

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ МНОЖИНИ МАРШРУТІВ, ЩО НЕ ПЕРЕТИНАЮТЬСЯ, З МАКСИМАЛЬНОЮ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ В MANET

Лемешко О.В., Єременко О.С., Євдокименко М.О., Слейман Б.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії імені
В.В. Поповського», Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна

E-mail: oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org,
oleksandra.yeremenko.ua@ieee.org,
maryna.yevdokymenko@ieee.org,
sleimanbatoul@hotmail.com

Abstract

A mathematical model for calculation of the set of disjoint paths oriented to the maximum bandwidth in multipath routing in MANET is presented. The task of calculating the set of disjoint paths was reduced to solving the optimization problem of integer linear programming focused on the bandwidth maximum in the presence of linear constraints since the routing variables are Boolean, and variables that determine the number of routes used take only integer values. The model can be used in the development of appropriate routing protocols for MANET providing Quality of Service, resilience, and network security.

У ряді важливих випадків при реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації в мережах MANET перевага може надаватися використанню шляхів, що не перетинаються, в яких спільними є лише вузли відправник і одержувач [1-7]. З точки зору забезпечення якості обслуговування, вибір шляхів, що не перетинаються, має ґрунтуватися на використанні множини маршрутів з максимальною пропускною здатністю [5]. А при забезпеченні мережної безпеки використання максимальної кількості шляхів, що не перетинаються, при багатошляховій маршрутизації потоків дозволяє істотно знизити ймовірність компрометації переданих даних [3, 4, 6, 7].

В рамках пропонованої моделі розрахунку множини маршрутів, що не перетинаються, з максимальною пропускною здатністю в MANET припустимо, що структуру мережі описує граф $G = (R, E)$, в якому $R = \{R_i; i = \overline{1, m}\}$ – множина вершин, що моделюють маршрутизатори, а $E = \{E_{i,j}; i, j = \overline{1, m}; i \neq j\}$ – множина дуг, що представляють канали зв'язку. Нехай з кожним k -м потоком пов'язано ряд функціональних параметрів: s_k – вузол-відправник; d_k – вузол-одержувач, при $k \in K$, де K – множина потоків, що передаються в мережі. В результаті розв'язання задачі розрахунку множини шляхів, що не перетинаються, з максимальною пропускною здатністю необхідно обчислити множину змінних $a_{i,j}^k$, кожна з яких визначає належність каналу зв'язку $E_{i,j} \in E$ множині розрахованих шляхів, що не перетинаються, для передачі k -го потоку. При цьому кількість керуючих змінних $a_{i,j}^k$ відповідає добутку $|K| \cdot |E|$. На маршрутні змінні $a_{i,j}^k$ накладаються обмеження виду:

$$a_{i,j}^k \in \{0; 1\}. \quad (1)$$

Крім того, мають виконуватися наступні умови для пари вузлів відправник-одержувач:

$$\sum_{j: E_{i,j} \in E} a_{i,j}^k = M_{\max}^k; \quad k \in K, \quad R_i = s_k; \quad (2)$$

$$\sum_{j: E_{j,i} \in E} a_{j,i}^k = M_{\max}^k; \quad k \in K, \quad R_i = d_k, \quad (3)$$

де $M_{\max}^k$ – цілочисельна змінна, яка характеризує кількість шляхів, що не перетинаються ($M_{\max}^k > 1$) та використовуються в ході реалізації багатошляхової маршрутизації.

Тоді для транзитних вузлів мережі ($R_i \neq s_k, d_k$) мають місце обмеження:

$$\begin{cases} \sum_{j: E_{i,j} \in E} a_{i,j}^k \leq 1, & k \in K; \\ \sum_{j: E_{j,i} \in E} a_{j,i}^k \leq 1, & k \in K; \\ \sum_{j: E_{i,j} \in E} a_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} a_{j,i}^k = 0, & k \in K. \end{cases} \quad (4)$$

Критерієм оптимальності рішень задачі розрахунку множини маршрутів, що не перетинаються, з максимальною пропускнуою здатністю в MANET обрано умову

$$J = M_{\max}^k - \sum_{E_{i,j} \in E} w_{i,j} a_{i,j}^k, \quad (5)$$

де $w_{i,j}$ – вагові коефіцієнти, які в залежності від пропускнуої здатності $\varphi_{i,j}$ (1/с) відповідних каналів зв'язку $E_{i,j} \in E$ визначаються як $w_{i,j} = 10/\varphi_{i,j}$.

Таким чином, рішення актуального наукового та практичного завдання, пов'язаного з розробкою математичної моделі розрахунку множини маршрутів, що не перетинаються, з максимальною пропускнуою здатністю в MANET, було зведено до розв'язання оптимізаційної задачі цілочисельного програмування з критерієм (5) при наявності лінійних обмежень (1)-(4), так як маршрутні змінні є булевими, а змінні, які визначають кількість використаних шляхів, приймають лише цілі значення. Модель може бути використана при розробці відповідних протоколів маршрутизації для безпроводових мереж MANET для забезпечення якості обслуговування, відмовостійкості та мережної безпеки.

Література:

1. Alouneh S., Agarwal A., En-Nouaary A. A Novel Path Protection Scheme for MPLS Networks using Multipath Routing. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. 2009. Vol. 53, No. 9. P. 1530–1545. DOI: 10.1016/j.comnet.2009.02.001.
2. Lou W., Kwon Y. H-SPREAD: A Hybrid Multipath Scheme for Secure and Reliable Data Collection in Wireless Sensor Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2006. Vol. 55, No. 4. P. 1320–1330. DOI: 10.1109/TVT.2006.877707.
3. Лемешко А. В., Еременко А. С. Усовершенствование модели безопасной маршрутизации сообщения с оптимальной балансировкой числа его фрагментов по непересекающимся маршрутам. Захист інформації. 2015. Том 17, №2. С. 135-142. DOI: 10.18372/2410-7840.17.8776.
4. Yeremenko O. S., Ali S. A. Secure Multipath Routing Algorithm with Optimal Balancing Message Fragments in MANET. Radioelectronics and Informatics. 2015. № 1 (68). P. 26–29.
5. Yeremenko O. S. Enhanced Flow-based Model of Multipath Routing with Overlapping by Nodes Paths. Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T): Proceedings of the IEEE Second International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, Ukraine, 13–15 October 2015. Kharkiv: Kharkiv National University of Radio Electronics, 2015. P. 42–45. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357264.
6. Yeremenko O., Lemeshko O., Persikov A. Secure Routing in Reliable Networks: Proactive and Reactive Approach. Advances in Intelligent Systems and Computing II, CSIT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Cham. 2018. Vol. 689. P. 631–655. DOI: 10.1007/978-3-319-70581-1_44.
7. Lemeshko O., Yeremenko O., Persikov A., Vavenko T. Mathematical Model of Calculating the Maximum Number of Disjoint Paths in Secure Routing. Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo): Proceedings of the International Conference, Odessa, Ukraine, 10-14 September, 2018. IEEE, 2018. P. 1–4.