

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕНЗОРНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОПИСУ ДИНАМІКИ ЗМІНИ СТАНУ МЕРЕЖІ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Лемешко О.В., Єременко О.С.

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

Specifics of using the tensor approach to representation of network state change dynamics with ensuring Quality of Service

Proposed and investigated dynamic tensor model of QoS-routing over multiple metrics based on geometrization and tensor generalization of differential equations of network state, which adequately describe network links utilization and average packet delays. Results of research demonstrated that the use of dynamic tensor model allows more precisely calculate the values of average packet delay, especially under high utilization of network interfaces.

Відмінною ознакою сучасних телекомунікаційних мереж (ТКМ) є висока динамічність процесів інформаційного обміну. Стан мережі (завантаженість її інтерфейсів, затримки пакетів) змінюється в реальному масштабі часу: за десятки – сотні мілісекунд. Тому перспективні протоколи та механізм управління трафіком повинні ґрунтуватися виключно на динамічних моделях стану мережі. Перш за все це стосується моделей, які описують процеси маршрутизації та управління чергами на мережних інтерфейсах. В зв'язку з цим пропонується динамічна тензорна модель ТКМ, що описує процес багато шляхової маршрутизації із забезпеченням якості обслуговування одночасно за множиною показників QoS.

В рамках моделі багатошляхової маршрутизації структура ТКМ 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 дуга $v_z = (i, j) \in V$ моделює z -й канал зв'язку (КЗ), що з'єднує i -й і j -й маршрутизатори. Вважається, що пропускна здатність $\varphi_{(i,j)}$ відома для кожного каналу (i, j) і вимірюється в пакетах за секунду (1/с).

Результатом розв'язання задачі маршрутизації буде розрахунок множини маршрутних змінних $x_{(i,j)}^{k_p}$, кожна з яких характеризує частку інтенсивності k -го потоку p -го класу ($p = \overline{1, P}$, $k_p \in K_p$, $K_p \in K$, де K – множина потоків в мережі, а K_p – множина потоків p -го класу) від i -го вузла до j -го вузла через відповідний j -й інтерфейс.

З метою запобігання перевантаженню в кожному з вузлів і ТКМ в цілому необхідно виконання умови збереження потоку для вузлів відправник та

отримувач, а також транзитних вузлів, відповідно, що може бути представлено у вигляді [1]:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^{k_p} = 1, k_p \in K_p, i = s_{k_p}; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^{k_p} - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^{k_p} = 0, k_p \in K_p, i \neq s_{k_p}, d_{k_p}; \\ \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^{k_p} = -1, k_p \in K_p, i = d_{k_p}, \end{cases} \quad (1)$$

де s_{k_p} – вузол відправник, а d_{k_p} – вузол отримувач для k -го потоку p -го класу.

Для реалізації стратегії багатошляхової маршрутизації з балансуванням навантаження на керуючі (маршрутні) змінні накладаються наступні обмеження

$$0 \leq x_{(i,j)}^{k_p} \leq 1. \quad (2)$$

Передумовою для керованості процесу маршрутизації є запобігання перевантаження КЗ за пропускною здатністю, тобто умова $\rho < 1$ (де $\rho = \lambda/\phi$ – завантаженість КЗ):

$$\sum_{k_p \in K_p} \lambda_{req}^{k_p} x_{(i,j)}^{k_p} \leq y_{(i,j)}^p \phi_{(i,j)}, \quad (i,j) \in E, \quad (3)$$

де $\lambda_{req}^{k_p}$ – середня інтенсивність k -го потоку p -го класу, що надходить до мережі; $y_{(i,j)}^p$ – керуюча змінна, яка характеризує частку пропускної здатності $\phi_{(i,j)}$, що виділяється для потоків p -го класу ($0 \leq y_{(i,j)}^p \leq 1$). Це значення є необхідною швидкістю передачі пакетів – однією з метрик QoS.

У ході розв'язанні наведеної маршрутної задачі мінімізується цільова функція наступного вигляду:

$$J = \sum_{(i,j) \in E} \sum_{p \in P} \sum_{k_p \in K_p} h_{(i,j)}^{x_p} \cdot x_{(i,j)}^{x_p} + \sum_{(i,j) \in E} \sum_{p \in P} h_{(i,j)}^{y_p} \cdot y_{(i,j)}^p, \quad (4)$$

де $h_{(i,j)}^{x_p}$ – маршрутна метрика каналу зв'язку між i -м та j -м вузлами ТКМ; $h_{(i,j)}^{y_p}$ – метрика розподілу пропускної здатності за потоками різних класів.

З метою отримання тензорної моделі ТКМ була представлена анізотропною просторовою структурою, утвореною множиною контурів і вузлових пар. Розмірність цього простору визначається загальною кількістю КЗ в мережі. В рамках тензорного узагальнення в якості моделі динаміки змін стану інтерфейсу маршрутизатора ТКМ була обрана математична модель, заснована на використанні системи нелінійних диференціальних рівнянь стану мережі, отриманих за допомогою стаціонарної потокової точкової апроксимації (Pointwise Stationary Fluid Flow Approximation, PSFFA) [2]. Згідно цієї апроксимації середня затримка пакетів на інтерфейсі маршрутизатора змінюється наступним чином:

$$\frac{d\tau_{(i,j)}^p(t)}{dt} = 1 - \phi_{(i,j)}^p \left(\frac{\tau_{(i,j)}^p(t)}{\lambda_{(i,j)}^p \tau_{(i,j)}^p(t) + 1} \right), \quad (5)$$

де $\varphi_{(i,j)}^p = y_{(i,j)}^p \varphi_{(i,j)}$ – пропускна здатність каналу (i, j) , що виділяється для потоків p -го класу; $\lambda_{(i,j)}^p = \sum_{k_p \in K_p} \lambda_{req}^{k_p} \cdot x_{(i,j)}^{x_p}$ – сумарна інтенсивність потоків p -го класу в каналі (i, j) .

В результаті геометризації структури ТКМ, ґрунтуючись на тензорному узагальненні виразу (5), тензорна метрика стала функцією часу та для кожного КЗ має наступний вигляд:

$$g_v^{ij}(t) = \lambda_v^i(\varphi - \lambda) \cdot [(\varphi \cdot W(0, -(\lambda \cdot \exp(-(\lambda + (t - (\lambda + \varphi \cdot \ln(\exp(-(\lambda \cdot (\tau_0 \lambda - \tau_0 \varphi + 1)) / \varphi) \cdot (\tau_0 \lambda - \tau_0 \varphi + 1)))) / (\varphi - \lambda)^2) \cdot (\varphi - \lambda)^2 / \varphi)) / \varphi)) / \lambda + 1]^{-1}, \quad (6)$$

де $W(\cdot)$ – W-функція Ламберта; $\exp(\cdot)$ – експоненціальна функція; τ_0 – середня затримка на інтерфейсі маршрутизатора в початковий момент часу.

Тоді в рамках тензорної моделі при розв'язанні задачі забезпечення QoS в ТКМ при заданих кількісних вимогах щодо середньої затримки та швидкості передачі пакета аналітичні умови забезпечення QoS наступні:

$$\lambda^{req} \leq \left(G_{\pi_1}^{(4,1)}(t) - G_{\pi_1}^{(4,2)}(t) \left[G_{\pi_1}^{(4,4)}(t) \right]^{-1} G_{\pi_1}^{(4,3)}(t) \right) \tau_{req}, \quad (7)$$

де форма та зміст матриць $G_{\pi_1}^{(\dots)}(t)$ залежать від структури мережі, пропускних здатностей КЗ та дисциплін обслуговування пакетів [3, 4].

Результати дослідження запропонованої динамічної тензорної моделі показали, що за її допомогою вдалося більш точно розрахувати значення середньої затримки пакетів, особливо в умовах високої завантаженості інтерфейсів мережі. Так, наприклад, при завантаженості інтерфейсів $\rho=0,63\dots 0,82$ похибка складала від 15% до 40%, що на практиці супроводжується, як правило, неефективним перерозподілом мережного (канального та буферного) ресурсу між потоками різних класів.

Література

1. Lemeshko A.V., Evseeva O.Yu., Garkusha S.V. Research on Tensor Model of Multipath Routing in Telecommunication Network with Support of Service Quality by Greater Number of Indices // Telecommunications and RadioEngineering, 2014, Vol.73, No 15. - P. 1339-1360.
2. Wei-Ping Wang, David Tipper, Sujata Banerjee. A Simple Approximation for modeling Nonstationary Queues // Proceedings of the Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies (INFOCOM '96). – 1996. – V.1. – P. 255–262.
3. Olexandr V. Lemeshko, Sergey V. Garkusha, Oleksandra S. Yeremenko, Ahmad M. Hailan Policy-based QoS Management Model for Multiservice Networks / O.V. Lemeshko, S.V. Garkusha, O.S. Yeremenko, A.M. Hailan // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Omsk: Omsk State Technical University, Russia, Omsk, May 21–23, 2015. – PP. 1–4.
4. Lemeshko O., Yeremenko O. Dynamic presentation of tensor model for multipath QoS-routing // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the international Conference TCSET'2016. – Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 26, 2016: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. – PP. 601-604.