

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

¹Дрегалю Б.О., ¹Лисенко О.І., ²Алексєєва І.В., ¹Новіков В.І.

¹*Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря
Сікорського, Україна*

²*Фізико-математичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*
E-mail: novikov1967@ukr.net

ALGORITHM FOR ADAPTIVE POWER CONTROL OF WIRELESS SENSOR NETWORK NODES

To analyze the energy consumption of nodes, a mathematical model was developed that takes into account the energy consumption of nodes in three main operating modes: active, standby, and sleep modes, and an algorithm was proposed that dynamically switches nodes between different modes based on monitoring environmental conditions and load levels.

Управління електроживленням вузлів безпроводових сенсорних мереж (БСМ) є ключовим чинником, що визначає їхню ефективність, стабільність та тривалість функціонування [1]. Враховуючи обмежені енергоресурси сенсорних вузлів, забезпечення максимально можливої економії енергії є критично важливим завданням для подовження життєвого циклу мережі та підтримання її продуктивності на високому рівні. Поняття управління електроживленням в контексті БСМ охоплює комплекс методів та рішень, спрямованих на мінімізацію енергетичних витрат без шкоди для якості передачі даних і надійності зв'язку.

Методи управління електроживленням, що застосовуються в сучасних БСМ, включають різноманітні підходи, зокрема оптимізацію протоколів маршрутизації, використання режимів зниженого енергоспоживання, адаптивне налаштування параметрів вузлів, а також інтелектуальне планування передачі даних. Ці методи дозволяють забезпечити баланс між мінімізацією енергетичних витрат і збереженням стабільної продуктивності системи, що є надзвичайно важливим для мереж, де заміна або зарядка батарей вузлів є практично неможливими або складними [2].

Математичне моделювання енергоспоживання вузлів в БСМ є одним із ключових етапів розробки ефективних методів зниження енерговитрат вузлів. Основною метою такого моделювання є створення алгоритмів, які забезпечують мінімальне споживання енергії без втрати якості передавання даних та функціональних можливостей мережі. Прикладами таких алгоритмів є наступні алгоритми;

1. LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy): Алгоритм кластеризації, який рівномірно розподіляє енергетичне навантаження,

обираючи головні вузли на основі рівня заряду батареї. Це дозволяє зменшити кількість передач між вузлами та базовою станцією [3].

2. TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol): Використовує порогові значення для активації вузлів. Передача даних здійснюється тільки при перевищенні критичних значень параметрів, що значно знижує витрати енергії [4].

3. HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering): Оптимізує вибір головних вузлів, враховуючи залишковий заряд батарей та розташування вузлів в мережі [5].

Для аналізу енергоспоживання вузлів було розроблено математичну модель, яка враховує енерговитрати вузлів у трьох основних режимах роботи: активному, режимі очікування та режимі сну та запропоновано алгоритм, який динамічно перемикає вузли між різними режимами на основі моніторингу умов середовища та рівня навантаження.

Формула для загального енергоспоживання вузла виглядає наступним чином:

$$E_{total} = E_{active} + E_{idle} + E_{sleep}$$

де:

E_{total} — загальне енергоспоживання вузла;

E_{active} — енергія, витрачена вузлом у активному режимі;

E_{idle} — енергія, витрачена вузлом у режимі очікування;

E_{sleep} — енергія, витрачена вузлом у режимі сну.

Кожен з режимів характеризується власними енергетичними параметрами:

1. Активний режим (E_{active}): під час передачі чи приймання даних вузол споживає найбільше енергії. У цьому режимі середнє енергоспоживання складає близько 50 мАгод.

2. Режим очікування (E_{idle}): вузол готовий до приймання сигналів, але не виконує активної передачі. Енергоспоживання в цьому режимі є значно нижчим і складає близько 10 мАгод.

3. Режим сну (E_{sleep}): вузол перебуває у стані низького енергоспоживання, при цьому мінімально підтримує свою функціональність. Споживання енергії в цьому режимі складає лише 1 мАгод.

Запропонована модель дозволяє оцінити загальні витрати енергії кожного вузла залежно від його тривалості перебування в кожному режимі. Наприклад, якщо вузол працює в активному режимі протягом 2 годин, у режимі очікування — 5 годин, і в режимі сну — 17 годин, його загальне енергоспоживання можна розрахувати за формулою:

$$E_{\text{total}} = (50 \cdot 2) + (10 \cdot 5) + (1 \cdot 17) = 100 + 50 + 17 = 167 \text{ мАгод.}$$

Це дає змогу оптимізувати роботу мережі, враховуючи, що вузли мають максимально використовувати режим сну для економії енергії.

Алгоритм, який динамічно перемикає вузли між різними режимами на основі моніторингу умов середовища та рівня навантаження, включає наступні кроки:

1. Моніторинг стану вузла:

Перевірка активності (кількість пакетів на секунду);

Аналіз рівня залишкового заряду батареї.

2. Прийняття рішень:

Якщо активність низька, вузол переходить у режим очікування.

Якщо залишковий заряд вузла знижується нижче встановленого порогу, зменшується частота пробудження.

При високому рівні навантаження вузол переходить у активний режим.

3. Оптимізація передачі даних:

Використання методів агрегації даних для зниження кількості передач.

Таким чином, у доповіді запропоновано математичну модель енерговитрат вузлів БСМ, яка враховує енерговитрати вузлів у трьох основних режимах роботи: активному, режимі очікування та режимі сну та алгоритм, який динамічно перемикає вузли між різними режимами на основі моніторингу умов середовища та рівня навантаження.

Напрямом подальших досліджень є оцінка ефективності запропонованого алгоритму за різних параметрів та умов функціонування БСМ.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю.Ільченка, С.О.Кравчука: монографія. - Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019.- 336 с.
2. Основи побудови безпроводових сенсорних мереж [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інженерія та програмування інфокомунікацій» спец. 172 Електронні комунікації та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. О. Кравчук та ін. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 313 с.
3. Heinzelman W. R., Chandrakasan A., Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks //Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences. – IEEE, 2000. – С. 10 pp. vol. 2.
4. Alsafi S., Talab S. A. Threshold sensitive energy efficient sensor network protocol //International Journal of Academic Engineering Research (IJAER). – 2020. – Т. 4. – С. 48-52.
5. Younis O., Fahmy S. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks //IEEE Transactions on mobile computing. – 2004. – Т. 3. – №. 4. – С. 366-379.