

УДК 681.513

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВАРІЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ З ТЕХНОЛОГІЄЮ MPLS

О.В. КУХАРЄВА, С.О. КУХАРЄВ

Сформульовано задачу дослідження залежності завантаженості мережеских елементів від пропускних спроможностей каналів зв'язку та інтенсивності вхідних потоків. Наведено результати експериментальних досліджень, проведених за допомогою розробленого раніше комплексу.

### ВСТУП

При проектуванні комп'ютерних мереж з технологією MPLS виникає задача дослідження завантаженості їх елементів з метою виявлення «вузьких» місць та подальшого перенаправлення трафіка [1, 2].

Стрімке розширення комп'ютерних мереж, постійно зростаючі обсяги даних, що передаються, обумовили необхідність дослідження завантаженості вузлів мережі та каналів зв'язку з метою, зокрема, запобігання перевантаженням і боротьби з ними [3, 4]. Для задання топології мережі, характеристик її складових, моделювання поведінки для подальшого обчислення реальних характеристик (середньої затримки, варіації затримки, долі відкинутих пакетів), виявлення «вузьких» місць, керування трафіком пропонується один з найпотужніших інструментів дослідження складних систем — імітаційне моделювання. Використання (побудова) системи аналітичних моделей для дослідження впливу цих факторів на показники якості функціонування мереж може привести до значних помилок в розрахунках, що, в свою чергу, веде до значних втрат при реалізації мережі у зв'язку з тим, що обладнання для побудови мереж (у тому числі і з технологією MPLS) є досить дорогим [5].

Мета роботи — дослідити залежність завантаженості мережеских елементів, а саме вузлів мережі та каналів зв'язку, від пропускних спроможностей каналів зв'язку та від інтенсивності вхідних потоків, використовуючи розроблену раніше імітаційну модель комп'ютерної мережі з технологією MPLS, яка реалізує різні технології передачі трафіка та дозволяє керування ним [6].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглядається модель комп'ютерної мережі з технологією MPLS, що складається з вузлів зв'язку LSR (маршрутизаторів комутації за мітками) та LER (прикордонних вузлів), а також каналів зв'язку відповідної пропускної спроможності. Модель мережі містить також зовнішні вузли зв'язку, які є

генераторами трафіка різних категорій сервіса (передача з постійною, змінною та доступною швидкостями CBR, VBR та ABR).

Для кожного вузла та каналу зв'язку задаються свої параметри, а також події, які відбуватимуться в мережі: моменти передавання даних, їх об'єми, вузли-відправники та отримувачі інформації і, за необхідності, категорії сервісу (CBR, VBR, ABR та UBR) для даних, що передаються.

Необхідно, варіюючи пропускні спроможності каналів зв'язку та інтенсивності вхідних потоків, дослідити завантаженість елементів мережі з метою подальшого керування трафіком.

## ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вирішення поставленої задачі розроблено комплекс програм, який дозволяє проектувати комп'ютерні мережі з технологією MPLS, моделювати поведінку мережі в залежності від налаштувань її складових та керувати різнотипним трафіком. Засобами даної програми можна спостерігати завантаженість окремих вузлів чи каналів зв'язку мережі при заданих її параметрах (для подальшого виявлення найбільш та найменш завантажених елементів), а також кількість доставлених пакетів, досліджувати поведінку трафіка різних класів при використанні різних технологій забезпечення якості обслуговування, обчислювати ключові показники його якості з метою подальшого їх аналізу.

Усі експерименти проводилися на глобальній мережі України (рис. 1). Для кожного вузла та каналу зв'язку було задано свої параметри (всі чисельні дані в статті є умовними). Також було задано події, що відбуватимуться в мережі (рис. 2).

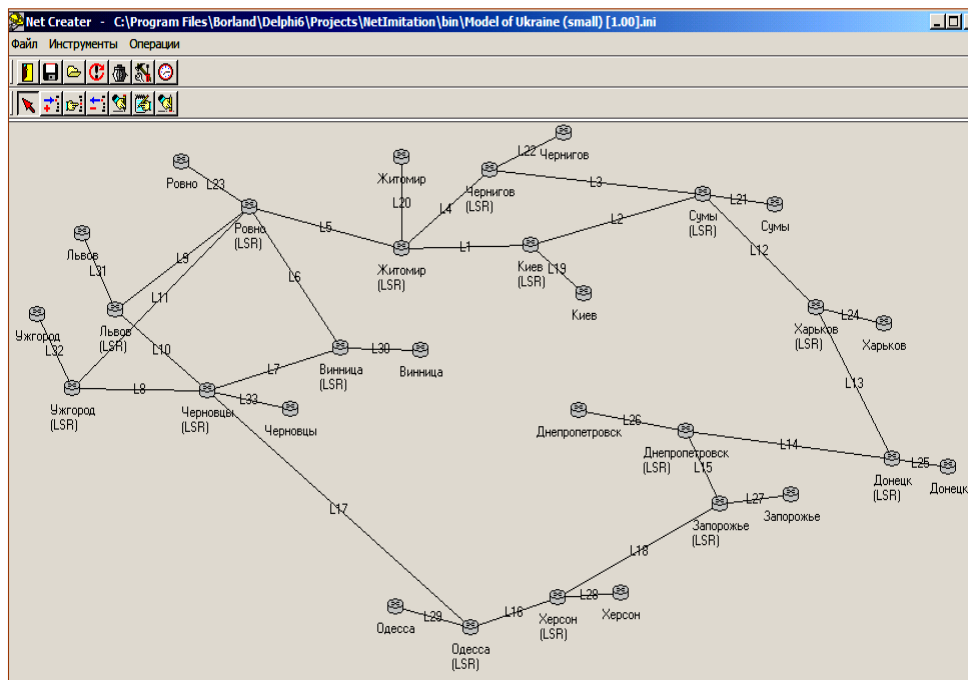


Рис. 1. Топологія експериментальної мережі

**Расписание** x

Генерация трафика

Время	Время, ед.	Такт	Узел от	Узел к	Связь	Объем	Объем, ед	TTL	QoS
1	секунда (секунд)	1	Киев	Ровно	L19	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Ровно	L19	432	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Ровно	L19	205	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Чернигов	L19	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Чернигов	L19	472	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Чернигов	L19	306	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Запорожье	L19	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Запорожье	L19	412	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Запорожье	L19	316	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Черновцы	L19	10	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Черновцы	L19	6630	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Киев	Черновцы	L19	2630	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Одесса	Ровно	L29	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Одесса	Ровно	L29	346	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Одесса	Ровно	L29	201	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Ровно	L28	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Ровно	L28	456	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Ровно	L28	145	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Чернигов	L28	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Чернигов	L28	412	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Херсон	Чернигов	L28	102	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Ровно	L20	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Ровно	L20	345	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Ровно	L20	143	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Чернигов	L20	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Чернигов	L20	362	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Чернигов	L20	201	Кб	0	доступный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Запорожье	L20	1	Кб	0	фиксированный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Запорожье	L20	346	Кб	0	переменный
1	секунда (секунд)	1	Житомир	Запорожье	L20	210	Кб	0	доступный

Пересылка (абонент -> входной канал в MPLS сеть -> ... -> адресат)

Внешний узел      Входной канал      Внешний узел

Житомир    -> L20    ... -> Запорожье

---

Время события

Время 1    секунда (секунд)    Такт 1

Объем 210    Кб    TTL 0    QoS доступный

Добавление  
Удаление  
Отчистка

Рис. 2. Розклад генерування трафіка

### ЗАЛЕЖНІСТЬ КІЛЬКОСТІ ПАКЕТІВ У КАНАЛІ МЕРЕЖІ ВІД ПРОПУСКНИХ СПРОМОЖНОСТЕЙ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

У табл. 1 наведено значення кількості пакетів у каналі зв'язку L19 у залежності від пропускних спроможностей каналів ( $x$  — коефіцієнт використання каналу зв'язку у відсотках).

З табл. 1 можна зробити висновок: зі зменшенням проценту доступної пропускної спроможності каналів зв'язку кількість пакетів у каналі L19, який йде безпосередньо від вузла-відправника, зменшується.

**Таблиця 1.** Значення кількості пакетів у каналі зв'язку при варіюванні пропускних спроможностей каналів

Номер такту імітації	Кількість пакетів		
	$x = 100$	$x = 80$	$x = 60$
1	195	156	117
2	193	154	115
3	193	154	115
4	193	154	115
5	193	154	115
6	193	154	115
7	194	155	116
8	193	154	115
9	193	154	115
10	193	154	115
11	193	154	115
12	193	154	115
13	193	154	115
14	193	154	115
15	193	154	115
16	193	154	115
17	139	154	115

#### ЗАЛЕЖНІСТЬ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ВХІДНИХ ПОТОКІВ

У табл. 2 наведено значення кількості пакетів у вузлі «Київ» у залежності від інтенсивності вхідних потоків ( $x$  — кількість відсотків максимальної інтенсивності вхідного потоку).

**Таблиця 2.** Значення кількості пакетів у вузлі мережі при варіюванні інтенсивностей вхідних потоків

Номер такту імітації	Кількість пакетів		
	$x = 100$	$x = 75$	$x = 50$
1	144	81	77
2	230	104	116
3	316	127	145
4	402	150	174
5	488	173	203
6	574	196	232
7	636	219	261
8	691	242	290
9	746	242	319
10	801	241	348
11	856	240	377
12	911	239	406
13	718	46	291

З табл. 2 можна зробити висновок: зі зменшенням інтенсивності генерування пакетів вузлом-відправником їхня кількість зменшується.

### ЗАЛЕЖНІСТЬ КІЛЬКОСТІ ПАКЕТІВ У КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ВХІДНИХ ПОТОКІВ

У табл. 3 наведено значення кількості пакетів у каналі зв'язку L19 у залежності від інтенсивності вхідних потоків ( $x$  — кількість відсотків максимальної інтенсивності вхідного потоку).

**Таблиця 3.** Значення кількості пакетів у каналі зв'язку при варіюванні інтенсивності вхідних потоків

Номер такту імітації	Кількість пакетів		
	$x = 100$	$x = 75$	$x = 50$
1	195	195	115
2	193	193	117
3	193	193	115
4	193	193	115
5	193	193	115
6	193	193	115
7	194	193	115
8	193	193	115
9	193	194	115
10	193	193	115
11	193	193	115
12	193	193	115
13	193	193	115

З табл. 3 можна зробити висновок: зі зменшенням інтенсивності генерування пакетів вузлом-відправником їхня кількість у каналі зв'язку L19, який йде безпосередньо від вузла-відправника, зменшиться.

Результати наведених вище експериментів з комплексом програм імітаційного моделювання дозволяють не лише досліджувати завантаженість елементів мережі, виявляючи «вузькі» місця, для подальшого перенаправлення потоків на менш завантажені ділянки, але й вказати під час складання розкладу генерування трафіка, з яким пріоритетом він повинен обслуговуватися. Це робить можливим обчислення та подальший аналіз показників якості обслуговування трафіка різних категорій (CTD — середньої затримки пакетів, CDV — варіації середньої затримки, CLR — відсотка втрачених пакетів) за з'єднаннями різного класу (CBR, VBR, ABR, UBR). Такі дослідження залежностей показників якості обслуговування від варіювання параметрів мережі з технологією MPLS описані у роботі [7].

### ВИСНОВКИ

Аналіз результатів експериментів з програмним комплексом імітаційного моделювання показує:

1. Зі зменшенням проценту доступної пропускної спроможності каналів зв'язку кількість пакетів у каналі, який йде безпосередньо від вузла-відправника, зменшується.

2. Зі зменшенням інтенсивності генерування пакетів вузлом-відправником їхня кількість у цьому вузлі та каналі зв'язку, який йде безпосередньо від вузла-відправника, зменшується.

3. Описаний програмний комплекс може використовуватися для прийняття рішень щодо перерозподілу трафіка у мережі. Також є можливість обчислення показників якості обслуговування трафіка за з'єднаннями різного класу.

4. Використана в статті імітаційна модель є зручним засобом для проектувальників комп'ютерних мереж з технологією MPLS. Вона дозволяє будувати топологію мережі, досліджувати завантаженість її елементів (вузлів та каналів зв'язку), аналізувати ключові показники якості обслуговування.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.* Технология и протоколы MPLS. — СПб.: БХВ, 2005. — 304 с.
2. *Олвейн В.* Структура и реализация современной технологии MPLS / Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. — 480 с.
3. *RFC 2702.* Requirements for Traffic Engineering Over MPLS / D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus. — September, 1999.
4. *Osborne E.* Traffic Engineering with MPLS. — Cisco Press, 2002. — 608 p.
5. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 422 с.
6. *Зайченко О.Ю., Кухарев С.О., Кухарева О.В.* Імітаційне моделювання мереж з технологією MPLS з метою керування різнотипним трафіком // Вісн. НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2007. — № 47 — С. 153–160.
7. *Кухарев С.О., Кухарева О.В.* Дослідження залежності показників якості обслуговування від варіювання параметрів мережі з технологією MPLS // Електроніка и связь. — 2007. — № 4 — С. 86–92.

*Надійшла 10.07.2008*