

УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ В БЕЗПРОВОДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я., Ткаченко Д.В.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна

E-mail: beatle135@gmail.com

Topology control in wireless sensor networks

The analysis of topology management methods and protocols in wireless sensor networks has been considered. It was shown that, depending on the purpose, topology management tasks are divided into the coverage and connectivity topology management tasks. Comparative tables of different topology management methods and protocols, and also the proposals on the synthesis of new methods and development of existing methods and protocols were given.

Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) або *Wireless Sensor Network (WSN)* – розподілені мережі, що складаються з маленьких сенсорних вузлів, з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних [1].

Одним з основних завдань оперативного управління БСМ є управління її топологією. Під топологією мережі розуміють сукупність вузлів на місцевості і каналів, що сполучають їх, у взаємному розташуванні. Топологія визначає потенційні можливості сенсорної мережі по спостереженню та доставці інформації моніторингу базовим станціям [2]. На даний час існує велика кількість методів управління топологією, одні з них направлені на побудову топології для отримання покриття інші для отримання зв'язності (рис. 1).

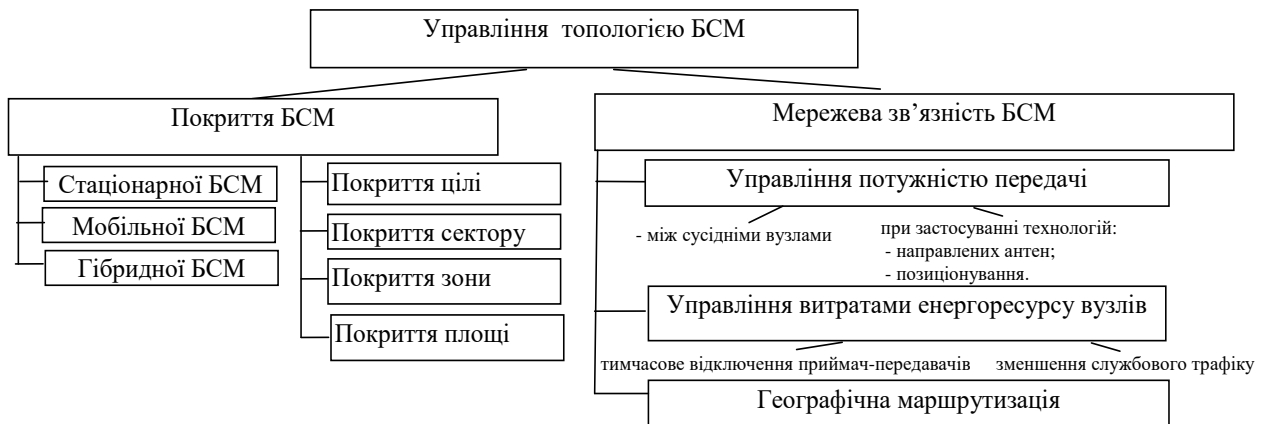


Рис. 1. Методи управління топологією в БСМ.

1. Методи (протоколи) управління топологією для отримання покриття – забезпечують вимоги якості спостереження за цілями при використанні мінімуму енергії батарей вузлів (таблиця 1).

Стационарні мережі. Покриття зони: протокол PEAS планує в часі необхідну кількість сенсорних вузлів. Протокол запускає два алгоритми: *Probing Environment* та *Adaptive Sleeping*. Протокол *Rotating coverage* – удосконалює дете-

рміновану дискову модель покриття (вузли сусіди синхронізуються та знають радіус моніторингу). *Покриття цілі*: задачею протоколу *Optimal Geographical Density Control* (OGDC) є мінімізація частково співпадаючих радіусів моніторингу (перекриття) всіх сенсорних вузлів для випадку: $R_{\pi} \geq 2R_m$, де R_{π} – діапазон передачі, R_m – діапазон моніторингу. *Покриття площі*: *Coverage Configuration* (CCP) протокол забезпечує гнучкість в побудові топології БСМ с різними ступенями покриття (з використанням координат вузлів). Протокол *k-UC*, *k-NC* використовує поліноміально-часовий алгоритм покриття кожної зони спостереження необхідною кількістю вузлів. Інформація про непокриті сегменти (зони) збирається центральним контролером. Недолік: централізоване управління, неможливість масштабування. Протокол *Differentiated* використовує розподілений алгоритм контролю щільності вузлів заснований на часовій синхронізації (рішення приймається з врахуванням необхідного ступеня покриття).

Таблиця 1

Методи управління топологією для отримання покриття

Категорія	Завдання	Рішення	Механізм реалізації	Характеристика
Стационарні мережі	Покриття зони	PEAS [F. Ye і ін.]	Динамічне регулювання потужності	Розподілена схема сну
		<i>Rotating coverage</i> [Q. Cao і ін.]	Часова синхронізація, радіус моніторингу	Розподілена схема сну, <i>гарантована кінцева границя затримки</i>
	Покриття цілі	OGDC [H. Zhang і J. Hou]	Координати, фіксований дисковий радіус моніторингу	Розрахунок остаточної енергії
		<i>Sponsored Area</i>	Координати	Розрахунок сектору покриття
		<i>Extended-Sponsored Area</i>	Координати, часова синхронізація	Фіксована модель дискового покриття
	Покриття площі	CCP [X. Wang і ін.]	Координати	Реконфігуруємий рівень покриття
<i>k-UC, k-NC</i> [C. Huang і Y. Tseng]		Координати	Не одиночна дискова модель покриття	
<i>Differentiated</i> [T. Yan і ін.]		Координати, часова синхронізація	Жадібний, видозмінюючись до рівня покриття	
Мобільні мережі	Розрахункова геометрія	VEC, VOR, <i>Minimax</i> [G. Wang і ін.]	Координати	Локальний, масштабуємий, розподілений
	Віртуальна дія	<i>Potential Fields</i> [A. Howard і ін.]	Діапазон, поведінка	Масштабуємий, розподілений, відсутня локальна комунікація
		DSS [N. Neo]	Координати	Масштабуємий, розподілений, остаточно енергія
Гібридні мережі	Один мобільний сенсор	<i>Single Robot</i> [M. Batalin і G. Sukhtame]	Координати	Розподілений, немає багатострижкової передачі
	Множина мобільних сенсорів	<i>Bidding Protocol</i> [G. Wang і ін.]	Координати	Діаграми Вороного

Мобільні мережі. Запропоновано розподілений самоорганізуючий протокол, який спочатку розраховує наявність непокритих зон (за допомогою діаграм Вороного) на площі спостереження, а потім вираховує позиції цілей та переміщує сенсорні вузли (VEC, VOR та *Minimax*) для зменшення непокритих зон. Протоколи *Potential Fields* та *Distributed Self-Spreading* (DSS) використовують інформацію моніторингу для прийняття рішення по переміщенню (щільність розміщення та відстань між сусідами).

Гібридні мережі. В протоколі *Single Robot* інформація не передається між розгорнутими вузлами (спостерігають) всі рішення приймаються мобільним роботом. Протокол *Bidding Protocol* пропонує схему переміщення вузлів в гібридній мережі для ліквідування порожнеч покриття.

2. Методи (протоколи) управління топологією для отримання зв'язності.

2.1. Методи управління потужністю. Передбачається, що кожен вузол може змінювати потужність передачі $p_i = [p_{i_{\min}} \dots p_{i_{\max}}]$ з певним кроком дискретизації Δp . Методи управління потужністю передачі фундаментальні в досягненні мережевої енергоефективності. S. Narayanaswamy та ін. пропонують розподілений протокол COMPOW, який передбачає одночасне задоволення трьох цілей: максимізація пропускної спроможності всієї мережі, збільшення функціонування батарей вузлів через енергоефективні маршрути та зменшення колізій на MAC рівні. P. Santi і D. Blough за допомогою моделювання досліджують компроміс між діапазоном передачі та розміром найбільшого зв'язного компонента мережі. V. Rodoplu і T. Meng запропонували розподілений алгоритм управління потужністю, який використовує інформацію місцезнаходження для мінімізації витрат енергії для зв'язку з головним вузлом. J. Pan та ін. розглядають дворівневу БСМ, яка складається з сенсорів кластерів, розміщених біля стратегічних зон, и базових станцій (БС) місцезнаходження яких може змінюватись.

2.2 Методи управління енергоресурсом (таблиця 2). В GAF методі вузли використовують координати свого розміщення для поділу площі спостереження на фіксовані квадрати. Використовується схема сну всередині кожного квадрата (вузол координатор). В. Chen та ін. пропонують SPAN, для побудови енергоефективної топології (адаптивно вибирає координаторів серед всіх вузлів для ефективної передачі пакетів по сформованому маршруту та вимикає інші вузли). С. Schurgers та ін. пропонують STEM метод, який використовує схему „сон” (режим „передача” та „ моніторинг”). В режимі „передача” передаються тільки дані, в режимі „ моніторинг” передавачі відключаються та передають тільки за подіями. R. Zheng та ін. розробили асинхронну схему включення/відключення (розраховують теоретичну границю схеми прокидання при відповідній щільності).

2.3 Географічна маршрутизація (таблиця 3). Для мобільних БСМ запропоновано протокол *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR), який починає роботу з виявлення місце розташування всіх вузлів мережі та здійснює обхід пустот за допомогою методу периметричної маршрутизації та правила правої руки. Протоколи *Compass Routing* та FACE-1 використовують метрику мінімальної відстані між сусідами. Протокол FACE-2 здійснює маршрутизацію через границі *Gabriel Graph* (GG), які побудовані в кожному вузлі. Недолік: граничні вузли витрачають більше енергії. Для удосконалення вищезазначених протоколів пропонується *Compass Routing* протокол, який використовує механізм зворотної роботи (повернення в жадібний режим після режиму периметричної маршрутизації).

Таблиця 2

Методи управління топологією для отримання зв'язності

Протоколи	Механізм реалізації	Мобільність	Синхронізація	Інформація про Місце розташування	Розподілений
SPAN	Управління витратами енергоресурсу	Стационарні	Ні	Ні	Так
<i>Asynchronous Wakeup protocol</i>	Управління витратами енергоресурсу	Стационарні	Ні	Ні	Ні
<i>Power saving protocol</i>	Управління витратами енергоресурсу	Мобільні	Ні	Ні	Так
GAF	Управління витратами енергоресурсу	Мобільні	Ні	Так	Так
STEM	Управління витратами енергоресурсу	Стационарні	Ні	Ні	Так
S-MAC	Управління витратами енергоресурсу	Стационарні	Так	Ні	Так

Протокол *Intermediate Node Forwarding* (INF) пропонує механізм зворотного зв'язку до відправника про втрату пакету. Протокол *Active Message Relay* для побудови маршруту в незв'язній мобільній мережі використовує мобільних агентів. Протокол *Geographic and Energy Aware Routing* (GEAR) здійснює передачу пакетів в відповідну зону мережі. Недолік: використовується тільки для мереж малої розмірності.

Таблиця 3

Методи географічної маршрутизації

Протоколи	Механізм реалізації	Характеристика
GPSR [B. Karp]	Інформація про місце розташування або повний планарний граф (RNG, GG)	Правило правої руки в периметричному режимі навколо пустот
<i>Compass Routing</i> [E. Kranakis та ін] FACE II [P. Bose], GOAFR+	Інформація про місце розташування або повний планарний граф (GG)	Фасе-маршрутизація на планарних графах для запобігання маршрутних "дір"
INF [S. Douglas і ін]	Інформація про місце розташування	Передача відправнику повідомлення про відмову
<i>Active Message Relay</i> [Q. Li і D. Rus]	Інформація про місце розташування	Для мобільного (переміщеного) вузла досягнути незв'язного сусіда
GEAR [Y. Yu та ін]	Інформація про місце розташування, знання, коефіцієнт вартості	Знання та приблизна вартість для географічної маршрутизації та обмежена адресація в зоні

Таким чином, пропонується реалізувати багатокритеріальну оптимізацію при пошуку топології БСМ за критеріями: наявність зв'язності, задоволення вимог покриття та режимів моніторингу, мінімум витрат енергії батарей.

Література

1. Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ" – 2007. – № 4. С. 16 – 22.
2. Романюк В. А., Жук О. В., Сова О. Я., Система управління тактичними сенсорними мережами // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2008. – С. 88– 97.
3. M. Li, B. Yang "A Survey on Topology issues in Wireless Sensors Network," IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), 2012.