

МОДЕЛЬ ШВИДКОЇ ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЇ ІЗ ЗАХИСТОМ РІВНЯ QoS У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

Лемешко О.В., Євдокименко М.О., Єременко О.С., Мерсні А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
E-mail: oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org, maryna.yevdokymenko@ieee.org,
oleksandra.yeremenko.ua@ieee.org, elmersniamal@gmail.com

Fast ReRoute Model with the protection of QoS level in the telecommunication network

The flow-based model of Fast ReRoute in a telecommunication network with QoS protection under multiple parameters, such as bandwidth, probability of packet loss, and average end-to-end delay is presented. Formulation of the conditions for the provision and protection of a given level of QoS according to these indicators in the analytical form was possible on the basis of the use of the tensor methodology.

Для підвищення рівня надійності надання телекомунікаційних послуг у сучасних мультисервісних мережах важливе місце відводиться протоколам відмовостійкої маршрутизації, а саме засобам швидкої перемаршрутизації, коли поруч з розрахунком основного шляху визначається і резервний маршрут [1, 2]. В роботі пропонується модель швидкої перемаршрутизації із захистом рівня QoS, в рамках якої структура мережі описується одновимірною мережею $S = (U, V)$, де $U = \{u_r, r = \overline{1, m}\}$ – 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 моделюється дугою $v_z = (i, j) \in V$. Пропускна здатність $\varphi_{i,j}$ відома для кожного каналу (i, j) і вимірюється в пакетах за секунду (1/c).

Результатом розв'язання задачі швидкої QoS перемаршрутизації є розрахунок двох типів маршрутних змінних – $x_{i,j}^k$ та $\bar{x}_{i,j}^k$, кожна з яких характеризує частку інтенсивності k -го потоку в каналі зв'язку (i, j) , що входить до основного або резервного шляху відповідно; K – множина потоків в мережі. Стратегія багатопляхової маршрутизації в моделі реалізується на основі обмежень $0 \leq x_{i,j}^k \leq 1$ та $0 \leq \bar{x}_{i,j}^k \leq 1$, які накладаються на керуючі змінні.

Крім того, мають бути виконані умови збереження потоку на вузлах, які враховують ймовірні втрати пакетів, викликані перевантаженням черг [2]:

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

де s_k – вузол відправник; d_k – вузол одержувач для k -го потоку; ε^k – частка k -го потоку, обслугованого мережею за допомогою основного шляху; $p_{i,j}^k$ – ймовірність втрат пакетів k -го потоку на j -му інтерфейсі i -го вузла при його використанні основним маршрутом. Аналогічні умови (2) накладаються на маршрутні змінні резервного шляху.

В роботі [2] пропонується ряд умов, що відповідають за реалізацію схем захисту елементів мережі при відмовостійкій багатошляховій маршрутизації. При цьому захист каналу зв'язку мережі $v_z = (i, j) \in V$ реалізується як:

$$0 \leq \bar{x}_{i,j}^k \leq \delta_{i,j}^k, \text{ де } \delta_{i,j}^k = \begin{cases} 0, & \text{при захисті каналу зв'язку } (i, j) \in V; \\ 1, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

Також мають місце обмеження щодо запобігання перевантаження пропускної здатності каналів зв'язку (умови захисту пропускної здатності):

$$\sum_{k \in K} \lambda_{req}^k \cdot \max[x_{i,j}^k, \bar{x}_{i,j}^k] \leq \phi_{i,j}, \quad (i, j) \in V, \quad (3)$$

де λ_{req}^k – середня інтенсивність k -го потоку (1/с), що надходить до мережі.

Умови захисту такого QoS-показника як ймовірність втрат пакетів k -го потоку в мережі мають наступний вигляд:

$$1 - \varepsilon^k \leq p_k^{\langle req \rangle} \text{ та } 1 - \bar{\varepsilon}^k \leq p_k^{\langle req \rangle}, \quad (4)$$

де $p_k^{\langle req \rangle}$ – QoS-вимоги щодо граничних допустимих значень ймовірності втрат пакетів k -го потоку в мережі.

З метою забезпечення міжкінцевої QoS перейдемо до тензорної моделі телекомунікаційної мережі (ТКМ) [1], структура якої визначає дискретний n -вимірний простір, де n – число каналів зв'язку в мережі. ТКМ розглядається в двох ортогональних системах координат (СК): гілок мережі $\{v_k, k = \overline{1, n}\}$, а також лінійно незалежних контурів $\{\pi_i, i = \overline{1, \mu}\}$ і вузлових пар $\{\eta_j, j = \overline{1, \phi}\}$, $\mu(S) = n - m + 1$ – цикломатичне число, а $\phi(S) = m - 1$ – ранг мережі, які визначають відповідно кількість базисних контурів і вузлових пар в мережі S . Тоді в разі моделювання функціонування інтерфейсу маршрутизаторів мережі СМО М/М/1/Н метрика простору буде представлена тензором G , координати проекції якого в СК гілок, представлені діагональними елементами матриці G_v розміру $n \times n$ і віднесені до кожного потоку в мережі, будуть розраховуватися так [1]:

$$g_v^{zz} = \frac{\lambda_z (1 - \rho_z^{N+1}) (1 - \rho_z) \lambda_v^z}{\rho_z - \rho_z^{N+2} - (N+1) \rho_z^{N+1} (1 - \rho_z)}, \quad (5)$$

де λ_v^z – інтенсивність аналізованого потоку в z -му каналі зв'язку при використанні наскрізної нумерації каналів. Проекції тензора G при зміні СК його розгляду перетворюються як [1]:

$$G_{\pi\eta} = A^t G_v A, \quad (6)$$

де $G_{\pi\eta}$ – проекція тензора G в СК контурів і вузлових пар, A – $n \times n$ матриця коваріантного координатного перетворення [1], $[\cdot]^t$ – оператор транспонування, $[\cdot]^{-1}$ – оператор обернення матриці.

Як показано в [1], матрицю $G_{\pi\eta}$ можна представити таким чином:

$$G_{\pi\eta} = \left\| \begin{array}{c|c} G_{\pi\eta}^{\langle 1 \rangle} & G_{\pi\eta}^{\langle 2 \rangle} \\ \hline G_{\pi\eta}^{\langle 3 \rangle} & G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle} \end{array} \right\|, \quad G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle} = \left\| \begin{array}{c|c} G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle} & G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \\ \hline G_{\pi\eta}^{\langle 4,3 \rangle} & G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \end{array} \right\|,$$

де $G_{\pi\eta}^{\langle 1 \rangle}$ і $G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle}$ – квадратні підматриці розміру $\mu \times \mu$ і $\phi \times \phi$ відповідно, $G_{\pi\eta}^{\langle 2 \rangle}$ – підматриця розміру $\mu \times \phi$, $G_{\pi\eta}^{\langle 3 \rangle}$ – підматриця розміру $\phi \times \mu$; $G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle}$ – перший елемент матриці $G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle}$.

Тоді умови забезпечення якості обслуговування для кожного k -го потоку за вимогами щодо параметрів середньої затримки τ_{req}^k , швидкості передачі λ_{req}^k та ймовірності втрат пакетів $p_k^{\langle req \rangle}$ приймають вид [1]:

$$\varepsilon^k \leq G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \left[G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \right]^{-1} \Lambda_{\eta-1} + \left(G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle} - G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \left[G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \right]^{-1} G_{\pi\eta}^{\langle 4,3 \rangle} \right) \tau_k^{\langle req \rangle}. \quad (7)$$

В ході розв'язання задачі швидкої перемаршрутизації із захистом рівня QoS у ТКМ пропонується використовувати критерій оптимальності:

$$J = \sum_{k \in K} (c^k \varepsilon^k + \bar{c}^k \bar{\varepsilon}^k) \rightarrow \max, \quad (8)$$

де $c_{i,j}^k$ і $\bar{c}_{i,j}^k$ – вагові коефіцієнти щодо пріоритетності k -го потоку. Таким чином, вдалося звести задачу швидкої QoS перемаршрутизації до розв'язання оптимізаційної задачі нелінійного програмування.

Література

1. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M. Tensor Model of Fault-Tolerant QoS Routing with Support of Bandwidth and Delay Protection // 2018 XIIIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2018. – P. 135-138.
2. Лемешко, О.В. Розробка та дослідження лінійної оптимізаційної моделі швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах / О.В. Лемешко, О.С. Єременко // Радиоелектроника и информатика. – 2017. – № 4 (79). – С. 18–25.