

МОДЕЛЬ СЕГМЕНТНОЇ ІЄРАРХІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Лемешко О.В., Єременко О.С., Невзорова О.С., Гляшенко А.Є.¹

¹Кафедра інфокомунікаційної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

E-mail: oleksandr.lemeshko@nure.ua, olesandra.yeremenko@nure.ua, olena.nevzorova@nure.ua, andy.ilyashenko@gmail.com

Анотація – у даній роботі запропоновано модель сегментної ієрархічної маршрутизації в багатодоменній телекомунікаційній мережі. В основу моделі покладено декомпозиційне представлення потокової моделі маршрутизації. Новизною моделі є вдосконалення умов збереження потоку в доменах, а також умов міждоменної взаємодії.

Ключові слова – сегментна маршрутизація, телекомунікаційна мережа, принцип цільової координації, ітерація.

I. Вступ

На практиці для підвищення масштабованості рішень з управління трафіком і забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) застосовують протоколи ієрархічної маршрутизації. До числа таких рішень відносять протоколи OSPF, IS-IS, PNNI і BGP. Однак основним недоліком існуючих протокольних рішень є досить обмежений облік параметрів переданих потоків пакетів, тому що дані протоколи засновані на комбінаторних алгоритмах пошуку найкоротшого шляху на графі. У зв'язку з цим досить ефективним напрямком в розвитку засобів ієрархічної маршрутизації є перехід до поточкових моделей маршрутизації і багаторівневих методів розрахунку, що базуються на них. Тому в даній роботі пропонується подальший розвиток отриманих рішень в напрямку реалізації сегментної ієрархічної маршрутизації в багатодоменній мережі [1], [2].

II. Модель сегментної ієрархічно-координаційної маршрутизації

Нехай для розробки моделі сегментної ієрархічно-координаційної маршрутизації за основу була використана потокова математична модель, що представлена в роботі [2]. Тоді, нехай структура багатодоменної мережі буде представлена у вигляді орієнтованого графу $G = (M, E)$, де M – це множина вершин графу, що моделює маршрутизатори в мережі, а E – це множина ребер графу, що моделює канали зв'язку. Введемо додаткові позначення K – множина потоків, що циркулюють у мережі; $\tilde{K} = |K|$ – сумарна кількість потоків у мережі; λ^k – інтенсивність k -го потоку, що вимірюється в пакетах за секунду (1/с); s^k та d^k – маршрутизатори джерело та отримувач k -го потоку відповідно.

Домовимось що багатодоменна мережа складається з N взаємопов'язаних доменів, тоді кожний окремий p -й домен буде представлено у вигляді підграфу $G^p = (M^p, E^p)$ графу G , де множина векторів M^p описує маршрутизатори p -го домену, а E^p – це множина дуг підграфу, що описує канали зв'язку які з'єднують маршрутизатори p -го домену. Також введемо множину E_{in}^p ($E_{in}^p \in E^p$) що моделює канали зв'язку через які потік надходить до p -го домену; а також множину ребер графу, що моделюють канали зв'язку E_{out}^p ($E_{out}^p \in E^p$) через які потік виходить з p -го домену.

Домовимось, що протягом декомпозиції телекомунікаційної мережі на домени границя проходила по каналам

зв'язку: $E^p \cap E^q \neq 0$ та $M^p \cap M^q = 0$, тобто канали зв'язку можуть з'єднувати маршрутизатори з різних доменів.

Позначимо через $\phi_{(i,j)}^p$ пропускну здатність (1/с) каналу

зв'язку між маршрутизаторами M_i та M_j , та хоча б один з них повинен бути у p -му домені.

Тоді нехай у ході рішення задачі ієрархічно-координаційної міждоменної маршрутизації для кожного p -го домену необхідно розрахувати маршрутні змінні $x_{(i,j)}^{p,k}$, що позначають частку інтенсивності k -го потоку, що протікає в каналі $E_{i,j}^p \in E^p$. Для організації одношляхової маршрутизації до моделі вводяться обмеження $x_{(i,j)}^{p,k} \in \{0,1\}$, а для забезпечення реалізації багатошляхової маршрутизації необхідно виконати умови $0 \leq x_{(i,j)}^{p,k} \leq 1$.

Тоді, для кожного маршрутизатору p -го домену необхідно виконати умови зберігання кожного k -го потоку для забезпечення зв'язності міждоменних маршрутів. Якщо вузлом-відправником k -го потоку виступає маршрутизатор з p -го домену, то умови збереження потоку для цього домену матимуть вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k} = 1; \text{ if } M_i^p = s^k; \\ \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k} = 0, \text{ if } M_i^p \neq s^k; \\ \sum_{E_{i,j}^p \in E_{out}^p} x_{(i,j)}^{p,k} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

перша умова системи (1) охоплює всі прикордонні маршрутизатори, через які k -й потік надходить в p -й домен; друга умова вводиться для тих маршрутизаторів p -го домену, які для k -го потоку є транзитними; а третя умова в системі (1) гарантує, що весь k -й потік буде передано з p -го домену до інших [3].

Якщо вузол-отримувач k -й потоку – це маршрутизатор p -го домену, то умови збереження потоку для цього домену матимуть вигляд, де перша умова системи охоплює всі прикордонні маршрутизатори, які для k -го потоку є транзитними; друга умова повинна виконуватися для всіх приграничних маршрутизаторів, через які k -й потік убуває з p -го домену; а третя умова в системі гарантує, що весь k -й потік буде повністю передано до p -го домену з усіх інших:

$$\begin{cases} \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k} = 0, \text{ if } M_i^p \neq d^k; \\ \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k} = 1, \text{ if } M_i^p = d^k; \\ \sum_{E_{j,i}^p \in E_{in}^p} x_{(j,i)}^{p,k} = 1. \end{cases} \quad (2)$$

VI міжнародна науково-практична конференція (I Міжнародний симпозиум)
Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях
9-11 листопада 2017 р., Чернівці, Україна

Якщо p -й домен виступає в ролі транзитного домену для k -го потоку, то умови збереження потоку для цього домену матимуть вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k} = 0; \text{ if } M_i^p \in M^p; \\ \sum_{E_{i,j}^p \in E_{in}^p} x_{(i,j)}^{p,k} = \sum_{E_{i,j}^p \in E_{out}^p} x_{(j,i)}^{p,k}. \end{cases} \quad (3)$$

Крім того, з метою запобігання перевантаження каналів зв'язку p -го домену важливо виконати наступні умови:

$$\sum_{k \in K} \lambda^k x_{(i,j)}^{p,k} \leq \varphi_{(i,j)}^p, \quad p = \overline{1, N}. \quad (4)$$

Маршрутні змінні $x_{(i,j)}^{p,k}$ – це координати відповідних маршрутних векторів \vec{x}_p^k , які відповідно до проведеної структурної декомпозиції підлягають також функціональній.

При розподіленому (децентралізованому) розрахунку векторів \vec{x}_p^k в межах кожного окремого p -го домену важливо забезпечити зв'язність міждоменних маршрутів, тобто маршрутів, що проходять через кількість маршрутизаторів різних доменів. Цим обумовлено введення в структуру моделі (1) - (4) додаткових умов міждоменної взаємодії:

$$C_{q,p}^k \vec{x}_p^k = C_{p,q}^k \vec{x}_q^k, \quad p, q = \overline{1, n}, \quad p \neq q, \quad k \in K, \quad (5)$$

де $C_{q,p}^k$ – це матриця взаємодії p -го та q -го доменів; де $C_{p,q}^k$ – це матриця взаємодії q -го та p -го доменів.

Модель сегментної маршрутизації, що пропонується, базується на вирішенні оптимізаційної задачі розрахунку маршрутних змінних \vec{x}_p^k ($p = \overline{1, N}, k \in K$) при дотриманні обмежень (1)-(5) в ході використання наступного критерію оптимальності одержуваних рішень:

$$\min F, \quad F = \sum_{p \in N} \sum_{k \in K} (\vec{x}_p^k)^t H_p^k \vec{x}_p^k, \quad (6)$$

де H_p^k – діагональна матриця вагових коефіцієнтів, координатами якої, як правило, є маршрутні метрики каналів зв'язку в p -м домені; $[\cdot]^t$ – функція транспонування вектору (матриці).

Для додання шуканим рішенням властивостей ієрархічно-координаційної маршрутизації в ході рішення сформульованої оптимізаційної задачі, пов'язаної з мінімізацією вираження (6) при наявності обмежень (1)-(5), буде використаний принцип цільової координації. З використанням методу більш складна задача мінімізації рівняння (6) буде перетворено в задачу максимізації лагранжіану по множникам Лагранжу.

З причини того, що в рамках принципу цільової координації вектори множників Лагранжа розраховуються на верхньому рівні і для нижнього рівня є відомими значеннями, то вираз розрахунку лагранжіану можна декомпонувати відносно до кожного окремого домену. Таким чином, загальна проблема міждоменної маршрутизації сформульована як задача ієрархічно-координаційної дворівневої оптимізації. На нижньому ієрархічному рівні відбувається розрахунок маршрутних змінних. На верхньому рівні пропонується методу відбувається координація рішень, отриманих на нижньому рівні, з метою забезпечення виконання умов міждоменної взаємодії (5) шляхом модифікації векторів множників Лагранжа в ході виконання градієнтної ітераційної процедури. При наближенні значень координат градієнта до нуля буде забезпечуватися зв'язність міждоменних маршрутів. Ефективність запропонованого методу ієрархічно-

координаційної міждоменної маршрутизації з точки зору оптимальності та оперативності одержуваних рішень багато в чому залежить від швидкості збіжності координуючої процедури. З технологічної точки зору чим менше ітерацій потрібно для отримання шуканого оптимального рішення, тим нижче обсяг циркулюючого в мережі службового трафіку, що передається між ієрархічними рівнями про результати розрахунків на кожній з ітерацій, і час виконання завдання маршрутизації в ТКС в цілому.

III. Висновки

В роботі запропоновано модель сегментної ієрархічної маршрутизації в багатодоменній телекомунікаційній мережі. В основу моделі покладено потокову модель міждоменної маршрутизації, в якій за зв'язність міждоменних маршрутів відповідали модифіковані умови (1) - (3) та умови міждоменної взаємодії (5). Новизна запропонованої моделі також полягає в тому, що шукані міждоменні маршрути можуть проходити через довільні домени, а не як раніше лише через магістральний домен мережі. Це сприяло забезпеченню більш збалансованого використання мережевих ресурсів. На відміну від рішень, отриманих в роботах [2], у статті розглянуто випадок, коли кордон доменів проходила через канали зв'язку, а не маршрутизатори мережі, що відповідає принципам декомпозиції, реалізованим, наприклад, в протоколі IS-IS.

IV. Список літератури

- [1] Filsfils C. The Segment Routing Architecture / C. Filsfils, N. Nainar, C. Pignataro, J. Cardona, P. Francois // 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2015. – P. 1-6.
- [2] Lemeshko O. Hierarchical Method of Inter-Area Fast Rerouting / O. Lemeshko, O. Yeremenko, O. Nevzorova // Transport and Telecommunication Journal. – 18(2). – P. 155-167.
- [3] Lemeshko O. Method of Segment Hierarchical Coordination Routing in Multi-Area Network / O. Lemeshko, A. Ilyashenko, O. Nevzorova, A.M. Malallah // 2017 IEEE 2nd International Conference On Advanced Information And Communication Technologies-2017 (AICT-2017), 2017. – P. 262-265.

MODEL OF SEGMENT HIERARCHICAL ROUTING

Lemeshko O.V., Yeremenko O.S., Nevzorova O.S., Ilyashenko A.Ye. ¹
¹Department of infocommunication engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

In this paper, the model of segment hierarchical routing in multi-area network was proposed. The model based on flow-based model of inter-area routing in which for the connectivity of the inter-area routes the modified conditions (1)-(3) and (5) were accounted. The novelty of this method is that the desired inter-area routes may pass through arbitrary areas, and not, as previously, only through network core. This contributed to a more balanced usage of network resources. In contrast to the solutions obtained in the works [2], in this paper the case when the boundary of areas passed through links rather than network routers which corresponds to the principles of decomposition implemented, for example, in the IS-IS protocol was considered.

To obtain the optimal multilevel solutions of segment routing the goal coordination principle was used. Within the framework of this principle, at the lower level, part of the inter-area route was calculated in each of the areas, and the upper level was responsible for ensuring its connectivity by ensuring the fulfillment of the conditions (5) [3].