

УДК 621.391.8

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.064952

В. О. БРЕСЛАВСЬКИЙ, студент;

О. А. ЛАПТЄВ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;

А. М. ПРАВДИВИЙ, аспірант;

С. А. ЗОЗУЛЯ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ МАРШРУТИЗАЦІЇ САМООРГАНІЗОВАНИХ РАДІОМЕРЕЖ

**Запропоновано вдосконалений алгоритм маршрутизації в самоорганізованих радіомережах, відмітними особливостями якого є: зниження надмірності потоку керуючих сигналів у мережі завдяки передаванню функції вибору (продовження) маршруту всіх вузлів ретрансляції; швидка адаптація і самовідновлення мережі за альтернативним маршрутом у разі виходу з ладу активних вузлів ретрансляції. Доведено, що розглядуваний алгоритм за сукупністю параметрів має кращі характеристики порівняно з відомими алгоритмами. Самоорганізований алгоритм маршрутизації (САМ) призначено для мобільних безпроводових самоорганізованих мереж зв'язку, в яких вузли мають однаковий статус. Функції базових станцій розподілено між усіма учасниками інформаційної взаємодії. Алгоритм САМ є інтелектуальним, у нього закладено можливість вузлом самостійно приймати рішення щодо участі в побудові маршруту і/або відновлення його.**

**Ключові слова:** алгоритм; самоорганізовані радіомережі; маршрутизація; ретрансляція; вузол зв'язку; прийняття рішень.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У процесі проектування та розбудови самоорганізованих мереж зв'язку виникають труднощі організації роботи мережі за умов непередбачуваного переміщення вузлів у такий спосіб, щоб можливо було гарантувати доставляння повідомлення адресату в будь-якому напрямку, тобто забезпечити зв'язність мережі з урахуванням ретрансляції. Це завдання вирішується моделюванням і оцінюванням радіозв'язності вузлів під час трансформації мережі, розробленням більш ефективного алгоритму маршрутизації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі світові вчені галузі телекомунікацій Гупта та Кумар дійшли своїх висновків щодо граничної ємності для фіксованої епізодичної самоорганізованої мережі. Висока мобільність сучасних засобів зв'язку, активна мінливість топології локальних та інших мереж потребують розвитку нових підходів до їх аналізу, створення нових засобів проектування і нових алгоритмів стійкої роботи. У світі існує тенденція з розгортання таких мереж та використання їх у воєнних цілях та в умовах надзвичайного стану, коли звичайні засоби телекомунікацій не можуть працювати в нормальному режимі.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** З метою підвищення зв'язності і якості обслуговування в мобільній самоорганізованій мережі необхідно вирішити такі завдання:

- визначити найбільш ефективні шляхи підвищення зв'язності в мобільних самоорганізованих мережах;

- розробити ефективний алгоритм маршрутизації в самоорганізованій мережі з елементами самоадаптації і самоконфігурування за умов непередбачуваної мобільності вузлів.

### Основна частина

Для виконання функцій передавання повідомлень від одного вузла до іншого в самоорганізованій радіомережі необхідний режим ретрансляції — «повторного пересилання». Маршрутизація в самоорганізованих радіомережах складається з двох важливих етапів:

- відшукання оптимального маршруту;
- підтримання маршруту протягом сеансу.

Забезпечення зв'язності мережі відповідає за вирішення підтримання маршруту, тому пошук оптимального маршруту без гарантованої зв'язності може бути невирішено. Але навіть якщо зв'язність існує в мережі в початковий момент часу, через мобільність вузлів і обмеженість ресурсів приймачів імовірний «розрив» установлених зв'язків, тож для передавання великого повідомлення в мережі доведеться кілька разів будувати маршрути.

У найповнішому варіанті для вибору алгоритму маршрутизації можна виокремити такі параметри:

- ♦ *на мережному рівні:* достатня продуктивність або залишкова ємність, біт/с, затримка з кінця в кінець, ємність буфера у вузлі, розбіжність затримок, коефіцієнт втрати пакетів, витрата енергії на пакет, Дж, час життя маршруту, с;

- ♦ *на каналному (MAC) рівні:* MAC затримка, стабільність зв'язку (з'єднання) — передбачуваний час життя зв'язку, надійність зв'язку —

коефіцієнт доставляння пакетів, %, відносна рухливість/стабільність вузлів;

♦ *на фізичному рівні*: відношення сигнал/завада (SIR), швидкість бітових помилок (BER), залишковий заряд батареї або показник вартості.

У самоорганізованій радімережі з невідомою топологією оптимальним методом пошуку маршруту є метод за запитом (вимогу). Даний метод дає можливість будувати маршрут у мережі без постійного опитування, що зменшує навантаження на мережу. Для пошуку маршруту з ширококомовним розсиленням пакетів необхідно розв'язати низку складних завдань, пов'язаних із лавиноподібним поширенням пакетів по мережі [2; 3]. Даний вид пошуку маршруту наповнює мережу великою кількістю пакетів, і якщо не застосовувати методи скорочення кількості пакетів, мережа швидко досягне критичної «маси» трафіку, що призведе до її непрацездатності. Схему розсилення запитів, що спричинює лавиноподібне поширення трафіку під час ширококомовного розсилення зображено на рис. 1. У радімережі через властивості середовища передавання даних пакети досягають усіх вузлів тільки в зоні стабільного радіоприймання. Для зменшення кількості службового трафіку в мережі слід перенести проблему вибору ретрансляторів на самі проміжні вузли.

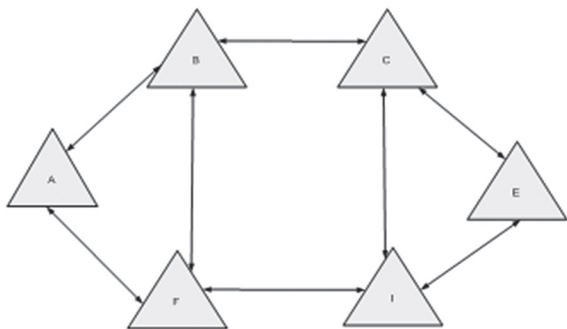


Рис. 1. Запит під час побудови маршруту в радімережі

Головною специфікою самоорганізованих радіомереж є мінливість топології, зміна параметрів ліній зв'язку, непередбачувана динаміка вузлів і зв'язків між ними (рис. 2).

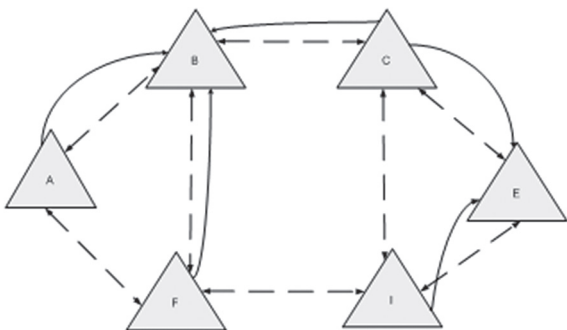


Рис. 2. Взаємодія вузлів в режимі запит-відповідь

Особливості пропонованого варіанта маршрутизації можна подати такою схемою. На відміну від

протоколів із побудовою кількох варіантів шляху (часто використовується термін «розтікання» або «затоплення») і оцінюванням вартості кожного, у запропонованому варіанті (самоорганізованої) маршрутизації кожен вузол-ретранслятор залежно від вихідної програми і умов «сам вирішує» — чи буде він ретранслювати повідомлення сусідам, чи ні (рис. 3 – рис. 5). Таке вирішення, наприклад, може залежати від розрядження батареї живлення в даному присторі. Найбільш близькими до алгоритмів маршрутизації подібного типу, можливо, слід вважати «епідемічні» алгоритми. В останніх моделюється процес поширення захворювання (епідемія) в колективі. Передавання інформації відбувається з проміжним зберіганням інформації, якщо не можна відразу передати її адресату [1; 6]. Розроблений самоорганізований алгоритм маршрутизації (SAM) використовує дещо інший принцип епідемії, залежно від свого стану вузол або «підхоплює хворобу», або ні.

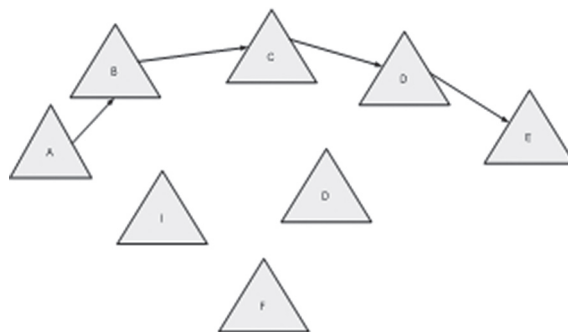


Рис. 3. Розбудова одного шляху

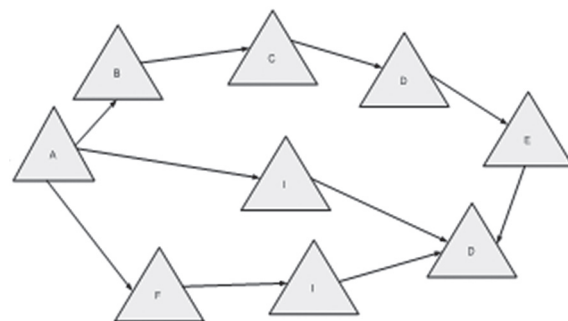


Рис. 4. Розбудова кількох шляхів

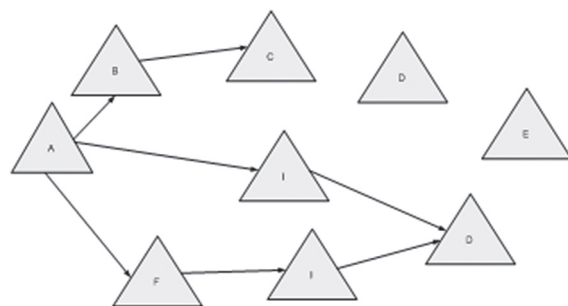


Рис. 5. Самоорганізація мережі

Алгоритм САМ призначено для мобільних безпроводових самоорганізованих мереж зв'язку, в яких вузли мають однаковий статус. Функції базових станцій розподілено між усіма учасниками інформаційної взаємодії. Алгоритм САМ є інтелектуальним, у нього закладено можливість вузлом самостійно приймати рішення щодо участі в побудові маршруту і/або відновленні його. Така можливість дає змогу керувати трафіком, що проходить через вузол (Traffic Driven).

Через свою винятковість алгоритм здатен виробляти пошук оптимального маршруту між тим, що викликає, та тим, кого викликають у складі самоорганізованої мережі. Особливість і унікальність алгоритму полягає в тому, що він не будує таблиць маршрутизації на вузлі, а абоненти не мають інформації про місцеперебування кожного учасника мережі. Але водночас алгоритм дає можливість знайти оптимальний маршрут між учасниками з'єднання завдяки таким властивостям алгоритму:

- Для забезпечення зв'язності, з урахуванням мобільності вузлів, в алгоритмі САМ застосовується кілька варіантів відновлення і підтримання маршрутів. Один із варіантів засновано на руйнуванні і побудові маршрутів через певний час. Такий підхід уможливорює побудову актуальних маршрутів, оскільки маршрут будуватиметься в чинній топології на даний момент часу. Складність використання такого підходу полягає в лавинному розсиланні пакетів для створення маршруту.

- Іншим варіантом забезпечення зв'язності є метод локального відновлення маршруту. На шляху поширення інформації за вибраним маршрутом завжди наявні вузли, що не беруть участь у даному маршруті, але дістають інформацію від сусідніх вузлів. Найближчі вузли одержують та обробляють отримані пакети. На основі здобутих даних обчислюється інформація, необхідна для підтримання маршруту. У разі розриву маршруту найближчі вузли відновлюють зруйнований маршрут.

- На ділянці розриву алгоритм починає будувати новий маршрут саме з точки розриву. Відновлення маршруту відбувається на основі основного алгоритму, маршрут будується з використанням даних про попередній маршрут.

- Запит побудови маршруту викликає трансляцію розсилання пакетів. Адресат приймає пакети з усіх маршрутів і вибирає основний та додаткові маршрути. За основним маршрутом передаються дані, а за резервним — пакети підтримання маршруту.

Алгоритм САМ для забезпечення зв'язності вирішує також завдання, які адаптують його до постійно змінюваних умов.

#### 1. Зміна кількості вузлів.

Кількість вузлів впливає тільки на пропускну здатність мережі і навантаженість. Алгоритм по-

будовано в такий спосіб, аби не прив'язуватися до кількості вузлів.

#### 2. Навантаження на мережу, втрата пакетів.

Алгоритм маршрутизації намагається рівномірно розподілити навантаження по мережі. Для цього використовуються різні стани вузла, що дають змогу оцінити можливість вузла. Доставка пакета до наступного вузла відстежується завдяки властивостям середовища передавання даних.

Мережа, побудована відповідно до протоколу САМ, за потреби відправлення пакетів кільком вузлам формує різні сесії, що дають змогу розподіляти інформацію від різних вузлів. У разі передавання інформації від групи вузлів до одного вузла ідентифікатор з'єднання дозволяє вузлу, що приймає, розподіляти інформацію.

Алгоритм САМ для забезпечення зв'язності в мережі усуває такі недоліки протоколів маршрутизації, що притаманні відомим алгоритмам. Далі наведемо недоліки і способи їх усунення.

1. **Перевантаженість мережі через постійне передавання даних.** Для підтвердження пакетів відсилаються пакети підтвердження, що призводить до подвоєння кількості пакетів в ефірі. В алгоритмі для підтвердження використовується властивість дипольних антен поширювати сигнали на всі боки, що дає можливість відмовитися від пакетів підтвердження або зменшити кількість таких пакетів.

2. **Дуже низька надійність, захист через поширення даних у радіоефірі.** В алгоритмі САМ ці проблеми поки не розглядалися, оскільки захист даних може забезпечуватися самим додатком.

3. **Кожен вузол самостійно вирішує брати участь чи ні в маршруті, а також приймати/розсилати пакети за кількома маршрутами.** Це призводить до надмірних затримок. В алгоритмі САМ після побудови маршруту вузли виробляють тільки порівняння необхідних полів і не здійснюють розрахунків, що дає можливість скоротити час оброблення і прийняття рішення щодо участі в маршруті. Ухвалення рішення про участь у маршруті відбувається на етапі побудови маршруту та проводиться за поточним станом вузла і в процесі роботи маршруту не змінюється. У САМ методі не застосовується адресне передавання даних. Перевіряється тільки інформація — ретранслює вузол пакет чи ні.

4. **Кожен вузол «має відкрити великий пакет», що забирає більше часу, ніж у разі відкриття «маленьких», службових.** Для оброблення пакета не потрібно вивчати пакет повністю, досить лише переглянути певні поля і порівняти їх з іншими значеннями. Відмінність маленьких і великих пакетів полягає в заповненні пам'яті і часі поширення по ефіру. За час, поки приймається останній біт пакета, може бути прийнято рішення про ретрансляцію.

## Висновки

Доведено, що самоорганізований алгоритм маршрутизації відповідає вимогам адаптації, самоконфігуруванню і самовідновленню мережі. До позитивних особливостей алгоритму належить знижений обсяг службового трафіку.

Зниження службового трафіку досягається через об'єднання інформаційного та службового потоків.

Визначено, що за сукупністю таких параметрів, як «затримка з кінця в кінець», пропускна здатність у мережі, затримка доступу до середовища, запропонований алгоритм ефективніший та має переваги перед стандартними протоколами, такими як AODV, DSR, OLSR.

Розглядуваний алгоритм маршрутизації самоорганізованих радіомереж за параметром завантаженості мережі службовим трафіком перевищує основні протоколи обміну інформації на 15%. Це є цілком сприятливим результатом та доводить переваги розробленого алгоритму.

## Список використаної літератури

1. *Optimization of Digital Wireless Transceiver Embedded System Built on Xilinx FPGA* / А. А. Бахтін, В. В. Барінов, К. С. Тафінцев, В. В. Литвинов // *International Workshop «Networked Embedded and Control Systems Technologies: Opportunities for US-Russia Cooperation»*. 2009 р.

2. *Chun-Chuan Yang, Li-Pin Tseng. Fisheye Zone Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks // Consumer Communications and Networking Conference. CCNC Second IEEE*. 2005.

3. **Інформаційні** матеріали електронного видання *TheInquirer* // *theinquirer.net*

4. **Самоорганізуючі**ся радіосети со сверхширокополосными сигналами: монографія / М. Е. Ильченко, С. Г. Бунин, А. П. Войтер, В. А. Романюк. Київ: Наук. думка. 2013.

5. **Інформаційні** матеріали електронного видання *Unstrung* // *unstrung.com*.

6. **Савченко О., Прокопенко Є.** Методика оцінки ефективності системи зв'язку органу охорони державного кордону: зб. наук. праць Нац. академії Держ. прикордон. служби України. 2015. № 3(65). С. 340–352.

7. **Бабенко О. Рябуха А., Костенко І.** Вибір показників ефективності системи зв'язку та радіотехнічного забезпечення авіаційної частини // *Системи обробки інформації*. 2002. № 2(18). С. 215–220.

8. **Литвинов А. Л.** Теорія систем масового обслуговування. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 142 с.

9. **Дослідження операцій: практичний курс** / В. Є. Березовський, М. М. Гузій, В. М. Дякон [та ін.]. Київ, 2011. 238 с.

10. **Дьоміна В. М.** Оптимізаційні методи і моделі. Моделювання систем масового обслуговування: конспект лекцій. Харків: ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2015. 44 с.

11. **The Intelligent Control System for infocommunication networks** / L. Berkman, O. Barabash, O. Tkachenko [et al.] // *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)* / 2020. Vol. 8. No. 5. P. 1920–1925.

В. А. Бреславский, А. А. Лаптев, А. Н. Правдивый, С. А. Зозуля

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАРШРУТИЗАЦИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ РАДИОСЕТЕЙ

Предложен усовершенствованный алгоритм маршрутизации в самоорганизующихся радиосетях, отличительными особенностями которого являются: снижение избыточности потока управляющих сигналов в сети за счет передачи функции выбора (продолжение) маршрута всех узлов ретрансляции; быстрая адаптация и самовосстановление сети по альтернативному маршруту при выходе из строя активных узлов ретрансляции. Доказано, что предложенный алгоритм по совокупности параметров имеет лучшие характеристики по сравнению с известными алгоритмами. Самоорганизованный алгоритм маршрутизации (САМ) предназначен для мобильных беспроводных самоорганизующихся сетей связи, в которых узлы имеют одинаковый статус. Функции базовых станций распределены между всеми участниками информационного взаимодействия. Алгоритм САМ является интеллектуальным, у него заложена возможность узлом самостоятельно принимать решение об участии в построении маршрута и/или восстановлении его.

**Ключевые слова:** алгоритм; самоорганизующиеся радиосети; маршрутизация; ретрансляция; узел связи; принятия решений.

V. A. Breslavskiy, O. A. Laptiev, A.N. Pravdivy, S. A. Zozulya

## DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ROUTING SELF-ORGANIZING RADIO NETWORKS

The routing algorithm in self-organizing radio channels is proponent. The following peculiarities: reduction of the overworld of the flow of critical signals in the grid for the transmission of the function of vibration (retrofitting) to the routes of all the nodes; Shows the adaptation and self-updating of the net for an alternative route when going out of the way of active retransmission universities. It has been deliver that the algorithm is protonated for the supremacy of the parameters for the reduction of the characteristics in proportion to the algorithms used. Self-organizing routing algorithm (SRA) of signs for mobile childless self-organized self-organizing links, in which universities may have the same status. The functions of the base stations distributed among the participants of the informational relationship. The SRA algorithm is intelligent, in which the possibility is laid by the university to independently decide on the fate of the route that/or is renewed. The measure, prompted in accordance with the SRA protocol, in the event that it is necessary to update the packages in the decimal universities, the form of the new session, so that it is possible to distribute information from the new universities. In case of transmission of information from a group of universities of the same university, the identifier allows the university to receive information and distribute information. In the designated algorithm, to encourage the route, the universities will only rotate the necessary fields and do not rotate the required fields, allowing the speed of an hour of processing and taking decisions about participating in the route. To process the package, it is not necessary to insert the package in one piece, to finish it without looking over the fields and adjusting the values. In the SRA algorithm for verifying the delivery of packets, the power of dipole antennas is to broadcast on all sides, so that it is possible to see any packets in the confirmation or to change a number of such packets. Fragmentation of the routing algorithm of self-organizing radio channels based on the parameter of interlocking the network traffic, changing the basic protocols of information exchange by 15%. This is general result to bring the overvoltage of developed this algorithm.

**Keywords:** algorithm; Self-organizing routing algorithm; routing; relaying; communication center; decision making.