

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КООПЕРАТИВНОГО MIMO ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ**

**Тимофеев Є.М., Лисенко О.І.**

*Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”  
E-mail: timofeevzh@gmail.com*

### **APPLYING OF COOPERATIVE MIMO TECHNOLOGY TO MINIMISE POWER CONSUMPTION DURING DATA TRANSMISSION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

This paper explores the potential of using cooperative MIMO technology to reduce power consumption during data transmission in wireless sensor networks. The paper discusses the benefits of using cooperative MIMO technology in wireless sensor networks and how it can be used to improve energy efficiency. The authors also present a case study demonstrating cooperative MIMO technology's effectiveness in reducing power consumption during data transmission. Overall, this paper provides valuable insights into using MIMO technology in wireless sensor networks and its potential to improve energy efficiency.

Однією з основних проблем проектування бездротових сенсорних мереж (БСМ) є подолання ресурсних обмежень, що накладаються на окремі сенсорні пристрої. Одним з таких обмежень є енергоспоживання. Зі зменшенням фізичного розміру сенсорного вузла зменшується і його енергетична потужність [1]. Енергетичні обмеження в кінцевому підсумку створюють обмеження, такі як обчислювальна потужність та обмежене покриття, які призводять до архітектурних проблем.

Бездротові сенсорні мережі створюють суворі обмеження щодо енергоефективності, терміну служби мережі та надійності даних. Більшість із цих внесків знаходяться на теоретичному рівні, а також у домені бездротових сенсорних мереж не існує жодної роботи щодо ієрархічної взаємодії з віртуальним MIMO для забезпечення енергоефективності в реальних умовах WSN.

Через вимогу енергоефективності у великих мережах, концепція, відома як віртуальна MIMO, привертає все більший інтерес. У віртуальній мережі MIMO група сенсорних вузлів співпрацює для передачі та прийому даних. Ця технологія також відома як кооперативне MIMO (CMIMO). Участь декількох передавачів і приймачів у передачі дозволяє значно економити енергію при передачі даних на великі відстані [3]. Енергію можна зекономити, якщо дозволити вузлам спільно передавати дані так само, як і в режимі MIMO. Через складність схемотехніки та складність інтеграції окремих антен на сенсорних вузлах, кооперативні сенсорні вузли використовують віртуальне MIMO в бездротових сенсорних мережах для енергоефективного зв'язку та підвищення надійності даних [2].

Основними джерелами споживання енергії в сенсорних вузлах є дані зчитування, обробка даних та зв'язок. Як правило, сенсорні вузли можуть

працювати в чотирьох режимах: передача, прийом, очікування та сплячий режим. Найбільше енергоспоживання спостерігається в режимі передачі, найменше – в режимі гібернації, тоді як в режимі очікування вузли споживають енергію, яка майже дорівнює енергоспоживанню в режимі прийому.

Сформулюємо задачу ієрархічної кооперативної кластеризації МІМО як оцінку кількості кластерів, яка забезпечує мінімальне споживання енергії в мережі. Нехай  $E_{заг}$  позначає загальне споживання енергії в нашій сенсорній мережі. Загальна енергія береться як сума енергії, що витрачається на внутрішньокластерний ( $E_{внутр}$ ) та міжкластерний зв'язок ( $E_{СН}$ ):

$$E_{заг} = E_{внутр} + E_{СН} \quad (1)$$

Вважатимемо, що сенсорні вузли рівномірно розподілені у квадратній області розміром  $a \times a$ . Нехай  $N$  - загальна кількість сенсорних вузлів у мережі, а  $k$  - кількість кластерів у кластерній множині  $K$ . Існує  $H$  ієрархічних рівнів.

Метою є знайти таку кількість кластерів у мережі, яка мінімізує витрати енергії для всієї множини вузлів у мережі. Цільова функція полягає в мінімізації загального споживання енергії за умови, що в мережі є  $k$  кластерів, кожен вузол належить до кластера, а відстань між головою кластера і сенсорним вузлом, що входить до нього, менша за максимальну відстань передачі вузла.

Перше обмеження забезпечує максимальний зв'язок у мережі. Друге обмеження накладає обмеження, що всі вузли бездротової сенсорної мережі повинні належати принаймні до одного кластера. Третє обмеження обмежує відстань ( $d$ ) між  $СН$  і сенсорним вузлом ( $SN$ ), щоб вона була меншою за максимальну відстань передачі  $d_{tx}$  між вузлами. Після того, як кількість кластерів  $k^*$  знайдено, ми визначаємо кількість магістральних кластерів ( $RCH$ ), які задовольняють мініимальному загальному енергетичному обмеженню в мережі, забезпечуючи при цьому  $RCH \leq k$ . Для повністю зв'язного графа ми прагнемо мінімізувати енерговитрати. При цьому ми переслідуюмо наступні цілі:

- збільшення терміну служби мережі;
- мінімальні витрати енергії на кожному вузлі.

Використовуючи базову енергетичну модель зв'язку для визначення кількості кластерів, ми знаходимо кількість кластерів, необхідну для мінімальних витрат енергії в мережі.

Нехай  $d_{u,v}$  - середня відстань між кластерами. Очікувана відстань між кластером/вузлом  $u$  та кластером/вузлом  $v$  з координатами  $(x_i, y_i)$  та  $(x_j, y_j)$  задається [4]:

$$m[d_{u,v}] = \iint R \sqrt{x^2 + y^2} \frac{1}{2a} dx dy \quad (2)$$

де  $x = x_i - x_j$ ,  $y = y_i - y_j$ , а довжина однієї сторони сітки дорівнює  $a$ .

Припустимо дистанційно-залежну модель вільного простору Фрісса для споживання енергії на один вузол. Таким чином, витрати енергії у сенсорному вузлі на передачу одного біта інформації на відстань  $d$  становлять:

$$E_{заг} = E_{схема} + \varepsilon_{fs}(d_{доСН}^*)^2 \quad (3)$$

Енергія, необхідна для передачі одного біта від кластерної вершини до вузла, що співпрацює, також дорівнює рівнянню (3). Оскільки CCS знаходиться далеко

від датчиків, ймовірно, споживання енергії відбувається за багатошляховою моделлю. Тому, припускаючи  $k$  кластерів і  $N/k$  вузлів у кластері, енергія на біт, що споживається в кластері, визначається за формулою [5]:

$$E_{CH} = \left(\frac{N}{k} - 1\right) E_{\text{схема}} + \frac{N}{k} E_{DA} + E_{\text{схема}} + \varepsilon_{mp}(d_{u,v}^*)^4 \quad (4)$$

Спочатку ми знаходимо кількість хопів у даній конфігурації мережі. Припустимо, що використовується рівномірний розподіл кластерів у даній мережі. Кожна сторона квадратного поля має  $2a/\sqrt{k}$  кластерів, кількість переходів ( $h$ ) у мережі приблизно визначається як:

$$h = \frac{k + \sqrt{k}k}{2} \quad (5)$$

Рівняння (6) дає кількість кластерів у мережі для багатошагового традиційного зв'язку SISO [5] (для мінімальних витрат енергії):

$$k^* = \frac{\sqrt{0,5855N\varepsilon_{fs}a^2}}{\varepsilon_{mp}(d_{u,v}^*)^4 - E_{\text{схема}}} \quad (6)$$

Енергія, споживана під час зв'язку МІМО ( $E_{MIMO}$ ) — це сума локального споживання енергії, що виникає під час локального зв'язку між головою кластера та взаємодіючим вузлом, і енергії, спожитої під час зв'язку на далекі відстані.

$$E_{MIMO} = E_{\text{внутр}} + E_{CH} + E_{\text{longhaul}} \quad (7)$$

$E_{\text{longhaul}}$  — це функція відстані  $D$ , яка включає енергію, необхідну для передачі даних від головного кластера до кооперативного вузла та передачі даних від кооперативного вузла до наступного кластера. Перший член у рівнянні (9) вказує на споживання енергії схеми на спільному вузлі, другий член вказує на споживання енергії передачі для локального зв'язку, а останній член вказує на споживання енергії під час зв'язку на великі відстані.

$$E_{\text{longhaul}} = 3E_{\text{схема}} + \varepsilon_{fs}(d_{\text{доCH}}^*)^2 + 3\varepsilon_{fs}(D_{u,v}^*)^4 \quad (8)$$

За допомогою методу першої похідної, щоб знайти мінімуми, ми диференціюємо рівняння (8) відносно  $k$  і отримуємо вираз для кількості головок кластера маршрутизації ( $k^*$ ) для кооперативного зв'язку, що мінімізує загальну енергію:

$$k_{RCH}^* = \sqrt{\frac{0,1951k^*\varepsilon_{fs}a^2}{\varepsilon_{mp}(D_{u,v}^*)^4 - E_{\text{схема}}}} \quad (9)$$

## Література

1. Hill, J.; Culler, D. A Wireless Embedded Sensor Architecture for System-Level Optimization, Available online: <http://webs.cs.berkeley.edu/papers/MICA-ARCH>.
2. Cohen, R.; Kapchits, B.; Israel, H. Topology maintenance in asynchronous sensor networks. Proceedings of the 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, San Francisco, CA, USA, 16–20 June 2008; pp. 542–550.
3. Ozgur, A.; Leveque, O.; Tse, D.N.C. Hierarchical cooperation achieves optimal capacity scaling in ad hoc networks. IEEE Trans. Inf. Theory 2007, 53, 3549–3572.
4. Pillutla, L.; Krishnamurthy, V. Joint rate and cluster optimization in cooperative MIMO sensor networks. Proceedings of the IEEE 6th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, New York, NY, USA, 5–8 June 2005; pp. 265–269.
5. Kim, H.; Kim, S.W.; Lee, S.; Son, B. Estimation of the optimal number of cluster-heads in sensor network. In Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems; Springer: Berlin, Germany, 2005; pp. 87–94.