**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**
**КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ**

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: « **ПОБУДОВА МЕРЕЖІ TCP/IP НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСТНОЇ КОМУТАЦІЇ MPLS»**

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
*(код, найменування спеціальності)*
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
*(назва)*

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

_____ _____Дмитро ЮРЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

Виконав: Здобувач вищої освіти гр. _ТСДМ-63_
Дмитро ЮРЧЕНКО__ __
*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

Керівник: Віталій ТЮРІН
ДТН, доцент *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

Рецензент: _____
*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

**Київ 2025**

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
**Навчально-науковий інститут Телекомунікацій**

Кафедра ___Телекомунікаційних систем та мереж_____
Ступінь вищої освіти __магістр_____
Спеціальність ___172 Електронні комунікації та радіотехніка _____
Освітньо-професійна програма _____Телекомунікаційні системи та мережі

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедрою __ТСМ
_____ Віктор ЗАЇКА
«____» _____ 2025 р.

# ЗАВДАННЯ
# НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Юрченку Дмитру Анатолійовичу
*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Побудова мережі TCP/IP на основі застосування високошвидкістної комутації MPLS
керівник кваліфікаційної роботи Віталій ТЮРІН, ДТН, доцент
*(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)*
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від « ___ » _____ 2025 р. № ___.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «___» _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Мітки MPLS та їх функції
   2. Протоколи MPLS
   3. HPE 5510HI MPLS Configuration Guide
   4. Науково-технічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
   1. Знаходження місця MPLS в мережній моделі OSI.
   2. Дослідження протоколу LDP.
   3. Симбіоз MPLS та IP.
5. Перелік ілюстративного матеріалу**:** презентація на слайдах

6. Дата видачі завдання «___» _____ 2025 р.

# КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Підбір та аналіз науково-технічної літератури | 10.10.2025 | Викон. |
| 2 | Дослідження мереж MPLS | 20.10.2025 | Викон. |
| 3 | Мітки MPLS та їх фунції | 31.10.2025 | Викон. |
| 4 | Функціонування протоколу LDP | 20.11.2025 | Викон. |
| 5 | Висновки, вступ, реферат | 30.11.2025 | Викон. |
| 6 | Розробка презентації | 15.12.2025 | Викон. |

Здобувач вищої освіти _____ Дмитро ЮРЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій ТЮРІН
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
**Навчально-науковий інститут телекомунікацій**
**ПОДАННЯ**
**ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ**
**ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
**на здобуття освітнього ступеня магістра**

Направляється здобувач Юрченко Д.А. до захисту кваліфікаційної роботи
*(прізвище та ініціали)*
за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
*(код, найменування спеціальності)*
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
*(назва)*
на тему: «Побудова мережі TCP/IP на основі застосування високошвидкістної комутації MPLS».

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
*(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

**Висновок керівника кваліфікаційної роботи**

Здобувач Юрченко Дмитро Анатолійович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які були поставлені керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до наукової роботи.
Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Юрченка Дмитра Анатолійовича на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Керівник кваліфікаційної роботи ___Віталій ТЮРІН
*(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

«____» _____ 2024 року

**Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу**

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач_Юрченко Д.А. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою телекомунікаційних систем та мереж _____ Віктор ЗАЇКА
*(назва)* *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА**
**на кваліфікаційну роботу**
**на здобуття освітнього ступеня магістра**

здобувача вищої освіти Юрченка Дмитра Анатолійовича

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

на тему «Побудова мережі TCP/IP на основі застосування високошвидкістної комутації MPLS»

**Актуальність.**
В роботі показано, що MPLS є досить потужним і універсальним рішенням проблем QoS, поставленими перед сьогоднішніми пакетними мережами, рішенням, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацію розподілення трафіку.

**Позитивні сторони.**
Лідерство MPLS обумовлено вдало вибраною позицією, дозволяючи оптимальним шляхом відображати наскрізний трафік третього рівня від вихідного мережевого вузла (маршрутизатора) до вхідного вузла в трафік між сусідніми вузлами на другому рівні мережевої ієрархії. Т.ч., MPLS, є гібридом рівнів 2 и 3 семирівневої моделі OSI, зібрала разом краще з двох світів: рівня 2 і рівня 3, світу ATM і світу IP.

**Недоліки.** 1. Більш детально можна було зупинитися на форматах транспорту пакетів.
2. Можна більш детально було пояснити «гибридність» використання MPLS/

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи

**Висновок:** *кваліфікаційна робота заслуговує оцінку "добре", а здобувач* Юрченко Дмитро Анатолійович *заслуговує присвоєння кваліфікації: магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.*

Рецензент _____ _____
науковий ступінь, вчене звання (підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

# РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: ____ стор., ____ рис., ___ табл., __ джер.

*Об'єкт дослідження* –модель мережі MPLS.

*Предмет дослідження* –протоколи мережі MPLS.

*Мета роботи* – визначити варіант побудови мережі MPLS для потреб навчального процесу з використанням обладнання Cisco.

*Методи дослідження* - структурний аналіз побудови мереж MPLS. Результати дослідження показали доцільність побудови мережі MPLS на підставі обладнання Cisco.

В роботі показано, що MPLS є досить потужним і універсальним рішенням проблем QoS, поставленими перед сьогоднішніми пакетними мережами, рішенням, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацию розподілення трафику. Лідерство MPLS обумовлено вдало вибраною позицією, дозволяючи оптимальним шляхом відображати наскрізний трафік третього рівня від вихідного мережевого вузла (маршрутизатора) до вхідного вузла в трафік між сусідніми вузлами на другому рівні мережевої ієрархії. Т.о., MPLS, є гібридом рівнів 2 и 3 семирівневої моделі OSI, зібрала разом краще з двох світів: рівня 2 і рівня 3, світу ATM і світу IP.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

МЕРЕЖА MPLS, ПРОТОКОЛ TCP/IP, ПРОТОКОЛ LDP, КЛАС ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ ПЕРЕСИЛАННЯ, ВІРТУАЛЬНІ ТРАКТИ LSP, РАСПОДІЛЕННЯ МІТОК, ПРОТОКОЛ RSVP, ПРОТОКОЛ OSPF,ПРОТОКОЛ BGP, МАРШРУТИЗАТОР, CISCO.

ABSTRACT

Text part of the master's work: ___ pp., ___ figures, ___ tables, ___ figures.

The object of investigation is the MPLS network model.

The subject of investigation is MPLS network protocols.

Meta robots - choose the option of using MPLS connections for the needs of the initial process with Cisco Wi-Fi networks.

Methods of investigation - structural analysis of MPLS measurements. The results of the investigation showed the effectiveness of the MPLS network on the Cisco equipment.

The work shows that MPLS can complement complex and universal solutions to the QoS problems faced by today's packet networks, solutions that ensure transmission speed, scalability, and optimization of traffic distribution. The MPLS leadership is based on a selected position that allows the optimal way to represent third-tier through traffic from the output edge node (router) to the input node into inter-vessel traffic in nodes on another level of the border hierarchy. Thus, MPLS, a hybrid of Levels 2 and 3 of the seven-layer OSI model, has at once more than two lights: Level 2 and Level 3, ATM light and IP light.

MPLS MEASURES, TCP/IP PROTOCOL, LDP PROTOCOL, OPERATION EQUIVALENCE CLASS, VIRTUAL LSP, MISTAKE DISTRIBUTION, RSVP PROTOCOL, OSPF PROTOCOL, BGP PROTOCOL, ROUTER, CISCO.

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....9
1 ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ MPLS.....13
1.1 Місце протоколу MPLS в моделі OSI.....13
1.2 Класи еквівалентності пересилання пакетів FEC.....15
1.3 Комутовані по міткам тракти LSP.....19
2 МІТКИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ MPLS.....23
2.1 Комутація по міткам.....23
2.2 Структура мітки.....28
2.3 Стек міток MPLS.....31
2.4 Інкапсуляція міток.....32
2.5 Таблиці пересилання.....39
2.6 Привязка «мітка-FEC».....41
2.7 Режими операцій з мітками.....47
3 ПРОТОКОЛ LDP.....53
3.1 Класи еквівалентності пересилання LDP.....53
3.2 Основи протоколу LDP.....56
3.3 Формат і параметри повідомлень LDP.....59
3.3.1 Блоки даних протокола LDP.....59
3.3.2Схема TYPE-Length-Value ……..60
3.3.3. Параметри TLV.....62
3.3.4. Формат поівдомлень LDP.....67
4 МОДЕЛЬ МЕРЕЖІ MPLS.....71
4.1.Аналіз характеристик якості обслуговування……..…..71
4.2 Конфігурування мережі MPLS.....82
ВИСНОВКИ.....91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....92
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ……93

# ВСТУП

MPLS (MultiProtocol Label Switching) - це технологія швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах, заснована на використанні позначок. MPLS розробляється і позиціонується як спосіб побудови високошвидкісних IP-магістралей, однак область її застосування не обмежується протоколом IP, а поширюється на трафік будь-якого протоколу маршрутизації мережевого рівня.

Традиційно головними вимогами, що пред'являються до технології магістральної мережі, були висока пропускна здатність, мале значення затримки і хороша масштабованість. Проте сучасний стан ринку диктує нові правила. Тепер постачальнику послуг недостатньо просто надавати доступ до своєї IP-магістралі. Потреби користувачів що змінилися, включають в себе і доступ до інтегрованих сервісів мережі, і організацію віртуальних приватних мереж (VPN), і ряд інших інтелектуальних послуг. Зростаючий попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого IP-доступу, обіцяє принести Internet-провайдерам величезні доходи. Для вирішення виникаючих завдань і розробляється архітектура MPLS, яка забезпечує побудову магістральних мереж, що мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіка і безпрецедентну гнучкість з точки зору організації додаткових сервісів. Крім того, технологія MPLS дозволяє інтегрувати мережі IP і ATM, за рахунок чого постачальники послуг зможуть не тільки зберегти кошти, інвестовані в устаткування асинхронної передачі, але і витягти додаткову вигоду з спільного використання цих протоколов.За розвиток архітектури MPLS відповідає робоча група з однойменною назвою , що входить в секцію з маршрутизації консорціуму IETF. У діяльності групи беруть активну участь представники найбільших постачальників мережевих рішень та обладнання. Ця архітектура виросла з системи Tag Switching, запропонованої Cisco Systems, проте деякі ідеї були запозичені у конкуруючої технології IP-комутації, створеної компанією Ipsilon,

та проекту ARIS корпорації IBM. В архітектурі MPLS зібрані найбільш вдалі елементи всіх згаданих розробок, і незабаром вона повинна перетворитися на стандарт Internet завдяки зусиллям IETF і компаній, зацікавлених у якнайшвидшому просуванні цієї технології на ринок.

В основі MPLS лежить принцип обміну позначок. Будь-який пакет що передається, асоціюється з тим чи іншим класом мережевого рівня (Forwarding Equivalence Class, FEC), кожен з яких ідентифікується певною міткою. Значення мітки унікально лише для ділянки колії між сусідніми вузлами мережі MPLS, які називаються також маршрутизаторами, комутуючимі по мітках (Label Switching Router, LSR). Мітка передається в складі будь-якого пакету, причому спосіб її прив'язки до пакету залежить від технології, що використовується на канальному рівні.

Маршрутизатор LSR отримує топологічну інформацію про мережу, беручи участь у роботі алгоритму маршрутизації - OSPF, BGP, IS-IS. Потім він починає взаємодіяти з сусідніми маршрутизаторами, розподіляючи мітки, які в подальшому будуть застосовуватися для комутації. Обмін мітками може проводитися за допомогою як спеціального протоколу розподілу міток (Label Distribution Protocol, LDP), так і модифікованих версій інших протоколів сигналізації в мережі (наприклад, незначно видозмінених протоколів маршрутизації, резервування ресурсів RSVP та ін.) Розподіл міток між LSR призводить до встановлення всередині домену MPLS шляхів з комутацією по мітках (Label Switching Path, LSP). Кожен маршрутизатор LSR містить таблицю, яка ставить у відповідність парі «вхідний інтерфейс, вхідна мітка» трійки «префікс адреси отримувача, вихідний інтерфейс, вихідна мітка».

Одержуючи пакет, LSR за номером інтерфейсу, на який прийшов пакет, і за значенням прив'язаною до пакету мітки, визначає для нього вихідний інтерфейс. (Значення префікса застосовується лише для побудови таблиці і в самому процесі комутації не використовується.) Старе значення мітки замінюється новим, яка міститься в полі «вихідна мітка» таблиці, і пакет

відправляється до наступного пристрою на шляху LSP. Вся операція вимагає лише одноразової ідентифікації значень полів в одному рядку таблиці. Це займає набагато менше часу, ніж порівняння IP-адреси відправника з найбільш довгим адресним префіксом в таблиці маршрутизації, що використовується при традиційній маршрутизації.

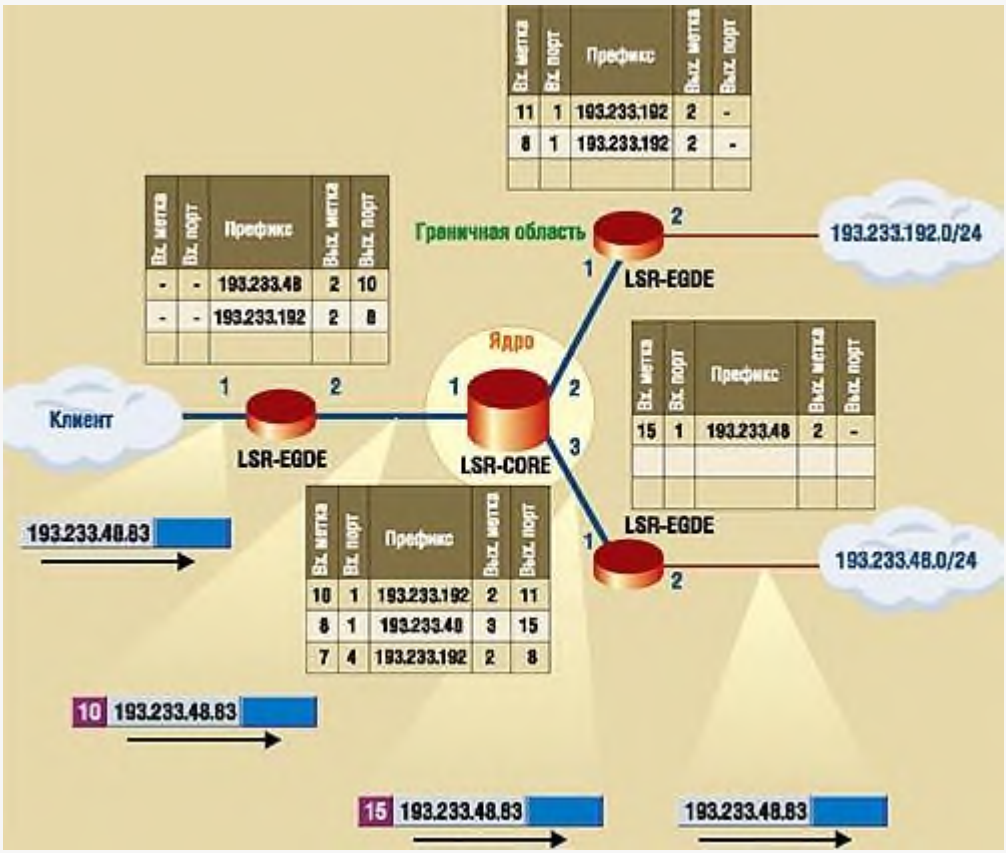



Рис. 1.1 Схема комутації MPLS

Мережа MPLS ділиться на дві функціонально різні області - ядро і граничну область (рис. 1.). Ядро утворюють пристрої, мінімальною вимогою до яких є підтримка MPLS та участь у процесі маршрутизації трафіку для того протоколу, який комутується з допомогою MPLS. Маршрутизатори ядра займаються тільки комутацією. Всі функції класифікації пакетів по різних FEC, а також реалізацію таких додаткових сервісів, як фільтрація, явна маршрутизація, вирівнювання навантаження і керування трафіком, беруть на

себе граничні LSR. У результаті інтенсивні обчислення припадають на граничну область, а високопродуктивна комутація виконується в ядрі, що дозволяє оптимізувати конфігурацію пристроїв MPLS залежно від їхнього розташування в мережі.

Таким чином, головна особливість MPLS - відокремлення процесу комутації пакета від аналізу IP-адрес в його заголовку, що відкриває низку привабливих можливостей. Очевидним наслідком описаного підходу є той факт, що черговий сегмент LSP може не збігатися з черговим сегментом маршруту, який був би вибраний під час традиційної маршрутизації.

Оскільки на встановлення відповідності пакетів певним класам FEC можуть впливати не тільки IP-адреси, а й інші параметри, неважко реалізувати, наприклад, призначення різних LSP пакетів, що належать до різних потоків RSVP або мають різні пріоритети обслуговування. Звичайно, подібний сценарій вдається здійснити і в звичайних маршрутизації мережах, але рішення на базі MPLS виявляється простіше і до того ж набагато краще масштабується.

Кожен з класів FEC обробляється окремо від інших - не тільки тому, що для нього будується свій шлях LSP, але й у сенсі доступу до загальних ресурсів (смузі пропускання каналу і буферному просторі). У результаті технологія MPLS дозволяє дуже ефективно підтримувати необхідну якість обслуговування, не порушуючи наданих користувачеві гарантій. Застосування в LSR таких механізмів управління буферизацією та чергами, як WRED, WFQ або CBWFQ, дає можливість оператору мережі MPLS контролювати розподіл ресурсів та ізолювати трафік окремих користувачів.

Використання явно заданого маршруту в мережі MPLS вільно від недоліків стандартної IP-маршрутизації від джерела, оскільки вся інформація про маршрут міститься в мітці і пакету не потрібно нести адреси проміжних вузлів, що покращує управління розподілом навантаження в мережі.

# 1 ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ MPLS

## 1.1 Місце протоколу MPLS в моделі OSI

Технологія багатопротокольної комутації по мітках MPLS стала результатом злиття декількох східних технологій, які були винайдені в середині 1990-х років. Найбільш відома з них (хоча і не перша, що побачила широкий світ) була названа її винахідниками - компанією Ipsilon - IP Switching. Раніше компанія Toshiba вже описала схожий механізм - Cell Switching Router (CSR) , а незабаром були оприлюднені відомості і про деякі інші технології, серед яких відзначимо Tag Switching (Cisco Systems) та ARIS (IBM). Ці механізми мають ряд загальних рис. Всі вони використовують для пересилання пакетів простий метод заміни міток і розроблену для Інтернет структуру управління, тобто IP-адреси і стандартні протоколи маршрутизації, наприклад OSPF та BGR

Зростаючий інтерес до комутації з використанням міток привів до створення спеціальної робочої групи IETF, метою якої було виробити на основі вищезгаданих механізмів загальний стандарт. Не бажаючи давати групі назву, яке відповідало б продукту якої-небудь однієї компанії, IETF остановив свій вибір на нейтральній назві: багатопротокольна комутація по мітках.

Можна зустріти інші переклади словосполучення label switch ¬ ing: «комутація міток», «комутація на базі (або, що те ж саме, - на основі) міток». Перший з цих перекладів просто невірний - адже комутуються не мітки, а пакети. Другий дещо спотворює дійсний стан речей - базу (або основу) комутації складають далеко не тільки позначки.

Перед пересилкою прийнятого пакету на наступний відрізок маршруту пристрій комутації по мітках зазвичай вставляє в цей пакет, деяку нову позначку замість тієї,

яка в ньому містилася. Ця операція називається заміною міток (label swapping). Для того щоб визначити, куди пересилати пакети, пристрій комутації по мітках, яке називається маршрутізатором LSR (Label Switching Router), використовує стандартні протоколи управління IP-мережею.

Багатопротокольний (Multi-Protocol) комутацією MPLS називається тому, що її засоби застосовані до будь-якого протоколу мережевого рівня, тобто MPLS - це свого роду інкапсулючий протокол, здатний транспортувати інформацію безлічі протоколів нижчих рівнів моделі OSI, як це показано на рис. 1.1.

Нагадаємо, що перший, фізичний рівень (physical layer) містить функції, що забезпечують використання фізичного середовища для двосторонньої передачі бітів (з такою достовірністю, яку забезпечує ця середа) за прямим трактом, связивающему два вузли мережі. Другий рівень - рівень ланки даних (data link layer) - містить функції, які забезпечують формування в цьому тракті надійного логічного ланки зв'язку, за яким проходить двосторонній обмін інформаційними блоками між названими вузлами; при цьому шляхом виявлення та виправлення помилок гарантується задана достовірність передачі.

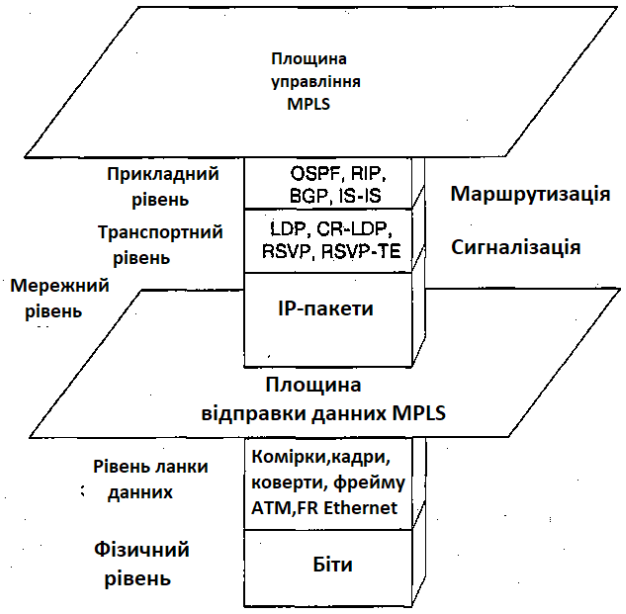



Рис.1.1 Площини протоколу MPLS

Третій, мережевий рівень містить функції, що забезпечують транспортування інформаційних блоків від відправника до одержувача через декілька вузлів мережі по підходящий маршрут транспортом , який складається з ланок другого рівня. Загальна ідея протоколів всіх рівнів (окрім фізичного) полягає в тому, що інформаційний блок кожного рівня містить заголовок і інформаційне поле, і в тому, що блок протоколу вищого рівня поміщається в інформаційне поле блоку протоколу розміщеного відразу під ним нижчого рівня.

Представлена на рис. 1.1 площина пересилання даних MPLS не утворює повноцінного рівня, вона «вклинюється» в мережах IP, ATM або Frame Relay між 2-м і 3-м рівнями моделі OSI, залишилась незалежною від цих рівнів. Можна сказати, що одночасное функціонування MPLS на мережевому рівні та на рівні ланки даних призводить до утворення так званого рівня 2.5, де, власне, і виконується комутація по мітках.

## 1.2 Класи еквівалентності пересилки пакетів FEC.

Раніше визначено три основних елементи технології MPLS: FEC - Forwarding Equivalency Class - клас еквівалентності пересилки, LSR - Label Switching Router - маршрутизатор комутації за міткам і LSP - Label Switched Path - комутований по мітках тракт. Розглянемо їх сутність. Почнемо з класів еквівалентності пересилки.

При традиційному транспортуванні пакета через мережу з використанням протоколу рівня 3, не передбачається створення віртуальних з'єднань, кожен маршрутизатор на шляху слідування пакету самостійно приймає рішення про те, до якого маршрутизатора переслати цей пакет далі (спосіб транспортування hop-by- hop). Інакше кажучи, в кожному маршрутизаторі на шляху проходження пакета аналізується його заголовок і виконується алгоритм

мережевого рівня. Тут і далі використовується англійське слово hop - стрибок, стрибок, - а в термінах маршрутизації - одне пересилання. Під пересиланням пакету розуміється його передача до найближчого маршрутизатора з тих, що розташовані на можливому шляху проходження цього пакету, тобто слово «пересилання» використовується як еквівалент англійського слова forwarding.

У заголовку пакету міститься набагато більше інформації, ніж потрібно для того, щоб вибрати наступний маршрутизатор. Цей вибір можна організувати простіше - шляхом виконання двох функцій. Одна з них полягає в розділенні всього безлічі прибуваючих пакетів на класи, які називаються класами еквівалентності пересилання FECs (Forwarding Equivalence Classes). Друга ставить у відповідність кожному FEC певний «напрямок» пересилання (слово «напрямок» написано в лапках тому, що в мережі використовується режим hop-by-hop, і різні пакети одного і того ж FEC можуть пересилатися до різних маршрутизаторів, тобто фізичні напрямки пересилання можуть бути різними). З точки зору вибору наступного маршрутизатора всі пакети, що належать одному FEC, не чіткі.

Ідея класів еквівалентності більш універсальна, ніж MPLS. При традиційній IP-маршрутизації той чи інший маршрутизатор теж може вважати, що два пакети належать одній і тій же умовного класу еквівалентності, якщо в його таблицях маршрутизації використовується якийсь адресний префікс, що ідентифікує напрямок, в якому передбачувані маршрути транспортиртування цих двох пакетів збігаються найбільш довго. У міру просування пакета по мережі кожен наступний маршрутизатор аналізує його заголовок і приписує цей пакет до такого з власних, (певних тільки в даному маршрутизаторі) класів еквівалентності, який відповідає тому ж напрямку.

При використанні ж багатопротокольної комутації за міткам MPLS пакет приписується до певного класу FEC тільки один раз, коли він потрапляє в мережу. Цьому FEC присвоюється мітка - ідентифікатор фіксованої довжини, що передається разом з пакетом, коли той пересилається до наступного

маршрутизатора. Завдяки цьому в інших маршрутизаторах заголовок мережного рівня не аналізується. Мітка, встановлена прикордонним маршрутизатором при вході пакету в MPLS-мережу, використовується як покажчик входу таблиці, яка визначає черговий маршрутизатор для пересилання до нього пакету, а також нову позначку для FEC1 до якого належить пакет.

Таким чином, клас еквівалентності пересилки FEC є формою представлення групи пакетів з однаковими вимогами до напряму їх передачі, тобто всі пакети в такій групі обробляються в маршрутизаторі однаково і однаково йдуть до пункту призначення. Прикладом FEC можуть служити всі IP-пакети з адресами пунктів призначення, відповідними деякого префіксу, наприклад, 212.18.6. Можливі також FEC на основі префікса адреси або ще якого-небудь поля IP-заголовка, наприклад, тип обслуговування (ToS). Кожен маршрутизатор мережі MPLS створює таблицю, за допомогою якої визначає, яким чином повинен пересилатися пакет. Ця таблиця, яка називає інформаційної базою міток LIB, містить використовуване безліч міток і для кожної з них - прив'язку «FEC-мітка». Мітки, використовувані маршрутизатором LSR при прив'язці «FEC-мітка», поділяються на такі категорії:

• на платформеній основі, коли значення міток унікальні по всьому тракту LSP; мітки вибираються із загального пулу міток, і ніякі дві мітки, які розподіляються за різними інтерфейсам, не мають однакових значень;

• на інтерфейсній основі, коли значення міток пов'язані з інтерфейсами: для кожного інтерфейсу визначається окремий пул міток, з якого для цього інтерфейсу і вибираються позначки. При цьому мітки, які призначаються для різних інтерфейсів, можуть бути однаковими.

Поняття «мітка» і «база даних LIB» будуть розглянуті більш докладно пізніше, а зараз важливо відзначити, що значення мітки, як правило, змінюється в міру просування пакету по мережі.

Метод пересилки пакетів на основі прив'язування «FEC-мітка», прийнятий в

MPLS, має ряд переваг перед методами, заснованими на аналізі заголовка блоків мережевого рівня. Зокрема, пересилання за методом MPLS можуть виконувати маршрутизатори, котрі здатні читати і замінювати мітки, але при цьому або взагалі не здатні аналізувати заголовки блоків мережевого рівня, або не здатні робити це досить швидко.

Так чи інакше, дії маршрутизатора LSR залежать від значеня мітки, яку він приймає від попереднього LSR. Фактично, дії, що виконуються LSR1 специфіковані в Next Hop Level Forwarding Entry (NHLFE), який вказує наступну ділянку, операцію, яка повинна бути виконана зі стеком міток і кодування, яке слід використовувати для стека в вихідному тракті. Виконувана зі стеком операція може полягати в тому, що LSR повинен змінити мітку на вершині стека. Ця операція може зажадати, щоб LSR просто виштовхнув верхню позначку з сте ¬ ка, або виштовхнув і замінив її нової, або просто помістив нову позначку над тією, яка до цього була верхній, нічого не виштовхуючи і не замінюючи. Наступним ділянкою для оброблюваного пакета з позначками може виявитися і той же самий LSR. У цьому випадку LSR виштовхує верхню позначку стека і пересилає пакет самому собі. У цей момент пакет може мати ще одну позначку, яку слід аналізувати, або опинитися без позначок, тобто вихідним пакетом IR В останньому випадку пакет пересилається відповідно до стандартної маршрутизації IR

Якщо маршрутизатор виявляє, що він є передпослідній LSR в тракті, то він повинен видалити весь стек і передати пакет в останній LSR. Завдяки цьому мінімізується обсяг обробки, яку повинен виконати останній LSR. Те, яким чином LSR визначає, що він у даному тракті передостанній, є завданням розподілу міток і використовуваного для цього протоколу розподілу позначок. Але перш пояснимо, що ж являє собою цей тракт.

## 1.3 Комутовані по мітках тракти LSP.

При розгляді класів FEC зазначалося, що шлях проходження потоку пакетів у мережі MPLS визначається тим FEC, який встановлений для цього потоку у вхідному LSR. Такий шлях носить назву комутованого по мітках тракту LSP (Label-Switched Path) і ідентифікується послідовністю міток у LSR, розташованих на шляху проходження потоку від відправника до одержувача.

LSP організовуються або перед передачею даних (з управлінням від програми), або при виявленні певного потоку данних (керовані даними).

Мітки в LSP призначаються за допомогою протоколу розподілу міток LDP (Label Distribution Protocol), причому існують різні способи такого розподілу на основі даних допоміжних протоколів, зокрема, протоколу RSVP-TE. Підготовлюють процес розподілу міток протоколи маршрутизації, такі як OSPF, IS-IS або BGP. За допомогою цих протоколів маршрутизації створюється «древо» мережі, на яке «розвішуються» мітки).

Головне завдання розподілу міток - це організація та обслуговування трактів LSP, в тому числі, визначення кожної прив'язки «FEC-мітка» в кожному LSR тракту LSR Маршрутизатор LSR використовує протокол розподілу міток, щоб інформувати про прив'язку «FEC-мітка »вищестоящий LSR. Нижчий LSR може безпосередньо повідомляти про прив'язку «мітка-FEC» вишестоячого LSR1 що називається прив'язкою за ініціативою нижчестоящого (unsolicited downstream). Крім того, можливо повідомлення про прив'язанні, що передається нижчестоящим на вимогу (downstream on demand), коли вищестоящий LSR запитують прив'язку у нищестоящего LSR. Організовуваний LSP завжди є одностороннім ¬ ним. Трафік зворотного напрямку йде за іншим LSR Технологія MPLS підтримує наступні два варіанти створення LSP:

• послідовна маршрутизація по ділянках маршруту (hop-by-hop routing) - кожен LSR самостійно вибирає наступний відрізок маршруту для даного FEC Ця

методологіягія схожа з тією, що застосовується зараз в IP-мережах. LSR використовує наявні протоколи маршрутизації, такі, наприклад, як OSPF;

• явна маршрутизація (ER) - схожа з методом маршрутизації з боку відправника. Вхідний LSR (тобто LSR1 від якого виходить потік даних у мережі MPLS) специфікує ланцюжок вузлів, через які проходить ER-LSR специфіковані тракт може виявитися не оптимальним. Уздовж тракту можуть резерувати ресурси для забезпечення заданого QoS трафіку даних. Це полегшує оптимальний розподіл трафіку по всій мережі та дозволяє надавати диференційоване обслуговування потоків трафіку різних класів, сформований ¬ них на основі прийнятих правил і методів управління мережею.

Розглянемо логічно завершений домен мережі MPLS, зображений на рис. 1.2. Завершенность цього домену виражається в тому, що він має цілком певний замкнений кордон, уздовж якого розміщено сімейство так званих прикордонних вузла MPLS (MPLS edge nodes або, як їх ще іноді називають, LER - Label Edge Router), позначених на рис . 1.2 як LSR1, LSR5, LSR6, LSR7. Крім цих вузлів, всередині домену мережі MPLS (коли це не викликає двоякого тлумачення, ми будемо для зручності називати його просто MPLS-мережею) є безліч маршрутизаторів, кожен з яких має з рештими маршрутизаторами (у тому числі і з прикордонними вузлами) або прямі, або комутовані зв'язку. В останньому випадку комутація, необхідна для створення такого зв'язку, проводиться іншими маршрутизаторами з цієї множини, які не обов'язково є прикордонними вузлами MPLS і можуть не мати функцій LSR. Більш того, деякі комутовані зв'язку між LSR можуть проходити через підмережі, вбудовані в розглянуту MPLS-мережа. Вони, зрозуміло, не показані в прикладі на рис. 1.2, де зображені тільки три внутрішніх маршрутизатора LSR2, LSR3 і LSR4.

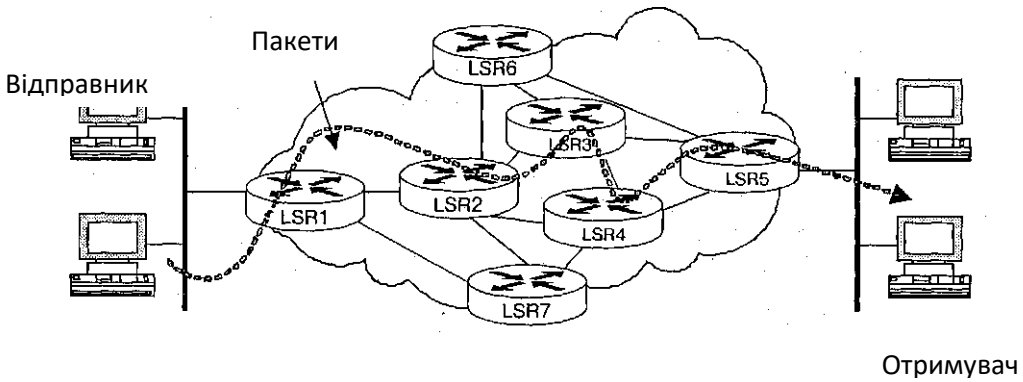



Рис. 1.2 Приклад домену MPLS-мережі

Нагадаємо, що на рис. 1.2 зображено лише спрощений домен MPLS-мережі. Пакети, що надходять у нього, можуть приходити як безпосередньо від відправників (що показано на рис. 1.2), так і з склепивної мережі, яка може бути MPLS-мережею більш високого рівня (тобто містити в собі розглянутий домен). Ці пакунки приймаються прикордонним вузлом MPLS (в даному випадку LSR1), який є по відношенню до цих пакетів вхідним MPLS-вузлом. Паке ¬ ти, що направляються мережею в іншу суміжну мережа, передаються туди іншим прикордонним вузлом, який є по відношенню до цих пакетів вихідним MPLS-вузлом (в даному випадку LSR5). У загальному випадку, всі пакети, які транспортуються через MPLS-мережа від вхідного MPLS-вузла LSR1 до вихідного MPLS-вузла LSR5, належать одному FEC і слідують по одному і тому ж віртуальному комутованому по мітках тракту LSP, який може проходити через кілька LSR і маршрутизаторів без функцій LSR.

Таким чином, в MPLS-мережі є маршрутизатори двох типів: прикордонні LSR і транзитні LSR. Прикордонні маршрутизатори LSR у ряді випадків включають в себе шлюзи інтерфейсів мереж різних видів (наприклад, Frame Relay, ATM або Ethernet) та передають їх трафік в MPLS-мережа після організації трактів LSP, а також розподіляють трафік зворотного напрямку при виході його з MPLS -мережі. До цього слід додати, що будь-який MPLS-сумісний маршрутизатор повинен бути здатний приймати в будь-якому своєму інтерфейсі пакет зі вставленою міткою, відшукувати її в таблиці комутації, вставляти нову позначку в відповідному форматі і потім відправляти пакет

через інший інтерфейс. Іншими словами, прикордонний LSR може комутувати пакеті міткою від будь-якого інтерфейсу до будь-якого іншого інтерфейсу з заміною позначки. Такий підхід набагато гнучкіші, ніж у випадку ATM, так як він не обмежений виключно каналами передачі осередків. Прикордонні маршрутизатори виконують основну роль у процесі призначення і видалення міток, коли трафік надходить в MPLS-мережа або виходить з неї.

При цьому корисно відзначити, що будь-який транзитний LSR здатний приймати пакети без позначок, тобто зі звичайними IP-заголовками. Досить часто зустрічається в літературі твердження, що всередині домену MPLS пакунки між транзитними LSR маршрутизуються тільки по мітках, не зовсім вірно. Для звичайного MPLS-трафіку це дійсно так, але службові повідомлення передаються з використуванням IP-заголовків.

До вихідного вузла LSR5 (рис. 1.2) надходять потоки пакетів від декількох вхідних вузлів (від LSR1, LSR6, LSR7). У проміжних маршрутизаторах деякі з цих потоків можуть «зливатися», тобто об'єднуватися в один загальний потік пакетів, які мають в цій точці злиття загальний FEC Таким чином, безліч трактів LSP, що йдуть до одного вихідного вузла, утворюють розголужене дерево, корінь якого знаходиться в  вихідному вузлі.

Кожен з чотирьох прикордонних вузлів виконує, у загальному випадку, функції і вхідного, і вихідного вузла, так що в зображеній на малюнку MPLS-мережі існує чотири дерева такого роду, які разом містять 4х (4-1) = 12 трактів LSR Ясно , що через один проміжний маршрутизатор LSR може проходити кілька LSP1 в тому числі, LSR що належать різним деревах. Якщо врахувати, до того ж, що фізична топологія мережі відрізняється від топології віртуальної мережі LSP (і ще раз згадати про режим hop-by-hop), то стане ясно, що на практиці можуть виникати випадки «закольцовиванія» шляхів проходження пакетів, і, отже, в MPLS-мережах потрібно передбачати заходи виявлення та / або запобігання таких випадків.

# 2 МІТКІ І ФУНКЦІОНУВАННЯ MPLS

## 2.1 Коммутація по мітках

З визначення MPLS видно, що мітки - основа основ цієї технології. Саме з позначками виконуються процедури їх розподілу по маршрутизаторам LSR та процедури створення трактів LSR за якими будуть слідувати пакунки MPLS. Після розподілу міток і створення трактів LSP може виконуватися головна функція MPLS - пересилання забезпечених мітками пакетів по мережі MPLS. Крім цієї функції повинні вирішуватися і допоміжні завдання, пов'язані з мітками, а саме, контроль часу збереження міток, упорядкування міток і обробка помилок. У попередньому розділі домен мережі MPLS визначений як сукупність вузлів LSR, між якими створені безперервні LSP. Там же, на рис. 1.2 представлений такий домен. Розглянемо докладніше основні кроки алгоритму, який виконується в відношенні пакетів даних у ньому. Для цього скорегуємо рис. 1.2, привівши його до виду рис. 2.1. На базі рис. 2.1 і підбиваючи підсумки глави 1, перелічим основні кроки, які необхідні, щоб забезпечити проходження пакета даних через домен MLPS:

Важно Крок 1. Створення і розподіл міток. До початку передачі через мережу MPLS пакетів трафіку будь-якого виду маршрутизатори LSR встановлюють відповідність між позначками і FEC у своїх таблицях. У наступному розділі буде показано, як нижчестоящі маршрутизатори за допомогою сигналізації LDP1 використовує транспортний протокол TCP, виробляють розподіл міток і прив'язку їх до класів FEC Крім того, проводиться узгодження характеристик трафіку і функціональних можливостей MPLS.

Нагадаємо, що значення міток можуть вибиратися і розсилатися або заздалегідь, до передачі даних (крива 2 на рис. 2.1), або генеруються як пакети,

що належать певному потоку даних які надходять у мережу MPLS або трафіку певного класу (крива 3). Ці два підходи до призначення міток, як зазначалося в попередньому розділі, називаються, відповідно, призначенням з керуванням від програми і призначенням, керованим трафіком (даними). Але після того, як домен комутації по мітках сконфігурований для обслуговування пакетного трафіку, пересилаємого через MPLS-мережу за допомогою міток, всі пакети обробляються однаково.

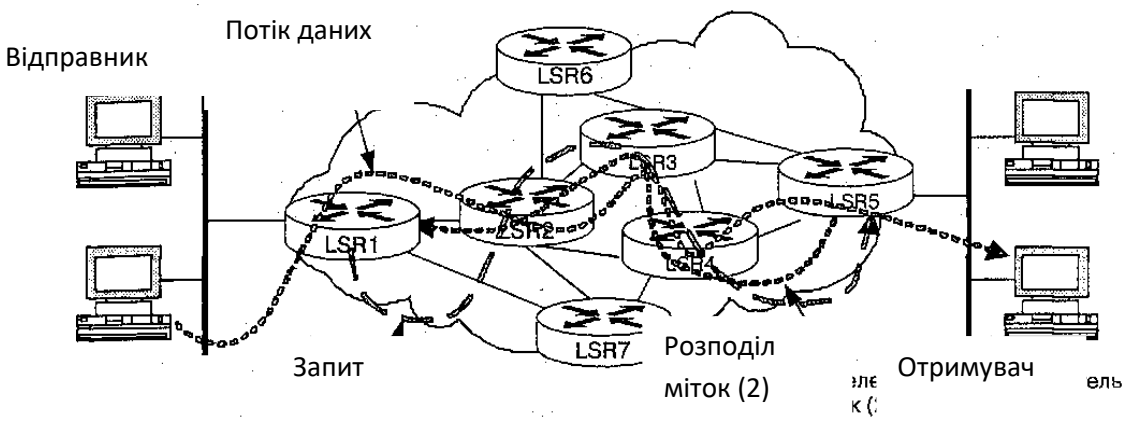



Рис. 2.1 Коммутація по мітках в MPLS-мережі

Крок 2. Створення таблиці в кожному LSR. При отриманні даних про прив'язку міток до FEC кожен маршрутизатор LSR створює записи в таблиці LIB. Вміст таблиці відображає відповідність між позначками і FEC і ставить у відповідність кожній парі «вхідний інтерфейс, мітка що входить» пару «вихідний інтерфейс, мітка що виходить». При будь-якому новому погодження прив'язки міток до FEC записи в таблиці оновлюються. Структура таблиці буде розглянута далі в цьому розділі. Слід нагадати, що таблиці міток, що погодив ¬ но з якими кожен пакет направляється за відповідним тракту LSP1 завжди повинні бути задані до того, як пакет почне свій шлях по мережі. Крім того, комутований по мітках тракт - завжди однобічний. Якщо необхідно, щоб пакетний трафік між двома прикордонними LSR проходив і в протилежному

напрямку, слід створити два тракти.

Крок 3. Створення комутованого по мітках тракту LSP. Як показано лінією 3 на рис. 2.1, тракти LSP створюються в напрямку, протилежному створенню записів у таблицях LIB. Нагадуємо, що кожен LSR отримує мітку від нижчестоящого маршрутизатору. LSP створюється шляхом послідовної маршрутизації по ділянках, а якщо потрібно оптимізація розподілу трафіку, для визначення тракту використовується протокол CR-LDP, гарантуючий виконання вимог до QoS / CoS, або протокол RSVP-TE.

Крок 4. Табличний пошук і інкапсуляція мітки в пакет. Вхідний маршрутизатор (LSR1 на рис. 2.1), визначивши, якому FEC належить прийнятий їм ззовні пакет, використовує таблицю LIB, щоб відшукати потрібну прив'язку «FEC-мітка», і інкапсулює цю мітку способом, що відповідає що застосовується на рівні 2 технології, як це буде показано нижче.

Крок 5. Пересилання пакета. Розглянемо проходження пакета від вхідного маршрутизатора LSR1 до вихідного маршрутизатора LSR5. Відзначимо, що LSR1 може не мати позначки для цього пакета. У такому випадку він знаходить наступний маршрутизатор за IP-адресою. Нехай наступним маршрутизатором для LSR1 є LSR2. маршрутізатор LSR1 ініціює запит мітки від LSR2. Отриману мітку LSR1 вставляє в пакет і пересилає його до LSR2. Кожен наступний LSR (у даному випадку - LSR3 і LSR4) аналізує мітку, що міститься в прийнятому пакеті, замінює її вихідної міткою і пересилає пакет далі. Коли пакет досягає LSR5, той видаляє мітку з пакету, оскільки пакет залишає домен MPLS, і доставляє пакет адресату. Тракт LSP1 по якому проходить пакет, показаний переривчастими лініями 3.

Розглянемо докладніше що використовується на кроці 5 алгоритм заміни міток при пересиланні пакетів через домен MPLS. Отримавши пакет, маршрутизатор LSR витягує з нього мітку і використовує її як індекс у своїй таблиці пересилання. Як тільки знайдена запис, в якій значення вхідної мітки дорівнює значенню мітки, витягнутої з пакета, маршрутизатор, згідно підзаписі

цього запису, що входить, замінює мітку в пакеті вихідної міткою і пересилає пакет через вихідний інтерфейс, зазначений у підзаписі, до наступного LSR1 також вказаною в цій подзапісі. Якщо підзапісь вказує певну вихідну чергу, маршрутизатор ставить пакет саме в цю чергу. Простота алгоритму пересилання пакетів, використовуваного в MPLS, обумовлює просту і економічну його реалізацію в апаратному забезпеченні, що, у свою чергу, дозволяє підвищити продуктивність Передачі без використання дорогої апаратури.

Якщо LSR підтримує не одну, а кілька таблиць (по одній для кожного зі своїх інтерфейсів), то єдина зміна алгоритму полягає в тому, що після отримання пакету LSR попередньо вибирає ту таблицю, яка буде використовуватися для обробки пакета. Вибір таблиці здійснюється згідно ідентифікатору інтерфейсу, через який пакет був отриманий.

Таким чином, мітка, яка переноситься у складі пакету, завжди передає семантику пересилання, тому що вона однозначно визначає потрібний запис у таблиці, яку веде LSR, і тому що цей запис містить інформацію про те, куди пересилати пакет. В якості опції мітка може також передавати семантику резер вування ресурсів, оскільки визначається нею запис може містити інформацію про те, які ресурси буде використовувати пакет, наприклад, ту вихідну чергу, в яку він повинен ставитися. Коли мітка переноситься в заголовку ATM або Frame Relay, вона повинна передавати семантику як пересилання, так і резервування ресурсів. Коли мітка переноситься в спеціальному заголовку, інформація про те, які ресурси будуть доступні пакету, може кодуватися як частина цього заголовка, а не переноситися міткою, яка служить в цьому випадку тільки для пересилання. Ще один можливий варіант полягає у спільному використанні для кодування цієї інформації як мітки, так і «не міточной» частини спеціального заголовка. І, зрозуміло, навіть при використанні спеціального заголовка мітка може передавати й семантику пе ¬ ресилкі, і семантику резервування ресурсів.

Транзитний LSR3 замінює входячу мітку 8, яку має надійшов до нього пакет, вихідної міткою 76.

Тепер розглянемо алгоритм кроку 5 на прикладі рис. 2.2.

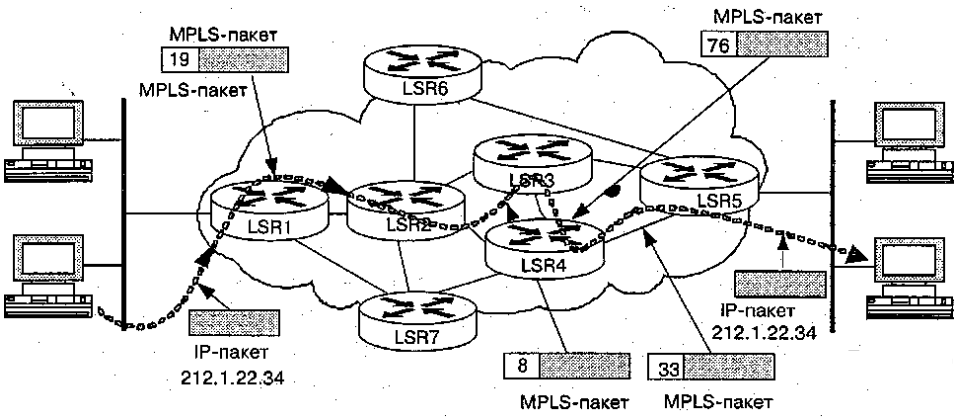



Рис. 2.2 Проходження трафіку в домені MPLS

Потім транзитний LSR3 використовує відповідний вихідний інтерфейс для передачі пакета до іншого транзитному маршрутизатора LSR4, який виконує аналогічну процедуру з пакетом, що надійшли через його вхідний інтерфейс з міткою 76: постачає цей пакет нової міткою 33 і передає його до вихідного прикордонному маршрутизатора LSR5. У маршрутизаторі LSR5 мітка 33 віддаляється, і пакет пересилається до одержувача з адресою 212.1.22.34 за допомогою традиційної маршрутизації на мережевому рівні, залишаючи зображений на рис. 2.2 (а також на рис. 2.1 та на рис. 1.2) домен MPLS.

Таким чином, використання міток є основним механізмом перенесення трафіку через мережу MPLS. Мітки вводяться в пакети при їх вході в мережу MPLS, замінюються новими позначками у міру просування пакетів від вузла до вузла і видаляються на виході пакетів з цієї мережі.

З описаного прикладу видно, що механізм заміни міток має ряд переваг перед механізмом маршрутизації по участкам, який використовується у традиційних IP-маршрутизаторах. Він більш простий і ефективний. Аналіз заголовка пакету виконується тільки один раз - у вхідному LSR1. Заміна міток всередині домену MPLS виконується швидко, оскільки LSR просто розпізнає мітку і замінює її

новою. Вихідний LSR5 визначає, що пакет знаходиться на кордоні домену, видаляє мітку з пакета й пересилає його до домену одержувача вже на основі іншої інформації - заголовка IP-пакета мережного рівня (рис. 2.1). Хоча технологія MPLS - це не просто заміна значень позначок, але поняття мітки та алгоритм їх заміни міток є основою MPLS.

2.2. Структура позначки.

Мітка являє собою короткий елемент фіксованої довжини, що використовується для локальної ідентифікації класу еквівалентності пересилання FEC. За значенням мітки пакету в кожному вузлі маршруту, по якому він передається, визначається його принадлежность певного FEC

Структура мітки MPLS представлена на рис. 2.3. Її довжина складає 32 біта (4 байти): 12 бітів - заголовок і 20 бітів - значення мітки. Заголовок мітки складається з трьох полів: 3-бітового поля exp, яке може служити для позначення класу обслуговування, S-біта ознаки «дна» стека і 8-бітового поля «час життя» TTL (Time-to-Live).

20-бітове поле мітки містить значення MPLS-мітки, котре може бути любим числом від 0до 2 в степені 20, за вийнятком (0, 1, 2, 3 та ін), визначенням користування яких займається робоча група MPLS у складі комітету IETF.




Рис 2.3 Структура мітки

Тепер розглянемо вміст полів заголовка мітки.

Поле експериментальних бітів (EXP) містить три біти, які резервовані для

подальших досліджень та експериментування. В даний час проводиться робота, спрямована на створення узгодженого стандарту використання цих бітів для підтримки диференційованого обслуговування різнотипного трафіку та ідентифікації класу обслуговування. Спочатку поле так і називалося - «Клас обслуговування» (CoS) і ця назва до цих пір зустрічається в літературі. При наданні диференцірованних послуг MPLS-мережі це поле може вказувати певний клас обслуговування, наприклад, аналогічний класам DiffServ. Щоб забезпечити наскрізну якість IP-послуг, на кордоні MPLS-мережі можна скопіювати в полі CoS полі IP-пріоритету з урахуванням того, що поле CoS в MPLS-заголовку містить всього 3 біти, і в ньому може передаватися тільки 3-бітове поле IP-пріоритету, а 6-бітове поле коду диференційованої послуги (Differentiated Service Code Point - DSCP) - ні. При необхідності інформація CoS може передаватися і у вигляді однієї з міток MPLS-стека, тому що полі мітки має розмір 20 бітів і здатна вмістити як поле IP-пріоритету, так полі DSCR

Біт S є засобом підтримки ієрархічної структури стека міток MPLS. У заголовку останньої (тобто самої глибокої або нижньої) мітки біт S = 1, а у всіх інших мітка в стеці біт S = O. Детальніше стек міток розглядається в наступному параграфі.

Поле часу життя (TTL) в заголовку MPLS працює аналогічно полю TTL в IP-дейтаграми; це поле є механізмом, що запобігає можливість нескінченної циркуляції пакетів по мережі внаслідок утворення закільцьованих маршрутів. Байт TTL знаходиться в кінці заголовка мітки і, як представлено на рис. 2.3, займає біти 24 - 31. Діапазон значень цього поля становить від 0 до 255. Пояснимо його призначення докладніше.

Як вже згадувалося, протокол MPLS підтримує два способи визначення маршруту, по якому буде слідувати пакет. Перший з них аналогічний способу hop-by-hop, що використовується сьогодні в IP-мережах, і припускає, що кожен маршрутизатор самостійно вибирає, куди переслати прийнятий ним пакет, так що маршрути, за яким транспортується пакет, виявляється, взагалі кажучи,

випадковим.

Другий спосіб заснований на тому, що маршрутизатори на шляху проходження пакета діють не самостійно, а у відповідності з інструкціями, отриманими від одного з LSR тракту LSP (звичайно - від верхнього LSR, що дозволяє поєднати процедуру «роздачі» цих інструкцій з процедурою розподілу міток). Таким чином, маршрут проходження пакетів однозначно визначається заздалегідь.

Перший спосіб має ряд переваг, пов'язаних із порівняною простотою його реалізації, але не виключає феномен «закольцовивання» маршрутів, для боротьби з яким і використовується поле TTL. Вхідний LSR поміщає в це поле максимальне число LSR1 через які має право пройти пакет, а кожен маршрутизатор, через який пакет проходить, зменшує це число на одиницю. Якщо пакет не призначений вузла, де він опинився в той момент, коли його поле TTL прийняло нульове значення, цей пакет просто відкидається.

Таким чином, значення TTL1 встановлене на кордоні MPLS-мережі, зменшується у міру проходження пакетом кожного наступного LSR. Під час введення в пакет мітки полі TTL токолів IP за замовчуванням копіюється в поле TTL MPLS. Це дозволяє службової програмі traceroute показувати всі проміжні вузли мережі MPLS в тому випадку, коли при досягненні точки призначенням ¬ ня пакет проходить домен MPLS. Якщо потрібно, щоб при вході до MPLS-мережа полі TTL протоколу IP не копіювати в полі TTL MPLS, використовується команда no mpls ip propagate-ttl. У цьому випадку значення поля TTL MPLS установлюється рівним 255, і службова програма traceroute не показує проміжні вузли в MPLS-мережі, а відображає весь домен MPLS як один IP-перехід.

## 2.3 Стек міток MPLS

Специфікація кодування стека міток MPLS визначена документів RFC 3032 «MPLS Label Stack Encoding», написаним Еріком Розен, Яковом Рехтером, Даніелем Таппеном, Діно Фаріначчі, Гі Федорковим, Тоні Лі і Алексом Конта та опублікованими в ян ¬ варі 2001 року. Цей документ містить детальну інформацію про мітка MPLS і про те, як вони використовуються з різними сеті ¬ вимі технологіями, а також визначає ключове для технології MPLS поняття - стік позначок. Можливість мати в пакеті більше однієї позначки у вигляді стека дозволяє створювати ієрархію міток, що відкриває дорогу багатьом додаткам MPLS.

MPLS може виконувати зі стеком наступні операції: розміщувати мітку в стек, видаляти мітку зі стека і замінювати позначку. Ці операції можуть використовуватися для злиття та розгалуження інформаційних потоків. Операція приміщення мітки в стек (push operation) додає нову позначку поверх стека, а операцій видалення мітки зі стека (pop operation) видаляє верхню позначку стека.

Функціональні можливості стека MPLS дозволяють об'єднувати кілька LSP в один. До стеку міток кожного з цих LSP зверху додається загальна позначка, в результаті чого утворюється агрегатний тракт MPLS. У точці закінчення такого тракту він розгалужується  на складові його індивідуальні LSR Так можуть об'єднуватися тракти, що мають спільну частину маршруту. Отже, MPLS здатна забезпечувати ієрархічну пересилання, що може стати важливою і потрібною функціональної можливістю. При її використанні не потрібно переносити глобальну маршрутну інформацію, що робить мережу MPLS більш стабільною і масштабіруемой, ніж мережа з традиційною маршрутизацією.

Згідно розглядаються в наступному параграфі правилами інкапсуляції міток, за міткою MPLS в пакеті завжди повинен слідувати заголовок мережевого рівня. Так як MPLS починає роботу з верхнього рівня стека, цей стек

використовується за принципом LIFO «останнім прийшов, першим пішов».

Приклад чотирирівневої стека міток представлений на рис. 2.4. Тут заголовок MPLS № 1 був першим заголовком MPLS, вміщеним в пакет, потім у нього були поміщені заголовки № 2, № 3 і, нарешті, - заголовок № 4. Комутація по мітках завжди використовує верхню позначку стека, і мітки видаляються з пакету так, як це визначено вихідним вузлом для кожного LSR за яким слід пакет. Розглянутий у попередньому параграфі біт S має значення 1 в нижній мітці стека і О - у всіх інших мітка. Це дозволяє прив'язувати префікс до кількох матюками, іншими словами - до *стеку міток (Label Stack).* Кожна мітка стека має власні значення поля EXP1 S-біта і поля TTL.




Рис. 2.4 Приклад чотирирівневої стека міток MPLS

## 2.4 Інкапсуляція міток

У розділі 1 при розгляді технології MPLS була підкреслена можливість використовувати цю технологію з самими різними протоколами рівнів 2 і 3. Там же говорилось, що MPLS утворює рівень, який «вставляється» між мережним рівнем і рівнем ланки даних і дозволяє різноманітність протоколів як того, так і іншого рівні функціонувати спільно.

При використанні протоколів комутації на рівні ланки даних, таких як ATM і Frame Relay, верхня MPLS-мітка вписується в полі ідентифікаторів цих протоколів. Далі буде показано, як при використанні ATM для розміщення

MPLS-мітки використовується поле VPI / VCI, а при використанні Frame Relay - поле DLCI. У тих випадках, коли MPLS забезпечується пересилання IP-пакетів мережевого рівня і коли технологія рівня ланки даних не підтримує власне поле міток, MPLS-заголовок повинен інкапсулірованние між заголовками рівня ланки даних і мережевого рівня.

Механізм інкапсуляції переносить один або більше протоколів верхніх рівнів всередині корисного навантаження дейтаграми інкапсуліруючого протоколу. По суті, вводиться новий заголовок, який робить з інкапсулеваного заголовка і поля даних нове поле даних. Загальна модель інкапсуляції представлена на рис. 2.5, де мається на увазі, що інкапсуляція MPLS може бути використана з будь-якою технологією рівня 2. Мітка MPLS може бути поміщена в існуючий формат заголовка рівня 2, як у випадку ATM або FR, або вписана до спеціального заголовку MPLS, як у випадку Ethernet або PPR У всіх випадках будь-які додаткові мітки знаходяться між верхньою міткою стека і IP-заголовком рівня 3.

Показаний на мал. 2.5 заголовок MPLS часто називають shim header (заголовком-клином), підкреслюючи в метафоричної форми той факт, що цей заголовок «рівня 2.5» вклинюється в пакеті між заголовками рівня ланки даних і мережевого рівня

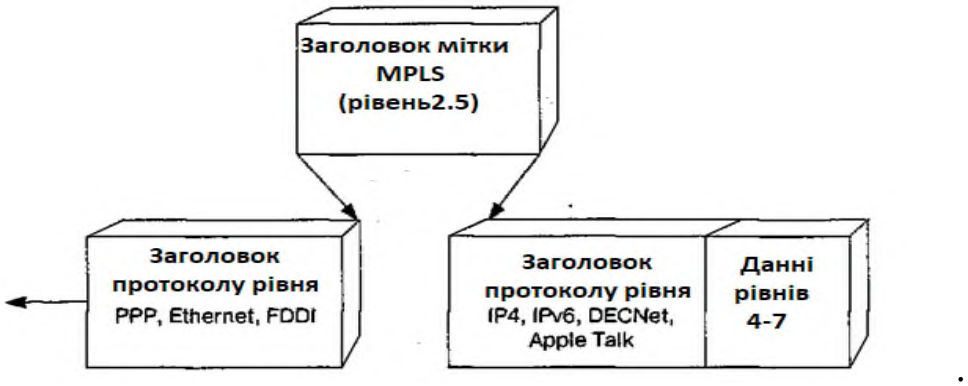



Рис. 2.5 Принцип інкапсуляції заголовка MPLS

Таким чином, однією із самих сильних сторін технології MPLS (и тому відображеной в її назві) є те, що она може використовуваться разом з різними протоколами рівня 2. Серед цих протоколів — ATM, Frame Relay, PPP и Ethernet, FDDI і інші, які передбачені документами по MPLS.

Покажемо, як мітка може вписуватися в заголовок рівня ланки даних (VCI / VPI для мережі ATM, DLCI для мережі Frame Relay і т.п.) або «вставлятися» між заголовками рівня ланки даних і мережевого рівня. З самого початку робоча група IETF MPLS вирішила, що у всіх випадках, коли це можливо, MPLS повинна використовувати наявні формати. З цієї причини інформація мітки MPLS може передаватися в пакеті кількома різними методами:

• як частина заголовка другого рівня ATM, коли інформація мітки передається в ідентифікатори віртуального каналу VCI та віртуального тракту VPI1 що показано на рис. 2.6;

• як частина кадру AAL5 рівня адаптації ATM (ATM Adaptation Layer 5) перед сегментацією та складанням SAR (Segmentation and Reassembly), що виконується в ATM-оточенні у разі, коли ця інформація містить дані про стеці міток (дещо полий MPLS-міток );

• як частина заголовка другого рівня Frame Relay, коли інформація мітки передається в ідентифікатори DLCI (Data Link Connection Identifier), що зображено на рис. 2.7;

• як нова 4-байтовий мітка, звана клином або прокладкою (shim), яка вставляється між заголовками другого і третина його рівнів, що показано на рис. 2.5, у всіх інших випадках.

Розміщення мітки MPLS в заголовку ATM представлено на рис. 2.6.

Використання MPLS поверх ATM зараз досить розповсюдження , - особливо для транспортування по мережах ATM трафіку IP. ATM-комутатори, які конфігурувати для підтримки MPLS (ATM-LSR), виконують протоколи маршрутизації TCP / IP і використовують пересилку даних в ATM фіксованої

довжини 53 байта. Всередині цих ATM-LSR верхня позначка MPLS поміщається в поля VCI / VPI заголовка комірки ATM, а дані про стеку міток MPLS поміщаються в полі даних осередків ATM.

MPLS в мережах Frame Relay було розгорнуто низкою великих поставщіков послуг і до цих пір широко використовується. Подібно ATM, FR-комутатори, що підтримують MPLS, використовують протоколи маршрутизації TCP / IP для пересилання даних під управлінням FR. При використанні FR поточна мітка поміщається в поле ідентифікатора каналу ланки даних DLCI в заголовку FR. Будь-які додаткові записи в стек міток MPLS переносяться після заголовка FR1 але до заголовка мережевого рівня, що міститься в поле даних кадру FR. Стандарт MPLS дозволяє FR використовувать адресу Q.922 довжиною або 2 октету, або 4 октету. Формат представлений на рис.2.6

Відносно осередків ATM і кадрів Frame Relay домовилися використовувати для MPLS наявні формати заголовків, а у всіх інших випадках - власну позначку MPLS - «прокладку» між заголовками другого і третього рівнів. Звідси видно, що MPLS дозволяє створювати нові формати міток без зміни протоколів маршрутизації, а тому розповсюдження цієї технології на знову з'являються види оптичного транспорту, такі як компактне мультиплексування з поділом по довжині волни DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) і оптична коммута ¬ ція, являє собою відносно просту задачу.

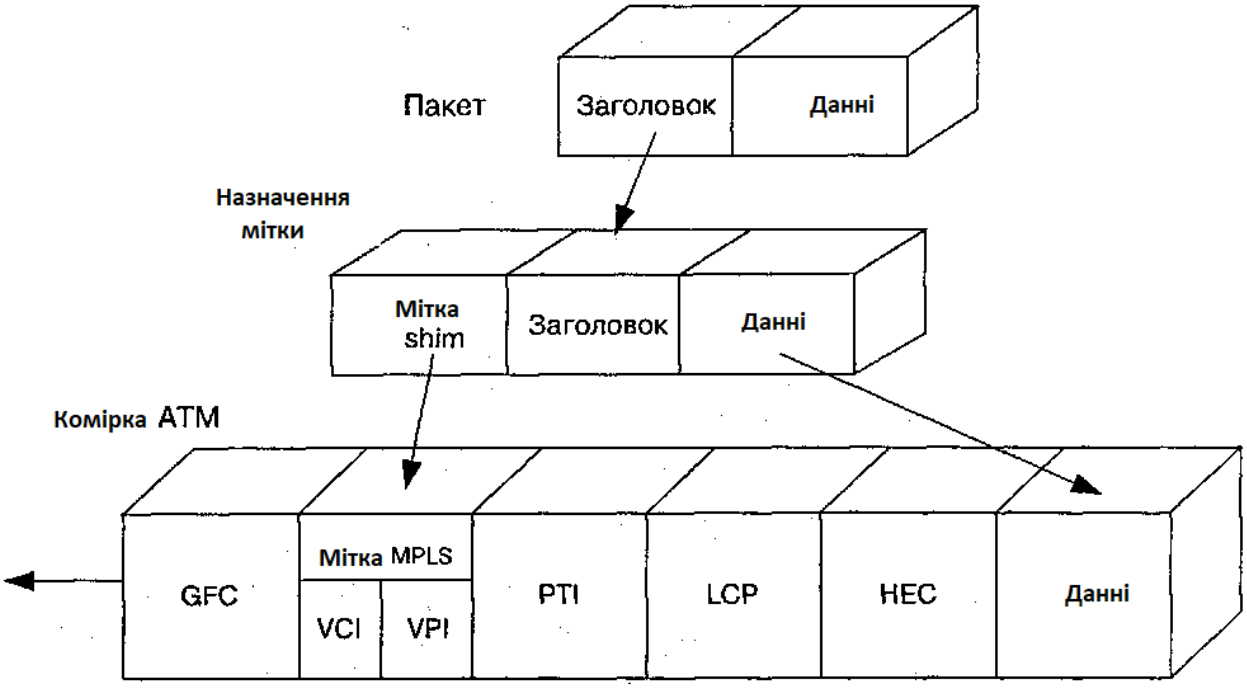



Рис. 2.6 MPLS-мітка, що передається в полях VPI / VCI заголовка AT

Принцип, представлений на рис. 2.5, підходить для каналів типу «точка-точка» (Point-to-Point - PPP) і для локальних мереж Ethernet (усих типів). Подібним методом можна передати одну MPLS-мітку чи стек міток.

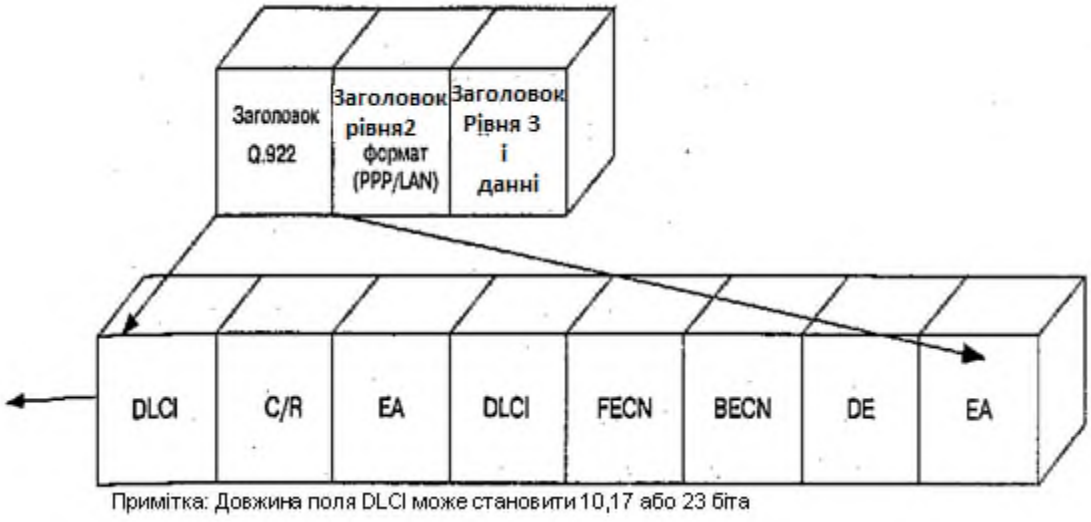



Рис. 2.7 Розміщення мітки MPLS в кадрі FR

*Протокол PPP* фактично являє собою сімейство родствених протоколів IETF, використовуваний для передачі многопротокольних дейтаграм по двоточкових каналах зв'язку. PPP визначає метод інкапсуляції дейтаграм різних протоколів мережного рівня, протоколу управління ланкою даних LCP і набору прото ¬ паль управління мережею NCR Для використання MPLS з управлінням комутацією по мітках через ланку PPP був визначений спеціальні протокол, який управляє передачею пакетів MPLS по каналу PPR Цей протокол позначається абревіатурою MPLSCR Поле пакету протоколу PPP присвоюється спеціальне значення, яке вказує, що цей пакет містить керуючий пакет MPLSCP (шістнадцяткове число 8281). Коли по каналу PPP передаються пакети даних MPLS, цьому полю присвоюється шестнадцатерічное значення 0281 у разі одноадресних передачі пакетів MPLS і шістнадцяткове значення 0283 у разі багатоадресної розсилки пакетів MPLS. Формат показано на рис. 2.8.

Коли пакети MPLS передаються по Ethernet, в кожному кадрі Ethernet переноситься тільки один забезпечений міткою пакет. Мітка поміщається між заголовком рівня ланки даних і заголовком мережевого рівня. Використання MPLS в мережах Ethernet, особливо, у міських мережах, є ще одним перспективним потенціалом MPLS. У стандарт Ethernet вносяться зміни, що дозволяють збільшити швидкість і дальність передачі Ethernet-пакетів. У даний час починають використовуватися Ethernet-інтерфейси на швидкості 10 Гбіт / с, а незабаром з'являться Ethernet-інтерфейси і на ще більших швидкостях.

Значення поля Ethertype в заголовку Ethernet - шістнадцятерічне позначення ноти 8847 для одноадресних передачі і шістнадцятирічне 8848 для багатоадресової розсилки. Ці значення можуть використовуватися або зі стандартним форматом Ethernet, або з форматом 802.3 LLC / SNAP.

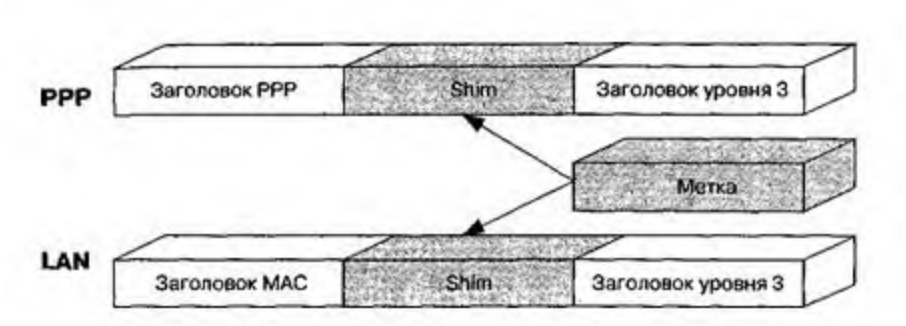



Рис. 2.8 Формат для введення MPLS-мітки в блок PPP і в кадр Ethernet

На жаль, додавання MPLS-мітки або стека міток до 1492-байтового пакету може привести до необхідності його фрагментації. При передачі пакетів MTU-розміру (Maximum Transmission Unit - максимально можливий розмір передаваємого блоку даних) з MPLS-міткою протокол керування передачею TCP визначає, що в MPLS-мережі потрібно провести фрагментацію. Однак слід зазначити, що багато Ethernet-канали підтримують передачу 1500-байтових або 1508-байтових пакетів. Більш того, в більшості мереж пакети з мітками зазвичай передаються по ATM-або PPP-каналах, а не за сегментами локальних мереж.

Отже, мітка може бути поміщена в пакет різними способами - вписуватися в спеціальний заголовок, що поміщається або між заголовками рівня 2 і рівня 3, або у вільний і доступне поле заголовка одного з цих двох рівнів, якщо, звичайно, таке є. Очевидно, що питання про те, куди слід поміщати заголовок , що містить позначку, має узгоджуватися між об'єктами, її використовуючими .Не дивлячись на те, що в документі за MPLS специфікована робота MPLS з рядом протоколів мережевого рівня (а теоретично, оскільки застосовується спеціальний заголовок MPLS, - з будь-яким мережним протоколом), спочатку вона стала використовуватися з поточною версією протоколу IP, тобто з протоколом IPv4. Продовжується робота над протоколом IPv6, і цей протокол повільно, але вірно реалізується на практиці. Як і у випадку IPv4, IPv6 поміщає заголовок MPLS перед заголовком мережевого рівня і, залежно від використовуваного протоколу рівня 2, або у вигляді спеціального заголовка,

або всередині заголовка рівня ланки даних.

Перші розробники MPLS в список підтримуваних протоколів включили протоколи IPX, Apple Talk, DECNet і CLNP, хоча в даний час до них не виявляють великого інтересу. Значною частиною його поточних робіт в області MPLS сконцентрована на технологіях більш низьких рівнів і на використанні оптичних засобів передачі пакетів по мережі IP. Так що не буде помилкою сказати, що IP стане переважним протоколом мережного рівня, використовуваним з MPLS.

## 2.5 Таблиці пересилки.

В главі 1 відзначалося, що коли пакет MPLS потрапляє в маршрутизатор комутації по мітках LSR1 цей маршрутизатор продивляє наявну у нього таблицю з так званою информационний базою міток LIB (Label Information Base) для того, щоб прийняти рішення про подальшу обробку пакету (мал. 2.9). Цю інформаційну базу іноді називають також Next Hop Label Forwarding Entry (NHLFE), і згідно RFC 3031 в неї зазвичай входить наступна інформація:

-операція, яку потрібно виробити із стеком міток пакету (замінити верхню мітку стека, видалити верхню мітку, помістити поверх стека нову мітку);

-наступний маршрутизатор в LSP, причому "наступним" може бути той же самий LSR;

-використовувана при передачі пакету інкапсуляція на рівні звена даних;

-спосіб кодування Стека міток при передачі пакету;

-інша інформація, що відноситься до пересилки пакету.

Таблиця пересилки  що містить цю інформацію, яку веде кожен LSR1 як, втім, і будь-які інші таблиці, з'явившись яляє собою послідовність записів. Кожен запис таблиці пересилки LSR складається з мітки, що входить, і одній

або більш подзаписей, причому кожен підзапис містить значення витікаючої мітки, ідентифікатор вихідного інтерфейсу і адресу наступного маршрутизатора в LSR Приклад простої таблиці пересилки LIB представлений на мал. 2.9.

| Входяща метка | Перша подзапись | Друга подзапись |
|---|---|---|
| Значення входящей метки | Исходящая метка | Исходящая метка |
| | Выходной интерфейс | Выходной интерфейс |
| | Адрес следующего LSR | Адрес следующего LSR |

Рис. 2.9 Запис в таблиці пересилки LIB.

Різні підзаписи усередині одного запису можуть мати або одинаковые, або різні значення витікаючих міток. Більш за один підзапис буває треба для підтримки багатоадресної розсилки пакету, коли пакет, який поступив до одного входящого интерфейсу, повинен потім розсилатися через декілька витікаючих інтерфейсів. Звернення до таблиці записів виробляється по значению мітки, що входить, тобто по мітці, що входить, де відбувається звернення до к-го запису в таблиці.

Як вже відзначалося, на додаток до інформації, яка вказує, куди повинен пересилатися пакет - наступна ділянка маршруту або наступний маршрутизатор, - запис в таблиці может також містити інформацію, що вказує, які ресурси має можливість використовувати пакет, наприклад, певну вихідну чергу.

LSR може підтримувати або одну загальну таблицю, або відділові таблиці для кожного зі своїх інтерфейсів. У першому варіанті обробка пакету визначається виключноміткою, переносимою в пакеті. У другому варіанті обробка пакету

определяется не лише міткою, але і інтерфейсом, до якого поступив пакет. LSR може використовувати або перший варіант, або другий варіант, або їх поєднання.

Помітимо, що в "традиційній" архітектурі систем комутації пакетів різні режими маршрутизації - одноадресна, багатоадресная, з підтримкою QoS та ін. - вимагають різних алгоритмів пересиланняки. Приміром, при одноадресній пересилці пакетів використовується алгоритм щонайдовшого збігу (longest match) підряд йдущих елементів мережевої адреси одержувача. У MPLS же найважливішою властивістю алгоритму пересилки є те, що усю інформацію, необхідну для того, щоб переслати пакет і щоб прийняти рішення про те, які ресурси може використовувати пакет,

LSR може отримати усього одноразовим зверненням до пам'яті. Це можливо завдяки тому, що :

• запис в таблиці на рис. 2.9 містить всю інформацію, необхідну для пересилання пакету і для вирішення питання про ресурси,
• позначка, яка переноситься в пакеті, безпосередньо вказує індекс того запису в таблиці, яка повинна використовуватися для пересилання пакета.
Можливість отримувати інформацію (потрібну як для пересилання, так і для резервування ресурсів) шляхом одноразового звернеьня до пам'яті і забезпечує швидку пересилання пакетів у MPLS.

## 2.6 Прив'язка-«мітка-FEC»

На рис. 2.9 видно, що кожен запис в таблиці пересилання, яку веде LSR, містить одну вхідну мітку і одну або більше вихідних міток. Відповідно з цими двома типами міток забезпечується два типи прив'язки міток до FEC Перший тип - мітка для прив'язки вибирається і призначається в LSR локально. Таку прив'язку ми будемо називати локальною. Другий тип - LSR отримує від

деякого іншого LSR інформацію про прив'язку мітки, яка відповідає прив'язці, створеної на цій другій LSR. Таку при-в'язку ми будемо називати віддаленої.

Засоби керування комутацією по мітках використовують для заповнення таблиць пересилання як локальну, так і віддалену прив'язку міток до FEC Це може робитися в двох варіантах: upstream і downstream. Перший - це коли мітки з локальної прив'язки використовуються як вхідні мітки, а мітки з віддаленої прив'язки використовуються як вихідні позначки. Другий варіант - прямо про протилежної, тобто мітки з локальної прив'язки використовуються як вихідні мітки, а мітки з віддаленої прив'язки - як вхідні позначки. Розглянемо кожен із цих варіантів

Перший варіант називається прив'язкою мітки до FEC «знизу» (downstream label binding), тому що в цьому випадку прив'язка пе реносімой пакетом мітки до того FEC1 якому належить цей пакет, створюється нижчестоящим LSR, тобто LSR, розташованим постільки ж до адресата пакету, ніж LSR, який поміщає мітку в пакет. Відзначимо, що при прив'язці «знизу» пакети, які переносять оп ¬ певну позначку, передаються в напрямку, протилежному напрямку передачі інформації про прив'язку цієї позначки до FEC

Другий варіант називається прив'язкою мітки до FEC «згори» (upstream label binding), тому що в цьому випадку прив'язка переносів Сімою пакетом мітки до того FEC, якому належить цей пакет, створюється тим же LSR, який поміщає мітку в пакет; тобто . создатель прив'язки розташований «вище» (ближче до відправника пакета), ніж LSR, до якого пересилається цей пакет. Відзначимо, що при прив'язці «зверху» пакети, які переносять певну позначку, передаються в тому ж напрямку, що й інформація про прив'язку цієї позначки до FEC

LSR обслуговує також пул «вільних» міток (тобто міток без прив'язки). При початковій установці LSR пул містить всі мет ¬ ки, які може використовувати LSR для їх локальної прив'язки до FEC Саме ємність цього пулу і визначає, в кінцевому рахунку, скільки пар «мітка-FEC» може одночасно підтримувати LSR. Коли маршрутизатор створює нову локальну прив'язку, він бере мітку з

пулу; коли маршрутизатор знищує раніше створений прив'язку, він повертає мітку, пов'язану з цією прив'язкою, назад в пул.

Згадаймо, що LSR може вести або одну загальну таблицю передпосиланням, або кілька таблиць - по одній на кожен інтерфейс. Коли маршрутизатор веде загальну таблицю пересилання, він має один пул позначок. Коли LSR веде кілька таблиць, він має озльный пул міток для кожного інтерфейсу.

LSR створює або знищує прив'язку мітки до FEC внаслідок певної події. Така подія може ініціюватися або пакетами даних, які повинні пересилатися маршрутизатором LSR, або керуючої (маршрутної) інформацією (на приклад, маршрутною інформацією протоколу OSPF1 повідомленнями JOIN / PRUNE протоколу PIM, повідомленнями Path / Resv протоколу RSVP), яка повинна оброблятися LSR . Коли створення або знищення прив'язки ініціюється пакетами даних, ми називаєм зламні це прив'язкою під впливом даних (data-driven). Коли створення або знищення прив'язки ініціюється інформацією, що управляє, ми називаємо це прив'язкою під впливом управляющей інформації (control-driven). Прив'язка під воздействіем даних припускає, що LSR підтримує як функції пересилкі при комутації по мітках, так і функції пересилання за традиційної маршрутизації. Підтримка функцій пересилання за традиційної маршрутизації необхідна тому, що прив'язка мітки являє собою ефект, супутній традиційної маршрутизації пакета

Кожен з цих двох механізмів має безліч варіантів. Наприклад, механізм прив'язки під впливом даних може створювати прив'язку для потоку програми, як тільки він виявит перший пакет потоку, або чекати до тих пір, поки не виявить кілька пакетів, припускаючи при цьому, що потік існує досить довго для того, щоб встигнути створити прив'язку.

Вибір того чи іншого методу створення прив'язки, Безуначе, деяким чином впливати на продуктивність і масштабіруемость механізму, тобто на те, наскільки добре він буде працювати в міру зростання мережі. Можна також

очікувати деякий вплив методу прив'язки на живучість механізму, тобто наскільки добре він буде працювати в різних умовах експлуатації.

Важливою проблемою якості функціонування, що виникає при використанні схем прив'язки під впливом даних (і, меншою мірою, - схем прив'язки під впливом управля ющей інформації), є продуктивність. Кожного разу, коли LSR вирішує, що потік повинен комутувати по мітках, йому необхідно обмінюватися інформацією про прив'язку міток з суміжними LSR1 і йому може також знадобитися внести Незнач зміни в прив'язці міток до FEC Всі ці процедури вимагають передачі трафіку, керуючого роздачею інформації про прив'язанні, і, отже, споживають ресурси засобів управління комутацією по мітках. Більш того, ці процедури споживають тим більше ресурсів засобів управління, чим більше частка потоків, вибраних для комутації по мітках. Важко кількісно оцінити, наскільки дорогою є процедура призначення і рас пределенія міток, але не підлягає сумніву, що виробничість схем, що працюють під впливом даних, чутлива до цього фактора. Якщо LSR не може призначати і розподіляти мітки зі швидкістю, необхідної алгоритмом виявлення потоків, то комутувати по мітках буде менший відсоток потоків, і від цього страждатиме загальна продуктивність

У меншій мірі це відноситься до схем, що працюють під впливом керуючої інформації. Поки топологія залишається стабільною, весь трафік, який надходить в не прикордонний березня ¬ шрутізатор LSR1 може комутувати по мітках без обробки пакетів керуючим процесором. Схеми, що працюють під віз дією керуючої інформації, могли отримати інформації про прив'язку маршрутів від сусідніх LSR1 які не були наступними ділянками цих маршрутів. Коли топологія зміниться так, що ці «сусіди» стануть наступними ділянками маршрутів, комутація по мітках буде тривати без переривання. Але на продуктивність схем, що працюють під впливом даних, зміна топології впливає.

Якщо змінюється маршрут проходженняня потоку, нові LSR на цьому маршруті сприймають це так, як якщо б був створений новий потік. Будь-який такий новий потік повинен спочатку пересилатися традиційно.

Таким чином, зміна топології може накладати дуже важкий тягар на LSR1 який щойно став новим наступним маршрутизатором для Незнач рого іншого LSR. По-перше, він раптово отримує велику кількість потоків, які раніше йшли за іншим маршрутом. Крім того, не припиняється надходження нових потоків від знов запущених додатків. Всі ці потоки повинні пересилатися і аналізуючого алгоритмами виявлення потоків. Це, у свою чергу, працювати в міру зростання мережі. Можна також очікувати деякий вплив методу прив'язки на живучість механізму, тобто наскільки добре він буде працювати в різних умовах експлуатації.

Важливою проблемою якості функціонування, що виникає при використанні схем прив'язки під впливом даних (і, меншою мірою, - схем прив'язки під впливом управля ющей інформації), є продуктивність. Кожного разу, коли LSR вирішує, що потік повинен комутувати по мітках, йому необхідно обмінюватися інформацією про прив'язку міток з суміжними LSR, і йому можеттакже знадобитися внести Незнач ¬ рые зміни в прив'язці міток до FEC Всі ці процедури вимагають передачі трафіку, керуючого роздачею інформації про при ¬ в'язанні, і, отже, споживають ресурси засобів управління комутацією по мітках. Більш того, ці процедури споживають тим більше ресурсів засобів управління, чим більше частка потоків, вибраних для комутації по мітках. Важко кількісно оцінити, наскільки дорогою є процедура призначення і рас пределенія міток, але не підлягає сумніву, що виробчість схем, що працюють під впливом даних, чутлива до цього фактора. Якщо LSR не може призначати і розподіляти мітки зі швидкістю, необхідної алгоритмом виявлення потоків, то комутувати по мітках буде менший відсоток потоків, і від цього страждатиме загальна проізводітельность.В меншою мірою це стосується до схем, що працюють під впливом керуючої інформації. Поки топологія залишається

стабільною, весь трафік, який надходить в не прикордонний березня шрутізатор LSR, може комутувати по мітках без обробки пакетів керуючим процесором. Схеми, що працюють під дією керуючої інформації, могли отримати інформаціїцію про прив'язку маршрутів від сусідніх LSR1 які не були наступними ділянками цих маршрутів. Коли топологія зміниться так, що ці «сусіди» стануть наступними ділянками маршрутів, комутація по мітках буде тривати без переривання. Але на продуктивність схем, що працюють під впливом даних, зміна топології впливає. Якщо змінюється маршрут проходженняня потоку, нові LSR на цьому маршруті сприймають це так, як якщо б був створений новий потік. Будь-який такий новий потік повинен спочатку пересилатися традиційно. Таким чином, зміна топології може накладати дуже важкий тягар на LSR1 який щойно став новим наступним маршрутизатором для Незначного іншого LSR. По-перше, він раптово отримує велику кількість потоків, які раніше йшли за іншим маршрутом. Крім того, не припиняється надходження нових потоків від знов запущених додатків. Всі ці потоки повинні пересилатися і аналізуючного алгоритмами виявлення потоків. Це, у свою чергу, створює додаткове навантаження як на кошти пересилки при традиційній маршрутизації, так і на засоби управління комутацією по мітках. Під час таких перехідних процесів продуктивність коштів пересилання LSR може наблизитися до продуктивності його коштів пересилання за традиційної маршрутизації, тобто стати приблизно на порядок нижче, ніж максимальна продуктивність LSR.

Проблема з продуктивністю для схем, що працюють під впливом керуючої інформації, виникає у випадках, коли має місце об'єднання маршрутів, - конфлікт між масштабіруемостью і продуктивністю.

## 2.7 Режим операцій з мітками

Розглянемо режими трьох базових операцій, які представляють, по суті, основні принципи механізму комутації за міткам: призначення міток, розподіл міток і збереження позначок.

Призначення позначок. Коли FEC створюється шляхом аналізу адресних префіксів, які розподіляються протоколом внутрішньої маршрутізації і використовуються для створення трактів LSP по ділянках, можливі два режими призначення міток:

• незалежне призначення (тобто незалежне створення трактів LSP);

• впорядковане призначення (тобто впорядковане створення трактов LSP).

Незалежне призначення. При незалежному призначення міток кожен LSR сам, незалежно від інших подій, приймає решення про прив'язку мітки до виявленому FEC і про повідомлення вищестоящого LSR про цю прив'язку. Така ситуація аналогічна традиційної маршрутизації, що виконується в звичайних IP-мережах, коли виявляються нові маршрути.

Якщо LSR налаштований на режим незалежного призначення міток, то повідомлення Label Mapping протоколу LDP, який розглядаєтьсяється в наступному розділі, передається цим LSR при виникненні будь-якої з таких ситуацій:

• LSR розпізнає новий FEC за допомогою таблиці пересилання і призначає мітку знизу за власною ініціативою;

• LSR отримує від вищестоящого маршрутизатора повідомлення Label Request для FEC, присутнього в його таблиці пересилання;

• наступний маршрутизатор для FEC замінюється іншим однеранговим вузлом LDP-сеансу, і при цьому активізований механізмів виявлення закільцьованих маршрутів;

• змінюються атрибути прив'язування «мітка-FEC»;

• інформація про прив'язку мітки отримана від нижчестоячого маршрутизатора в ситуації, коли не було створено жодної прив'язки зверху, або активізований

механізм виявлення закільцьованих маршрутів, або змінилися атрибути прив'язування «мітка-FEC».

Впорядковане призначення. Цей спосіб призначення міток має більше обмежень, ніж попередній, у тому сенсі, що прив'язка мітки до певного FEC відбувається тільки тоді, кода LSR або виступає в ролі вихідного вузла для цього FEC, або вже отримав інформацію про прив'язку «мітка-FEC» від нижчестоящого маршрутизатора.

Якщо LSR використовує режим впорядкованого призначення міток, то повідомлення Label Mapping передається нижчестоящими LSR при виникненні будь-якої з таких ситуацій:

• LSR розпізнає новий FEC за допомогою таблиці пересилання і является для цього FEC вихідним маршрутизатором;

• LSR отримує від вищестоящого маршрутизатора повідомлення Label Request для FEC1 присутнього в його таблиці пересилки;

• наступний маршрутизатор для FEC замінюється іншим однеранговим вузлом LDP-сеансу, і при цьому активізований механізмів виявлення закільцьованих маршрутів;

•змінюються атрибути прив'язування «мітка-FEC»;

• інформація про прив'язку мітки отримана від нижчестоящого маршрутизатора в ситуації, коли не було створено жодної прив'язки зверху, або активізований механізм виявлення закільцьованих маршрутів, або змінилися атрибути прив'язування «мітка-FEC».

Розподіл позначок. У технології MPLS можуть використовуватися два режими розподілу міток: нижчестоящим LSR за запитом вищестоящого або нижчестоящим LSR за власною) H4ніціативе. Режим розподілу нижчестоящим за запитом вищестоящого використовується для створення трактів LSP по ділянках. Він дозволяє ви шестоящему LSR в явному вигляді запитувати прив'язку мітки до визна ленному FEC у сусіднього з ним нижчестоящого LSR. Режим розподіллення міток нижчестоящим за власною ініціативою

використовується тоді, коли нижчестоящому LSR потрібно «роздати» мітки вищестоящим LSR1 хоча ті не запитували у нього цього в явному вигляді.

Обидва режиму розподілу міток обговорювалися в попередньої щем параграфі. Додамо лише, що архітектура MPLS дозволяє застосовувати в одній системі один або обидва режими в залежності від деталей реалізації, таких як характеристики інтерфейсів та наявні ресурси мережі MPLS. Однак у кожній сукупності суміжних вузлів, які беруть участь у розподілі міток, вишестоящій LSR і нижчий LSR повинні узгодити між собою і використовувати для створення трактів LSP один і той самий режим расподілення.

Це пов'язано з тим, що архітектура MPLS не передбачає використання якогось єдиного протоколу розподілу позначок. В одній і тій же мережі MPLS можуть використовуватися: спеціальний протокол розподілу міток Label Distribution Protocol (LDP), протокол сигналізації а також розширення можливостей протоколів маршрутизації, наприклад, протоколу междоменовой маршрутизації Border Gateway Protocol (BGP).

Розподіл міток за допомогою протоколу RSVP. З початку 1990-х років до кінця XX століття протокол RSVP (Resource Reservation Protocol) розглядався тільки як засіб забезпеченя QoS в IP-мережах шляхом резервування ресурсів для обслуговування того чи іншого потоку даних. При об'єднанні RSVP з MPLS виникло нову якість. Вхідний LSR тракту LSP може використовувати різні способи для того, щоб визначити, яка саме мітка призначена для блоків даних (PDU) того чи іншого протоколу. Коли для сукупності PDU призначена мітка, ця позначка визначає потік, що проходить по LSR Таким чином, усередині LSP створюється LSP-тунель, званий так тому, що його трафік «невидимий» для-проміжних вузлів, через які він (тунель) проходить. Запити міток, пов'язаних з потоками RSVP1 переносяться в повідомленнях Path протоколу RSVP, а інформація о призначених мітках- в повідомленнях Resv цього протоколу. Використання RSVP для оптимізації трафіку в мережі MPLS помітно відрізняється від того, яким воно бачилося розробникам RSVP в середині 1990-

х років. Протокол RSVP може грати в мережі MPLS подвійну роль: розподіляти мітки і підтримувати якість обслуговування.

Розподіл міток за допомогою протоколу BGP Коли два суміжні LSR1 підтримують протокол BGR обмінюються інформацією про маршрути, вони повинні обмінюватися також і інформацією про мітка, призначених для цих маршрутів. Обмін забез печувати шляхом вкладення інформації про прив'язку міток до FEC в те саме повідомлення Update протоколу BGP1 яке використовується для обміну інформацією про маршрут.

Протоколи, керуючі маршрутизацією, розрізняються функціями, застосовуваними алгоритмами і областю використання.

Ці протоколи «розуміють» топологію мережі, в якій вони функціоніруют, і можуть підтримувати або внутрішню (IGP - Interior Gateway Protocol), або зовнішню (EGP - Exterior Gateway Protocol) маршрутизацію. Протоколи групи IGP розсилають маршрутну інформацію всередині якої-небудь автономної системи, а протоколи групи EGP служать для маршрутизації між такими системами (під автономною системою розуміється сукупність маршрутіза торів, керованих єдиної адміністративною системою, тобто маршрутізатори одного адміністративного домену).

Розглянуто два протоколи внутрішньої маршрутизації MPLS.

Протокол OSPF один з найпоширеніших протоколів внутрішньої маршрутизації, використовуються сьогодні в Інтернет. Він був розроблений з метою подолати обмеження протоколу маршрутизації RIP1 перешкоджають використання його у великих мережах, - обмеження за кількістю пересилань (максимум 15), відсутність підтримки масок підмережі змінної довжини при безкласової междоменовой маршрутизації CIDR (хоча така можливість була додана в другу версію протоколу - RIP-2), неефективне, як правило, використання пропускної здатності ланок. Сам протокол RIP в КНІ детально не розглядається. OSPF передбачає передачу оголошень про стан каналів LSA (Link State Advertisements) до всіх маршрутизаторам у своїй галузі, що

підтримує цей протокол. LSA містять інформацію про інтерфейсах маршрутізатора. Коли маршрутизатор, що використовує протокол OSPF, збирає інформацію про топологію мережі, він виконує алгоритм Дійкстри, званий також алгоритмом SPF (Shortest Path First), для розрахунку маршрутів до кожного іншому вузлу, відомості про котором цей маршрутизатор має у своїй базі даних.

Протокол IS-IS представляє собою протокол внутрідоменовой маршрутизації з розсилкою оголошень про стан каналів. Він специфікованому у ISO / IEC 10589, а його використання в мережі Інтернет для маршрутизації пакетів IP описано в RFC 1142. Цей протокол схожий з протоколом OSPF в плані функціональних новостей, але різниться з ним в деталях роботи.

Режими збереження позначок. Ще однією характеристикою використання міток є режим їх збереження. Коли вищестоящий LSR отримує мітку від нижчестоящого LSR, який в даний момент не є для нього суміжних з точки зору даного FEC, він має прийняти щодо цієї мітки рішення: або використовувати її (тобто «зберегти» у себе її прив'язку до FEC) 1 або відкинути.

У MPLS використовуються два основні режими збереження міток:

• ліберальний режим,

• консервативний режим.

При ліберальному режимі вищестоящий LSR зберігає у себе будь-яку прив'язку до FEC міток, які він отримав від не суміжні нижестоящіх LSR (тобто мітки прийшли до нього транзитом). При консервативном режимі вищестоящий LSR відмовляється від таких міток, тобто відкидає їх. Перевагою ліберального режиму являє ¬ ся те, що якщо нижчий LSR стане з точки зору даного FEC суміжних маршрутизатором, змінювати прив'язку «мітка-FEC» не зазнадобиться. Це дозволяє набагато швидше реагувати на вимі нання маршрутів. Звичайно, якщо прив'язка мітки до FEC вже була відкинута, то її доведеться призначити повторно до того, як можна буде використовувати LSR

При консервативному режимі потрібно менше ресурсів, але реакція на зміни в наступних ділянках маршруту відбувається набагато повільніше.

# 3 ПРОТОКОЛ LDP

## 3.1 Класи еквівалентності пересилки та LDP

Поняття клас еквівалентності пересилки FEC вже обговорювалися у двох попередніх розділах. Там же говорилося про те, що для перенесення через мережу MPLS пакетів, що належать різним FEC1 в мережі створюються віртуальні тракти LSP, і було показано, як за допомогою позначки MPLS встановлюється відповідність «пакет-FEC», що визначає, за яким LSP повинен бути направлений пакет з цією міткою. У цій главі мова піде про те, яким чином виробляється розподіл міток по всіх LSR мережі MPLS з використанням протоколу LDP (Label Distribution Protocol).

У специфікації LDP до справжнього моменту встановлені два типи елементів, за допомогою яких може визначатися FEC:

• Address Prefix - адресний префікс будь-якої довжини від нуля до повного адреси,

• Host Address - повна адреса хоста.

Рішення про призначення міток можуть грунтуватися на критеріях пересилання, таких як одноадресних маршрутизація до отримають , оптимізація розподілу трафіку в мережі, багатоадресна розсилка, віртуальна приватна мережа VPN1 механізми забезпечення якості обслуговування QoS і ін Специфікація ж протоколу LDP визначає правила, за якими встановлюється відповідність між вхідним пакетом і його LSR

Для розподілу міток можуть використовуватися різні методи:

• метод на основі топології (topology-based method) використовує стандартну обробку протоколів маршрутизації, наприклад, OSPF та BGP.

• метод на основі запитів (request-based method) використовує обробку керуючого протоколу на основі запитів, наприклад, протоколу RSVP.

• метод на основі трафіку (traffic-based method) запускає процедуру привласнення та розподілу міток при одержанні пакета.

• Методи на основі топології і запитів є прикладами прив'язки міток до FEC1 керованою від програми, а метод на основі трафіку є прикладом прив'язки, керованої даними. У всіх цих випадках архітектурою MPLS передбачається, що призначення мітки, тобто її прив'язку до певного FEC1, виробляє LSR1 який є вихідним прикордонним марш рутізатором для пакетів цього FEC Перерісуем рис. 1.2 з очима 1, але замість LSP покажемо на ньому механізм розподілу міток (рис. 3.1). Тоді LSR1 про який йде мова, є LSR5.

По-англійськи такий LSR називається downstream LSR, тобто розташований «нижче за течією»; ми будемо називати його нижним або нижчестоящим LSR1 а розташований «вище за течією» upstream LSR будемо називати верхнім або вищестоящим LSR. Та ¬ ким чином, призначення міток завжди проводиться знизу, тобто у бік, протилежний напрямку трафіку. Нижній LSR інформує сусідні верхні LSR про те, які мітки він прив'язав до кожного FEC надходять до нього пакетів. Цей процес і називається розподілом міток, а забезпечує його протокол розподілу міток LDP (Label Distribution Protocol).

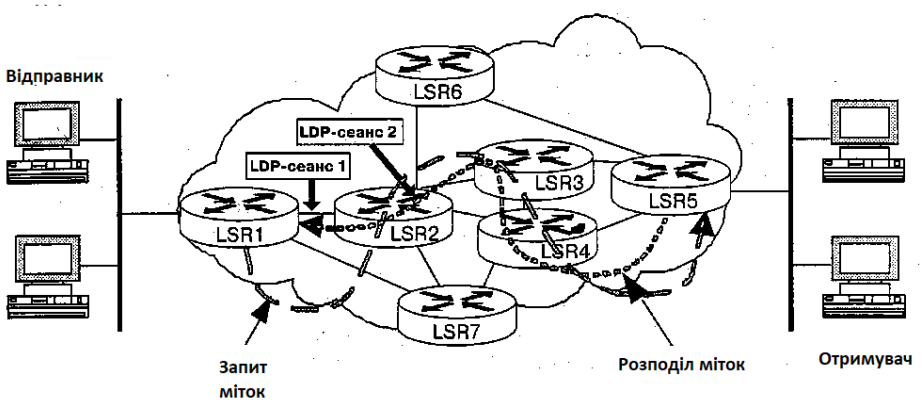



Рис. 3.1 Фрагмент MPLS-мережі.

Більш докладно протокол LDP буде розглянуто в наступних параграфах цієї глави, але перш ще раз підкреслимо, що архітектура MPLS не вимагає обов'язкового застосування LDR Для розподілу міток можуть застосовуватися модифікації існуючих протоколів маршрутизації, що дозволяють використовувати їх для передачі інформації  інформації щодо мітка, протокол BGR Протокол RSVR який розглядається в наступному розділі, так  же має розширення, що забезпечують підтримку обміну мітками з повідомленням. Але все ж, протокол розподілу міток LDP був визнаний комітетом IETF найбільш вдалим і, що ще важливіше, добре специфікованому ім. Крім того, визначено розширення базового протоколу LDP для підтримки явною маршрутизації з учетом.-Забезпечення якості обслуговування QoS і управління трафіком TE - протокол LDP з урахуванням обмежуючих умов CR-LDP (Constraint-Based LDP). До всього іншого, LDP встачених надійні транспортні з'єднання з суміжними маршрутізаторамі LSR по протоколу TCP, причому у випадку, якщо між двома L LSR треба одночасно встановити кілька LDP-сеансів, використовується єдине TCP з'єднання.

Є наступні схеми обміну позначками:

• LDP перетворить у мітки IP-адреси одержувача при одноадресної передачі,

• RSVP і CR-LDP використовуються для оптимізації розподілу трафіку в мережі і для резервування ресурсів,

• BGP працює із зовнішніми мітками VPN.

Всі ці схеми розглядаються далі, а в цій главі увага зосереджена на протоколі LDR.

Основним документом, що задає специфікацію протоколу LDR є RFC 3036 «LDP Specification". Цей документ був раз працював Л. Андерсоном, П. Дуланом, М. Фельдманом, А. Фредетте і Б. Томасом в січні 2001 року. На додаток до нього, документ RFC 3037 «LDP Applicability", написаний Б. Томасом і Е. Греєм, оп ¬ начає застосовність протоколу LDP саме в контексті

MPLS. RFC 3037 описує процедури протоколу LDP1 використовувані мар шрутизаторами при розподілу міток MPLS. У документі расно передбачати також аспекти розширюваності протоколу та аспекти безпеки, що згадуються в параграфі 3.5 цієї глави. Документ RFC 3035 «MPLS Using LDP and ATM VC Switching" описує способи використання ATM-комутаторів у якості маршрутизаторів MPLS (ці маршрутизатори позначаються ATM-LSR). На момент написання цієї книги в робочій групі з MPLS також обговорювалися і доопрацьовувалися додаткові документи протоколу LDP: «LDP State Machine» (Фактичні автомат обробки повідомлень протоколов LDP), «Definitions of Managed Objects for the Multiprotocol Label Switching LDP SNMP» (Визначення контрольованих об'єктів LDP для протоколу SNMP), «Fault Tolerance for LDP and CR- LDP »(відмова ¬ стійкість LDP),« LDP Extensions for Optical User Network Interface (O-UNS) Signaling "(Розширення протоколу LDP для підтримки сиг ¬ налізаціі в оптичному інтерфейсі« користувач-мережа »O-UNI).

## 3.2 Основи протоколу LDP

Протокол LDP створений у робочій групі з MPLS комітету IETF з метою специфіковані процедури розподілу міток MPLS. У зв'язку з тим, що протокол LDP тісно взаємодіє з проток олами внутрішньої маршрутизації IGR його часто називають протоколом пересилання по ділянках. Протокол розподілу міток LDP являє собою набір процедур і повідомлень, за допомогою яких LSR організують тракти комутації по мітках, обмінюваясь інформацією про прив'язку міток до FEC з «сусідніми» LSR, а також підтримують і припиняють LSP-сеанси. Мова йде саме про обмін інформацією, як це показано на рис. 3.1, оскільки протокол передбачає двосторонній діалог взаємодію-щих LSR1 є в даному контексті однорангових вузлами LDP. Цей діалог називається LDP-сеансом, в ході якого кожний з взаємодіючих LSR отримує відомості про прив'язку міток до FEC в іншому LSR. У протоколі визначено також механізм

передачі повідомлень і виявлення в LSP закільцьованих маршрутів, вже обговорювалося раніше.

Отже, процедури протоколу LDP дозволяють LSR, що виконує цей протокол, створювати тракти LSR Кінцевою точкою такого тракта є або суміжний LSR, що має прямий зв'язок з даними LSR1 або вихідний LSR1 доступний цього LSR через деяку кількість транзитних LSR. Процеси виявлення кінцевих точок цих двох типів називаються, відповідно, процесом базового виявлення і процесом розширеного виявлення. LDP створює двосторонній зв'язок двох суміжних LSR1 які стають одноранговим вузлами LDP і взаємодіють один з одним шляхом LDP-сеансу. На рис. 3.1 LSR1 і LSR2 є однорангових вузлами LDP1 взаємодіючими один з одним за допомогою LDP-сеансу 1, а LSR2 і LSR3 - однорангових вузлами LDR взаємодії за допомогою LDP-сеансу 2.

При обміні між LSR інформацією, пов'язаною з прив'язкою «мітка-FEC», використовуються чотири категорії повідомлень LDP:

• повідомлення виявлення (discovery messages), що використовуються для того, щоб оголосити і підтримувати присутність LSR в мережі;

• сеансові повідомлення (session messages), призначені для створення, підтримки та припинення LDP-сеансів між LSR;

• повідомлення-оголошення (advertisement messages), які використовуються для створення, зміни та скасування прив'язки мітки до FEC;

• повідомляючі повідомлення (notification messages), що містять допоміжну інформацію та інформацію про помилки.

Хоча «роздає» мітки завжди нижній LSR1 ініціатором їх розслідуванні ¬ пределенія не обов'язково повинен бути він; процес може ініціювати і верхній LSR1 направивши до нижнього LSR відповідний запит; такий режим називається downstream on-demand. В тій чи іншій мережі може використовуватися розподіл міток або тільки за запитами зверху, або тільки з ініціативи нижнього LSR (unsolicited downstream), або і те, й інше разом.

Розподіл міток може бути незалежним або упередбаченним. У першому випадку LSR може повідомити вищестоящий LSR про прив'язку мітки до FEC до того, як отримає інформацію про прив'язанні від нижчестоящого LSR. У другому випадку висилати таке повідомлення «нагору» дозволяється тільки після отримання таких відомостей «знизу».

Зауважимо, що нижній LSR розподіляє мітки не тільки по тим верхнім LSR, які мають з ним прямі зв'язки. Протокол распределенія міток може бути використаний і для діалогу двох LSR1 між якими існує лише комутована зв'язок, однак результат розподілу в цьому випадку залежить від того, в якому з двох режимів, ліберальному або консервативному, працює верхній LSR.

Консервативний режим розподілу міток - в цьому режимі повідомлення-оголошення про прив'язку «мітка-FEC», одержувані від не суміжні LSR1 не приймаються і відкидаються. LSR прив'язує мітку до FEC тільки в тому випадку, якщо він є вихідним маршрутізатором або якщо він отримав повідомлення про прив'язку від склепивного з ним LSR. Такий режим дозволяє LSR обслуговувати менше число позначок.

Ліберальний режим розподілу міток - в цьому режимі прив'язка мітки, видана тим нижнім LSR1 з яким немає прямого зв'язку, запам'ятовується і використовується. Такий режим зручний тим, що при реконфігурації мережі відповідність між міткою і FEC зберігається, навіть якщо зв'язок з LSR, що визначив це відповідний, стала не комутованій, а прямий. Недолік ліберального режиму полягає в тому, що у верхньому LSR доводиться зберігати і про розробляти помітно більше інформації про відповідність між позначками і FEC

Як вже говорилося, мітка завжди локальна, тобто позначає деякий FEC тільки для пари маршрутизаторів, між якими є прямий або комутований зв'язок, і використовується при пересиланні пакетів цього FEC тому з маршрутизаторів даної пари, який є в ній верхнім (upstream LSR) , до того, который є нижнім (downstream LSR). Для пересилання пакетів того ж FEC до наступного маршрутизатора використовується інша мітка, що ідентифікує цей FEC для

нової пари маршрути заторів, в якій маршрутизатор, що був у попередньої парі нижнім, набуває статусу верхнього, а статус нижнього отримує другий маршрутизатор цієї нової пари. Звідси ясно, що кожен маршрутизатор MPLS-мережі повинен зберігати відповідність між вхідними та вихідними мітками для всіх FEC1 якими він оперує.

Однією з найважливіших функцій протоколу LDP є виявлення петель. Для цієї мети можна використовувати два поля в повідомленнях Label Requests Label mapping (які розглядаються в параграфі 3.4), а саме Path Vector і Hop Count.

Поле Path Vector містить список LSR-ідентифікаторів (перші 4 октету LDP-ідентифікатора), що належать тим LSR, через які пройшло містить його повідомлення. Якщо LSR отримує повідомлення і виявляє в полі Path Vector свій власний LSR-ідентифікатор, він «розуміє», що виникла петля. У прото ¬ колі LDP передбачається можливість задати максимально допустиме значення поля Path Length, після досягнення якого теж приймається рішення про виникнення петлі.

Другий варіант - поле Hop Count, яке містить лічильник LSR, пройдених повідомлень LSR. Кожен пройдений LSR збільшує його значення на одиницю. Маршрутизатор, який виявив, що лічильник досяг максимально допустимої величини, обробляє повідомлення, як зробила петлю.

3.3. Формат і параметри повідомлень LDP.

3.3.1 Блоки даних протоколу LDP.

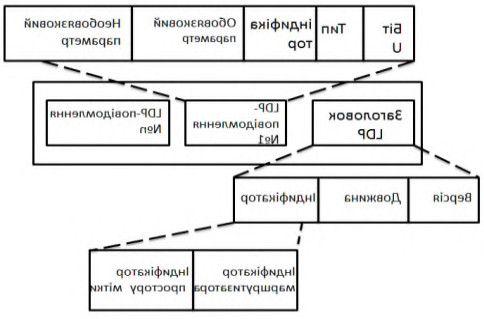


Рис. 3.2 Блок даних протоколу LDP

Повідомлення LDP передаються в блоках протокольних даних PDU (Protocol Data Unit) через TCP-з'єднання під годину LDP-сеансу. Кожний PDU може переносити одне або Кілька повідомлень LDR ,причому повідомлення в одному PDU не обов'язково повінні бути связані один з одним. Блок даних протоколу LDP1,який позначається LDP PDU1 показано на рис. 3.2.

Кожен LDP PDU містить LDP-заголовок, за яким слідують LDP-повідомлення. Заголовок складається з трьох полів: версія, довжина та ідентифікатор.

Поле Version займає два октету і містить ціле число – номер версії протоколу LDR.

Поле PDU Length містить число, яке позначає довжину PDU в байтах (включаючи LDP-заголовок). Максимально допустима довжина PDU може бути задана при ініціюванні LDP-сеансу. За умовчанням вона дорівнює 4096 байтам.

Поле LDP Identifier займає шість октетів і однозначно оп ¬ начає простір міток маршрутизатора, що передає даний PDU. Перші чотири октету містять ідентифікатор LSR, що представляє собою IP-адресу цього LSR. Наступні два октету ідентифікують простір міток всередині LSR1 якщо використовується інтерфейсний простір позначок. Якщо LSR використовує плат-формне простір міток, це поле містить два нулі.

Загальний розмір LDP-заголовка складає 10 октетів.

Повідомлення протоколу LDP містить шість полів: Біт U, Тип, Довжина, Ідентифікатор, Обов'язкові параметри і необов'язкові параметри.

### 3.3.2 Схема Type-Length-Value

Велика частина інформації, яку переносять LDP-повідомленнях, кодується за схемою «тіп-довжина-значення» (TLV), представленийної на рис. 3.3. Як стане

ясно з подальшого матеріалу, конструкція TLV є ефективним і розширюваним способом кодування параметрів повідомлень не тільки в LDR

Суть конструкції TLV в тому, що кожен параметр представляється в ній трьома елементами: полем типу, полем довжини і полем значення. Перший елемент містить код типу параметра, в поле довжини вказується розмір поля значення в октету, а поле значення з тримає значення параметра. Конструкція є розширюваною, оскільки в полі значення можуть вкладатися інші конструкції «тіп-довжина-значення», а также имеются резервні поля типу, які можуть використовуватися виробником устаткування для своїх цілей.




Рис. 3.3. Формат кодування параметра за схемою TLV

Біти U (Unknown) і F (Forward) визначають поведінку LSR в разі , коли він не розпізнає поле Typi. Якщо біт U = O, то повідомлення, що містить Нерозпізнаний параметр, повинно ігноруватися, а відправнику повинно бути надіслано повідомлення. Якщо біт і = Л, то нерозпізнані TLV ігнорується, і проводиться обробка решти повідомлення. Біт F має сенс тільки у випадку, якщо U = L Якщо F = O, то не розпізнана TLVісключается з пові ¬ домлення, якщо ж F = 1, повідомлення пересилається далі цілком, разом з не розпізнаної TLV.

Поле Тип (Typi) довжиною 15 бітів вказує тип параметра (або повідомлення), визначаючи трактування поля Value.

Поле Значення (Value) містить інформацію, інтерпретують формулою LSR згідно значенню поля Type. Тут відзначимо лише, що основну змістовну частину Value складають обов'язкові та необов'язкові параметри TLV.

Ці параметри можуть бути орієнтовані тільки на повідомлення якогось одного типу чи входити до повідомлення різних типів. Зручніше описати в наступному пункті цього параграфа параметри універсального застосування, тобто зустрічаються більш ніж в одному повідомленні, а параметри індивідуального застосування розглянути разом з відповідними повідомленнями в наступному параграфі.

3.3.3 Параметри TLV

Тут розглядаються параметри, які використовуються в соспілкуваннях LDP більш ніж одного типу. Почнемо розгляд з па ¬ інформативному FEC TLV, формат якого представлений на рис. 3.4.

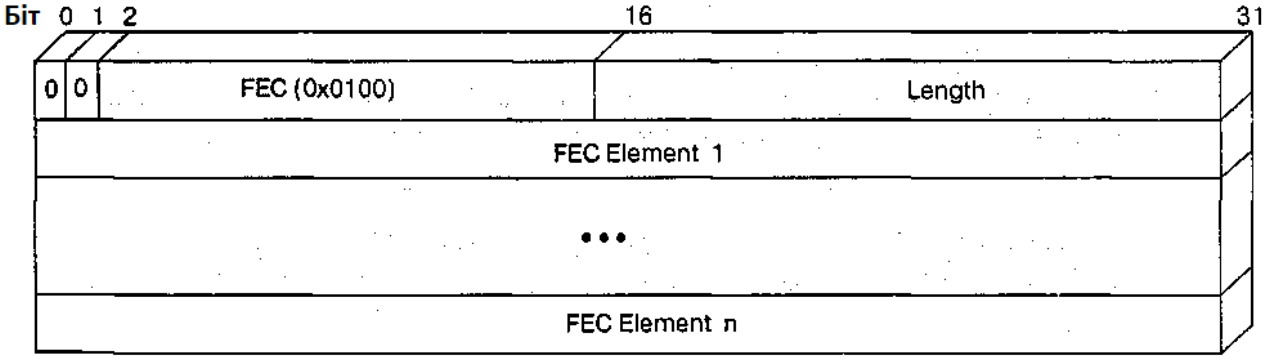



Рис. 3.4 Формат параметра FEC TLV

Клас FEC кодується за допомогою FEC-елементів. Поле FEC element містять один із FEC-елементів, кодування якого залежить від його типу, що визначається першим байтом поля. За першим байтом слід поле змінної довжини, що містить інфор мацію, що інтерпретується згідно з типом елемента:

| Тип FEC-элемента | Значення 1-го байта |
|---|---|
| Wildcard | 00000001 |
| Prefix | 00000010 |
| Host Address | 00000011 |

Якщо LSR виявляє FEC-елемент, тип якого він не може декодувати, обробка параметра FEC TLV і містить його повідомлення припиняється, про що передається сповіщення повідомлення Unknown FEC відправнику пакета.

Тип Wildcard використовується тільки в повідомленнях Label Withdraw (скасування прив'язки мітки) і Label Release (звільнення мітки) і означає, що ці скасування або звільнення повинні бути виконані для всіх FEC1 пов'язаних з міткою, яка міститься в наступному Label TLV.

Тип FEC-елемента Prefix визначає представлений на рис. 3.5 формат.

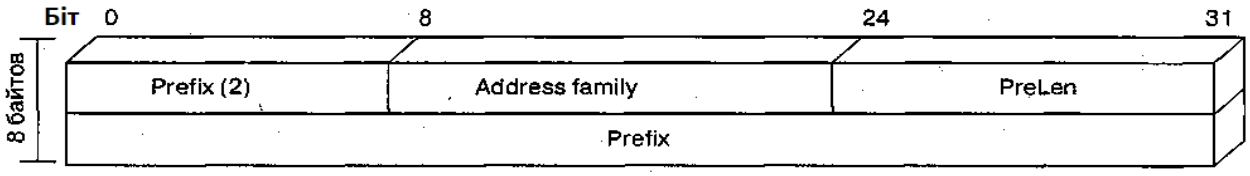



Рис. 3.5 Формат FEC-элемента Prefix.

Поле Address Family - двобайтове поле, що містить номер сімейства адрес певного IANA (Internet Assigned Number Authority). Якщо при обробці FEC TLV маршрутизатор LSR пронаружівает FEC-елемент зі значенням Address Family, яке він не підтримує, цей LSR зупиняє обробку повідомлення і передає Відправник повідомляє повідомлення Unsupported Address Family.

Поле PreLen - октет, який містить довжину (у бітах) адресного префікса, що знаходиться в наступному полі. Нульове значення у полі PreLen говорить про те, що префіксом є повна адреса. У цьому випадку значення поля Prefix буде нульовим.

І, нарешті, сам Prefix - адресний префікс, який кодується відповідно до полем Address Field і довжина якого визначена в полі PreLen.

Формат FEC-елемента типу Host Address аналогічний наведено ¬ ному вище формату FEC-елемента Prefix, за винятком того, що з п'ятого байта починається поле HostAddr, що містить адресу хоста (рис. 3.6).

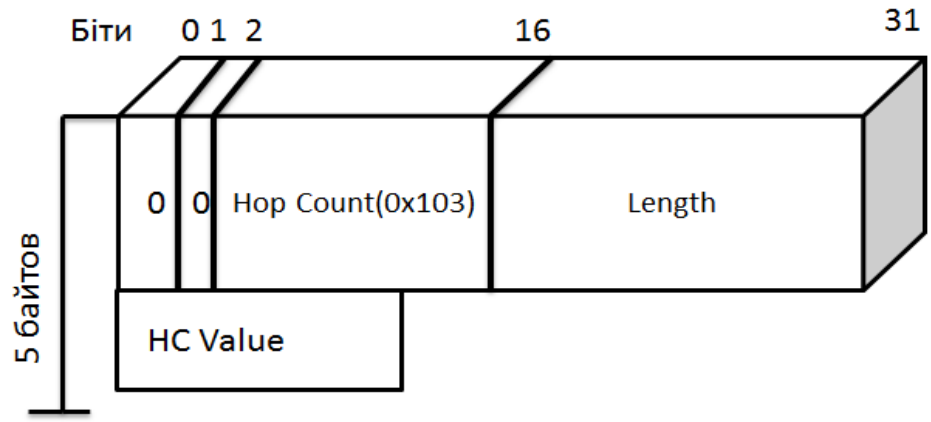



Рис. 3.6 Формат FEC-елемента Host Address

Тепер розглянемо параметр Label TLV. Цим параметром кодуються мітки, і тому Label TLVвміщується в повідомленнях, яка службовців для оголошення, запиту, звільнення та скасування прив'язки позначки. Існує кілька типів Label TLV.

Тип Generic Label TLV використовується для кодування міток при з'єднаннях, де значення міток незалежні від технології рівнях ¬ ня ланки даних, наприклад PPP або Ethernet. Тут до вже розглянутих вище полях додається четирехбайтовое полі Label, що містить 20 бітову позначку.

Тип ATM Label TLV, як випливає з його назви, застосовується для з'єднань ATM.(Рис.3.8.)

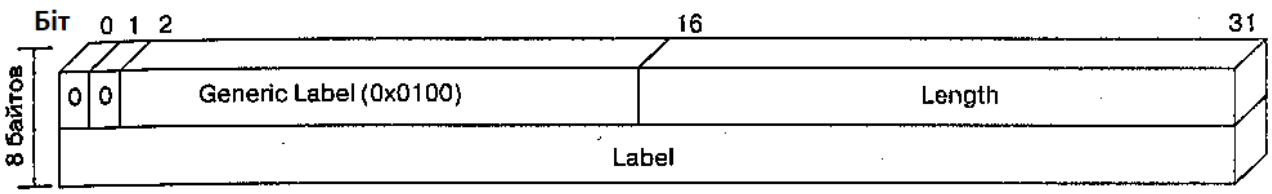



Рис. 3.7 Формат Generic Label TLV

Поле Res резервуватися, отримує значення нуль на передачу і ігнорується на прийомі.

Поле V-двухбітовий індикатор, що відзначає значущі поля (незначущих поля повинні ігноруватися одержувачем). Предусмотрені наступні значення V:

• 00 - обидва поля VPI та VCI є значущими,

• 01-значущим є тільки VPI,

• 10 - значущим є тільки VCI.

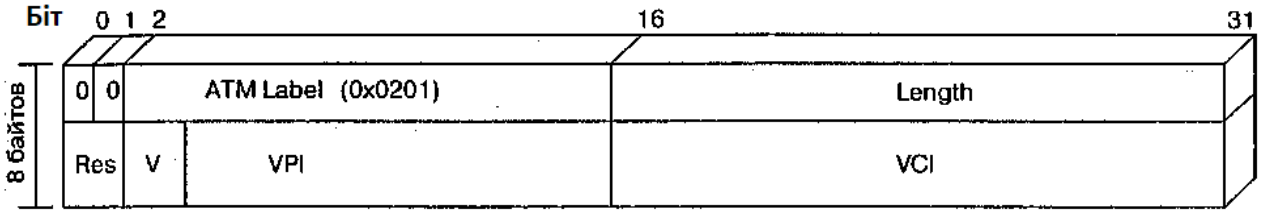



Рис. 3.8 Формат ATM Label TLV.

VPI (Virtual Path Identifier) - 12-розрядний ідентифікатор вір ¬ туального тракту. Якщо значення VPI містить менше 12 бітів, решта біти мають значення нуль.

VCI (Virtual Channel Identifier) - 2-байтовий ідентифікатор віртуального каналу. Точно так само, якщо VCI містить менше 16 бітів, решта біти мають значення нуль.

Тип Frame Relay Label TLV використовується для з'єднань FR.

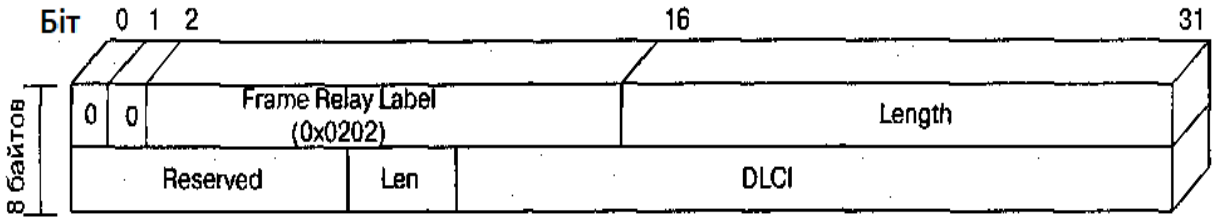



Рис. 3.9 Формат FR Label TLV

Поле Res резервуватися, воно отримує значення нуль на передуюче й ігнорується на прийомі.

Поле Len визначає кількість бітів DLCI:

• 00 - 10-бітовий DLCI1

• 01 - резервуватися,

• 10-23-бітовий DLCI1

• 11 - резервувати.

DLCI (Data Link Connection Identifier) - ідентифікатор з'єднання в ланці даних.

Параметр Address List TLV представлений на рис. 3.10. Його значення присутні в повідомленнях Address і Address Withdraw.

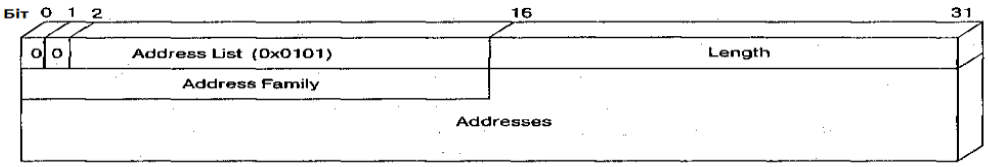



Рис. 3.10 Формат параметра Address List TLV

Address Family - двобайтовими поле, що містить номер се ¬ мейства адрес, визначеного IANA.

Addresses - список адрес, що кодуються відповідно до ра ¬ неї зазначеним сімейством адрес. У базовій версії LDP для се ¬ мейств адрес передбачений наступний формат:

• IP версія 4 - повний 4-байтовий адреса,

• IP версія 6 - повний 16-байтовий адресу.

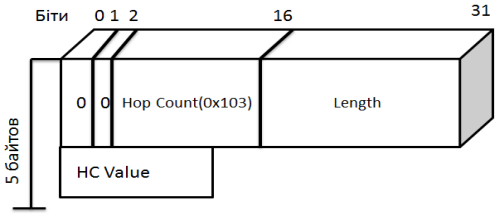
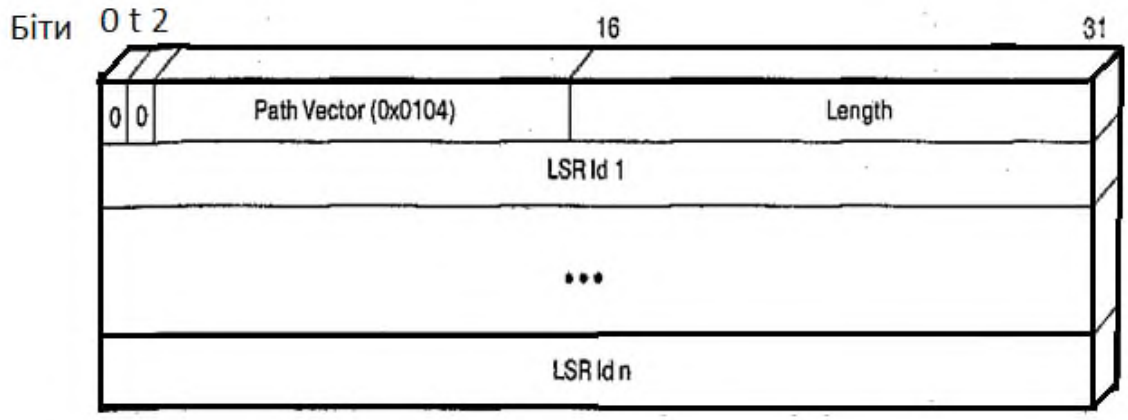



Рис. 3.11 Формат параметра Hop Count TLV

Параметр Hop Count TLV представлений на рис. 3.11. Цей TLV з'являється як необов'язкового параметра в повідомленнях, які організовують LSR У ньому підраховується число LSR вздовж LSP в процесі його створення.

Поле HC Value - однобайтових поле, що містить результат работи лічильника LSR вздовж LSR




3.12 Формат параметра Path Vector TLV

Параметр Path Vector TLVпредставлен на рис. 3.12. Він вико ¬ зується разом з Hop Count TLVB повідомленнях Label Request і Label Mapping для запобігання петель, про що йшлося вище.

3.3.4 Формат повідомлень LDP

Тепер перерісуем верхню частину рис. 3.2 кілька бо ¬ ше докладно. У цьому виді формат повідомлення LDP зображений на рис. 3.15.

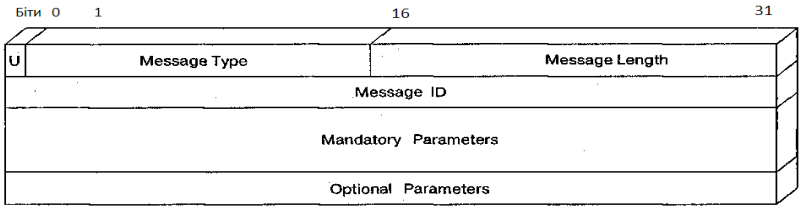



Рис. 3.13 Формат повідомлення LDP

Біт U - біт невідомого повідомлення. Якщо він має значення О, то відправникові передається повідомлення про те, що тип повідомлення не розпізнано, якщо ж біт U має значення 1, то повідомлення просто ігнорується.

Поле Message Type - ідентифікує тип повідомлення. У таб. 3.1 представлені ідентифікатори основних повідомлень протоколу LDP і їх призначення. Короткому опису наведених у табл. 3.1 повідомлень присвячено наступний матеріал.

Address Family - двобайтовими поле, що містить номер се ¬ мейства адрес, визначеного IANA.

Addresses - список адрес, що кодуються відповідно до ра ¬ неї зазначеним сімейством адрес. У базовій версії LDP для се ¬ мейств адрес передбачений наступний формат:

• IP версія 4 - повний 4-байтовий адреса,

• IP версія 6 - повний 16-байтовий адресу.

Параметр Hop Count TLV представлений на рис. 3.11. Цей TLV з'являється як необов'язкового параметра в повідомленнях, які організовують LSR У ньому підраховується число LSR вздовж LSP в процесі його створення.

Поле HC Value - однобайтових поле, що містить результат ра ¬ боти лічильника LSR вздовж LSR

Параметр Path Vector TLVпредставлен на рис. 3.12. Він вико ¬ зується разом з Hop Count TLVB повідомленнях Label Request і Label Mapping для запобіганя

петель, про що йшлося вище.

Поле *Message Length* определяет общую длину сообщения в байтах, начиная. з поля Message ID і включає обов'язкові та необов'язкові параметри.

Таблица 3.1

Перелік протоколу LDP

| Повідомлення протоколу LDP | Message Type | ОПИС |
|---|---|---|
| Notification (Повідомлення) | 0001 | Інформує маршрутизатори що приймають участь у сеансі о сбої чи відказі при обробці повідомлень протоколу LDP |
| HeIIo (Приветствие) | 0100 | Використовується як частина механізму виявлення вузлів і періодичного обміну привітаннями під час LDP-сеансу |
| Initialization (Ініціалізація) | 0200 | Ініціює організацію LDP-сеансу й забезпечує узгодження загальних параметрів цього сеансу |
| KeepAlive (Підтримка) | 0201 | Використовується для підтримки LDP-сеансу в робочому стані |
| Address (Адрес) | 0300 | Повідомляє транспортні адреси інтерфейсів маршрутизатора |
| Address Withdraw (Відміна адреси) | 0301 | Інформує маршрутизатори про те, що містящієся в повідомленні транспортні адреси більше не доступні |
| Label Mapping (Назначення мітки) | 0400 | У відповідь на запит передає значення мітки запитуючій її LSR |
| Label Request (Запит мітки) | 0401 | Запит мітки у нижчестоящого LSR |
| Label Withdraw (Відміна привязки мітки) | 0402 | Використовується для скасування раніше оголошеної прив'язки |
| Label Release (звільнення мітки) | 0403 | Інформує LSR про те, що прив'язка «FEC-мітка» для даної мітки більше не потрібна |
| Label Abort Request (відміна запиту мітки) | 0404 | Використовується для переривання (скасування) поточного повідомлення запиту мітки |
| Vendor-private (резерв виробника) | 3E00-3EFF | Повідомлення, специфіціруемие виробником обладнання |
| Experimental (експериментальні) | 3F00-3FFF | Експериментальні повідомлення |

Поле Message ID має довжину 32 біта і використовується для того, щоб однозначно ідентифікувати повідомляючі повідомлення протоколу LDR

Поле Mandatory Parameters являє собою список обов'язкових параметрів повідомлення. Деякі повідомлення протоколу не вимагають ніяких параметрів. Якщо в повідомленні передбачені обов'язкові параметри, вони мають бути зазначені в тому порядку, в якому вони слідують у цьому повідомленні.

Поле Optional Parameters містить необов'язкові параметри. Вони, на відміну від обов'язкових параметрів, можуть з'являтися в повідомленнях у довільному порядку або не з'являтися взагалі.

Поле *Message Length визначає* загальну довжину повідомлення в байтах, починаючи з поля Message ID і включає обов'язкові та необов'язкові параметри.

Поле Message ID має довжину 32 біта і використовується для того, щоб однозначно ідентифікувати повідомляючі повідомлення протоколу LDR

Поле Mandatory Parameters являє собою список обов'язкових параметрів повідомлення. Деякі повідомлення протоколу не вимагають ніяких параметрів. Якщо в повідомленні передбачені обов'язкові параметри, вони мають бути зазначені в тому порядку, в якому вони слідують у цьому повідомленні.

Поле Optional Parameters містить необов'язкові параметри. Вони, на відміну від обов'язкових параметрів, можуть з'являтися в повідомленнях у довільному порядку або не з'являтися взагалі.

# 4 МОДЕЛЬ МЕРЕЖІ MPLS

## 4.1 Аналіз характеристик якості обслуговування

Телекомунікаційні мережі повинні передавати багатокомпонентну інформацію (мову, данні, відео, аудіо) з необхідною синхронизацією цих компонент в реальному часі і гарантованими параметрами якості обслуговування. Одночасна експлуатация декількох мереж (передачі даних, передач голосу, передачі відео) не бажана з економичної точки зору.

Сьогодні бажано мати не ущільнену «цифрой» телефонну проводку і тим паче не цілий комплекс кабелей чи дротів з набором радіотерміналів, а нову єдину мультисервісну мережу, яка дасть змогу одержати всі послуги за допомогою універсального телекомунікаційного терміналу.

За допомогою інтеграції різних мереж створюється єдина мережна інфраструктура на підставі IP, котра забеспечить надання послуг ATM/FR, Internet, IP-VPN и Ethernet. Такою інфраструктурою є NGN на підставі MPLS.

Згідно Рек. МСЭ Y.2001 "Мережа наступного покоління" (Next Generation Network, NGN) – це мережа на підставі пакетів, яка здатна надавати служби/послуги електрозвязку та надавати можливість використовувати декілько широкополосних транспортних технологій, що забеспечують якість обслуговування, і в якій функції, що відносяться до служб, незалежні від нижчележачих технологій, які відносяться до транспортировки. Вона дозволяє вільний доступ для користувачів, по їх вибору, до мереж і до конкуруючих постачальників служб а/або к службам/послугам. Вона підтримуєзагальну рухомість, яка буде давати можливість постійного та повсемістного забезпечення служб для користувачів." [2]. NGN реалізує принцип глобальної досяжності послуги або люба послуга в любом місці любим способом в любий час.

В работі ставляться наступні задачи :

- визначити концепцію побудови мереж NGN, вимоги до архітектури і взаємодію складових частин мережової архітектури;

- дослідити вимоги до параметрів якості обслуговування, які висувають різні види трафіка;

- проаналізувати механізми забеспечення якості обслуговування в мережах NGN;

- проаналізувати мережу в залежності від закона часу разподілення обслуговування, а також характеристики каналів з інтеграцією голоса и даних;

- визначити фактори, що впливають на якість доставки і обробки різних типів трафіка. Мультисервісна мережа наступного покоління - те, чим зайняті у всьому світі мислі спеціалістів в галузі телекомунікації. Звичайний телефонний звязок, сотовий звязок, надзвичайно великі ресурси мережі Інтернет, IP-телефонія, кабельне телебачення (домашнє відео по запросу) - все эце повинно бути об’єднено в єдину архітектуру (рис.4. 1) [3].

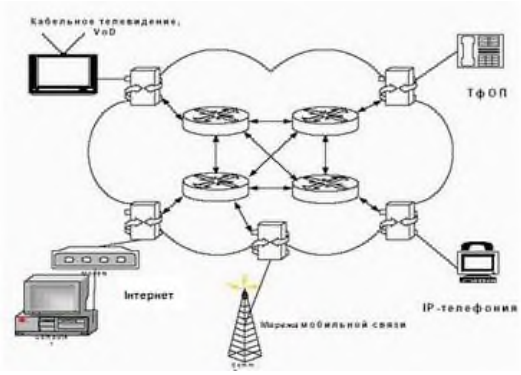



Рис. 4.1 Мультисервісна мережа нового покоління

Таким чином, мережа NGN повинна забезпечити необмежений набір послуг, надавати гнучкі можливості по їх управлінню, персоналізації і створенню нових видів сервіса за рахунок уніфікації мережових рішень. Останнє предполагает реалізацію універсальної транспортной мережі с розподіленою

коммутацєю, винесення функцій надання послуг в кінцеві мережові вузли і интеграцію с традиційними мережами зв’язку[4].

В основі NGN лежить пакетна мережа передачі даних. Інноваційнна сущность технології NGN є навіть не в тім, що вона забезпечує більш гнучку, швидкісну і ефективну середовище передачі, а в тім, що вона не прив’язана до концепції канала і забезпечує повнозвязковість мережі або VPN (віртуальной частноймережі) клієнта. Данні любого типа (голос, відео, інформація системи охранно-пожежной сигналізації і т. п.) доставляються туди, кудитреба, і тоді, коли треба. Це досягається за рахунок фізичного и логічного відділення передачі і маршрутизації пакетів, а також обладнання передачі (каналів, маршрутизаторів, комутаторів, шлюзов) овід пристроїв і логіки управління ввикликами і послугами.

Используемая в сети логика підтримує всі типи послуг в мережі з комутацією пакетів, починаючи від базового телефонного зв’язку і закінчуючи передачей даних, зображень, мультимедійної інформації, широкополосними додатками і додатками управління. Всі інформаційні ресурси становляться загальнодоступними по любому середовищу, по якій ці ресурси можуть бути надіслані, незалежно від того, де знаходится людина.

Вказані особливості відрізняють мережі NGN від звичайних телефоних і IP-мереж, наибільш широко разпоповсюджених в світі телекомунікацій. Мережі NGN, будучи результатом злияння звичайних телефоних мереж і мережі Інтернет, об’єднують в собі їх кращі риси:

- адаптованість для передачі трафіка любого вигляда, чщо можна порівняти з адаптованістю мережі Інтернет в протилежність відсутності гнучкості передачі даних в ТфОП;

- гарантована якість голосового зв’язку і критично важливих додатків передачі даних, що відповідає надійности ТфОП в протилежність негарантованій якості звязку в мережі Інтернет;

- низька вартість передачі в розрахунку на одиницю об’ема информации наближується до вартості передач даних в мережі Інтернет, а не ТфОП [5]. Механізми забезпечення QoS

1. Основними механізмами забезпечення QoS (Quality of Service) є:
2. *Пакетна передача даних.*

NGN як мережа з комутацією пакетів відповідає моделі системи з чеканням (ТфОП відповідає моделі системи з втратою визовів). Заявка, яка надійшла в момент зайнятості всіх каналів, не залишить систему, а будет поставлена вчергу. Час висвободження системи для начала обробки заявки з черги меньше, ніж час, який потрібен на перезапрос послуги. Крім того, пакетизований голос розтрачає полосу пропускання гораздо экономніше - при молчанні абонентів інформация не передається.

*Належність "часового запасу".*

Виміри, що здійснені спеціалістами Міжнародного союза электро- зв’язку (МСЭ) і Європейського інститута телекомуникаційних стандартов, показали, що до зниження якості телефонного зв’язку призводить затримка $T_{кр}$ більше 150 мс. Зазначимо час доставки інформації в мережі від вузла А к вузлу Б - $T_0$. Тді часовий запас (Тз) – ще різниця між критичним часом доставки інформації к абоненту і реальним часом проходження пакетів через мережу:

$$T_з = T_{кр} - T_0 \qquad (4.1)$$

Часовий запас $T_з$, котрий в традиційних мережах зв’язку зневажається, в NGN оперативно дається іншим додаткам, що в цілому добре впливає на параметри QoS [6].

*Фізичне і логічне відділення передачі і маршрутизації пакетів від пристроїв та логіки управління послугами.*

Данне архітектурне рішення дозволяє використовувати єдиний програмний інтелект обробки визовів для мереж різних типів (традиційних, пакетних, гібридних) с різними форматами мовних пакетів і з різним фізичним транспортом [7], а також підвищує ступінь керованості процесами і параметрами QoS в мережі наступного поколння.

*Застосування граничних контролерів сессій SBC (Session Border Controller).*

Данний пристрій спершу орієнтовано на большу кількість послуг реального часу(відео, мультимедіа, Instant Messaging), реалізуємих в IP-мережі, і задіяно для відстеження показників якості обслуговування в NGN. Трафіку, що пропускається через SBC, забезпечується керування якістю обслуговування, безопасністю, полосой пропускання. Для взаимодіїя мереж необхідно одночасне використання обох видів пристроїв - Softswitch и SBC [8].

*Використання технології багатопротокольної комутації по мітках MPLS (Multiprotocol Label Switching).*

Технологія MPLS орієнтована на оптимізацію процеса маршрутизації трафіка такимчином, щоб забезпечити максимально вигідне сполучення всіх механизмів QoS, що задіяні вмережі. Процес маршрутизації замінюється процесом комутації, который здійснюється на основі міток. Суттєве підвищення якості роботи (аудіо- і відеоінформація передається комутаторами MPLS с точністью,яку можна порівняти з результатами роботи по прямому з'єднанню) доссягаэться за рахунок вказівки в міткі пропускної здатності, яка повинна бути зарезервована.

Функція MPLS Fast Reroute, оперативно реагируюча (не більше ніж за 50 мс) на обривання зв'язку і перенаправляюча інформаційні потоки на неповрежденные участки мережі, робить NGN більш надійною, ніж мережі SDH [9].

Визначення характеристик якості обслуговування

В межах даної магістерської роботи було проведено дослідження пакетної мережі з встановленням і без встановлення з'єднання. Необхідно відмітить, що ТфОП, мережа з комутацією каналів, є эталонной при оцінкі якості передачи мови в інших мережах. Для того щоб покращити якість обслуговування з'явились технологи, эмулируючі комутацію каналів в мережі з комутацією пакетів. Протокол TCP стека IP и протоколи SIP, H.323, Megaco/H.248, MGCP, які керують аудіо- і відеоконференціями і забеспечують взаємодію між пристроями NGN-мереж, є протоколами, орієнтованими на встановлення з'єднання.

Проведений аналіз різних досліджень дозволяє зробити висновок, що одним з важливих параметрів якості обслуговувания для мереж з комутацією пакетів є нормований час откліка мережі[10].

Для дослідження і аналізу нормованого часу откліка мережі, необхідно вирішити наступні задачі:

- побудувати модель мережі з комутацією пакетів;

- дослідити нормований час відповіді для мерж з встановленням і без встановлення з'єднання і різноманітними способами передачі підтверджень;

- дослідити залежність нормованого часу відповіді від співвідношення між довжиною службового і інформаційного полей пакета.

**Мережа без встановлення з'єднання.** На рис.2 приведен фрагментмережі. Зазначимо інтенсивність потока во вхідному вузлі λ, пропускну здатність дуплексного канала між вузлами $C_T=NC_L$, де величина $C_L$ визначає максимальну скорость доступу до вузлу. Можливі два сценарія передачи підтверджений:

Підтверджений передаються в окремих пакетах;

Підтверджений передаються в спеціальних полях інформаційних пакетів зворотнього направлення.

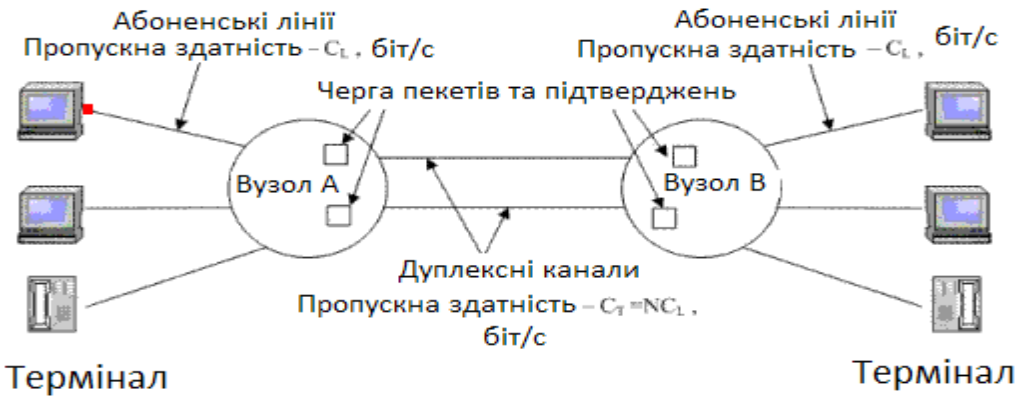



Рис. 4.2 Модель мережі з комутацією пакетів без встановлення з'єднання.

Поставимо задачу знайти средній час відклика $T_D$ від вузла до вузла, як функцію нагрузки вмережі, довжини службових і інформаційнних пакетів і інтенсивності передачи сповіщень. В першому випадку час відклику мережі буде з часу затримки в черзі інформаційного потока вузла А, часу затримки в черзі потока підтверджень в узла В, среднього часу передачі інформаційного пакета (враховуючи заголовок) і часу передачи пакетів підтверджень (2).

В другому разі час відліка мережі зменшується на час чекання в черзі час передачи потока підтверджень (з причини відсутності такого) (3):

$$T_D = t_m + 2t_h + 2W \qquad (4.2)$$

$$T_D = t_m + t_h + W \qquad (4.3)$$

где $t_m$- средня продолжительность передачи інформаційних полей пакетів;

$t_h$ - продолжительность передачи службових полей пакетів і пакетів потока підтверджень;

W - середнє значення чекання пакета, який в системі типу M/G/1 визначається по формулі Полячека-Хінчина [11] залежить від другого момента розподілення часу обслуговувіння - [10] :

Для дослідження часу відкліку мережі від відношення довжини керуючого пакета до довжини інформаційного, введемо коефіцієнт k (4) і нормуєм получений час затримки в мережі на час передачі даних по абонентскій лінії (5):

$$k = \frac{t_h}{t_m} = \frac{L_i}{m_c} \tag{4.4}$$

$$T_M = t_m * N \tag{4.5}$$

Для випадку використання окремого потока підтверджень нормований час відкліка буде мати вид (6), тоді як при передачі підтверджень в полях пакетів зворотнього направлення с урахуванням (4) и (5) (3) буде мати вигляд (7):

$$T_D / T_M = \frac{1}{N}(1 + 2k + \frac{\rho_M (1 + k + k^2)}{(1 - \rho_M (1 + 2k)}) \tag{4.6}$$

$$T_D / T_M = \frac{1}{N}(1 + k + \frac{\rho_M (1 + k + \frac{1}{2}k^2)}{(1 - \rho_M (1 + k)}) \tag{4.7}$$

Розберем ситуацію, коли відношенняе об’єму службової інформації до мережі складає 0,1 (рис. 3). Саме таке співвідношення між сигнальними і информаційними полями мають ячійки ATM (5байт - 48 байт). В технології Ethernet/802.3 коэфіцієнт k (при повній укомплектации кадра) будет даже меньше (21 байт - 1496)

Граничний коэффіцєнт корисного використання канала для кожной системи (8), (9) може буть знайдений з умови належності (6) и (7):

- для системи з передачей потока підтверджень

$$\rho_{M_{max}} = \frac{1}{(1+2k)} \tag{4.8}$$

при k=0.1, $\rho_M$=0.83

- для системи з передачей підтверджень в полях пакетів зворотнього направлення:

$$\rho_{M_{max}} = \frac{1}{(1+k)} \tag{4.9}$$

при k=0.1, $\rho_M$=0.91

Мережа з встановленям з'єднання. Ця мережа будується по моделі M/M/N. Также як і в мережі без встановлення з'єднання можливі два випадки:

Службова інформація, необхідна для встановлення з'єднання, передається по тому ж каналу, що і данні;

службова інформація передається по окремому каналу.

В загальному випадку час встановлення узла А с узлом В $T_C$ (от момента передачи з'єднання повідомлення запроса к моменту прийома повідомлення про начало переда чі) складається з посилання визову вузлом А – $T_{SR}$, часом чекання звільнення канала - W, повідомленням вузла В про отримання посилки визова - $T_R$, посилки вузлом У повідомлення про готовність к з'єднанню - $T_{SR}$ , і відповіді вузла А про отримання повідомлення - $T_S$. Считая, чщо кожне сигнальне повідомлення має однакову довжину , отримаєм (10):

$$T_C = 4T_S + W \quad (4.10)$$

где $T_S$ – час передачі сигнальних повідомлень

W –час чекання обслуговування, яке визначається з урахуванням другої формули Эрланга і формули Літтла.

Треба врахувати, що час очікування обслуговування для системи з передачею сигнальної інформаціи по окремому каналу будет меньше, ніж для системи з передачею сигнального і корисного навантаження по одному каналу за рахунок відсутності чекання звільнення канала от сигнальних повідомлень. Застосовуючи таку методику, знайдем нормований час відклика як:

- для моделі з передачею служебовой і корисной інформації по одному каналу (11)

$$T_C / T_M = 4k + \frac{(8k+1) * C(N,A)}{N(1-\rho_M (1+8k))} \quad (4.11)$$

- для моделі з передачей службовой інформації по окемому каналу (12)

$$T_C / T_M = 4k + \frac{C(N,A)}{N(1-\rho_M)} \quad (4.12)$$

Як і в попередньому випадку розглянемо ситуації, коли відношення об’єма службовой інформації и до корисної складає 0,1 (рис. 4).

Граничний коефіцієнт корисного використання канала для кожной системи може бути знайден з умови існування (11) и (12):

- в першому випадку

$$\rho_{M_{max}} = \frac{1}{(1+8k)} \quad (4.13)$$

при k=0.1, $\rho_M$=0.56

- в другому випадку:

$\rho_M$=0.999 при любому k

Залежності  приведені на рисунке 3.

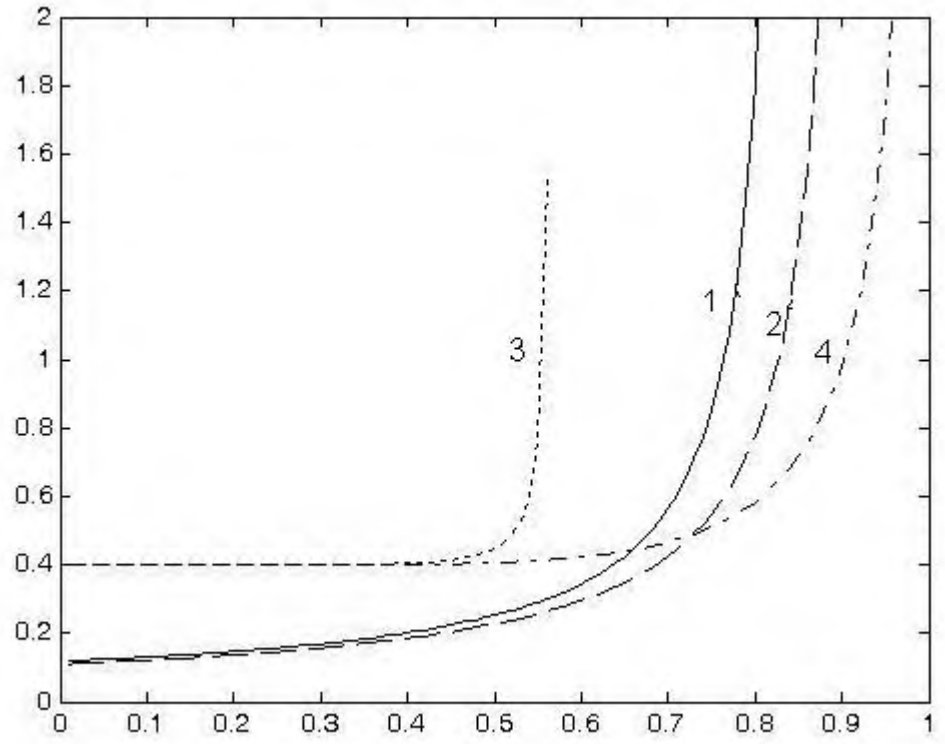



Рис. 4.3  Нормований час відкліку пакетної мережі при k=0,1:

1 – підтвердження в моделі без встановлення з’єднання передаються окремим потоком;

2 – підтвердження в моделі без встановлення з’єднання передаються в спеціальних полях інформаційнних пакетів зворотнього напрямку;

3- службова інформація, необхідна для встановлення з’єднання, передається по тому же каналу, що і данні;

4 - службва інформація, необхідна для встановлення з’єднання, передається по окремому каналу.

Незважаючи  на те, що система з встановленням з’єднання має трохи гірші параметри, ніж система без встановлення з’єднання, в першій збільшення коефіцієнта корисного використання каналу (то есть збільшення нагрузки на канал) не збільшує час відклика, що робить цю систему пріоритетною для передачі мультимедійної інформації .

Збільшення нагрузки спочатку повільно, а потім швидко збільшує час відклика мережі. Граничне значення коефіцієнта эфективного використання канала визначається відношенням довжини службового і інформаційного пакетів, при чому, чим це відношення меньше, тим ефективніше використовується канал.

Характер кривой, яка відповідає мережі з встановленням з’єднання, показує, що при збільшенні навантаження час відтклика мережі не збільшується. Тому саме така мережа здатна задовольнити вимоги требования мультимедійного трафіка к затриманню.

Таким чином,мережа NGN забезпечує високу якість передачі всіх типов трафіка, оптимізуючи його разповсюдження в реальному часі враховуючи резервування полоси пропускання, пропускну здатність і текущую нагрузку каналів, приоритезацію трафіка.

## 4.2 Конфігурування мережі MPLS

Метою даної роботи є побудова наступної структури мережі:

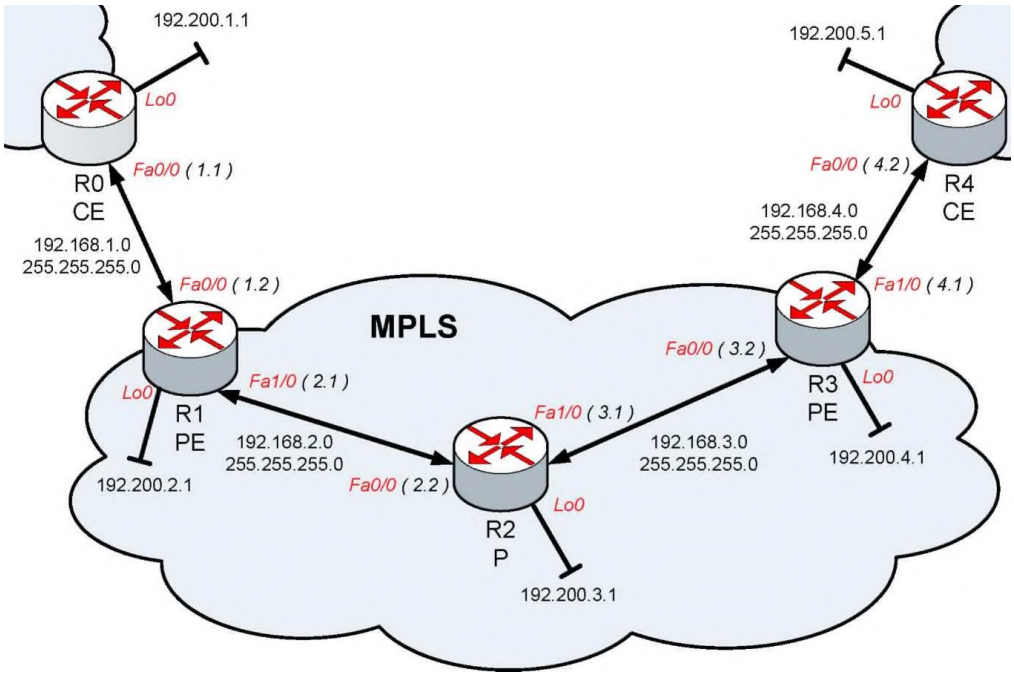



Рис.4.1 Структура мережі.

Для цього необхідно виконати наступні операції:

1. Налаштувати IP-адресацію на інтерфейсах маршрутизаторів відповідно до запропонованої схеми на ілюстрації 1. Звернути увагу на loopback-інтерфейси.

2. Налаштувати OSPF-маршрутизацію між усіма маршрутизаторами.

3. Налаштувати протокол розподілу міток LDP на P і PE маршрутизаторах (R1, R2, R3). Упевнитися в його справному функціонуванні.

Середа симуляції

Надана для вирішення завдання структура мережі спочатку має наступний вигляд:

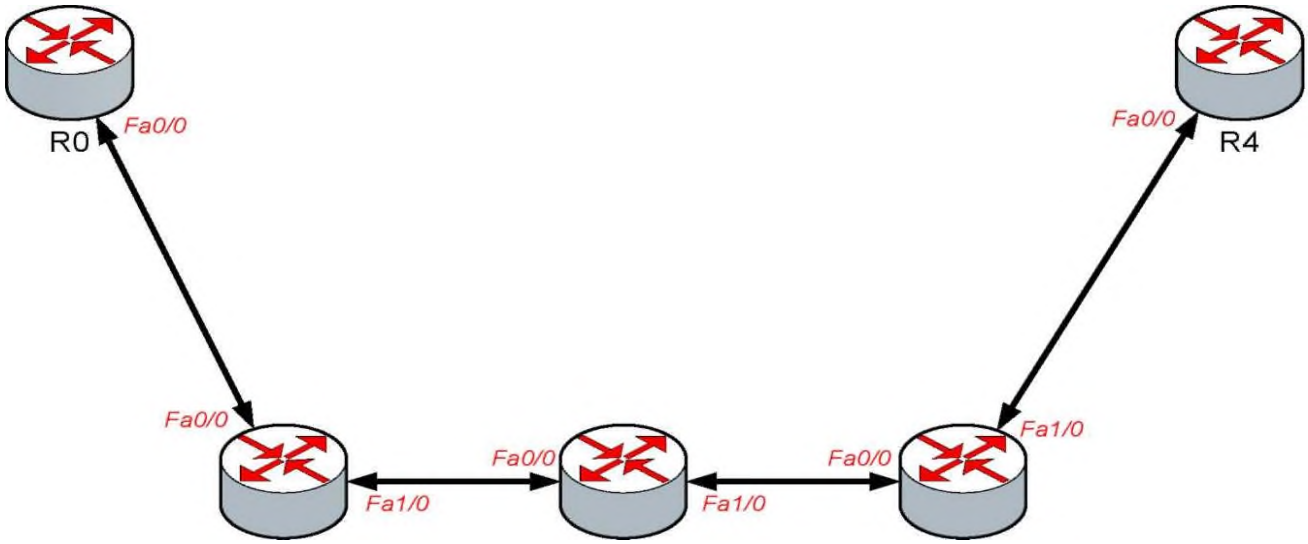



Рис.4.2 Початкова структура мережі.

Розглянемо команди, надаються нам середовищем Dynagen:

• **list** - виводить список доступних маршрутизаторів і їх статус **(листинг 1).**

Листинг 1

Dynagen management console for Dynamips Copyright (c) 2005-2007 Grey Anuzelli

=> list

| Name | Type | State | Server | Console |
|---|---|---|---|---|
| R0 | 7200 | running | localhost:7200 | 2000 |
| R1 | 7200 | running | localhost:7200 | 2001 |
| R2 | 7200 | running | localhost:7200 | 2002 |
| R3 | 7200 | running | localhost:7200 | 2003 |
| R4 | 7200 | running | localhost:7200 | 2004 |

=>

• start router – включення маршрутизатора router.

• STOP ROUTER – ВИМИКАННЯ МАРШРУТИЗАТОРА ROUTER.

• RELOAD ROUTER – ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ МАРШРУТИЗАТОРА ROUTER.

• CONSOLE ROUTER – ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО КОНСОЛЬНОГО ПОРТУ МАРШРУТИЗАТОРА ROUTER ДЛЯ КОНФІГУРУВАННЯ.

• CAPTURE ROUTER INTERFACE FILENAME – ЗАХОПЛЕННЯ ВСІХ ПАКЕТІВ, ЩО ПРОХОДЯТЬ ЧЕРЕЗ INTERFACE МАРШРУТИЗАТОРА ROUTER В ФАЙЛ FILENAME.

Настройка Loopback — інтерфейси, або інтерфейси замикання на себе, необхідні для loopback ів стабільного функціонування протоколу OSPF, а також для деяких тестових перевірок працездатності.

Повний цикл налаштування loopback-інтерфейсу включає в себе його створення і присвоєння йому IP - адреси (см. листинг 2).

R0>enable

R0#CONFIGURE TERMINAL

ENTER CONFIGURATION COMMANDS, ONE PER LINE. END WITH

CNTL/Z.

R0(CONFIG)#INTERFACE LOOPBACK 0

R0(CONFIG-IF)#IP ADDRESS 192.200.1.1 255.255.255.0

R0(CONFIG-IF)#EXIT R0(CONFIG)#EXIT

R0#

Листинг 2

OSPF

НАЛАШТУВАННЯ РЕШТИ ПУНКТІВ 1 І 2 МАЄ НА УВАЗІ ПІД СОБОЮ УСПІШНЕ ВИКОНАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ПО ПРОТОКОЛУ ОБРР.

У РАЗІ, ЯКЩО ВСЕ ЗРОБЛЕНО ВІРНО, СТРУКТУРА МЕРЕЖІ ПРИЙМЕ НАСТУПНИЙ ВИГЛЯД:

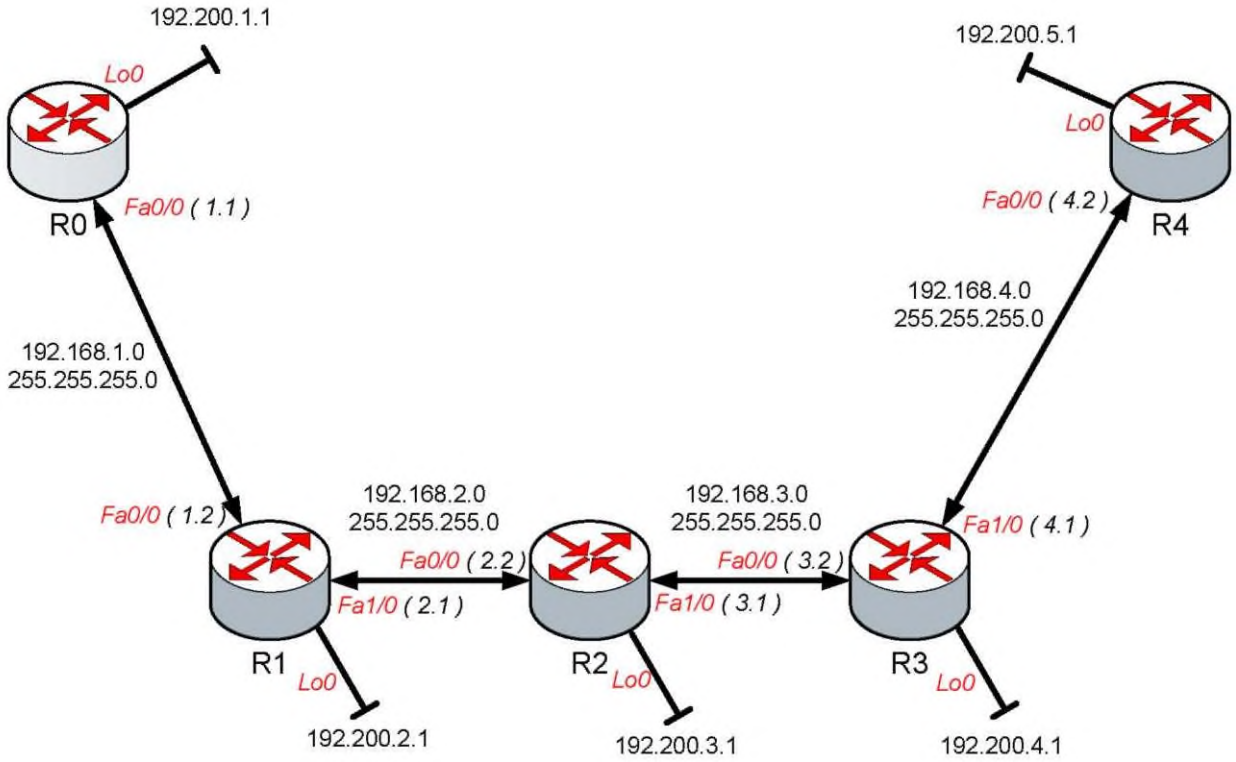



Рис.4. 3 Вигляд мережі після змін.

Т.к. на всіх маршрутизаторах налаштований ОБРР, [Р0 повинен «бачити» [[4 (листинг 3):

R0#ping 192.168.4.2

TYPE ESCAPE SEQUENCE TO ABORT.

SENDING 5, 100-BYTE ICMP ECHOS TO 192.168.4.2, TIMEOUT

IS 2 SECONDS:

!!!!!

SUCCESS RATE IS 100 PERCENT (5/5), ROUND-TRIP

MIN/AVG/MAX = 188/326/716 MS

R0#

Листинг 3

## 4.3 ПЕРЕВІРКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОТОКОЛУ LDP.

LDP РОЗГЛЯНЕМО ОСНОВНІ КОМАНДИ ДЛЯ КОНФІГУРУВАННЯ LDP, В ПОРЯДКУ ЇХ ВВЕДЕННЯ

НА МАРШРУТИЗАТОРІ: Таблиця 4.2

Команди

| | |
|---|---|
| ip cef | Вводиться в режимі глобального конфігурування (підказка config).<br>АКТИВІЗУЄ CISCO EXPRESS FORWARDING - ЄДИНИЙ РЕЖИМ ОБРОБКИ ПАКЕТІВ, ЩО ПІДТРИМУЄ РОБОТУ З МІТКАМИ. |
| mpls ip | Вводиться в режимі конфігурування інтерфейсу. Дозволяє инкапсуляцию ^ 4-пакетів для їх обробки засобами MPLS. |
| mpls label protocol { ldp \| tdp \| both} | Вводиться в режимі конфігурування інтерфейсу. Запускає певний протокол розподілу міток: LDP, TDP або ж LDP + TDP. |

Це всі необхідні команди для запуску LDP. Для успішного виконання конфігурації необхідно виконати 3 кроки:

1. Включити CEF на всіх LSR.

2. Дозволити MPLS для IPv4 пакетів на всіх інтерфейсах, які входять в усі можливі LSP.

3. Задати протокол розподілу міток - LDP (на тих же інтерфейсах).

Для перевірки функціонування LDP використовуються наступні команди (всі вони вводяться в режимі Privileged EXEC, підказка #):

Таблиця 4.3

Команди

| | |
|---|---|
| show mpls interfaces [interface] [detail] | Показує інформацію про інтерфейси, які налаштовані для роботи з мітками. |
| show mpls ldp discovery | Інформація про інтерфейсах, на яких працює процес виявлення (Discovery) |
| show mpls ldp neighbor [address \| interface] [detail] | Інформація про LDP-сесії |
| show mpls Idp bindings | Показує вміст LIB - Label |
| [network {mask \ length}] | Information Base |

Перевірка • На кожному маршрутизаторі, який входить до MPLS-мережа, перевірити функціонування протоколу LDP на відповідних інтерфейсах ( листинг 4 ):

R2#show mpls interfaces

Interface IP Tunnel Operational

FastEthernet0/0 Yes (ldp) No Yes

FastEthernet1/0 Yes (ldp) No Yes

R2#

листинг 4

• На кожному маршрутизаторі, який входить до MPLS-мережа, перевірити, чи запущений процес виявлення (Discovery) і чи створені LDP-сесії з сусідніми маршрутизаторами ( листинг 5 ):

• Перевірити, зіставив чи маршрутизатор локальну позначку для кожного відомого маршруту( листинг 6 ):

• Перевірити, призначає чи PE-маршрутизатор мітки. Трейсі необхідно тільки інтерфейси, які не належать до MP1_Б-ядру (листинг 7):

Rl#traceroute 192.200.4.1

Type escape sequence to abort. Tracing the route to 192.200.4.1

192.168.2.2 [MPLS: Label 17 Exp 0] 372 msec 192 msec 244 msec

192.168.3.2 100 msec 248 msec * R1#traceroute 192.168.4.1

Type escape sequence to abort. Tracing the route to 192.168.4.1

192.168.2.2 [MPLS: Label 16 Exp 0] 152 msec 224 msec 244 msec

192.168.3.2 276 msec 192 msec * R1#traceroute 192.168.4.2

Type escape sequence to abort. Tracing the route to 192.168.4.2

192.168.2.2 [MPLS: Label 16 Exp 0] 188 msec 256 msec 96 msec

192.168.3.2 228 msec 172 msec 60 msec

192.168.4.2 364 msec 288 msec * листинг 7

4.4 Перехоплення трафика на інтерфейсах маршрутизаторов.

• Проаналізувати трафік. Для цього:

1. Запустити перехоплення трафіку у вікні Dynagen на PE-маршрутизаторах на інтерфейсах, «смотрящих» на P-LSR:

=> capture Rl fl/0 RlflO.cap => capture R3 f0/0 R3f00.cap

=>

2. Послати пакети з однієї клієнтської мережі в іншу:

R0>ping 192.168.4.2

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.4.2, timeout

is 2 seconds:

!!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip

min/avg/max = 476/680/1036 ms

3. Припинити перехоплення пакетів:

=> no capture R1 f1/0 => no capture R1 f1/0

=>

4. Завантажити файли в аналізатор трафіку

(Wireshark/Ethereal/tcpdump ) і пояснити побачене.

# ВИСНОВКИ

Таким чином в магістерській роботі показано, що MPLS є досить потужним і універсальним рішенням проблем QoS, поставленими перед сьогоднішніми пакетними мережами, рішенням, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацию розподілення трафику. Лідерство MPLS обумовлено вдало вибраною позицією, дозволяючи оптимальним шляхом відображати наскрізний трафік третього рівня від вихідного мережевого вузла (маршрутизатора) до вхідного вузла в трафік між сусідніми вузлами на другому рівні мережевої ієрархії. Т.о., MPLS, є гібридом рівнів 2 и 3 семирівневої моделі OSI, зібрала разом краще з двох світів: рівня 2 і рівня 3, світу ATM і світу IP.

Деякі труднощі у відповідь на таку чисельну увагу до технології MPLS з'явилися у виникшій путанині відносно того, що таке MPLS, до якого рівня OSI вона відноситься, що ця технологія може і для чого она призначена. Така путанина обумовлена, частково, тим, що технологія MPLS не використовує який-небудь єдиний формат для транспорту пакетів, а базується на декількох протоколах (та відповідних їм стандартах), кожен з яких вирішує окрему проблему. Спроба розплутати цей клубок і якимось чином структурувати описання протоколів MPLS як раз і предприйнята в цій роботі.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Packet based multimedia communication systems. ITU-T Recommendation H.323. - Geneva, 1998, April.

2. Using the Flow Label Field in IPv6. IETF RFC 1809. - June, 1995.

3. Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification. IETF RFC 2205. - September, 1997.

4. A Framework for a Gateway Location Protocol. IETF Draft. - July, 1998.

5. SIP: Session Initiation Protocol. IETF Draft. - September, 1998.

6. User Multiplexing in RTP payload between IP Telephony Gateways. IETF Draft. - August, 1998.

7. ETNO Reflection Document on the European Commission Notice concerning the status of voice on the Internet pursuant to Directive 90/388/EEC (RD56 06/97).

8. Status of voice on the Internet under directive 90/3888/EEC.

9. https://habrahabr.ru/post/246425/#LDP Базовий MPLS 2014.

10. А.В. Росляков, М.Ю. Самсонов, І.В. Шибаєва – IP-Телефонія – М.: Еко-Трендз, 2001.

11. Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий – IP-Телефония – М.: Радио и связь, 2001

12. http://www.cisco.com/

13. Б.С. Гольдштейн, А.Б. Гольдштейн –Технологии и протоколы MPLS –СПБ :БХВ-Санкт Петербург, 2005.-304 с.

# Демонстраційні матеріали

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: « **ПОБУДОВА МЕРЕЖІ TCP/IP НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ КОМУТАЦІЇ MPLS»**

Виконав: студент гр.. ТСДМ-63 Юрченко Д.А.
Керівник: ДТН, доцент Тюрін В.В.

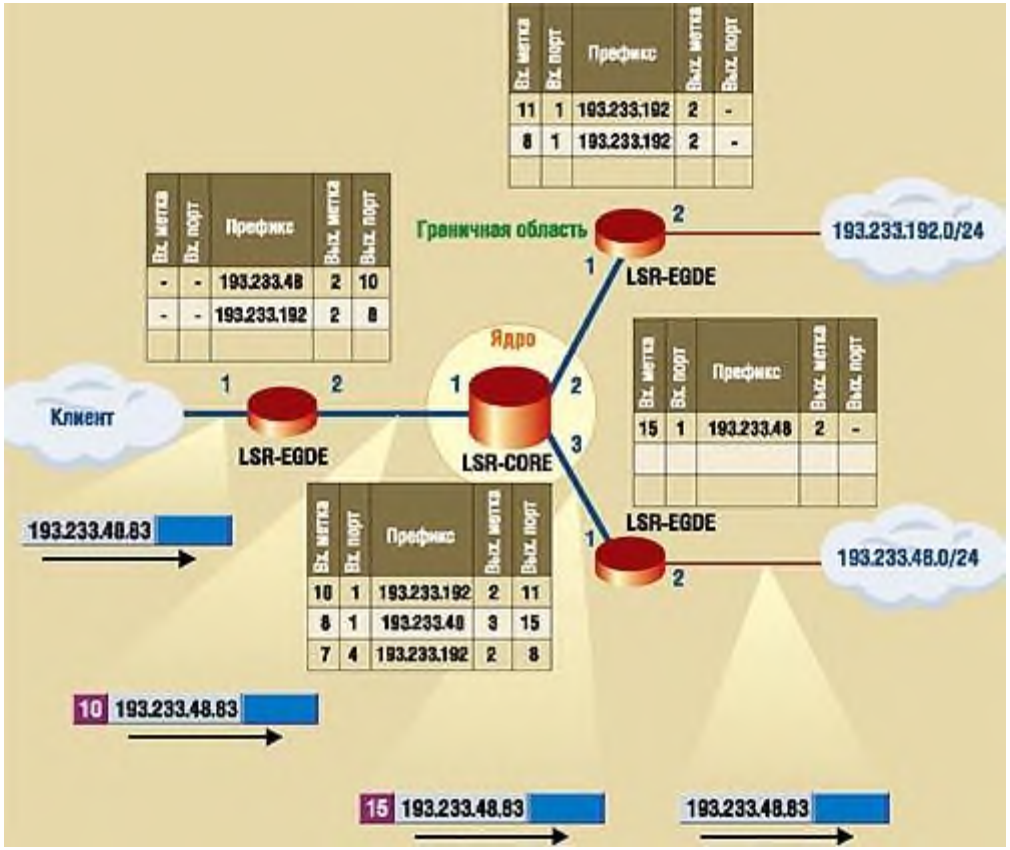
**Київ-2025р.**

***Об'єкт дослідження*** –модель мережі MPLS.

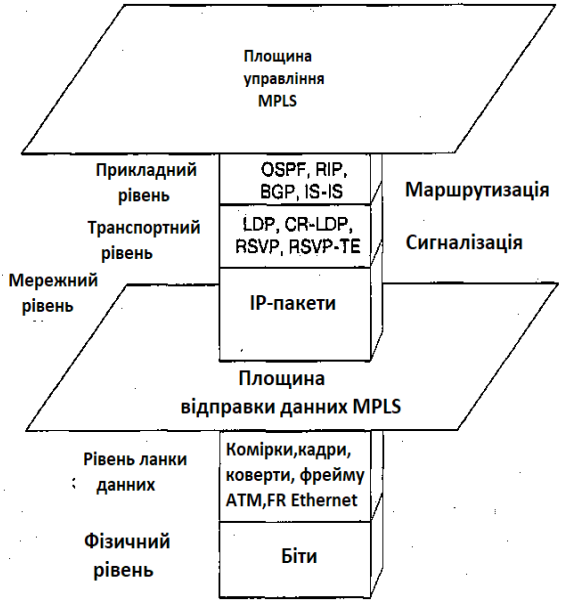
***Предмет дослідження*** –протоколи мережі MPLS.

***Мета роботи*** – визначити варіант побудови мережі MPLS для потреб навчального процесу з використанням обладнання Cisco

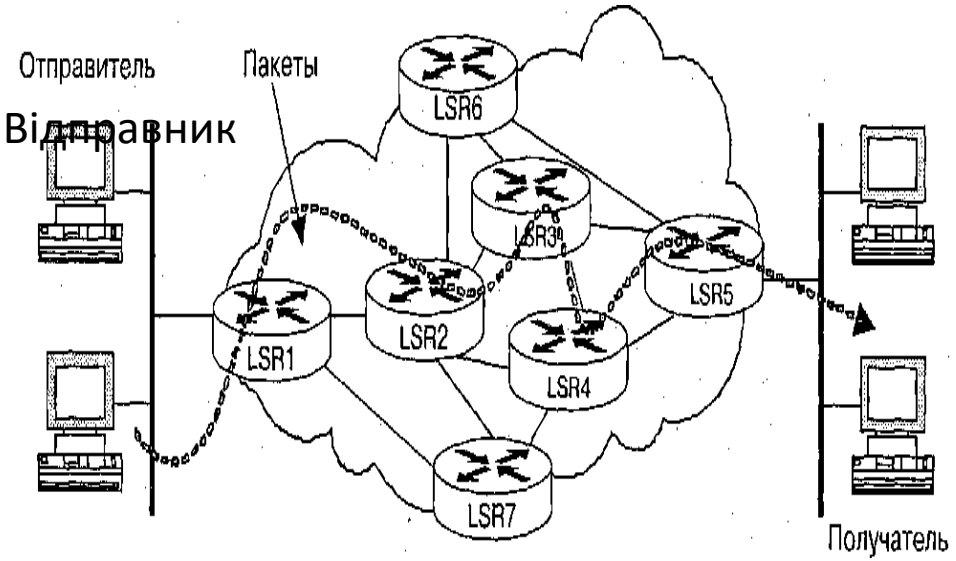
# Схема комутації MPLS



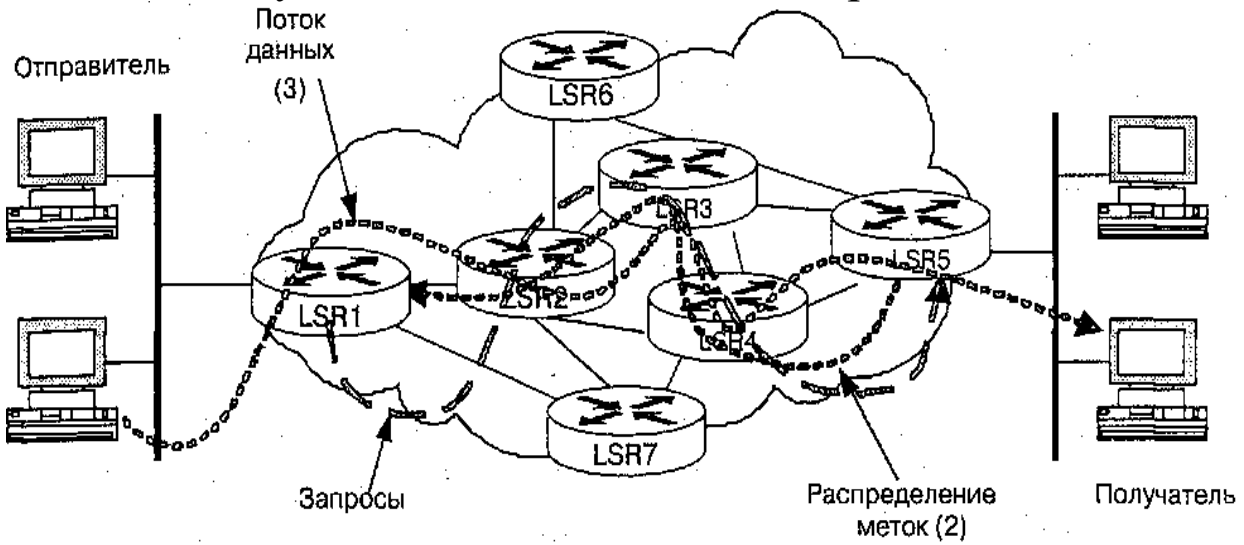
## Площини протоколу MPLS



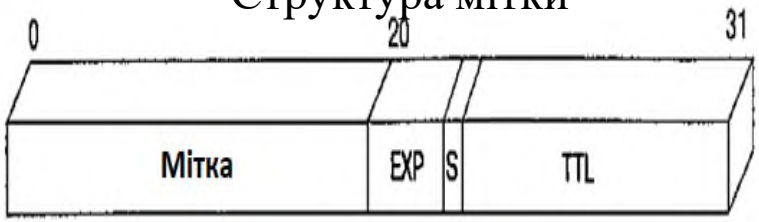

## Приклад домену MPLS-мережі




## Коммутація по мітках в MPLS-мережі



## Структура мітки

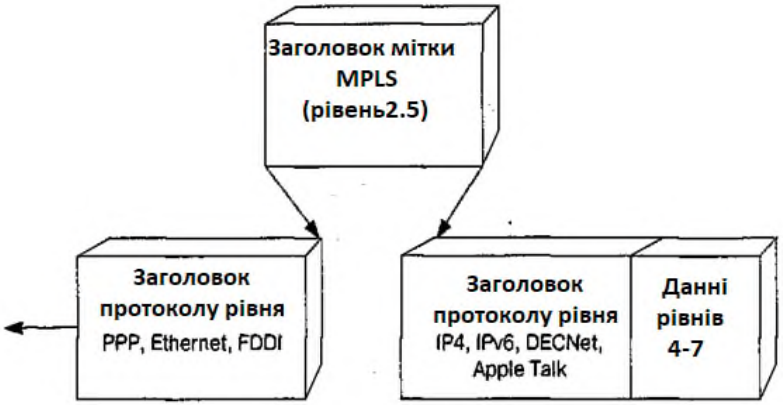



Мітка - 20 бітів
Exp (экспериментальное) - 3 біта
S (признак дна стека) - 1 біт
TTL (час життя) - 8 бітів

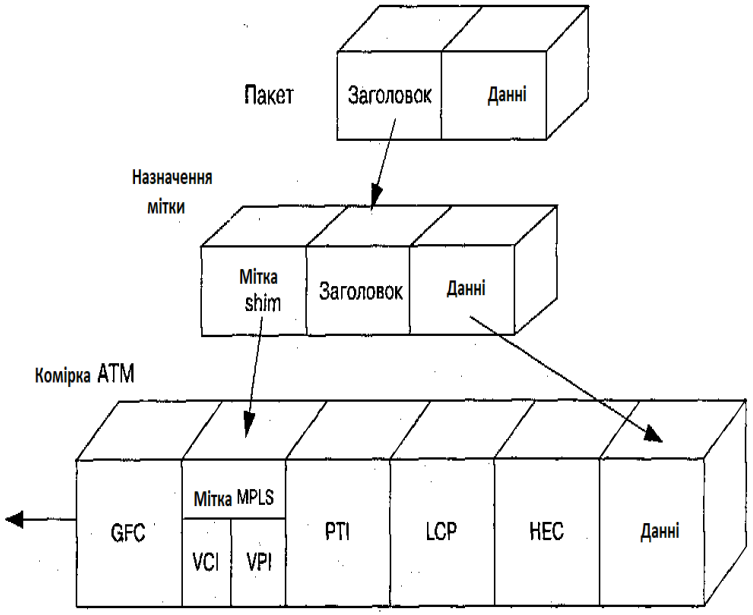
## Приклад чотирирівневого стека міток MPLS



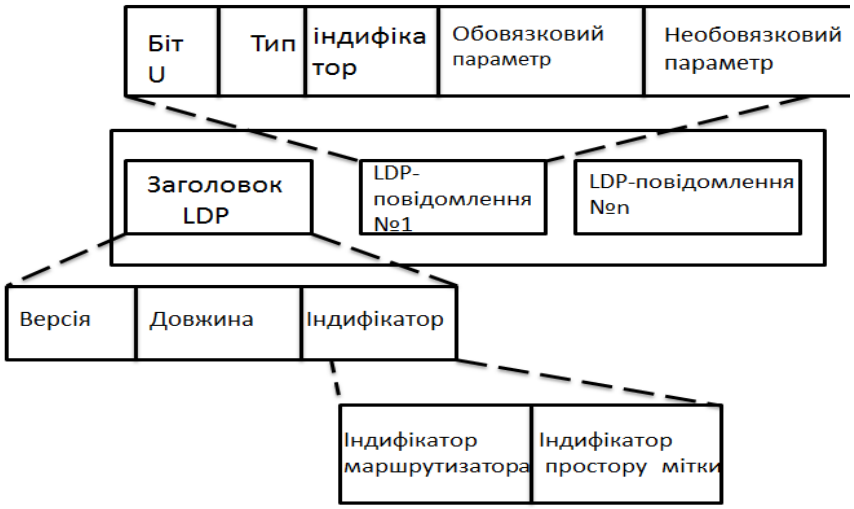

## Принцип інкапсуляції заголовка MPLS




## MPLS-мітка, що передається в полях VPI / VCI заголовка AT



# Блок даних протоколу LDP



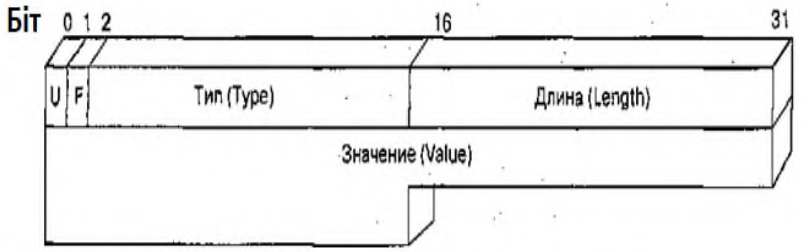
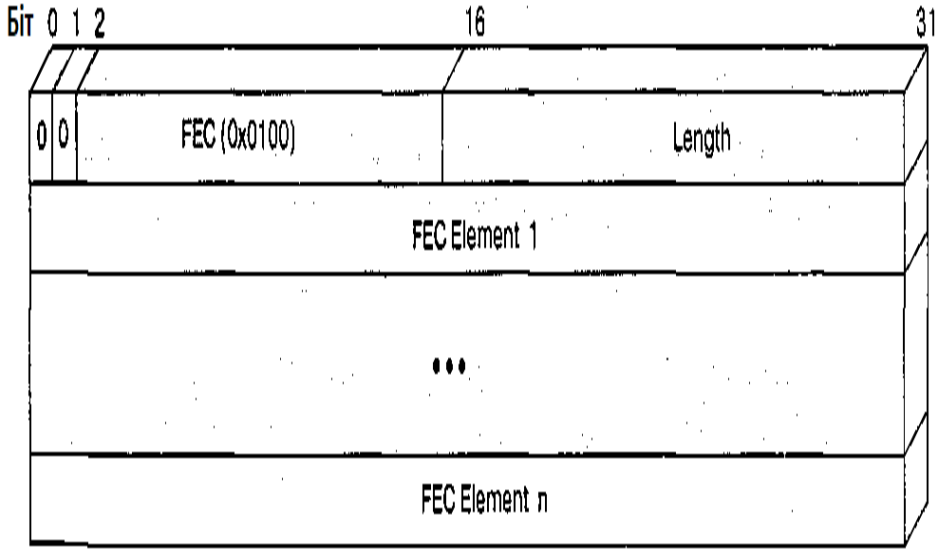
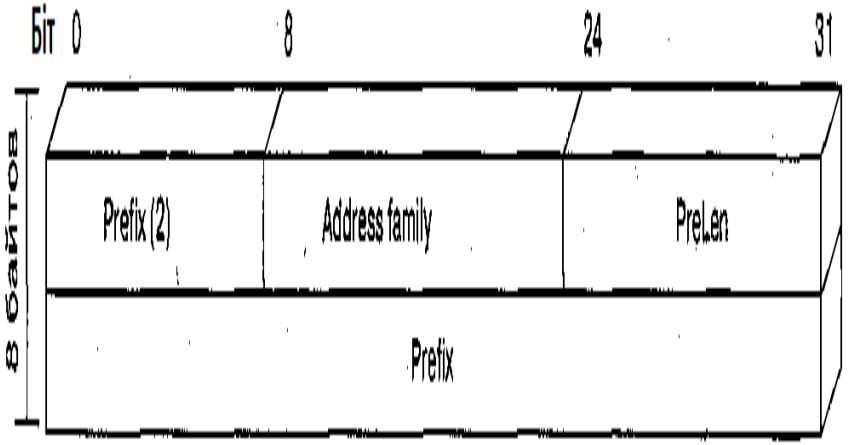




Рис. 3.3. Формат кодування параметра за схемою TLV

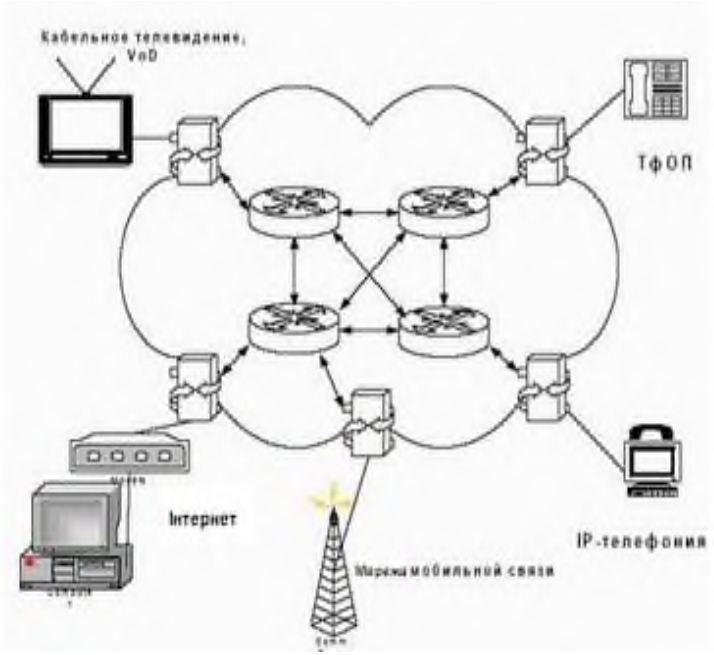
## Формат параметра FEC TLV



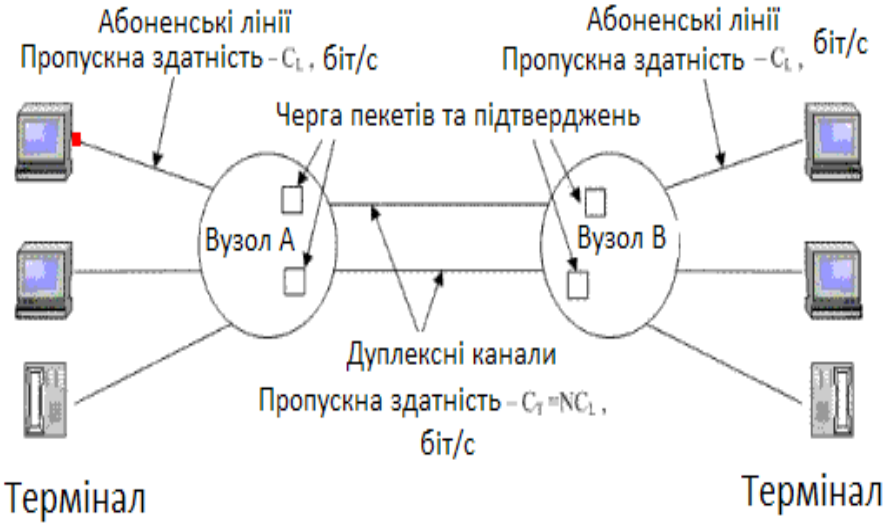

## Формат FEC-элемента Prefix



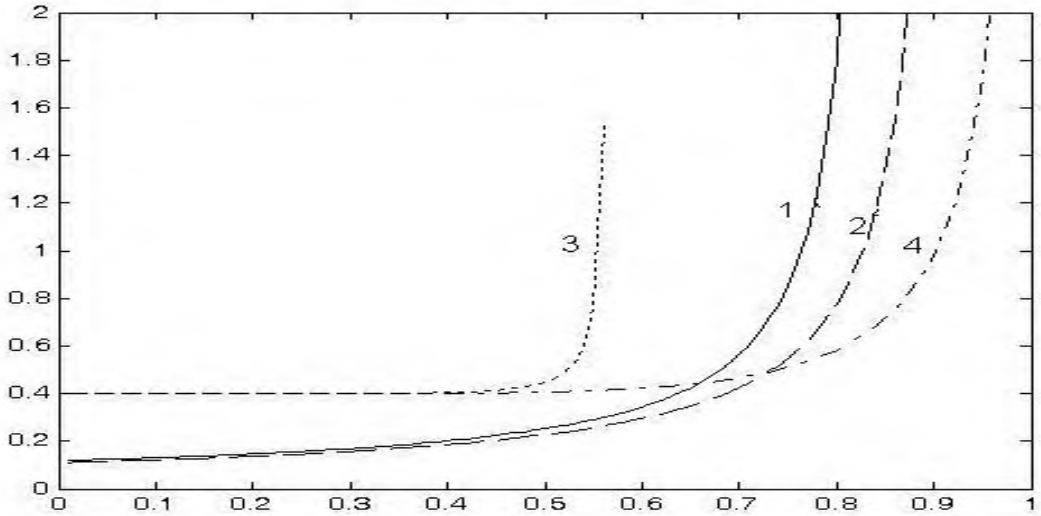
Мультисервісна мережа нового покоління



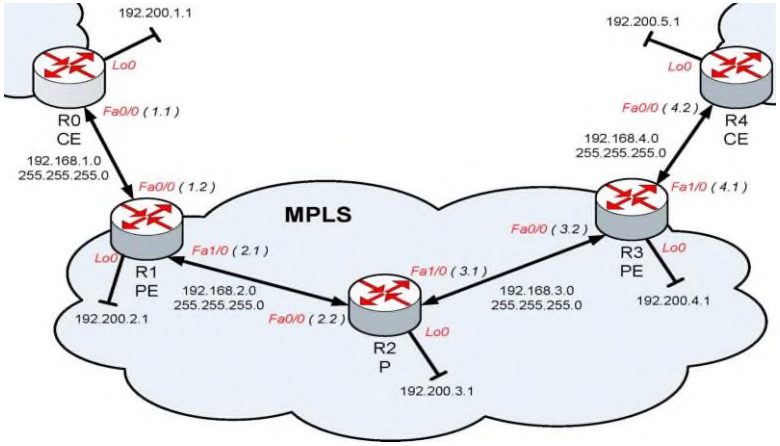

Модель мережі з комутацією пакетів без встановлення з’єднання



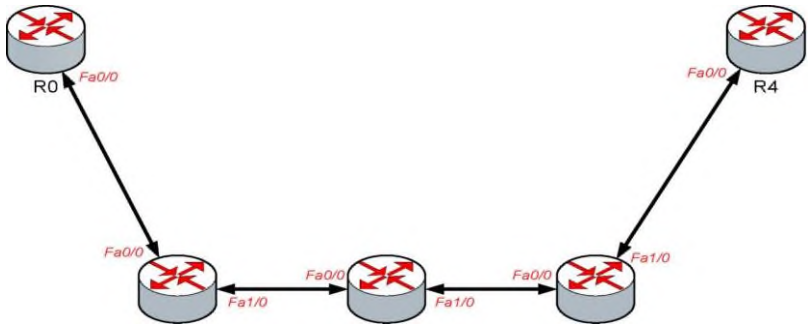

Нормований час відкліку пакетної мережі при k=0,1



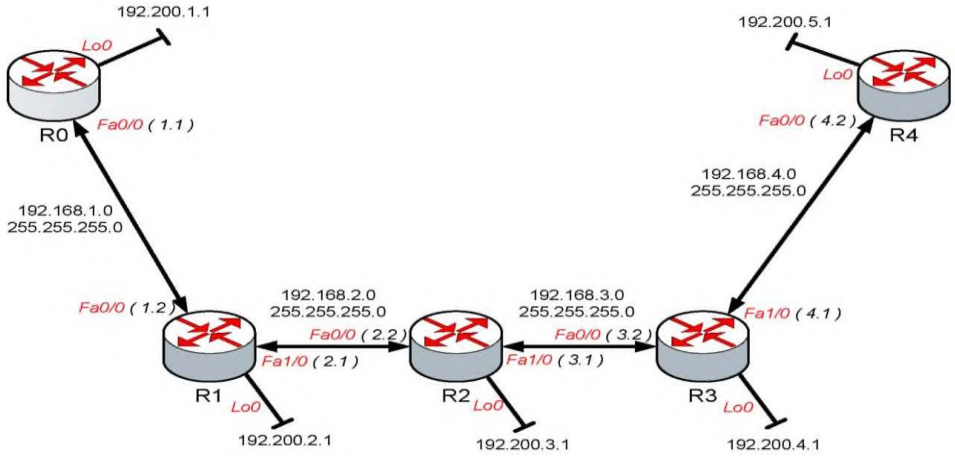
Структура мережі




Початкова структура мережі




Вигляд мережі після змін



# ВИСНОВКИ

Таким чином в магістерській роботі показано, що MPLS є досить потужним і універсальним рішенням проблем QoS, поставленими перед сьогоднішніми пакетними мережами, рішенням, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацию розподілення трафику. Лідерство MPLS обумовлено вдало вибраною позицією, дозволяючи оптимальним шляхом відображати наскрізний трафік третього рівня від вихідного мережевого вузла (маршрутизатора) до вхідного вузла в трафік між сусідніми вузлами на другому рівні мережевої ієрархії. Т.о., MPLS, є гібридом рівнів 2 и 3 семирівневої моделі OSI, зібрала разом краще з двох світів: рівня 2 і рівня 3, світу ATM і світу IP.

Деякі труднощі у відповідь на таку чисельну увагу до технології MPLS з’явилися у виникшій путанині відносно того, що таке MPLS, до якого рівня OSI вона відноситься, що ця технологія може і для чого она призначена. Така путанина обумовлена, частково, тим, що технологія MPLS не використовує який-небудь єдиний формат для транспорту пакетів, а базується на декількох протоколах (та відповідних їм стандартах), кожен з яких вирішує окрему проблему. Спроба розплутати цей клубок і якимось чином структурувати описання протоколів MPLS як раз і предприйнята в цій роботі.