

R-ЗОНОВИЙ МЕТОД МАРШРУТИЗАЦІЇ В АВТОМАТИЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Розглядається динамічна архітектура побудови автоматизованих мереж радіозв'язку (АМР), що припускає відсутність базових станцій і фіксованих маршрутів передачі інформації (так звані мережі MANET – Mobile Ad-Hoc Networks) [1, 2]. Усі вузли (хости) мережі мобільні та обмінюються інформацією безпосередньо між собою чи застосовують ретрансляцію пакетів. Під вузлом мережі розуміється радіо-термінал з функціями маршрутизатора чи переносний комп'ютер, який оснащений маршрутизатором і прийомопередавачем. Прикладами застосування таких мереж можуть слугувати перспективна АМР тактичної ланки управління, мережі радіозв'язку, які створюються в умовах надзвичайних ситуацій, при обміні інформацією під час проведення різних конференцій, олімпіад тощо. Дані мережі характеризуються:

- динамічною топологією – вузли мережі мобільні; канали радіозв'язку нестабільні і мають обмежені дальність зв'язку і пропускну здатність;
- обмеженою енергетичною можливістю деяких вузлів;
- значною розмірністю (сотні та тисячі вузлів).

Однією з основних задач оперативного управління АМР є маршрутизація інформаційних повідомлень. Аналізу та синтезу методів маршрутизації для АМР присвячене велика кількість робіт [1-3]. Однак вони розраховані на визначену величину зміни топології мережі і її розмірність (не адаптовані до реальної ситуації на мережі). Особливості АМР обумовлюють ключові вимоги до методів маршрутизації: розподілене функціонування; мінімальне завантаження мережі службовою інформацією при реакціях на зміни в мережі; відсутність зациклення маршрутів; швидка збіжність.

Усі відомі методи маршрутизації можна розділити на два основних класи: таблицно-орієнтовані (проактивні) і зондові (реактивні) [1-3]. Для таблицно-орієнтованих методів маршрутизації відомі два підходи для обчислення найкоротшого шляху в мережі в залежності від того, якою інформацією володіє вузол про стан мережі.

1. Кожен вузол мережі має повну інформацію про стан мережі. У цьому випадку кожен вузол може виконати будь-який централізований алгоритм пошуку найкоротшого шляху. Так працює, наприклад, мережа Internet, у якій обчислюється найкоротший шлях по алгоритму Дійсктри (протокол OSPF) [3,4].

2. Кожен вузол мережі має часткову інформацію про стан мережі. У цьому випадку кожен вузол для пошуку найкоротшого шляху використовує розподілену версію алгоритму Белмана-Форда (протокол RIP у Internet) [3, 4]. Представниками даного класу методів маршрутизації в АМР є DARPA PRNET, DSDV, WRP [1, 2]. Дані методи припускають ведення кожним вузлом однієї чи декількох таблиць, які зберігають інформацію про маршрути доставки інформації до всіх адресатів мережі. Завжди є присутнім основна таблиця – маршрутна. Кожен маршрут зберігається у виді окремого входу: адресат, наступний вузол у маршруті передачі до адресата і вартість маршруту. Вартість маршруту містить суму метрик кожного каналу. В якості метрики звичайно використовується число ретрансляційних ділянок, але можуть бути затримка доставки пакетів, якість каналу та інші. Кожен вузол періодично інформує

(розсилає маршрутні повідомлення, які містять змінені входи маршрутних таблиць) своїх сусідів про свої маршрути до адресата. Приймаючи маршрутне повідомлення, вузол модифікує свої входи маршрутних таблиць.

На жаль, жоден з цих підходів не відповідає сформульованим вимогам. Підхід з повною інформацією для обчислення найкоротшого шляху в мережі вимагає великої кількості інформації про стан мережі, що надійно доставлялася б кожному вузлу від всіх інших вузлів мережі. Ця інформація повинна посилатися при кожній зміні структури мережі чи вартості каналу. Затримки в доставці такої інформації, особливо в АМР, а також додаткове навантаження на мережу службовими повідомленнями значні. Алгоритм Белмана-Форда вимагає рішення проблеми “кінцевого рахунка”, викликає зациклення маршрутів протягом його виконання (ця проблема вирішена в DSDV за допомогою введення нумерації маршрутів, у WRP за допомогою збереження додаткової інформації про маршрут – інформації про попередній до адресату вузол), вимагає n ітерацій (де n – число вузлів у мережі) для збіжності. Якщо відстань, яка обчислюється, обмежена, то не виявляється поділ мережі на окремі підмережі.

Основна відмінність зондових методів маршрутизації (у закордонній літературі вони називаються реактивними чи за вимогою) від таблично-орієнтованих методів у тім, що вузли формують маршрут передачі інформації з мери необхідності шляхом розсилання по мережі спеціальних пакетів (зондів-запитів) і збору зондів-відповідей, які містять інформацію про можливі маршрути передачі інформації. Тому зондова маршрутизація припускає два основних етапи функціонування: створення маршруту і його підтримка в актуальному стані. Представниками зондових методів маршрутизації є DSR, AODV, TORA, ABR, SSR [1, 2]. Для зондових методів маршрутизації характерний значний службовий трафік і визначена інерційність у побудові маршрутів.

Проведені дослідження показали [5], що таблично-орієнтовані методи маршрутизації ефективні при незначній динаміці топології мережі, зондові методи – при середньому і високому значенні зміни топології $v_H < v < v_B$ (де v_H, v_B – нижня і верхня межа застосування зондових методів маршрутизації), хвильові – при дуже високій динаміці, тобто ситуації при якій неможливо відстежити зміни топології мережі (рис. 1).

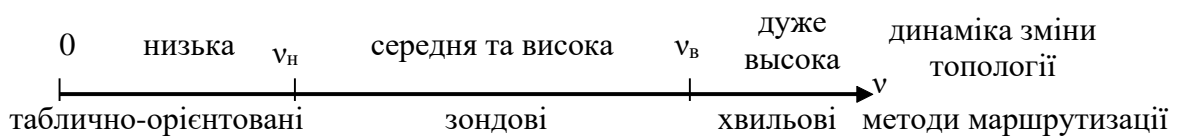


Рис.1 Межі ефективного застосування різних методів маршрутизації

Для досягнення ефективного функціонування АМР у залежності від величини динаміки топології мережі пропонується новий гібридний метод маршрутизації. Він дозволяє здійснити адаптацію до динаміки зміни топології мережі, тобто здійснювати перехід від таблично-орієнтованих методів до зондових і навпаки.

Суть методу. Кожен вузол мережі зберігає маршрутну інформацію про сусідні вузли на відстані r -ретрансляційних ділянок (так звана маршрутна r -зона) відповідно до правил функціонування таблично-орієнтованих методів маршрутизації. Побудова і підтримка маршрутів до адресатів, які знаходяться за межами r -зони, здійснюється зондовими методами. Величина зони $r = f(v)$ змінюється в залежності від v – динаміки топології мережі (більше v – менше значення r і навпаки). При величині $r = 1$

запропонований метод буде функціонувати як зондовий метод маршрутизації, при $r = d$ (де d – діаметр мережі) – як таблично-орієнтований класу Белмана-Форда. Приклад маршрутної зони для вузла 10 зі значенням $r = 2$ представлений на рис. 2. Вузли 3, 5, 12, 14, 16 є периферійними для вузла 10.

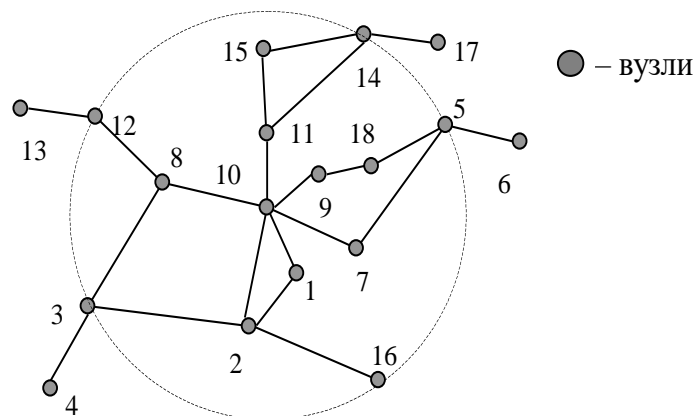


Рис. 2. Маршрутна зона вузла 10 ($r = 2$)

Процес побудови зони базується на знанні вузлом своїх сусідів. Вузол установлює радіозв'язність зі своїм сусіднім вузлом шляхом обміну з ним HELLO-повідомленнями, використовуючи один із протоколів канального рівня. Процес збору, коректування маршрутної інформації в r -зоні здійснюється відповідно до розподіленої версії алгоритму Белмана-Форда [3, 6]. Єдина відмінність, це виділення периферійних вузлів. Розсилання маршрутних повідомлень (періодична і по подіям) дозволяють кожному вузлу сформувавши маршрутні таблиці, які зберігають інформацію про вузли своєї r -зони. Так як коректування маршрутних таблиць здійснюється локально (у межах r -зони), то обсяг службового трафіка в межах зони не залежить від розмірності мережі, а залежить від розміру зони, ступеня зв'язності вузлів і інтенсивності зміни топології мережі (що залежить від відмов/встановлень радіоканалів внаслідок переміщення та знищення вузлів, впливу радіоелектронної протидії противника тощо).

Процес побудови маршрутів за межами r -зони здійснюється згідно правил функціонування зондових методів маршрутизації. Приклад знаходження маршруту від вузла 2 до вузла 7 представлений на рис. 3. Вузол 2, не знайшовши в маршрутній таблиці маршруту до вузла 7, розсилає своїм периферійним вузлам 1 і 3 зонд-запит. Формат зонда-запиту містить наступну інформацію: тип пакета; ідентифікатори відправника, адресата, назначених для ретрансляції периферійних вузлів; радіус зони; ідентифікатори пройдених ретрансляторів (маршрут проходження); унікальний номер пакета. Вузли 1 і 3, не знайшовши адресата у своїй зоні, розповсюджують далі зонд-запит через свої периферійні вузли. Вузол 6, прийнявши зонд-запит і знайшовши адресата у своїй зоні, посилає зонд-відповідь. Зонд-відповідь посилається відправнику по зворотному шляху. Вузли, які ретранслюють зонди, заносять інформацію про маршрути до адресата і відправника у свої маршрутні таблиці (відбувається процес “навчання” вузлів).

При розповсюдженні зондів-запитів можливе виникнення 3-х ситуацій (рис. 3):

1) завершення розсилання зондів у напрямку 3-2-1 при досягненні границі мережі;

- 2) завершення передачі зондів-запитів по маршруті 2-3-5-4-3, тому що зонд-запит повертається до вузла 3;
- 3) маршрут знайдений 2-3-5-6.

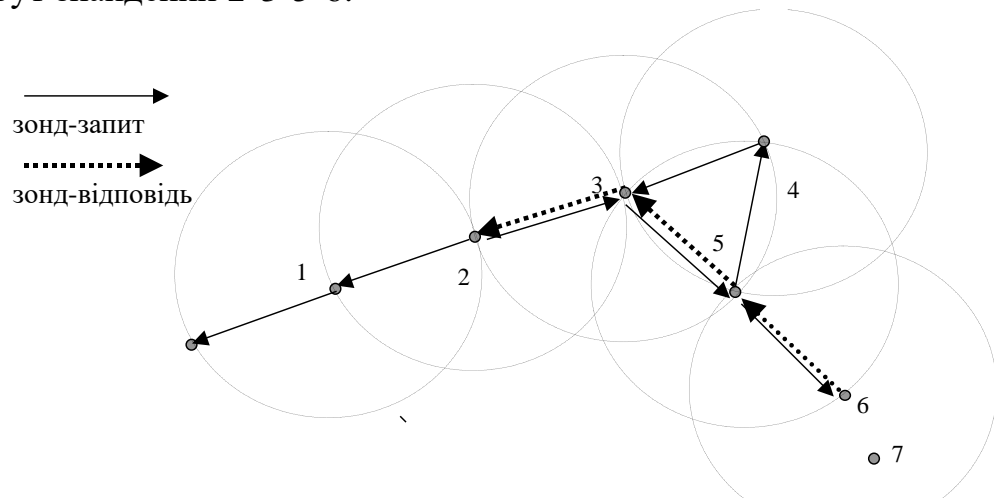
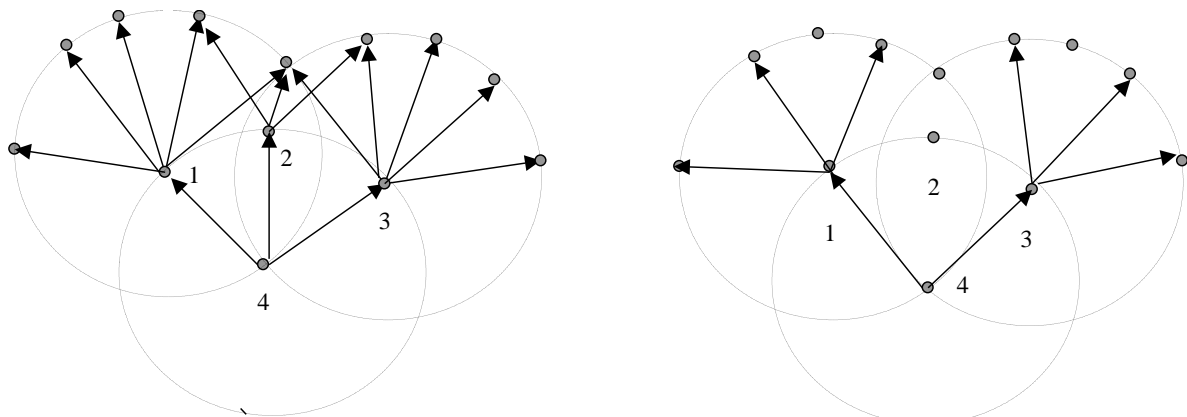


Рис. 3. Знаходження маршруту зондовим методом

Для скорочення службового трафіка при розсиланні зондів-запитів пропонуються наступні правила.

1. Пасивний аналіз передач зондів-запитів. При розсиланні зонда-запиту через периферійні вузли частина вузлів своєї зони може відслідковувати їхню передачу і не здійснювати їхньої ретрансляції. Наприклад, при передачі вузлом 10 (рис. 1) зонда-запиту периферійному вузлу 14 вузол 15 може “чути” дану передачу і не ретранслювати зонд-запит надалі.

2. Селективний вибір периферійних вузлів для організації “напрямку передачі” зондів-запитів (при значній кількості периферійних вузлів чи їх близькому розташуванні). Концептуально даний механізм представлений на рис. 4. Вузол 4 посилає зонди-запити тільки периферійним вузлам 1 і 3 (вузол 2 знаходиться в “необхідному напрямку” і в поширенні зонда-запиту участь не бере).



а) повна розсилка зондів-запитів

б) селективна розсилка зондів-запитів

Рис. 4. Процес розсилання зондів-запитів

Загальний службовий трафік буде складатися з внутрізонового G_B (розсилання маршрутних повідомлень) і міжзонового G_M (процес розсилання зондів-запитів і збору зондів-відповідей). У процесі функціонування мережі кожен вузол може оцінити співвідношення обсягів внутрізонового і міжзонового трафіків та здійснювати адаптацію у виді зміни величини зони (рис. 5). Первинне значення розмірів зони

кожного вузла може встановлюється центром управління мережею на етапі планування роботи мережі з урахуванням прогнозованого характеру її функціонування ($r_H < r < r_B$). Надалі кожен вузол буде прагнути мінімізувати службовий трафік, тобто оптимізувати значення розміру зони r^* , використовуючи наступні основні стратегії:

- при збільшенні (зменшенні) частки внутрізонового трафіка G_B ($G_M = const$) → зменшити (збільшити) розміри зони $r=r-1$ ($r=r+1$);
- при збільшенні (зменшенні) частки міжзонового трафіка G_M ($G_B = const$) → збільшити (зменшити) розміри зони $r=r+1$ ($r=r-1$);
- при значному збільшенні G_B і G_M застосовувати хвильові методи маршрутизації.

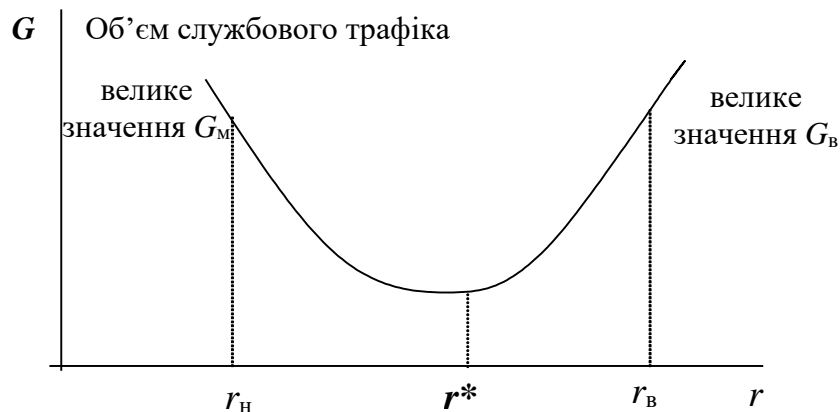


Рис. 5. Оптимізація розмірів зони

За допомогою розробленої імітаційної моделі проведені дослідження залежності $r^* = \operatorname{argmin}(n, v, G, r)$, де r^* – оптимальне значення r -зони, $G = G_B + G_M$ – обсяг службового трафіка, n – кількість вузлів мережі, v – величина зміни топології. Доведено, що застосування запропонованого r -зонового методу маршрутизації дозволяє в середньому на 10-15 % підвищити пропускну здатність мережі в порівнянні з використанням тільки одного класу методів маршрутизації (зондового чи таблично-орієнтованого).

Література

1. Mobile Ad-Hoc Networks. IETF. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
2. Миночкин А.И., Романюк В.А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. – №1. – 2001. – С. 31 – 36.
3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. – СПб: Питер, 2000. – 672 с.
5. Міночкін А. І., Романюк В.А. Імітаційне моделювання методів маршрутизації, які застосовуються в автоматизованих мережах радіозв'язку // Збірник наукових праць №1. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 95–102.
6. Романюк В.А. Управление построением маршрутов для сети с динамической топологией // Управляющие системы и машины. – № 1.– 1993. – С.76 – 81.