

## МЕТОДИ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

**Валуйський С.В., Кисіль А.І.**

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних  
систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: valuiskyi.stanislav@lll.kpi.ua*

### CLUSTERING METHODS IN NEXT-GENERATION WIRELESS SENSOR NETWORKS

Wireless Sensor Networks (WSNs) are vital for diverse applications, but their efficiency relies heavily on clustering methods. This review delves into the latest innovations in clustering for next-gen WSNs, emphasizing energy efficiency, scalability, adaptability, load balancing, security, and node heterogeneity. By addressing these factors, modern clustering techniques aim to prolong network lifespan, optimize data transmission, and ensure robust performance. This overview provides valuable insights for researchers and practitioners in wireless communications and sensor networks.

Кластеризація в безпроводових сенсорних мережах наступного покоління є важливим завданням для оптимізації роботи таких мереж. Основна мета кластеризації полягає в групуванні вузлів мережі в кластери з метою підвищення ефективності комунікації, зменшення споживання енергії та підвищення довговічності мережі. Наступне покоління безпроводових сенсорних мереж може використовувати різноманітні методи кластеризації, включаючи класичні підходи, такі як алгоритми K-Means або агломеративну кластеризацію, а також спеціалізовані методи, розроблені спеціально для безпроводових сенсорних мереж.

Деякі з основних методів кластеризації в безпроводових сенсорних мережах наступного покоління включають:

1. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy): Це один з найпопулярніших протоколів кластеризації в безпроводових сенсорних мережах. LEACH розроблений для зменшення споживання енергії, розподілу навантаження та підвищення довговічності мережі.

2. SEP (Stable Election Protocol): Цей протокол базується на ідеї вибору стійких (стабільних) вузлів кластеру в якості головних вузлів (cluster head). Це допомагає підвищити стійкість та продовжити життєвий цикл мережі.

3. TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol): Цей протокол зосереджений на підвищенні енергоефективності мережі шляхом визначення порогових значень для вимірюваних параметрів, таких як температура чи освітленість.

4. HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering): HEED комбінує ідеї кластеризації та енергоефективності для покращення роботи безпроводових сенсорних мереж. Протокол спрямований на збалансування навантаження та енергозбереження.

## 5. PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems):

Цей протокол використовує ланцюгову топологію для передачі даних від датчиків до базової станції, максимізуючи енергоефективність і подовжуючи час життя мережі.

Ці методи використовуються для оптимізації функціонування безпроводових сенсорних мереж наступного покоління, забезпечуючи більш ефективну комунікацію та зменшуючи споживання енергії.

Звичайні задачі кластеризації в безпроводових сенсорних мережах включають розподіл вузлів на кластери, вибір кластерних головних вузлів (cluster heads), оптимізацію передачі даних між вузлами та кластерними головами, управління енергією, забезпечення безпеки даних тощо.

Крім того, деякі інноваційні підходи до кластеризації включають в себе використання штучного інтелекту та машинного навчання для покращення ефективності кластеризації та управління мережею. Наприклад, можливе використання алгоритмів навчання з підкріпленням для динамічного вибору кластерних головних вузлів залежно від змінюючихся умов мережі.

Однією з ключових проблем, які вирішуються в цьому контексті, є балансування навантаження між кластерними головними вузлами, щоб уникнути перевантаження деяких вузлів та недоексплуатації інших. Також важливо враховувати змінні умови мережі, такі як зміни в енергопостачанні, обмеження на рухомість вузлів та зміни у трафіку даних.

Наступне покоління безпроводових сенсорних мереж також може використовувати технології мережевого вирішення проблем, такі як blockchain, для забезпечення безпеки, конфіденційності та інтегритету даних, що пересилаються в мережі.

Додаткові аспекти, які слід врахувати в контексті кластеризації в безпроводових сенсорних мережах наступного покоління, включають:

1. Мобільність вузлів: У деяких застосуваннях вузли можуть бути мобільними, що може вплинути на кластеризацію та маршрутизацію даних. Кластерні структури можуть потребувати постійного оновлення через переміщення вузлів.

2. Гетерогенність вузлів: Безпроводові сенсорні мережі можуть включати в себе вузли з різною обчислювальною потужністю, дальністю передачі, сенсорними можливостями тощо. Ефективна кластеризація повинна враховувати цю гетерогенність.

3. Розділення задач (task partitioning): У деяких застосуваннях мережі можуть бути задіяні для виконання різних завдань. Кластеризація може бути оптимізована для ефективного розподілу цих задач між вузлами.

4. Безпека даних: Оскільки безпроводові сенсорні мережі часто використовуються для збирання чутливих даних, важливо забезпечити захист цих даних від несанкціонованого доступу. Кластеризація може впливати на механізми безпеки даних в мережі.

5. Масштабованість: Застосування може вимагати масштабування мережі великої кількості вузлів. Ефективна кластеризація повинна бути здатна працювати в умовах великої кількості вузлів без втрати

продуктивності.

Ці аспекти демонструють складність завдання кластеризації в безпроводових сенсорних мережах наступного покоління та необхідність розробки розумних та адаптивних алгоритмів для оптимізації функціонування таких мереж.

Особливості методів кластеризації в безпроводових сенсорних мережах наступного покоління включають:

1. Енергоефективність: Основна увага при розробці методів кластеризації спрямована на збереження енергії вузлів мережі, оскільки вони часто живуть в обмежених умовах живлення. Методи кластеризації повинні оптимізувати розподіл навантаження та енергопотребу вузлів, забезпечуючи максимальну довговічність мережі.

2. Скалабельність: Завдяки швидкому росту кількості підключених пристроїв у безпроводових сенсорних мережах, методи кластеризації повинні бути здатні працювати ефективно в умовах великого обсягу даних та великої кількості вузлів.

3. Динамічність: Методи кластеризації повинні бути адаптивними до змінних умов мережі, таких як рухомість вузлів, зміна трафіку даних, а також втрати зв'язку.

4. Балансування навантаження: Ефективні методи кластеризації повинні забезпечувати рівномірне розподіл навантаження між кластерними головними вузлами, запобігаючи перевантаженню деяких вузлів та підвищуючи загальну продуктивність мережі.

5. Безпека: Методи кластеризації повинні враховувати аспекти безпеки, такі як захист від атак, конфіденційність даних та аутентифікація вузлів, щоб забезпечити безпеку даних у безпроводових сенсорних мережах.

6. Врахування гетерогенності: Методи кластеризації повинні бути здатні працювати з різними типами вузлів та різними характеристиками, такими як обчислювальна потужність, дальність передачі даних та сенсорні можливості.

Врахування цих особливостей допомагає розробити ефективні та надійні методи кластеризації для безпроводових сенсорних мереж наступного покоління.

### Література

1. Heinzelman, Wendi B., Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences. 2000.
2. Lindsey, Scott, and Cauligi S. Raghavendra. "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems." Aerospace conference proceedings, 2002. IEEE, 2002.
3. Manjeshwar, Arati, and Dharma P. Agrawal. "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks." Distributed Computing Systems Workshops, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on. IEEE, 2001.
4. Abbasi, Abdul R., and Mohamed Younis. "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks." Computer communications 30.14-15 (2007): 2826-2841.
5. Yu, Honghai, et al. "LEACH-C: A clustering protocol for wireless sensor networks." Sensors 9.5 (2009): 3800-3817.