

*ЗАЙЧЕНКО О.Ю.,  
КУХАРСЬВ С.О.  
КУХАРСЬВА О.В.*

## **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ З ТЕХНОЛОГІЄЮ MPLS З МЕТОЮ КЕРУВАННЯ РІЗНОТИПНИМ ТРАФІКОМ**

Сформульовано задачу розробки комплексу програм для розробки топології комп'ютерних мереж з технологією MPLS, моделювання поведінки мережі в залежності від налаштувань її складових та керування різнотипним трафіком. Наведено опис алгоритму імітації.

The article is formulated the problem of development a program system for MPLS networks topology designing, modeling network behaviour depending on its component setting, and traffic engineering. Simulation algorithm description is represented.

### **1. Вступ**

За останні роки було зроблено багато спроб використати багатопроTOCOLY комутацію за мітками (MPLS), що значно вплинуло на використання IP-мереж. MPLS являє собою технологію, з якою у перспективі будуть працювати більшість IP-мереж, у тому числі Internet. Використання технології MPLS надає мережі Internet новий принцип передачі пакетів, що впливає на перерозподіл потоків даних та на реалізацію віртуальних приватних мереж, а також дозволяє провайдерам більш ефективно забезпечувати задану якість обслуговування [1, 2].

Сучасна комп'ютерна мережа з технологією MPLS є дуже складною системою, в ній одночасно передається інформація різних типів з різними показниками якості обслуговування. На її роботу істотно впливають методи керування трафіком, а саме, організація та обслуговування черг, способи організації буферів комутаторів [3]. Побудова аналітичної моделі для дослідження впливу цих факторів на показники якості функціонування мереж в даній ситуації неможлива, обладнання для побудови мереж з технологією MPLS є досить дорогим, тому для попереднього проектування, а також для моделювання роботи мереж, аналізу та оптимізації їх характеристик пропонується імітаційне моделювання – один з найпотужніших інструментів дослідження складних систем [4].

Метою даної роботи є опис імітаційної моделі спеціалізованої комп'ютерної мережі з технологією MPLS, яка дозволяє задавати топологію мережі, характеристики її складових, моделювати поведінку мережі із заданою топологією з метою подальшого обчислення реальних характеристик мережі (середньої затримки, варіації затримки, долі відкинутих пакетів), виявлення "вузьких" місць.

## 2. Постановка задачі

Задається топологія спеціалізованої 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 включає також зовнішні вузли зв'язку.

Зовнішні вузли є генераторами трафіка різних категорій сервіса (передача з постійною, змінною та доступною швидкостями – CBR, VBR та ABR відповідно).

Вводяться наступні показники якості обслуговування трафіка різних категорій:

- середня затримка пакетів (CTD),
- варіація середньої затримки (CDV),
- відсоток втрачених пакетів (CLR).

При передачі трафіка категорії CBR резервується фіксована смуга в каналі, не залежно від того, чи йде передача даних. Залишок смуги ділять між собою трафіки категорій VBR та ABR, причому VBR є більш пріоритетним [3].

Передача трафіків CBR, VBR та ABR здійснюється по віртуальних каналах, котрі встановлюються між джерелом та адресатом. Вони задаються разом з іншими параметрами мережі.

Задача даної статті – описати розроблену імітаційну модель комп'ютерної мережі з технологією MPLS, яка реалізує різні технології передачі трафіка та дозволяє керування ним.

## 3. Технології та показники якості обслуговування

Якість обслуговування – це здатність мережних засобів забезпечити необхідний сервіс для визначення класів трафіка в різних мережних середовищах. Основне значення технологій якості обслуговування полягає у забезпеченні пріоритетів, необхідної смуги пропускання, контрольованої затримки й варіації затримки й зменшенні відсотка втрат пакетів при передачі, а також у забезпеченні пріоритетності обслуговування деяких потоків з можливістю одночасної передачі інших потоків.

Завдання технології якості обслуговування полягає у забезпеченні усталеної роботи програм, що мають тверді вимоги до смуги пропускання й часу затримки проходження інформації мережею. Роль технології якості обслуговування в справедливому розподілі мережних ресурсів і забезпеченні параметрів, запитаних програмою і здатних бути виконаними мережею.

Функції якості обслуговування полягають у забезпеченні диференційованого й гарантованого обслуговування мережного трафіка шляхом передачі контролю за використанням ресурсів і завантаженості

мережі її операторові. Якість обслуговування являє собою набір вимог, пред'явлених до ресурсів мережі при транспортуванні потоку даних.

Ключовими характеристиками якості обслуговування є час затримки пакетів (CTD – максимальна затримка у мережі при передаванні пакетів між відправником та отримувачем), варіація затримки (CDV – різниця між максимальним і мінімальним часом доставлення пакетів від відправника до отримувача), відсоток загублених пакетів (CLR). Залежно від вимог до цих параметрів весь трафік може бути розділений на кілька основних класів – наприклад на трафік реального часу, трафік транзакцій і трафік даних. Згодом приналежність пакету до деякого класу визначає політику обслуговування даного пакету.

Основні технології забезпечення якості обслуговування – формування трафіка, організація й обслуговування черг (або розподіл ресурсів), керування навантаженням і резервування ресурсів мережі. Технології якості обслуговування відрізняються за способом керування – керування за швидкістю (за каналом) (формування трафіка, керування навантаженням) або керування чергою, а також змішані.

## **4. Опис імітаційної моделі**

### **4.1. Вхідні дані моделі**

Топологія мережі з технологією MPLS:  $n$  вузлів мережі (транзитні – LSR, прикордонні – LER),  $k$  каналів зв'язку. Модель мережі включає також зовнішні вузли зв'язку, що є генераторами трафіка різних категорій сервіса.

Перед початком процесу імітації роботи мережі проводиться встановлення значень параметрів вузлів, каналів зв'язку, мережі, а також подій, які відбуватимуться в мережі.

Параметри об'єктів, що беруть участь в імітаційній моделі:

- для вузла: ідентифікатор, внутрішня затримка, об'єм буфера, інтенсивність передавання даних.
- для каналу зв'язку: ідентифікатор каналу, ідентифікатори двох вузлів, що з'єднані даним каналом, пропускна спроможність каналу.

Параметри мережі: тривалість процесу імітації, кількість тактів імітації, максимальна кількість вузлів та каналів зв'язку у моделі.

Параметри подій (однієї чи декількох), що мають відбуватися в мережі: вузол-відправник, вузол-отримувач, час настання події, об'єм трафіка, що передається від вузла-відправника до вузла-отримувача, категорія якості обслуговування, віртуальні канали.

Значення міток задає адміністратор.

### **4.2. Імітаційний алгоритм**

При імітації роботи мережі використовується метод задання часу за допомогою фіксованих інтервалів часу (механізм фіксованих прирістив часових інтервалів), тобто відлік часу ведеться через задалегідь визначе-

ні часові інтервали постійної довжини [4]. Усі події, які мають місце впродовж цього проміжку часу, будемо вважати такими, що відбулись одночасно. Отже, з точки зору процесу імітації події, які відповідають певному проміжку часу, починаються з його початку незалежно від того, в який момент часу вони відбуваються насправді.

Упродовж часу моделювання виконуються маніпуляції над пакетами. Під маніпуляцією будемо розуміти процедуру, яка перевіряє пакет за критерієм можливості операції пересилання та виконує безпосередньо процес пересилання. Перед проведенням маніпуляції пакети сортуються за певними критеріями, які визначають порядок їх обробки. Далі йде маніпуляція з першим пакетом у черзі, що може бути обробленим, потім виконується нове сортування для отримання нового «першого пакету». Ця процедура виконується доти, доки буде існувати перший пакет, який може бути оброблений.

Під час імітації організується цикл з багатьма вкладеннями (зовнішній цикл – за часом, наступний – за тактом, останній – за пакетами, котрі знаходяться у черзі пакетів для можливої обробки). Розглянемо окрему ітерацію.

Крок 1. На початку циклу в облікові параметри елементів моделі встановлюємо початкові значення для поточного такту.

Крок 2. До початку передачі через мережу MPLS пакетів трафіка будь-якого вигляду маршрутизатори LSR встановлюють відповідність між мітками та FEC (класами еквівалентності при пересиланні) у своїх таблицях. Крім того, проводимо узгодження характеристик трафіка та функціональних можливостей MPLS.

Крок 3. При одержанні даних про прив'язку міток до FEC кожен маршрутизатор LSR створює запис у таблиці LIB. Зміст таблиці відбиває відповідність між мітками та FEC і ставить у відповідність кожній парі «вхідний інтерфейс, вхідна мітка» пару «вихідний інтерфейс, вихідна мітка». При будь-якому новому узгодженні прив'язки міток до FEC записи в таблиці оновлюються. Таблиці міток, згідно яким кожен пакет направляється по відповідному LSP (тракту, що комутується за мітками), завжди повинні бути задані до того, як пакет почне свій шлях по мережі.

Крок 4. Тракти LSP створюються в напрямку, зворотному створенню записів у таблицях LIB. Кожен LSR отримує мітку від нижнього маршрутизатора. LSP створюється шляхом послідовної маршрутизації по ділянках, а якщо потрібна оптимізація розподілу трафіка, для визначення тракту використовується протокол CR-LDP, який гарантує виконання вимог до QoS, або протокол RSVP-TE.

Крок 5. Наповнюємо мережу пакетами.

Відповідно до розкладу подій відбувається генерація пакетів, що мають бути передані в мережу у поточному такті, тобто пакети потрапляють до зовнішнього вузла.

Крок 6. Вхідний маршрутизатор, визначивши, якому FEC належить прийнятий ним ззовні пакет, використовує таблицю LIB, щоб відшукати потрібну прив'язку «FEC-мітка», і інкапсулює цю мітку способом, який відповідає технології на рівні 2.

Крок 7. Для всіх існуючих пакетів стан активності переводимо у TRUE (стан активності говорить про те, що даний пакет ще може бути оброблений упродовж поточного такту).

Крок 8. Сортиємо пакети за порядком їхньої обробки залежно від накопиченої затримки. Результатом сортування є черга пакетів для обробки. Після обробки кожного пакета виконуємо повторне сортування. Таким чином, ми завжди працюємо з пакетом, що стоїть першим у черзі. Крок 8 проводимо доти, доки існує хоча б один активний пакет, над яким виконуємо маніпуляцію. Якщо пакет далі не може бути оброблений упродовж поточного такту, його стан активності переводиться у FALSE.

Одержавши пакет, маршрутизатор LSR витягає з нього мітку і використовує її як індекс у своїй таблиці пересилання. Як тільки знайдено запис, у якому значення вхідної мітки дорівнює значенню мітки, що була витягнута з пакету, маршрутизатор, згідно підзапису цього запису, замінює вхідну мітку в пакеті вихідною міткою та пересилає пакет через вихідний інтерфейс, зазначений у підзапису, до наступного LSR, також зазначеного в тому ж під запису та збільшує накопичену затримку пакета.

Крок 9. Видаляємо з черги відкинуті (DROPED), доставлені (DELIVERED) пакети та ті, у яких стан ENABLED=FALSE.

Далі переходимо на наступну ітерацію. Кожна ітерація відповідає окремому такту конкретного часу.

В імітаційному алгоритмі реалізовано наступні технології забезпечення якості обслуговування:

- формування трафіка, що передбачає буферизацію згенерованого трафіка, який неможливо у даний момент передавати;
- контроль за встановленням з'єднання (якщо мережа не може забезпечити задану якість обслуговування, то трафіку відмовляється в обслуговуванні);
- резервування ресурсів мережі;
- організація та обслуговування черг (пріоритетне та непріоритетне обслуговування черг) [3].

## 5. Приклад результатів моделювання

Наведена вище імітаційна модель була використана у розробленому комплексі програм. Засобами програм цього комплексу можна спостерігати завантаженість окремих вузлів чи каналів зв'язку мережі з заданою топологією 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 якості обслуговування з метою подальшого їх аналізу.

Структура мережі, на якій проводилися експерименти, представлена на рис. 1. Для кожного вузла та каналу зв'язку було задано свої параметри. Також було задано події, що повинні відбуватися в мережі: моменти передавання даних, їх об'єми, вузли-відправники та отримувачі інформації, категорії сервісу для даних, що передаються (рис. 2).

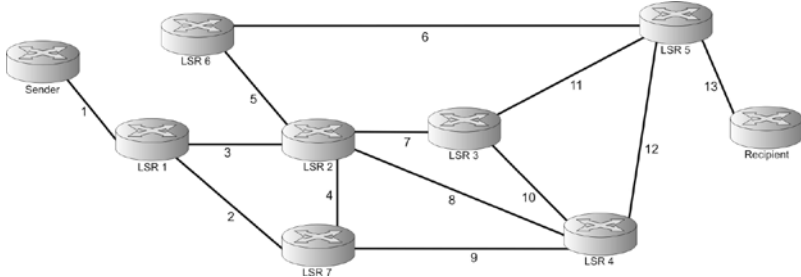


Рис. 1. Топологія експериментальної мережі

Расписание

Генерация трафика

Время	Время, ед.	Такт	Узел от	Узел к	Связь	Объем	Объем, ед.	TTL	QoS
1	секунда [секунд]	1	Отправитель	Получатель	1	1	Кб	0	неопредел
1	секунда [секунд]	8	Отправитель	Получатель	1	1	Mb	0	неопредел
1	секунда [секунд]	3	Получатель	Отправитель	13	1	Mb	0	неопредел
2	секунда [секунд]	1	Получатель	Отправитель	13	9	Mb	0	неопредел
2	секунда [секунд]	1	Отправитель	Получатель	1	53	Mb	0	переменн
2	секунда [секунд]	4	Отправитель	Получатель	1	2	Mb	0	переменн

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

Внешний узел: Отправитель -> 1 -> Внешний узел: Получатель

Время события: 2 секунда [секунд] Такт: 4

Объем: 2 Mb TTL: 0 QoS: переменный

Добавление, Удаление, Отчистка

Рис.2. Розклад генерування трафіка

Досліджувалася завантаженість окремих вузлів та каналів зв'язку з метою виявлення найбільш та найменш завантажених елементів.

На рис. 3 наведено кількість пакетів у буфері комутатора маршрутизації за мітками LSR2 на перших 40 тактах імітації.

На рис. 4 наведено завантаженість каналу зв'язку 3 на перших 40 тактах імітації.

Аналогічним чином можна побудувати графіки завантаженості усіх вузлів та каналів зв'язку та, виходячи з цього, зробити висновок про

доцільність зміни топології мережі. Зокрема, з рис. 3 та 4 можна зробити висновок про те, що завантаженість розглянутого вузла та каналу не є граничною.

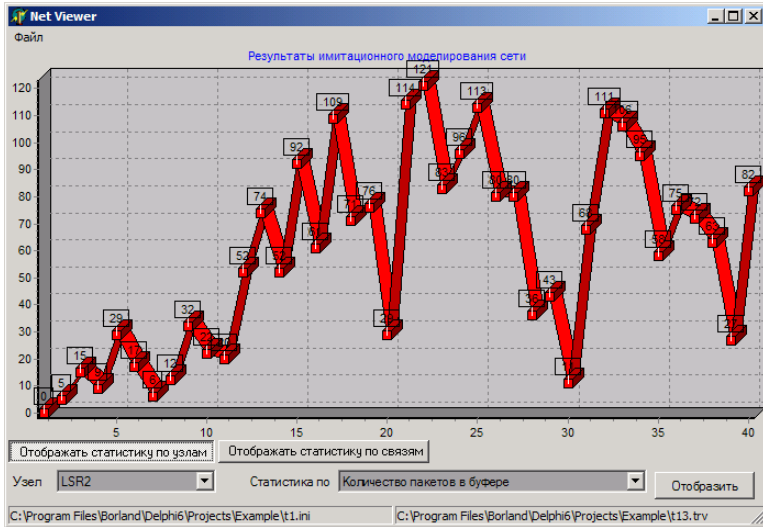


Рис. 3. Завантаженість буфера LSR2

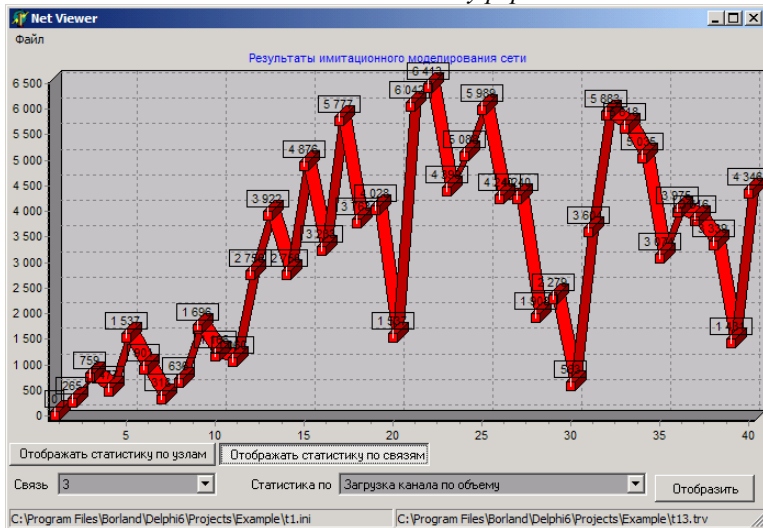


Рис. 4. Завантаженість каналу зв'язку 3

## 6. Висновки

1. У статті сформульовано задачу розробки програмного комплексу, що дозволяє здійснювати розробку топології комп'ютерних мереж з

технологією MPLS, моделювати поведінку мережі в залежності від налаштувань її складових.

2. Наведено детальний опис імітаційного алгоритму та приклад результатів моделювання.

3. В цілому створена імітаційна модель є зручним засобом для проектувальників спеціалізованих комп'ютерних мереж з технологією MPLS. Вона дозволяє будувати топологію мережі, досліджувати поведінку трафіка різних класів при використанні різних технологій забезпечення якості обслуговування, аналізувати ключові показники якості обслуговування.

### **Список посилань**

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. СПб.:БХВ – Санкт – Петербург, 2005.-304 с.: ил.
2. Олвейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 480 с.: ил. – Парал. тит. англ.
3. О.Ю. Зайченко, Ю.П. Зайченко, Д.Ю. Круглов, «Імітаційне моделювання корпоративної мережі АТМ із різними методами управління трафіками», Наукові вісті НТУУ «КПІ».
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978.-422 с.