

## ТЕНЗОРНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СПРИЙМАННЯ КОРИСТУВАЧАМИ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ПОТОКУ

**Лемешко О.В., Євдокименко М.О.**

*Харківський національний університет радіоелектроніки*

*E-mail: oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org, marina.ievdokymenko@nure.ua*

### Tensor model of quality of experience routing

Tensor model for multipath routing with guaranteed the quality of Experience (QoE) is proposed. The novelty of the model consists in the updated version of flow conservation law, which is taking into account the possible packet loss caused by buffer overflow at the network routers. The accounting such losses is related to revise conditions associated with the quality of service. By using tensor approach analytical boundary conditions were obtained. The conditions allow ensuring different parameters of the quality of service (rate, average delay and packet loss probability) at the same time.

Однією з основних вимог, що висувається до інфокомунікаційних мереж, є надання послуг гарантованої якості обслуговування незалежно від типу інформації, що передається. З цією метою необхідно узгодити оцінки користувача про якість отриманих послуг та якість роботи мережі, що становить основу системного підходу до якості обслуговування [1-3]. Тому, виникає актуальна задача щодо формулювання в аналітичному вигляді умов по забезпеченню якості наданої послуги кінцевим користувачам в умовах реалізації багатопляхової стратегії маршрутизації та їх впровадження в існуючу математичну модель.

В рамках запропонованої моделі маршрутизації для обліку можливих втрат пакетів на вузлах мережі умова збереження потоку має вигляд [4]:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k = 1 \text{ при } k \in K, i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k (1 - p_{(j,i)}^k) = 0 \text{ при } k \in K, i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k (1 - p_{(j,i)}^k) = \varepsilon^k \text{ при } k \in K, i = d_k, \end{cases} \quad (1)$$

де  $K$  – множина потоків в мережі;  $s_k$  – вузол-відправник;  $d_k$  – вузол-одержувач для пакетів  $k$ -го потоку;  $\varepsilon^k$  – частка  $k$ -го потоку, що обслуговується мережею, тобто пакети, які успішно доставлені до вузла-одержувача.

З урахуванням можливих втрат пакетів інтенсивність потоку в каналі в рамках введених вище позначень розраховується як

$$\lambda_{(i,j)} = \sum_{k \in K} \lambda_k^{(eum)} x_{(i,j)}^k (1 - p_{(i,j)}^k), \quad (2)$$

де  $\lambda_k^{(eum)}$  – середня інтенсивність  $k$ -го потоку, що надходить в мережу на обслуговування, яка задає QoS-вимоги по швидкості передачі пакетів.

Для реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації з балансуванням навантаження на керуючі змінні накладаються обмеження виду

$$0 \leq x_{(i,j)}^k \leq 1. \quad (3)$$

Для забезпечення керованості процесом боротьби з перевантаженням каналів і черг в структуру моделі вводяться наступні обмеження:

$$\sum_{k \in K} \lambda_k^{(eum)} x_{(i,j)}^k (1 - p_{(i,j)}^k) < \phi_{(i,j)}, \quad (i, j) \in E, \quad (4)$$

де  $\phi_{(i,j)}$  – пропускна здатність  $j$ -го інтерфейсу  $i$ -го вузла.

Для оцінки та перевірки виконання вимог щодо наданої якості отриманих послуг кінцевими користувачами, згідно рекомендацій G.109 та Y.1540 [2, 3] використовується наступне обмеження на рівні QoE:

$$R \geq R_{eum}, \quad (5)$$

де  $R$  – рейтинг якості (Quality Rating).

Наприклад, в результаті вимоги користувача до наскрізної якості наданої послуги передачі мови при заданому типі термінального обладнання і використовуваному кодеку в загальному вигляді можуть бути записані наступним чином [2]:

$$R_0 - I_{dd}(T_a) - I_{e-eff}(P_{pl}) \geq R_{eum}, \quad (6)$$

де  $I_{dd}(T_a)$  – коефіцієнт зниження якості, обумовлений тривалою затримкою в мережі, а  $I_{e-eff}(P_{pl})$  – вплив втрати пакетів на якість передачі мови, які, в свою чергу, розраховуються за формулами:

$$I_{dd}(T_a) = \begin{cases} 0, & T_a \leq 100 \text{ мс}; \\ 25 \left[ (1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3 \left( 1 + \left[ \frac{X^6}{3} \right]^{\frac{1}{6}} \right) \right] + 2, & \text{при } T_a > 100 \text{ мс}; \end{cases} \quad \text{та } I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}}.$$

В рамках тензорного опису інфокомунікаційної мережі в умовах реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації [5-6], ймовірність доставки пакетів  $P_{pl}$  та середня затримка  $T_a$  із кінця в кінець може бути розрахована, як:

$$P_{pl} = \frac{\sum_{j=2}^{\phi} \lambda_{\eta}^j}{\lambda^{(вум)}}, \quad \text{та} \quad T_a = \frac{\lambda^{вум} \varepsilon - G_{\pi\eta}^{(4,2)} [G_{\pi\eta}^{(4,4)}]^{-1} \Lambda_{\eta-1}}{\left( G_{\pi\eta}^{(4,1)} - G_{\pi\eta}^{(4,2)} [G_{\pi\eta}^{(4,4)}]^{-1} G_{\pi\eta}^{(4,3)} \right)} \quad (7)$$

де  $\Lambda_{\eta-1}$  – вектор інтенсивностей втрачених пакетів на інтерфейсах маршрутизаторів з координатами  $\lambda_{\eta}^j$ ;  $G_{\pi\eta}^{(4,1)}$ ,  $G_{\pi\eta}^{(4,2)}$ ,  $G_{\pi\eta}^{(4,3)}$ ,  $G_{\pi\eta}^{(4,4)}$  – проекція тензора  $G$  в системі координат контурів і вузлових пар для заданої інфокомунікаційної мережі.

В ході розв’язання задачі маршрутизації в якості критерію оптимальності одержуваних рішень обрано умову, пов’язану з максимізацією загальної продуктивності інфокомунікаційної мережі:

$$\max_{x, \varepsilon} \left[ \sum_{k \in K} \lambda_k^{(вум)} \varepsilon^k \right]. \quad (8)$$

*Висновки.* Таким чином, запропонована математична модель (1)-(8) багатошляхової маршрутизації з забезпеченнями QoE. Завдяки тензорній формалізації моделі вдалося отримати в аналітичному вигляді умови забезпечення якості обслуговування на рівні користувача (6)-(7). Крім того, в рамках запропонованого рішення забезпечується однакова мінімальна затримка пакетів для всіх розрахованих шляхів. Результати розрахунку підтвердили ефективність моделі з точки зору реалізації багатошляхової маршрутизації з підтримкою функцій QoE.

## References

1. ITU-T G.109. Amendment 1 New Appendix I – The E-model-based quality loops for predicting speech transmission quality and user satisfaction from time-varying transmission impairments, 2007.
2. ITU-T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters, 2016.
3. ITU-T Y.1541. Network performance objectives for IP-based services, 2011.
4. A.V. Lemeshko, O.Yu. Evseeva, and S.V. Garkusha, “Research on Tensor Model of Multipath Routing in Telecommunication Network with Support of Service Quality by Greater Number of Indices,” 2014 Telecommunications and RadioEngineering (BegellHouse), Vol.73, No 15, pp. 1339-1360.
5. O.V. Lemeshko, and O.S. Yeremenko, “Dynamics Analysis of Multipath QoS-Routing Tensor Model with Support of Different Flows Classes,” 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), 12-14 Oct. 2016, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia, pp. 225-230.
6. O. Lemeshko, O. Yevsieieva, M. Yevdokymenko. Tensor Flow-Based Model of Quality of Experience Routing // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018. – pp.1-4.