

## ОПТИМІЗАЦІЯ КЛАСТЕРНОЇ СТРУКТУРИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

© Кузьмін О., Головко В., 2010

**Описано підхід до кластеризації в сенсорних мережах, а також запропоновано імітаційну модель з використанням Any Logic – потужного інструмента для моделювання. На основі побудованої моделі оптимізують кластерну структуру.**

**In this article were described the basics of clustering techniques in Wireless Sensor Network such as topology discovery algorithm and simulation approach for this technique by using Any Logic – a powerful simulation tool. Created model was used for cluster structure optimization.**

### Вступ

Прогрес у галузі технології MEMS (мікроелектромеханічні системи) призвів до появи дешевих і портативних сенсорних пристроїв (System-on-Chip з власною операційною системою). Мережа цих пристроїв є неоціненною для автоматизованого збирання інформації і застосовується у багатьох сферах [1]. Використання бездротових засобів комунікації забезпечує гнучке розгортання цих вузлів без фіксованої інфраструктури, можливо, навіть у непристосованій місцевості. Після розгортання вузлів вимагається тільки мінімальна зовнішня підтримка для їх функціонування.

Для підвищення ефективності роботи з проектування сенсорних мереж важливо володіти апріорними даними про поведінку мережі. Експериментальний підбір архітектури реальних сенсорних мереж є складним і фінансово не вигідним. Комп'ютерне моделювання – один з найефективніших шляхів вивчення сенсорних мереж, який дає можливість отримати достовірні результати за поведінкою сенсорних мереж без значних фінансових витрат.

### Постановка задачі

Поставлено задачу створення імітаційної моделі, яка дає змогу формувати кластерну структуру сенсорної мережі і оптимізувати її з метою отримання мінімальної кількості сенсорів такої структури, які покривають задану територію.

### Алгоритм формування кластерної структури

Алгоритм виявлення топології використовується для побудови сенсорної мережі кластерної структури із заданим кореневим сенсором. Алгоритм має такі три стадії виконання:

- вузол-ініціатор (кореневий сенсор) дає запит на формування топології мережі;
- цей запит розповсюджується всією мережею та проходить через всі активні вузли;
- формуються відгуки від активних вузлів з інформацією про топологію, які поширюються у зворотньому напрямку до вузла-ініціатора.

Введемо поняття лавиноподібної маршрутизації. Воно визначає передавання повідомлення вузлом-ініціатором всім своїм сусідам, ті, своєю чергою, передають повідомлення своїм сусідам, аж поки повідомлення не пошириться всією мережею. Отже, запит поширюється за допомогою контрольованої лавиноподібної маршрутизації так, що кожен вузол відправляє тільки один запит на топологію мережі. Також кожен вузол повинен відправити принаймні один пакет у фізичне середовище, щоб інші вузли знали про його існування. Це гарантує, що всі вузли середовища отримують пакет.

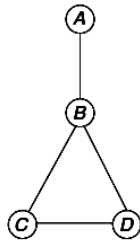


Рис. 1. Ілюстрація розповсюдження запиту та поширення відгуку мережею

У момент розповсюдження запиту на топологію мережі кожний вузол отримує інформацію про сусідні вузли. Тому під час поширення зворотної відповіді кожен вузол може передати власний сформований список сусідів. Ілюстрація такого підходу поширення відклику показана на рис. 1, де вузол *A* являє собою вузол-ініціатор. Запит досягає вузла *B* з вузла *A* та вузлів *C* і *D* з вузла *B*. Запит передається тільки один раз, тому нічого не відбудеться, якщо вузли *C* і *D* отримають запит один від одного. Існують три підходи щодо поширення відклику: прямий, агрегований та кластерний.

Навантаження на мережу кластерного підходу поширення значно менше порівняно з підходами прямого і агрегованого поширення.

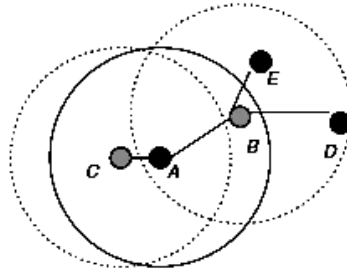


Рис. 2. Ілюстрація триколірної евристики

Для знаходження оптимального розв'язку необхідно володіти глобальною інформацією про всю мережу, тоді як окремі вузли мають тільки локальну інформацію. Досягти цієї мети можна застосуванням евристичних методів, один з яких – триколірна евристика, яка проілюстрована на рис. 2 [2].

### Створення імітаційної моделі

Пропонується імітаційна модель, яка адекватно відтворює поведінку бездротової сенсорної мережі з формування кластерної структури за наведеним вище алгоритмом, і яка дає змогу оптимізувати цю структуру за кількістю сенсорів. Програмну реалізацію імітаційної моделі здійснено в середовищі моделювання AnyLogic™. За вдано розробленою моделлю можна визначити фактори впливу на реальну мережу різних чинників.

Середовище AnyLogic™[3] дає змогу використовувати різні парадигми моделювання. Перевагами системи є:

- об'єктно-орієнтований підхід до моделювання;
- візуальне середовище розробки з багатою функціональністю;
- можливість використання мови Java;

На рис. 3 наведено клас активного об'єкта, який представляє вузли сенсорної мережі. Він містить необхідні змінні (координати, колір, список сусідів тощо), два автомати, а також порти введення/виведення.

Структуру об'єкта визначено, враховуючи таке:

- ! чорний вузол визначає кластер і є одночасно головою кластера;
- ! сірий вузол знає ідентифікаційний номер свого кластера (визначник);

І кожен вузол знає свій батьківський чорний вузол – останній чорний вузол, від якого надійшов запит на відкриття топології;

І кожен чорний вузол знає вузол, через який за замовчуванням пересилаються пакети, призначені для батьківського чорного вузла;

- всі вузли володіють інформацією про своє оточення (про інші досяжні вузли).

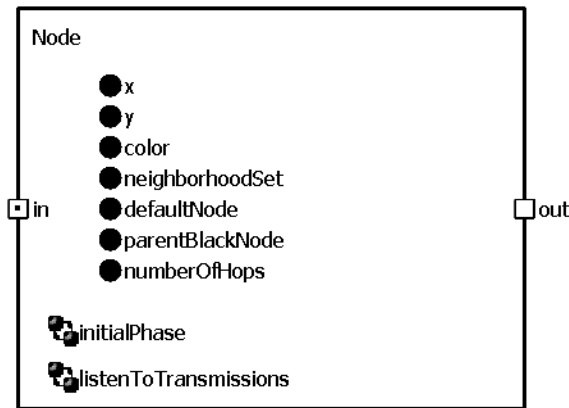


Рис. 3. Клас вузла як активного об'єкта моделі в AnyLogic™

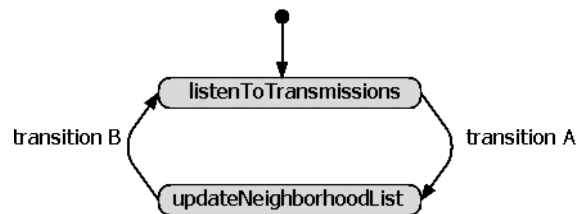


Рис. 4. Автоматна модель прослуховування мережі вузлом в термінах AnyLogic™

За алгоритмом моделювання, спочатку всі вузли є білими. У міру поширення запиту на відкриття топології, кожен вузол фарбується у чорний або сірий колір відповідно до його стану в мережі. У кінці початкової фази алгоритму, кожен вузол в мережі є або чорним вузлом, або сусідом чорного вузла (тобто сірим вузлом). Всі вузли на початковій фазі алгоритму передають запит на відкриття топології тільки один раз. Тобто вузли знають про існування інших вузлів в їхніх зонах досяжності шляхом прослуховування каналу зв'язку. Вузли мають список своїх сусідів перед відкликом підтвердження топології.

Для реалізації вказаних вище дій була створена автоматна модель прослуховування мережі вузлом (рис. 4).

Такий набір правил було використано для побудови автоматної моделі ініціалізації кластерів, структуру якої наведено рис. 5.

І Білий колір використовується для невідкритого вузла, або для такого, що не отримав пакет на виявлення топології.

І Чорний колір застосовується для вузла, який є головою кластера та відповідає на запит виявлення топології. Відповідь містить множину вузлів, що входять у сформований кластер.

І Вузол фарбується в сірий колір, коли він перебуває в зоні досяжності хоча б одного чорного вузла, тобто він належить до вузлів сформованого кластера.

І Вузол, який ініціює запит на виявлення топології, фарбується в чорний колір і передає цей запит далі.

І Всі білі вузли стають сірими вузлами, коли вони отримують запит від чорного вузла. Кожний сірий вузол транлює запит всім своїм сусідам з випадковою затримкою, яка обернено пропорційна відстані до чорного вузла, від якого він отримав цей запит.

І Коли білий вузол отримує запит від сірого вузла, він стає чорним вузлом після деякої випадкової затримки. Тим часом (до моменту закінчення часу встановленої затримки), якщо цей

білий вузол отримує запит від чорного вузла, то він стає сірим. Тривалість випадкової затримки обернено пропорційна відстані до сірого вузла, від якого було отримано запит.

Після того, як вузли зафарбуються в сірий або чорний колір, вони ігнорують інші запити на виявлення топології.

Приклад реалізації запропонованої імітаційної моделі на заданій множині сенсорів наведено на рис. 6.

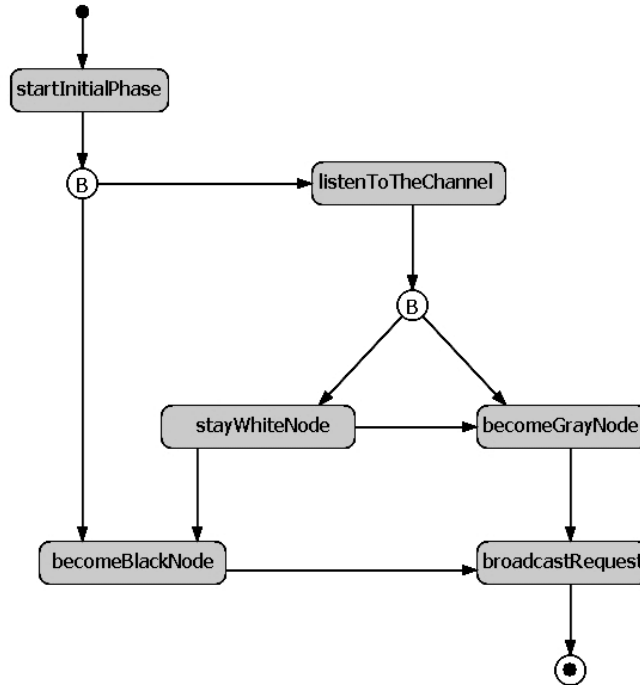


Рис. 5. Автоматна модель ініціалізації кластерів сенсорної мережі у термінах AnyLogic™

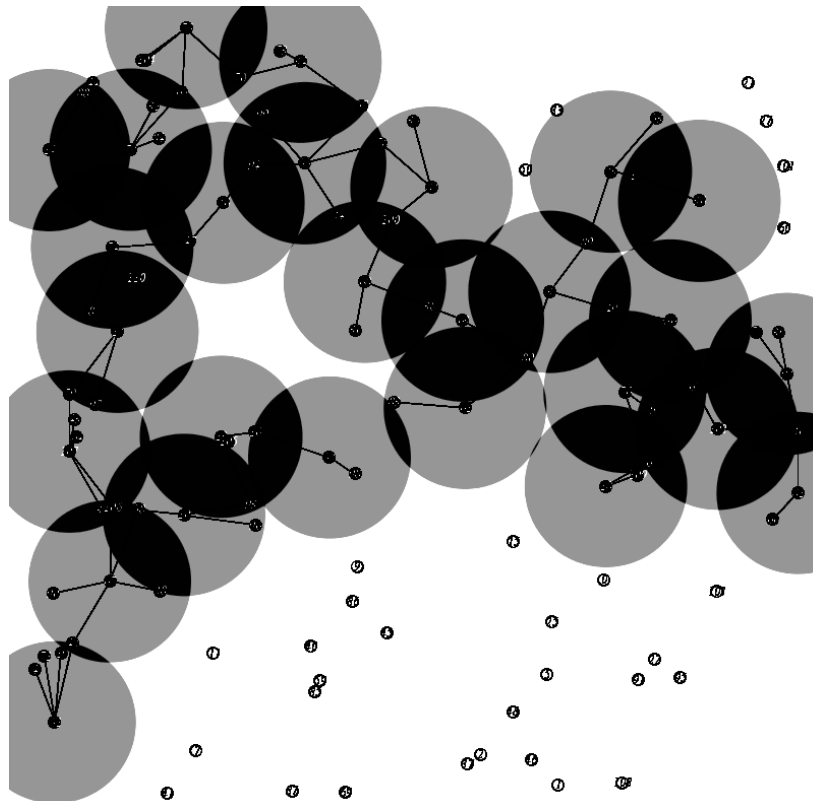


Рис. 6. Кластерна структура сенсорної мережі, отримана за допомогою запропонованої імітаційної моделі

## Використання створеної моделі для оптимізації кластерної структури

Запропонована імітаційна модель дає можливість оптимізувати кластерну структуру мережі за кількістю сенсорів, які входять до її складу.

Функція оптимізації така:

$$f(n) = \frac{S(n)}{n}, f(n) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $S(n)$  – це інтегрована площа покриття всіх активних вузлів, що формують мережу, з врахуванням можливості їхнього перетину;  $n$  – кількість активних вузлів (тобто тих, які вже залучені до мережі).

Підраховуючи площу  $S(n)$  методом Монте-Карло, беруть до уваги площу ділянки, на якій розташовані вузли (в нашому випадку це прямокутник).

Для функції  $f(n)$  виконується умова (2).

$$\sup\{f(n) : n \in N\} < S_{\text{покриття}}, \quad (2),$$

де  $S_{\text{покриття}}$  – площа, яку покриває один вузол радіусом своєї дії.

На рис. 7 проілюстровано процес оптимізації в середовищі AnyLogic™. Після 41-ї ітерації отримано оптимальну кількість вузлів 111 при значенні функції оптимізації 57,0025.

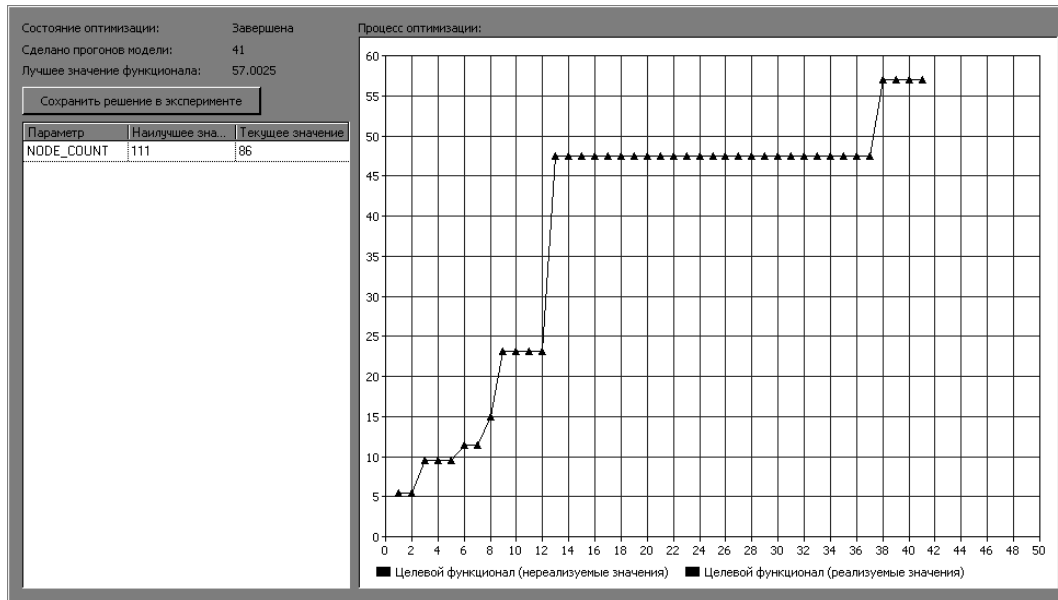


Рис. 7. Визначення оптимальної кількості вузлів з попередньо відомим радіусом дії для максимального покриття території вказаних розмірів

Так отриманий розв'язок дає відповідь на запитання про оптимальну кластерну структуру сенсорної мережі та кількість вузлів, яка потрібна для утворення такої структури.

## Висновки

Запропоновано імітаційну модель, яка дає змогу отримати оптимальну кластерну структуру сенсорної мережі за кількістю сенсорів. Продемонстровано ефективність використання візуального середовища моделювання AnyLogic™ для кластеризації множини вузлів сенсорної мережі методом імітаційного моделювання.

1. David Culler, Deborah Estrin, Mani Srivastava, "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Society, p. 9, 2004. 2. Anna Hać, "Wireless Sensor Network Designs", John Wiley & Sons Ltd. 2003. – Pp.184–231. 3. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5". – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 400 с.