

О. Кузьмін, Д. Киричук, С. Кузьмін  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра автоматизованих систем управління

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ КЛАСТЕРНОЇ СТРУКТУРИ, ПОБУДОВАНОЇ ЗА ТРИКОЛІРНИМ ЕВРИСТИЧНИМ АЛГОРИТМОМ

© Кузьмін О., Киричук Д., Кузьмін С., 2013

Наведено алгоритм побудови сенсорної мережі кластерної структури на основі триколірної евристики. Описано програмний продукт, який реалізує вказаний алгоритм та дає змогу досліджувати сенсорні мережі цього класу. Наведено результати досліджень життєвого циклу сенсорної мережі при виході з ладу сенсорів у результаті їх відмови.

**Ключові слова:** сенсор, мережа, кластер.

In this article the algorithm for constructing sensor network cluster structure is given on the basis of tri-color heuristics. The described software, that implements the specified algorithm, and allows the investigation of sensor networks of the given class. Results of researches of life cycle of sensor network are given at failure of sensor as a result of their refusal.

**Key words:** sensor, network, cluster.

### Вступ

У безпроводних сенсорних мережах робота приймача і передавача потребує найбільших витрат електроенергії. Обмеженість заряду вузлів робить необхідним застосування нестандартних схем функціонування безпроводних сенсорних мереж. Для оптимізації енерговитрат застосовуються різні схеми побудови мережі та протоколи взаємодії між сенсорами. Одною із схем організації сенсорної мережі, яка дає змогу зменшити енерговитрати на передавання даних, є кластеризація [1]. У роботі розглядається застосування алгоритму побудови кластерної структури сенсорної мережі на основі триколірної евристики та дослідження життєвого циклу створеної мережі.

### Постановка задачі

У безпроводних сенсорних мережах витрати на комунікацію залежать від кількості кластерів і довжини шляхів, що їх з'єднують. Отже, для мінімізації витрат енергії необхідно вирішити такі завдання:

- знайти мінімальну кількість вузлів (сенсорів), які є головами кластерів;
- сформулювати найкоротшу мережу з даних голів кластерів.

Це задачі комбінаторної оптимізації. Для знаходження оптимального рішення потрібно мати глобальну інформацію про мережу. Оскільки кожен вузол має лише локальну інформацію, використовується евристичний підхід, який забезпечує наближений розв'язок задачі.

### Опис алгоритму кластеризації

Алгоритм знаходження топології мережі ґрунтується на жадібному  $\log(n)$  – наближеному алгоритмі [2]. На кожному етапі вузол вибирається з виявлених вузлів, які охоплюють максимальне число не виявлених вузлів. Всі вузли, які отримали запит топології, вважаються покритими.

Колір вузла описує його стан так:

- чорний – вузол, який є головою кластера;

- сірий – вузол, що покривається принаймні одним чорним вузлом;
- білий – вузол, не покритий мережею.

Спочатку всі вузли є білими. Після роботи алгоритму кожен вузол, що отримав запит топології, стає чорним або сірим залежно від його стану в мережі.

Процес роботи алгоритму є таким.

Вузол, який ініціює запит топології, стає головний і йому присвоюється чорний колір.

Всі вузли стають сірими, коли отримують запит від чорного. Кожен сірий вузол передає запит для всіх своїх сусідів з затримкою, що обернено пропорційна його відстані до чорного вузла, від якого він отримав запит.

Якщо білий вузол отримує запит від сірого, він стає чорним з певною випадковою затримкою. Якщо протягом часу затримки цей вузол отримує запит від чорного вузла, він стає сірим. Випадкова затримка обернено пропорційна відстані до сірого вузла, від якого цей вузол отримав запит.

Тепер всі вузли чорні або сірі, вони ігнорують інші запити топології.

### Програмна реалізація

Створений програмний продукт дає змогу будувати кластерну топологію сенсорної мережі та досліджувати її.

На рис. 1 наведено інтерфейс модуля побудови сенсорної мережі. Модуль дає змогу будувати сенсорну мережу за такими параметрами:

- область, в якій розміщуються сенсори майбутньої мережі;
- радіус дії сенсора;
- розміри сенсора;
- кількість сенсорів мережі.

Реалізована можливість додавання вузлів, їх видалення, відображення зв'язків між вузлами, визначення площі покриття мережею заданої області за методом Монте-Карло. Побудовану сенсорну мережу можна зберегти на диску в форматі xml для подальшого її відтворення з метою проведення досліджень.

На рис. 2 наведено інтерфейс модуля моделювання роботи сенсорної мережі. У вікні зображена структура сенсорної мережі після відмови 411 сенсорів. Площа покриття становила 64,9 %.

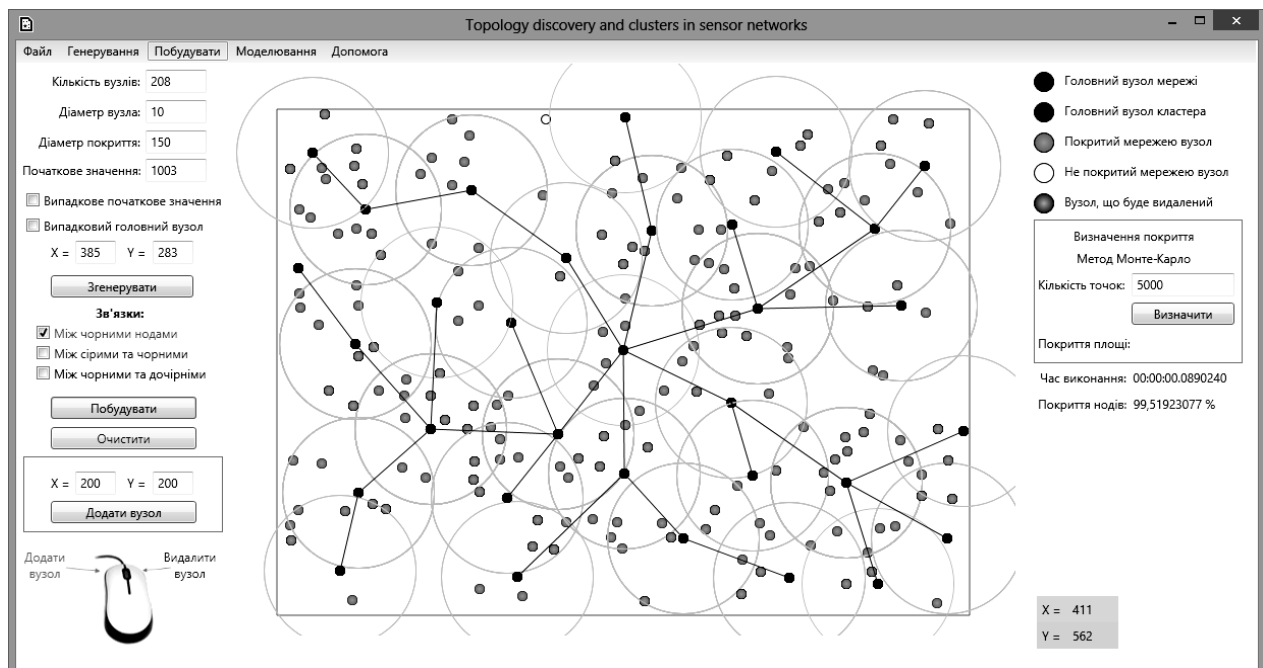


Рис. 1. Модуль побудови сенсорних мереж

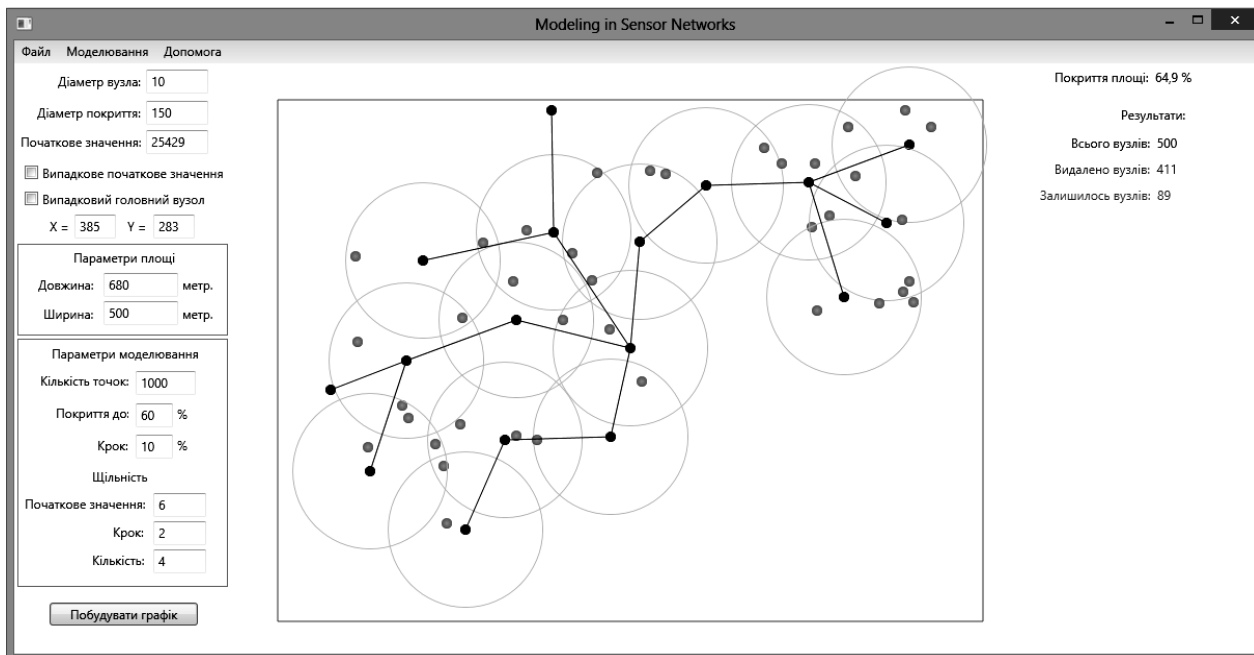


Рис. 2. Модуль моделювання

Модуль моделювання дає змогу проводити досліджувати функціонування сенсорних мереж в умовах відмови окремих сенсорів. У результаті таких досліджень можна проаналізувати життєвий цикл сенсорної мережі. Життєвий цикл визначається як час, за який мережа зберігає свою функціональність і забезпечує задане мінімальне покриття визначеної області розташування сенсорів. Результати моделювання виводяться у вигляді графіків, за якими за заданого життєвого циклу і мінімальної площі покриття можна визначити, якою має бути щільність розташування сенсорів у заданій області, тобто скільки сенсорів в середньому повинно бути розміщено на одиниці площі.

### Аналіз результатів

Досліджено функціонування сенсорної мережі, яка формувалась на площі розміром  $680 \times 500 \text{ м}^2$ , що складає  $340000 \text{ м}^2$ , і на площі розміром  $1000 \times 1000 \text{ м}^2$ , або  $1000000 \text{ м}^2$ . Щільність визначаємо як кількість вузлів на  $10000 \text{ м}^2$ .

Як сенсор для побудови сенсорної мережі візьмемо модуль MICAz. Він містить датчики світла, температури, акустичний датчик та звуковий датчик і може застосовуватися в охоронних системах, системах пожежної безпеки, системах моніторингу навколишнього середовища. За технічними характеристиками мінімальний середній час роботи до відмови становить 12 місяців. Час роботи сенсора визначався за експоненціальним законом розподілу з параметром  $\lambda$ , який дорівнює:

$$\lambda = 1 / 12 = 0.083(3).$$

Радіус дії модуля у відкритому діапазоні – від 75 до 100 метрів.

Дослідження проводили за таким алгоритмом.

У разі відмови сенсора перевіряють, чи видалений вузол є головою кластера або з'єднує два головних вузла.

Якщо так – перебудовуємо мережу і знаходимо площу покриття.

Якщо досягнуто заданої мінімальної площі покриття, то процес моделювання зупиняється, у протилежному випадку моделювання продовжується.

Моделювання проводили для п'яти щільностей: 6, 8, 10, 12, 14 та мінімальної площі покриття 60 %, 70 %, 80 % і 90 %.

Радіус покриття одним сенсором становить 75 м.

По осі X – щільність (к-ть вузлів/ $10000 \text{ м}^2$ ), Y – час роботи мережі (місяців).

На рис. 3 і 4 наведено результати моделювання.

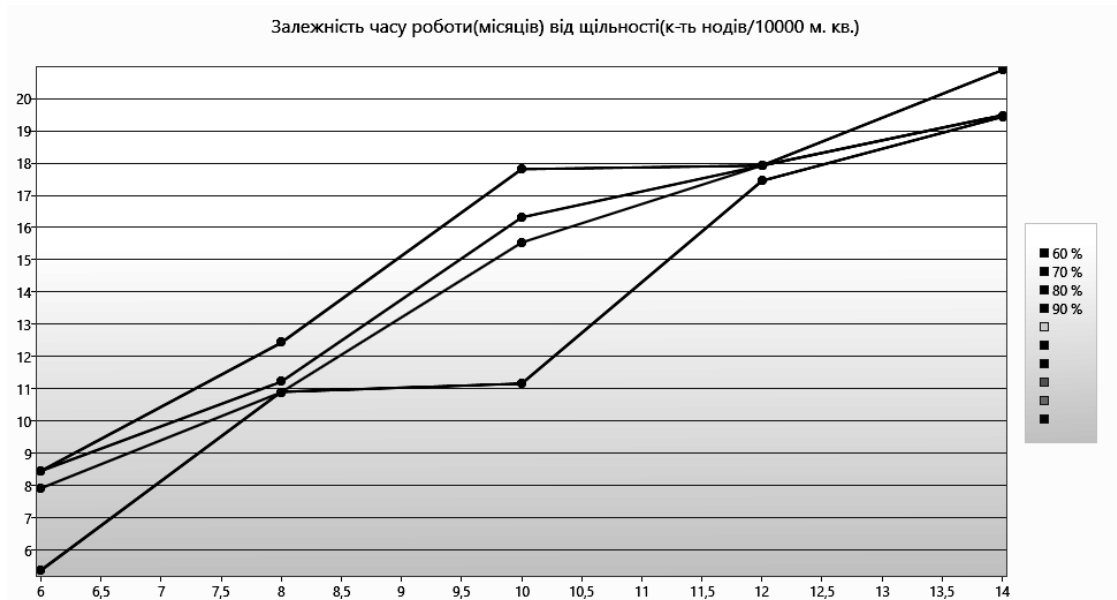


Рис. 3. Результати моделювання для площі розміром 680x500 м<sup>2</sup>

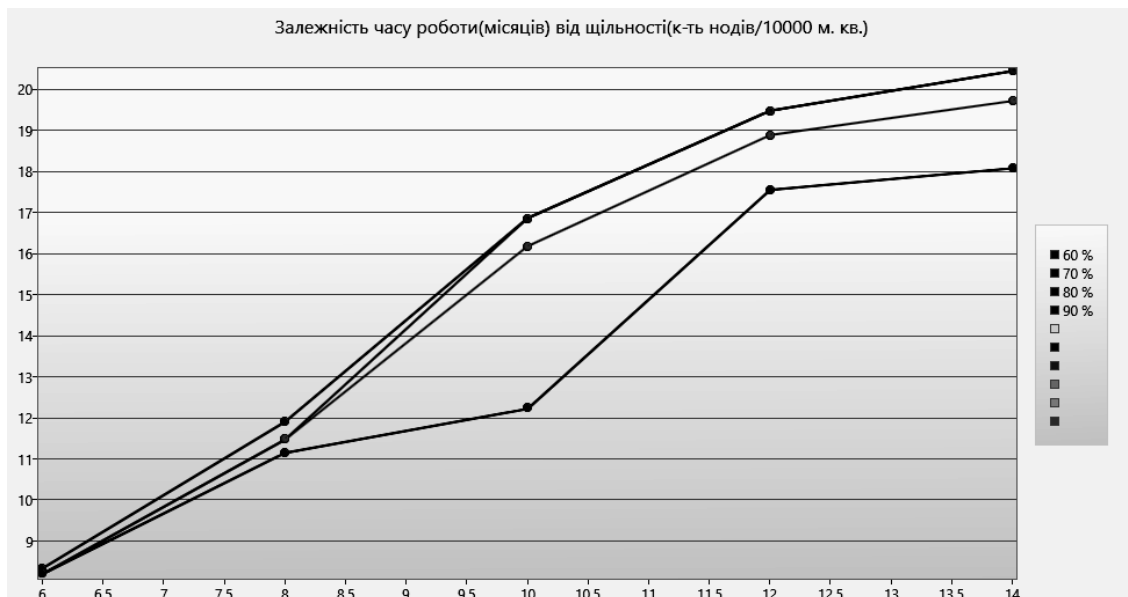


Рис. 4. Результати моделювання для площі розміром 1000x1000 м<sup>2</sup>

### Висновки

Розглянуто кластерний підхід до побудови сенсорних мереж, за яким можна оптимізувати витрати енергії на їх функціонування. Описаний програмний продукт дає змогу досліджувати сенсорні мережі такої структури і відповідати на питання: якою повинна бути щільність розташування сенсорів, щоби життєвий цикл сенсорної мережі був не менший за заданий. А це, своєю чергою, дає відповідь на запитання: яка повинна бути мінімальна вартість створюваної мережі.

1. David Culler, Deborah Estrin, Mani Srivastava, "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Society, 2004. – P. 9. 2. Anna Hać, "Wireless Sensor Network Designs", John Wiley & Sons Ltd, 2003. – P.184–231.