

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ТОПОЛОГІЇ В НЕОДНОРІДНІЙ БЕЗПРОВОДОВІЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ

Стемпковська Я.А., Сова О.Я., Симоненко О.А.

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна
E-mail: stempkowskaya.jana@yandex.ru, soy135@ukr.net, lokalyt@gmail.com*

The search algorithm in homogeneous topology wireless sensor networks

The topology control problems in the wireless sensor networks with a random placement of sensor nodes are described in the article. The algorithm to build a new network topology for the effective functioning of the entire wireless sensor network is proposed.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) – розподілені мережі, що складаються з сенсорних вузлів, з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних. Сенсорні вузли (СВ) є платформою, яка об'єднує можливості сенсорів (датчиків, які реєструють сукупність параметрів навколишнього середовища) з мікрокомп'ютерами, які обладнані прийомо-передавальними радіомодулями.

БСМ характеризуються наступними особливостями: випадкове розміщення сенсорних вузлів на місцевості з наявністю «білих плям» або «зон скупчення» надлишкової кількості вузлів при покритті району моніторингу, неоднорідність вузлів (стаціонарні та мобільні) та обмеженість їх енергоресурсу (за ємністю батарей і потужністю передачі), обмежена дальність та пропускна спроможність радіоканалів. Їх переваги: швидке розгортання, самоорганізація і живучість.

Завдяки своїм особливостям та перевагам, БСМ стають невід'ємною частиною систем військового управління, зв'язку, розвідки, спостереження та систем орієнтування, які використовуються в збройних силах розвинених країн світу. У ході бойових дій БСМ виконують функції спостереження поля бою, розвідки сил противника і місцевості, використовуються в системах наведення інтелектуальних боєприпасів та для оцінки збитків під час бою, виявляють біологічні та хімічні атаки, а також виконують детальну розвідку в районах заражень, забезпечують охорону підрозділів чи об'єктів.

Повноцінне функціонування БСМ не можливе без ефективної системи управління (СУ), яка повинна забезпечувати адаптивне управління БСМ значної розмірності в умовах багатопараметричності та відсутності виділеної мережі управління [1, 2]. Тому, метою даного дослідження є підвищення ефективності функціонування неоднорідних БСМ в умовах ресурсних обмежень шляхом розробки математичного апарату управління їх топологією та застосування множини мобільних роботів ретрансляторів-маршрутизаторів (РМ), що дозволить оперативно виконувати задачі управління.

У загальному, топологія визначає потенційні можливості мережі щодо доставки інформації. Оскільки в процесі функціонування БСМ військового призначення відбувається поступовий вихід з ладу окремих сенсорів (зокрема через вичерпання їх енергетичних ресурсів або фізичне знищення), то між окремими з них втрачається зв'язність, що може призвести до неможливості передачі даних моніторингу до споживача інформації (посадові особи пунктів управління чи елементи озброєння) окремими зонами чи БСМ у цілому.

Для відновлення зв'язності між сенсорами в розгорнутій БСМ пропонується введення додаткових вузлів, у вигляді мініатюрних роботів, що оснащені одним або декількома комплектами приймально-передавальної апаратури і виконують функції ретрансляції та маршрутизації повідомлень.

Залежно від основного критерію ефективності, розрізняють наступні варіанти постановки задач управління топологією БСМ (рис. 1).



Рис. 1 Класифікація задач синтезу топології БСМ

Застосування даної класифікації при вирішенні задач управління топологією БСМ дозволить забезпечити безперервну передачу інформації із заданою якістю обслуговування та максимізувати час життя мережі чи її зони.

Для цього в ході дослідження були запропоновані правила розміщення робітв ретрансляторів-маршрутизаторів в неоднорідній БСМ військового призначення, які дозволяють вирішити питання зв'язності вузлів БСМ та низку інших задач управління БСМ:

- максимізація пропускнув спроможності маршрутів передачі;
- мінімізація часу доставки потоків даних;
- мінімізація довжини маршруту доставки у неоднорідній БСМ військового призначення при випадковому розміщенні сенсорів.

Для того, щоб забезпечити мінімальний маршрут доставки у мережі, тобто розташувати роботи РМ таким чином, щоб довжина маршруту мережі не перевищувала заданого, пропонується побудова нової топології з використанням точок Штейнера [3]. У дослідженнях Е. Гільберта та Х. Поллака було доведено, що *дерево Штейнера* коротше за *мінімальне остове дерево (MST)* до 13,4 % [4, 5].

Введемо деякі поняття:

Означення 1. Коротшою зв'язувальною мережею (КЗМ) для, вершин, що належать множені, назвемо дерево з вершинами в цих точках, що мають мінімальну довжину.

Означення 2. Локальним мінімальним деревом Штейнера (SMT) назвемо дерево, що побудовано шляхом додавання точок Штейнера до заданих точок, що має довжину меншу ніж КЗМ.

Розглянемо задачу пошуку мінімального дерева Штейнера для заданої множини СВ $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, де саме точками Штейнера будуть служити РМ, на поверхні. Для знаходження коротшої зв'язувальної мережі для СВ та РМ можна визначити зважений неорієнтований граф $G = (V, E)$, де множина ребер $E = \{(v_i, v_j) \mid 0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n\}$.

Найкоротша зв'язувальна мережа знаходиться за допомогою алгоритму Краскала.

Для побудови SMT необхідно, щоб виконувалися наступні умови:

- (I) кут між довільними двома ребрами в дереві Штейнера був не менше 120° ;
- (II) жодна вершина в дереві Штейнера не може бути інцидентна більш, ніж трьом ребрам;
- (III) кількість точок Штейнера рівна $s \leq n - 2$, де n – кількість з'єднувальных стаціонарних сенсорних вузлів;
- (IV) усі точки Штейнера знаходяться в опуклій оболонці, що утворена сенсорними вузлами v_1, \dots, v_n ;
- (V) кожна точка Штейнера (РМ) з'єднана ребром як мінімум з одним сенсорним вузлом (СВ).

Зауваження. При знаходженні мінімального дерева Штейнера буде використана фізична модель [6], яка, крім координат розташування СВ та РМ, приписує кожній точці так звану «вагу». Під «вагою» розумітимемо ті характеристики, які переслідує певна цільова функція на заданий момент.

- Алгоритм пошуку мінімального дерева Штейнера складається з трьох головних стадій:
- Вибір початкового наближення, що є еквівалентним вибору початкових координат точок Штейнера.
 - Ітеративний переоблік координат точок Штейнера.
 - Обробка отриманого результату.

В початковий момент роботи алгоритму генерується певна кількість точок Штейнера (PM). Ітеративне перерахування координат призводить до мінімізації довжини SMT.

Чисельні експерименти довели, що використання триангуляції Делона [7] для визначення початкового положення точок Штейнера (та кількості PM) дозволяє значно покращити результат роботи алгоритму. Перерахування координат точок Штейнера закінчується, коли гравітуюча система матеріальних точок приходиться до стійкого стану або після проведення заданої кількості ітерацій.

Отримана наприкінці множина вершин $H = V \cup S$, де S множина точок Штейнера, можна попарно з'єднати ребрами з вагами, що дорівнює евклідовій відстані між інцидентними цим ребрам вершинами, визначив тим самим повний зважений граф $G^* = (H, E^*)$. SMT, що є під графом графа G^* , знаходиться за допомогою алгоритму Краскала.

Оскільки алгоритм містить декілька варійованих параметрів (пропускна спроможність, час затримки, потужність передачі, ємність батареї, тощо), довжина отриманого дерева Штейнера може коливатись в залежності від цих значень.

Апроксимацію функції розподілу довжин дерев Штейнера будемо шукати у вигляді $F(x) = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$ за методом найменших квадратів. Базові функції відповідно дорівнюють: $f_0(x) = x^0 = 1$, $f_1(x) = x^1$, $f_2(x) = x^2$, $f_3(x) = x^3$, $f_4(x) = x^4$. Отриманий коефіцієнт апроксимації дійсний для параметрів, встановлених у ході експерименту. Не виключено, що можливо підібрати параметри запуску, при яких коефіцієнт апроксимації буде менший, однак у роботі цього не відбулося.

У ході експериментів було отримано наступний результат: усі мінімальні дерева, що отримані за допомогою алгоритму [6], мають однакову топологію, та відрізняються від топології оптимального розв'язку лише в локальних випадках. Даний факт може бути основою для пошуку алгоритмів покращення результату локального пошуку.

Література

1. Міночкін А.І. “Методологія управління тактичними сенсорними мережами” / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник праць науково-технічної конференції. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2008. – С. 15 – 26.
2. Бунин С.Г. “Самоорганізуючіся радіосети со сверхширокополосными сигналами”/ С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. – К.: Наукова думка, 2012.
3. V.V. Vazirani “Approximation algorithms”, Berlin, Springer, 2003.
4. Bang Ye Wu, Kun Mao Chao “Steiner Minimal Trees”, Chapman & Hall, 2004.
5. Gilbert E.N. “Steiner Minimal Trees” / E.N. Gilbert, H.O. Pollak // Journal on Applied Mathematics. – 1968. – Vol. 16. – P. 323-345.
6. Богаченко, Н.Ф. “Механические аналогии в задаче Штейнера” / Н.Ф. Богаченко, Р.Т. Файзуллин // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 9. – С. 1-8.
7. Скворцов, А.В. “Триангуляция Делоне и её применение” / А.В. Скворцов. – Томск: Издательство Томского университета, 2002. – С. 128.