

УДК 621.396.946

Прищепя Т.О.

Інститут телекомунікаційних систем
 Національного технічного університету України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ

У статті описується метод підвищення пропускної здатності мобільної сенсорної мережі. Він заснований на методі, в якому для скорочення вичерпних варіантів пошуку для розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати набір правил, об'єднану базу знань.

Ключові слова: ретранслятор, топологія, мережа, сенсор.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) є джерелом інформації для систем підтримки прийняття рішень. Якість прийнятих рішень залежить від якості інформації, що надходить, її повноти та достовірності, здатності системи, що її обробляє, проаналізувати всю інформацію, що надходить [1]. Особливістю таких мереж є наявність «мобільності», однак це може призвести до втрати зв'язності між мобільними абонентами (МА), а отже, до погіршення функціональних показників та зниження пропускної здатності всієї мережі.

Аналіз досліджень та публікацій. Ефективного використання корисної пропускної здатності БСМ можна досягти за рахунок оптимізації структури мережевих протоколів та попередньої обробки даних сенсорів у безпроводних вузлах (методи стиснення, агрегування та фільтрації даних) [2; 3].

Для підвищення загальної пропускної здатності каналів зв'язку БСМ використовують методи мережного кодування та багатошляхової маршрутизації [4; 5].

У роботах [6–9] представлені методи на основі зменшення відсотка службових даних у структурі мережевих протоколів за рахунок передачі повідомлень максимальної довжини. Але це призводить до втрати самої структури даних.

У [10] пропонується оптимізація трафіку шляхом декореляції даних, тобто усунення надлишковості. Однак використання цього підходу можливе тільки для потоків даних близько розміщених вузлів та під час вимірювання однакових фізичних

величин, що також суттєво обмежує його застосування.

Постановка завдання. Розглянемо приклад архітектури БСМ (рис. 1). БСМ складається із сукупності S кінцевих вузлів (КВ) на деякій території розміром r . Для того щоб зібрати дані з КВ і передати їх на шлюз, використовується сукупність K ретрансляторів (маршрутизаторів) з радіусом зони радіопокриття R . Якщо КВ знаходиться в зоні радіопокриття ретранслятора, дані мережею ретрансляторів потрапляють до координатора C , а від нього – на шлюз, а потім через глобальні мережі – в центр обробки даних.

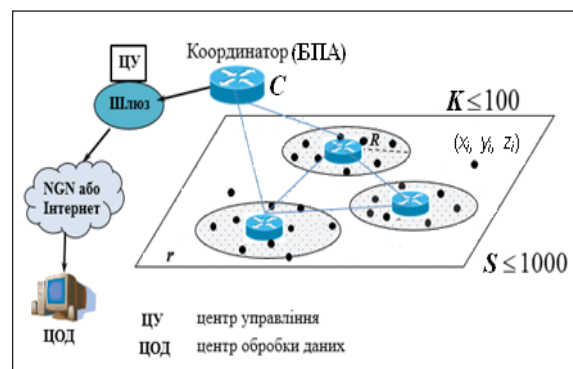


Рис. 1. Приклад безпроводної сенсорної мережі

Якщо під топологією мережі розуміти сукупність геометричного розташування її вузлів і ймовірностей використання комунікацій між ними для доставки повідомлень, то БСМ можна представити у вигляді спрямованого зваженого графа, що складається з N вершин (вузлів) і M ребер (каналів зв'язку) (рис. 2).

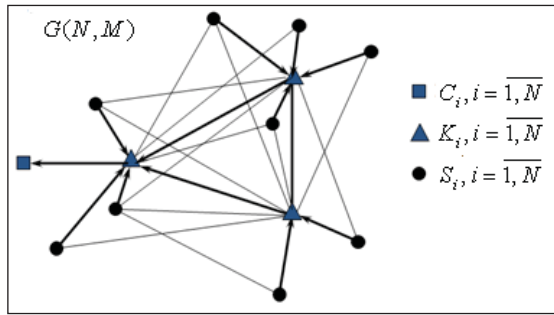


Рис. 2. Приклад графу безпровідної сенсорної мережі

Побудова маршрутів від КВ до шлюзу здійснюється за допомогою алгоритму динамічного програмування – методу Беллмана-Форда. Критеріальна функція цього алгоритму (функція Беллмана) визначає умовну вартість транспортування потоку даних між сусідніми вузлами маршруту:

$$W = C_m + C_r \xrightarrow{\|R_i\|} \min, \text{ де } C_m = \begin{cases} C_m^{nom} \\ 0 \end{cases}, \quad (1)$$

$$C_r = \begin{cases} \frac{U_{RX}^* + U_{TX}^*}{U_{max} - U_w^*} C_m^{nom}, (U_{RX}^* + U_{TX}^*) \leq (U_{max} - U_w^*) \\ \infty, (U_{RX}^* + U_{TX}^*) > (U_{max} - U_w^*) \end{cases}$$

де C_m – умовна вартість вузла БСМ, що приймає нульове значення за повторного використання вузла в топології (чим досягається мінімізація кількості ретрансляторів), C_m^{nom} – умовна номінальна вартість вузла, C_r – умовна вартість ретрансляції, U_{RX}^*, U_{TX}^* – фактичний трафік через вузол з урахуванням повторних ретрансляцій, U_{max} – максимальний трафік через вузол, U_w^* – еквівалентна щільність потоку даних, випромінюваного сусідніми вузлами з урахуванням конкуренції за доступ до середовища передачі (радіоканалу).

Таким чином, можемо сформулювати математичну постановку задачі – знайти таку топологію мережі (місце розташування ретрансляторів), яка мінімізує вартість транспортування потоків даних від сенсорів до шлюзу, за виконання обмежень на ресурси мережі, забезпечення структурної зв'язності і показників функціонування мережі:

$$X_0 = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} C(X) = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} \sum_{i=1}^{N+K} \sum_{j=1}^{N+K} W_{ij}, i \neq j \quad (2)$$

де X – вектор координат проєкцій розміщення множини БЛА; PER^0 – граничне значення ймовірності пакетної помилки в радіоканалі; P, P^0 – надійність і обмеження надійності мережі; $s(m_{ab}), t_3(m_{ab}), s^0, t_3^0$ – пропускна здатність (ПЗ) і затримка в маршруті m_{ab} і відповідні обмеження [11].

Спосіб розв'язання задачі. Алгоритм Беллмана – Форда названий за іменами вчених (Bellman, 1957; Ford and Fulkerson, 1962), які першими опублікували ідею алгоритму. Ідея досить проста. Маршрутизатор зберігає в таблиці список усіх відомих маршрутів зі вказівкою в кожному елементі таблиці мережі одержувача і цілого числа – кількості пересилань до цієї мережі. Періодично кожний маршрутизатор надсилає копію своєї таблиці іншим маршрутизаторам, до яких він має прямий доступ. Одержавши таку копію від маршрутизатора В, маршрутизатор А аналізує отриманий набір адресатів і відстаней до них. Маршрутизатор А замінює дані у своїй таблиці, якщо маршрутизатору В відомий коротший, ніж наявний у ній, маршрут до одержувача, або якщо в його списку є невідомий йому дотепер маршрутизатор.

На підставі цієї таблиці відповідно до алгоритму Беллмана – Форда і розраховується значення метрики (наприклад, вартості маршруту, затримки тощо) для кожного та здійснюється пошук мінімального сумарного числа пересилань. Поняття «вектор дистанцій» саме і пов'язане з характером інформації, що періодично передається протоколом інформації. У повідомленнях міститься пара чисел $\{R, D\}$, де R – вектор, який визначає вузол-одержувач, а D – відстань до цього вузла-одержувача, тобто один маршрутизатор повідомляє іншому про свою можливість досягти одержувача R за D пересилань.

Під час розрахунку найкоротших шляхів між заданим вузлом і всіма іншими вузлами довжини (метрики) дуг можуть бути як додатними, так і від'ємними, але передбачається, що немає циклів від'ємної довжини. Позначимо також, що $d_{ij} = \infty$, якщо в графі відсутня дуга l_{ij} . Послідовність кроків алгоритму Беллмана – Форда полягає в тому, щоб спочатку знайти довжини найкоротших шляхів, за умови, що шляхи містять не більше однієї дуги; потім розраховуються довжини найкоротших шляхів за умови, що шляхи містять не більше двох дуг, тощо. Найкоротший шлях за умови, що шлях містить не більше h дуг, надалі називатиметься найкоротшим ($\leq h$) шляхом.

Нехай $D_i(h)$ – довжина найкоротшого ($\leq h$) шляху від вузла 1 до i -го вузла. Вважатимемо, що $D_i(h) = 0$ для всіх h . Тоді за ініціалізації алгоритму Беллмана – Форда спочатку виконується така операція:

$$D_i^{(0)} = \infty \text{ для всіх } i \neq 1$$

При кожному наступному $h \geq 0$

$$D_i^{(h+1)} = \min [D_j^{(h)} + d_{ij}] \text{ для всіх } i \neq 1 \quad (4)$$

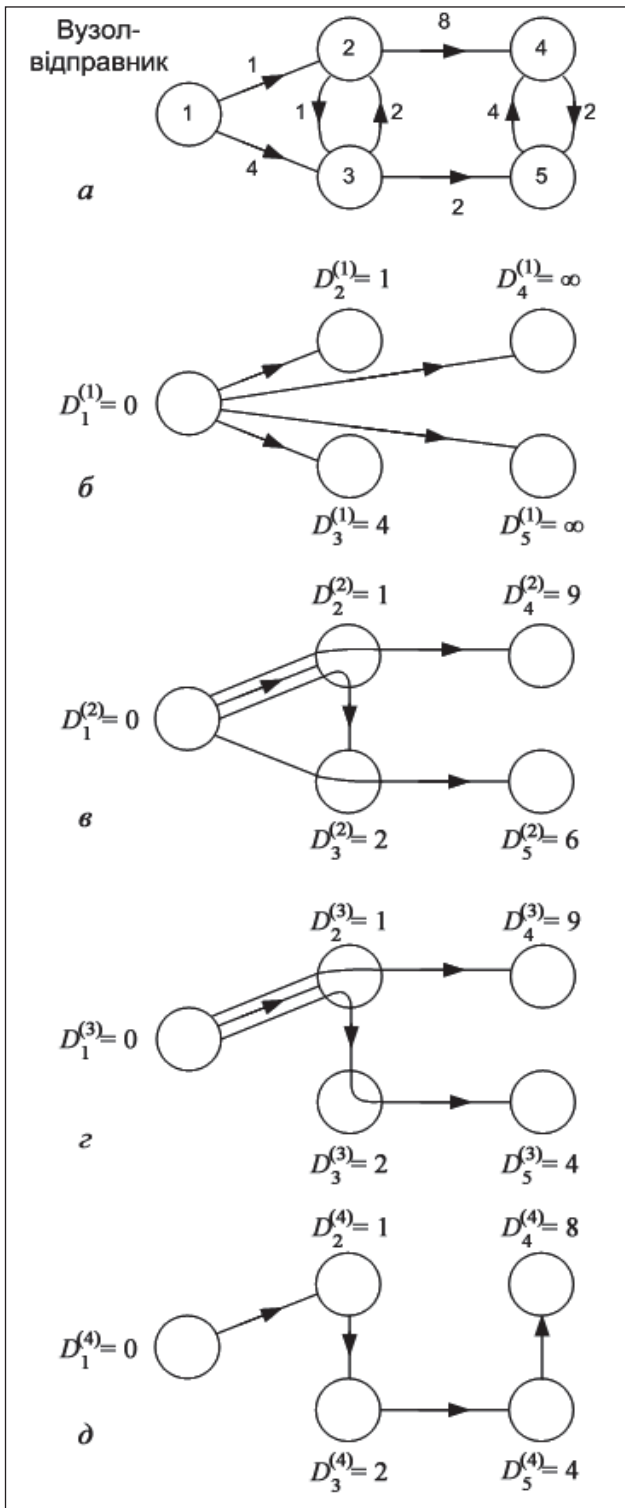


Рис. 3. Ілюстрація роботи алгоритму Беллмана – Форда

а – постановка задачі щодо визначення найкоротшого шляху із наведенням довжин дуг; б – перша ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше однієї дуги; в – друга ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше двох дуг; г – третя ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше трьох дуг; д – результат розв’язання задачі: підсумкове дерево найкоротших шляхів

Роботу алгоритму проілюстровано на рис. 3.

Число ітерацій алгоритму в найгіршому разі дорівнює $(m - 1)$, кожна ітерація має бути проведена для $(m - 1)$ -го вузла, а для кожного вузла мінімізація здійснюється якнайбільше за $(m - 1)$ -ю змінною. Таким чином, у найгіршому разі обсяг обчислень зростає як m^3 , що записується у вигляді $O(m^3)$. Більш ретельний підрахунок свідчить, що обсяг обчислень дорівнює $O(\alpha n)$, де n – число дуг, а α – максимальне число дуг, що міститься в найкоротшому шляху.

Почасти популярність алгоритму Беллмана – Форда пояснюється тим, що у разі, коли довжини всіх дуг додатні, початкові умови $D_i(0)$ для $i \neq 1$ можуть бути будь-якими невід’ємними числами й ітерації (4) можуть виконуватися паралельно для різних вузлів у довільному порядку, що має велике значення для аплікацій із розподіленими алгоритмами. На використанні алгоритму Беллмана – Форда засновані протоколи вектора відстаней або дистанційно-векторні протоколи (VectorDistanceProtocol), до яких, наприклад, належать протоколи RIP та IGRP.

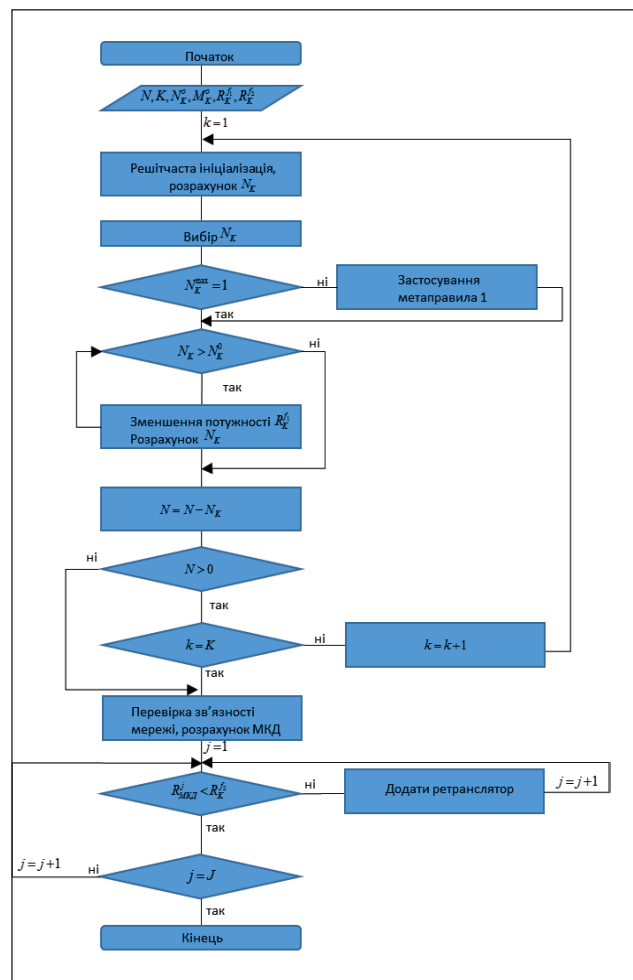


Рис. 4. Схема-алгоритм управління положенням маршрутизаторів

Відомі алгоритми перерахування графів приводять до отримання точних рішень, але наявність сотні (тисячі) вузлів потребує значних затрат часу. Тому для скорочення повного перебору варіантів розміщення ретрансляторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних у базу знань [13].

Це дає змогу отримати в реальному часі близькі до оптимальних рішення та використову-

вати запропонований алгоритм для оперативного управління положенням ретранслятора.

Висновки. У статті наведений алгоритм пошуку доцільного розміщення маршрутизаторів під час розгортання безпроводних сенсорних мереж. За основу було взято метод, в якому для скорочення повного перебору варіантів розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних у базу знань.

Список літератури:

1. Прищеп Т.О. Порівняльний аналіз форматів передачі інформації у безпроводних сенсорних системах на безпомилковість // Науковий вісник АМУ, серія «Техніка». – 2014. – В. 8. – С. 122–127.
2. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1–5.26.
3. Abughalieh, N., Steenhaut, K., Nowé, A. Low power channel coding for wireless sensor networks. Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2010 17th IEEE Symposium on. IEEE, 2010. – Pp. 1–5.
4. Томас М. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 816 с.
5. Яцків В.В. Алгоритм мережевого кодування даних на основі системи залишкових класів/ В.В. Яцків, Ю.С. Магійшин, О.І. Крушельницький // АСІТ'2013, Тернопіль, 17–18 травня 2013 р. – С. 84–85.
6. Толстикова Е.В. Минимизация избыточности объема передачи данных в сети радиодатчиков // Проблемы информатизации та управління. – 2010. – № 1(29). – С. 168–171.
7. Мерекин Ю.В. Нижняя оценка сложности для схем конкатенации слов // Дискретный анализ и исследование операций. – 1996. – Том 3, № 1. – С. 52–56.
8. Qi, Y. Xu, X. Wang. Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks. Proceedings of the IEEE, 2003, Vol. 91, №8. – Pp. 1172–1183.
9. Abdelzaher T, He T, Stankovic J. Feedback control of data aggregation in sensor networks. In: In conference Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on. IEEE, 2004. – Pp. 1490–1495.
10. Николайчук Я.Н. Теорія джерел інформації – Тернопіль: ТЗОО «Тернограф» – 2010. – 534 с.
11. О.І. Лисенко, Т.О. Прищеп Алгоритм пошуку доцільного розташування вузлів безпроводних сенсорних мереж // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій – 17». – 2017.
12. Поповський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотников М.Д., Картушин Ю.П., Попонін О.М., Агєєв Д.В., Сабурова С.О., Олійник В.Ф., Персіков А.В., Лошаков В.А. Селіванов К.О. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1, електронний ресурс <http://www.znanius.com/3534.html>.
13. Валуцький С.В., Прищеп Т.О., Димид М.Д. Алгоритм пошуку раціонального розміщення ретрансляторів при розгортанні безпроводних сенсорних мереж // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2016. – Вип. 11. – С. 1–9.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫМИ АЭРОПЛАТФОРМАМИ

В статті описується метод підвищення пропускної спроможності мобільної сенсорної мережі. Він оснований на методі, в якому для скорочення виснажливих варіантів пошуку для розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати набір правил, об'єднану базу знань.

Ключевые слова: ретранслятор, топологія, мережа, сенсор.

METHOD TO INCREASE THE THROUGHPUT OF MOBILE SENSOR NETWORKS WITH TELECOMMUNICATIONS AIRPLANES

The article describes a method for increasing the capacity of a mobile sensor network. It was based on a method in which to reduce the exhaustive search options for router placement it is suggested to use a set of rules, a combined knowledge base.

Key words: repeater, topology, network, sensor.