

**В.М.ПОШТАРЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХП»;

**Д.С.БОГОМАЗ**, аспірант, НТУ «ХП»;

**К.Д.КЕРЕМЖАНОВ**, магістр, НТУ «ХП»;

**М.О.ІВАНОВ**, магістр, НТУ «ХП».

## **СХЕМА МАРШРУТИЗАЦІЇ QoS В МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ**

Проаналізовано схему одноадресної маршрутизації QoS у мережі на основі самоорганізації. Поведінка самоорганізації представлена з точки зору біо-подібних мереж та схеми одноадресної маршрутизації QoS, заснованої на алгоритмі AntNet.

A scheme of QoS unicast routing in the network based on self-organization is proposed. The behavior of self-organization represented in terms of bio-inspired networks and QoS unicast routing scheme based on the algorithm of AntNet.

Предложена схема одноадресной маршрутизации QoS в сети на основе самоорганизации. Поведение самоорганизации представлено с точки зрения био-подобных сетей и схемы одноадресной маршрутизации QoS основанной на алгоритме AntNet.

**Постановка проблеми.** Мережі на основі самоорганізації (SON – self-organization network) можуть бути використані щоб зменшити експлуатаційні витрати за рахунок зниження навантаження на експлуатаційний персонал шляхом автоматизації обслуговування та управління мережами. Вирішення проблем маршрутизації у SON, при якій забезпечується необхідна якість обслуговування є достатньо складною. Одним із перспективних напрямків пошуку алгоритмів маршрутизації може бути застосування аналогій заснованих на ройовому інтелекті.

**Аналіз літератури.** З розвитком конвергенції мережевих технологій майбутні мережі стануть дуже великими, гетерогенними та динамічними [1]. Застосування біологічно - подібних мереж може ефективно знизити просторово-часову складність формування мереж SON [2, 3]. Маршрутизація в SON повинна підтримувати якість обслуговування (QoS) та самоорганізацію [4]. Поведінка SON може бути представлена з точки зору біо-подібних мереж та схеми одноадресної маршрутизації QoS, заснованої на AntNet [7, 8].

**Метою статті** є аналіз схеми одноадресної маршрутизації QoS в мережі на основі самоорганізації.

**Початкові дані для оперування.** Розглядається SON, яка підтримує наступну динаміку самоорганізації. Вузол народжується шляхом створення та ініціалізації нового вузла. Вузлу стає відомо про середовище, що оточує його

шляхом виявлення його сусідніх ланок та сусідніх вузлів. Створення або знищення зв'язку між вузлами означає підключення або відключення сусідніх вузлів. Навантаження міграції означає розподілення навантаження між сусідніми вузлами. Клонування вузлів означає створення нових вузлів шляхом тиражування одного вузла (новий вузол може замінити клонований вузол або розподілити його навантаження). Відтворення вузлів означає створення нового вузла двома або більш вузлами (новий вузол може замінити вузли-батьки або розподілити їх навантаження). Вузол, що спить означає вхід вузла в стан енергозбереження через відсутність робочого навантаження протягом тривалого періоду. «Кома» вузла означає тимчасове припинення роботи через не фатальні помилки. Відродження вузла означає, що сплячий вузол «прокидається» й знову починає працювати сам по собі або вузол в «комі» повертається до роботи після самоцілення. Пробудження вузла означає, що сплячий вузол «пробуджується» втручанням ззовні. Відновлення вузла означає, що вузол в «комі» починає працювати завдяки зовнішньому втручанняю. Смерть вузла означає недоступність вузла через фатальну помилку.

**Локальні маршрути.** С запуском системи маршрутизації, кожний вузол буде накопичувати декілька бажаних шляхів до інших вузлів. Коли надходить запит маршрутизації, один з бажаних шляхів, який був запам'ятовано, буде використаний, якщо він вдовольняє вимогам. Вузли використовують ці бажані шляхи, як локальну мережу, а шляхи називаються локальними маршрутами. Використання локальних маршрутів може зекономити час, однак, ці шляхи можуть не бути оптимальними. Таким чином, локальні маршрути повинні бути раціонально використані, наприклад, потрібно обмежувати довжину їх шага, використовувати їх тільки тоді, коли вони закінчуються в пункті призначення, періодично оновляти їх. Якщо один локальний маршрут завжди успішно використовується при маршрутизації, система маршрутизації повинна встановити прямий зв'язок між двома кінцевими вузлами для подальшої оптимізації маршрутизації в майбутньому.

Кожний вузол складає таблицю своїх локальних маршрутів. Спочатку ця таблиця пуста. Зі старту системи маршрутизації деякі відомі шляхи поступово додаються в таблицю як локальні маршрути. Для локального маршруту обмежена лише довжина шляху. Коли локальний маршрут створюється в перший раз, лічильник його використання буде встановлений як 0. Маршрутизуючий вузол періодично сканує свою таблицю локальних маршрутів, видаляючи ті локальні маршрути, які мають 0 в графі використання та скидає кількість використань для всіх інших.

**Опис алгоритму.** Мета запропонованої схеми маршрутизації — зробити зиск обох сторін таким, що наближується або досяг Парето оптимуму за обраним шляхом в рівновазі за Нешем, в той час як потреби користувача QoS задоволені. Також є надія якомога більше знизити споживання ресурсів ме-

режі.

$$BW_{P_{sd}} \geq bw\_rq_L; \quad (1)$$

$$DL_{P_{sd}} \leq dl\_rq_H; \quad (2)$$

$$JT_{P_{sd}} \leq jt\_rq_H; \quad (3)$$

$$LS_{P_{sd}} \leq jt\_rq_H; \quad (4)$$

$$EP_{P_{sd}} \leq P_u. \quad (5)$$

Тут  $BW_{P_{sd}}$ ,  $DL_{P_{sd}}$ ,  $JT_{P_{sd}}$ ,  $LS_{P_{sd}}$ ,  $EP_{P_{sd}}$  являють собою доступну смугу пропускання, затримки, затримки джиттера, коефіцієнт помилок та вартість одиниці часу, що сплачується користувачем використовуючи  $P_{sd}$  окремо.

**AntNet.** У алгоритмі AntNet шлях знаходиться між джерелом та призначенням з використанням відправки «мурах» для пошуку шляху крок за кроком та використанням «мурах», що повертаються для оновлення таблиці маршрутизації [7]. Однак основний AntNet не підтримує QoS й відповідно доопрацювання необхідне. Крім того для вдосконалення ефективності пошуку шляху кількість «розвідувальних мурах», що працюють в мережі одночасно, повинна бути обмежена визначенням тривалості їх життя. При виконанні маршрутизації, якщо впродовж визначеного часу «мураха» не може дійти до місця призначення або йде шляхом, що не відповідає вимогам QoS, вона вмирає.

**Щільність феромону,** показник успішності маршрутизації й ступінь безпосередньої близькості адреси. Вузол  $v_c$  створює масив щільності феромону  $[PH_{d_{inj}}]_{I \times J}$ . Тут  $PH_{d_{inj}}$  є величиною щільності феромону якщо  $v_{nj}$  наступний вузол в ланцюгу  $v_c$  до пункту призначення  $v_{di}$ ,  $i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$ . Якщо  $v_{di}$  дорівнює  $v_{nj}$ , початкове значення  $PH_{d_{inj}}$  дорівнює  $SD_{nj}$ , в іншому випадку 0. Кожний раз коли  $v_{nj}$  успішно визначається в якості наступного шага маршрутизації  $v_c$  на шляху  $P_{sdi}$  від  $v_s$  до  $v_{di}$ , значення  $PH_{d_{inj}}$  зростає для зростання вірогідності вибору  $v_{nj}$  в якості наступного шагу маршрутизації у наступному пошуку. З плином часу, феромон буде випарюватися поступово та можливість вибору  $v_{nj}$  у якості наступного шагу маршрутизації буде поступово зменшуватися. Стабільність вузла також впливає на феромон. Чим більш стабільний вузол, тим більша щільність феромону повинна бути. Таким чином,  $PH_{d_{inj}}$  оновлюється наступним чином:

$$PH_{d_{inj}} = \left( PH_{d_{inj}} \cdot \rho + \frac{1}{E_{P_{sdi}}} \right) \cdot \zeta_{nj}. \quad (6)$$

Тут,  $\rho$  коефіцієнт згасання феромону,  $0 \leq \rho \leq 1$ .  $\zeta_{nj}$  – це відношення ступеню стійкості  $v_{nj}$  коли воно обрано в якості наступного шагу в цей раз порівняно до його ступеня стабільності в попередні рази.

Показник успішної маршрутизації на вузлі — це відношення кількості успішних спроб маршрутизації до загального числа спроб маршрутизації. Ступінь близькості адреси це довжина загального префіксу для двох IP-адрес до загальної довжини IP-адреси. Коли маршрутизація виконується, більш високий пріоритет повинно бути видано вузлу з більш високим рейтингом успішних маршрутизацій та який знаходиться ближче до адреси призначення. Це не тільки прискорить процес пошуку, але також допоможе зменшити кількість шагів.

**Вибір наступного шагу.** Коли визначається наступний шаг, вимоги користувача до QoS, щільність феромону вузла, показник успішності маршрутизації й ступінь близькості адреси повинні бути розглянуті всебічно. Процес відбору описується так: 1) перевірити всі сусідні адреси  $v_n$ , які з'єднані з  $v_c$  напряму або через локальний маршрут та які не на даному шляху; якщо  $v_n$  працює добре й шлях  $P_{sn}$  від  $v_s$  до  $v_n$  вдовольняє формулам (1)–(5),  $v_n$  потрапить в список кандидатів на наступний шаг  $CS$ ; 2) якщо  $CS$  порожній, перейдіть до (5); 3) якщо є будь-який сплячий сусідній вузол на шляху  $v_n$  к  $v_c$ , його буде розбуджено; якщо є будь-який сусідній вузол  $v_n$  у «комі» до  $v_c$ , адміністратор відновлює його; якщо  $P_{sn}$  вдовольняє формулам (1)–(5),  $v_n$  вноситься в  $CS$ ; 4) якщо  $CS$  не порожній, перейдіть до (5); в іншому випадку пошук наступного шагу зазнав невдачу, кінець; 5) для  $v_c$  та кожної  $v_n \in CS$ , визначають ймовірність  $PR_n$  вибору  $v_n$  та обирають  $v_n$  з найвищим  $PR_n$  в якості наступного шагу, кінець.

$$PR_n = \begin{cases} PH_{dn} \cdot AS_n \cdot SR_n \cdot E_l^C & PH_{dn} \cdot AS_n \cdot SR_n \cdot E_l^C \leq 1; \\ 1 - \frac{1}{PH_{dn} \cdot AS_n \cdot SR_n \cdot E_l^C} & PH_{dn} \cdot AS_n \cdot SR_n \cdot E_l^C > 1. \end{cases} \quad (7)$$

Тут,  $AS_n$ ,  $SR_n$  и  $E_l^C$  відповідно представляють ступінь близькості адреси  $v_n$  и  $v_d$ , показник успішної маршрутизації  $v_n$  и оціночне значення користувача до загальної кількості  $e_l$  з'єднання  $v_c$  з  $v_n$ .

**Поведінка «мурах».** Є  $AN$  «мурах» й поведінка при пошуку шляху кожного  $FA_i$  ( $i = 1, \dots, AN$ ) визначається як: 1) встановити час життя  $FA_i$  — TTL та її шлях  $PT_i = \{v_s\}$ ; 2)  $FA_i$  визначається наступний вузол у ланцюгу  $v_n$ ; якщо вибір не вдався,  $FA_i$  знищується, кінець, в іншому випадку,  $PT_i = PT_i \cup \{v_n\}$ , якщо  $v_n = v_d$ ,  $FA_i$  повертається  $BA_i$ , переходимо до пункту 5); 3)  $TTL = TTL - 1$ ; 4) якщо  $TTL \neq 0$ , переходимо 2), інакше,  $FA_i$  знижується, кінець; 5) для кожного  $v_n \in PT_i$ ,  $BA_i$  оновлює значення щільності феромону за формулою (6); якщо локальний маршрут використано  $v_n$ , збільшує свій час використання; повторювати цей шаг поки  $BA_i$  не прийде до  $v_s$ .

**Висновки.** В цьому дослідженні запропоновано схему маршрутизації QoS, що базується на ройовому інтелекті. AntNet здатна знайти QoS шлях.

**Список літератури:** 1. *T. Nakano, T. Suda* Applying Biological Principles to Designs of Network Services // Applied Soft Computing, 2007. 2. *S. Dixit, A. Sarma* Self-organization in Networks Today // IEEE Communications Magazine, 2005. 3. *S. Balasubramaniam, D. Botvich, W. Donnelly* Bio-inspired Framework for Autonomic Communication Systems» // Studies in Computational Intelligence, 2009. 4. *G. Fodor, A. Eriksson, A. Tuoriniemi* Providing Quality of Service in Always Best Connected Networks // IEEE Communications Magazine, July 2003. 5. *B. Briscoe, V. Darlagiannis, O. Heckman et al.* A Market Managed Multi-service Internet // Computer Communications, 2003. 6. *F. Kuipers, P. V. Mieghem, T. Korkmaz et al.* An Overview of Constraint-based Path Selection Algorithms for QoS Routing // IEEE Communications Magazine, 2002. 7. *G. D. Caro, M. Dorigo* AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communication Networks // Artificial Intelligence, 1998. 8. *Xingwei Wang, Xuejiao Li* Intelligent QoS Unicast Routing Scheme in SON // Northeastern University, Shenyang, 2010.

*Надійшла до редколегії 13.04.2012.*