

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА
БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ IP/MPLS ЗА РАХУНОК ЕФЕКТИВНОГО
РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ»**

Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-62
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Александров М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

Заїка В.Ф.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____

(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Телекомунікаційних систем та мереж

В.Ф.Заїка

“ ___ ” _____ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Александрову Микиті Вікторовичу

1. Тема роботи: Методи оптимізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS за рахунок ефективного розподілу пропускну здатності, керівник роботи: Заїка В.Ф. д.т.н., доцент, зав кафедри ТСМ затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11. 2019 року № 518
2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 року
3. Вихідні дані до роботи:
 1. Транспортні мережі зв'язку;
 2. Засоби та методи розподілу трафіку;
 3. Шляхи оптимізації мережі IP/MPLS;
 4. Науково-технічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):
 1. Аналіз особливостей використання та реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS
 2. Дослідження методів розподілу трафіку та вибір оптимальних шляхів оптимізації мережі IP/MPLS
 3. Оцінки ефективності використання дослідженого методу розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS
5. Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):
 1. Актуальність магістерської роботи;
 2. Мета і завдання магістерської роботи;

3. Основи технології IP/MPLS;
4. Принцип комутації в мережі IP/MPLS;
5. Апаратна частина мережі IP/MPLS;
6. Аналіз методів реалізації IP-мережі поверх транспортної SDH і DWDM магістральної мережі зв'язку;
7. Переваг мережі IP/MPLS;
8. Аналіз методів розподілу навантаження мережі IP/MPLS;
9. Порівняння алгоритмів оптимізації мережі IP/MPLS;
10. Алгоритми оптимізації маршрутів;
11. Приклад оптимізації мережі IP/MPLS;
12. програмна реалізація оптимізації перерозподілу потоків трафіку;
13. Моделювання оцінки параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS;
14. Висновки та апробація.

6. Дата видачі завдання 11.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	12.09.19р.- 16.09.19р.	<i>Викон.</i>
2	Аналіз технічних засобів реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS	17.09.19р.- 24.09.19.	<i>Викон.</i>
3	Методи розподілу трафіку та вибір оптимальних шляхів оптимізації мережі	25.09.19р.- 09.10.19.	<i>Викон.</i>
4	Аналіз програмних засобів, що дозволяють оптимізувати перерозподіл потоків трафіку в умовах його зміни	10.10.19р.- 15.10.19р.	<i>Викон.</i>
5	Оцінки ефективності використання запропонованих методів для розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі MPLS	16.10.19р.- 11.11.19р.	<i>Викон.</i>
6	Висновки, вступ, реферат	12.11.19р.- 14.12.19р.	<i>Викон.</i>
7	Розробка презентації	18.12.2019	<i>Викон.</i>

Студент _____
(підпис)

Александров М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Заїка В.Ф.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 84 сторінки, 41 рисунок, 14 таблиць, 20 джерел.

Об`єкт дослідження – мережі з багатопроTOCOLьною комутацією по мітках

Предмет дослідження – процес забезпечення підвищення ефективності працездатності мережі.

Мета роботи – дослідження шляхів оптимізація мережі з багатоканальною комутацією по мітках, що забезпечують підвищення продуктивності магістральних каналів зв`язку.

Методи дослідження – використовуються методи математичного програмування, теорія управління трафіком, методи пошуку умовного екстремуму.

При проектуванні мережі передачі даних важливою є задача оптимізації вибору алгоритму маршрутизації, що забезпечує необхідну продуктивність мережі і її адаптацію до змін трафіку. Для виконання поставленої мети у магістерській роботі виконано аналіз особливостей використання та реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS. Досліджено методи розподілу трафіку та виконано вибір оптимальних шляхів оптимізації мережі IP/MPLS, розглянуті існуючі підходи до вирішення завдання визначення оптимального дизайну LSP. У практичній частині, представлена програма, що дозволяє оптимізувати перерозподіл потоків трафіку в умовах його зміни та виконана оцінки ефективності використання запропонованих методів для розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі MPLS.

LSP, IP/MPLS, ЯДРО МЕРЕЖІ, SDH, DWDM, РЕСУРС, АРХІТЕКТУРА, ТЕХНОЛОГІЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ, ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА МЕРЕЖА, SDSL, LP-ТРАФІК, QOS, COS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ IP/MPLS.....	12
1.1 Основи технології IP/MPLS.....	12
1.2 Принцип комутації мережі IP/MPLS.....	21
1.3 Аналіз обладнання мережі IP/MPLS.....	26
1.4 Аналіз методів реалізації IP-мережі поверх транспортної SDH і DWDM магістральної мережі зв'язку.....	31
1.5 Аналіз переваг мережі IP/MPLS.....	36
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛУ ТРАФІКУ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ШЛЯХІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ IP/MPLS.....	40
2.1 Аналіз методів розподілу навантаження мережі IP/MPLS.....	40
2.2 Дослідження особливостей процесу оптимізації мереж IP/MPLS.....	47
2.3 Формулювання задачі оптимізації.....	49
2.4 Аналіз евристичного алгоритму оптимізації.....	57
2.5 Дослідження методу повторної оптимізації.....	61
3 ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОСЛІДЖЕНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖІ MPLS.....	70
3.1 Аналіз особливостей розробки і реалізації програмного середовища.....	70
3.2 Призначення програми для визначення оптимального дизайну LSP та опис її модуля для визначення оптимального дизайну.....	73

3.3 Результати моделювання оцінки параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS.....	78
ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	94
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БД	база даних;
БС	базова станція;
ДГЗ	диференціальна групова затримка;
ОКС	загальний канал сигналізації;
ОЦК	основний цифровий канал;
ПД	передача даних;
РРЛ	радіорелейна лінія;
ТК	транзитний комутатор;
ТСГ	транспортна мережа міська;
ТСД	транспортна мережа доступу;
DWDM	компактне спектральний ущільнення;
E1	стандартний тракт первинної ЦСП з пропускною спроможністю 2048 кбіт/с;
OSI	модель взаємодії відкритих систем;
PDH	плезиохронна цифрова ієрархія ЦСП;
QoS	якість обслуговування;
LSP	виртуальний канал;
MPLS	багатопротокольна комутація по мітках;
SDH	синхронна цифрова ієрархія ЦСП;
SIP	протокол ініціювання сеансів зв'язку;
TCP	протокол управління передачею;
TDM	тимчасовий поділ каналів;
VPN	віртуальна приватна мережа
WAP	протокол бездротових додатків;
WDM	спектральне ущільнення.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Швидке зростання трафіку і впровадження нових сервісних послуг ставить перед провайдерами завдання, швидко реагувати на ці зміни і адаптуватися до ситуації, що змінюється. І хоча, на перший погляд, IP-мережі мають у своєму розпорядженні необхідними механізмами для підтримки мережі в робочому стані, такими як підстроювання швидкості передачі даних до доступної смуги пропускання, реагування маршрутизаторів на зміни мережевих топологій з подальшим оновленням маршрутів, вибір найкоротших маршрутів і т.д. всі вони не гарантують раціонального використання мережевих ресурсів.

Тому при проектуванні мережі передачі даних важливою є задача оптимізації вибору алгоритму маршрутизації, що забезпечує необхідну продуктивність мережі і її адаптацію до змін трафіку.

Завдання маршрутної оптимізації за умови, що береться більш менш реальна мережа і оптимізація здійснюється з урахуванням кількох обмежень, відносяться до класу складних завдань. Їх вирішення вимагає великого обсягу обчислювальних ресурсів і часу на реалізацію.

Зауважимо, що оскільки вибір шляхів повинен здійснюватися в процесі роботи мережі, час обчислення оптимальних шляхів є основоположним фактором.

Таким чином, тема магістерської роботи, яка присвячена дослідження шляхів оптимізація мережі з багатоканальною комутацією по мітках, що забезпечують підвищення продуктивності магістральних каналів зв'язку є актуальною і своєчасною.

Для виконання поставленої мети у роботі досліджено та вирішено наступні завдання:

1. Аналіз особливостей використання та реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS
2. Дослідження методів розподілу трафіку та вибір оптимальних шляхів оптимізації мережі IP/MPLS

3. Оцінки ефективності використання дослідженого методу розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS

Ступінь наукової розробки. Незважаючи на тривалий період вивчення питання шляхів оптимізації транспортної мережі, досі залишається ряд невирішених завдань. До їх числа відносяться завдання оптимального поділу трафіку в умовах його змін, вибору оптимальних шляхів в мережах з багатопротоковою комутацією по мітках і інші.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в реалізації алгоритмів оптимізації маршрутів, які забезпечують підвищення продуктивності мережі, без необхідності зміни структури мережі і підвищення пропускної здатності каналів.

Апробація результатів. Основні положення та результати магістерської роботи доповідались і обговорювались на 2-х науково-практичних конференціях, по тематиці дипломної роботи опубліковано 1 наукову працю.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ IP/MPLS

1.1 Основи технології IP/MPLS

Технологія MPLS - це механізм передачі даних, який емулює різні властивості мереж з комутацією каналів поверх мереж з комутацією пакетів [3]. Дана технологія являє собою спробу прискорити просування IP пакетів і зберегти пристосованість, характерну для IP мереж.

Технологія об'єднує в собі можливість управління трафіком, яке характерне для мереж канального рівня, масштабованість і пристосованість протоколів мережевого рівня.

Мережі які відносяться до Інтернет-провайдерів розгортаються сьогодні на основі багаторівневої моделі, що припускає, що логічна маршрутизації IP мережу яка функціонує поверх комутуваної топології другого рівня і незалежить від неї.

За допомогою MPLS можна вирішувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів всередині мережі оператора уздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів з урахуванням завантаження ресурсів (Traffic Engineering, TE).

Мета використання багатоканальної комутації по мітках (Multiprotocol Label Switching, MPLS) складається, перш за все, в більш ефективне використання пропускної здатності магістральних каналів зв'язку, а також в побудові сучасної мережевої інфраструктури на основі використання оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дозволяє об'єднувати різні типи середовищ і систем передачі інформації [1]. Дана технологія дозволяє прискорити просування IP - пакетів і зберегти гнучкість, характерну для IP-мереж, за допомогою механізмів управління трафіком і підтримки якості обслуговування, що застосовуються в транспортних мережах

[1]. Важливо і те, що MPLS може використовуватися не тільки з ATM, а й з будь-якої іншої технологією канального рівня. MPLS використовує і розвиває концепцію віртуальних каналів об'єднуючи її з технікою вибору шляхів на основі інформації про топології і поточне завантаження мережі, одержуваної з допомогою протоколів маршрутизації мереж IP [1]. MPLS - це технологія швидкої комутації пакетів в багато протокольних мережах, заснована на використанні міток. MPLS поєднує в собі управління трафіком, характерне для технологій канального рівня, масштабованість і гнучкість протоколів мережевого рівня. «Багатопротокольних» в назві технології означає, що MPLS - інкапсулює протокол і може транспортувати безліч інших протоколів, як показано на рис.1.1 [1].

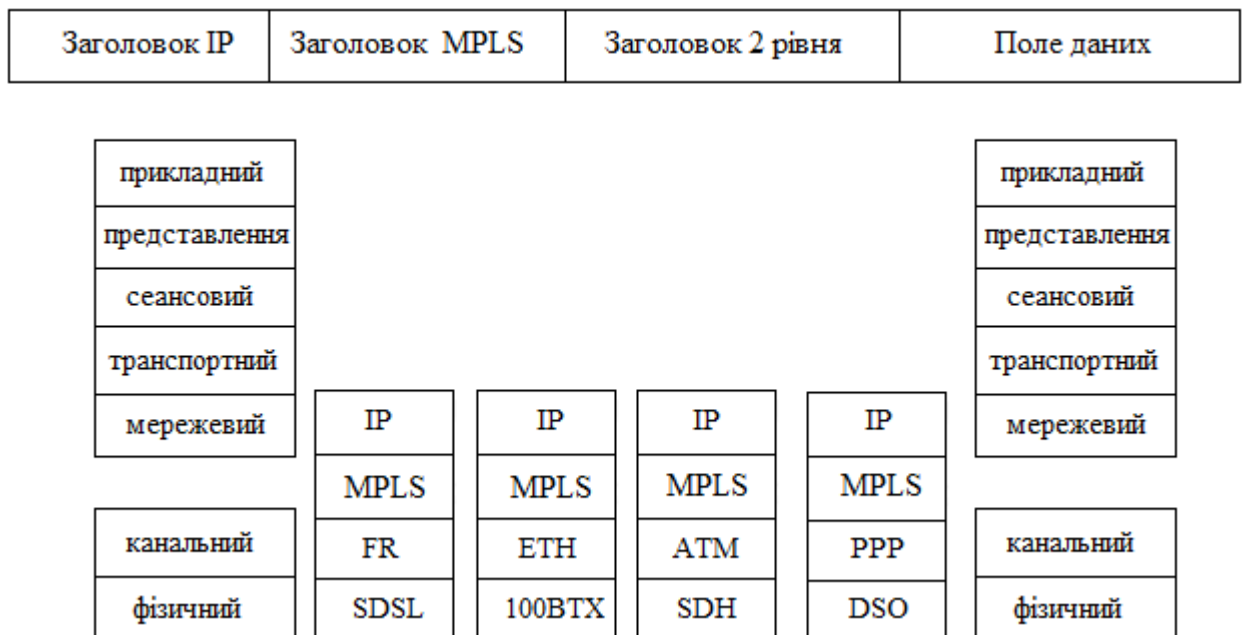


Рисунок 1.1. Технологія MPLS в IP мережах і модель OSI\ISO

Фізичний рівень містить функції, що забезпечують використання фізичне середовище для двосторонньої передачі бітів (з такою достовірністю, яку забезпечує це середовище) по прямому тракту, що зв'язує два вузла мережі.

Другий рівень - рівень ланки даних - містить функції, що забезпечують формування в цьому тракту надійного логічного ланки зв'язку, за яким відбувається двосторонній обмін інформаційними блоками між вузлами. На

даному рівні виявляються, і виправляються помилки, і гарантується достовірність передачі.

Третій (мережевий) рівень містить функції, забезпечують транспортування інформаційних блоків від відправника до одержувачу через кілька вузлів мережі по невласивому маршруту транспортування, який складається з ланок другого рівня.

Представлена модель на рис. 1.1. показує, що протокол MPLS не утворює повноцінного рівня, а «вклинюється» в мережах між 2-м і 3-м рівнями моделі OSI, залишаючись незалежним від цих рівнів. Можна сказати, що одночасне функціонування MPLS на мережевому рівні і на рівні ланки даних призводить до утворення так званого рівня 2.5, де і виконується комутація по мітках [2].

Мережі ряду Інтернет - провайдерів побудовані сьогодні на основі багаторівневої моделі, що припускає, що логічна маршрутизації IP-мережа функціонує поверх комутованої топології другого рівня і незалежно від неї. Комутатори другого рівня забезпечують високошвидкісні з'єднання, в той час як IP-маршрутизатори на периферії мережі, пов'язані один з одним мережею віртуальних каналів другого рівня, здійснюють інтелектуальну пересилання IP-пакетів [1].

Таким чином, MPLS - це один з кроків на шляху еволюційного розвитку мережі Інтернет в бік спрощення її інфраструктури, шляхом інтеграції функцій другого (комутація) та третього (маршрутизація) рівнів.

Як видно з рис. 1.1. MPLS - універсальна технологія. З її допомогою можна вирішувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів всередині мережі оператора уздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів зі збалансованим розподілом завантаження ресурсів (Traffic Engineering, TI) [1].

Таким чином, виходячи з перерахованих вище завдань, можна зробити висновок, що в сфері майбутніх телекомунікацій MPLS уготована роль ведучої

технології. Вона розглядається в якості фундаменту для інфраструктури мереж наступного покоління і надання нових послуг, яка дозволить ефективніше передавати великі об'єми трафіку в магістральних мережах.

Володіючи цілим рядом переваг, вона доповнює IP-мережі перевагами успадкованих інфраструктур frame relay, ATM і TDM, а також сприяє впровадженню протоколу IP як універсального транспорту для всіх видів додатків [3]. У разі застосування MPLS в якості базового механізму комутації можна спростити розвиток операторських мереж IP, об'єднати різні технології доступу, підвищити масштабованість маршрутизації IP і зробити мережі IP настільки ж придатними для передачі голосу і відео, як мережі ATM, де забезпечення якості та резервування ресурсів для передачі різнорідного трафіку закладені на протокольному рівні [3]. У порівнянні з IP основним перевагою MPLS є комутація по мітках і поділ керуючої складової трафіку з транспортної. Комутація по мітках дозволяє створювати сервіси, які важко або неможливо реалізувати на базі IP, і в загальному випадку вона має більш низьку вартість на одиницю об'єму трафіку в порівнянні з ATM. Крім того, ATM має високу надмірність (співвідношення корисної і службової інформації).

Тому, MPLS розглядається як ефективна і економічна основа для мультисервісного транспорту, а сучасні комутуючі маршрутизатори LSR (застосовувані в MPLS-домени) здатні одночасно (і з однаковою продуктивністю) обробляти трафік ATM, IP і MPLS.

Таким чином, впровадження MPLS дозволяє підвищити рівень сервісу, надавати затребувані послуги на базі IP (з гарантованим рівнем якості) і послуги конвергентних мереж для корпоративних клієнтів, включаючи створення віртуальних приватних мереж (VPN) і передачу голосу поверх IP (VoIP).

Інфраструктура MPLS VPN дає можливість з'єднувати вузли за схемою «будь-який з будь-яким» незалежно від технології доступу (frame relay, виділена лінія, DSL або Ethernet), підвищує продуктивність, масштабованість IP і надійність маршрутизації в додатках Triple Play (голос, дані, відео). З MPLS добре поєднується Ethernet - завдяки такій комбінації відкривається можливість

економічного надання цілого комплексу послуг і впровадження широкосмтових додатків в міських мережах і мережах доступу [4].

Для створення VPN застосовувалися різні технології, включаючи виділені канали, frame relay, ATM, L2TP, IPSec. В мережі MPLS для цього створюються оптимізуються в режимі реального часу захищені логічні маршрути. Оскільки прив'язка до виділених маршрутах відсутня, число вузлів в IP VPN може легко нарощуватися. Управління трафіком засобами ТІ дозволяє знизити витрати по обслуговуванню мережі і запропонувати оптимальний рівень послуг з точки зору пропускної здатності та затримки, а механізми динамічної адаптації підвищують відмовостійкість опорної мережі [3].

Таким чином, MPLS, орієнтована на встановлення з'єднання, забезпечує структуру, необхідну для гарантування якості LP-трафіку.

Хоча QoS і клас обслуговування (CoS) не є фундаментальними властивостями MPLS, їх можна застосувати до мереж MPLS, де використовується процес формування трафіку. Це дозволить провайдерам реалізувати Угоди про Рівні Обслуговування (Service Level Agreement, SLA) із споживачами, щоб гарантувати аспекти якості, такі як пропускна здатність, затримка і джиттер. Крім передачі основних даних можуть надаватися додаткові послуги, збільшуючи передбачувані доходи і, в кінцевому рахунку, дозволяючи перейти до конвергентних мереж.

Для більш ефективного використання мереж IP\MPLS з урахуванням зростання мультисервісних послуг, які вимагають великої пропускної здатності, а також забезпечення якості обслуговування трафіку виникає, необхідність в оптимізації управління потоків переданих даних. З цією метою необхідне створення моделей і алгоритмів оптимізації, що забезпечують розподіл трафіку з використанням евристики, які дозволяє швидко перенаправити трафік в разі несправності каналу або його перевантаження, з урахуванням диференціального обслуговування, що є, важливо з огляду на мінливий характер трафіку мережі.

Комутація MPLS є вдосконаленим метод передачі трафіку по мережі з використанням інформації, що міститься в мітках, які приєднуються до IP пакетів

[5]. У разі використання технологій другого рівня, заснованих на передачі фреймів, мітки впроваджуються між заголовками другого і третього рівня, а в разі застосування таких технологій, як АТМ, заснованих на передачі осередків, мітки містяться в полях ідентифікатора віртуального маршруту VPI і ідентифікатора віртуального каналу VCI.

Структура MPLS вузла

Вузли MPLS мережі мають два структурних рівня: рівень пересилання і керуючий рівень [6]. Крім комутації пакетів, забезпечених мітками, вузли MPLS можуть здійснювати маршрутизацію третього рівня або комутацію другого рівня. На рис.1.2. показана структура вузла MPLS.

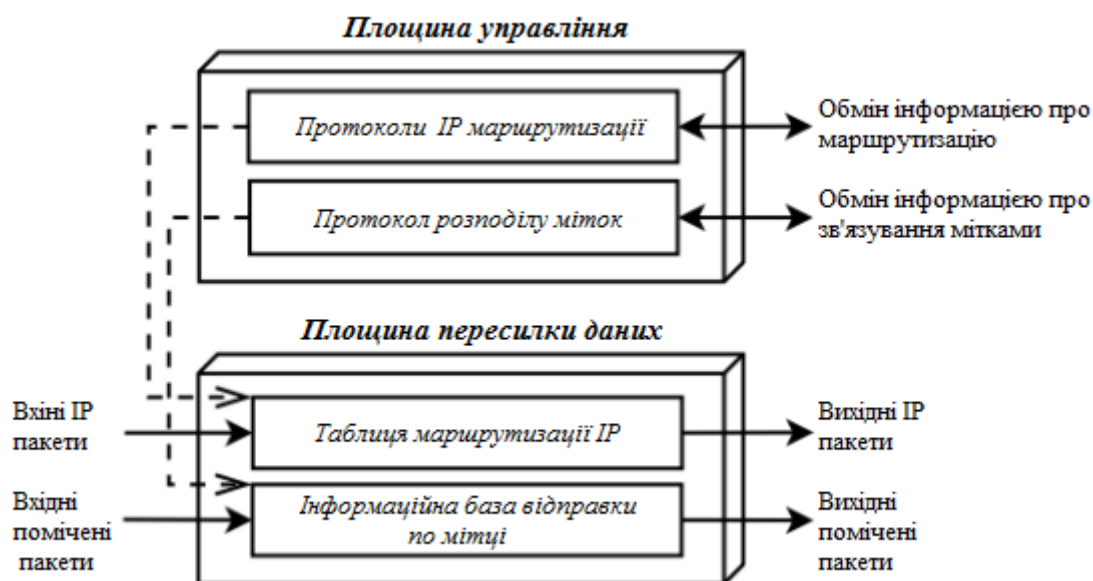


Рисунок 1.2. Структура вузла MPLS

Площина пересилання пакетів відповідає за перенаправлення пакетів в відповідно до значень, що містяться в приєднаних мітках. Ця площина використовує інформаційну базу пересилання по мітках (Label Forwarding Information Base - LFIB), підтримувану вузлом MPLS, для подальшої передачі помічених пакетів. Алгоритм з комутацією по мітці, реалізований цією

площиною, використовує інформацію, що міститься в базі LFIB, а також інформацію, яка міститься в значенні мітки. кожен вузол MPLS підтримує дві таблиці, що відносяться до пересилання інформації MPLS: інформаційну базу міток (Label Information Base - LIB) і базу LFIB. база LIB містить всі мітки, призначені локальним MPLS вузлом, і таблиці перетворень цих міток в мітки, отримані від сусідніх вузлів в мережі MPLS.

База LFIB використовує мітки, що містяться в базі LIB, для пересилки пакетів.

Площина управління відповідає за формування і підтримку бази LFIB.

Всі вузли середовища MPLS повинні використовувати протокол маршрутизації IP для обміну відповідною інформацією маршрутизації з іншими вузлами MPLS мережі.

При цьому можуть використовуватися протоколи маршрутизації станом каналів, такі як OSPF і IS-IS. Ці протоколи надають вузлу топологію всій мережі. У звичайних маршрутизаторах таблиця IP маршрутизації використовується для створення інформаційної бази пересилання (Forwarding Information Base -FIB). У разі використання технології MPLS таблиця маршрутизації протоколу IP надає інформацію про мережі одержувача і префікси підмереж, які використовуються для прив'язки міток.

Інформація про прив'язку команд можуть поширюватися за допомогою протоколу розповсюдження влучний (Label Distribution Protocol - LDP). Протоколи маршрутизації станом каналів, наприклад OSPF, поширюють лавинним чином про маршрутизації на маршрутизатори, що не обов'язково є суміжними, в той час як інформація про прив'язку міток поширюється тільки серед суміжних маршрутизаторів. цей механізм робить протоколи маршрутизації на основі даних стані каналів неприйнятними для поширення інформації про прив'язку міток.

Однак для досягнення мети можуть бути використані розширення протоколів маршрутизації, такі як PIM або BGP. вони дозволяють узгоджувати розповсюдження інформації про прив'язку міток з поширенням даних

маршрутизації і уникнути ситуації, коли вузол MPLS прийняв інформацію про мітку, не маючи відповідної маршрутної інформації.

Огляд елементів мережі MPLS

У MPLS мережах використовуються два види мережевих вузлів [7]. Маршрутизатор розташований на кордоні мережі MPLS називаються граничними маршрутизаторами з комутацією міток (Label Edge Router - LER).

Маршрутизатор розташований всередині MPLS домену називаються транзитними маршрутизаторами з комутацією міток (Label Switch Routers - LSR). Дані елементи мережі MPLS зображені на рис.1.3. MPLS-домен - це група з'єднаних пристроїв здійснюють комутацію по мітках, знаходяться під єдиним адміністративним підпорядкуванням і функціонуючих відповідно до єдиної політикою маршрутизації.

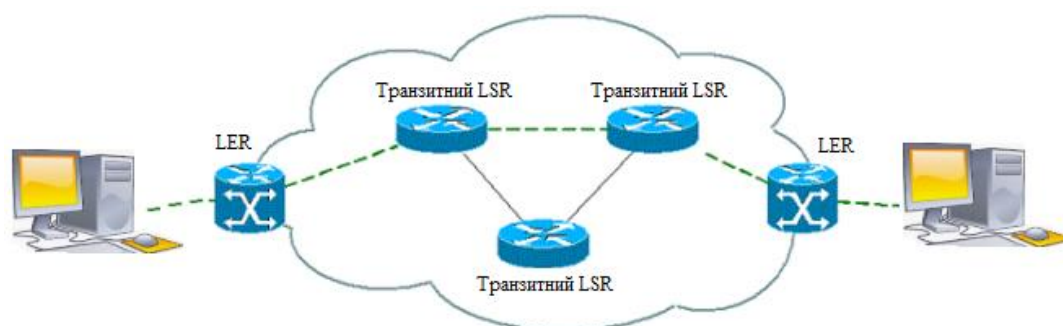


Рисунок 1.3. Елементи мережі MPLS

Маршрутизатор LER знаходяться на кордонах MPLS домену. LSR в домені MPLS повинні комутувати пакети по мітці MPLS, в той час як LER повинен також підтримувати не мають відношення до MPLS функції, такі як звичайна маршрутизація по IP-адресою, по крайній мере для одного порту. Одним з основних відмінностей MPLS від мереж зв'язку з віртуальними каналами (X.25, FR і ATM) є спосіб побудови таблиці маршрутизації.

Вхідні LER маршрутизатори повинні розпізнавати і аналізувати надходять IP-потоки і направляти їх за відповідними маршрутами. Вхідний LER аналізує, як і звичайний маршрутизатор, IP-заголовок і встановлює, до якого класу еквівалентного обслуговування FEC при виборі адреси наступної передачі пакета він належить.

Абстрагування окремих пакетів в клас еквівалентності FEC дозволяє об'єднувати велику кількість потоків трафіку, що вимагають однаковою обробки. Об'єднані в клас еквівалентності FEC потоки трафіку ідентифікуються однією і тією ж MPLS-міткою. Можливість об'єднання потоків трафіку незалежно від адреси мереж призначення значно збільшує можливість MPLS до масштабування за рахунок зменшення обсягу інформації про маршрути, зберігається та обробляється маршрутизаторами комутації міток (LSR-маршрутизаторами). LER приймає рішення про вибір шляху для даного пакета, посилаючи його до відповідному транзитному маршрутизатора з комутацією міток. LSR отримує пакет і використовує заголовок MPLS для прийняття рішень пересилання.

Він також робить заміну міток. LSR не займається обробкою заголовка третього рівня (IP-заголовка), а приймає рішення про пересилку на основі мітки пакета, а не на основі таблиці маршрутизації, і пересилає пакет далі.

Транзитний LSR повинен бути здатний приймати пакети без міток, з звичайними IP заголовками. Усередині MPLS домену пакети між транзитними LSR маршрутизується по мітках, але службові повідомлення передаються з використанням IP заголовків.

Далі, проходячи, в загальному випадку, через кілька LSR, пакет потрапляє до вихідного LER, який виробляє операцію розбирання пакета, видаляє з пакету мітку, аналізує IP-заголовок і направляє його до адресата, що знаходиться зовні MPLS-мережі.

1.2 Принцип комутації в мережі IP/MPLS

Маршрутизатор LSR отримує топологічну інформацію про мережі, беручи участь в 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 OSPF, BGP, IS-IS, протоколу резервування ресурсів RSVP і ін.)[7].

Розподіл міток між LSR призводить до встановлення всередині домену MPLS шляхів з комутацією по мітках (Label Switching Path, LSP). Кожен маршрутизатор LSR містить таблицю комутації міток, яка ставить у відповідність парі «вхідний інтерфейс, вхідна мітка» трійку - «клас еквівалентності пересилки (FEC), вихідний інтерфейс, вихідна мітка ». Отримуючи пакет, маршрутизатор LSR за номером інтерфейсу, на який прийшов пакет, і за значенням прив'язаної до пакету мітки, використовуючи таблицю комутації міток, визначає для нього вихідний інтерфейс. Значення FEC застосовується лише для побудови таблиці комутації міток і в самому процесі комутації не використовується. Старе значення мітки замінюється новим, що містяться 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, яке використовується при традиційній маршрутизації.

Мережа MPLS ділиться на дві функціонально різні області – ядро і граничну область. Ядро утворюють пристрої, мінімальним вимогою до яких є підтримка MPLS і участь в процесі маршрутизації трафіку для того протоколу, який комутується з допомогою MPLS [7]. Маршрутизатор ядра займаються тільки комутацією на основі міток. Всі функції класифікації пакетів за різними FEC, а

також реалізацію таких додаткових сервісів, як фільтрація, явна маршрутизація, вирівнювання навантаження і управління трафіком, беруть на себе граничні LSR (EDGE-LSR, E-LSR). В результаті інтенсивні обчислення припадають на граничну область, а високопродуктивна комутація виконується в ядрі, що дозволяє оптимізувати конфігурацію пристроїв MPLS в залежності від їх місця розташування в мережі.

Ключова особливість MPLS - відокремлення процесу комутації пакету від аналізу IP-адрес в його заголовку. Це відкриває ряд привабливих можливостей. Очевидним наслідком описаного підходу є той факт, що черговий сегмент LSP може не збігатися з черговим сегментом маршруту, який був би обраний при традиційної маршрутизації від джерела [7].

Щоб зрозуміти, як функціонує мережа MPLS, простежимо за просуванням пакету по MPLS-домену рис.1.4. До домену підключені маршрутизатори R1 і R2, що використовують традиційну IP-маршрутизацію.

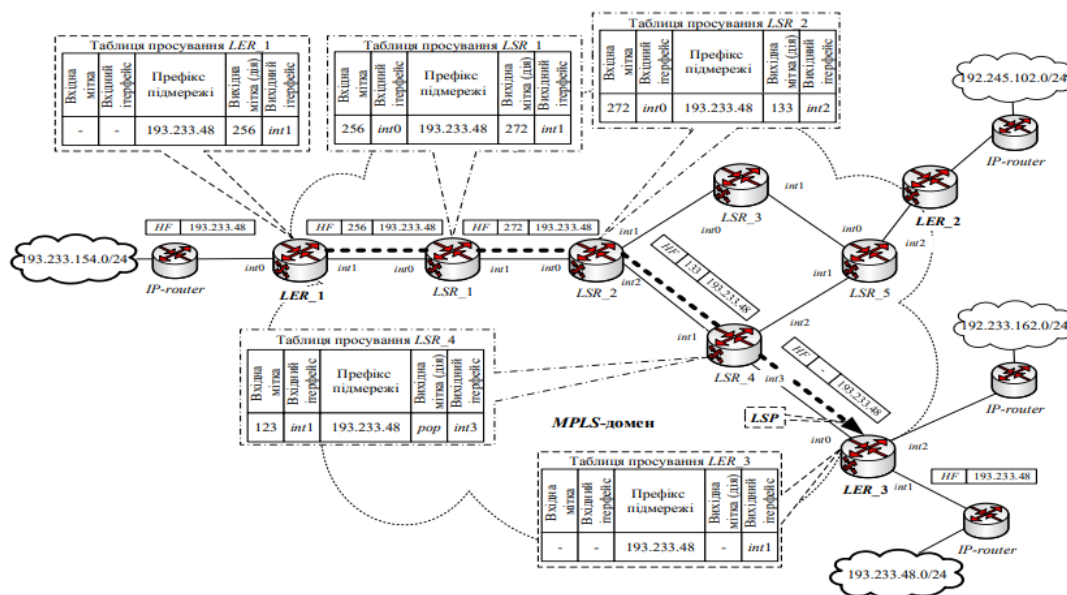


Рисунок 1.4. Просування пакету по MPLS-домену

Розглянемо шлях прямування IP-пакету від маршрутизатора R1 до маршрутизатора R2 через MPLS-домен. Адресою призначення IP-пакета є 128.87.21.4.

Етап 1. Маршрутизатор R1 пересилає звичайний IP-пакет в сторону прикордонного маршрутизатора E-LSR1. мережа автоматично формує таблиці маршрутизації за допомогою внутрішнього протоколу маршрутизації (Interior Gateway Protocol, IGP). При цьому можуть використовуватися такі протоколи як RIP, OSPF, IS-IS.

Етап 2. Протокол розподілу міток (Label Distribution Protocol, LDP) за допомогою таблиць маршрутизації визначає значення міток, вказують на сусідні пристрої. В результаті цієї операції формуються маршрути з комутацією по мітках - LSP. Ознакою створення LSP-тракту є те, що в кожному маршрутизаторі LSR на обраному маршруті сформовані таблиці комутації по мітках.

Примітно, що LSP створюється до того, як з'являється трафік.

Автоматичне привласнення міток MPLS вигідно відрізняє цю технологію від технології приватних віртуальних каналів ATM PVC, вимагають ручного присвоєння VCI / VPI.

Етап 3. IP-пакет надходить на прикордонний маршрутизатор E-LSR1.

Він класифікує цей пакет (відносить до класу FEC 128.87), на основі таблиці маршрутизації визначає мітку, яку необхідно призначити пакету, і пересилає пакет в напрямку вузла LSR1 на маркірованому маршруті LSP.

Етап 4. У кожній точці просування пакета в ядрі мережі (Маршрутизатора LSR, що належить тракту LSP) здійснюється операція зчитування мітки у вхідних пакетах, заміна старої мітки нової та просування пакета далі по ядру.

Етап 5. Прикордонний маршрутизатор E-LSR2 видаляє мітку, зчитує IP-заголовок пакета і передає його маршрутизатора R2.

Для присвоєння міток технологія MPLS використовує різні набори правил (policy mechanisms). При наданні корпоративних IP-послуг одним з головних переваг MPLS є здатність привласнювати мітки, що мають спеціальне значення. Набори міток визначають не тільки місце призначення, але і тип програми та клас обслуговування. Мітки мають тільки локальне значення і багаторазово переіспользуються в великих мережах, тому вичерпати запас міток практично неможливо. така схема не тільки дозволяє розділити різні типи трафіку

(наприклад, відокремити неперіоритетний трафік від критично важливого), але і робить рішення MPLS добре масштабованими.

Для більш детального розгляду принципу передачі пакета по MPLS-мережі, звернемося до рис.1.5., де показаний приклад таблиць комутації по мітках (MPLS forwarding tables).

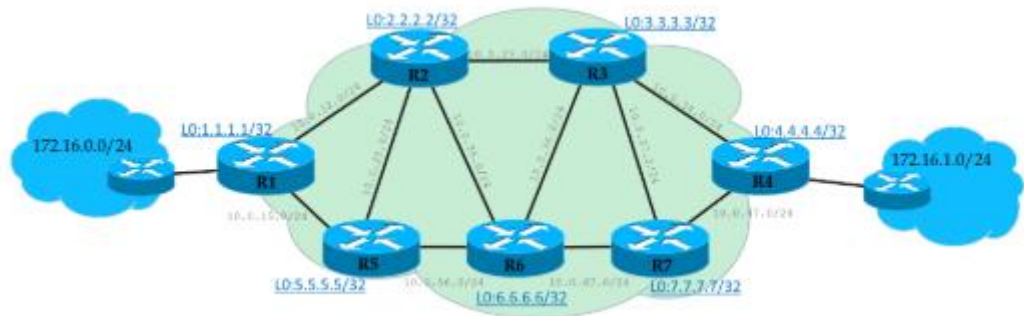


Рисунок 1.5. Принцип передачі пакета MPLS

Етап 1. Прикордонний маршрутизатор E-LSR1, куди надходить входить пакет, зчитує FEC (префікс призначення 128.87) і звертається до таблиці комутації міток табл.1.1. Після цього E-LSR1 вставляє необхідну мітку 8 і передає пакет на інтерфейс 1.

Таблиця 1.1.

Таблиці комутації міток

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
-	0	128.87	8	1
		...		
-	0	128.87	9	2
			
		...		

Етап 2. Маршрутизатор LSR1 ядра мережі зчитує мітку, в

Відповідно до таблиці комутації міток табл. 1.2, замінює мітку 8 на мітку 3 і передає пакет на інтерфейс 0.

Таблиця 1.2.

Таблиці комутації міток

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
8	2	128.87	3	0
		...		
10	2	128.88	10	1
		...		

Етап 3. Маршрутизатор LSR2 ядра мережі зчитує мітку, відповідно до таблиці комутації міток табл. 3.1., здійснює заміну мітки 3 на мітку 11 і передає пакет на інтерфейс 0.

Таблиця 1.3.

Таблиці комутації міток

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
3	1	128.87	11	0
		...		
10	1	128.88	25	2
		...		
		...		

Таблиця 1.4.

Таблиці комутації міток

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
11	3	128.87	-	2
		...		
30	1	128.87	-	2
		...		
		...		

Етап 4. Прикордонний маршрутизатор E-LSR2 в точці виходу відповідно до таблиці комутації міток табл. 1.4., де зазначено, що цю мітку необхідно видалити, направляє пакет без мітки на інтерфейс 2.

У будь-якому сегменті LSP можна виділити «верхній» і «нижній» маршрутизатор LSR по відношенню до трафіку. Наприклад, для сегмента «LSR1 - LSR2» перший маршрутизатор буде верхнім, а другий - нижнім.

Використання явно задається маршруту в мережі MPLS вільно від недоліків стандартної 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.

1.3 Аналіз обладнання мережі IP/MPLS

З огляду на існуючу і майбутні потреби населення у високошвидкісному доступі передачі інформації: мова, відео, дані, розрахунок, вироблений вище, а також враховуючи побажання замовника для проекту будівництва пакетної мережі зв'язку було проведено аналіз обладнання компанії Huawei Technologies Co. Ltd. на платформі Optix PTN.

Для організації вузлів доступу виберемо Optix PTN 1900. Вузли агрегації раціональніше будувати на Optix PTN 3900.

Huawei Optix PTN 1900

Пакетні транспортні платформи OptiX PTN 1900 орієнтовані на еволюційний перехід до стратегії all-IP і надають рішення для транспорту трафіку оператора мобільного зв'язку з майбутнім переходом до конвергентної мережі, яка обслуговує як абонентів мобільного, так і фіксованого зв'язку (fixed mobile convergence, FMC):

- Повністю пакетна архітектура, розроблена з урахуванням вимог майбутнього переходу до all-IP, що відповідає вимогам нових IP сервісів;
- Підтримка універсальної технології PWE3, орієнтованої на доступ з використанням широкого спектру протоколів і інтерфейсів і забезпечує якість транспорту, порівнянне з традиційними сервісами TDM / ATM / Ethernet;

- Функції обладнання операторського класу: механізми частотної та фазової пакетної синхронізації; повне end-to-end планування послуг як в мережах SDH, OAM, механізми забезпечення захисту і відмовостійкої роботи, ієрархічна система забезпечення якості обслуговування (Hierarchical QoS, H-QoS).

Особливості PTN 1900:

- Архітектура all-IP, розрахована на подальшу еволюцію транспортних мереж забезпечує захист інвестицій

Пристрій OptiX PTN 1900 має повністю пакетну архітектуру для передачі і мультиплексування різних сервісів (в першу чергу пакетних сервісів). Ця платформа збільшує гнучкість мережі, сервісної моделі, підвищує ефективність транспортного ресурсу і структурно знижує загальну вартість володіння (ТСО). Пакетна технологія, орієнтована на з'єднання крім іншого вирішує проблеми забезпечення якості обслуговування при розширенні сервісів, дозволяючи, таким чином, побудувати надійну опорну мережу для оператора мобільного зв'язку.

- Кращі рішення в індустрії по забезпеченню синхронізації

Пристрій OptiX PTN 1900 підтримує традиційний механізм передачі синхронізації через TDM, а так само інші численні сучасні технології передачі синхронізації, такі як синхронний Ethernet (synchronous Ethernet, Sync-E), передачу синхронізації через пакети (timing over packet, TOP) і IEEE 1588v2. Ці технології дозволяють вирішити задачу передачі синхронізації в будь-який топології при використанні будь-якого типу інтерфейсів.

- Підтримка широкого спектру інтерфейсів, потужний універсальний функціонал PWE3 (Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge- наскрізна емуляції псевдо-проводу), що забезпечує гнучке планування сервісів

Пристрій OptiX PTN 1900 підтримує традиційні інтерфейси для надання послуг, такі як E1 (ML-PPP / TDM), IP поверх E1, TDM STM-1, ATM STM-1, POS STM-1 / STM-4, і Ethernet інтерфейси, такі як FastEthernet (FE) і GigabitEthernet (GE). Устаткування OptiX PTN 1900 ідеально забезпечує підтримку традиційних сервісів, використовуючи технологію PWE3 для емуляції класичного транспорту TDM / ATM / Ethernet.

- Повний набір функцій забезпечення якості обслуговування (QoS) для забезпечення транспорту сервісів високої якості

Пристрій OptiX PTN 1900 підтримує функції QoS-TE з боку мережевих інтерфейсів і ієрархічне якість обслуговування (H-QoS) з боку клієнтського інтерфейсу, що дозволяє гарантувати певний рівень якості обслуговування для кожного сервісу, користувача, групи користувачів і фізичного інтерфейсу. Таким чином, OptiX PTN 1900 дозволяє універсально розподіляти і контролювати ресурси мережі і збільшувати ефективність використання доступної пропускної здатності.

- Механізми захисту та швидкого перемикання

Завдяки апаратної реалізації функцій OAM, OptiX PTN 1 900 підтримує велику кількість OAM сесій, груп захисту сервісів та забезпечує час end-to-end відновлення в межах 50 мс. Таким чином, OptiX PTN 1900 є платформою операторського класу.

- Універсальна повнофункціональну систему управління (NMS), що забезпечує повноцінне керування сервісами, розширюючи традиційні можливості по управлінню пакетними мережами

Таблица 1.5.

Параметри обладнання

Параметр обладнання	Значення
Розміри шасі (мм)	436 (Ш) x 295 (Г) x 220 (В)
Робоча напруга (В)	-38.4 В DC до -57.6 В DC (с блоком живлення-48 В DC) -48.0 В DC до -72.0 В DC (с блоком живлення-60 В DC)
Енергоспоживання	190 Вт
Максимальний струм	20 А
Продуктивність комутації	10 Гбит/сек
Підтримка інтерфейсів Ethernet	FE, GE

Універсальна і повнофункціональну систему управління T2000 включає в себе потужні функції з управління всім спектром обладнання транспортної

мережі. Використання платформи NMS T2000 значно знижує витрати на обслуговування мережі.



Рисунок 1.6. Optix Huawei PTN 1900

Huawei Optix PTN 3900

Особливості пакетної транспортної платформи Optix PTN 3900 аналогічні Optix PTN 1900. PTN 3900 встановлюються в вузлах агрегації для мультиплексування трафіку, що надходить з вузлів доступу.

Завдяки вбудованим інтерфейсів CWDM, PTN 3900 дозволяє масштабувати ємність інтерфейсів від однієї лямбда до восьми лямбда. Таким чином, мережа отримує велику і більш гнучку масштабованість.



Рисунок 1.7. Optix Huawei PTN 3900

Обране обладнання однієї з найбільших компаній на ринку телекомунікаційних продуктів і рішень повністю задовольняє всіх даних і

необхідним параметрам будівництва транспортної мережі компаній зв'язку. Будучи в своєму роді еталоном якості і надійності зв'язку, лінійка обладнання Optix Huawei PTN повністю відповідає покладеним на неї завданням.

Таблиця 1.6.

Характеристика обладнання PTN 3900.

Параметр обладнання	Значення
Розміри шасі (мм)	436 (Ш) x 295 (Г) x 800 (В)
Робоча напруга (В)	-38.4 В DC до -57.6 В DC (с блоком ;bdktyyz-48 В DC) -48.0 В DC до -72.0 В DC (с блоком ;bdkyuz -60 В DC)
Енергоспоживання типової конфігурації	900 Вт
Максимальний струм	90 А
Продуктивність комутації	320 Гбіт/сек
Максимальна кількість підтримуваних портів	504 E1 (IMA/TDM/ML-PPP) 144 ATM STM-1 32 POS STM-1/STM-4 188 FE 160 GE 16 10GE
Підтримка інтерфейсів Ethernet	FE GE 10GE

1.4 Аналіз методів реалізації IP-мережі поверх транспортної SDH і DWDM магістральної мережі зв'язку

Розглянемо можливі на сьогодні базові методи надання послуги магістрального Ethernet з точки зору побудови ядра операторської IP-мережі телекомунікації рис.1.8.

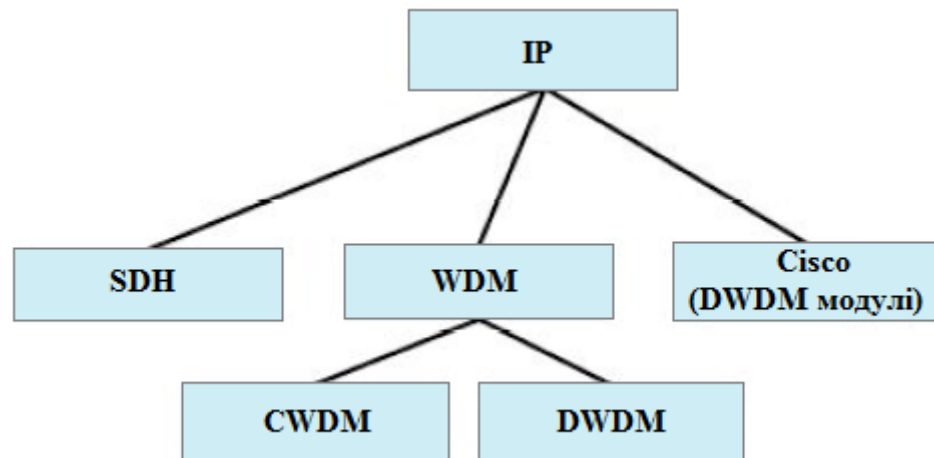


Рисунок 1.8. Стандартні методи побудови магістральних IP мереж

SDH. Технологія Ethernet over SONET/SDH дозволяє передавати Ethernet пакети через SONET/SDH інфраструктуру. В даний час доступні і багатоточкові рішення.

Наступне покоління SONET/SDH (Next Gen SONET/SDH), використовуючи Generic Framing Procedure (GFP) і ряд інших методів, дозволяє будувати VPN другого рівня на основі SONET/SDH (Забезпечуючи передачу не тільки Ethernet фреймів).

Ринок передачі даних по SONET/SDH в міських мережах зростає тим більше, чим частіше у клієнтів виникає потреба в послугі пересилання інформації на великі відстані. Загальна процедура формування кадрів (Generic Framing Procedure, GFP) являє собою транспортний протокол, за допомогою якого пакетні дані доставляються по мережі мультиплексною передачі з поділом каналів за часом (Time Division Multiplex, TDM), як SONET/SDH. GFP пропонує кілька переваг:

- високу експлуатаційну надійність, оскільки всі вміст, включаючи службову інформацію, може бути захищене за допомогою коду CRC;
- невеликий час затримки при використанні прозорого режиму GFP (GFP-T);
- прозоре з'єднання на другому рівні за допомогою GFP-T;
- детерміновану пропускну здатність;
- підтримку безлічі протоколів;

- помірні накладні витрати.

Існує два різновиди протоколу GFP:

1) Framed GFP (GFP-F) або фреймований GFP оптимізований для максимальної пропускної здатності на шкоду затримок. В ньому весь Ethernet фрейм (або фрейм іншого канального протоколу) інкапсулюється у фрейм GFP з заголовком.

2) Transparent GFP (GFP-T) або прозорий GFP використовується для транспортування трафіку з мінімальними затримками (Наприклад, для потокових відеотрансляцій). У ньому малі групи байт передаються відразу, не чекаючи отримання повного фрейма в буфер.

WDM. На ринку пропонуються WDM-рішення (спектрального ущільнення) двох типів:

1) CWDM. Coarse WDM, недорога технологія з пасивними оптичними мультиплексорами і ADM. CWDM забезпечує 8 довжин хвиль в одному фізичному волокні (1470, 1490, 1510, 1530, 1550 1570, 1590 і 1610); несумісний зі стандартними оптичними підсилювачами, забезпечує максимальну дальність до 100 км без регенерації сигналу.

2) DWDM. Добре зарекомендувала себе технологія з активною інфраструктурою. DWDM забезпечує від 32 довжин хвиль в одному фізичному волокні. Частотна решітка стандартизована ITU (grid 100 GHz, 50 GHz). Залежно від застосовуваної інфраструктури максимальна дальність без регенерації сигналу може досягати від 200 до 600 км.

Можливо було б реалізувати проект модернізації транспортної мережі з використання систем CWDM, наприклад, на магістралі Москва - Санкт-Петербург. Формування "кольорових" CWDM-потоків здійснюється GBIC-модулями, що встановлюються в комутатори Gigabit Ethernet, а їх об'єднання - CWDM- мультиплексорами. Оскільки лінія зв'язку виявляється досить протяжною, потрібно регенерувати сигнал. З цією метою знову ж використовуються комутатори Gigabit Ethernet. І таке "Короткодючі" CWDM-рішення з

регенераторами виявиться економічно не вигідним порівняно з "далекобійними" системами DWDM.

Крім збільшення ємності мережі ключовими перевагами DWDM слід вважати його високу сумісність з новими протоколами передачі даних і можливість ефективного усунення перевантажень завдяки відмові від оптико-електро-оптичного (OEO) перетворення. OEO-перетворення - це найбільш дорогий етап в сьгоднішніх мережах передачі даних як за капітальними витратами, так і по вартості обслуговування. З точки зору топології і рівня обслуговування, Ethernet, пристосований до комірчастої структури, і скло пористе DWDM ідеально доповнюють один одного. Мережі DWDM знижують потребу в прокладанні волоконних ліній завдяки освоєнню ресурсів вже існуючої інфраструктури. Ідея в тому, щоб передавати інформацію не на одній довжині хвилі, а задіяти різні довжини хвиль, повніше використовуючи майже необмежену хвильову ємність оптоволоконні. [8]

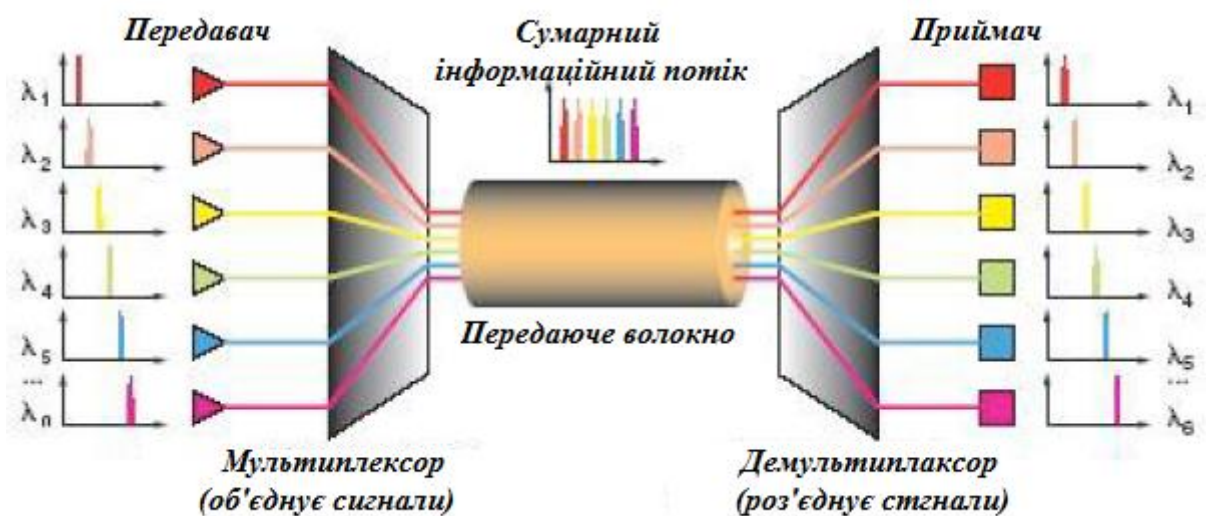


Рисунок 1.9. Принцип роботи DWDM систем

Технологія DWDM дозволяє створити і використовувати на практиці повністю оптичні мережі AON (All Optical Network), в яких оптичні сигнали перетворюються в електричну форму на проміжних вузлах. Через великої кількості абонентів і величезних швидкостей передачі даних в магістральних оптичних мережах забезпечення їх працездатності стає виключно важливою

завданням. Однією з найбільш привабливих можливостей DWDM є те, що при модернізації існуючих мереж зв'язку дана технологія дозволяє збільшити пропускну здатність волоконно-оптичної лінії зв'язку, практично не змінюючи існуюче електронне обладнання. Нові канали додаються в лінію зв'язку на нових довжинах хвиль, ніяк не зачіпаючи вже існуючі канали. При цьому самі канали можуть мати різні протоколи і швидкості передачі і, їх не потрібно синхронізувати між собою.

Cisco з DWDM модулями. Не дивлячись на те, що Cisco зараз пропонує ряд модулів для своїх маршрутизаторів, які підтримують самі по собі технологію DWDM, маючи вбудовані кросспондери, її рішення поки не готові бути використані для побудови мереж телекомунікації. Це обумовлюється низькою далекобійністю даних модулів і відсутністю широкого спектру функцій AON - повністю оптичних транспортних мереж.

Головні вимоги до транспортної мережі: Транспортна мережа повинна бути універсальною н індиферентною до типу транспортується інформації.

Транспортна мережа повинна мати властивість адаптації до обсягами інформації, що передається.

Цим вимогам відповідає мережа, побудована поверх DWDM- платформи, на якій інтегровано і незалежно працюють технології IP/Ethernet, SDH і NGSDH.

Наявність вільної оптики і застосування DWDM в регіональних мережах дозволяє вже сьогодні з метою розширення пропускнуої смуги оптичної транспортної мережі не модернізувати TDM/SDH базу, а побудувати паралельну GE / 10GE мережу н перевести на неї трафік передачі даних. Такий шлях швидше за все дозволить оптимізувати капітальні та операційні витрати оператора.

Основні архітектурні моменти проектованої системи:

1) в якості транспортної основи для будь-яких інформаційних потоків будемо використовувати DWDM-технологію останнього покоління (NGM-рішення Nortel);

2) для SDH-клієнтських інтерфейсів буде використовувати SDH- модулі прямо в транспортних мультиплексорах системи;

3) основна магістральна IP-мережу буде проключена в DWDM з допомогою транспондерів;

4) середньошвидкісні IP-підключення та виділені віртуальні канали 2-го рівня (до 1 Гбіт / с) слід організувати використовуючи NGSDH принципи;

5) передбачаються варіанти підключення DWDM-пристроїв, мають власні передавачі стандартних довжин хвиль DWDM, через ті ж транспортні мультиплексори;

6) передбачається організація резервних каналів для IP- обладнання через NGSDH.

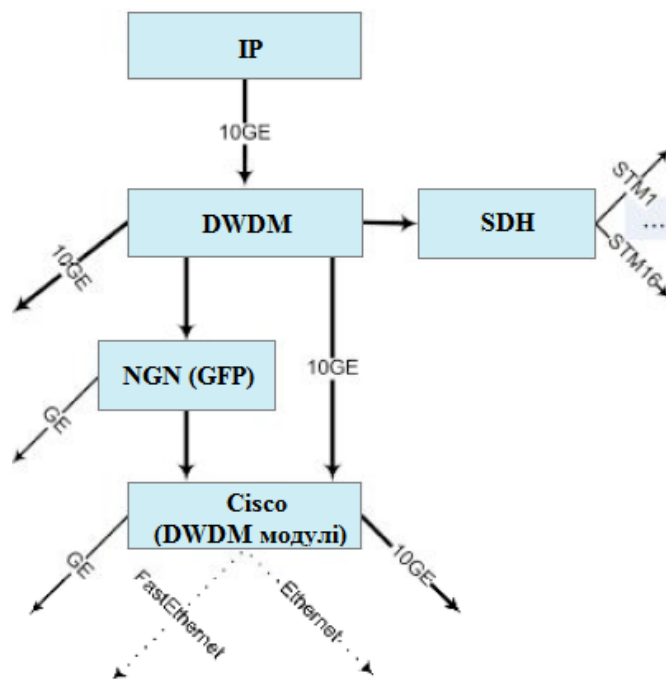


Рисунок 1.10. Загальна схема методу побудови магістральної IP-мережі

Розглянутий метод дозволяє реалізувати конвергентну систему, що відповідає всім висунутим вимогам.

1.5 Аналіз переваг мережі IP/MPLS

З огляду на вищесказане, необхідно виділити основні переваги багатопротокольної комутації по мітках:

-інтеграція мережевої інфраструктури, об'єднання різнорідних мереж IP, ATM і Frame Relay зі скороченням операційних витрат. Спрощення управління мережами за рахунок перенесення сервісів SDH і ATM на більш високий мережевий рівень [3];

- технологія MPLS дозволяє єдиної конвергованої мережі підтримувати як нові, так і існуючі послуги, створюючи ефективний шлях переходу до IP-інфраструктури. MPLS функціонує як поверх існуючої мережі, так і нової інфраструктури (10/100/1000 / 10G Ethernet) і мереж (IP, ATM, ретрансляції кадрів, Ethernet і TDM) [9];

-надання в маршрутизуються середовищі орієнтованих на з'єднання сервісів з можливістю динамічної перебудови маршрутів в обхід який відмовив вузла [3];

-MPLS підтримує надання послуг з гарантованою якістю обслуговування (QoS). Пакети, які повинні доставлятися з високим якістю, можуть позначатися, дозволяючи провайдерам забезпечувати певні малі значення затримки для мовних і відео сигналів в наскрізному з'єднанні [9]. MPLS не визначає нову QoS архітектуру, а базується на використанні широко відомої і зарекомендувала себе на практиці IP QoS парадигми. Для IP QoS визначено дві моделі: IntServ і DiffServ. IntServ визначає потоковий QoS і використовує RSVP для сигналізації. DiffServ використовує маркування пакетів на кордоні мережі і подальшу обробку. Трафік розбивається на класи і в залежності від цього обробляється механізмами обмеження, вирівнювання і пріоритетності. MPLS QoS використовує DiffServ підхід, поміщаючи необхідну маркування в заголовок. Еквівалентом DSCP мітки може бути трьохбітове Experimental поле в MPLS;

Ефективна передача великих обсягів трафіку в магістральних мережах, скорочення розмірів таблиць маршрутизації в ядрі мережі, комутація пакетів на основі міток, прозора передача через ядро мережі IP / MPLS трафіку Ethernet і ATM / FR [3];

-MPLS дозволяє формувати трафік. Явна (точно визначена) маршрутизація і функція формування трафіку допоможуть ущільнити більший обсяг даних в межах наявної пропускної здатності [9];

-управління інформаційними потоками (traffic engineering), пріоритезація трафіку по мітках відповідно до класу обслуговування (CoS), просте і економічне рішення проблеми якості сервісу (QoS) [3]. ТІ призначений для оптимального розподілу трафіку відповідно до запитів користувачів і можливостями мережі і для оперативного перерозподілу трафіку в нештатних ситуаціях (обриви ліній, перевантаження вузлів і т.п.). ТІ об'єднує два основні методи контролю та організації інформаційних потоків в мережі: перший метод - управління трафіком за допомогою функцій маршрутизації, до яких відносяться: перетворення номера в маршрутний адреса, вибір шляху, розрахунок маршрутних таблиць, розподіл ресурсів з урахуванням параметрів QoS;

другий метод - управління пропускнуою спроможністю за допомогою дизайну мережі;

-MPLS спрощує вимоги обробки, що пред'являються до маршрутизаторів, оскільки маршрутизатори просто передають пакети, ґрунтуючись на фіксованих мітках, не аналізуючи IP- заголовок [9];

-MPLS забезпечує відповідний рівень безпеки, щоб зробити IP-мережу такою ж безпечною, як мережа ретрансляції кадрів в WAN, одночасно скорочуючи потребу на шифрування в IP-мережах загального користування [9];

-віртуальне приватні мережі (VPN) на базі MPLS краще регулюються, ніж VPN на базі користувача, оскільки вони базуються на мережі провайдера, скорочуючи тим самим необхідність конфігурації і управління для споживача [9];

-просте нарощування вузлів у мережах VPN і підключення до ядра MPLS абонентів, які використовують різні технології доступу, для надання послуг VPN [3].

До основних переваг VPN на базі MPLS також необхідно віднести [10]:

1) Відсутність обмежень на план адрес, який використовується кожним клієнтом VPN. Клієнт може використовувати або унікальне, або приватна адресне простір IP. З точки зору постачальника послуг, клієнти можуть мати перекриваються адресні простори;

2) Клієнтський маршрутизатор на кожному із сайтів клієнта не обмінюється безпосередньо маршрутною інформацією з іншими маршрутизаторами, що входять до VPN. Клієнти не вникають в проблеми маршрутизації між сайтами, за які несе відповідальність постачальник послуг;

3) У клієнтів VPN немає магістралі (віртуальної магістралі), яку їм потрібно було б адмініструвати;

4) Правила, що визначають приналежність конкретного сайту до даної VPN, є правилами, встановленими клієнтам. Модель адміністрування VPN дозволяє зробити так, що правила клієнта, реалізуються або одним постачальником послуг, або постачальником послуг спільно з клієнтом;

5) VPN може охоплювати безліч постачальників послуг;

6) Можливість гнучкого використання засобів криптографічного захисту, що робить VPN клієнта більш захищеною;

7) Гнучкий і масштабується якість обслуговування шляхом використання експериментальних бітів в поле заголовка MPLS, або за рахунок використання регулювання трафіку LSP;

8) Легкість, гнучкість і оперативність масштабування [10];

9) Організація прозорих віртуальних корпоративних мереж на третьому (RFC-2547) або другому рівні [3].

-Основні перевагами побудови захищеної віртуальної приватної мережі заснованої на технології MPLS є [10]:

1) Адресні простору і маршрутна інформація різних VPN НЕ перетинаються і, в загальному випадку, можуть бути однаковими. Ізольованість адресного простору досягається за рахунок використання особливої схеми адресації VPN - IPv4, яка реалізується додаванням 8-байтового розрізнявача маршруту до оригінального IP-адресою. Розрізнявач маршруту забезпечує унікальність адрес, що належать клієнту в межах мережі зв'язку оператора, і дозволяє різним VPN використовувати однакові адресні простори IPv4;

2) До опорної мережі оператора зв'язку неможливо отримати доступ ззовні. Ізольованість маршрутною інформації досягається тим, що на граничному

маршрутизаторе провайдера всім інтерфейсам, що належить тій чи іншій VPN, ставиться у відповідність своя віртуальна таблиця маршрутизації. Обмін маршрутною інформацією відбувається в рамках віртуальних таблиць маршрутизації. Розсилка оновлень маршрутною інформації здійснюється в рамках інтерфейсів, об'єднаних в VPN клієнта. Приховування структури ядра MPLS-мережі оператора зв'язку досягається використанням так званої «Глобальної таблиці маршрутизації», в якій містяться всі маршрути в межах внутрішньої мережі оператора. Дана інформація недоступна з мереж клієнтів і в клієнтські VPN не передається;

3) Віртуальні приватні мережі стійкі до атак з інших мереж (наприклад, атакам типу «відмова в обслуговуванні» і «несанкціонований доступ»);

4) На використання засобів криптографічного захисту не накладається істотних обмежень.

Таким чином, вищесказане (поряд зі стійким зростанням обсягу передачі трафіку даних, голосових і відео додатків) зумовлює доцільність впровадження технології з багатопротокової комутації по мітках (Multiprotocol Label Switching, MPLS) не тільки в крупномаштабних операторських мережах, але і в великих корпоративних мережах і їх філіях.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛУ ТРАФІКУ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ШЛЯХІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ IP/MPLS

2.1 Аналіз методів розподілу навантаження мережі IP/MPLS

Швидке зростання трафіку і впровадження нових сервісних послуг ставить перед провайдером завдання, швидко реагувати на ці зміни і адаптуватися до ситуації, що змінилася. І хоча, на перший погляд, IP-мережі мають у своєму розпорядженні необхідними механізмами для підтримки мережі в робочому стані, такими як підстроювання швидкості передачі даних до доступної смуги пропускання, реагування маршрутизаторів на зміни мережевих топологій з подальшим оновленням маршрутів, вибір найліпших маршрутів і т.д. всі вони не гарантують раціонального використання мережевих ресурсів.

Тому при проектуванні мережі передачі даних важливими є задачі оптимізації вибору алгоритму маршрутизації забезпечують продуктивність мережі і її адаптацію до змін трафіку, без необхідності зміни структури мережі і підвищення ємності каналів. З цією метою можуть бути використані різні засоби [11]:

- натурне моделювання;
- імітаційне моделювання;
- математичні оптимізаційні моделі.

Теорію завдань на відшукування найбільших і найменших величин називають або теорією екстремальних задач, або теорією оптимізації [12]. А якщо проблема полягає в найкращому впливі на якісь процеси і явища, якими людина може в певних межах управляти, то її відносять до розділу теорії екстремальних задач, що зветься «оптимальним керуванням» [12].

В технології MPLS вибір маршруту полягає у визначенні LSP – Label Switched Path (шлях з комутацією по мітках). Шлях LSP еквівалентний віртуального каналу з витоку в стік. У традиційних IP - мережах пакети з однаковим джерелом і призначенням слідували б по одному маршруту, в той час

як в мережі MPLS їм можуть бути призначені різні мітки, з метою перерозподілу навантаження. Підсумком цих призначень може бути такий дизайн LSP, який оптимізує розподіл навантаження в мережі. Під дизайном LSP розуміється деяка сукупність всіх LSP мережі.

Для побудови дизайну LSP використовується один з основних компонентів мережі MPLS - маршрутизатор LSR (Label Switched Router), який застосовує протокол внутрішньої маршрутизації OSPF і протокол LDP. Дизайн LSP повинен оперативно реагувати на зміни внутрішньої топології мережі.

Отже, необхідно мінімізувати час визначення дизайну LSP.

Подібні завдання вже розглядалися в роботах таких авторів як Kehang Wu, Douglas S. Reeves, Alpar Juttner, Balazs Szviatovszki, Aron Szentesi. В [13] задача оптимізації вирішується шляхом використання методу ослаблення Лагранжа, а в [14] розглядається визначення дизайну LSP за запитом. У той час як в даній роботі розглядається алгоритм для визначення оптимального дизайну LSP.

Огляд цілей оптимізації навантаження по мережі

Кожен метод оптимізації має свої цілі і критерії, за допомогою яких досягаються бажані результати. Результати ж повинні задовольняти наявними граничним умовам. При оптимізації мереж MPLS мова йде про деякому оптимальному дизайні LSP, який, при дотриманні вимог щодо якості обслуговування (QoS), гарантує досягнення максимальної пропускну здатності мережі. Рівень навантаження на кожній лінії зв'язку безпосередньо характеризує ймовірність виникнення ситуацій перевантаження, а побічно, затримку і втрати пакетів даних. Таким чином, дотримання параметрів якості обслуговування визначається коефіцієнтом використання лінії зв'язку. Можна визначити порогове значення для можливо найбільшого коефіцієнта навантаження лінії, при досягненні якого ще гарантуються параметри якості обслуговування.

Проблема оптимізації полягає в наступному: для всіх вимог по розподілу потоків заданої трафік-матриці $T=(i,j)$ повинні бути знайдені ті шляхи, які забезпечують оптимальний розподіл навантаження.

Отриманий в результаті дизайн LSP повинен виконувати всі поставлені граничні умови. При цьому сума всіх вимог щодо розподілу потоків на окремо взятому ребрі не повинна перевищувати його пропускну здатність. Деякий дизайн LSP, який задовольняє всім граничним умовам, називається допустимим. Так як затримка сильно залежить від числа кроків (Hops), то необхідно, по можливості, обмежувати довжину шляху.

Щоб вибрати один з безлічі варіантів дизайнів, використовуються наступні два критерії для оцінки якості і оптимальності дизайну [15]:

-для заданої трафік-матриці максимальне навантаження на ребро повинна бути, по можливості, мінімальною;

-для всіх вимог щодо розподілу потоків трафік-матриці шляху, по можливості, повинні бути найкоротшими. Довжина шляху визначається числом проміжних вузлів.

Згідно з першим критерієм, мережі навантажуються рівномірно. кожна мережа має "вузьке місце", яке ділить її на дві частини і обмежує обсяг трафіку з однієї частини в іншу. В теорії графів таке "вузьке місце" називається мінімальним розрізом. При оптимальному дизайні досягається максимальне використання ліній-ребер мінімального розрізу. Таким чином, одночасно підвищується коефіцієнт X , на який весь трафік додатково може бути збільшений, що не розширюючи пропускну здатність розрізу. В такому випадку залишається можливість передачі всіх вимог щодо розподілу потоків наступної трафік-матриці з коефіцієнтом збільшення.

Так як оптимізація дизайнів LSP тільки на основі першого критерію призводить до утворення "гаків" (невиправдано довгих шляхів), для оптимізації дизайну LSP був введений другий критерій. Завдяки чому будуть перевагу (обрані) тільки ті шляхи, які по можливості, є найкоротшими при дотриманні першого критерію. У загальному випадку немає такого рішення, яке задовольняло

б обом критеріям одночасно. Це передбачає, що один з критеріїв має більше значення. І загальна мета оптимізації звучить так:

Необхідно знайти такий дизайн LSP, який зменшує максимальну навантаження на ребра мінімального розрізу, і вибирає найкоротший шлях серед всіх можливих.

Як уже згадувалося, теорія графів пропонує різні методи, за допомогою яких можна було б оптимально розподілити навантаження по мережі [16]. Нижче розглянуто більш докладно методи, використовувані для визначення оптимального дизайну в мережах MPLS.

Аналіз застосування методів оптимізації

Вибір методу розв'язання задачі оптимізації - один з найважливіших етапів оптимізації. Можна виділити наступні групи методів [17]:

- аналітичні методи;
- методи математичного програмування.

Розглянемо групи цих методів і більш детально деякі з них.

Група аналітичних методів оптимізації об'єднує аналітичний пошук екстремуму функції, метод множників Лагранжа, варіаційні методи і принцип максимуму.

Метод максимального потоку (мінімального розрізу) визначає множини ребер, при видаленні яких мережа ділиться на дві незв'язані частини. Пропускна здатність цих ребер обмежує обсяг трафіку між двома частинами мережі.

Аналітичний пошук екстремуму функцій, заданих без обмежень на незалежні змінні, застосовується до завдань, у яких оптимізується функція має аналітичний вираз, що диференціюється в усьому діапазоні дослідження, а число змінних невелика. Це один з найбільш простих методів [17].

Група методів математичного програмування включає динамічний програмування, лінійне програмування та нелінійне програмування.

Динамічне програмування - ефективний метод вирішення завдань оптимізації багатостадійних процесів. Метод передбачає розбивку аналізованого процесу на стадії (у часі і просторі). Розгляд завдання починається з останньої стадії процесу, і оптимальний режим визначається постадійно.

Методи нелінійного програмування - об'єднують різні способи рішення оптимальних задач: градієнтні, безградієнтні і випадкового пошуку.

Загальним для методів нелінійного програмування є те, що їх використовують при вирішенні завдань з нелійними критеріями оптимальності. Усе методи нелінійного програмування - це чисельні методи пошукового типу. Суть їх - у визначенні набору незалежних змінних, що дають найбільше збільшення оптимізується функції.

Лінійне програмування - метод для вирішення завдань оптимізації з лінійними виразами для критерію оптимальності і лінійними обмеженнями на область зміни змінних. Подібні завдання вирішуються ітераційним способом. Одним із способів реалізації лінійного програмування є симплекс-алгоритм, який майже завжди, за винятком деяких випадків, може знайти оптимальне рішення. В основі цього алгоритму лежить повний перебір можливих варіантів вирішення завдання.

Евристичні методи - дані методи спрямовані на скорочення перебору. Рішення, одержувані даними методами, не є найкращими, а відносяться лише до безлічі допустимих.

Кожен метод має свої особливості, які визначаються їх принципом роботи і реалізацією, і відрізняються один від одного як складністю та граничними умовами, так і відхиленням від оптимального значення.

Використовуючи методи лінійного програмування і евристичні, можна отримати дизайн LSP, в той час як метод максимального потоку (мінімального розрізу), визначає максимальне навантаження на ребра мінімального розрізу, а також сам розріз (ребра, з яких він складається).

Точне рішення задач оптимізації можна отримати за допомогою лінійного програмування, проте складність обчислень при лінійному програмуванні швидко

зростає зі збільшенням числа вузлів в мережі і для великих мереж є критичною, що призводить до необхідності використання евристичних методів.

Порівняння алгоритмів оптимізації мережі IP/MPLS

Існує кілька параметрів, за якими можна проводити порівняння алгоритмів оптимізації мереж MPLS. В даному випадку порівняння ми будемо проводити за складністю алгоритмів, за отриманим вазі дизайну LSP і по інтегральному параметром, що проводить комплексну оцінку алгоритмів (час - якість).

На рис. 2.1. представлена залежність складності для лінійного програмування і евристичного алгоритму від розміру мережі. Функція складності лінійного програмування має більш високою швидкістю зростання, ніж функція складності евристичного алгоритму.

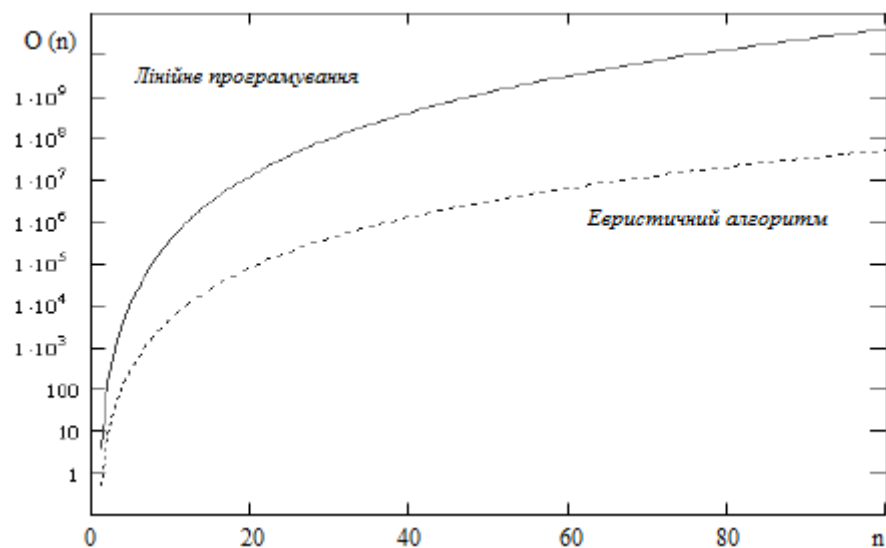


Рисунок 2.1. Порівняння складності алгоритмів

Як видно з даного графіка, евристичний алгоритм є більш переважним з точки зору складності, так як для визначення оптимального дизайну LSP він виконує менше операцій в $8n$ раз.

Далі порівняємо ваги отриманого дизайну LSP. Для цього виберемо деякі графи з розмірністю n від 3 до 10. І застосуємо до них метод лінійного

програмування і евристичний алгоритм. Далі порівняємо ваги дизайнів LSP, отриманих двома цими методами рис. 2.2.

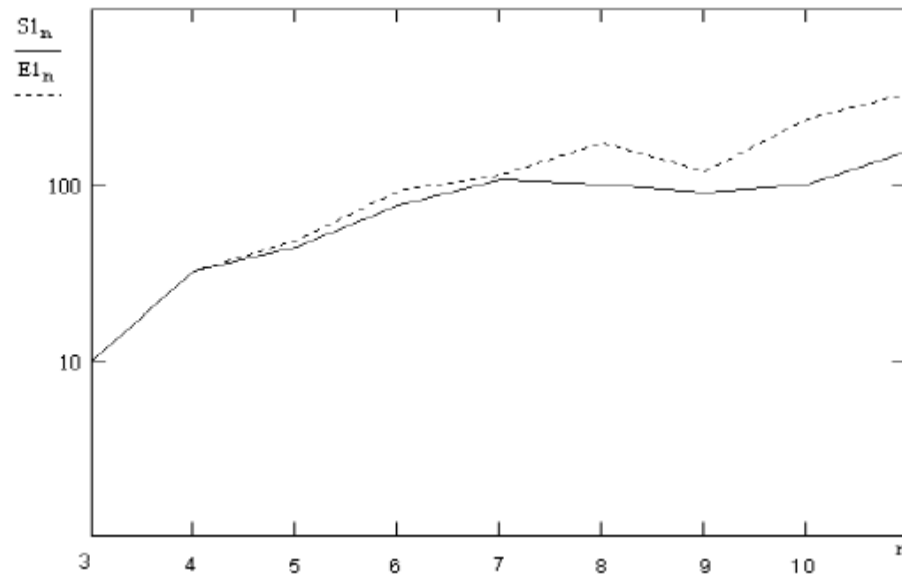


Рисунок 2.2. Порівняння ваги дизайну LSP, отриманого евристичним алгоритмом (E1) і методом лінійного програмування (S1)

Для проведення комплексної оцінки алгоритмів введемо інтегральний параметр U . Вважаємо, що він прямо пропорційний складності алгоритму і одержуваного цим алгоритмом вазі дизайну LSP. В даному випадку використовуємо значення ваг дизайну LSP, отриманих в попередньому кроці. $U_E = O\left(\frac{n^4}{2}\right) \times E1$ і $U_S = O(4n^5) \times S1$ відповідно для евристичного алгоритму і методу лінійного програмування рис.2.3.

Для кожного алгоритму оптимізації необхідно отримати оптимальний дизайн LSP (дизайн з найменшою вагою) при мінімальних витратах операцій на його обчислення. Відповідно, найкращим є такий метод, функція комплексної оцінки якого володіє меншим зростанням.

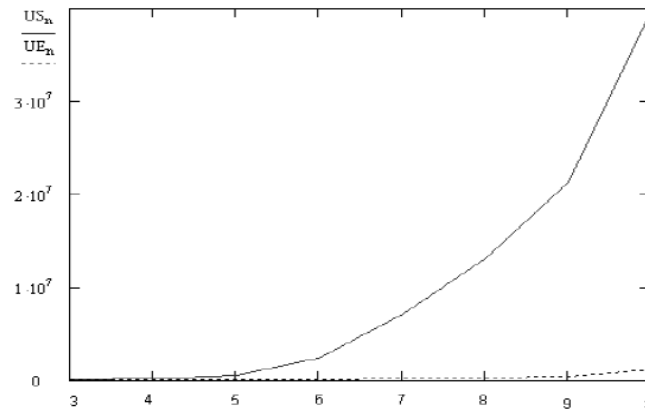


Рисунок 2.3. Комплексна оцінка

Як видно з рис.2.3. найкращим є запропонований евристичний алгоритм, так як він при значно менших витратах надає прийнятне рішення поставленої вище завдання.

2.2 Дослідження особливостей процесу оптимізації мереж IP/MPLS

Процес оптимізації мережі з багато протокольною комутації по мітках (MPLS) включає в себе розподіл мережевих ресурсів між набором заданих шляхів з комутацією по мітках (Label Switched Paths, LSP) і накладення їх на фізичні мережі трактів з певними обмеженнями по продуктивності. В процесі оптимізації також визначаються пороги продуктивності трактів, пов'язані з використанням деякої схеми резервування мережевих ресурсів для захисту обслуговування. Захист обслуговування передбачає виконання концепції якості обслуговування QoS.

Концепція QoS застосовується для конкретних типів обслуговування за допомогою обмеження мережевих ресурсів або надання пріоритету одного типу трафіку над іншим. Дані методи необхідні для запобігання «Придушення» фонових потоків, для гарантування мінімального обсягу мережевих ресурсів для нетривалих потоків, для збільшення ймовірності проходження потоків з високими вимогами до пропускної здібності, а також для управління мережевий

стабільністю в разі погіршення характеристик і локальної перевантаження мережі і т.д.

Іншим важливим аспектом оптимізації мереж MPLS є відмовостійкість, що припускає крім концепції Управління Трафіком (Traffic Engineering), захист трафіку. У «чистих» IP-мережах, відомості про відмови, передається за допомогою протоколу IGP (Internet Gateway Protocol) через всю мережу.

Після чого розраховуються нові найкоротші шляхи, і роботу буде відновлено.

Відповідно помилка в плануванні навантаження може привести до перевантаження в мережі.

В [18] зроблена спроба автоматизувати пошук мережевої структури для максимального використання ресурсів. У першій роботі оцінюються запити, використовуючи різні методи вимірювань, і застосовується автономний алгоритм для розвантаження перевантажених трактів. У другій роботі пропонується алгоритм реального масштабу часу для зменшення впливу між різними маршрутами мережі для певного набору вхідних і вихідних вузлів. Обидва алгоритми не приймають до уваги вимоги до якості обслуговування (QoS), а тільки намагаються зменшити максимальне навантаження конкретних трактів в мережі.

В цьому розділі досліджено алгоритм оптимізації, що включає в себе резервування мережевих ресурсів з гарантіями для кожного класу обслуговування (При наданні диференційованих послуг DiffServ) і резервування мережевих ресурсів, забезпечуючи відповідну відмовостійкість.

Пропонується новий підхід до оптимізації мереж DiffServ / MPLS, що приймає до уваги резервування смуги пропускання по класах і концепцію відмовостійкості. Узагальнена задача оптимізації мережі може бути сформульована як оптимізація потоків багатопродуктивної мережі.

Пропонований алгоритм оптимізації використовує множники Лагранжа для оптимізації модифікованої функції вартості. Цей алгоритм містить модель обмеження пропускну здатності для подальшого резервування для кожного класу

обслуговування, а також вагові коефіцієнти трактів, які перераховуються з урахуванням коефіцієнтів відмовостійкості для резервних LSP-шляхів. Модифікована версія запропонованого методу оптимізації може запускатися щотижня/місяць для переустановлення LSP- шляхів відповідно до історією трафіку. Запропоновані підходи мають пономіальну складність, і забезпечують визначення меж значень оптимальної цільової функції, які можуть бути використані для оцінки точності результатів.

2.3 Формулювання задачі оптимізації

Аналіз обмежень резервування пропускної здатності

Визначимо модель обмеження пропускної здатності, яка використовується в алгоритмі оптимізації. Головною вимогою для управління трафіком в системах підтримки диференційованих послуг (DiffServe Traffic Engineering, DS-TE) є здатність призначати обмеження пропускної здатності для різних наборів класів трафіку. Концепція DS-TE може підтримувати до 8 класів трафіку (Traffic classes, CT): $CT_c, c = 0, \dots, 7$.

Отже, кожному CT призначається або обмеження пропускної здатності (Bandwidth Constraint, BC) або набір таких обмежень.

Отже, DS-TE має підтримувати до 8 BC: $BC_b, b = 0, \dots, 7$.

Клас пакета в заголовку IP-відзначається за допомогою 8-бітової кодової комбінацією диференціальних служб (differentiated services code, DSCP). Код DSCP переноситься в байтовому полі "тип служби" (Type of Service, ToS) або полі класу трафіку IP-заголовка. Шість бітів заголовка потенційно дозволяють реалізувати до 64 різних класів. Однак, на практиці реалізується в основному вісім. Таким чином, рівні IP-пріоритету можуть бути перетворені в фіксовані класи трафіку або DSCP. специфікації RFC 2474 і RFC 2475 визначають структуру служби DiffServ і загальний принцип використання поля диференціальних служб (Differentiated Services, DS) і замінюють октети ToS специфікації RFC 1349 [51].

Для використання диференційованої служби між постачальником послуг і користувачем встановлюється угоду про рівень обслуговування, яке являє собою договір про обслуговування між ними. У договорі вказуються послуги з просування даних, що надаються для різних класів пакетів. Постачальник повинен гарантувати рівень якості обслуговування для кожного класу пакета. Для надання даного рівня якості обслуговування постачальник послуг на кожному маршрутизаторі повинен конфігурувати відповідні політики просування даних (на основі значення поля DS) і вимірювати продуктивність кожного класу.

Розглянемо деякі приклади послуг, що надаються за класами обслуговування:

Клас А - трафік пропонований на даному рівні обслуговування буде доставлений з низькою затримкою;

Клас В - трафік пропонований на даному рівні обслуговування буде доставлений з низькими втратами;

Клас С - затримки для 90% трафіку, пропонованого на даному рівні обслуговування не перевищать 50 мс .;

Клас D - одержувачу буде доставлено 95% трафіку, пропонованого на даному рівні обслуговування;

Клас Е - трафіку, пропонованого на даному рівні обслуговування, буде надана в два рази більша пропускна здатність, ніж трафіку, пропонованого на рівні обслуговування класу F;

Клас Х- трафік з черговістю відкидання доставляється з більшою ймовірністю, ніж трафік з черговістю відкидання класу Y [5].

LSR-пристрої мережі MPLS не аналізують зміст IP-заголовка і значення поля DSCP, як вимагає механізм DiffServ. високий ступінь масштабованості DiffServ забезпечується тим, що кожен маршрутизатор самостійно приймає рішення про те, як він повинен обслуговувати той чи інший клас трафіку, не погоджуючи свої дії з іншими маршрутизаторами. Такий підхід названий незалежною поведінкою маршрутизаторів (Per Hop Behavior, PHB). Це означає, що відповідне значення PHB має бути отримано з значення мітки. Проміжний

заголовок MPLS має 3-бітове поле CoS (Exp), спочатку воно розглядалося як експериментальне. Дане поле може містити до восьми значень і використовується в комутації MPLS для підтримки 8 класів DiffServ [19].

Робочою групою з управління трафіком в серії документів IETF RFC 3564 рекомендована Модель Російської Матрьошки (Russian Doll Model, RM).

Крім того, запропоновані й інші моделі, наприклад, Модель Максимального Розподілу (Maximum Allocation Model, MAM). максимально виділена частка MAM ресурсу є адміністративно заданим атрибутом, який визначає частку ресурсу, доступну для каналу передачі даних. цей атрибут використовується в основному для розподілу смуги пропускання. Однак, він може бути застосований також для резервування ресурсів LSR. концепція MAM аналогічна концепції параметрів підписки і резервування в мережах Frame Relay і ATM.

Значення MAM можуть бути обрані так, щоб ресурс був недорасподілений або перерозподілено. Ресурс вважається недорасподіленим, якщо сумарні вимоги всіх каналів передачі даних, які можуть його використовувати, менше ємності ресурсу. В іншому випадку ресурс вважається перерозподілом. Недорасподілення може використовуватися, щоб встановити межу використання ресурсів. Однак, в разі MPLS це складніше, ніж в схемах з комутацією каналів, так як для MPLS, деякі потоки можуть маршрутизуватися за допомогою звичайних протоколів крок - за - кроком без розгляду будь-яких ресурсних обмежень. перерозподіл може застосовуватися, щоб реалізувати переваги статистичних характеристик трафіку в рамках більш ефективної політики використання наявних ресурсів. Зокрема, перерозподіл можна застосовувати в ситуації, коли піки завантаження трафіку в різних каналах не збігаються за часом.

Модель algo описується наступним чином:

- Максимальне число BC дорівнює максимальному числу CT = 8;
- Всі LSP з CT_c повинні використовувати не більше, ніж BC_b (при $b \leq c \leq 7$, а $BC_b \leq BC_{b-1}$ при $b = 1, \dots, 7$);

Всі LSP з CT₇ використовують не більше ніж BC₇;

Всі LSP з CT_b використовують не більше ніж BC₆;

Все LSP з CT_5 , CT_6 і CT_7 використовують не більше ніж BC_5 ;

Всі LSP з CT_0 , CT_1 , CT_2 , CT_3 , CT_4 , CT_5 , CT_6 і CT_7 використовують не більше ніж BC_0 .

Для ілюстрації запропонованої моделі приймемо, що в тракті активізуються тільки три класи трафіку CT і сформовані наступні BC : $BC_0 = 100$, $BC_1 = 80$ і $BC_2 = 50$. На рис. 2.4. показана графічно запропонована модель (вкладені ляльки). CT_0 є негарантований трафік, CT_1 позначає трафік поза масштабу реального часу і CT_2 - трафік реального масштабу часу. Отже, CT_0 може використовувати до 100% продуктивності тракту за умови відсутності трафіку CT_1 або CT_2 . Як тільки з'являється CT_1 , то він може зайняти до 80% продуктивності тракту, то є частка CT_0 буде зменшена до 20%. Коли ж трафік CT_2 також почне використовуватися в даному тракті, то він зможе зайняти до 50% продуктивності тракту, CT_1 буде використовувати тільки 30%, а частка CT_0 буде дорівнює 20%.

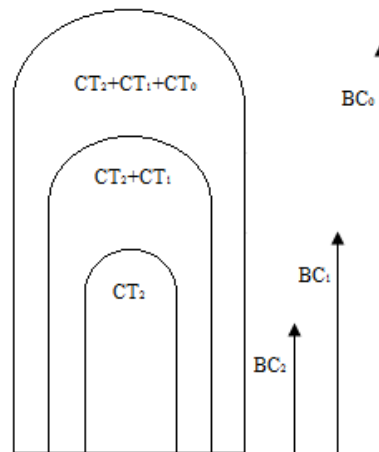


Рисунок 2.4. Модель Матрьошки з трьома активними класами трафіку

Далі розглянемо метод розрахунку у коефіцієнтів відмовостійкості.

Оцінка необхідності збільшення пропускної здатності віртуального каналу з урахуванням можливих відмов

Крім управління трафіком (Traffic Engineering), як уже згадувалося вище, іншим важливим перевагою використання MPLS є відмовостійкість, під якою

розуміється, здатність системи надавати послуги навіть при наявності відмов. Існують два види підходів до даної задачі: глобальні механізми відновлення - резервні LSP-шляху з кінця в кінець і локальні механізми відновлення - LSP локального обходу.

Для обчислення пропускної здатності LSP з урахуванням можливих відмов в алгоритмі оптимізації, пропонується використовувати коефіцієнти підвищення пропускної здатності (коефіцієнти відмовостійкості) в формулюванні завдання. Розрахунок коефіцієнтів відмовостійкості будемо проводити виходячи з того, як часто тракти вибираються в якості резервних. пропонується алгоритм оптимізації представлений на рис.2.5.

Алгоритм розрахунку коефіцієнтів відмовостійкості

1. Для кожного запиту між парою вузлів, що відносяться до топології мережі, необхідно:

- Запустити алгоритм Дейкстра і визначити найкоротший шлях між джерелом

і одержувачем запиту.

- Виключити обраний найкоротший шлях з топології і запустити алгоритм Дейкстра ще раз для вибору альтернативного шляху.

- Для трактів e_1 , складових новий обраний шлях, збільшити лічильник використання на одиницю: $U(e_i)_c = U(e_i)_c + 1$

2. Для кожного тракту e , обчислити коефіцієнт як оціночну функцію його використання в запасних шляхах проходження трафіку:

$$\gamma(e_i) = 1 + \frac{U(e_i)_c}{N_D} \text{де, } N_D \text{- загальна кількість запитів.}$$

Рисунок 2.5. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів відмовостійкості

Після розрахунку всіх $\gamma(e_i)$ вирішується завдання оптимізації, з урахуванням резервування пропускної здатності для різних класів трафіку і забезпечення відмовостійкості за допомогою використання коефіцієнтів

відмовостійкості. Далі опишемо пропонований евристичний алгоритм вибору оптимального шляху LSP.

Постановка задачі визначення оптимального рішення

Розглянемо фізичну мережеву топологію $G(V, E)$ з набором вузлів V і набором трактів E . Припустимо, що мережевий адміністратор використовує загальне число класів трафіку (СТ) рівне N .

Для спрощення розглянемо матрицю M (з розмірністю $V \times V$) що містить відображення топології $G(V, E)$. Така матриця призначає тракти парам вузлів.

Кожен елемент матриці $M(i, j)$ позначає фізичний тракт $e_i \in E$ (при $e = 1, 2, \dots, \xi$ і де, ξ - являє собою кількість елементів E матриці), який з'єднує вузли $(i, j) \in V$. Зауважимо, що матриця може бути симетричною, так як фізичної тракт, що з'єднує вузли (i, j) , може бути таким же, що і тракт, з'єднує вузли (i, j) :

$$M(i, j) = \begin{cases} e_i, & \text{якщо тракт } e_i \text{ з'єднують вузли } i \text{ та } j \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.1)$$

Далі будемо позначати:

- $e_i \in E$ - фізичний тракт e_b для якого в матриці M задається прив'язка для відповідної пари вузлів (i, j) ;

- $C_{ph}(e_1)$ - загальна пропускна здатність тракту e_1 .

- $C_n(e_1)$ - частина тракту e_1 , ризначена для накладеної мережі MPLS n ; $n = 0, \dots, N-1$ (мережа MPLS для СТ _{n}).

Щоб отримав розмірність моделі ближче до реальної, припустимо, що пропускна здатність її доступна продуктивності, а змінна $C_{ph}(e_1)$ є цілечисельною. Далі можна легко обмежити можливі цілі числа до допустимих значень, наприклад: 10 Мб/с, 100 Мб/с, 155 Мб/с, 622 Мб/с, 1 Гб/с, 2 Гб/с і 4 Гб/с.

Позначимо за допомогою T_n матрицю трафіку з розмірністю $V \times V$ для СТ _{n} (з нульовими діагональними елементами). Кожен елемент в матриці T_n може бути

розрахований за допомогою апроксимації Гаусса $T_n = \mu_n + \alpha\sigma_n$, де μ_n є середнім значенням трафіку, σ_n - являє собою середньоквадратичне відхилення і α - є множником, що враховує ймовірність збільшення трафіку, до якого передбачуваний запит пристосовує мінливість трафіку. Грунтуючись на вимогах цієї ймовірності і використовуючи апроксимацію Гаусса для розподілу швидкості, очікуємо, що оцінка швидкості буде перевищена з імовірністю $1 - L(\alpha)$, де L - є інтегральним розподілом стандартного нормального (Гауссова) розподілу. Залежно від вимог до ймовірності, з якою трафік перевищить пропускну здатність, вибираємо відповідний множник α , і визначаємо за формулою:

$$L(\alpha) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\alpha}^{\alpha} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad - \quad \text{ймовірність, з якої допускається}$$

перевантаження.

Крім того, визначимо матрицю $R_n^{i,j}$, що містить набір можливих маршрутів для запиту $T_n(i, j)$. Позначимо число можливих маршрутів r . Значення r може бути різним для кожного СТ і для кожної пари вузлів (i, j) . Кожен елемент матриці $R_n^{i,j}$ визначається наступним чином:

$$R_n^{i,j} = \begin{cases} 1, \text{ якщо тракт } e_i \text{ належить маршруту } h (h = 1, \dots, r) \\ 0, \text{ інакше} \end{cases} \quad (2.2)$$

Позначимо через $x_n^r(i, j)$ частину запиту $T_n(i, j)$, що проходить за маршрутом r .

Нехай $T_0(a, b) = 10$ Мб/с і $T_1(a, b) = 20$ Мб / с. Отже $x_0^1(a, b)$ може дорівнювати 4 Мб/с, а $x_0^2(a, b)$ дорівнює 6 Мб/с. Це означає, що 4 Мб/с із запиту $T_0(a, b)$ направляються за маршрутом 1 (наприклад, $e_1 - e_2 - e_3$), а 6 Мб/с – до маршруту 2 (наприклад, $e_4 - e_5$). Частина запиту $x_1^1(a, b) = 20$ Мб/с., Так як для $T_1(a, b)$ використовується тільки один маршрут.

Для резервування смуги пропускання, знайдемо одновимірний масив обмеження пропускну здатності (BC) використовується в моделі algo: $BC = [BC_0, BC_1, \dots, BC_7]$.

Визначимо наступну цільову функцію:

$$F = \sum_{\gamma t, e \in E} \gamma(e_1) \cdot C_{ph}(e_1), \quad (2.3)$$

де $\gamma(e_1)$ являє собою коефіцієнт збільшення необхідної пропускної здатності кожного тракту, використовуваного при появі несправностей LSP.

Необхідно упевнитися, що змінні $x_n^r(i, j)$ (значення пропускної здатності частини тракту el призначеної для накладеної мережі MPLS для різних класів обслуговування мережі) можуть бути позитивними {1}; також потрібно упевнитися, що після поділу запиту більш ніж на один маршрут, загальна величина запиту залишається такою ж {2}; крім того, вважаємо, що загальна пропускна здатність для ST_n тракту e_1 , задається сумою всіх частин трафіку, що відносяться до ST_n , який маршрутизується по e_1 {3}; і вважаємо, що загальна пропускна здатність фізичної тракту $C_{ph}(e_1)$ задається сумою всіх існуючих класів трафіку ST_n на даному тракту (4); і в кінцевому рахунку, приймаємо обмеження пропускної здатності отримані за допомогою моделі $algor$ {5}. Перераховані вище умови в компактному вигляді представлені нижче на рис. 2.6.

Представлений алгоритм на рис.2.6. містить короткий виклад запропонованого завдання, включаючи обмеження, а вираз $V P_{i,j}(e_1)$ позначає середнє значення для всіх шляхів між парою вузлів (i, j) , маршрутизованих по фізичній тракту e_1 . Легко побачити, що складність формулювання оптимізації буде збільшуватися зі збільшенням складності мережевої топології.

На жаль, неможливо гарантувати для всього алгоритму то, що буде знайдено оптимальне рішення задачі і те, що алгоритм буде забезпечувати експоненціальне час вирішення завдання. Пропонована нижче евристика заснована на використанні методу невизначених множників Лагранжа.

Задано	$G(V, E), T_n, R_n(i,j), BC_n, \gamma(e_1) \text{ і } N$
Знайти	$C_{ph}(e_1)$ (E цілих змінних)
Мінімізувати	$F = \sum_{\gamma t, e \in E} \gamma(e_1) \cdot C_{ph}(e_1)$
При умові	$\{1\} x_n^r(i, j) \geq 0, \forall n, r$ $\{2\} \sum_r x_n^r(i, j) = T_n(i, j)$ $\{3\} \sum_{\forall P_{i,j}(e_1)} x_n^r(i, j) = c_n(e_1)$ $\{4\} \sum_{n=0}^{N-1} \gamma(e_1) \cdot c_n(e_1) = C_{ph}(e_1)$ $\{5\} \sum_{n=y, y=0, N-1}^{N-1} c_n(e_1) \leq BC_y \cdot C_{ph}(e_1)$

Рисунок 2.6. Формулювання задачі оптимізації планування

2.4 Аналіз евристичного алгоритму оптимізації

Використання методу невизначених множників Лагранжа

Застосування методу множників Лагранжа дозволяє визначити межі значень оптимальної цільової функції і отримати хороші (але не обов'язково оптимальні) рішення з гарантіями виконання обмежень продуктивності. Рішення завдання Лагранжа дає нижню межу (в задачах мінімізації) оптимального значення вихідної задачі. алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа, заснований на мінімізації зміненої цільової функції $F' = F + \sum_i \delta_i$ обмеження, де δ являє собою множники Лагранжа, які необхідно знайти за допомогою запропонованого нижче алгоритму. Якщо все δ дорівнюють нулю і всі обмеження (рис. 3.3) не порушені, тоді знайдено оптимальне рішення задачі. Якщо обмеження не виконуються, тоді необхідно збільшити значення δ для того, щоб збільшилася їх значимість в новій цільовій функції F . Далі покажемо, як знайти значення δ , для досягнення найкращих результатів.

У запропонованій формулюванні є два набори множників Лагранжа, причому кожен набір містить число множників, яка дорівнює кількості обмежень,

розглянутих в формулюванні завдання оптимізації. Так як запропонована формулювання являє собою завдання розподілу багатопродуктового потоку, то множники Лагранжа невід'ємні і пов'язані з набором обмежень. Слід зауважити, що для нової цільової функції буде існувати тільки одне обмеження (невід'ємне обмеження).

За допомогою методу Лагранжа отримуємо алгоритм, здатний знайти оцінку оптимального рішення і кордон, яка скаже про близькість до оптимального рішення. Для початку необхідно усунути обмеження {4} і {5} за допомогою включення їх в інші обмеження і цільову функцію. далі необхідно послабити кінцеві умови обмеження {2} і {3} за допомогою включення їх в нову цільову функцію. Якщо знайдене рішення не здійснимо для обмежень, то необхідно збільшити коефіцієнти обмежень (за допомогою посилення ролі відповідного множника) у зміненій цільової функції, наближаючи тим самим рішення до оптимуму. Далі більш детально опишемо запропонований евристичний алгоритм.

Алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа

У запропонованому алгоритмі оптимізації, на основі множників Лагранжа, для вирішення вищеописаної завдання для пошуку множників Лагранжа використовується метод субградієнтного оптимізації. Нехай δ_{16}^0 і δ_{26}^0 будуть будь-якими вихідними значеннями. При використанні субградієнтного оптимізації, визначимо значення δ_{16} і δ_{26} наступним чином:

$$\delta_{1b}^{k+1} = [\delta_{1b}^k + \theta_{1b}^k (\sum_r x_n^r(i, j)^k - T_n(i, j))] \quad (2.4)$$

$$\delta_{2b}^{k+1} = [\delta_{2b}^k + \theta_{2b}^k (\sum_{n=y}^{N-1} \sum_{\forall P_{ij}} x_n^r(i, j) - BC_y \cdot \sum_{n=y}^{N-1} \sum_{\forall P_{ij}} y(e_1) \cdot x_n'(i, j))]^* \quad (2.5)$$

В даних виразах запис $[\beta]^*$ означає позитивну частину β , яка дорівнює $\max(\beta, 0)$.

$x_n^r(i, j)^k$ в (2.4) і (2.5) являє собою рішення підзадачі Лагранжа при $\delta = \delta^k$. Мінлива θ^k представляє собою довжину кроку при k -ой ітерації. Для отримання збіжності необхідний $\theta^k \rightarrow 0$ і $\sum_{j=0}^l \theta^j \rightarrow \infty$

$$\theta_{1b}^k = \frac{\lambda_k [F_{UB} - \zeta(\delta^k)]}{\|\sum_r x_n^r(i, j)^k - T_n(i, j)\|^2} \quad (2.6)$$

$$\theta_{2b}^k = \frac{\lambda_k [F_{UB} - \zeta(\delta^k)]}{\|\sum_{n=y}^{N-1} \sum_{\forall P_{ij}} x_n^l(i, j) - BC_y \cdot \sum_{n=y}^{N-1} \sum_{\forall P_{ij}} \gamma(e_1) \cdot x_n^r(i, j)\|^2} \quad (2.7)$$

В даних виразах F_{UB} являє собою верхню межу оптимального значення цільової функції, а λ_k є скалярною величиною, обраної між 0 і 2.

Спочатку, верхня межа F_{UB} є значенням цільової функції будь-якого відомого відповідного рішення задачі оптимізації. Після початку роботи алгоритму можлива зміна даного значення F_{UB} , при створенні кращого рішення (тобто менш витратного). Алгоритм починає роботу при $\lambda_k = 2$ і зменшує λ_k на коефіцієнт 2 щоразу при знаходженні кращого значення цільової функції Лагранжа. Дана процедура триває до тих пори, поки неможливо поліпшення функції при певному числі кроків, яке в нашому випадку дорівнює 4. На рис. 2.7. представлений алгоритм оптимізації, на основі множників Лагранжа. Після знаходження оптимальних множників Лагранжа, для кожного фізичного тракту розраховується $C_n(e_1)$ 'Останнім кроком є розрахунок $C_{ph}(e_1)$.

Величина MAX і ε є постійними і позначають, відповідно, максимальне число кроків і найменше значення λ_k . Обидва до ці значення використовуються як умови зупинки алгоритму оптимізації, на основі множників Лагранжа і можуть бути визначені користувачем.

Як критерій зупинки приймемо MAX = 150. іншою умовою зупинки алгоритму може бути розрахунок того, на скільки збільшився нижній межа в порівнянні з попереднім значенням межі. Алгоритм може бути зупинений при

незначному збільшенні, що говорить про те, що межа є досить хорошою. Субградієнтного оптимізація для вирішення завдання множників Лагранжа представляється досить привабливою по кількох причин. Наприклад, можна використовувати базову мережеву структуру потоків, крім того формули для зміни множників Лагранжа δ_{ab} досить прості і легко програмуються.

Алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа

Задано $\delta_{1,2}^k, \lambda_k, k = 1$

1. $\theta_{a,b}^k$ розраховується з використанням 3.6 і 3.7
2. $\delta_{a,b}^{k+1}$ розраховується з використанням 3.4 і 3.5
3. Перейти на крок 6, якщо виконується одна з наступних умов:
 - Загальна кількість кроків одно $MAX = 150$
 - $F_{UB} = \zeta(\delta^k)$
 - $\lambda_k \leq \varepsilon$
4. Якщо F_{UB} не зменшується за 4 кроку, то необхідно зменшити λ_k в 2 рази;
5. $k = k + 1$, перейти на крок 1.
6. Використовуємо значення, отримані для $x_n^r(i, j)$ і розраховуємо $C_n(e_1)$ і $C_{ph}(e_1)$ наступним чином:

$$c_n(i, j) = \sum_{\forall P_{i,j}(e_1)} x_n^r(i, j)$$

$$c_{ph}(e_1) \geq \gamma(e_1) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} c_n(e_1)$$
7. Повернення $c_{ph}(e_1)$

Рисунок 2.7. Алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа

Рішення задачі оптимізації з використанням методу множників Лагранжа може також поєднуватися з цілочисельним програмуванням для розробки поліпшеної початкової точки [53].

Оцінка складності і цінності рішення задачі оптимізації методом невизначених множників Лагранжа

Відповідь на питання про те, наскільки гарні кордону, отримані за допомогою методу невизначених множників Лагранжа залежить від конкретних умов і може бути знайдений і емпірично. У роботі [20] описуються розрахунки з використанням методу Лагранжа і наводяться дані про отримання надзвичайно вдалих кордонів. З 33 завдань мережевого проектування, вирішених в [20], 66,6% вирішені при дуже вдалих межах (точність склала 99,9%). Отже, можна зробити висновок про добротності рішення на основі множників Лагранжа.

Що стосується розрахункової складності, то загальний алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа має поліноміальною тимчасовою складністю, тобто час виконання алгоритму є функція розмірності задачі. Даний алгоритм - лінійний щодо числа кроків k . В гіршому випадку при збільшенні числа вузлів на V - число запитів між парами вузлів збільшується на V^2 . Однак якщо число Б8Р також збільшується і ставлення між числом вузлів і трактів залишиться постійним, то розрахункова складність збільшується на V^5 . Тому, можна приблизно оцінити, що загальний алгоритм має вартість $O(k \times V^5)$ [20].

2.5 Дослідження методу повторної оптимізації

Після закінчення деякого періоду часу мережевий адміністратор може вирішити перевірити точність раніше прийнятої для ділянок навантаження, використовуваної для мережевого планування. Адміністратор може використовувати алгоритм повторної оптимізації, на основі множників Лагранжа, в якому обмеження мережевих ресурсів змінні в порівнянні з вхідними даними.

Адміністратор може знайти нові значення для $C_n(e_1)$ і BC_n . Нові параметри, знайдені для моделі *algor*, будуть враховувати наявність буфера, необхідного для захисту від несправностей. Дана процедура буде повторюватися періодично для того, щоб планувати віртуальну мережу відповідно до поточної навантаженням. Зауважимо, що в методі повторного планування змінні $C_n(e_1)$ і BC_n розглядаються як цілочисельні змінні. Дана процедура досить логічна, але її можна відкинути внаслідок просторових обмежень.

Чисельний приклад оптимізації мережі IP/MPLS

Розглянемо модель мережі, показану на рис.2.8., що складається з одинадцяти вузлів. Коефіцієнти відмовостійкості каналів зв'язку, які будуть використовуватися у функції вартості, розраховуються відповідно до алгоритмом, представленим на рис. 2.5. для моделі мережі, заданої у вигляді графа на рис. 2.8.

Розглянемо $N = 3$ класів трафіку.

Визначимо матрицю M ($V \times V$), яка містить відображення топології $G(V, L)$.

Така матриця призначає тракти парам вузлів.

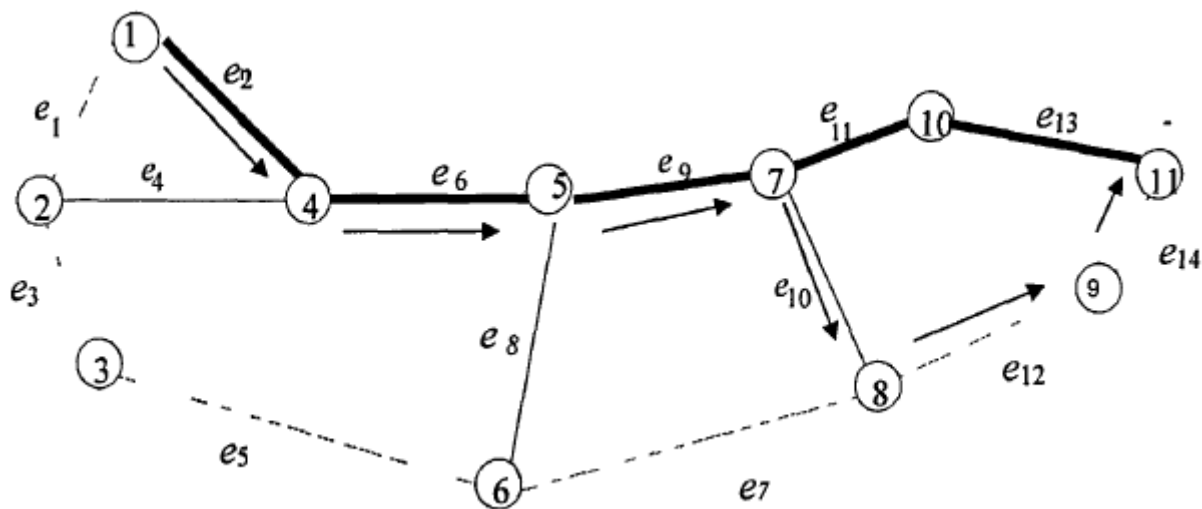


Рисунок 2.8. Мережева топологія, $G(V, L)$, де набір вузлів $V=11$, набір трактів $E=14$.

_____ LSP 1 клас _____ LSP 2 класа _____ LSP 3 клас

Елементи матриці $M(i, j)$ відповідають фізичній тракту

$e_1, \in E (e = 1, 2, \dots, 14)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	e_1	0	e_2	0	0	0	0	0	0	0
2	e_1	0	e_3	e_4	0	0	0	0	0	0	0
3	0	e_3	0	0	0	e_5	0	0	0	0	0
4	e_2	e_4	0	0	e_6	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	e_6	0	e_8	e_9	0	0	0	0
6	0	0	e_5	0	e_8	0	0	e_7	0	0	0
7	0	0	0	0	e_9	0	0	e_{10}	0	e_{11}	0
8	0	0	0	0	0	e_7	e_{10}	0	e_{12}	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	e_{12}	0	0	e_{14}
10	0	0	0	0	0	0	e_{11}	0	0	0	e_{13}
11	0	0	0	0	0	0	0	0	e_{14}	e_{13}	0

Для кожного запиту між парою вузлів, що відносяться до топології мережі, необхідно:

- Запустити алгоритм Дейкстра і визначити найкоротший шлях між джерелом і одержувачем запиту.

Найкоротший шлях визначили як: $e_2, e_6, e_9, e_{11}, e_{13}$.

- Виключаємо обраний шлях з топології і запускаємо алгоритм Дейкстра ще раз для вибору альтернативного шляху.

- Для трактів e_1 :, складових новий обраний шлях, збільшити лічильник використання тракту на одиницю :: і (e) з = 11e).

Новий альтернативний шлях визначений: $e_1, e_2, e_5, e_7, e_{12}, e_{14}$

Відкинувши e_1 , шлях піде через вершину $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_2 , шлях піде через вершини $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{11}$.

Відкинемо e_3 , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_4 , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_5 , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_6 , шлях піде через вершини $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{11}$.

Відкинемо e_7 шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_8 , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_9 , шлях піде через вершини $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{11}$.

Відкинемо e_{10} , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_{11} , шлях піде через вершини $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{11}$.

Відкинемо e_{12} , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Відкинемо e_{13} , шлях піде через вершини $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{11}$.

Відкинемо e_{14} , шлях піде через вершини $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$.

Для кожного тракту e_i , необхідно розрахувати коефіцієнти відмовостійкості у $\gamma(e_i)$.

Коефіцієнти обчислюються для кожного ребра як оцінна функція використання його в обхідних (запасних) шляхах проходження трафіку (в разі, якщо по найкоротшому шляху, через вихід з ладу будь-якого каналу зв'язку, трафік пройти не може). В роботі дана реалізація даного алгоритму на мові Паскаль і коефіцієнти, які виходять при підрахунку, розглядаються на прикладі топології представленої на рис.2.8.

В роботі розглядаються коефіцієнти відмовостійкості зв'язку, які виходять при підрахунку за допомогою трьох реалізацій. При цьому отримані вихідні дані порівнюються один з одним.

Для початку визначимо, яким способом можна відкидати шлях з топології.

1) відкидання першого ребра по шляху проходження пакету, отримуємо коефіцієнти відмовостійкості зв'язку які представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Коефіцієнти відмовостійкості зв'язку

$\gamma(e_1)$	$\gamma(e_2)$	$\gamma(e_3)$	$\gamma(e_4)$	$\gamma(e_5)$	$\gamma(e_6)$	$\gamma(e_7)$	$\gamma(e_8)$	$\gamma(e_9)$	$\gamma(e_{10})$	$\gamma(e_{11})$	$\gamma(e_{12})$	$\gamma(e_{13})$
1,26	1,20	1,17	1,14	1,17	1,20	1,29	1,23	1,23	1,34	1,00	1,11	1,26

2) відкидання по черзі всіх ребер, що входять в шлях запропонованої топології мережі, вважаючи кожен випадок окремим запитом (див. лістинг

програми додатка 4.), отримуємо коефіцієнти відмовостійкості зв'язку які представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Коефіцієнти відмовостійкості зв'язку

$\gamma(e_1)$	$\gamma(e_2)$	$\gamma(e_3)$	$\gamma(e_4)$	$\gamma(e_5)$	$\gamma(e_6)$	$\gamma(e_7)$	$\gamma(e_8)$	$\gamma(e_9)$	$\gamma(e_{10})$	$\gamma(e_{11})$	$\gamma(e_{12})$	$\gamma(e_{13})$	$\gamma(e_{14})$
1,40	1,20	1,35	1,07	1,35	1,23	1,35	1,27	1,11	1,29	1,00	1,07	1,37	1,07

3) Вибираємо випадковим чином вузол зв'язку, який «виходить з ладу» (див. лістинг програми додатка 5.), отримуємо коефіцієнти відмовостійкості зв'язку які представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Коефіцієнти відмовостійкості зв'язку

$\gamma(e_1)$	$\gamma(e_2)$	$\gamma(e_3)$	$\gamma(e_4)$	$\gamma(e_5)$	$\gamma(e_6)$	$\gamma(e_7)$	$\gamma(e_8)$	$\gamma(e_9)$	$\gamma(e_{10})$	$\gamma(e_{11})$	$\gamma(e_{12})$	$\gamma(e_{13})$	$\gamma(e_{14})$
1,07	1,037	1,1	1,045	1,1	1,037	1,1	1,12	1,037	1,07	1,037	1,046	1,037	1,1

Покладемо, що відкидання шляху з топології буде проводитися випадковим чином, також як і вибір вузла зв'язку, який «виходить з ладу».

Цей спосіб вимагає усереднення, тому що якщо один раз запусити алгоритм, то вплив випадкового фактора буде дуже велике. Але, по суті, він є найбільш реалістичною моделлю виходу з ладу шляху.

Розрахуємо запити, вважаючи, що вузли $v_1, v_2, v_5, v_6, v_9, v_{11}$ активні і мають потреба в трафіку.

Припустимо, що в даній топології $G(V, E)$ використовується три класу трафіку: CT_0, CT_1, CT_2 ($N = 3$). А обмеження пропускної здатності для даних класів трафіку одно: $BC_0 = 100\%, BC_1 = 60\%, CT_2 = 40\%$.

Взявши ймовірність того, що трафік буде знаходитися в заданих межах з ймовірністю 0,997 знайдемо $\alpha = 3$. Трафік на основі апроксимації Гаусса для кожного каналу знайдемо за формулою $T_n = \mu_n + \alpha \cdot \sigma_n$.

Виходячи з вищесказаного визначимо матрицю трафіку T ($V \times V$) і розрахуємо значення матриці трафіку (де, $V = 11$ - кількість вузлів) для кожного вузла, що входить в критичний шлях $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}, v_{11}$; $e_2, e_6, e_9, e_{11}, e_{13}$.

Розрахуємо для кожного трафіку запити на обслуговування. Для цього будуємо матрицю $R_n^{i,j}$ містить набір можливих маршрутів для запитів з вершини 1, які зведені в таблицю 2.4.

Для кожної пари вузлів задаються відповідні варіанти маршрутів. Зауважимо, що $R_k^{i,j} = R_k^{j,i}$, тому однакові варіанти опущені.

$$R_1^{15} = e_2 - e_6; e_1 - e_4 - e_6$$

$$R_3^{15} = e_2 - e_6;$$

$$R_1^{17} = e_2 - e_6 - e_9$$

$$R_3^{17} = e_2 - e_6 - e_9;$$

$$R_1^{111} = R_3^{111} e_2 - e_6 - e_9 - e_{11} - e_{13}; e_2 - e_6 - e_8 - e_7 - e_{12} - e_{14};$$

$$e_2 - e_6 - e_9 - e_9 - e_{10} - e_{11} - e_{14}; e_2 - e_4 - e_3 - e_5 - e_8 - e_9 - e_{11} - e_{13};$$

$$e_2 - e_4 - e_3 - e_5 - e_7 - e_{10} - e_{11} - e_{13}.$$

$$R_2^{111} = e_1 - e_3 - e_5 - e_7 - e_{12} - e_{14}; e_1 - e_3 - e_5 - e_7 - e_{12} - e_{14};$$

$$e_2 - e_4 - e_3 - e_5 - e_8 - e_9 - e_{11} - e_{13}; e_1 - e_4 - e_6 - e_9 - e_{10} - e_{12} - e_{14};$$

$$R_1^{14} = e_2; e_1 - e_4$$

$$R_1^{78} = e_{10};$$

$$R_2^{811} = R_3^{811} e_{12} - e_{14}; e_{10} - e_{11} - e_{13}$$

Маршрути для мережі класу 1: $v_1, v_4, v_5, v_7, v_{10}$, і e_2, e_6, e_9, e_{11} і e_{13} .
максимальне обмеження на трафік по пропускній здатності 1Гб/с.

Маршрути для мережі класу 2: $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9$ і v_{11} $e_1, e_3, e_5, e_7, e_{12}$ і e_{14} .
максимальне обмеження на трафік по пропускній здатності 2Гб/с.

Маршрути для мережі класу 3: v_1, v_4, v_5, v_7, v_9 і v_{11} і $e_2, e_6, e_9, e_{10}, e_{12}$ і e_{14} .
максимальне обмеження на трафік по пропускній здатності 4Гб/с.

Результати визначення продуктивності фізичних трактів, отримані за допомогою наведеної вище методики оптимізації графічно представлені на рис.2.9., де все тракти зі збільшенням навантаження показані товщими лініями. Евристика дає результати за 23 ітерації. Для забезпечення захисту

обслуговування, розрахована мережа володіє наступними обмеженнями пропускної спроможності: $BC_0 = 100\%$, $BC_1 = 60\%$, $BC_2 = 40\%$.

Таблиця 2.4.

Запити на обслуговування

$t_0=(1,5)=61$	$t_0=(1,7)=61$	$t_0=(1,11)=56$	$t_0=(1,4)=42$
$t_0=(7,8)=0$	$t_0=(8,11)=61$	$t_0=(5,6)=25$	$t_0=(5,7)=67$
$t_1=(1,5)=0$	$t_1=(1,7)=61$	$t_1=(1,11)=0$	$t_1=(1,4)=0$
$t_1=(7,8)=0$	$t_1=(8,11)=61$	$t_1=(5,6)=50$	$t_1=(5,7)=0$
$t_2=(1,5)=39$	$t_2=(1,7)=61$	$t_2=(1,11)=44$	$t_2=(1,4)=58$
$t_2=(7,8)=100$	$t_2=(8,11)=61$	$T_2=(5,6)=25$	$T_2=(5,7)=33$

Визначимо пропускну здатність $C_n(e_1)$ частини тракту e_1 призначеної для накладеної мережі MPLS n ; $n = 0, \dots, N-1$ (мережа MPLS для трьох класів трафіку і з урахуванням обмежень за запитами). Результати розрахунків зведені в таблицю 2.5.:

Таблиця 2.5.

Пропускна здатність на частини тракту

$C_n(e_1)$	$C_n(e_2)$	$C_n(e_3)$	$C_n(e_4)$	$C_n(e_5)$	$C_n(e_6)$	$C_n(e_7)$
230	509	512	0	512	452	384
$C_n(e_8)$	$C_n(e_9)$	$C_n(e_{10})$	$C_n(e_{11})$	$C_n(e_{12})$	$C_n(e_{13})$	$C_n(e_{14})$
512	242	441	124	185	312	110

Розрахуємо фізичну пропускну здатність і результати зведемо в таблицю 2.6.:

Таблиця 2.6.

Загальна пропускна здатність тракту

$C_{ph}(e_1)$	$C_{ph}(e_2)$	$C_{ph}(e_3)$	$C_{ph}(e_4)$	$C_{ph}(e_5)$	$C_{ph}(e_6)$	$C_{ph}(e_7)$
245	528	681	0	564	469	423

Використовуючи наведені вище розрахунки, і метод субградієнтного оптимізації знайдемо множники Лагранжа. Для кожного шляху визначаємо довжину кроку θ , для кожного класу обслуговування за формулами 2.6. і 2.7., також множники Лагранжа δ для кожного класу обслуговування за формулами 2.4. і 2.5.

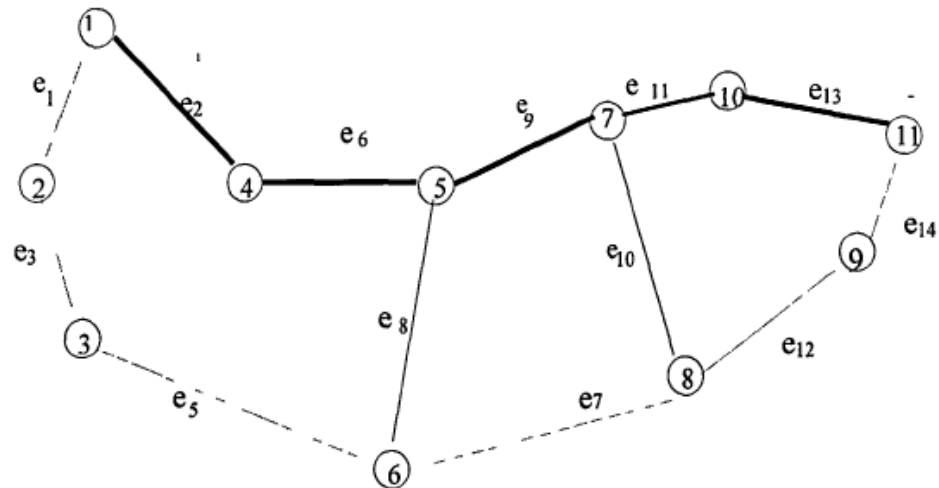


Рисунок 2.9. Топологія мережі, після визначення найкоротшого шляху

----- позначений альтернативний шлях;

----- позначений критичний шлях.

Число множників N дорівнює числу трактів $N = 14$. Значення не негативні.

Виключаємо обмеження за допомогою включення їх в інші обмеження та цільову функцію. Послаблюємо кінцеві умови обмеження.

Якщо знайдене рішення не задовольняє обмеженням, необхідно збільшити коефіцієнти (за допомогою посилення ролі відповідного множника) у змінній цільовій функції, наближаючи тим самим рішення до оптимуму.

Розрахуємо пропускну здатність на всіх ребрах за формулою:

$$C_n(e_2) = \sum_{\forall P_{i,j}(e_1)} x_n^r(i,j)$$

З урахуванням коефіцієнтів відмовостійкості на кожному тракті отримаємо:

$$C_{ph}(e_1) = \gamma(e_1) \times C_n(e_1)$$

Результати розрахунків зведемо в таблиці 2.7. і 2.8.

Таблиця 2.7.

Оцінимо впливу результати розрахунків $C_n(e_1)$

$C_n(e_1)$	$C_n(e_2)$	$C_n(e_3)$	$C_n(e_4)$	$C_n(e_5)$	$C_n(e_6)$	$C_n(e_7)$
1024	1707	1140	0	1012	1101	1428
$C_n(e_8)$	$C_n(e_9)$	$C_n(e_{10})$	$C_n(e_{11})$	$C_n(e_{12})$	$C_n(e_{13})$	$C_n(e_{14})$
962	1421	1058	1037	1010	840	1006

Таблиця 2.8.

Розрахунок пропускної спроможності з урахуванням коефіцієнтів
відмовостійкості $\gamma(e_1)$

$C_{ph}(e_1)$	$C_{ph}(e_2)$	$C_{ph}(e_3)$	$C_{ph}(e_4)$	$C_{ph}(e_5)$	$C_{ph}(e_6)$	$C_{ph}(e_7)$
1229	1771	1198	0	1137	1141	1526
$C_{ph}(e_8)$	$C_{ph}(e_9)$	$C_{ph}(e_{10})$	$C_{ph}(e_{11})$	$C_{ph}(e_{12})$	$C_{ph}(e_{13})$	$C_{ph}(e_{14})$
1078	1472	1126	1097	1056	958	1021

3 ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОСЛІДЖЕНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖІ MPLS

3.1 Аналіз особливостей розробки і реалізації програмного середовища

Вся світова індустрія засобів розробки додатків рухається в напрямку максимального спрощення процесу створення програм, переклад його на візуальний рівень. Це дозволяє програмісту зосередитися тільки на логіці розв'язуваної задачі. У такому контексті система Delphi представляється середовищем, близькою до ідеальної. Комфортне місце розробника поєднується з безліччю технологій, інтегрованих в середу. прикладному програмісту досить розуміти базові принципи ЦИХ технологій, а весь допоміжний програмний код система Delphi 7.0. згенерує автоматично.

В системі Delphi 7.0. використовується мова Object Pascal, на якому ведеться розробка додатків.

Перед тим, як почати складати програму, треба попередньо продумати (Найкраще, записати на папері) алгоритм її роботи, що представляє собою суворе, Формальне, а не допускає неоднозначностей і двозначності опис процесу рішення задачі. Після того як алгоритм готовий, на його основі і складається (кодується) програма.

Процес створення алгоритму - найважливіший. Якщо тут допущені помилки, то усунути їх на етапі кодування досить важко. Оригінальний текст програми автоматично переводиться в набір інструкцій процесора за допомогою спеціальної програми, зване компілятором. У середовищі Delphi 7.0 для цього досить виконати всього одну команду або натиснути одну кнопку. Процес компіляції - перекладу (трансляції) вихідного тексту в конкретні команди процесора виконується дуже швидко. в секунду програма-компілятор аналізує і транслює тисячі термін вихідного коду. Середовище Delphi 7.0 представляє собою

інтегровану оболонку розробника, в яку входить набір спеціалізованих програм, відповідальних за різні етапи створення готового додатка рис. 3.1.

Оригінальний текст програми готується в середовищі Delphi за допомогою вбудованого редактора вихідних текстів. Цей редактор спеціалізований. Він відрізняється гнучкими можливостями кольорового виділення різних елементів тексту програми (ключових слів, назв, операцій, чисел і рядків) і надає можливість швидкого введення часто зустрічаються конструкцій.

Ліва панель редактора являє собою Провідник, що дозволяє швидко переміщатися між частинами вихідного тексту і по структурі створюваної програми.

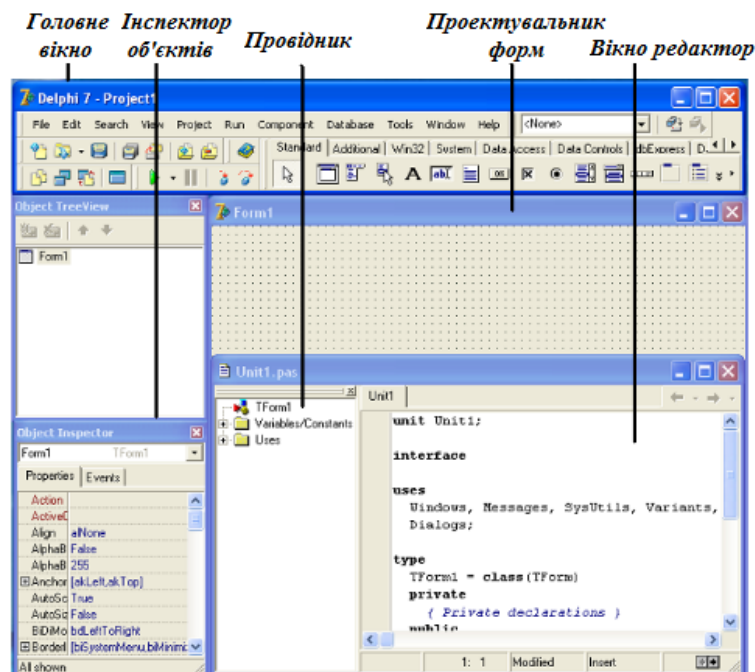


Рисунок 3.1. Основне вікно програмного середовища Delphi

Найважливіша характеристика розроблюваної програми - зручність її призначеного для користувача інтерфейсу, наявність і доступність необхідних елементів управління. В системі Delphi 7.0 є спеціальний проектувальник форм, з допомогою якого вікна майбутньої програми готуються у вигляді форм.

Проектувальник дозволяє підібрати оптимальні розміри вікон, розмістити і налаштувати всілякі елементи управління і меню, додати готові зображення, вказати заголовки, підказки, підписи і так далі.

На етапі проектування форм програма як би складається з готових компонентів - частин машинного коду, які можна додавати до неї з допомогою всього декількох клацань миші. Компоненти розташовуються на палітрі компонентів, розділеної на кілька самостійних панелей рис. 3.2.

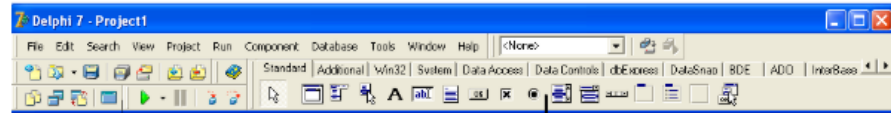


Рисунок 3.2. Палітра компонентів

Компоненти володіють наборами властивостей, що характеризують їх відмінні особливості. Деякі властивості є практично у всіх компонентах - таке, наприклад, властивість Name (Ім'я). Інші властивості, наприклад Caption (Заголовок) є у більшості компонентів – адже заголовок необхідний і для вікна, і для кнопки. Деякі властивості унікальні для конкретних компонентів, наприклад SimpleText (Простий текст), що містить текст для компонента Рядок стану.

Властивості компонентів в процесі проектування форми налаштовуються з допомогою Інспектора об'єктів. Це спеціальна програма, що показує список всіх властивостей даного компонента, відсортованих за категоріями або в алфавітному порядку.

Значення будь-якої властивості можна змінити, ввівши у відповідне поле Інспектора об'єктів новий рядок або вибравши потрібне значення в розкриваючому списку доступних значень. Деякі властивості містять вкладені підвластивості, наприклад властивість Font (Шрифт) характеризується розміром, стилем, кольором, гарнітурою. Такі властивості зручніше редагувати з допомогою спеціальних редакторів, як стандартних (шрифт), так і спеціально розроблених для конкретного компонента.

Крім властивостей, компоненти містять методи - програмний код, який обробляє значення властивостей (наприклад, встановлює перемикач в потрібне положення), а також події - повідомлення, які компонент приймає від додатка, якщо під час роботи програми виконується певну дію (наприклад, змінюється

стан прапорця). Програміст може самостійно формувати реакції програми на будь-які події кожного компонента.

Правильно підбираючи компоненти і налаштовуючи їх спільну роботу шляхом використання властивостей, призначених для зв'язку компонентів один з одним, нерідко вдається створити додаток, не написавши вручну жодного рядка вихідного тексту. В системі Delphi існують сотні готових компонентів, і при вирішенні багатьох завдань буває корисно попередньо пошукати потрібний компонент (Наприклад, в Інтернеті) замість того, щоб виконувати роботу по програмуванню, можливо, вже зроблену іншими людьми. Компонентний підхід до створення програм дозволяє повторно використовувати готові розробки і в багатьох випадках значно підвищує ефективність праці.

За допомогою системи Delphi можна створювати не тільки звичайні програми (EXE-файли), але і спільні бібліотеки DLL (своєрідні сховища коду і ресурсів), нові елементи управління, а також компоненти, що відповідають вимогам різних стандартів на компонентні технології (COM, ActiveX, CORBA і так далі).

Потреба в ручному програмуванні виникає, тільки коли обійтися готовими компонентами не вдається. У наведеному вище прикладі поля введення A1, A2 і поле для виведення підсумкового результату A3 можна представити у вигляді стандартних компонентів Delphi, але щоб виконати додавання введених чисел, необхідний відповідний оператор в тексті програми, спрацьовує, наприклад, одним помахом на компоненті-кнопці.

3.2 Призначення програми для визначення оптимального дизайну LSP та опис п модуля для визначення оптимального дизайну

Програма розроблена і реалізована для оптимізації розподілу трафіку. Вона дозволяє виконати лінійне програмування з використанням симплекс методу і розрахувати пропускну здатність і вартісні коефіцієнти навантаження на кожен

LSP з використанням евристичного методу. Програма дозволяє детально досліджувати дані методи і практично опрацювати.

Перевагою цієї програми є, то що, її можна використовувати в автоматичному режимі і немає необхідності вручну виконувати величезну кількість обчислень, які лежать в основі більшості алгоритмів дослідження операцій.

Програма є самодостатньою системою, в тому сенсі, що всі інструкції та пояснення необхідні для роботи з цією програмою, укладені в назвах пунктів меню, командних кнопок, опцій і інших елементів управління.

Програмою передбачено:

- визначення структури мережі: з використанням матриці каналів по пропускної здатності, коефіцієнти вартості;
- матриці ваг;
- трафік матриці визначає навантаження на ребра мережі;
- матриці потоків, для визначення типу потоку з урахуванням пропускної здатності і вартості а також з урахуванням Quality of Service.

Генерація структури мережі і трафік матриці здійснюється випадковим чином.

Перед тим, як приступити до опису програмного модуля, необхідно відзначити певні особливості програмування в Delphi. У Delphi 7.0., як вже згадувалося, використовується мова програмування Паскаль. Паскаль є процедурним мовою програмування. Це означає, що для вирішення якоїсь частини завдання використовується окремий блок програми, який викликається в міру необхідності. Чудове його властивість полягає в тому, що його можна викликати багаторазово і передавати йому різні вхідні дані. Такою блок називається процедурою.

У Delphi також введено поняття модуля. Модуль - це набір функціонально об'єднаних процедур і функцій. Розрізняють модулі програмні та модулі форми. Модулі форми - відповідають за роботу одного з вікон програми.

Програмний модуль призначений тільки для обробки будь-яких завдань.

Розглянута програма складається з двох алгоритмів:

1. Алгоритм симплекс-метод знаходить оптимальне рішення, розглядаючи обмежена кількість допустимих базисних рішень. Рішення симплекс - методу лежить через опис найкоротших точок, просторових рішень.

Для цього, спочатку необхідно перетворити нерівність обмежень в рівність шляхом введення додаткових змінних.

Основна властивість симплекс-методів полягає в тому, що завдання лінійного програмування здійснюється ітераційно. На кожній ітерації алгоритм переходить до нової кутовій точці, яка потенційно може поліпшити значення цільової функції. Цей процес переходу від однієї кутової точки до наступного закінчується, коли подальше поліпшення значень цільової функції неможливо.

Процес реалізації симплекс-методу включає велику кількість однотипних, громіздких і утомливих обчислень. Це робить комп'ютер незамінним інструментом для вирішення завдань лінійного програмування, оскільки обчислювальний алгоритм симплекс-методу дозволяє порівняно легко автоматизувати обчислення.

2. Евристичний метод, забезпечує швидку зміну дизайну LSP і вибір оптимального дизайну LSP. Пропонований програмою алгоритм розглядає не кожне окремо узятє вимога окремо на розподіл потоків, а все одночасно, визначаються в трафік-матриці. Вибір найкоротшого шляху, здійснюється з використанням алгоритму Дейкстра. Вибір оптимального шляху визначається на основі пропускнуої здатності і вагових коефіцієнтів, а навантаження визначена в трафік - матриці, на кожні ребра мережі.

Brocade Network Advisor це нова універсальна система управління мережами IP і SAN яка об'єднує в собі функціонал популярних додатків Brocade Iron View Network Manager і Data Center Fabric Manager. Це єдиний додаток, яке може використовуватися для одночасного управління мережами передачі даних, мережами зберігання, бездротовими мережами, мережами операторів і мережами доставки контенту. Brocade Network Advisor пропонує єдиний підхід до

управління конвергованої мережею, незалежно від типів встановленого обладнання і використовуваних протоколів, будь то FC, FCoE, IP або MPLS.

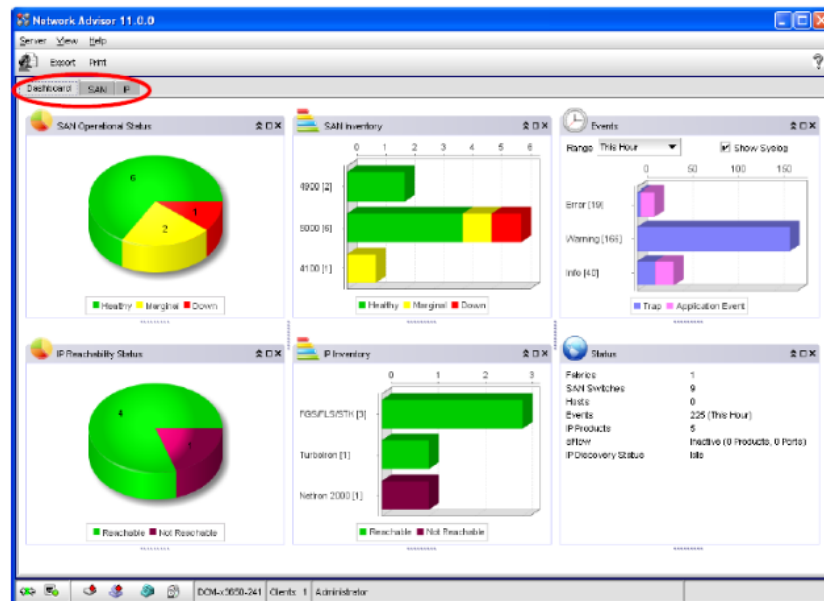


Рисунок 3.3. Інтерфейс програми Brocade Network Advisor

Network Advisor дозволяє управляти мережею будь-якого розміру від декількох комутаторів до глобальних розподілених мереж включають десятки тисяч пристроїв різного призначення. Завдяки наявності функції розподілу повноважень Role-Based Access Control (RBAC) додаток дає можливість гнучко розмежувати права адміністраторів відповідають за різні сегменти мережевої інфраструктури.

Набір інструментів доступних в складі Brocade Network Advisor включає:

- Intelligent Dashboard: Висновок сумарною інформації про всі виявлені в мережі пристроях.

- User Management: Налаштування ролей адміністраторів системи за допомогою Role-Based Access Control (RBAC) для управління пристроями SAN і IP.

- Security Management: Гнучка настройка безпеки і засобів розмежування доступу Authentication, Authorization, and Accounting (AAA) і інтеграцією з RADIUS, Active Directory, і TACACS +.

- Configuration Management: утиліта для одночасної настройки груп пристроїв.
- Command Line Interface (CLI): Інтерфейс для налаштування конфігурацій через готові шаблони для командного рядка.
- Comprehensive SAN Management: утиліта для настройки та управління FC пристроїв включаючи тунелі Fibre Channel over IP (FCIP), Fibre Channel Routing, FICON, а так само Brocade DCX Directors.
- Application Delivery Management: Управління комутаторами доставки додатків Brocade, включаючи настройку Virtual IP (VIP), SSL-сертифікатів і глобальної балансування навантаження (Global Server Load Balancing).
- MPLS Management: утиліта з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом для управління сервісами MPLS, включаючи MPLS Virtual Private LAN Services (VPLS), Label Switched Path (LSP), Local VPLS, MPLS Virtual Leased Line (VLL), і Local VLL.
- Flexible Reporting: Включає Report Manager - настраюється утиліту для створення звітності і набір заздалегідь налаштованих звітів для отримання детальної інформації про знайдені в мережі пристроях.
- Event Management: Система управління подіями дозволяє виявляти і вирішувати проблеми в мережі за рахунок збору і аналізу інформації одержуваної через SNMP і Syslog.
- Change Management: організації можуть відслідковувати зміни в конфігурації пристроїв, з можливістю перегляду пошуку і відновлення конфігураційних файлів. Резервні копії конфігурацій можуть виконуватися вручну або автоматично.
- Automated Call Home: функція автоматичного збору системної інформації з пристроїв Brocade і відправлення повідомлення для швидкої діагностики, ізоляції проблем при необхідності підключення віддаленої підтримки.
- Performance Monitoring: Використання вбудованої в IP обладнання Brocade апаратної підтримки sFlow для онлайн моніторингу та збору статистики без зниження продуктивності мережі. Для всіх комутаторів Brocade SAN

забезпечується детальний моніторинг завантаження портів і досягнення порогових значень для оптимізації продуктивності мережі, забезпечення доступності і своєчасного включення пріоретизації QoS для відповідальних додатків.

- Traffic Analyzer: аналіз мережевих трендів, управління і моніторинг звітністю sFlow для всіх IP-пристроїв.

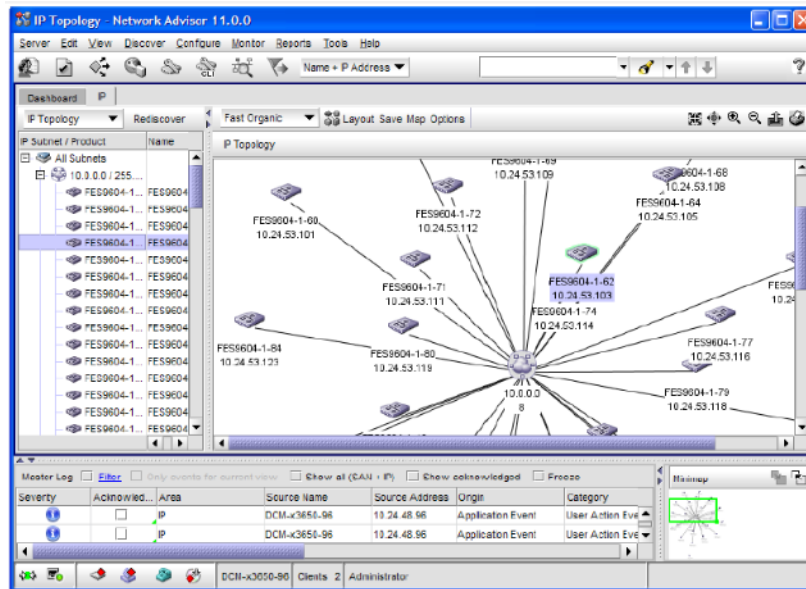


Рисунок 3.4. Генерація структури мережі

Brocade Network Advisor сумісний з пристроями третіх виробників, які підтримують стандартні SNMP MIB-и. Підтримується моніторинг пристроїв, відображення в загальній топології мережі, а так само працюють деякі інші утиліти входять до складу програми, що дозволяє організаціям, що мають в мережі обладнання декількох вендорів, отримувати повну картину мережі в процесі міграції на обладнання Brocade.

3.3 Результати моделювання оцінки параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS

Середовище Інтернет виступає в ролі мережі доступу в режимі реального часу для додатків, які працюють в режимі реального часу. Основний критерій

роботи для таких додатків визначається в першу чергу їх функціональним призначенням - передача відео і аудіо трафіку. Основна вимога до мереж, на яких розгорнуті мережеві архітектури з підтримкою трафіку реального часу - мінімально можлива тимчасова затримка при передачі пакетів від джерела до споживача. Такі додатки оперують даними, які мають малий розмір пакета, але більшу інтенсивність передачі. Ці додатки вимагають широку пропускну здатність каналу для того, щоб забезпечити необхідні затримки, і даний показник не відноситься до підвищення економічної ефективності. Для дослідження параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS була розроблена імітаційна модель, що розгортається на персональному комп'ютері. В інтерактивних додатках при передачі трафіку в реальному часі, загальна затримка в одному напрямку повинна бути коротка, щоб дати додатком стану on-line.

В рамках даного дослідження необхідно виміряти параметри якості обслуговування (затримка, джитер, втрати пакетів) при проходженні трафіку через мережу MPLS із застосуванням:

- 1) визначеного LSP представленими методиками в роботі;
- 2) при побудові LSP на базі OSPF протоколу;
- 3) при побудові LSP на базі RSVP протоколу;

В Сценарії 1 MPLS реалізується шляхом створення LSPs, і визначення того, що трафік призначається відповідним LSP. Перед тим як LSPs налаштовані, статус MPLS на інтерфейсах, які працюють з протоколом OSPF основних маршрутизаторів, встановлюється для включення. Прикордонні маршрутизатори, LER1 і LER2 розглядаються як джерело і призначення LSP відповідно.

Порівняти отримані результати та зробити висновок про доцільність застосування запропонованих методики на мережі MPLS.

Досліджувана мережа представлена на рис. 3.5.

Налаштування Jperf. Створити штучне навантаження для тестування каналів зв'язку дозволяє програма Jperf. Вона часто застосовується операторами та Інтернет-провайдерами. Дана утиліта є

кросплатформеною, тобто працює на різних операційних системах. В досліджуваній імітаційній моделі Jperf використовується з метою імітування трафіку користувачів.

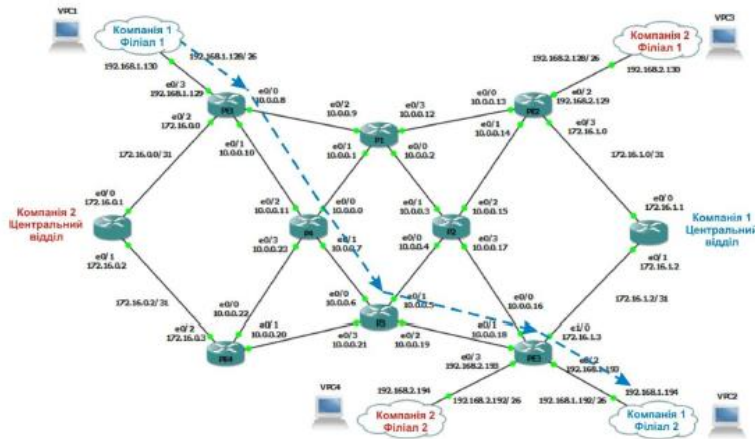


Рисунок 3.5. Досліджувана MPLS-мережа, де: CE1/2 – граничне обладнання користувача, ELSR1/2 – граничне обладнання провайдера (MPLS-мережі)

Схема, що демонструє роль Jperf в імітаційній моделі показана на рис. 3.6.

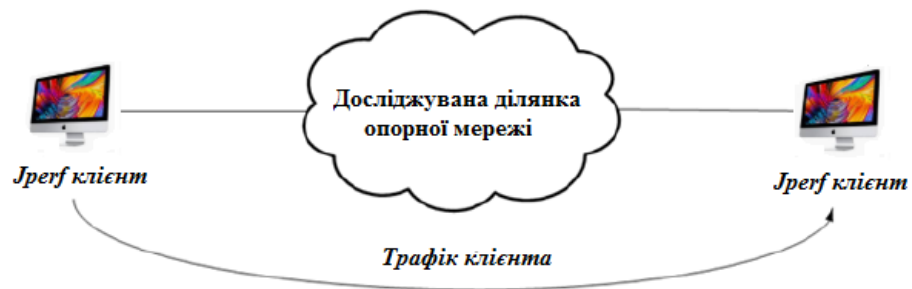


Рисунок 3.6. Принцип генерування трафіку за допомогою Jperf

Jperf застосовують для генерування трафіку по протоколам TCP та UDP.

При генеруванні тестового UDP-трафіку є можливість гнучко налаштувати:

- довжину пакетів, що передаються;
- швидкість передачі інформації;
- роботу на односторонніх каналах;

Jperf дозволяє створити декілька паралельних потоків трафіку, передаючи потоки даних на різні порти. Параметри конфігурації наведені в Додатку Д. На рис. 3.7. представлено «відловлений» за допомогою Wireshark один з кадрів MPLS, що передаються по MPLS-мережі від точки 1 до точки 2. Кадр містить одну мітку MPLS, значення мітки – 19.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
59	46.8056770	10.10.10.10	20.20.20.20	LDP	72	Keep Alive Message
60	46.8256780	20.20.20.20	10.10.10.10	TCP	60	53205 > 1dp [ACK] Seq=19 Ack=19 win=4092 Len=0
61	46.9356840	10.10.10.10	40.40.40.40	LDP	80	Hello Message
62	47.7497310	10.10.10.10	40.40.40.40	ICMP	68	Echo (ping) request id=0x0019, seq=0/0, ttl=255
63	47.7797330	10.10.10.10	40.40.40.40	ICMP	68	Echo (ping) request id=0x0019, seq=1/256, ttl=255

Field	Value
MultiProtocol Label Switching Header	Label: 19, Exp: 0, S: 1, TTL: 255
0000 0000 0000 0001 0011	= MPLS Label: 19
..... 000.	= MPLS experimental bits: 0
..... 1	= MPLS Bottom Of Label Stack: 1
..... 1111 1111	= MPLS TTL: 255

Рисунок 3.7. «Відловлений» кадр з міткою MPLS

На рис.3.8. представлено «відловлений» один з RSVP-пакетів MPLS-мережі, у тунелі LSP1 із зарезервованою смугою пропускання рівною 512 кбіт/сек.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
140	109.994291	ca:00:0c:78:00:1d	ca:00:0c:78:00:1d	LOOP	60	Reply
141	110.184301	1.1.1.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
142	110.784335	1.1.1.2	224.0.0.2	LDP	76	Bad Message Length
143	117.944416	10.10.10.10	40.40.40.40	LSP	147	RSVP Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 40.40.40.40, Tunnel ID 0, Exp ID 0x0000.
144	117.944416	10.10.10.10	40.40.40.40	LDP	80	Hello Message
145	112.834453	1.1.1.1	224.0.0.5	OSPF	94	Hello Packet

Field	Value
Resource Reservation Protocol (RSVP)	RSVP Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 40.40.40.40, Tunnel ID 0, Exp ID 0x0000.
Length	147
object class	SESSION object (1)
C-type	7 - IPv4 LSP
destination address	40.40.40.40 (40.40.40.40)
tunnel id	0
extended tunnel id	168430060 (10.10.10.10)

Рисунок 3.8 «Відловлений» пакет із RSVP-каналу

Переконаємося в тому, що трафік між клієнтами філій пересувається маршрутом, зображеним на рис.3.5. Для цього достатньо скористатися утилітою tracer, яка надає користувачу інформацію про порядок проходження маршрутизаторів всередині мережі. Виконаємо цю операцію для прямого та

зворотного трафіку. Із результатом роботи утиліти можна ознайомитися на рисунку 3.9. і рисунку 3.10 для прямого та зворотного трафіку відповідно.

```

C:\Program Files\GNS3\vpccs.exe
VPCS[3]> 1
VPCS[1]> tracert 192.168.1.194
tracert to 192.168.1.194, 64 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  192.168.1.129    29.000 ms  33.000 ms  18.000 ms
 2  10.0.0.11       131.000 ms 104.000 ms  82.000 ms
 3  10.0.0.6        133.000 ms 121.000 ms 114.000 ms
 4  192.168.1.193   159.000 ms  65.000 ms 155.000 ms
 5  192.168.1.194   80.000 ms 110.000 ms 126.000 ms
VPCS[1]>

```

Рисунок 3.9. Результат роботи утиліти tracert на віртуальному комп'ютері

```

C:\Program Files\GNS3\vpccs.exe
VPCS[2]> tracert 192.168.1.130
tracert to 192.168.1.130, 64 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  192.168.1.193   55.000 ms  79.000 ms  22.000 ms
 2  10.0.0.19       191.000 ms 194.000 ms 167.000 ms
 3  10.0.0.7        427.000 ms 219.000 ms 165.000 ms
 4  192.168.1.129   224.000 ms 220.000 ms 173.000 ms
 5  192.168.1.130   179.000 ms 245.000 ms 180.000 ms
VPCS[2]>

```

Рисунок 3.10. Результат роботи утиліти tracert на віртуальному комп'ютері

Таким чином, легко впевнитися, що маршрут трафіку в прямому та зворотному напрямку пролягає саме через маршрутизатори PE1, P4, P3, PE3.

Для реалізації механізму перерозподілу трафіку було сконфігуровано тунель перерозподілу трафіку між маршрутизаторами PE1 та PE3, який проходить через маршрутизатори P1, P2 обхідного шляху. До певного часу цей тунель є адміністративно вимкненим і не використовується, але крайові маршрутизатори знають про них. Це можна побачити на рисунку 3.11.

```

Dynamips(6):PE1 Console port
PE1#show mpls traffic-eng tunnels tun1
Name: PE1-1 (Tunnell) Destination: 10.0.2.3
Status:
Admin: admin-down Oper: down Path: not valid Signalling: Down
path option 1, type explicit 1

Config Parameters:
Bandwidth: 500 Kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF
Metric Type: TE (default)
AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 500 bw-based
auto-bw: disabled

Shortest Unconstrained Path Info:
Path Weight: 30 (TE)
Explicit Route: 10.0.0.10 10.0.0.11 10.0.0.7 10.0.0.6
10.0.0.19 10.0.0.18 10.0.2.3

Tunnel:
Time since created: 4 hours, 28 minutes
Time since path change: 1 minutes, 55 seconds
Prior LSP:
ID: path option 1 [3]
Removal Trigger: tunnel shutdown
PE1#

```

Рисунок 3.11. Крайовий маршрутизатор про тунель перерозподілу трафіку

Відмітимо, відомості про тунель. Ключовими з них є точка призначення (Destination:10.0.2.3), відомості про вимкнення тунелю (admin-down). До параметрів конфігурування тунелю відносяться: зарезервована полоса пропускання, пріоритетність серед інших тунелів, ідентифікатор тунелю. Також у відомостях про тунель зазначений явний маршрут, який і використовується.

При аналізі побудови LSP-маршрутів на основі викладеної методики, необхідно перерозподілити трафік в мережі, направивши трафік від PE1 до PE3 через тунель. Для цього вмикається тунель LSP рисунок 3.12.

```

Dynamips(6):PE1 Console port
PE1#config terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
PE1(config)#interface tunnel 1
PE1(config-if)#no shutdown
PE1(config-if)#
*Mar 1 21:36:28.514: %LINK-3-UPDOWN: Interface Tunnell, changed state to up
*Mar 1 21:36:29.514: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnell, c
changed state to up
PE1#

```

Рисунок 3.12. Ввімкнення тунелю перерозподілу трафіку

Варто зауважити, що ввімкнення тунелю є односторонньою процедурою. Тому команда на рис. 3.9. викликає перерозподіл трафіку від PE1 до PE3 в той час, як трафік зворотному напрямі не змінює маршрут. Проілюструємо за допомогою рисунку 3.10. новий маршрут трафіку по мережі MPLS.

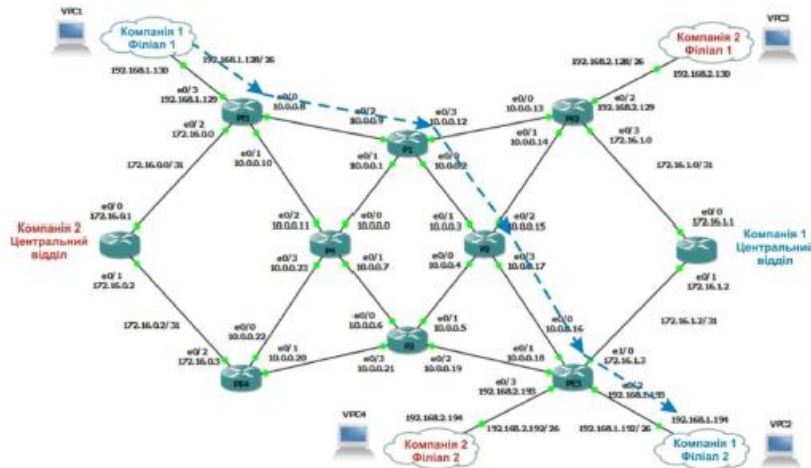


Рисунок 3.13. Графічна ілюстрація нового маршруту трафіку

Даний шлях обраний на основі розрахунків в попередніх розділах роботи. Варто звернути увагу на те, що перерозподіл відбувається в декілька етапів.

Етап 1. Від VPC1 до PE1 зловлений пакет є пакетом IP, що відображено в заголовку канального рівня Ethernet (Type = 0x0800). Також можна побачити, заголовок мережевого рівня IP, який характеризується версією, довжиною, типом та інше. Варто звернути увагу на те, що тип протоколу – ICMP, що характерно для утиліти ping, а сам пакет являє собою запит (type 8 - request).

```

No.  Time  Source      Destination  Protocol  Info
-----
1  0.000000  192.168.1.130  192.168.1.194  ICMP      Echo (ping) request  (10=0x0010, seq=0x/10)=1/256, ttl=64)
-----
0  Frame 16: 62 bytes on wire (496 bits), 62 bytes captured (496 bits) on e0/0
    Interface: e0/0, Src: Private-80:08:00:00:00:00:79:08:08:00:00:00, Dst: cc:08:08:00:00:00:00:00:00:00:00:00
    Destination: cc:08:08:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00 (cc:08:08:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00)
    Source: Private-80:08:00:00:00:00:79:08:08:00:00:00 (80:08:00:00:00:00:79:08:08:00:00:00)
    Type: IP (0x0800)
    Internet Protocol Version 4: Src: 192.168.1.130 (192.168.1.130), Dst: 192.168.1.194 (192.168.1.194)
    Version: 4
    Header Length: 20 bytes
    Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP Ds0: Default; ECN: 0x00)
    Total Length: 48
    Identification: 0x1e4b (7755)
    Flags: 0x02 (don't fragment)
    Fragment Offset: 0
    Time to Live: 64
    Protocol: ICMP (1)
    Header checksum: 0x97ad [correct]
    Source: 192.168.1.130 (192.168.1.130)
    Dst: 192.168.1.194 (192.168.1.194)
    Internet Control Message Protocol
    Type: 8 (Echo (ping) request)
    Code: 0
    Checksum: 0x022c [correct]
    Identifier: 0x0001
    Sequence Number: 1 (0x0001)
    Sequence Number (L4): 256 (0x0100)
    Data (0 bytes)
    Data: 0800000000000f101112131415161718191a1b
    [Length: 20]
-----
0000  CC 08 00 00 00 00 00 79 08 08 00 00 00 45 00  .....P yPh...L
0010  00 14 00 00 00 00 87 00 00 00 82 02 00 00 00 00  .....B .....
0020  01 C2 08 00 02 2c 4b 16 00 03 08 09 04 0c 0d 0d  .....M .....
0030  0e 0f 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 1a 1b  .....

```

Рисунок 3.14. Вигляд пакету що надійшов від Virtual PC1

Етап 2. Від PE1 до P1. Маршрутизатор PE1 був першим маршрутизатором в мережі провайдера, тобто перший, на якому використовується технологія MPLS, і першим в сформованому тунелі. Перевіримо, як змінилися дані в пакеті після проходження PE1 рис. 3.15.

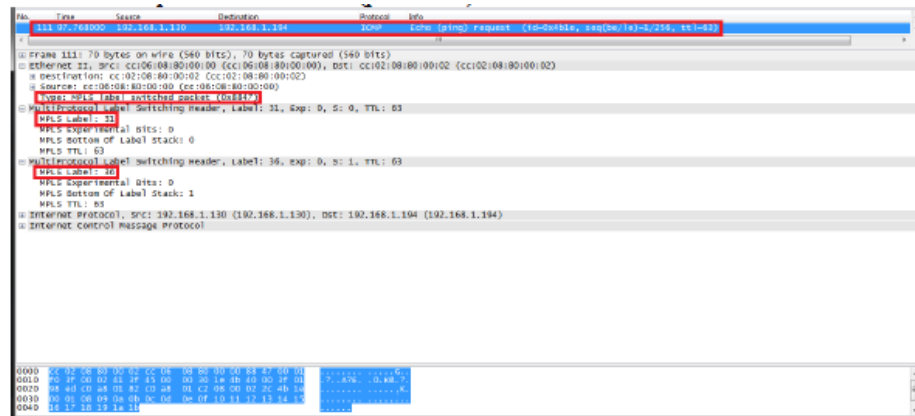


Рисунок 3.15. Вигляд пакету на виході крайового маршрутизатора PE1

Звернемо увагу на тип пакету, що вказується в заголовку канального рівня (0x8847- MPLS label switched packet). Видно, що між заголовками канального та мережевого рівня з'явився заголовок MPLS. Він містить в собі стек міток MPLS. Перша з них (31) є засобом маршрутизації пакету всередині прокладеного тунелю і є саме тою міткою 31, яку отримав маршрутизатор в пакеті RSCP-RESV рисунок 3.12. Друга мітка (36) слугує для ідентифікації приватної мережі VPN. Також можна побачити ідентифікатори кінця стеку (0 в першому, та 1 в другому заголовку) та час життя, що використовується для запобігання утворення петель. Таким чином, можемо засвідчитися, що маршрутизація в мережі тепер виконується не просто завдяки заголовку MPLS, що знаходиться між канальним та мережевим рівнями, а ще й за маршрутом, який був прокладений та зарезервований при запуску тунелю.

Етап 3. Від P1 до P2. Хоча, маршрутизатор P1 на цьому етапі виконує заміну мітки, але мітка залишається незмінною (31), що є характерним для сформованого тунелю, в чому можемо пересвідчитися на рис. 3.16.



Рисунок 3.16. Вигляд пакету на виході маршрутизатора P1

Підтвердженням саме такої роботи маршрутизатора слугує його таблиця пересилання за міткою, яку можна побачити на рисунку 3.14. Видно, що при надходженні пакету із міткою 31, маршрутизатор пересилає пакет на свій нульовий інтерфейс маршрутизатору із адресою 10.0.0.3, при цьому не змінюючи мітку (Outgoing tab 31).

Етап 4. Від P2 до PE3. Проаналізуємо за допомогою аналізатору протоколів вигляд пакету на шляху між цими двома маршрутизаторами.

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop tag	10.0.0.12/31	0	Eto/1	10.0.0.0
17	Pop tag	10.0.0.10/31	0	Eto/2	10.0.0.0
18	Pop tag	10.0.0.6/31	0	Eto/1	10.0.0.0
19	21	10.0.0.10/31	0	Eto/0	10.0.0.3
	16	10.0.0.12/31	0	Eto/1	10.0.0.0
20	Pop tag	10.0.0.4/31	0	Eto/0	10.0.0.3
21	23	10.0.0.18/31	0	Eto/0	10.0.0.3
	15	10.0.0.18/31	0	Eto/1	10.0.0.0
22	25	10.0.1.3/32	0	Eto/0	10.0.0.3
	20	10.0.1.3/32	1068	Eto/1	10.0.0.0
23	Pop tag	10.0.1.4/32	0	Eto/1	10.0.0.0
24	Pop tag	10.0.2.1/32	0	Eto/2	10.0.0.0
25	22	10.0.2.4/32	0	Eto/1	10.0.0.0
26	Pop tag	10.0.0.14/31	0	Eto/3	10.0.0.13
	Pop tag	10.0.0.14/31	0	Eto/0	10.0.0.3
27	Pop tag	10.0.0.18/31	0	Eto/0	10.0.0.3
28	Pop tag	10.0.1.2/32	0	Eto/0	10.0.0.3
29	Pop tag	10.0.2.2/32	36598	Eto/3	10.0.0.13
30	30	10.0.2.3/32	12040	Eto/0	10.0.0.3
31	31	10.0.1.1/31	0	Eto/0	10.0.0.3

Рисунок 3.17. Таблиця пересилання за міткою маршрутизатора P1

Як бачимо на рис. 3.17., хоча пакет ще залишається пакетом MPLS, з нього було видалено верхню мітку. Так відбувається через процедуру витіснення мітки на передостанньому переході. Щоб впевнитися у вірності такого припущення перевіримо таблицю пересилання за міткою маршрутизатора P2 рис. 3.18. В цій

таблиці встановлено відповідність між приходом пакету із міткою 31 та її видаленням при пересиланні пакету на третій інтерфейс маршрутизатору із адресом 10.0.0.16.

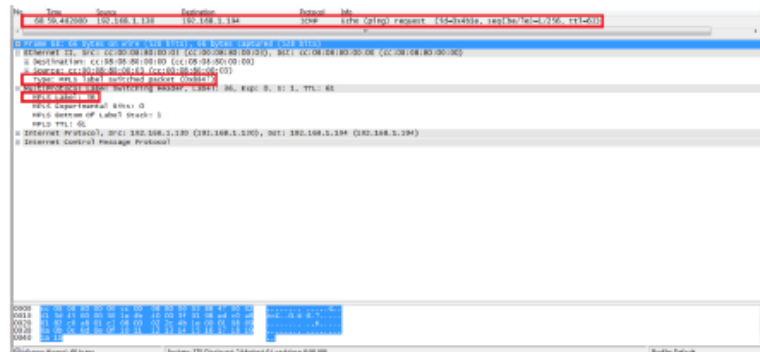


Рисунок 3.18. Вигляд пакету після проходження другого маршрутизатора P2

Мітка що залишилися автоматично стала верхньою і досі є ідентифікатором віртуальної приватної мережі, який буде аналізуватися на крайньому маршрутизаторі.

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop tag	10.0.0.8/31	0	Eto/1	10.0.0.2
17	Pop tag	10.0.0.0/31	0	Eto/1	10.0.0.2
18	18	10.0.0.22/31	0	Eto/0	10.0.0.5
18	18	10.0.0.22/31	0	Eto/1	10.0.0.2
19	Pop tag	10.0.0.6/31	0	Eto/0	10.0.0.5
20	18	10.0.0.10/31	0	Eto/0	10.0.0.5
20	17	10.0.0.10/31	0	Eto/1	10.0.0.2
21	Pop tag	10.0.0.20/31	0	Eto/0	10.0.0.5
22	Pop tag	10.0.0.12/31	0	Eto/2	10.0.0.14
22	Pop tag	10.0.0.12/31	0	Eto/1	10.0.0.2
23	Pop tag	10.0.0.18/31	0	Eto/3	10.0.0.16
23	Pop tag	10.0.0.18/31	0	Eto/0	10.0.0.5
24	Pop tag	10.0.1.1/32	0	Eto/1	10.0.0.2
25	Pop tag	10.0.1.3/32	242669	Eto/0	10.0.0.5
26	20	10.0.1.4/32	0	Eto/0	10.0.0.5
26	23	10.0.1.4/32	0	Eto/1	10.0.0.2
27	24	10.0.2.1/32	73858	Eto/1	10.0.0.2
28	17	10.0.2.4/32	22396	Eto/0	10.0.0.5
29	Pop tag	10.0.2.2/32	41051	Eto/2	10.0.0.14
30	Pop tag	10.0.2.3/32	0	Eto/3	10.0.0.16
31	Pop tag	10.0.2.1.1 [16]	966	Eto/3	10.0.0.16

Рисунок 3.19. Таблиця пересилання за міткою LFIB на маршрутизаторі P2

Етап 5. Від PE3 до Virtual PC2 філіалу 2 компанії 1. В даному випадку маршрутизатор PE3 є крайовим маршрутизатором. Тому ще на попередньому етапі було видалено мітку, що відповідала за маршрутизацію всередині магістральної мережі. Залишалася лише мітка-ідентифікатор віртуальної приватної мережі. Щоб впевнитися у її відсутності при потраплянні пакету на

віртуальний комп'ютер філіалу 2 компанії 1 скористаємося аналізатором протоколу рис.3.20.

Таким чином до користувача, що знаходиться в філіалі 2 компанії 1 надходить звичайний пакет IP. Так як пакет був ICMP-запитом у відповідь на нього формується пакет ICMP-відповідь, що надсилається ініціатору запити, а саме VPC1 в філіалі 1 компанії 1. Зауважимо, що, тунель відкривається в односторонньому порядку. Тому зворотній трафік направляється за старим маршрутом, у чому можна впевнитися на рис. 3.20.

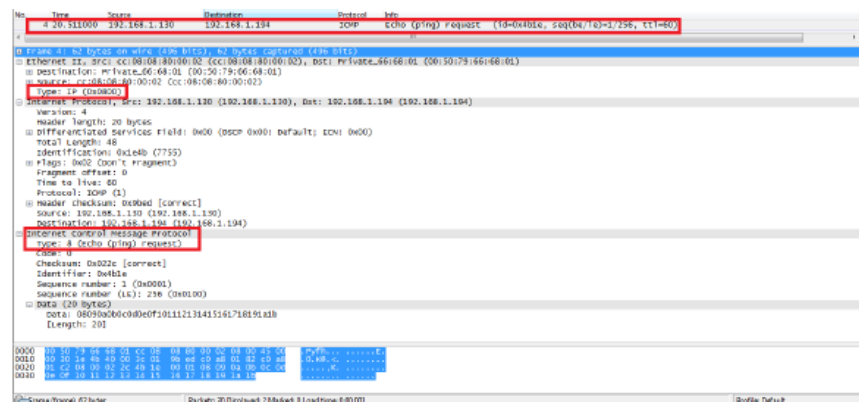


Рисунок 3.20. Вигляд пакету після проходження маршрутизатора PE3
Вимірювання параметрів якості обслуговування.

UDP Jitter – найбільш часто використовуваний тест Cisco IOS IP SLA. В тестах UDP Jitter вимірювання часу затримки в одному напрямку вимагає синхронізації між маршрутизаторами (джерело і одержувач).

Особливістю Cisco IOS IP SLA є можливість працювати в мережі MPLS або MPLS VPN [140] мережі. IP SLA здатна розрізнити, які з таблиць маршрутизації використовується для переадресації. Ця особливість використовується для передачі тестових IP SLA пакетів від маршрутизатора Cisco до іншого постачальника устаткування, що підтримує RFC 2547 або ж для передачі пакетів між маршрутизаторами Cisco в MPLS/VPN мережі.

В якості IP SLA тестів в MPLS мережах використано:

- ICMP Echo;
- ICMP Path Echo;
- UDP Echo;

- ICMP Path Jitter;

- UDP Jitter.

Основні етапи конфігурації IP SLA полягали в:

1. Створення сесії IP SLA.
2. Визначення типу трафіку IP SLA.
3. Визначення пункту призначення IP SLA (маршрутизатор на стороні одержувача IP SLA повинна бути увімкнута відповідна функція).
4. Встановлення частоти повторення тесту.
5. Вивід результатів тесту.

Результати виміру параметрів QoS при застосуванні ріхних методів організації MPLS: RSVP, OSPF, власний метод.

На маршрутизаторі ELSR1 запущено наступний тест:

```
ip sla 1
udp-jitter 192.168.2.12 49152 source-ip 192.168.1.12 source-port 49152 codec
g711
tag TEST1
frequency 30
ip sla schedule 1 life forever start-time now
```

Даний тест з моменту запуску з інтерфейсу 192.168.1.12 до інтерфейсу 192.168.2.12 передає аудіо-трафік кодеку g711.

З іншого боку запущено респондер:

```
ELSR2sh ip sla responder
```

Порівнюючи показники Jitter, ping і відсоток втрат пакетів для аудіо-трафіку до і після активування LSP-тунелю, який побудований на власних розрахунках, можна зробити висновки, що в умовах моделювання є деяке покращення показників якості обслуговування. Детальніше:

Середні показники затримки пакетів при проходженні від точки 1 до точки 2 без тунелю з зарезервованими ресурсами складають 35-40 мс, втрати пакетів відсутні за час моделювання, що склав 300 секунд, тобто, 5 хвилин.

Після увімкнення одностороннього тунелю Tunnel1, в якому зарезервована смуга пропускання рівна 512кбїт/с, маємо наступні результати: затримка пакетів при проходженні від точки 1 до точки 2 по тунелю складає в середньому 20 мс за 5 хвилин моделювання. Показник jitter складає 5-7 мс.

На рис.3.21. показано залежність затримки від часу моделювання при MPLS (власний метод розрахунку LSP) та комбінації MPLS з RSVP (OSPF).

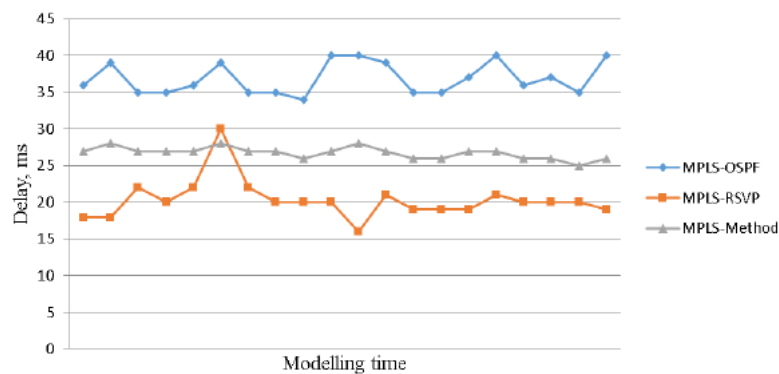


Рисунок 3.21. Залежність затримки від часу моделювання при MPLS

Для дослідження взаємодії архітектури з MPLS при побудові LSP власними методами, трафік у тунелі Tunnel0 класифіковано вищим пріоритетом, яке реалізовано за схемою ELSР, тобто пріоритет виставляється у полі EXP мітки MPLS.

Пропускна здатність між LSP1 та ELSR1 має обмеження в 100 кбїт/с, що реалізується завдяки функції шейпінгу VoIP-трафіку. Час моделювання, як і попередні рази, склав 5 хвилин.

Оскільки вхідний у ELSR1 трафік перевищив наявну пропускную здатність, перші декілька секунд (близько 2 сек) були зафіксовані незначні втрати пакетів. Потім за рахунок спрацювання шейперу, втрати завершилися, але зросла затримка при передачі трафіку від точки 1 до точки 2. Якщо раніше затримка складала в середньому 20 мс по тунелю з RSVP, то за нових умов сягнула до 55 мс.

На рис. 3.22. представлені результати моделювання оцінки параметрів якості обслуговування при проходженні трафіку від точки 1 до точки 2, при

застосуванні чистого MPLS та комбінації MPLS з RSVP, та власними методами подубови тунелів за допомогою реалізації ELSF.

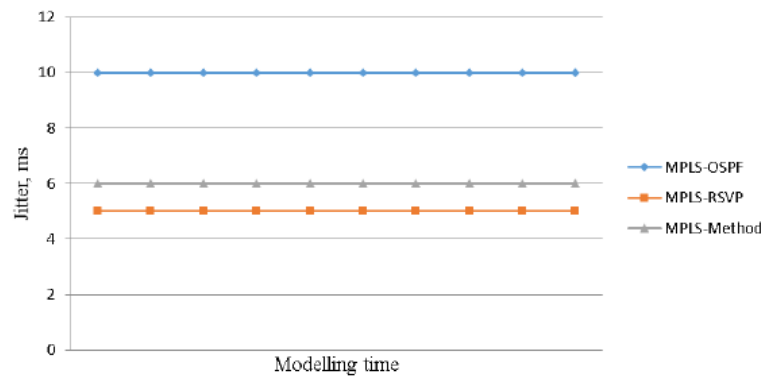


Рисунок 3.22. Залежність джитеру від часу моделювання при застосуванні

При застосуванні на MPLS-мережі розглянутих методів виділяється гарантована смуга пропускання, завдяки чому відсутні втрати пакетів, але необумовлена послідовність обробки пакетів. Використання механізму шейперу також запобігає втратам пакетів зарахунок зменшення швидкості передачі. Таким чином, для VoIP-трафіку смуга пропускання зберігається, а неперіоритетний трафік передається більш повільно у разі перевантаження каналу.

При застосуванні на MPLS-мережі RSVP окрім резервування смуги пропускання є можливість задати пріоритетність обробки пакетів маршрутизатором. На практиці, VoIP-пакети оброблялись в першу чергу, таким чином зменшивши час їхнього перебування у буферах маршрутизаторів по шляху слідування. А це, в свою чергу, зменшило показники якості обслуговування: джитер та затримку.

ВИСНОВКИ

Отже, підсумовуючи виконання поставлених завдань, можна зробити висновок, що актуальність даного напрямку досліджень підкреслюється значною увагою фахівців у всьому світі до питань розробки методів оцінки основних показників мережі MPLS.

Мета використання багатоканальної комутації по мітках (Multiprotocol Label Switching, MPLS) складається, перш за все, в більш ефективне використання пропускної здатності магістральних каналів зв'язку, а також в побудові сучасної мережевої інфраструктури на основі використання оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дозволяє об'єднувати різні типи середовищ і систем передачі інформації. Дана технологія дозволяє прискорити просування IP - пакетів і зберегти гнучкість, характерну для IP-мереж, за допомогою механізмів управління трафіком і підтримки якості обслуговування, що застосовуються в транспортних мережах.

MPLS розглядається як ефективна і економічна основа для мультисервисного транспорту, а сучасні комутуючі маршрутизатори LSR (застосовувані в MPLS-домени) здатні одночасно (і з однаковою продуктивністю) обробляти трафік ATM, IP і MPLS.

Технологія MPLS постійно вдосконалюється в напрямку адаптації до умов передачі трафіку в мережах, забезпечуючи підтримку QoS.

У першому розділі магістерської роботи виконано аналіз особливостей використання та реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS, проаналізовано її технічні особливості, варіанти реалізації. Виконано огляд основних переваг а недоліків.

Аналіз показав, що застосування технології MPLS дозволяє перейти на новий рівень обслуговування та організувати надання послуг більш високої якості.

Особливо перспективним є використання цієї технології для створення VPN і переходу до мультисервісних мереж на основі IP.

У другому розділі описана модель для оптимізації мережі MPLS і існуючі підходи до вирішення задачі оптимізації (визначення оптимального дизайну LSP), а також запропонований евристичний метод пропорційного розподілу потоків, дозволяє отримати оптимальний дизайн LSP.

Розглянуті питання вибору оптимальних шляхів (LSP) з диференціальним обслуговуванням трафіку при наявності декількох обмежень. Рішення поставленого завдання пропонується здійснити шляхом використання методу невизначених множників Лагранжа.

Запропонований метод дозволяє оптимізувати IP/MPLS мережу, враховує обмеження по пропускній здатності, з урахуванням запитів і включає обмеження затримки вимог трафіку для кожного активного класу обслуговування з урахуванням коефіцієнтів відмовостійкості мережі. Розглянутий алгоритм реалізується для оптимізації мережі ПрАТ "Фарлеп-Інвест" на магістральній ділянці, на основі технології IP/MPLS з швидкістю 1Гб\с.

У третьому розділі виконано огляд і реалізацію програмного забезпечення яка дозволяє автоматизувати процес оптимізації розподілу потоків трафіку з використанням розглянутих методів. Програма дозволяє детально вивчити дані методи і наочно представити необхідні дані для оцінки вартості без необхідності вручну виконувати величезну кількість обчислень, які лежать в основі алгоритмів дослідження операцій.

У практичній частині, магістерській роботі, виконано оцінку ефективності використання запропонованого методів для розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі MPLS.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф., “Телекоммуникационные системы и сети Т.3. Мультисервисные сети”. Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2015.
2. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. “Технология и протоколы MPLS”, ВHV, «БХВ-Санкт-Петербург», 2015.
3. Сергей Орлов. “Перекресток миров”. Журнал сетевых решений LAN .№5.- май 2016.
4. Марка Лассерре, "межсоединения локальных сетей за допомогою MPLS", Журнал мережевих рішень LAN. №1.-січень 2014.
5. Столингс В. “Современные компьютерные сети”. Пер.с англ.- Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Воронеж, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Самара, Киев, Харьков, Минск; Изд.-во «Питер», 2013.
6. Mannie E. (ed.). “Generalized Multi-Protocol Label Switching Architecture”, IETF Internet Draft, work in progress, draft-ietf-ccamp-gmplsarchitecture-07.txt, May 2017.
7. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 2015. — 304 с.
8. Листвин В. Н., Трещиков В. Н. DWDM-системы. Третье издание/ Фотон-Экспресс. - 2017. - N 1 : - С. 40-42.
9. Будылдина Н.В, Шувалов В.П. “Телекоммуникационные сети с многопротокольной коммутацией по меткам”. Построение и оптимизация. Монография. М.: УрТИСИ ГОУ ВПО СибГУТИ, 2015.
10. Захватов М.А. “Вопросы безопасности в MPLS сетях”. Аналитический информационный журнал. Документальная электросвязь.№13.-август 2014.
11. Вишневский В.М. “Теоретические основы проектирования компьютерных сетей”. М.: Техносфера, 2016.

12. Тихомиров В.М. “Рассказы о максимумах и минимумах”. М.: «Наука» Главная редакция физико-математической науки, 1986.
13. Kehang Wu and Douglas S. “Reeves Link Dimensioning and LSP Optimization for MPLS Networks Supporting DiffServ EF and BE traffic classes”,2014.
14. Alpar Juttner, Balazs Szviatovszki, Aron Szentesi, Daniel Orincsay, Janos Harmatos “On-demand optimization of label switched paths in MPLS networks”, IEEE 2013.
15. HaBlinger, Gerhard; Schnitter, Stefan: “Optimized Traffic Load Distribution in MPLS Networks”. In: Telecommunications Network Design and Management, Kluwer Akad. Publ, 2002.
16. Franzke, Martin; HaBlinger, Gerhard; Schnitter, Stefan: “Performance and Applicability of MPLS-based Traffic Engineering Methods”,2012.
17. Хемди А.Таха “Введение в исследование операций”. Пер.с англ.- Издательский дом «Вильямс». Москва-Санкт-Петербург-Киев,2015.
18. A. Feldmann and J. Rexford, “IP Network Configuration for Intradomain Traffic Engineering,” IEEE Network, vol. 15, no. 5, pp. 46-57, September/ October 2016.
19. Вивек Олвейн, ССІЕ™. “Структура и реализация современной технологии MPLS”. Пер.с англ.- Издательский дом «Вильямс». Москва-Санкт-Петербург-Киев,2014.
20. M. L. Fisher “The Lagrangian Relaxation Method for Solving Integer Problems, Management Science”, vol. 27, no.1, pp. 1-18, January 1981.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Мета використання багатопроTOCOLьких комутації по мітках (MPLS) складається, перш за все, в більш ефективному використанні пропускної здатності магістральних каналів зв'язку, а також в побудові сучасної мережевої інфраструктури на основі оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дозволяє об'єднувати різні типи середовищ і систем передачі інформації. Дана технологія дозволяє прискорити просування IP - пакетів і зберегти гнучкість, характерну для IP мереж, за допомогою механізмів управління трафіком і принципів підтримки якості обслуговування

Швидке зростання трафіку і впровадження нових сервісних послуг ставить перед провайдерами завдання, швидко реагувати на ці зміни і адаптуватися до ситуації, що змінюється. І хоча, на перший погляд, IP-мережі мають у своєму розпорядженні необхідними механізмами для підтримки мережі в робочому стані, однак всі вони не гарантують раціонального використання мережевих ресурсів.

Тому при проектуванні мережі передачі даних важливою є задача оптимізації вибору алгоритму маршрутизації, що забезпечує необхідну продуктивність мережі і її адаптацію до змін трафіку.

Мета роботи – дослідження шляхів оптимізація мережі з багатоканальною комутацією по мітках, що забезпечують підвищення продуктивності магістральних каналів зв'язку.

Об'єкт дослідження – мережі з багатопротокольною комутацією по мітках

Предмет дослідження – процес забезпечення підвищення ефективності працездатності мережі.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Аналіз особливостей використання та реалізації транспортної мережі на базі технології IP/MPLS
2. Дослідження методів розподілу трафіку та вибір оптимальних шляхів оптимізації мережі IP/MPLS
3. Оцінки ефективності використання дослідженого методу розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі IP/MPLS

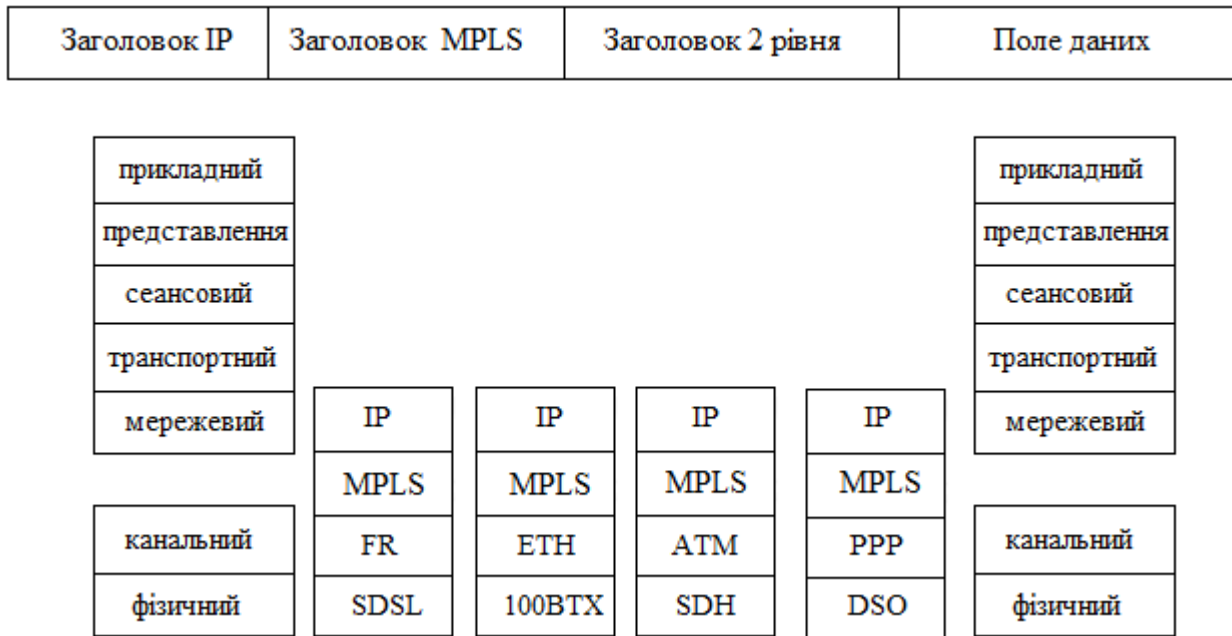


Рис.1. Технологія MPLS в IP мережах і модель OSI/ISO

MPLS - універсальна технологія. З її допомогою можна вирішувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів всередині мережі оператора уздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів зі збалансованим розподілом завантаження ресурсів

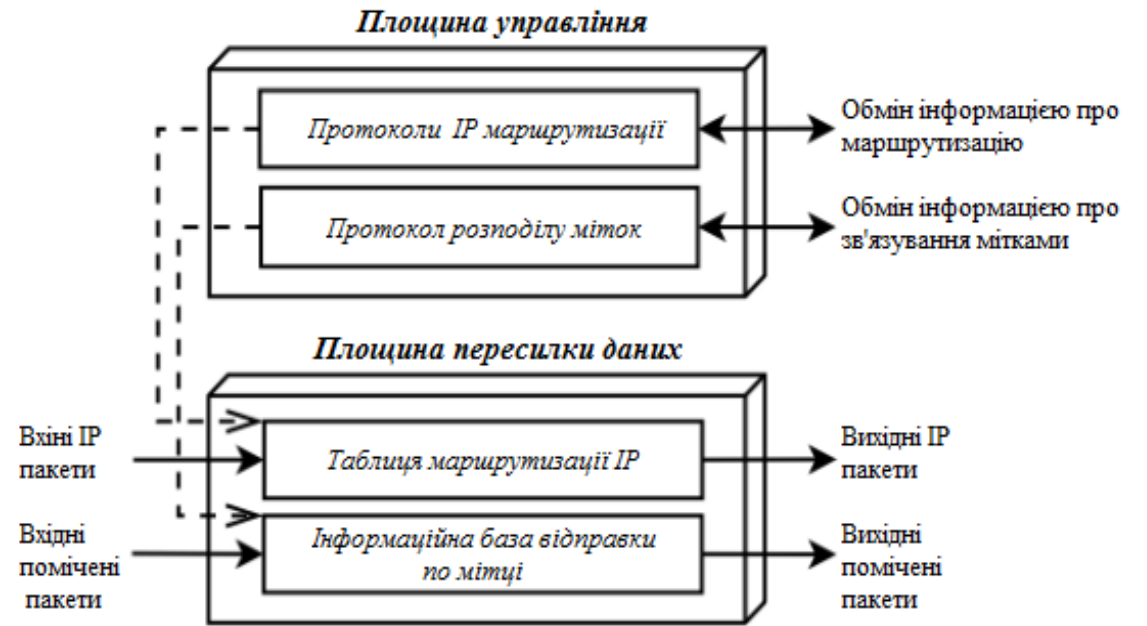


Рис. 2. Структура вузла MPLS

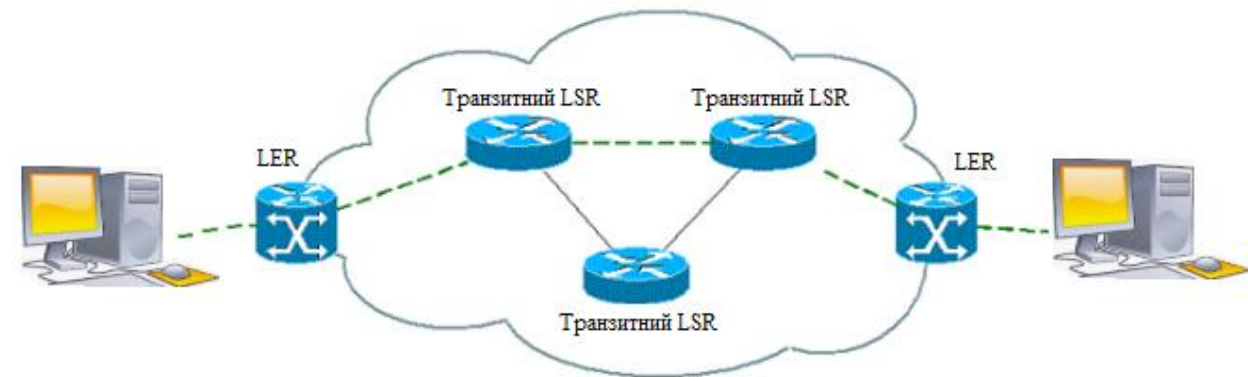


Рис.3. Елементи мережі MPLS

ПРИНЦИП КОМУТАЦІЇ В МЕРЕЖІ IP/MPLS

Таблиці комутації міток

Таблиця 1.

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
-	0	128.87	8	1
		...		
-	0	128.87	9	2
		...		
		...		

Таблиця 2.

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
8	2	128.87	3	0
		...		
10	2	128.88	10	1
		...		
		...		

Таблиця 3.

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
3	1	128.87	11	0
		...		
10	1	128.88	25	2
		...		
		...		

Таблиця 4.

Вх. мітка	Вх. порт	Префікси	Вих. мітка	Вих. порт
11	3	128.87	-	2
		...		
30	1	128.87	-	2
		...		
		...		

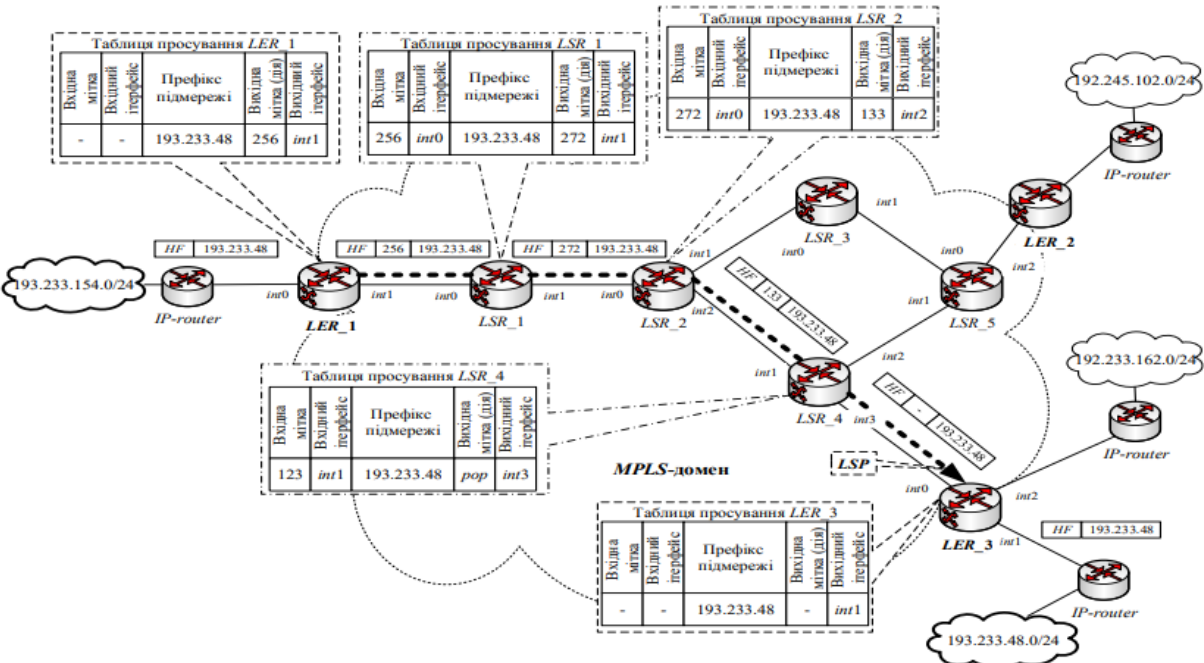


Рис.4. Просування пакета по MPLS-домену

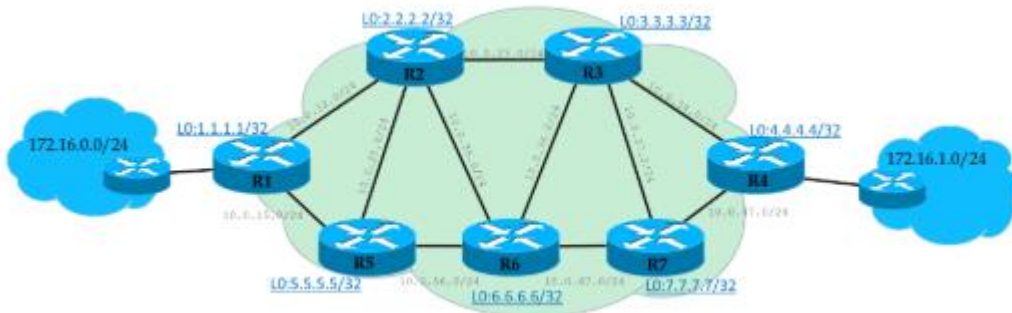


Рис.5. Принцип передачі пакета MPLS

АПАРАТНА ЧАСТИНА МЕРЕЖІ IP/MPLS



Рис. 6. Optix Huawei PTN 1900



Рис.7. Optix Huawei PTN 3900

Таблиця 5. Параметри обладнання

Параметр обладнання	Значення
Розміри шасі (мм)	436 (Ш) x 295 (Г) x 220 (В)
Робоча напруга (В)	-38.4 В DC до -57.6 В DC (с блоком живлення-48 В DC) -48.0 В DC до -72.0 В DC (с блоком живлення-60 В DC)
Енергоспоживання типової конфігурації	190 Вт
Максимальний струм	20 А
Продуктивність комутації	10 Гбит/сек
Максимальна кількість підтримуваних портів	64 E1 (IMA/TDM/ML-PPP) 8 GE 48 ATM STM-1 10 POS STM-1/STM-4 60 FE
Підтримка інтерфейсів Ethernet	FE GE

Таблиця 6. Параметри обладнання

Параметр обладнання	Значення
Розміри шасі (мм)	436 (Ш) x 295 (Г) x 800 (В)
Робоча напруга (В)	-38.4 В DC до -57.6 В DC (с блоком ;bdktyuz-48 В DC) -48.0 В DC до -72.0 В DC (с блоком ;bdkyuz -60 В DC)
Енергоспоживання типової конфігурації	900 Вт
Максимальний струм	90 А
Продуктивність комутації	320 Гбит/сек
Максимальна кількість підтримуваних портів	504 E1 (IMA/TDM/ML-PPP) 144 ATM STM-1 32 POS STM-1/STM-4 188 FE 160 GE 16 10GE
Підтримка інтерфейсів Ethernet	FE GE 10GE

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ IP-МЕРЕЖІ ПОВЕРХ ТРАНСПОРТНОЇ SDH І DWDM МАГІСТРАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

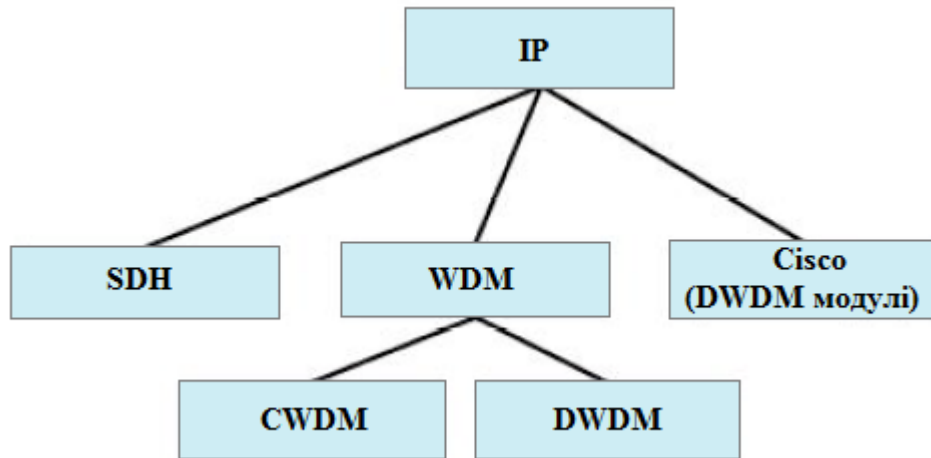


Рис.8. Стандарні методи побудови магістральних IP мереж

Аналіз головних вимог до транспортної мережі показав, що транспортна мережа повинна бути універсальною н індиферентної до типу транспортується інформації.

Транспортна мережа повинна мати властивість адаптації до обсягами інформації, що передається.

Цим вимогам відповідає мережа, побудована поверх DWDM-платформи, на якій інтегровано і незалежно працюють технології IP/Ethernet, SDH і NGSDH, загальна схема якої представлена на рис.9.

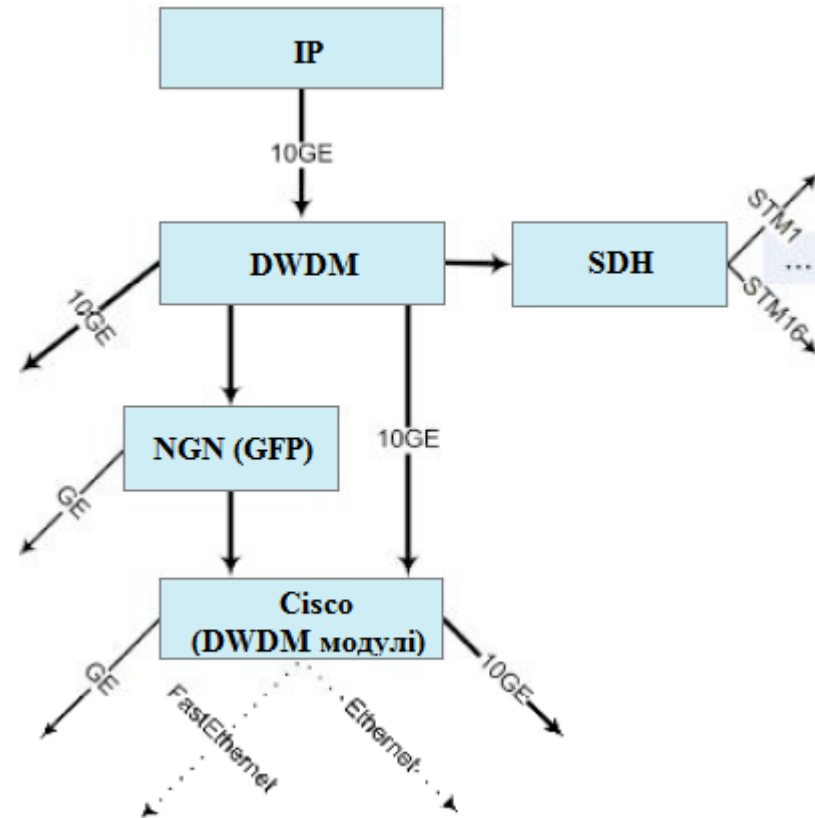


Рис.9. Загальна схема методу побудови магістральної IP-мережі

Основні переваги багатопроTOCOLьної комутації по мітках

1. Інтеграція мережевої інфраструктури, об'єднання різнорідних мереж зі скороченням операційних витрат;
2. Технологія MPLS дозволяє єдиної конвергентної мережі підтримувати як нові, так і існуючі послуги, створюючи ефективний шлях переходу до IP-інфраструктури;
3. MPLS підтримує надання послуг з гарантованою якістю обслуговування;
4. MPLS дозволяє формувати трафік. Явна (точно визначена) маршрутизація і функція формування трафіку допоможуть ущільнити більший обсяг даних в межах наявної пропускної здатності;
5. MPLS спрощує вимоги обробки, що пред'являються до маршрутизаторів, оскільки маршрутизатори просто передають пакети, ґрунтуючись на фіксованих мітках, не аналізуючи IP-заголовки\$
6. MPLS забезпечує відповідний рівень безпеки, щоб зробити IP-мережу такою ж безпечною, як мережа ретрансляції кадрів в WAN;
7. Віртуальні приватні мережі (VPN) на базі MPLS краще регулюються, ніж VPN на базі користувача, оскільки вони базуються на мережі провайдера, скорочуючи тим самим необхідність конфігурації і управління для споживача

Основних переваг VPN на базі MPLS

- 1) Відсутність обмежень на план адрес, який використовується кожним клієнтом VPN;
- 2) Клієнтський маршрутизатор на кожному із сайтів клієнта не обмінюється безпосередньо маршрутною інформацією з іншими маршрутизаторами, що входять до VPN;
- 3) У клієнтів VPN немає магістралі (віртуальної магістралі), яку їм потрібно було б адмініструвати;
- 4) Правила, що визначають приналежність конкретного сайту до даної VPN, є правилами, встановленими клієнтам.;
- 5) VPN може охоплювати безліч постачальників послуг;
- 6) Можливість гнучкого використання засобів криптографічного захисту, що робить VPN клієнта більш захищеною;
- 7) Гнучкий і масштабується якість обслуговування шляхом використання експериментальних бітів в полі заголовка MPLS, або за рахунок використання регулювання трафіку LSP;
- 8) Легкість, гнучкість і оперативність масштабування;
- 9) Організація прозорих віртуальних корпоративних мереж на третьому або другому рівні .

Аналіз переваг застосування технології IP/MPLS зумовлює доцільність її впровадження не тільки в крупномаштабних операторських мережах, але і в великих корпоративних мережах і їх філіях.

Вибір методу розв'язання задачі оптимізації - один з найважливіших етапів оптимізації. Можна виділити наступні групи методів:

1. Аналітичні методи;

Група аналітичних методів оптимізації об'єднує аналітичний пошук екстремуму функції, метод множників Лагранжа, варіаційні методи і принцип максимуму, до яких відноситься Метод максимального потоку.

2. Методи математичного програмування.

Група методів математичного програмування включає динамічний програмування, лінійне програмування та нелінійне програмування.

Динамічне програмування - ефективний метод вирішення завдань оптимізації багатостадійних процесів.

Методи нелінійного програмування - об'єднують різні способи рішення оптимальних задач: градієнтні, безградієнтні і випадкового пошуку.

Лінійне програмування - метод для вирішення завдань оптимізації з лінійними виразами для критерію оптимальності і лінійними обмеженнями на область зміни змінних.

Евристичні методи - дані методи спрямовані на скорочення перебору.

Аналіз показав що кожен метод має свої особливості, які визначаються їх принципом роботи і реалізацією, і відрізняються один від одного як складністю та граничними умовами, так і відхиленням від оптимального значення.

ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ IP/MPLS

Існує кілька параметрів, за якими можна проводити порівняння алгоритмів оптимізації мереж MPLS. В даному випадку порівняння проводилось за складністю алгоритмів, за отриманим вазі дизайну LSP (Label Switched Path) і по інтегральним параметром, що проводить комплексну оцінку алгоритмів (час - якість).

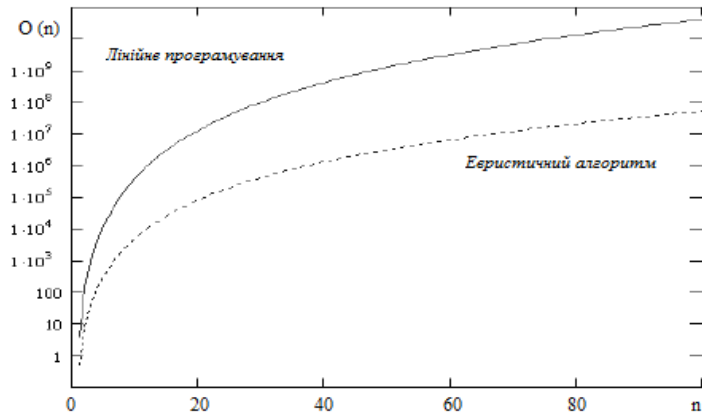


Рис.10. Порівняння складності алгоритмів

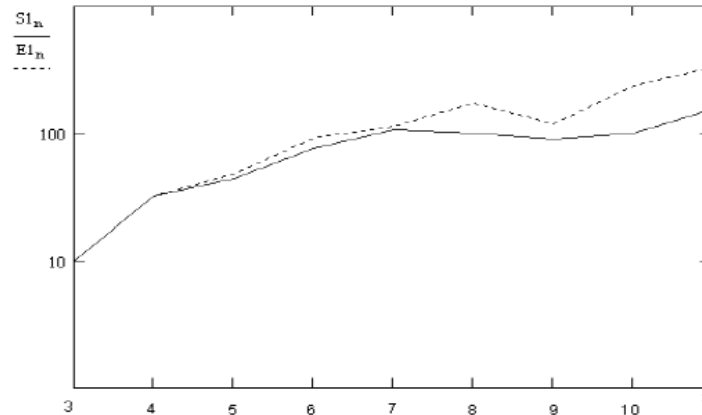


Рис.11. Порівняння ваги дизайну LSP, отриманого Евристичним алгоритмом (E1) і методом лінійного програмування (S1)

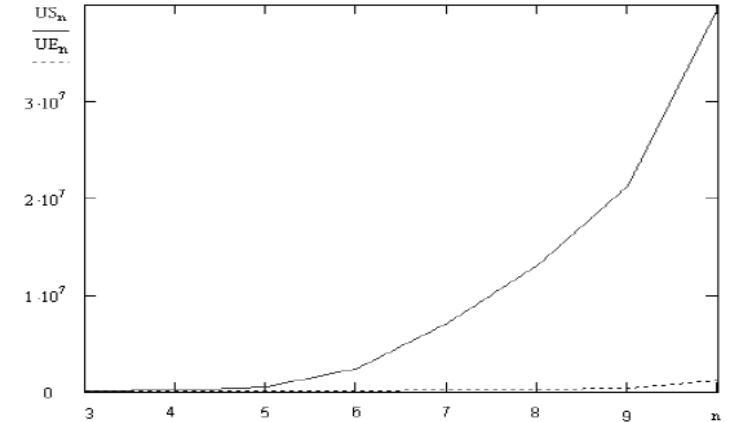


Рис.12. Комплексна оцінка

На рис. 10. представлена залежність складності для лінійного програмування і евристичного алгоритму від розміру мережі. Функція складності лінійного програмування має більш високою швидкістю зростання, ніж функція складності евристичного алгоритму. Як видно з даного графіка, евристичний алгоритм є більш переважним з точки зору складності, так як для визначення оптимального дизайну LSP він виконує менше операцій. Далі виконано порівняння дизайнів LSP, отриманих двома цими методами рис. 11.

Для кожного алгоритму оптимізації необхідно отримати оптимальний дизайн LSP при мінімальних витратах операцій на його обчислення. Відповідно, найкращим є такий метод, функція комплексної оцінки якого володіє меншим зростанням.

Як видно з рис.12. найкращим є запропонований евристичний алгоритм, так як він при значно менших витратах надає прийнятне рішення поставленої вище завдання.

АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ

Алгоритм розрахунку коефіцієнтів відмовстійкості

1. Для кожного запиту між парою вузлів, що відносяться до топології мережі, необхідно:

- Запустити алгоритм Дейкстра і визначити найкоротший шлях між джерелом і одержувачем запиту.

- Виключити обраний найкоротший шлях з топології і запустити алгоритм Дейкстра ще раз для вибору альтернативного шляху.

- Для трактів e_1 , складових новий обраний шлях, збільшити лічильник використання на одиницю: $U(e_i)_c = U(e_i)_c + 1$

2. Для кожного тракту e , обчислити коефіцієнт як оціночну функцію його використання в запасних шляхах проходження трафіку:

$$\gamma(e_i) = 1 + \frac{U(e_i)_c}{N_D} \text{де, } N_D - \text{загальна кількість запитів.}$$

Рис.13. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів відмовстійкості

Задано	$G(V, E), T_n, R_n(i,j), BC_n, \gamma(e_1)$ і N
Знайти	$C_{ph}(e_1)$ (E цілих змінних)
Мінімізувати	$F = \sum_{\gamma t, e \in E} \gamma(e_1) \cdot C_{ph}(e_1)$
При умові	$\{1\} x_n^r(i, j) \geq 0, \forall n, r$ $\{2\} \sum_r x_n^r(i, j) = T_n(i, j)$ $\{3\} \sum_{\forall P_{i,j}(e_1)} x_n^r(i, j) = c_n(e_1)$ $\{4\} \sum_{n=0}^{N-1} \gamma(e_1) \cdot c_n(e_1) = C_{ph}(e_1)$ $\{5\} \sum_{n=y, y=0, N-1}^{N-1} c_n(e_1) \leq BC_y \cdot C_{ph}(e_1)$

Рис.14. Формулювання задачі оптимізації планування

Алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа

Задано $\delta_{1,2}^k, \lambda_k, k = 1$

1. $\theta_{a,b}^k$ розраховується з використанням 3.6 і 3.7

2. $\delta_{a,b}^{k+1}$ розраховується з використанням 3.4 і 3.5

3. Перейти на крок 6, якщо виконується одна з наступних умов:

- Загальна кількість кроків одно $MAX = 150$

- $F_{UB} = \zeta(\delta^k)$

- $\lambda_k \leq \varepsilon$

4. Якщо F_{UB} не зменшується за 4 кроку, то необхідно зменшити λ_k в 2 рази;

5. $k = k + 1$, перейти на крок 1.

6. Використовуємо значення, отримані для $x_n^r(i, j)$ і розраховуємо $C_n(e_1)$ і $C_{ph}(e_1)$ наступним чином:

$$c_n(i, j) = \sum_{\forall P_{i,j}(e_1)} x_n^r(i, j)$$

$$c_{ph}(e_1) \geq \gamma(e_1) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} c_n(e_1)$$

7. Повернення $c_{ph}(e_1)$

Рис.15. Алгоритм оптимізації на основі множників Лагранжа

ПРИКЛАД ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ IP/MPLS

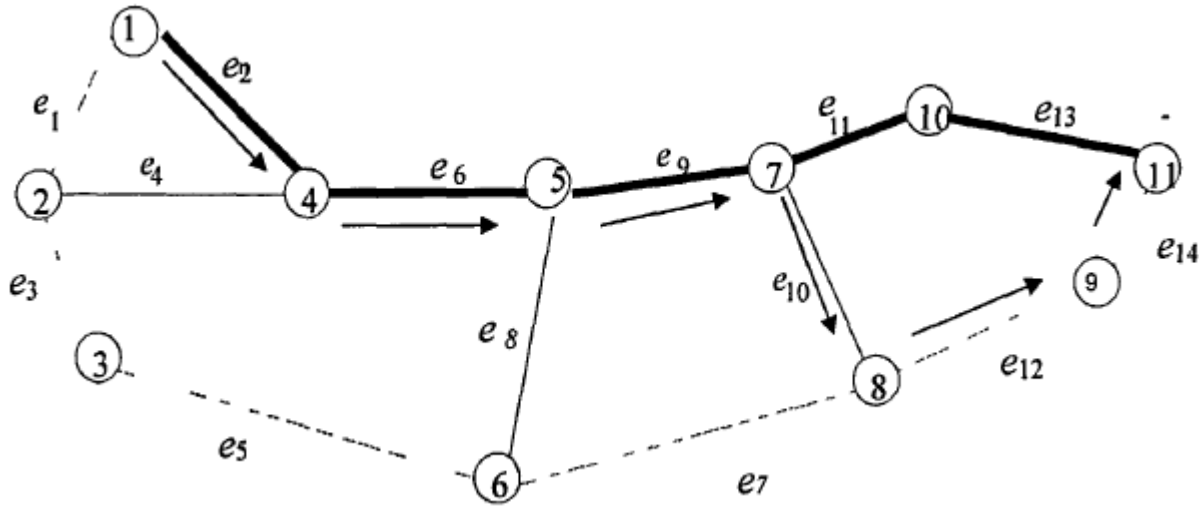
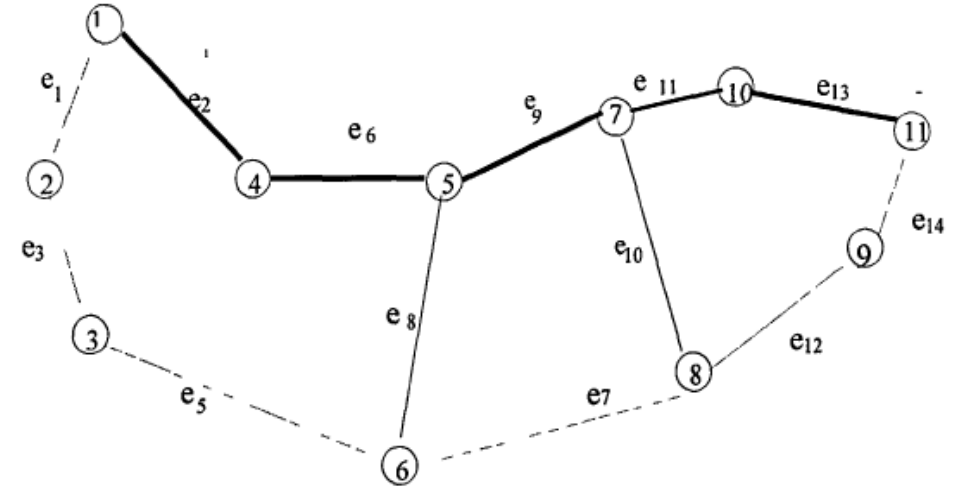
Рис.16. Топологія мережі, набір вузлів $V=11$, набір трактів $E=14$ 

Рис.17. Топологія мережі, після визначення найкоротшого шляху

На слайді 12. представлено приклад оптимізації мережі IP/MPLS. Розглянута модель мережі, що складається з одинадцяти вузлів, показана на рис.16, Коефіцієнти відмовостійкості каналів зв'язку, які використовувались у функції вартості, розраховуються відповідно до алгоритму, представленому на рис. 13 слайд 11.

В роботі розглядаються коефіцієнти відмовостійкості зв'язку, при цьому отримані вихідні дані порівнюються один з одним. Результати визначення продуктивності фізичних трактів, отримані за допомогою розглянутої методики оптимізації більш детально описано у другому розділі магістерської роботи і графічно представлені на рис.17., де всі тракти зі збільшенням навантаження показані товщими лініями.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПОТОКІВ ТРАФІКУ

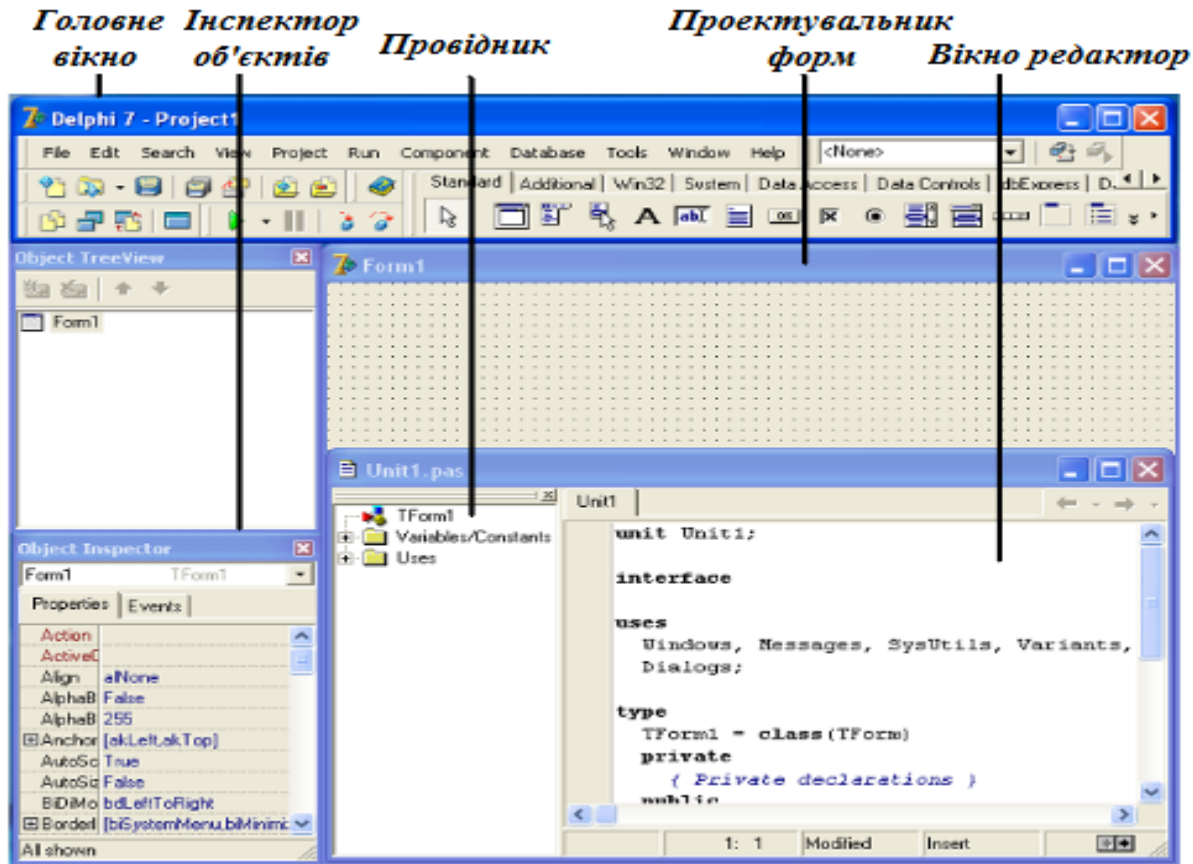


Рис.18. Основне вікно програмного середовища Delphi

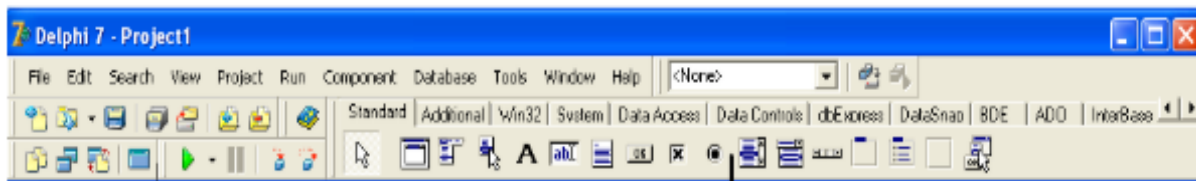


Рис.19. Палітра компонентів

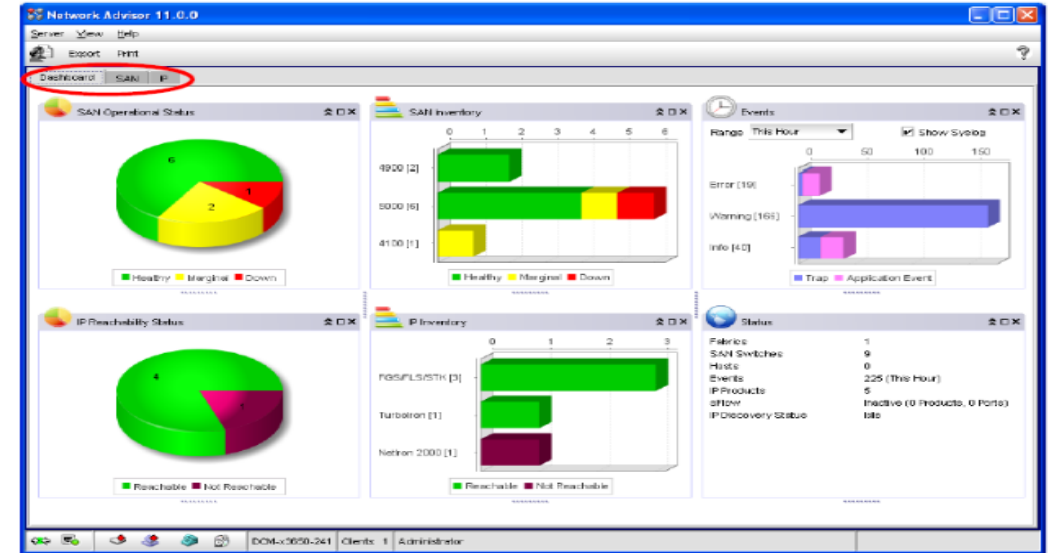


Рис.20. Інтерфейс програми Brocade Network Advisor

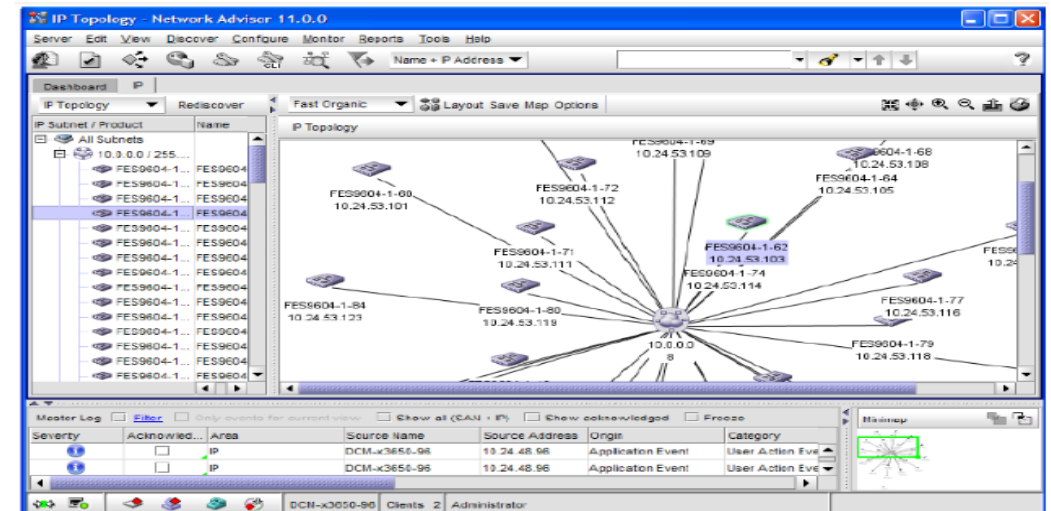


Рис.21. Генерація структури мережі

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖІ IP/MPLS

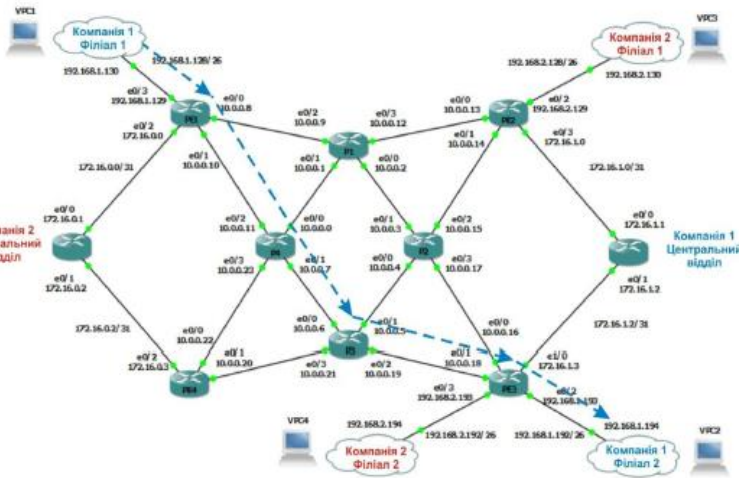


Рис.22. Досліджувана MPLS-мережа

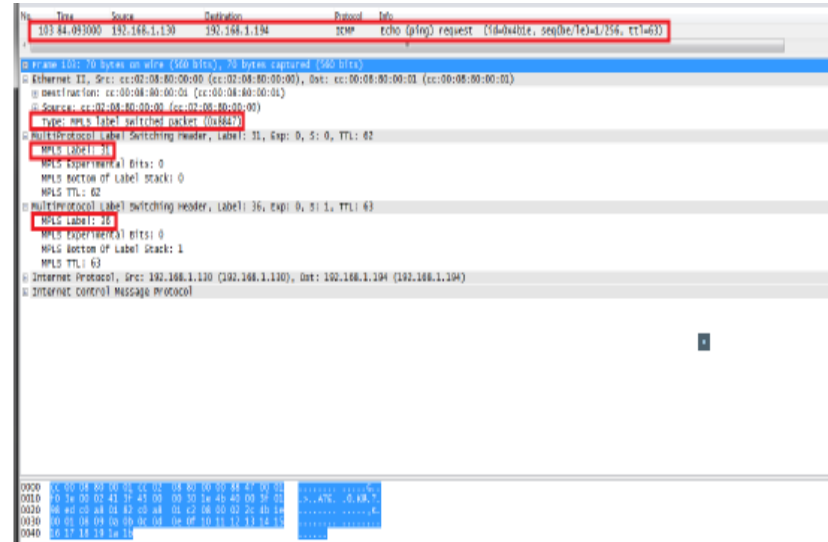


Рис.23. Приклад вигляду пакету на виході маршрутизатора

Local	Outgoing	Prefix	Bytes tag	Outgoing	Next Hop
tag	tag or VC	or Tunnel Id	switched	interface	
16	Pop tag	10.0.0.22/31	0	Eto/1	10.0.0.0
17	Pop tag	10.0.0.10/31	0	Eto/2	10.0.0.8
18	Pop tag	10.0.0.10/31	0	Eto/1	10.0.0.0
19	21	10.0.0.20/31	0	Eto/0	10.0.0.3
20	16	10.0.0.20/31	0	Eto/1	10.0.0.0
21	23	10.0.0.18/31	0	Eto/0	10.0.0.3
22	19	10.0.0.18/31	0	Eto/1	10.0.0.0
23	25	10.0.1.3/32	0	Eto/0	10.0.0.3
24	20	10.0.1.3/32	1068	Eto/1	10.0.0.0
25	Pop tag	10.0.1.4/32	0	Eto/1	10.0.0.0
26	Pop tag	10.0.2.1/32	0	Eto/2	10.0.0.8
27	22	10.0.2.4/32	0	Eto/1	10.0.0.0
28	Pop tag	10.0.0.14/31	0	Eto/3	10.0.0.13
29	Pop tag	10.0.0.14/31	0	Eto/0	10.0.0.3
30	Pop tag	10.0.0.16/31	0	Eto/0	10.0.0.3
31	Pop tag	10.0.1.2/32	36598	Eto/3	10.0.0.13
32	30	10.0.2.3/32	47540	Eto/0	10.0.0.3

Рис.24 Таблиця пересилання за міткою

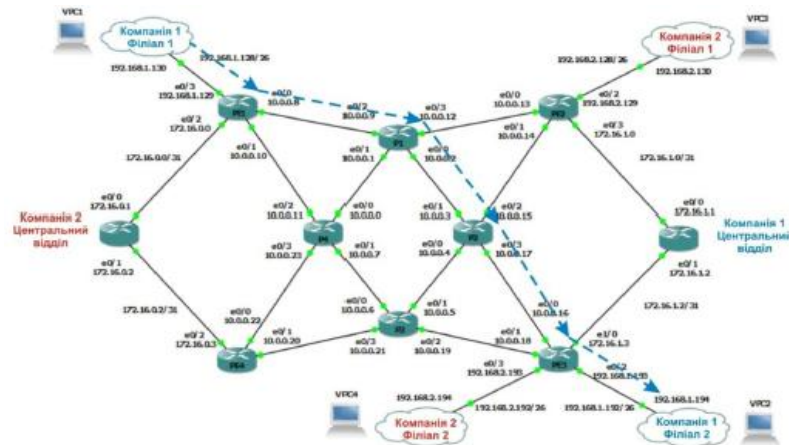


Рис.25. Графічна ілюстрація нового маршруту трафіку

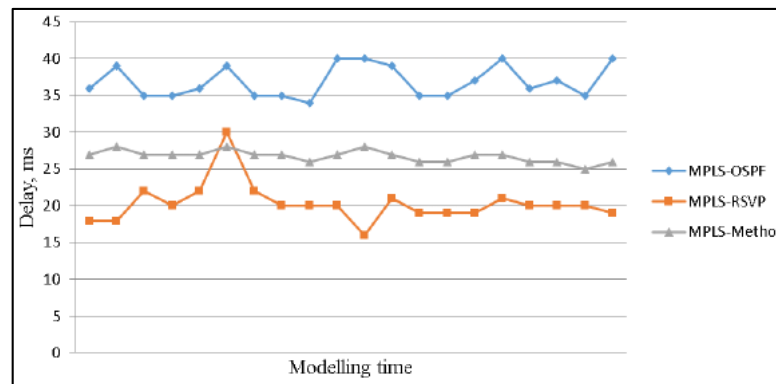


Рис.26 Залежність затримки від часу моделювання при MPLS

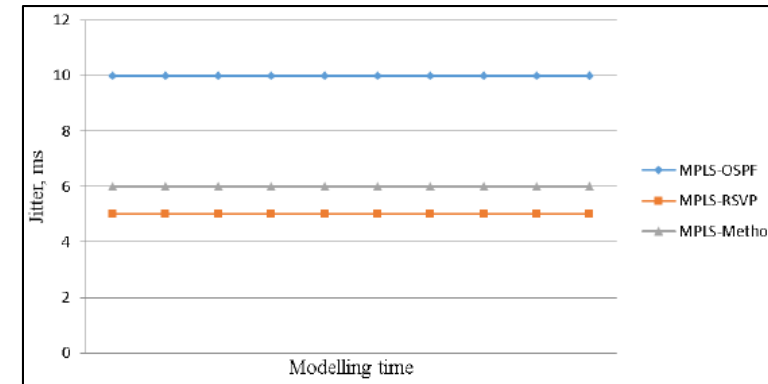


Рис.27.Залежність джитеру від часу моделювання при застосуванні на MPLS-мережі

ВИСНОВКИ ТА АПРОБАЦІЯ

Отже, підсумовуючи виконання поставлених завдань, можна зробити висновок, що застосування запропонованих методів дозволяє покращити параметри якості обслуговування, виконати перерозподіл потоків трафіку та отримати ефективний дизайн LSP, без необхідності зміни структури мережі і підвищення пропускної здатності каналів.

Розглянутий алгоритм реалізується для оптимізації мережі ПрАТ "Фарлеп-Інвест" на магістральній ділянці, на основі технології IP/MPLS з швидкістю 1Гб\с.

Апробація результатів. Основні положення і результати магістерської роботи представлялися на 2-х науково-практичних конференціях.

Публікації. За темою магістерської роботи опубліковано 1 наукову статтю