

## ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА ПОКАЗНИКОМ ЙМОВІРНОСТІ СВОЄЧАСНОЇ ДОСТАВКИ ПАКЕТІВ

Лемешко О.В., Єременко О.С.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна  
E-mail: oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua*

### **Dynamic routing model with ensuring Quality of Service over parameter of packet flows probability of timely delivery**

The dynamic model of QoS-routing has been proposed, the novelty of which is providing of required values the probability of timely delivery. The QoS-routing problem has been reduced to solution of the corresponding optimization problem associated with provision of QoS over the probability of timely delivery of packet flows in dependence on the infocommunication network type.

Основним завданням в інфокомунікаційних системах є надання міжкінцевої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) користувачам. При цьому процес маршрутизації є одним з рішень щодо підтримки необхідного рівня QoS за множиною показників [1, 2]. Сучасні протоколи маршрутизації можуть виконувати інтегрований облік QoS-параметрів з використанням композитних маршрутних метрик, але мають обмежені можливості при використанні. Таким чином, пропонується динамічна модель QoS маршрутизації при забезпеченні якості обслуговування за показником ймовірності своєчасної доставки пакетів при багатошляховій маршрутизації в залежності від заданого типу обслуговування.

В рамках моделі багатошляхової маршрутизації структура мережі описується однорозмірною мережею  $S = (U, V)$ , де  $U = \{u_i, i = \overline{1, m}\}$  – множина вузлів мережі (маршрутизаторів), а  $V = \{v_z = (i, j); z = \overline{1, n}; i, j = \overline{1, m}; i \neq j\}$  – множина дуг (каналів зв'язку). При цьому  $z$ -й канал зв'язку, що з'єднує  $i$ -й та  $j$ -й маршрутизатори, моделюється дугою  $v_z = (i, j) \in V$ . Пропускна здатність  $\Phi(i, j)$  відома для кожного каналу  $(i, j)$  і вимірюється в пакетах за секунду (1/с).

Для визначення частки інтенсивності  $k$ -го потоку ( $k \in K$ , де  $K$  – множина потоків в мережі) від  $i$ -го до  $j$ -го вузла через відповідний  $j$ -й інтерфейс в багатопотоковій моделі повинні бути обчислені маршрутні змінні  $x_{(i, j)}^k$ . Крім того, мають бути виконані умови збереження потоку для вузлів мережі (відправника, отримувача та транзитних вузлів) для запобігання перевантаження [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = 1, \quad k \in K, \quad i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = 0, \quad k \in K, \quad i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = -1, \quad k \in K, \quad i = d_k, \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $s_k$  – вузол відправник, а  $d_k$  – вузол отримувач для  $k$ -го потоку.

Стратегія багатошляхової маршрутизації в моделі реалізується на основі обмежень  $0 \leq x_{(i,j)}^k \leq 1$ , які накладаються на керуючі (маршрутні) змінні. Також мають місце обмеження на використання пропускної здатності каналів зв'язку:

$$\sum_{k \in K} \lambda_{req}^k x_{(i,j)}^k \leq \Phi(i,j), \quad (i,j) \in E, \quad (2)$$

де  $\lambda_{req}^k$  – середня інтенсивність  $k$ -го потоку, що надходить до мережі.

В запропонованій моделі використовується стаціонарна потокова точкова апроксимація PSFFA M/G/1 (Point wise Stationary Fluid Flow Approximation) [3], а саме її окремий випадок M/M/1, в якості моделі динаміки змін стану інтерфейсу маршрутизатора мережі. Згідно з цією апроксимацією, динаміка середньої затримки пакетів на інтерфейсі маршрутизатора описується за допомогою наступних диференціальних рівнянь стану [2, 3]:

$$\frac{d\tau_{(i,j)}^p(t)}{dt} = 1 - \Phi_{(i,j)}^p \left( \frac{\tau_{(i,j)}^p(t)}{\lambda_{(i,j)}^p \tau_{(i,j)}^p(t) + 1} \right), \quad (3)$$

де  $\lambda_{(i,j)} = \sum_{k \in K} \lambda_{req}^k \cdot x_{(i,j)}^k$  – сумарна інтенсивність потоків в каналі  $(i,j)$ .

Пропонується ймовірність своєчасної доставки  $k$ -го потоку пакетів  $P_{TD}^k$  визначати як:

$$P_{TD}^k = \frac{T(\tau_{MP}^k \leq \tau_{req}^k)}{T_U}, \quad (4)$$

де  $T_U$  – таймер оновлення маршрутних таблиць;  $\tau_{MP}^k$  – середня міжкінцева багатошляхова затримка, розрахована для  $k$ -го потоку таким чином

$$\tau_{MP}^k = \sum_{i \in I^k} x_{p_i}^k \tau_{p_i}^k, \quad (5)$$

де  $x_{p_i}^k$  – частка інтенсивності  $k$ -го потоку в маршруті  $p_i$  з множини усіх маршрутів  $I^k$ , обчислених для передачі цього потоку;  $\tau_{p_i}^k$  – середня міжкінцева затримка пакетів  $k$ -го потоку в маршруті  $p_i$ . Більше того, наступна

умова повинна бути виконана в разі різних вимог потоків, що передаються, по відношенню до ймовірності своєчасної доставки:

$$P_{TD}^k \geq \delta_{TD}^k \cdot P_{TD}^{k req}, \quad (6)$$

де  $\delta_{TD}^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ - му потоку необхідно гарантувати своєчасну доставку;} \\ 0, & \text{в іншому випадку;} \end{cases}$

$P_{TD}^{k req}$  – необхідне значення ймовірності своєчасної доставки для  $k$ -го потоку.

Залежно від типу мережі сформульовані такі критерії оптимальності для забезпечення QoS за ймовірністю своєчасної доставки. Наприклад, в мережі оператора зв'язку наступна цільова функція повинна бути зведена до мінімуму з метою знаходження маршрутних змінних:

$$J_1 = \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k \in K} h_{(i,j)}^x \cdot \lambda_{req}^k \cdot x_{(i,j)}^k, \quad (7)$$

де  $h_{(i,j)}^x$  – маршрутна метрика каналу зв'язку  $(i, j)$ . У той час як в корпоративних мережах пропонується використовувати інший тип критерію оптимальності, пов'язаний з максимізацією цільової функції:

$$J_2 = \sum_{k \in K} w_k P_{TD}^k, \quad (8)$$

де  $w_k = (IP_{pr}^k + 1)$  – ваговий коефіцієнт, який визначається пріоритетом  $IP_{pr}^k$  пакетів  $k$ -го потоку. В IP мережі в разі використання для пріоритезації 3 біт IP precedence в заголовку IP пакета значення  $IP_{pr}^k$  змінюються від 0 до 7, тоді як для DSCP (Differentiated Services Code Point) пріоритетів  $IP_{pr}^k$  – від 0 до 63.

В запропонованій моделі вдалося звести задачу QoS-маршрутизації до розв'язання оптимізаційної задачі забезпечення QoS за ймовірністю своєчасної доставки потоків пакетів в залежності від типу інфокомунікаційної мережі (операторської або корпоративної). Модель може бути використана як основа для відповідного нового протоколу маршрутизації, що в умовах високої динаміки стану мережі забезпечило б його ефективну роботу.

### Література

1. Szigeti, T. End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks. 2nd edition [Text] / T. Szigeti, C. Hattingh, R. Barton, K. Briley. – Cisco Press, 2013. – 1040 p.
2. Lemeshko O. Design of QoS-Routing Scheme under the Timely Delivery Constraint [Text] / O. Lemeshko, O. Yeremenko, Ahmad M. Hailan // 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic (CADSM), 21-25 February 2017. – Polyana-Svalyava (Zakarpatty), Ukraine. – P. 97-99.
3. Yeremenko, O. S. Investigation of Queue Utilization on Network Routers by the Use of Dynamic Models [Text] / O. S. Yeremenko, T. M. Lebedenko, T. V. Vavenko, M. V. Semenyaka // 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015. – P. 46–49. doi: 10.1109/infocommst.2015.7357265.