

МЕТОД ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА У РОЗУМНИХ МІСТАХ

Богач Б.І., Суліма С.В.

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: stivmenstivmen@gmail.com*

METHOD FOR BUILDING WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MONITORING THE URBAN ENVIROMENT IN SMART CITIES

The paper explores methods for constructing wireless sensor networks (WSNs) for urban environment monitoring. Various approaches to adaptive network management, cluster head selection, and routing optimization are analyzed.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) є ключовим елементом розумного міста, забезпечуючи автоматизований моніторинг параметрів середовища (якість повітря, шум, освітлення, трафік тощо) у реальному часі [1]. Вони дозволяють оперативно виявляти відхилення та небезпечні ситуації, що сприяє швидкому реагуванню міських служб.

Для підвищення надійності та енергоефективності БСМ застосовуються:

- Ланцюгові структури: протокол PEGASIS мінімізує одночасні передачі, зменшуючи енергоспоживання [2].
- Кластеризація: вузли групуються в кластери, а головний вузол збирає та передає дані. Протокол LEACH передбачає випадковий вибір голови кластера [3].
- Маршрутизація: у БСМ використовується багатохопова передача даних. Протокол Directed Diffusion дозволяє мінімізувати зайвий трафік, використовуючи запити «інтересів» [4].
- Енергозберігаючі алгоритми: MAC-протокол S-MAC вводить цикли «сон-пробудження», продовжуючи час роботи вузлів [5].
- Агрегація даних: об'єднання кількох вимірювань у один пакет зменшує навантаження на мережу.

Для вирішення зазначених проблем запропоновано новий метод побудови БСМ моніторингу міського середовища, який поєднує адаптивну кластеризацію, багатохопову маршрутизацію та енергозберігаючі алгоритми. Основна ідея – динамічно пристосовувати структуру мережі до поточного стану вузлів і умов оточення, щоб досягти балансу між енергоефективністю та надійністю. Алгоритм функціонує циклічно. На початку кожного циклу кожен сенсорний вузол оцінює кілька параметрів:

- власний рівень залишкової енергії,

- якість каналу зв'язку зі сусідами (враховуючи можливі міські перешкоди) та
- щільність сусідніх вузлів.

На основі цих метрик вузли самостійно обчислюють ймовірність стати головою кластера в даному циклі (подібно до LEACH, але з урахуванням додаткових факторів).

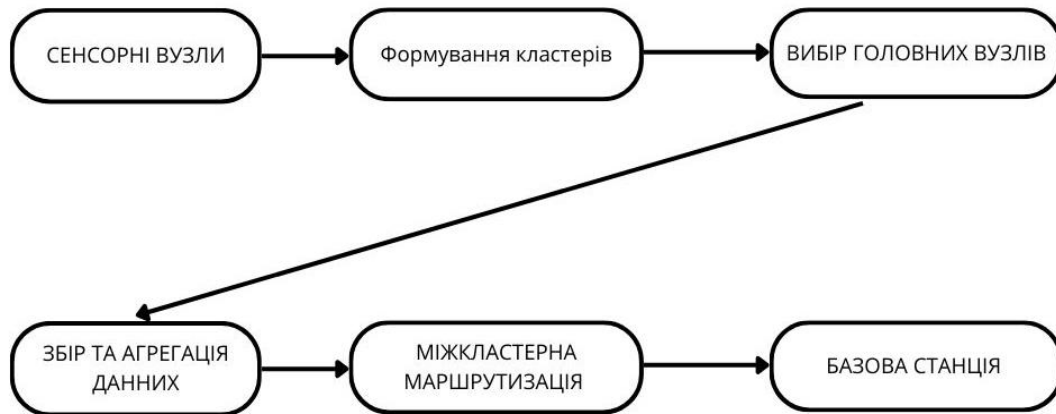


Рис.1. Структурна схема адаптивної кластеризованої БСМ.

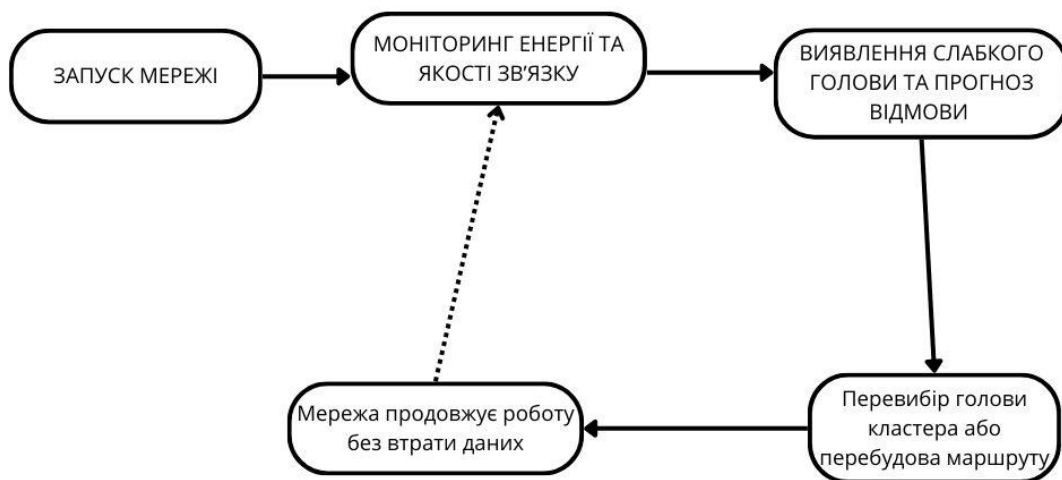


Рис.2. Живучість мережі та стійкість до відмов.

Ймовірність вибору голови кластера розраховується за наступною формулою:

$$P_i = P_o \left(w_E \frac{E_i}{E_{avg}} + w_Q \frac{Q_i}{Q_{avg}} + w_N \frac{N_i}{N_{avg}} \right)$$

де:

- P_i — ймовірність обрання вузлом i головою кластера;
- P_o — базова ймовірність;
- E_i, Q_i, N_i — залишкова енергія, якість зв'язку та щільність для вузла i ;
- $E_{avg}, Q_{avg}, N_{avg}$ — середні значення по мережі;

- w_E, w_Q, w_N — вагові коефіцієнти.

Переваги методу:

- Збільшення часу життя мережі: рівномірний розподіл енергоспоживання та зменшення витрат енергії на кожну передачу.
- Підвищена надійність: мережа функціонує навіть при виході з ладу окремих вузлів.
- Зменшення навантаження на мережу: агрегація даних знижує обсяг переданої інформації.

Для підвищення стійкості мережі вводиться механізм резервування: кожен кластер обирає «заступника» голови — вузол, що матиме роль головного у разі виходу основного з ладу. Крім того, в межах кластера застосовано часовий поділ доступу: вузли передають дані голові у визначені тайм-слоти, залишаючись у сплячому режимі в інший час. Це додатково знижує витрати енергії. Запропонований алгоритм працює в децентралізованому режимі (кожен вузол сам приймає рішення на основі локальної інформації), що важливо для масштабованості в умовах великого міста.

Запропонований метод дозволяє створювати більш ефективні, довговічні та надійні БСМ для моніторингу міського середовища, забезпечуючи стійкість до збоїв та зменшуючи потребу в обслуговуванні. Таким чином, запропонований метод сприяє створенню ефективних БСМ для розумних міст, покращуючи моніторинг середовища та оптимізуючи використання енергоресурсів.

Література

1. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. Wireless Sensor Networks: A Survey / I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // Computer Networks. – 2002. – Vol. 38, No. 4. – P. 393–422.
 2. Rashid B., Rehmani M.H. Applications of Wireless Sensor Networks for Urban Areas: A Survey / B. Rashid, M.H. Rehmani // Journal of Network and Computer Applications. – 2016. – Vol. 60. – P. 192–219.
 3. Heinzelman W.B., Chandrakasan A.P., Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks / W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, H. Balakrishnan // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2002. – Vol. 1, No. 4. – P. 660–670.
 4. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D., Heidemann J., Silva F. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking / C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2003. 5. – Vol. 11, No. 1. – P. 2–16.
- Ye W., Heidemann J., Estrin D. Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks / W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2004. – Vol. 12, No. 3. – P. 493–506.