. Sinha, P. *Dynamic power management in wireless sensor networks* / P. Sinha, A. P. Chandrakasan // *IEEE Design and Test of Computers Magazine*. – 2001. – Vol. 18(2). – P. 62–74. 4. Ye, J. H. W. *Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks* / J. H. W. Ye, D. Estrin // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 2004. – vol. 12(3). – 493–506. 5. Niyato, D. *Sleep and wakeup strategies in solar-powered wireless sensor/mesh networks: performance analysis and optimization* / D. Niyato, E. Hossain // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. – 2007. – Vol. 6. – P. 221–236. 6. Chiasserini, C. F. *Fluid models for large scale wireless sensor networks* / C. F. Chiasserini, R. Gaeta, M. Garetto, M. Gribaudo, D. Manini, M. Sereno // *Performance Evaluation*. – 2007. – Vol. 64. – P. 715–736. 7. Chen, P. *Energy efficient system design with optimum transmission range for wireless ad hoc networks* / P. Chen, B. O'Dea, E. Callaway // *In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*. – 2002. – P. 945–952. 8. Deng, J. *Optimum transmission range for wireless ad hoc networks* / J. Deng, Y. S. Han, P. Chen, P. K. Varshney // *In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*. – 2004. – P. 1024–1029. 9. *IEEE Standards 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*. — IEEE Computer Society, 2006. 10. *IEEE 802.15.4 WPAN-LR Task Group. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4)*, 2010. <http://www.ieee802.org>. 11. 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.