

УДК 004.7–047.58:656.2

В. М. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖИНІРИНГУ ТРАФІКА В КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ УКРЗАЛІЗНИЦІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ MPLS TE

Мета. На залізничному транспорті України необхідним є використання комп'ютерних мереж різних технологій: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI та інших. В об'єднаннях комп'ютерних мереж на залізничному транспорті доцільним є використання технології швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах MPLS (MultiProtocol Label Switching), що заснована на використанні міток. Мережі з комутацією пакетів повинні передавати різні види трафіку із заданою якістю обслуговування. Метою дослідження є розробка методики визначення послідовності призначення потоків для розглянутого фрагменту комп'ютерної мережі Укрзалізниці (УЗ). **Методика.** При оптимізації управління трафіком в мережах MPLS важливу роль відіграє технологія інжинірингу трафіка (Traffic Engineering, TE). Основний механізм TE в MPLS – використання односпрямованих тунелів (MPLS TE tunnel) для завдання шляху проходження певного трафіку. Складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE. Комп'ютерна мережа УЗ представлена зваженим орієнтованим графом, вершинами якого є маршрутизатори комп'ютерної мережі, а кожна дуга моделює зв'язок між вузлами. В якості критерію оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів. **Результати.** Знайдено шість варіантів призначення потоків, визначена раціональна послідовність потоків, при якій значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів розглянутого спрощеного фрагменту комп'ютерної мережі УЗ не перевищує 0,5. **Наукова новизна.** Запропоновано методику рішення задачі інжинірингу трафіка в багатопротокольній комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE; для різних класів будується свій шлях у залежності від смуги пропускання та завантаження каналу. **Практична значимість.** Встановлена можливість визначення значення максимального коефіцієнта використання TE-тунелів у комп'ютерних мережах УЗ на основі розробленої програмної моделі «*TraffEng*». Вхідні параметри моделі: кількість маршрутизаторів, пропускна здатність каналів, кількість потоків, середня швидкість потоків. В якості результату роботи моделі «*TraffEng*» подаються варіанти вибору TE-тунелів із відповідними значеннями максимальних коефіцієнтів їх використання.

Ключові слова: технологія MPLS TE; інжиніринг трафіку; швидкість потоку; пропускна здатність; коефіцієнт використання; TE-тунель

Вступ

Сьогодні на залізничному транспорті України безперечно наявність комп'ютерних мереж різних технологій (Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI та інші) [7–9], тому в складених мережах доцільним є використання технології швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах MPLS (MultiProtocol Label Switching), яка базується на використанні міток. Крім того, мережі з комутацією пакетів повинні передавати різні види трафіка із заданою якістю обслуговування, максимально використовуючи можливості своїх ресурсів [1–5]. Однак, для цього їм потрібно змінити деякі підходи до вибору маршрутів, що стали вже традиційними. Основним принципом роботи протоколів маршрутиза-

ції в мережах з комутацією пакетів ось вже довгий час є вибір маршруту на основі топології мережі без урахування інформації про її поточне завантаження. Для кожної пари «адреса джерела – адреса призначення» такі протоколи вибирають єдиний маршрут [6], не беручи до уваги інформаційні потоки, що протікають через мережу. У результаті всі потоки між парами кінцевих вузлів мережі йдуть за найкоротшим маршрутом (відповідно до деякої метрики).

Мета

Розробити методику визначення послідовності призначення потоків для розглянутого фрагмента комп'ютерної мережі УЗ.

Методика

У технології MPLS будь-який переданий пакет асоціюється з тим чи іншим класом мережного рівня (Forwarding Equivalence Class, FEC) [10–13], кожен з яких ідентифікується певною міткою. Значення мітки унікально лише для ділянки шляху між сусідніми вузлами мережі MPLS, які називаються маршрутизаторами з комутацією по мітках (Label Switching Router, LSR) [6]. Розподіл міток між LSR призводить до встановлення всередині домену MPLS шляхів з комутацією по мітках (Label Switching Path, LSP). Усі функції класифікації пакетів за різними FEC, а також реалізацію таких додаткових сервісів, як фільтрація, явна маршрутизація, вирівнювання навантаження та керування трафіком беруть на себе граничні LSR [6]. Кожен з класів FEC обробляється окремо від інших. Оскільки для різних класів будується свій шлях залежно від смуги пропускання та завантаження каналу, то пакети, що приходять на один маршрутизатор, але мають різний клас обслуговування, підуть по різних шляхах [3].

При оптимізації управління трафіком в мережах MPLS важливу роль відіграє технологія інжинірингу трафіка (Traffic Engineering, TE) [6], ефективність якої підтверджується тим, що багато мережних засобів управління трафіком удосконалюються на її принципах, підтвердженням тому є протоколи резервування ресурсів RSVP-TE, LDP-TE, протоколи маршрутизації IS-IS-TE, OSPF-TE. Можливості управління трафіком в мережі MPLS реалізуються за допомогою технології TE за рахунок вибору оптимального маршруту проходження трафіка, використання процедур розподілу завантаження мережі та балансування трафіка [1–4]. Основний механізм TE в MPLS – використання однострамованих тунелів (MPLS TE tunnel) для завдання шляху проходження певного трафіка, оскільки тунелі однострамовані, то зворотний шлях може бути зовсім іншим [2].

У технології MPLS TE шляхи LSP прийнято називати TE-тунелями, що прокладаються відповідно з технікою маршрутизації від джерела, коли централізовано задаються проміжні вузли маршруту. Ініціатором завдання маршруту для TE-тунелю виступає початковий вузол тунелю, а розраховуватися такий маршрут може як цим же початковим вузлом, так і зовнішньою, стосовно мережі, програмною системою або адмі-

ністратором. MPLS TE підтримує тунелі двох типів [6]: суворий TE-тунель (визначає всі проміжні вузли між двома граничними пристроями); вільний TE-тунель (визначає тільки частину проміжних вузлів від одного граничного пристрою до іншого, а інші проміжні вузли вибираються пристроєм LSR самостійно).

У цій роботі складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE, як критерій оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів.

Постановка задачі. Комп'ютерна мережа УЗ може бути подана зваженим орієнтованим графом $G = (R, L)$, де R – множина вершин графа, кількість яких дорівнює N , причому кожна вершина моделює собою вузол (маршрутизатор) комп'ютерної мережі; L – множина дуг графа, кожна дуга моделює зв'язок між вузлами, кількість дуг графа дорівнює M . Розглянутий спрощений фрагмент комп'ютерної мережі УЗ та наведений на рис. 1. Кожному ребру графа присвоюється певна вага, яка відповідає пропускній спроможності (максимальний обсяг даних, переданий мережею в одиницю часу):

$$C = \{c_{ij}\}, \quad (1)$$

де c_{ij} – пропускна спроможність каналу між i та j вузлами комп'ютерної мережі УЗ. Обмеженнями, що подані у вигляді рівнянь, виступають умови зберігання потоку в кожному вузлі мережі, які для структури комп'ютерної мережі УЗ, що зображена на рис. 1, мають такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{1,2} + x_{1,4} = b^s; \\ -x_{1,2} + x_{2,3} + x_{2,6} = 0; \\ -x_{2,3} + x_{3,10} = 0; \\ -x_{1,4} + x_{4,5} = 0; \\ -x_{4,5} + x_{5,6} = 0; \\ -x_{5,6} - x_{2,6} + x_{6,7} = 0; \\ -x_{6,7} + x_{7,8} = 0; \\ -x_{7,8} + x_{8,9} = 0; \\ -x_{8,9} + x_{9,10} = 0; \\ -x_{3,10} - x_{9,10} = -b^s; \end{array} \right. \quad (2)$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

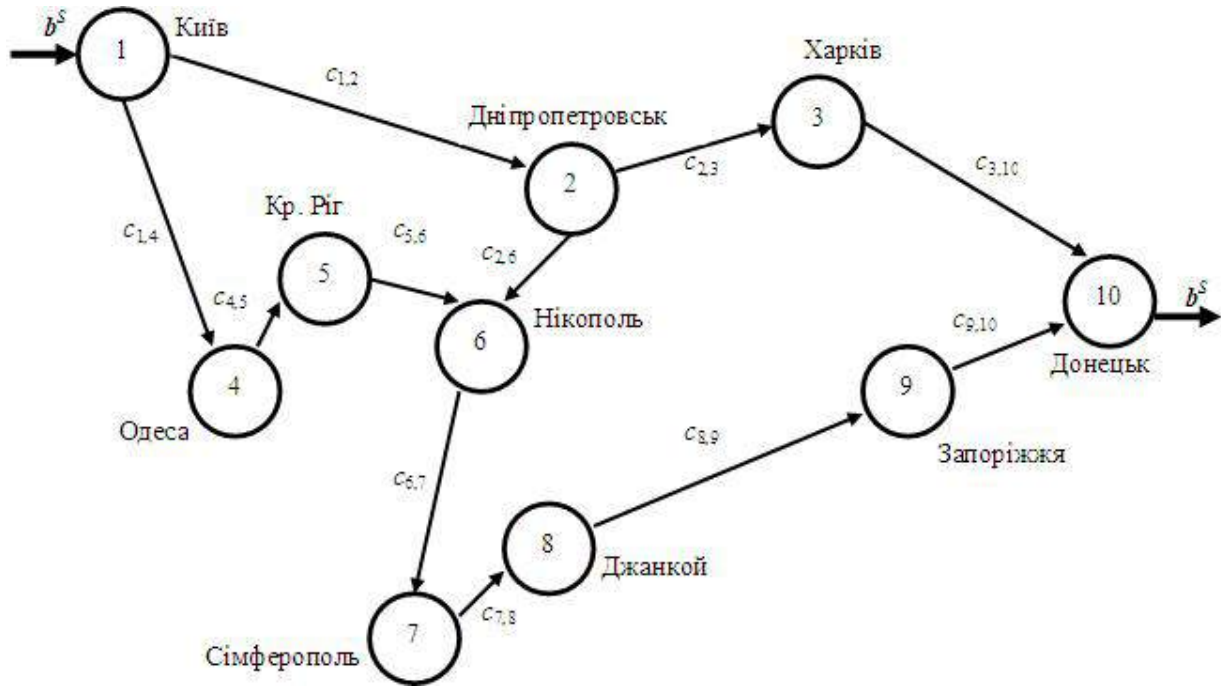


Рис. 1. Спрощений фрагмент комп'ютерної мережі УЗ

Fig. 1. A simplified fragment of a computer network of UZ

де x_{ij} – інтенсивність трафіка, що передається в мережі між i -м та j -м вузлами; b^s – середня швидкість s -поток трафіка між вузлами 1 і 10 в комп'ютерній мережі УЗ (Київом і Донецьком). Повинно виповнюватися важливе обмеження – середня швидкість потоку трафіка не має перевищувати пропускну спроможність ТЕ-тунелю, через який проходить s -поток:

$$b^s < c^l, \quad (3)$$

де b^s – середня швидкість s -поток трафіка; c^l – пропускну спроможність ТЕ-тунелю. Невиконання такого обмеження неприпустимо, бо інакше неможливо пропустити потік трафіка по тунелю.

Коефіцієнт використання ресурсів обчислюється за формулою

$$k_{ij}^s = \frac{b^s}{c_{ij}}, \quad (4)$$

де k_{ij}^s – коефіцієнт використання (i, j) -го каналу s -м потоком; b^s – середня швидкість s -го потоку трафіка; c_{ij} – пропускну спроможність (i, j) -го каналу зв'язку.

Вибір ТЕ-тунелю визначається як

$$K = \max_s \{K^s\}, \quad (5)$$

де $K^s = \sum k_{ij}^s$, крім того, $K^s \leq 0,65$; K – максимальний коефіцієнт використання ТЕ-тунелю.

Під час вирішення задачі інжинірингу трафіка необхідно знайти раціональне рішення – максимальний коефіцієнт використання ТЕ-тунелю (за всіма можливими варіантами послідовності призначення потоків) повинен бути мінімальний

$$\min_i \{K_i\}. \quad (6)$$

Програмна модель. В середовищі Borland Delphi розроблена модель «TraffEng», що відображає залежність якості рішення задачі інжинірингу трафіка від послідовності призначення потоків. Вхідні дані моделі: кількість маршрутизаторів; пропускну здатність каналів (Мбіт/с); кількість потоків; середня швидкість потоків (Мбіт/с). Після завдання кількості маршрутизаторів у вікні «Топологія мережі» з'явиться відповідне відображення. Коли всі параметри вказані, слід натиснути кнопку «Розрахувати коефіцієнти навантаження каналів».

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

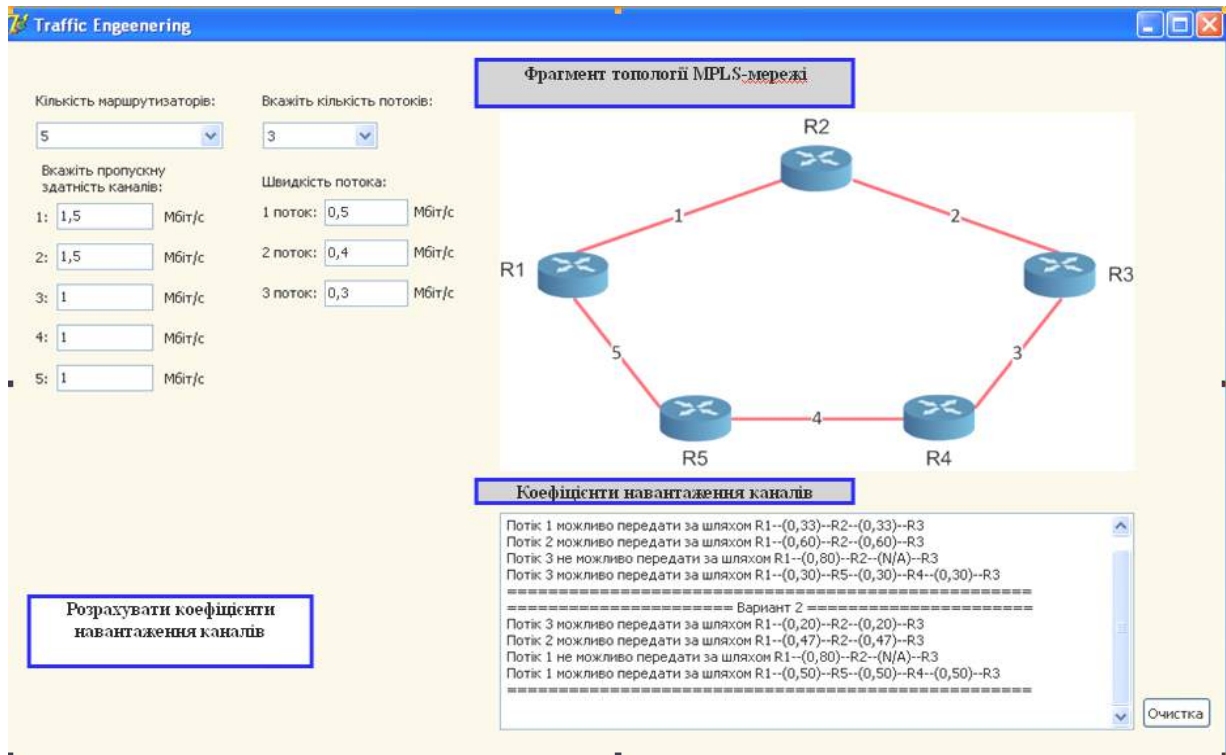


Рис. 2 Вихідна форма програмної моделі «TrafficEng»

Fig. 2. The original form of software models «TrafficEng»

Після чого у відповідному полі відображається інформація щодо потоків, коефіцієнтів використання кожного каналу зв'язку, задіяного потоком, та рекомендації («можливо»/«неможливо») до визначення маршруту потоків. Для демонстрації роботи моделі «TrafficEng» нехай кількість маршрутизаторів складає 5, кількість потоків дорівнює 3; інші вхідні дані та результат роботи моделі наведено на рис. 2.

У вікні «Коефіцієнти навантаження каналів» надано варіанти завдання тунелів. Варіант 1 передбачає, що для потоків 1, 2 обрано маршрут R1-R2-R3 (верхня частина мережі), а для потоку 3 – маршрут R1-R5-R4-R3; коефіцієнт використання складає 0,6. Варіант 2 передбачає, що потік 1 пройде маршрутом R1-R5-R4-R3 (нижня частина мережі), а потоки 2, 3 маршрутом R1-R2-R3; коефіцієнт використання складає 0,5. Найкращим варіантом є варіант з найменшим значенням коефіцієнта використання, тобто варіант 2.

Результати

Ефективність використання ТЕ-тунелів визначається послідовністю призначення потоків, що підвищує ефективність самої комп'ютерної

мережі; це можливо показати на простому прикладі. Розглянемо ділянку MPLS-мережі, що зображено на рис. 3 (пропускні спроможності каналів представлені в Мбіт/с).

Результати дослідження залежності якості рішення задачі ТЕ від послідовності призначення трьох потоків: потік 1, середня швидкість якого $b^1 = 0,5$ Мбіт/с; потік 2, середня швидкість якого $b^2 = 0,4$ Мбіт/с; потік 3, середня швидкість якого $b^3 = 0,3$ Мбіт/с наведено в табл. 1.

Так, наприклад, у варіанті 1 рішення знайдено при такій послідовності призначення потоків: 1, 2, 3. Для першого потоку обраний шлях $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, в цьому випадку коефіцієнт використання ТЕ-тунелю складає $0,5/1,5 = 0,33$. Для другого потоку також обраний шлях $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, результуючий коефіцієнт використання ТЕ-тунелю виявляється рівним $0,33 + 0,4/1,5 = 0,6$. Третій потік прямує по шляху $2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ і завантажує ресурси каналів $2 \rightarrow 6$, $6 \rightarrow 7$, $7 \rightarrow 8$, $8 \rightarrow 9$ і $9 \rightarrow 10$ на $0,3/1$. Рішення 1 можна назвати задовільним, оскільки максимальний коефіцієнт використання досягає 0,6.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

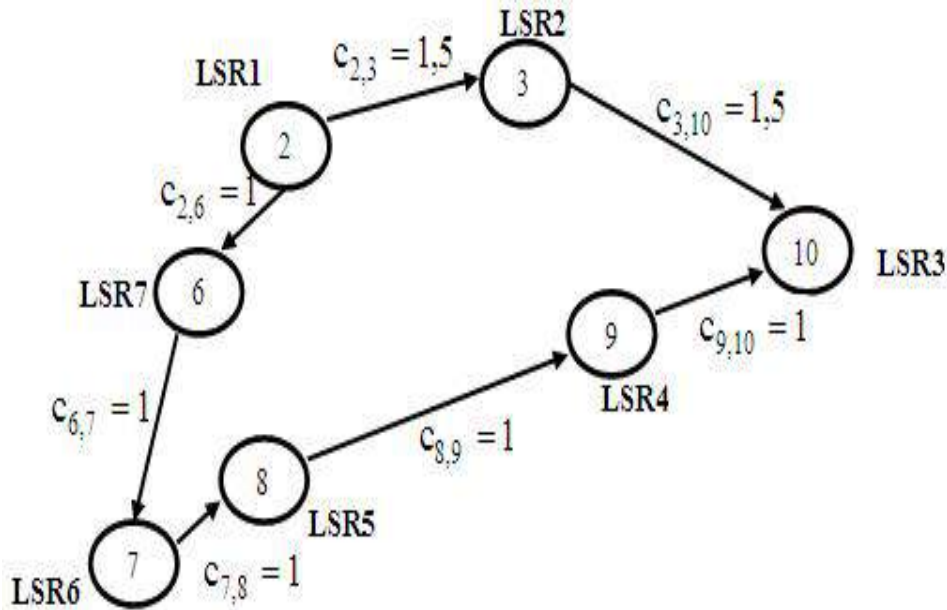


Рис. 3. Ділянка мережі LSR1-LSR7 для визначення тунелів

Fig. 3. Section of the network LSR1-LSR7 for the determination of tunnels

Таблиця 1

Якість рішення задачі ТЕ від послідовності призначення потоків

Table 1

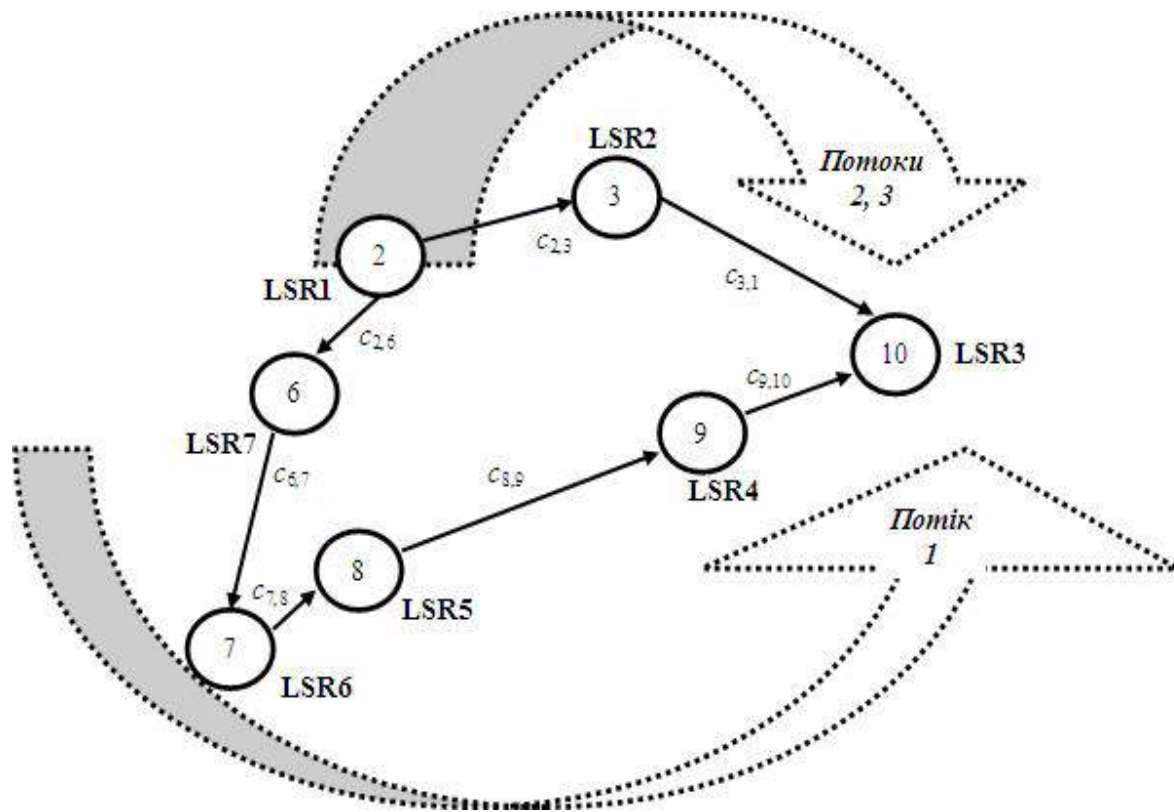
The quality of TE problem solutions from sequences of destination flows

Варіант	Послідовність призначення потоків	Середня швидкість потоку, Мбіт/с	Коефіцієнт використання ТЕ-тунелів через вузли мережі:		Максимальний коефіцієнт використання
			2 → 3 → 10	2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10	
1	1	0,5	0,33		0,6
	2	0,4	0,6		
	3	0,3		0,3	
2	1	0,5	0,33		0,53
	3	0,3	0,53		
	2	0,4		0,4	
3	2	0,4	0,27		0,6
	1	0,5	0,6		
	3	0,3		0,3	
4	2	0,4	0,27		0,5
	3	0,3	0,47		
	1	0,5		0,5	

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Закінчення табл. 1

Варіант	Послідовність призначення потоків	Середня швидкість потоку, Мбіт/с	Коефіцієнт використання ТЕ-тунелів через вузли мережі:		Максимальний коефіцієнт використання
			2 → 3 → 10	2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10	
5	3	0,3	0,2		0,53
	1	0,5	0,53		
	2	0,4		0,4	
6	3	0,3	0,2		0,5
	2	0,4	0,47		
	1	0,5		0,5	



Мал. 4. Найкращий варіант визначення тунелів для ділянки MPLS-мережі на LSR1-LSR7

Fig. 4 The best option for the tunnels definitions for site MPLS of network on LSR1-LSR7

Однак існує кращий спосіб, наведений у варіанті 4. Тут потоки 2 і 3 спрямовані по верхньому шляху $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, а потік 1 – по нижньому ($2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$) шляху. Для другого потоку ресурси верхнього ТЕ-тунелю виявляються завантаженими на $0,4/1,5 = 0,27$, для третього потоку – $0,27 + 0,3/1,5 = 0,47$, а для першого потоку завантаження нижнього ТЕ-тунелю на $0,5/1 = 0,5$; тобто в наявності

більш рівномірне завантаження ресурсів, а максимальний коефіцієнт використання всіх ресурсів мережі не перевищує 0,5.

Цей варіант або варіант 6, що отримані при одночасному розгляді всіх трьох потоків та зображені на рис. 4, надають мінімальне значення максимального коефіцієнта використання.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано методіку вирішення задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE. Як критерій оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнта використання TE-тунелів. На основі розробленої програмної моделі можливе визначення значень максимальних коефіцієнтів використання TE-тунелів в комп'ютерних мережах УЗ.

Висновки

1. У складених комп'ютерних мережах на залізничному транспорті доцільним є використання технології MPLS, що базується на використанні міток. Можливості управління трафіком в мережі MPLS реалізуються за допомогою технології інжинірингу трафіка, основний механізм якого використання односпрямованих тунелів (MPLS TE tunnel). Складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ.

2. Для відображення залежності якості вирішення задачі інжинірингу трафіка від послідовності призначення потоків в комп'ютерній мережі УЗ розроблено в Delphi програмну модель «*TrafficEng*». Вхідні параметри моделі: кількість маршрутизаторів та пропускні спроможності каналів зв'язку, кількість та середня швидкість потоків; як результат роботи моделі подаються варіанти вибору TE-тунелів з відповідними значеннями максимальних коефіцієнтів використання.

3. Виконано дослідження залежності якості вирішення задачі інжинірингу трафіка MPLS TE від послідовності призначення потоків для спрощеного фрагмента комп'ютерної мережі УЗ; значення максимального коефіцієнта використання тунелів найкращого варіанта не перевищує 0,5.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Будылдина, Н. В. Телекоммуникационные сети с многопротокольной коммутацией по меткам. Построение и оптимизация : моногр. / Н. В. Будылдина, В. П. Шувалов. – Екатеринбург, – 2006. – 287 с.
- Гольдштейн, А. Б. Механизм эффективного тунелирования в сети MPLS / А. Б. Гольдштейн. – Вестн. связи. – 2004. – № 2. – С. 48–54.
- Зайченко, Ю. П. Задача распределения потоков различных классов в сети с технологией MPLS / Ю. П. Зайченко, А. А. М. Шарадка. – Вісн. НТУУ «КПІ». – Сер. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2005. – № 43. – С. 113–123.
- Кучерявый, Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый. – Санкт–Петербург : Наука и техника, – 2004. – 336 с.
- Олвейн, В. Структура и реализация современной технологии MPLS / В. Олвейн. – Санкт–Петербург : Питер, 2004. – 480 с.
- Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Санкт–Петербург : Питер, 2010. – 944 с.
- Пахомова, В. М. Логічна структуризація інформаційних мереж залізничного транспорту на основі комутаторів Ethernet / В. М. Пахомова, В. В. Повод // Зб. наук. пр. Дон. ін-ту заліз. трансп. – 2012. – Вип. 29. – С. 11–18.
- Пахомова, В. М. Можливість використання технології 100VG-AnyLAN в інформаційних системах залізничного транспорту / В. М. Пахомова, Т. І. Скабалланович, Д. А. Ляхов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 2 (41). – С. 199–204.
- Пахомова, В. М. Модифікована імітаційна модель локальної мережі за маркерним методом доступу до шини / В. М. Пахомова, Л. В. Стрибулевич // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – №. 4 (46). – С. 90–98.
- Столингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – Санкт–Петербург : Питер, 2003. – 783 с.
- Хандецкий, В. С. Эффективность обмена маршрутной информацией в иерархических структурах OSPF-мереж / В. С. Хандецкий, В. М. Григор'єв, П. В. Хандецкий. // Сучасні проблеми і досягнення в галузі телекомунікацій та інформац. технологій (19.09-21.09. 2012) : тез. доп. VI міжн. наук.-практ. конф. – Запоріжжя. – 2012. – С. 280–281.
- Fiche, G. The Tunneling Technique and the Tandem Queue Effect / G. Fiche, Y. Veillard // In International Workshop on Future Service, Alcatel, France 2000.
- Le Gall, P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input / P. Le Gall. // J. of Appl. Mathematics and Stochastic Analysis. – 2000. – № 13. – P. 429–450. doi: 10.1155/s1048953300000368.

В. Н. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні висчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ТРАФИКА В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ УКРЗАЛИЗНЫЦИ ТЕХНОЛОГИИ MPLS TE

Цель. На железнодорожном транспорте Украины необходимым является применение компьютерных сетей различных технологий: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI и других. В объединенных компьютерных сетях на железнодорожном транспорте рациональным является использование технологии коммутации пакетов в многопротокольных сетях MPLS (MultiProtocol Label Switching), которая основана на использовании меток. Сети с коммутацией пакетов должны передавать различные виды трафика с заданным качеством обслуживания. Целью исследования является разработка методики определения последовательности назначения потоков для рассмотренного фрагмента компьютерной сети Укрзалізничці (УЗ). **Методика.** При оптимизации управления трафиком в сетях MPLS важную роль оказывает технология инжиниринга трафика (Traffic Engineering, TE). Основным механизмом TE в MPLS – использование однонаправленных туннелей (MPLS TE tunnel) для задания пути прохождения определенного трафика. Составлена математическая модель задачи инжиниринга трафика в компьютерной сети УЗ технологии MPLS TE. Компьютерная сеть УЗ представлена ориентированным графом, вершинами которого являются маршрутизаторы компьютерной сети, а каждая дуга моделирует связь между узлами. В качестве критерия оптимизации выступает минимальное значение максимального коэффициента использования TE-туннелей. **Результаты.** Определены шесть вариантов назначения потоков; найдена рациональная последовательность потоков, при которой значение максимального коэффициента использования TE-туннелей рассмотренного упрощенного фрагмента компьютерной сети УЗ не превышает 0,5. **Научная новизна.** Предложена методика решения задачи инжиниринга трафика в многопротокольной компьютерной сети УЗ технологии MPLS TE; для разных классов прокладывается свой путь в зависимости от полосы пропускания и загрузки канала. **Практическая значимость.** Установлена возможность определения значений максимальных коэффициентов использования TE-туннелей в компьютерных сетях УЗ на основе разработанной программной модели «*TraffEng*». Входные параметры модели: количество маршрутизаторов, пропускная способность каналов, количество потоков, средняя скорость потоков. В качестве результата работы модели «*TraffEng*» представляются варианты выбора TE-туннелей с соответствующими значениями максимальных коэффициентов их использования.

Ключевые слова: технология MPLS TE; инжиниринг трафика; скорость потока; пропускная способность; коэффициент использования; TE-туннель

V. N. PAKHOMOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

RESEARCH OF ENGINEERING TRAFFIC IN COMPUTER OF UKRZALIZNYTSIA NETWORK USING MPLS TE TECHNOLOGY

Purpose. In railway transport of Ukraine one requires the use of computer networks of different technologies: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI and others. In combined computer networks on the railway transport it is necessary to use packet switching technology in multiprotocol networks MPLS (MultiProtocol Label Switching) more effectively. They are based on the use of tags. Packet network must transmit different types of traffic with a given quality of service. The purpose of the research is development a methodology for determining the sequence of destination flows for the considered fragment of computer network of UZ. **Methodology.** When optimizing traffic management in MPLS networks has the important role of technology traffic engineering (Traffic Engineering, TE). The main mechanism of TE in MPLS is the use of unidirectional tunnels (MPLS TE tunnel) to specify the path of the specified traffic. The mathematical model of the problem of traffic engineering in computer network of UZ technology MPLS TE was made. Computer UZ network is represented with the directed graph, their vertices are routers of computer network, and

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

each arc simulates communication between nodes. As an optimization criterion serves the minimum value of the maximum utilization of the TE-tunnel. **Findings.** The six options destination flows were determined; rational sequence of flows was found, at which the maximum utilization of TE-tunnels considered a simplified fragment of a computer UZ network does not exceed 0.5. **Originality.** The method of solving the problem of traffic engineering in Multiprotocol network UZ technology MPLS TE was proposed; for different classes its own way is laid, depending on the bandwidth and channel loading. **Practical value.** Ability to determine the values of the maximum coefficient of use of TE-tunnels in computer UZ networks based on developed software model «TraffEng». The input parameters of the model: number of routers, channel capacity, the number of streams, the average flow velocity. As a result of the model «TraffEng» choices variants of TE-tunnels with the corresponding values of the maximum coefficient of their use are presented.

Keywords: MPLS TE technology; traffic engineering; flow rate; bandwidth utilization; TE-tunnel

REFERENCES

1. Budyldina N.V., Shuvalov V.P. *Telekommunikatsionnyye seti s mnogoprotokolnoy kommutatsiey po metkam. Postroeniye i optimizatsiya* [Telecommunication network with multiprotocol switched labels. Design and optimization]. Ekaterinburg Publ., 2006. 287 p.
2. Goldshteyn A.B. Mekhanizm effektivnogo tunnelirovaniya v seti MPLS [The mechanism of effective tunneling in MPLS network]. *Vestnik svyazi – Bulletin of communication*, 2004, no. 2, 12 p.
3. Zaychenko Yu.P., Sharadka A.A.M. Zadacha raspredeleniya potokov razlichnykh klassov v seti s tekhnologiyey MPLS [The task of distribution of different classes in the network with MPLS technology]. *Visnyk NTUU «KPI» – Bulletin of NTUU «KPI»*, 2005, no. 43, pp. 113-23.
4. Kucheryavyye.A. *Upravleniye trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet* [Traffic management and quality of service in the Internet]. Sant-Petersburg, Nauka i Tekhnika Publ., 2004. 336 p.
5. Olvey V. *Struktura i realizatsiya sovremennoy tekhnologii MPLS* [The design and implementation of modern technologies MPLS]. Sant-Petersburg, Piter Publ., 2004. 480 p.
6. Olifer, V.G., Olifer N.A. *Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer network. Principles, technologies and protocols]. Sant-Peterburg, Piter Publ., 2010. 944 p.
7. Pakhomova V.M., Povod V.V. Lohichna strukturyzatsiia informatsiinykh merezh zaliznychnoho transportu na osnovi komutatoriv Ethernet [Logical structuring of information networks of railway transport on the basis of Ethernet switches]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, no. 29, pp. 11-18.
8. Pakhomova V.M., Skaballanovych T.I., Liakhov D.A. Mozhlyvist vykorystannia tekhnologii 100VG-AnyLAN v informatsiinykh systemakh zaliznychnoho transportu [The possibility of the use of technology 100VG-AnyLAN in the information systems of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 2 (41), pp. 199-204.
9. Pakhomova V.M., Strybulevych L.V. Modyfikovana imitatsiina model lokalnoi merezhi za markernym metodom dostupu do shyny [Modified network simulation model with token method of bus access]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University*, 2013, no. 4 (46), pp. 90-98.
10. Stolings V. *Sovremennyye kompyuternyye seti* [Modern computer networks]. Sant-Petersburg, Piter Publ., 2003. 783 p.
11. Khandetskyi V.S., Hryhoriev V.M., Khandetskyi P.V. Efektyvnist obminu marshrutnoiu informatsiieiu v iierarkhichnykh strukturakh OSPF-merezh [The efficiency of the exchange of routing information in the hierarchical structures of OSPF networks]. *Tezy dopovidi VI mizhnarodnoi naukovoï-praktychnoi konferentsii. «Suchasni problemy i dosiahnennia v haluzi telekomunikatsii ta informatsiinykh tekhnolohii»* [Proc. of the VI Intern. Sci and Pract. Conf. «Modern problems and achievements in the field of telecommunications and information technologies»]. Zaporizhia, 2012, pp. 280-281.
12. Fiche G., Veillard Y. The Tunneling Technique and the Tandem Queue Effect. In International Workshop on Future Service, Alcatel, France 2000.
13. Le Gall P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input. *Journal of Appl. Mathematics and Stochastic Analysis*, 2000, no. 13, pp. 429-450. doi: 10.1155/s1048953300000368.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. І. Міхальовим (Україна); д.т.н., проф. А. А. Косолаповим (Україна)

Надійшла до редколегії 04.11.2014

Прийнята до друку 23.12.2014