

Стрелковська І.В., докт. техн. наук, проф. (Тел. +380-48-705-04-39. E-mail: i.strelkovskaya@inbox.ru. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, м. Одеса)

Соловська І.М., доц. (Тел. +380-48-705-02-53. E-mail: i.solovskaya@onat.edu.ua Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, м. Одеса)

МАРШРУТИЗАЦІЯ В МЕРЕЖІ MPLS-TE З ДОДАТКОВИМИ НАПРЯМКАМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТРАФІКУ

Анотація

Стрелковська І.В., Соловська І.М. Маршрутизація в мережі MPLS-TE з додатковими напрямками передавання трафіку.

Текст анотації. Запропоновано використання вузлового тензорного методу для рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE з додатковими напрямками передавання трафіку. Виконано вибір додаткового напрямку маршрутизації трафіку за критерієм мінімального часу доставки пакетів з метою забезпечення збалансованого завантаження та відмовостійкості мережі.

Ключові слова: вуловий тензорний метод, маршрутизація трафіку, додатковий напрям маршрутизації, час затримки пакетів.

Аннотация

Стрелковская И.В., Соловская И.Н. Маршрутизация в сети MPLS-TE с дополнительными направлениями передачи трафика.

Текст аннотации. Предложено использование узлового тензорного метода для решения задачи маршрутизации в сети MPLS-TE с использованием дополнительных направлений передачи трафика. Выполнен выбор дополнительного направления маршрутизации трафика по критерию минимального времени доставки пакетов с целью обеспечения сбалансированной загрузки и отказоустойчивости сети.

Ключевые слова: узловой тензорный метод, многопутевая маршрутизация трафика, дополнительное направление маршрутизации, время задержки пакетов.

1. Вступ та постановка завдання

Характерною особливістю розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є впровадження концептуально нової транспортної мережі на базі технології багатопротокольної комутації за мітками MPLS (MultiProtocol Label Switching), яка дозволяє забезпечити передачу пакетного трафіку з підтримкою характеристик якості обслуговування QoS (Quality of Service) та шляхом використання концепції інжинірингу трафіку TE (Traffic Engineering) вирішити завдання забезпечення ефективного використання доступних ресурсів мережі. Збалансоване завантаження ресурсів мережі MPLS-TE досягається, насамперед, вибором оптимального маршруту проходження трафіку, використанням процедур резервування та розподілення навантаження мережі, балансування трафіку та використанням механізмів запобігання перевантажень та відмовостійкості [1,2].

Функціонування мережі MPLS-TE базується на використанні маршрутів передавання трафіку за допомогою односпрямованих тунелів TE-tunnel, що об'єднують послідовність маршрутизаторів LSR (Label Switch Router), обраних з врахуванням максимальної завантаженості ресурсів мережі та виконання вимог QoS. Для відмовостійкої маршрутизації в мережі MPLS-TE використовується швидка перемаршрутизація пакетів Fast ReRoute (FRR), яка в разі відмови маршруту дозволяє спрямувати трафік по запасному, попередньо сконфігурованому TE-tunnel, обраному за критерієм мінімального часу затримки пакетів [1-2].

Рішення задач маршрутизації трафіку в мережі MPLS-TE націлені на вибір оптимального маршруту проходження трафіку за умов раціонального завантаження мережних ресурсів, а ефективність їхнього рішення оцінюється підтримкою нормативних значень характеристик якості QoS. Одним із рішень, яке дозволяє забезпечити збалансоване завантаження ресурсів мережі та її відмовостійкість є організація додаткових (обхідних) напрямків маршрутизації трафіку. Саме під час експлуатації мережі часто виникає необхідність розвантаження окремих маршрутів, завантаженість яких є досить значною. Тоді можливо задіяти додатковий, попередньо зконфігурований маршрут з метою балансування трафіку та за умови підтримки необхідного рівня якості обслуговування QoS. Тому рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE з додатковими напрямками передавання трафіку вважається авторами актуальним.

2. Аналіз літературних джерел

Рішення поставленої задачі раніше частіше виконувалося за допомогою методів теорії телетрафіку та теорії графів. Зазвичай ці задачі з різним ступенем детальності розв'язувалися незалежно одна від одної. В роботі [3] проведено огляд технологічних та теоретичних рішень задач багатошляхової маршрутизації трафіку та доведено, що у порівнянні з іншими, найбільшої уваги заслуговують тензорні методи маршрутизації трафіку. Тензорні методи дозволяють враховувати потоковий характер трафіку, в рамках єдиного тензорного методу одночасно досліджувати структурні характеристики та функціональні властивості мережі та задовольняти потреби щодо відповідних характеристик якості обслуговування QoS. В роботі [4] авторами було розглянуто тензорну модель телекомунікаційної мережі у системах координат контурів та вузлових пар. Отримані результати динаміки зміни міжкінцевої затримки пакетів та ймовірності своєчасної затримки пакетів та їхнього джитера для різних структур мережі. Раніше авторами в роботі [5] отримані рішення задачі управління трафіком в мережі MPLS-TE з використанням вузлового тензорного методу.

Тому доцільно використовувати вузловий тензорний метод, який дозволяє при умові відомих значень інтенсивностей трафіку трактів мережі і довжини вихідної пакетної черги, вирішувати значний клас задач маршрутизації трафіку для мереж різних топологій та технологій шляхом вибору певної послідовності мережних вузлів за заданим критерієм – часом затримки пакетів з врахуванням особливостей структури і функціонування мережі [6,7].

3. Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є вирішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE за допомогою організації додаткових маршрутів передавання трафіку. Організація попередньо зконфігурованих маршрутів передавання трафіку дозволяє розвантажити окремі маршрути та забезпечити балансування трафіку в мережі MPLS-TE за умови підтримки необхідного рівня якості обслуговування QoS. Це дозволяє забезпечити збалансоване завантаження ресурсів мережі та відмовостійку маршрутизацію при умові ефективного використання доступних мережних ресурсів.

4. Рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE з додатковими напрямками передавання трафіку

Розглянемо рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE за допомогою вузлового тензорного методу, при умові, коли між мережевими вузлами крім основних маршрутів, існують додаткові маршрути передачі трафіку, які дозволяють виконати балансування трафіку та запобігти можливих перевантажень та відмов маршрутів. Зважаючи на те, що додатковий маршрут повинен розраховуватися одночасно з основним на структурній схемі мережі MPLS-TE (рис. 1) задамо як основні, так і додаткові напрямки маршрутизації трафіку.

Згідно [3-4], фрагмент мережі MPLS-TE задамо у вигляді мультиграфу $G(N, V)$, де $N = \mathbb{N}_j, j = 1, 6$ – множина вершин, які представлені вузлами мережі – маршрутизаторами LSR,

а $V = \{v_i, i = \overline{1,17}\}$ – множина дуг, які моделюють гілки мережі, представлені трактами мережі, десять з яких $(v_1 - v_{10})$ є основними, а сім $(v_{11} - v_{17})$ – додатковими.

Раніше, в роботах авторів [5,6], вихідну структуру мережі розглядали у вигляді простого графа (скінченного графу без петель і кратних ребер). В розглядаємій мережі MPLS-TE існують додаткові напрямки, тому використовується мультиграф, який дозволяє описувати мережу, в якій одну і ту саму пару вершин з'єднує декілька дуг [7,8]. В даній роботі для опису структури складної мережі MPLS-TE замість простого графу використовується мультиграф, для якого вузловий тензорний метод має застосування.

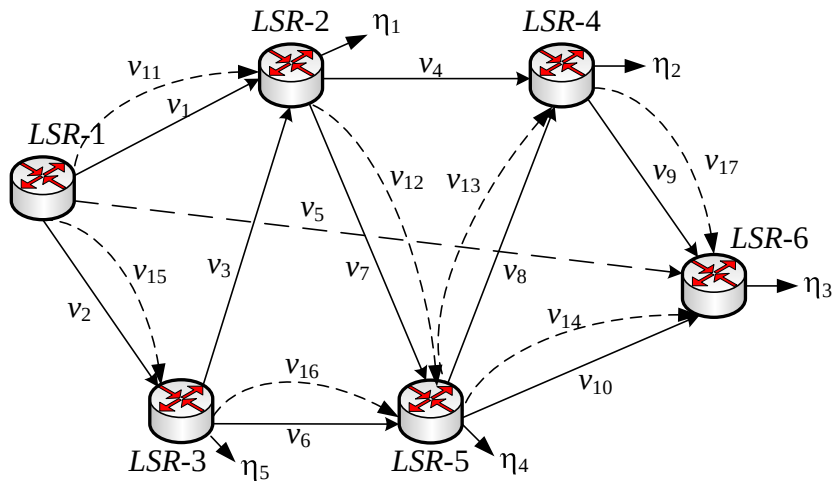


Рис.1. Структурна схема мережі MPLS-TE з додатковими напрямками передавання трафіку у вигляді мультиграфу

Вважаємо, що передача трафіку виконується в напрямку від маршрутизатора LSR N_1 мережі MPLS-TE до маршрутизатора LSR N_6 (на структурній схемі напрямок показаний штрихпунктирною лінією). Задамо основні маршрути TE-tunnel передавання трафіку в мережі $N_1 \rightarrow N_6$ (v_5), $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ (v_1, v_4, v_9), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ (v_2, v_6, v_{10}), $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ (v_1, v_7, v_{10}), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ (v_2, v_3, v_7, v_{10}), $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ (v_1, v_7, v_8, v_9), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ (v_2, v_3, v_7, v_8, v_9), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ (v_2, v_6, v_8, v_9) та додаткові (показані пунктирними лініями) $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ ($v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{17}$), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ (v_{15}, v_{16}, v_{14}), $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ (v_{11}, v_{12}, v_{14}), $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ ($v_{15}, v_{16}, v_{13}, v_{17}$).

Знайдемо часові затримки пакетів в трактах T_v та на маршрутизаторах LSR T_η мережі MPLS-TE, коли між мережними вузлами (маршрутизаторами LSR) існують, як основні, так і додаткові маршрути TE-tunnel передачі трафіку, використовуючи вузловий тензорний метод, який запропонований авторами в роботах [5,6,9].

Згідно [5,6], запишемо базисну матрицю вузлових пар B_η згідно структури розглядаємої мережі у вигляді мультиграфу, яка складається з основних та додаткових напрямків (рис.1):

$$B_\eta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Відомі інтенсивності трафіку L_v (тис. пак/с) в трактах мережі, які задані в табл. 1.

Таблиця 1 – Середні інтенсивності трафіку в трактах мережі

Номер тракту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Інтенсивність трафіку L_v , тис. пак/с	700	900	300	500	0	400	400	600	900
Номер тракту	10	11	12	13	14	15	16	17	
Інтенсивність трафіку L_v , тис. пак/с	1000	400	500	300	300	500	400	300	

Задамо довжину вихідної пакетної черги, яка передається від маршрутизатора LSR N_1 до маршрутизатора LSR N_5 представлена компонентами тензора середньої довжини пакетної черги H_v^+ :

$$H_v^+ = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 150 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для знаходження часових затримок пакетів в трактах T_v та на маршрутизаторах LSR T_η мережі MPLS-TE, використовуємо формулу Літтла, яка згідно [5,6] в тензорному поданні має вигляд:

$$h_i = l^{i\alpha} \tau_{i\alpha}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де h_i – середня довжина пакетної черги в i -тому тракті, l^i – середня інтенсивність трафіку в i -тому тракті, τ_i – середній час затримки пакетів в i -тому тракті, n – кількість трактів, α – індекс підсумування.

Запишемо інваріантне рівняння (3) представлене в тензорному вигляді згідно [5,6] в системах координат (СК) гілок та вузлових пар мережі:

$$H_v = L_v T_v, \quad H_\eta = L_\eta T_\eta, \quad (4)$$

де H_v, H_η – коваріантні тензори середньої довжини пакетної черги в СК гілок та вузлових пар відповідно, T_v, T_η – коваріантні тензори середніх затримок передачі пакетів в СК гілок та вузлових пар відповідно, а L_η – контраваріантний тензор середніх інтенсивностей трафіку в СК вузлових пар мережі.

Тензор часу затримки пакетів T_η на маршрутизаторах LSR визначається з виразу (4), як:

$$T_\eta = \begin{pmatrix} \cdot \end{pmatrix}_\eta^{\supset 1} H_\eta. \quad (5)$$

Перетворення проекцій тензорів при зміні СК виконуються згідно [5,6]:

$$T_v = B_\eta^t T_\eta, \quad H_\eta = B_\eta H_v^+, \quad L_\eta = B_\eta L_v B_\eta^t, \quad (6)$$

де B_η – матриця базисних вузлових пар, H_v^+ – тензор вихідної пакетної черги в СК гілок мережі.

Аналогічно [5,6], визначимо завантаженість маршрутизаторів LSR мережі при передачі вихідної пакетної черги, виконавши розрахунок проекцій тензора довжини пакетної черги H_η у СК вузлових пар мережі. Згідно рівняння (6) та заданих виразом (1) базисної матриці вузлових пар B_η і виразом (2) тензора середньої довжини пакетної черги H_v^+ отримаємо:

$$H_{\eta} = \begin{pmatrix} 0 & 150 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Знайдемо тензор середніх інтенсивностей трафіку L_{η} , компоненти якого в СК вузових пар визначають середні інтенсивності трафіку кожного маршрутизатора LSR мережі. Використовуючи рівняння (6) та відомі середні інтенсивності трафіку L_v в трактах мережі з табл. 1 і базисну матрицю вузових пар B_{η} задану виразом (1) отримуємо:

$$L_{\eta} \approx \begin{pmatrix} 2800 & -500 & 0 & -900 & -300 \\ -500 & 2600 & -1200 & -900 & 0 \\ 0 & -1200 & 2500 & -1300 & 0 \\ -900 & -900 & -1300 & 3900 & -800 \\ -300 & 0 & 0 & -800 & 2500 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Використавши вирази (5), (7) та (8), знайдемо значення середнього часу затримки пакетів на кожному мережному маршрутизаторі LSR виконавши розрахунок проєкцій тензора T_{η} у СК вузових пар:

$$T_{\eta} \approx 10^{-3} \begin{pmatrix} 0,622 & 0,507 & 0,488 & 0,469 & 0,225 \\ 0,504 & 1,219 & 0,999 & 0,796 & 0,316 \\ 0,488 & 0,999 & 1,323 & 0,852 & 0,331 \\ 0,469 & 0,796 & 0,852 & 0,903 & 0,345 \\ 0,225 & 0,316 & 0,331 & 0,345 & 0,538 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 150 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0,073 \\ 0,149 \\ 0,198 \\ 0,128 \\ 0,049 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Знайдемо час затримки пакетів для кожного тракту мережі згідно виразам (1), (6) та (9), виконавши розрахунок проєкцій тензора T_v у СК гілок мережі. Результати розрахунків зведемо в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення середніх тривалостей затримки пакетів в трактах мережі

Номер тракту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Час затримки пакетів T_v , с	0,073	0,049	0,023	0,077	0,198	0,078	0,055	0,022	0,049
Номер тракту	10	11	12	13	14	15	16	17	
Час затримки пакетів T_v , с	0,071	0,073	0,055	0,022	0,071	0,049	0,078	0,049	

Результати розрахунків значень середнього часу затримки пакетів T_{η} в маршрутизаторах LSR мережі MPLS-TE та трактах, які їх з'єднують для мережі з додатковими напрямками передавання трафіку показані на рис. 2.

Враховуючи, що значення часу затримки пакетів є адитивним вздовж відповідного маршруту [5,6], знайдемо час затримки пакетів в мережі MPLS-TE в тунелях TE-thunnel для всіх заданих маршрутів передавання трафіку, як основних, так і додаткових. Тоді в тунелі TE-thunnel в напрямку від маршрутизатора LSR N_1 до маршрутизатора LSR N_5 , який має нульову завантаженість, час затримки пакетів становить $\tau_{v5} \approx 0,198$ с.

Відповідно, для основних маршрутів передавання трафіку в мережі MPLS-TE між маршрутизаторами LSR в тунелях TE-thunnel час затримки пакетів становить: $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v1-v4-v9} \approx 0,198$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{v2-v6-v10} \approx 0,198$ с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{v1-v7-v10} \approx 0,198$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{v2-v3-v7-v10} \approx 0,198$ с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v1-v7-v8-v9} \approx$

0,198 с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v2-v3-v7-v8-v9} \approx 0,198$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v2-v6-v8-v9} \approx 0,198$ с. Для заданих додаткових маршрутів передавання трафіку в мережі MPLS-TE в тунелях TE-thunnel час затримки пакетів становить: $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v11-v12-v13-v17} \approx 0,198$ с, $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{v15-v16-v14} \approx 0,198$, $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{v11-v12-v14} \approx 0,198$ с, $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{v15-v16-v13-v17} \approx 0,198$ с.

Таким чином, отримані значення часу затримок пакетів в мережі MPLS-TE між маршрутизаторами LSR в тунелях TE-thunnel для різних маршрутів доставки трафіку між заданими парами вузлів є однаковим та дорівнює 0,198 с. Відмітимо, що за допомогою вузлового тензорного методу отримані однакові значення часу затримки пакетів для окремих трактів, які мають додаткові напрямки передавання. Наприклад, $\tau_{v1} \approx \tau_{v11} \approx 0,073$ с, $\tau_{v2} \approx \tau_{v15} \approx 0,049$ с, $\tau_{v6} \approx \tau_{v16} \approx 0,078$ с, $\tau_{v7} \approx \tau_{v12} \approx 0,055$ с, $\tau_{v8} \approx \tau_{v13} \approx 0,022$ с, $\tau_{v9} \approx \tau_{v17} \approx 0,049$ с та $\tau_{v10} \approx \tau_{v14} \approx 0,071$ с. Це дає можливість стверджувати, що використання додаткових напрямів передавання трафіку для обраних напрямків передавання трафіку з різною завантаженістю, дозволяє отримати однакові значення часу затримки пакетів для основного та додаткового напрямку передавання.

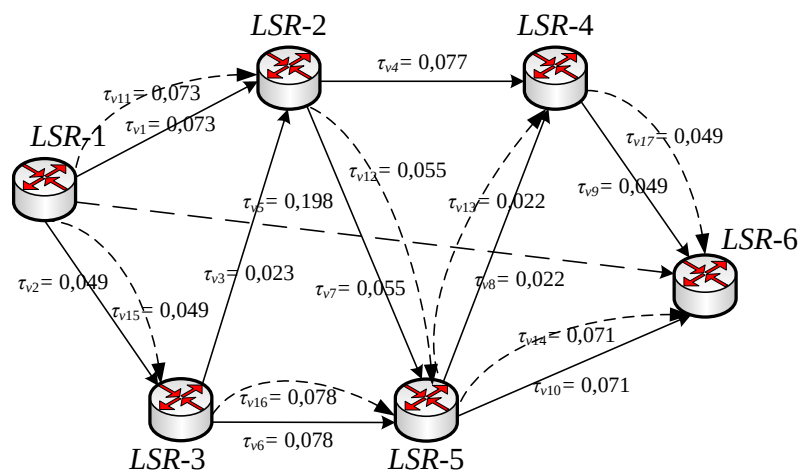


Рис.2. Результати розрахунків часу затримки пакетів в мережі MPLS-TE з додатковими маршрутами передавання трафіку

Відомо, що при визначенні часу затримки пакетів вздовж маршруту передавання трафіку в мережі MPLS-TE необхідно також враховувати не тільки час затримки пакетів в мережних трактах, а враховувати також значення часу затримки в вузлах мережі (маршрутизаторах LSR). Безумовно, значення часу затримки пакетів в вузлах мережі MPLS-TE залежить від функціональних особливостей обладнання (об'ємів буферних пристроїв, механізмів організації та обслуговування черг в буферних пристроях), використовуємих протоколів та інших факторів. Однак, саме затримки пакетів у вузлах мережі значно впливають на результуючі значення характеристик якості обслуговування QoS.

Тому визначимо значення часу затримок пакетів у заданих маршрутах передавання трафіку в мережі MPLS-TE з додатковими напрямками з урахуванням отриманих значень часу затримки пакетів T_{η} в маршрутизаторах LSR, які отримані за допомогою виразу (9).

Для заданих основних маршрутів передавання трафіку час затримки пакетів $\tau_{затр}$ з врахуванням затримки у мережних вузлах становить: $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,491$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,376$ с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,399$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,449$ с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,549$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,599$ с;

$N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,526$ с. Для заданих додаткових маршрутів передавання трафіку час затримки $\tau_{\text{затр}}$ з врахуванням затримки у мережних вузлах становить: $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,549$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,376$, $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,399$ с, $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,526$ с.

Таким чином, отримані значення часу затримок пакетів у заданих маршрутах передавання трафіку з врахуванням затримки в мережних маршрутизаторах LSR, як для основних, так і додаткових маршрутів (наприклад, для маршруту $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ як з додатковими маршрутами, так і без них, час затримки є однаковим і становить $\tau_{\text{затр}} \approx 0,376$ с).

5. Рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE за умов відсутності додаткових напрямків передавання трафіку

Проведемо порівняння результатів маршрутизації трафіку в мережі MPLS-TE за критерієм значення часу затримки пакетів для заданих маршрутів за умов наявності в мережі додаткових маршрутів передавання трафіку та їхньої відсутності.

Розглянемо структуру мережі MPLS-TE за умов відсутності додаткових напрямків передавання трафіку. В якості вихідних даних використовуємо вихідну структурну схему мережі MPLS-TE з десятима трактами передавання, що показана на рис. 3. Фрагмент вихідної мережі MPLS-TE (рис. 1) задамо у вигляді графу $G(N, V)$, де $N = \{N_j, j=1,5\}$ – множина вершин, які представлені вузлами мережі – маршрутизаторами, а $V = \{v_i, i=1,10\}$ – множина дуг, які моделюють гілки мережі, представлені трактами мережі.

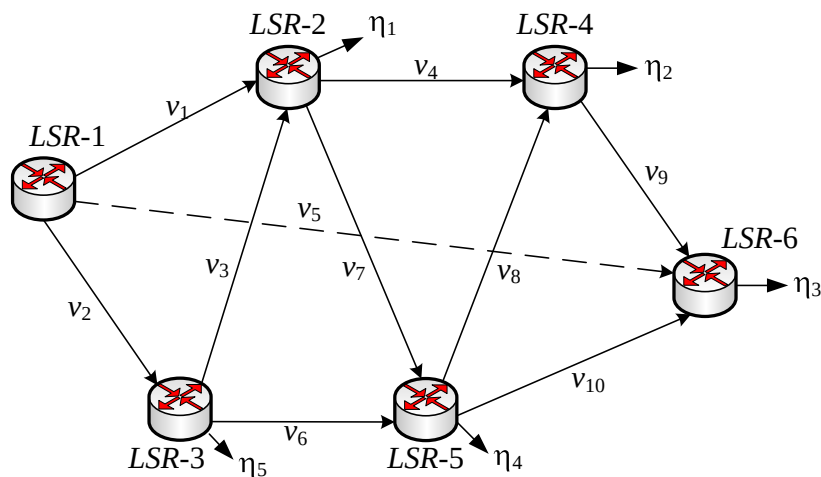


Рис.3. Структурна схема мережі MPLS-TE

Також в якості вихідних даних використовуються відповідні дані значень середніх інтенсивностей трафіку L_v (тис. пак/с), які задані в табл. 1 і довжина вихідної пакетної черги від маршрутизатора LSR N_1 до маршрутизатора LSR N_6 задана виразом (2).

Згідно проведених розрахунків (2-9) отримані значення часу затримки пакетів між заданими парами вузлів за умов відсутності додаткових напрямків маршрутизації, які становлять $\tau \approx 0,299$ с та є однаковим для усіх напрямків передавання трафіку. При цьому воно є більшим, ніж для мережі з додатковими напрямками передавання трафіку.

Для заданих основних маршрутів передавання трафіку час затримки пакетів $\tau_{\text{затр}}$ з врахуванням затримки у мережних вузлах становить: $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,645$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,589$ с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx 0,630$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6$ $\tau_{\text{затр}} \approx$

0,706 с; $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,859$ с; $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,935$ с;
 $N_1 \rightarrow N_3 \rightarrow N_5 \rightarrow N_4 \rightarrow N_6$ $\tau_{затр} \approx 0,818$ с.

Результати розрахунків значень середнього часу затримки пакетів в маршрутизаторах LSR мережі MPLS-TE та трактах, які їх з'єднують за умов відсутності додаткових напрямків маршрутизації показані на рис. 4.

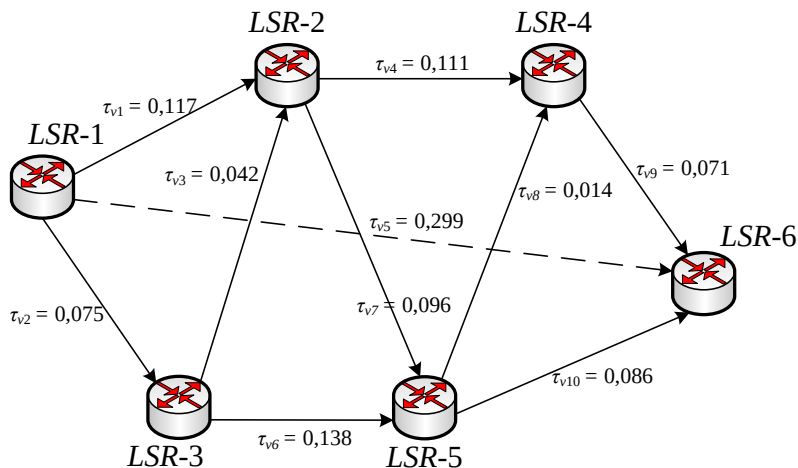


Рис.4. Результати розрахунків часу затримки пакетів в мережі MPLS-TE за умов відсутності додаткових напрямків маршрутизації

Висновки

1. Показано, що застосування вузлового тензорного методу можливе для складної структури мережі MPLS-TE, яка має додаткові напрямки передачі трафіку та описується мультиграфом.

2. Розглянуто рішення задачі маршрутизації в мережі MPLS-TE з додатковими маршрутами передавання трафіку за допомогою вузлового тензорного методу, яке дозволило отримати зменшення часу затримки пакетів вздовж заданих маршрутів TE-thunnel передавання трафіку:

– для мережі з додатковими маршрутами передавання трафіку отримано значення однакових затримок пакетів для різних маршрутів доставки трафіку між заданими парами вузлів, яке становить $\tau \approx 0,198$ с;

– для мережі в якій відсутні додаткові напрямки передавання трафіку значення часу затримки пакетів становить $\tau \approx 0,299$ с;

3. При використанні вузлового тензорного методу в рішенні задачі маршрутизації для мережі з додатковими напрямками передавання трафіку з різною завантаженістю отримано однакові значення часу затримки пакетів як для основного, так і для додаткового напрямку передавання.

Література

1. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: [підруч. для вищ. навч. закл.] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.В. Резніченко. – К: САММІТ-КНИГА, 2010. – 640 с.
2. Захватов М. Построение виртуальных частных сетей (VPN) на базе технологии MPLS/ Захватов М.: Cisco Systems, 2007. – С. 4-18.
3. Евсеева О.Ю. Обзор технологических и теоретических решений в области маршрутизации на основе качества обслуживания [Электронный ресурс] / О.Ю. Евсеева, С.В. Гаркуша // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 3 (8). – С. 24 – 46. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/3/1/123_evseeva_review.pdf.

4. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю., Гаркуша С.В. Результаты исследования тензорной модели многопутевой маршрутизации с обеспечением качества обслуживания в телекоммуникационных сетях // Вестник Южно-Уральского государственного университета: Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Т.13, №4. – 2013. – С. 38-54.

5. Стрелковская И.В. Решение задач управления трафиком в сетях MPLS-TE с использованием тензорных моделей // И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская, Смаглюк Г.Г. // Цифрові технології. Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 8. – С. 57-65.

6. Стрелковская И.В. Использование тензорного метода при расчете ТКС, представленной узловой сетью [Электронный ресурс] / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Проблеми телекомунікацій. – 2010. – № 1 (1). – С. 68-75. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_strelkovskaya_tensor.pdf

7. Дискретна математика: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / [І.В. Стрелковська, А.Г. Буслаєв, О.М. Харсун та ін.]. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 196 с.

8. Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Наука, 1987. – 384 с.

9. Стрелковська І.В. Рішення задач маршрутизації для різних структур мереж за допомогою вузлового тензорного методу / І.В. Стрелковська, В.В. Андріяш // Третя міжнародна наук.-практ. конф. Молодих вчених «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє»: матеріали конф., Одеса, 17-18 жовтня 2013 р. Ч. I: збірник тез. – Одеса: ОНАЗ, 2013. – С. 161-165.