

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І РОЗРОБКА
ФРАГМЕНТА МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ТРАФІКА З ВИКОРИСТАННЯМ
МАРШРУТИЗАТОРІВ MPLS**»

Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Маценко Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

Антонюк М.І.

(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 Телекомунікаційні системи та мережі

(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**

Маценку Дмитру Валерійовичу

1. Тема роботи: Дослідження характеристик і розробка фрагмента мережі передачі трафіка з використанням маршрутизаторів MPLS,
керівник роботи: Антонюк М.І., к.т.н., доцент
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. Алгоритми маршрутизації;
2. Системи управління IP/MPLS мережами;
3. Фрагмент мережі MPLS;
4. Науково-технічна література.

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

1. Дослідження особливостей побудови магістральних MPLS мереж
2. Дослідження імітаційної моделі та алгоритмів маршрутизації мережевого трафіка магістральної MPLS мережі
3. Практична реалізація алгоритму маршрутизації магістральної MPLS мережі зв'язку

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

1. Мета роботи;
2. Аналіз технологій та протоколів маршрутизації в магістральних мережах;
3. Огляд методів управління трафіком в мережах передачі даних;

4. Огляд технічних характеристик та переваг магістранських маршрутизаторів;
5. Аналіз рішень управління ip/mpls мережами;
6. Моделі процесу маршрутизації в магістранській мережі зв'язку;
7. Аналіз алгоритмів пошуку найкоротшого шляху передачі даних в магістранській мережі;
8. Дослідження системи аналізу мережевого трафіка
9. Практична реалізація досліджуваного алгоритма маршрутизації на фрагменті;
10. Оцінка ефективності реалізованого алгоритму;
11. Висновки;
12. Апробація результатів.

6. Дата видачі завдання 11.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та аналіз науково-технічної літератури	13.09.19	<i>Викон.</i>
2	Дослідження особливостей побудови магістранських MPLS мереж	22.10.19	<i>Викон.</i>
3	Дослідження імітаційної моделі та алгоритмів маршрутизації мережевого трафіка магістранської MPLS мережі	09.11.19	<i>Викон.</i>
4	Практична реалізація алгоритму маршрутизації магістранської MPLS мережі зв'язку	24.11.19	<i>Викон.</i>
5	Висновки, вступ, реферат	08.12.19	<i>Викон.</i>
6	Розробка презентації	17.12.19	<i>Викон.</i>

Студент _____
(підпис)

Маценко Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Антонюк М.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи: 77 сторінок, 42 рисунка, 8 таблиць, 23 джерела.

Об'єкт дослідження – транспортна мережа зв'язку на базі технології MPLS

Предмет дослідження – методи управління мережевим трафіком і алгоритми маршрутизації.

Мета роботи – дослідження підвищення ефективності функціонування магістральної мережі зв'язку з використанням алгоритму маршрутизації мережевого трафіку.

Методи дослідження. У магістерській кваліфікаційній роботі використані теорії макросистем, систем масового обслуговування, математичної статистики, аналізу часових рядів та кореляційного аналізу, метод імітаційного моделювання.

Досвід експлуатації мереж показав, що при правильному рішенні задач вибору пропускних спроможностей і розподілу потоків виникають проблеми, пов'язані з порушенням контракту на обслуговування, що обумовлено недостатньо розвиненими адаптивними алгоритмами маршрутизації. Таким чином, доцільна дослідити та реалізувати метрики алгоритму маршрутизації, яка враховувала б стохастичний характер надходить навантаження. Виконуючі поставлені завдання у магістерській роботі проаналізовано особливості побудови магістральних MPLS мереж їх технічні характеристики та варіанти використання різнолог типу обладнання. Виконано дослідження імітаційної моделі та алгоритмів маршрутизації мережевого трафіка магістральної MPLS мережі. У практичній частині виконана реалізація алгоритму маршрутизації MPLS мережі.

MPLS, ЯДРО МЕРЕЖІ, АРХІТЕКТУРА, МЕРЕЖА, ПЛАТФОРМА, ДОДАТКИ, ІНФРАСТРУКТУРА, IP, АЛГОРИТМ, ГРАФІК, ЕФЕКТИВНІСТЬ, VPN, МАРШРУТИЗАЦІЯ, ТРАФІК.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ МАГІСТРАЛЬНИХ MPLS МЕРЕЖ.....	12
1.1 Аналіз технологій та протоколів маршрутизації в магістральних мережах.....	12
1.2 Огляд методів управління трафіком в мережах передачі даних.....	21
1.3 Огляд основних функцій алгоритмів маршрутизації.....	23
1.4 Устаткування для мереж операторського класу IP/MPLS.....	27
1.4.1 Огляд технічних характеристик та переваг магістральних маршрутизаторів.....	28
1.4.2 Огляд технічних характеристик та переваг мультисервісних маршрутизатор.....	30
1.4.3 Огляд технічних характеристик та переваг комутаторів операторського класу.....	34
1.5 Рішення для управління IP/MPLS мережами.....	37
1.5.1 Система управління 5620 Service Aware Manager.....	37
1.5.2 Система аналізу і генерації звітів 5670 Reporting and Analysis Manager.....	40
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКА МАГІСТРАЛЬНОЇ MPLS МЕРЕЖІ.....	44
2.1 Аналіз імітаційної моделі процесу маршрутизації в магістральній мережі зв'язку.....	44
2.2 Статистичний аналіз мережевого трафіку.....	54
2.3 Дослідження алгоритму пошуку найкоротшого шляху передачі даних в магістральній мережі.....	62

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МАРШРУТИЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНОЇ MPLS МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ.....	66
3.1 Опис системи аналізу мережевого трафіка.....	66
3.2 Практична реалізація досліджуваного алгоритма маршрутизації на фрагменті мережі MPLS.....	74
3.3. Оцінка ефективності реалізованого алгоритму.....	78
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОКС	- загальний канал сигналізації;
ОЦК	- основний цифровий канал;
ПД	- передача даних;
РРЛ	- радіорелейний лінія;
ТК	- транзитний комутатор;
ТСГ	- транспортна мережа міська;
ТСД	- транспортна мережа доступу;
FEC	- клас еквівалентного переадресування;
DWDM	- компактне спектральний ущільнення;
E1	- стандартний тракт первинної ЦСП з пропускною спроможністю 2048 кбіт/с;
OSI	- модель взаємодії відкритих систем;
PDH	- плезиохронная цифрова ієрархія ЦСП;
QoS	- якість обслуговування;
LSP	- комутацією по мітках;
LFIB	- інформаційна база пересилки по мітці.
MPLS	- багатопротокольна комутація по мітках;
SDH	- синхронна цифрова ієрархія ЦСП;
SIP	- протокол ініціювання сеансів зв'язку;
TCP	- протокол управління передачею;
TDM	- тимчасові поділ каналів;
VPN	- віртуальна приватна мережа
WAP	- протокол бездротових додатків;
WDM	- спектральний ущільнення.

ВСТУП

Актуальність дослідження. В даний час для користувачів конвергентних мереж все більший інтерес представляють такі служби, як відеоконференц-зв'язок, доступ до web-служб та баз даних, що відповідає світовим тенденціям розвитку галузі телекомунікацій. При цьому методологія забезпечення вимог щодо якості обслуговування різноманітного трафіку не є до кінця вивчена, що обумовлено протиріччям між новими виникаючими службами і можливостями мережі, яке полягає в появі поняття якості обслуговування в рамках служб і можливостей щодо його забезпечення в межах мережевої технології. Рішенням цього протиріччя стають, з одного боку, розробка пропозицій та рекомендацій, що стосуються класів обслуговування, а з іншого боку, поява протоколів і технологій, що дозволяють забезпечити вимоги щодо якості обслуговування (QoS).

Сучасні мережі будуються на основі стека протоколів TCP/IP, проте завдання забезпечення необхідної якості в них залишається не повністю вирішеною. Конвергентні мережі IP/MPLS мають значно більші можливості щодо забезпечення QoS і розподілу інформаційних потоків, тому управління трафіком в рамках цього об'єкта найбільш ефективно.

Таким чином, мета магістерської роботи, яка присвячена дослідженню підвищення ефективності функціонування магістральної мережі зв'язку з використанням алгоритму маршрутизації мережевого трафіку є своєчасною та актуальною.

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

- Дослідження особливостей побудови магістральних MPLS мереж;
- Дослідження імітаційної моделі та алгоритмів маршрутизації мережевого трафіка магістральної MPLS мережі;
- Практична реалізація алгоритму маршрутизації магістральної MPLS мережі зв'язку.

Наукова новизна одержаних результатів. В магістерській кваліфікаційній роботі результатом є отримана аналітична модель магістральної MPLS-мережі, що відрізняється від відомих тим, що дозволяє врахувати вимоги щодо якості обслуговування трафіку і визначити частки потоку по ланкам, забезпечити стан рівноваги інформаційних потоків. Досліджений алгоритм вирішує завдання з управління інформаційними потоками і підвищує ефективність використання мереж за рахунок рівномірного завантаження комутаційного обладнання.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розробленої імітаційної, аналітичної моделей і алгоритму, здійснюються аналіз ефективності розподілу інформаційних потоків в магістральної мережі провайдера, а також маршрутизація трафіку. В результаті підвищується ефективність управління інформаційними потоками при вирішенні задачі розподілу трафіку в мережах, побудованих за технологією MPLS з використанням математичного апарату теорії макросистем в умовах надання сучасних послуг користувачам.

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

Публікації. За матеріалами магістерської кваліфікаційної роботи опублікована 1 наукова стаття.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ МАГІСТРАЛЬНИХ MPLS МЕРЕЖ

1.1 Аналіз технологій та протоколів маршрутизації в магістральних мережах

Завдання по передачі інформації в масштабах регіону, розширенню різних інформаційних сервісів, необхідності забезпечення якісного зв'язку з зовнішніми інформаційними ресурсами як в Україні, так і за кордоном, вимагають створення розвиненої регіональної телекомунікаційної інфраструктури.

Основою такої інфраструктури є магістральні мережі передачі інформації. Для створення оптимальної територіально-розподіленої телекомунікаційної системи на технічному рівні необхідно забезпечити:

- високі швидкості передачі інформації і малий час затримки;
- розширені і іди послуг, в яких зацікавлені користувачі (передача голосу і даних, конференц-зв'язок, поштова скринька відео, відеоінформація, відеотелефонія, відеоконференц-зв'язок та ін.);
- інтеграцію існуючих некомп'ютерних технологій Передачі інформації, таких як телетайп, телекс, факс;
- інтеграція з існуючими мережами, іншими технологіями і сумісність продукції різних фірм-виробників;
- запас за основними технічними параметрами для розвитку інформаційної системи щонайменше на найближчі роки.

Під магістральною мережею зв'язку розуміється транспортна телекомунікаційна інфраструктура для надання послуг зв'язку. Як правило, магістральна мережа зв'язку вибудовується на власних або орендованих волоконно-оптичних лініях зв'язку з використанням високошвидкісного каналного устаткування зв'язку. Приклад такої мережі представлений на рис.1.1.

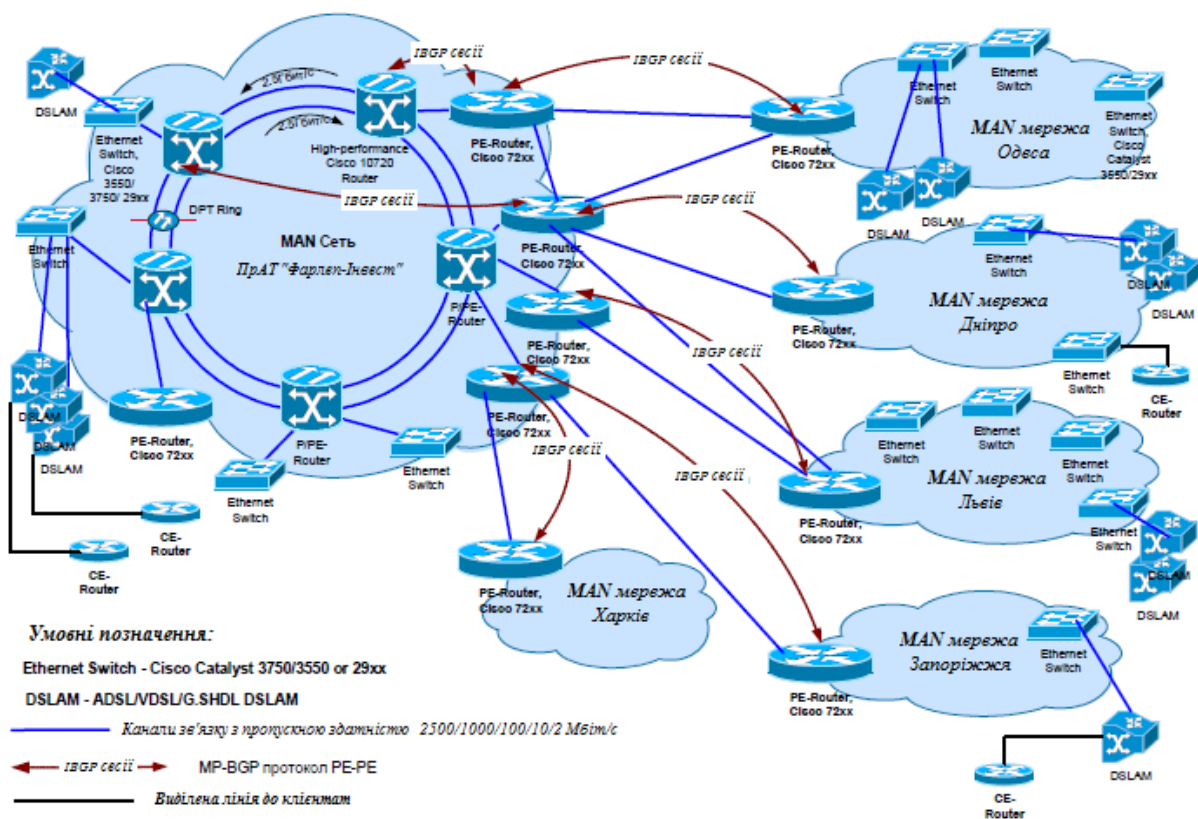


Рисунок 1.1. Приклад схеми організації мережі MPLS ПраТ «Фарлеп-Інвест»

Джерелом навантаження для магістральних мереж служать мережі доступу - частина телекомунікаційної мережі між пунктом закінчення телекомунікаційної мережі та найближчим комутатором.

В даний час в якості магістральних ліній мереж передачі використовуються різні технології, найбільш широкое поширення набули MPLS, SDN, DWDM, Ethernet і GigabitEthernet.

У тенденціях побудови перспективних мереж особливого поширення набула технологія MPLS [1]. В першу чергу це обумовлено її широким розповсюдженням, наданням гнучких можливостей з управління трафіком, широким спектром виробників комутаційного обладнання, необхідністю збільшення пропускної спроможності каналів зв'язку, розширенням спектра послуг які надаються і забезпечення необхідного QoS.

Тенденції розвитку сучасних мереж демонструють безперервний процес нарощування пропускної здатності каналів зв'язку, але це не здатен повною мірою

забезпечити також зростаючі вимоги, обумовлені введенням нових послуг, збільшенням числа користувачів і зростанням вимог до якості послуг, що надаються, В зв'язку з цим для раціонального розподілу ресурсу пропускної здатності створюваної мережі необхідно використання системи управління. З точки зору використовуваних технологій побудови магістральної мережі можливі принципіально різні підходи до її реалізації, орієнтовані на конкретну технологію. Наприклад, розглядаючи механізми управління потоком, необхідно відзначити, що в різних технологіях вони значно відрізняються і часто не здатні функціонувати спільно. У зв'язку з цим необхідно розглянути особливості технології побудови магістральної мережі і реалізацію механізмів управління,

Визначимо що вибір маршруту - шлях, по якому повинні бути передані пакети даних від джерела адресату. Набір маршрутів, які можуть бути призначені новому з'єднанню, залежить від безлічі факторів, таких як параметри трафіку і вимоги до якості обслуговування: по-ступають заявки, параметри стану мережі, стратегія управління мережею і т.д. [1].

Під процесом маршрутизації розуміється пошук шляху (маршруту) для надходить заявки, який:

- відповідає топологічним обмеженням на можливі шляхи між заданими джерелом і адресатом;
- задовольняє вимогам за якістю послуг, що надаються;
- оптимізує показник ефективного функціонування мережі в відповідно до обраного критерію.

Технологія MPLS представляє собою специфіковані технологію просування пакетів. Її особливістю є заміна маршрутизації IP, коли маршрут кожного пакета визначається на його адресу призначення за допомогою таблиць маршрутизації. У MPLS здійснюється не маршрутизація, а комутація і просування пакетів відбувається на підставі "мітки"- блоку даних розміром 32 біт, яка містить дані про клас еквівалентності, часу життя мітки [3, 4].

Особливість технології полягає в тому, що при її побудові можливо задіяти різні технології.

Протокол MPLS в архітектурі OSI займає проміжне положення між мережним і рівнем ланки рис. 1.2.

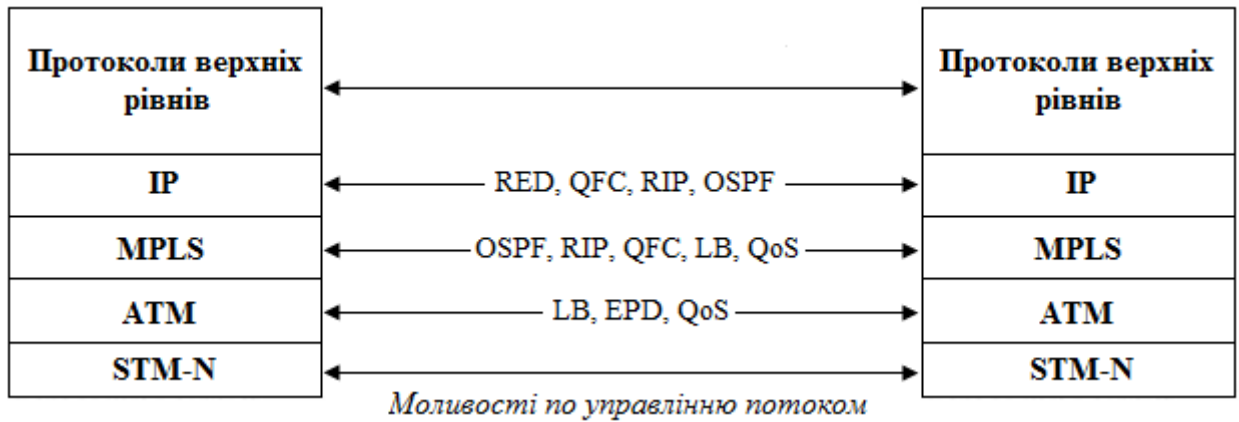


Рисунок 1.2. Місце протокола MPLS в архітектурі OSI

Застосування MPLS передбачає поділ мережі на прикордонну область і ядро. Прикордонні маршрутизатори аналізують заголовок пакета третього рівня і дописують до нього (відповідно до FEC (forwarding equivalence class - клас еквівалентного переадресування)) мітку рис. 1.3. а також знімають її при виході пакета з мережі MPLS.

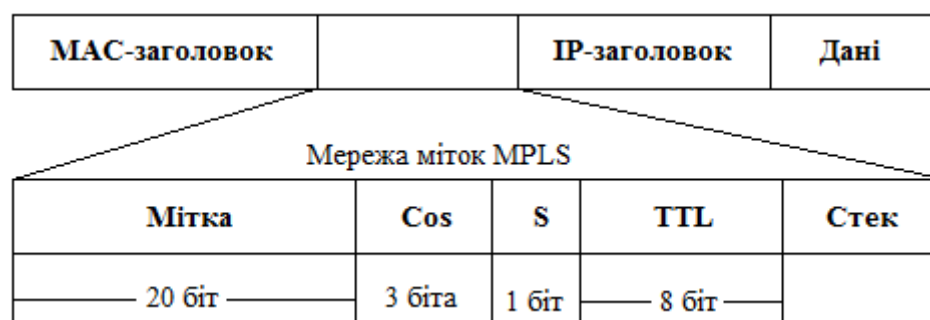


Рисунок 1.3. Формат пакета протокола

Структура вузла MPLS, що виконує комутацію по мітках представлена на рис. 1.4.



Рисунок 1.4. Структура вузла MPLS

Площина управління відповідає за формування і підтримку бази LFIB (Label forwarding Information Base - інформаційна база пересилці по мітці).

Площина пересилання відповідає за перенаправлення пакетів відповідно до мітки. Алгоритм комутації по мітці використовує інформацію, що міститься в інформаційній базі LFIB.

Таким чином, мережа MPLS являє собою дві функціонально різні області - ядро і граничну область.

Процес функціонування мережі з MPLS можливо декомпозувати на наступні етапи рис.1.5.

Етап 1. Формування таблиці маршрутизації з використанням протоколів маршрутизації, таких як OSPF. RIP.

Етап 2. Протокол LDP (Label Distribution Protocol) використовує відбиту в таблицях топологію маршрутизації для визначення значень міток, що вказують на сусідні пристрої. В результаті цієї операції формуються маршрути з комутацією по мітках (Label Switched Paths - LSP).

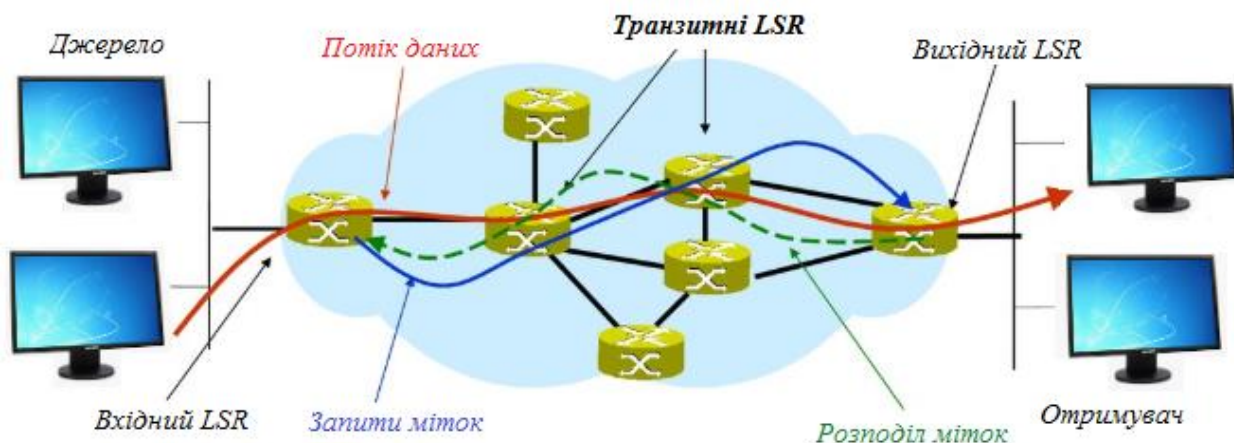


Рисунок 1.5. Схема функціонування протокола MPLS

Етап 3. Що входить пакет надходить на прикордонний комутатор по мітках (ELSR - Edges Label Switch Router), який визначає, послуги 3-го рівня, необхідні цього пакету (наприклад QoS мул і управління смугою пропускання) і привласнює мітку.

Етап 4. Коммутатор меткам- LSR (Label Switch Router), що знаходиться в опорній мережі, зчитує мітки кожного пакета, замінює старі мітки новими і передає пакет далі. Ця операція повторюється в кожній точці передачі макету по опорній мережі.

Етап 5. На виході пакет потрапляє в ELSR, який видаляє мітку, прочитує заголовок пакета і передає його далі.

В результаті аналізу встановлено, що для присвоєння міток технологія MPLS використовує різні набори правил, відокремлюючи передачу пакетів від змісту заголовків IP. Мітки мають тільки локальне значення і багаторазово використовуються в великих мережах, тому вичерпати запас міток практично неможливо. Набори міток визначають не тільки місце призначення, але й тип програми, клас обслуговування.

Технологія MPLS вигідно відрізняється від технології IP з точки зору використання класів еквівалентності трафіку, гнучкого управління потоком для кожного FEC і порту маршрутизатора, зниження часу на аналіз заголовка пакета.

Проведений аналіз способів маршрутизації третього рівні і комутації по мітках, дозволив звести їх особливості в табл. 1.1.

Таким чином, найбільш перспективною технологією побудови магістральної мережі є MPLS, що забезпечує вимоги щодо якості послуг, що надаються і має широкі можливості по управлінню трафіком, що дозволяє вирішувати завдання по вдосконаленню способів управління потоками, ефективному використанню магістральних мереж і комутаційного обладнання Б галузі телекомунікацій.

Також технологія MPLS використовує спосіб забезпечення QoS, заснований на класах еквівалентності трафіку, а застосовуваний механізм маршрутизації дозволяє динамічно розподіляти інформаційні потоки.

Таблиця 1.1.

Порівняльна характеристик комутації MPLS і маршрутизації третього рівня

Маршрутизація третього рівня	Комутація MPLS
На кожному етапі пересилання пакета присвоюється новий FEC	FEC присвоюється один раз: при надходженні пакета в мережу
Рішення про відправку пакета приймається незалежно кожним маршрутизатором на основі аналізу його заголовка і результатів алгоритма маршрутизації	При пересиланні пакета мітка пересилається разом з ним, аналіз заголовка мережевого рівня не проводиться, а колишня мітка замінюється новою
Так як інформація про вхідний маршрутизатор не передається разом з пакетом, то мітка при надходженні на різні маршрутизатори залишається незмінною	Пакет, що надійшов на маршрутизатор, може доручити іншу мітку під час вступу на інший маршрутизатор (рішення про відправку залежить від вхідного маршрутизатора)
Інформація про всі шляхи маршруту, параметри якості обслуговування і класу служби передається в пакеті (маршрутизація від відправника)	Немає необхідності передавати інформацію про всі шляхи маршруту, параметрів якості обслуговування і класі служб, оскільки вона вже міститься в мітці

Провівши аналіз протоколів маршрутизації, зробимо висновок про те, що єдиним протоколом маршрутизації, який може бути використаний в розгалужених магістральних мережах є OSPF. Однак для застосування в мережах наступного покоління, де завдання забезпечення вимог QoS є однією з домінуючих, необхідна

його модифікація, що робить актуальними дослідження з реалізації алгоритму маршрутизації, що дозволяє вирішити задачу забезпечення балансу потоків в мережі і врахувати вимоги до якості обслуговування.

Для цього розглянемо різні ресурси мережі, які обумовлюють потоки даних.

Під ресурсами будемо розуміти рис. 1.6. фізичні ресурси, серед яких виділимо ресурси цифрових трактів передачі (пропускна здатність, затримка поширення в мережі), буферних накопичувачів (ємність вхідних буферів пристроїв), елементу »мережі (лінії зв'язку, вузли комутації, маршрутизатори, сервери).

До логічних ресурсів відноситься сукупність алгоритмів, що забезпечують функціонування мережі (в тому числі і алгоритми управління потоком), і реалізує їх програмне забезпечення.

Під інформаційними ресурсами розуміються бази даних системи управління мережею зв'язку, web-інтерфейс подання даних, а також механізми роботи протоколів моніторингу стані мережі.

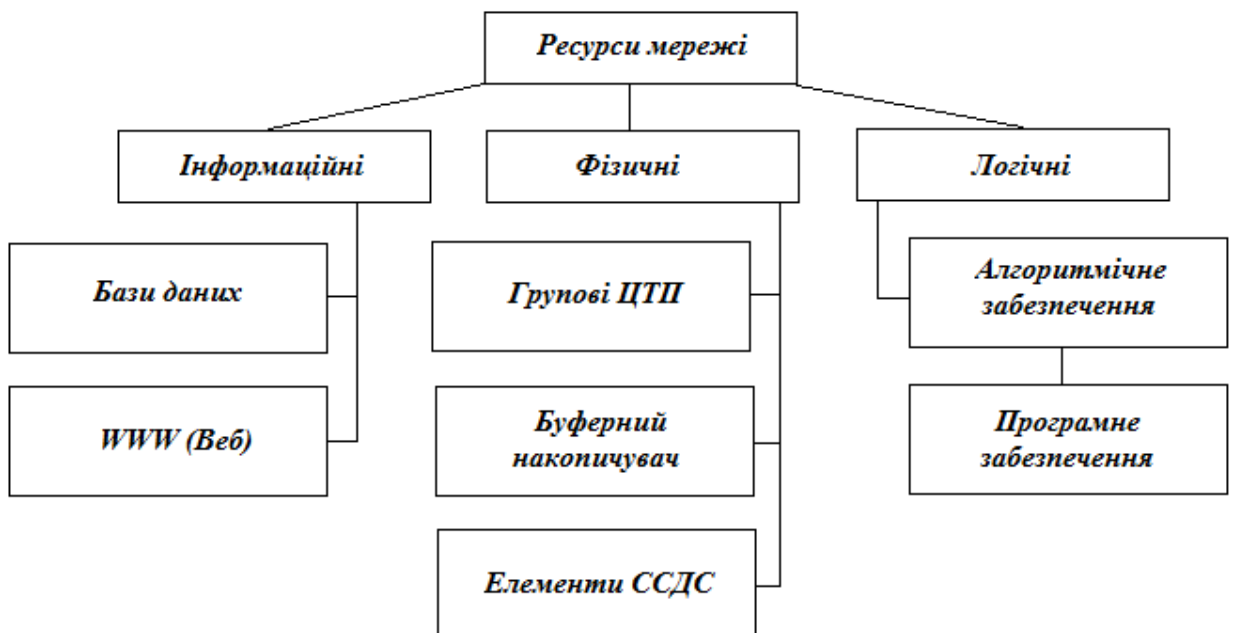


Рисунок 1.6. Класифікація ресурсів мережі

Звернення до різних інформаційних ресурсів обумовлює формування потоку заявок з мережі доступу. Найчастіше магістраль виявляється завантаженою нерівномірно, через нерегулярності генерації інформації джерелами внаслідок значного розкиду характеристик випадкових процесів передачі трафіку. Ця обставина впливає на ступінь корисного використання ресурсу, сприяє виникненню перевантажень,

У роботах [5] показано, що забезпечення якості обслуговування при розвитку служб і додатків потребуватиме великої смуги пропускання каналу. У зв'язку з цим можливий варіант збільшення пропускної здатності настільки, щоб виключити виникнення перевантажень. У той же час, як показує досвід експлуатації існуючих мереж, просте збільшення пропускної здатності не забезпечить ефективного функціонування мережі.

Принципова проблема полягає в тому, що велика смуга пропускання не гарантує дотримання обумовленої якості послуг, а лише зменшує ймовірність його порушення до незначного рівня, тим не менш, ця ймовірність ніколи не звертається в нуль.

Не меншу проблему представляє і той факт, що структура трафіку в мережі підпорядковується аж ніяк не тим статистичним закономірностям, які були б зручні для виробників апаратури і операторів. Як було виявлено фахівцями Бостонського університету підтверджено численними дослідженнями, трафік а будь-якої мережі носить фрактальний характер: у міру збільшення масштабів мережі піки і спади трафік не згладжуються, як можна було б припустити, а, навпаки, складаються в ще більші піки і спади. При примітивному кількісному підході до модернізації мереж це означає, що запас їх продуктивності повинен вимірюватися не десятками відсотків, а десятками раз. що навряд чи можна компенсувати їх відносною дешевизною. Таким чином, без інтелектуального управління трафіком і раціонального розподілу ресурсів навряд чи можливо забезпечити необхідну якість мережевих послуг, особливо в інтегрованих мережах.

1.2 Огляд методів управління трафіком в мережах передачі даних

Вихідними даними для роботи протоколів маршрутизації є оцінка параметрів вхідної навантаження (на основі досліджень процесу передачі пакетів по мережі), метод управління доступом до ресурсів мережі і вхідний потік заявок.

Як було зазначено раніше, завдання маршрутизації нерозривно пов'язана з управлінням потоком в мережі. Для управління трафіком застосовуються методи, представлені на рис. 1.7.

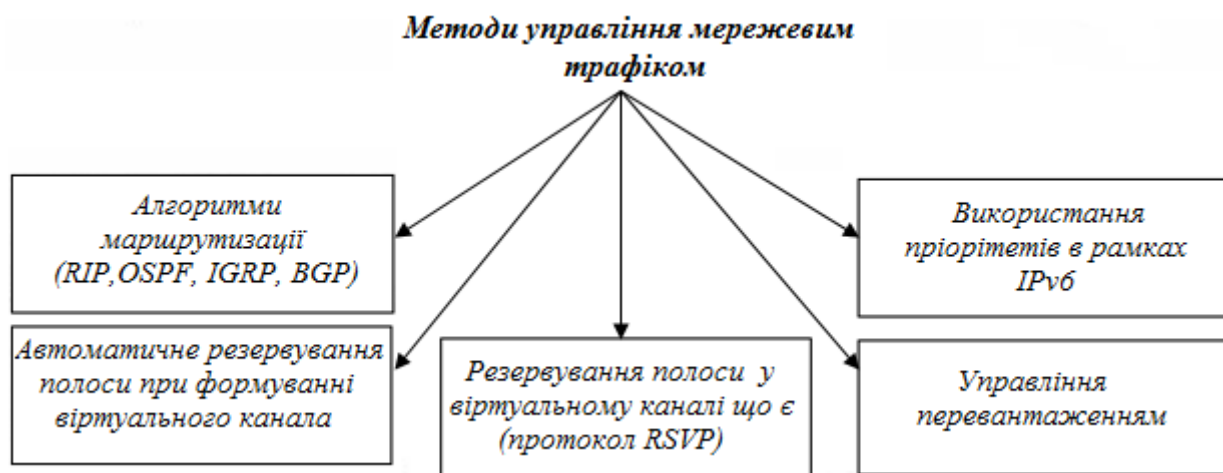


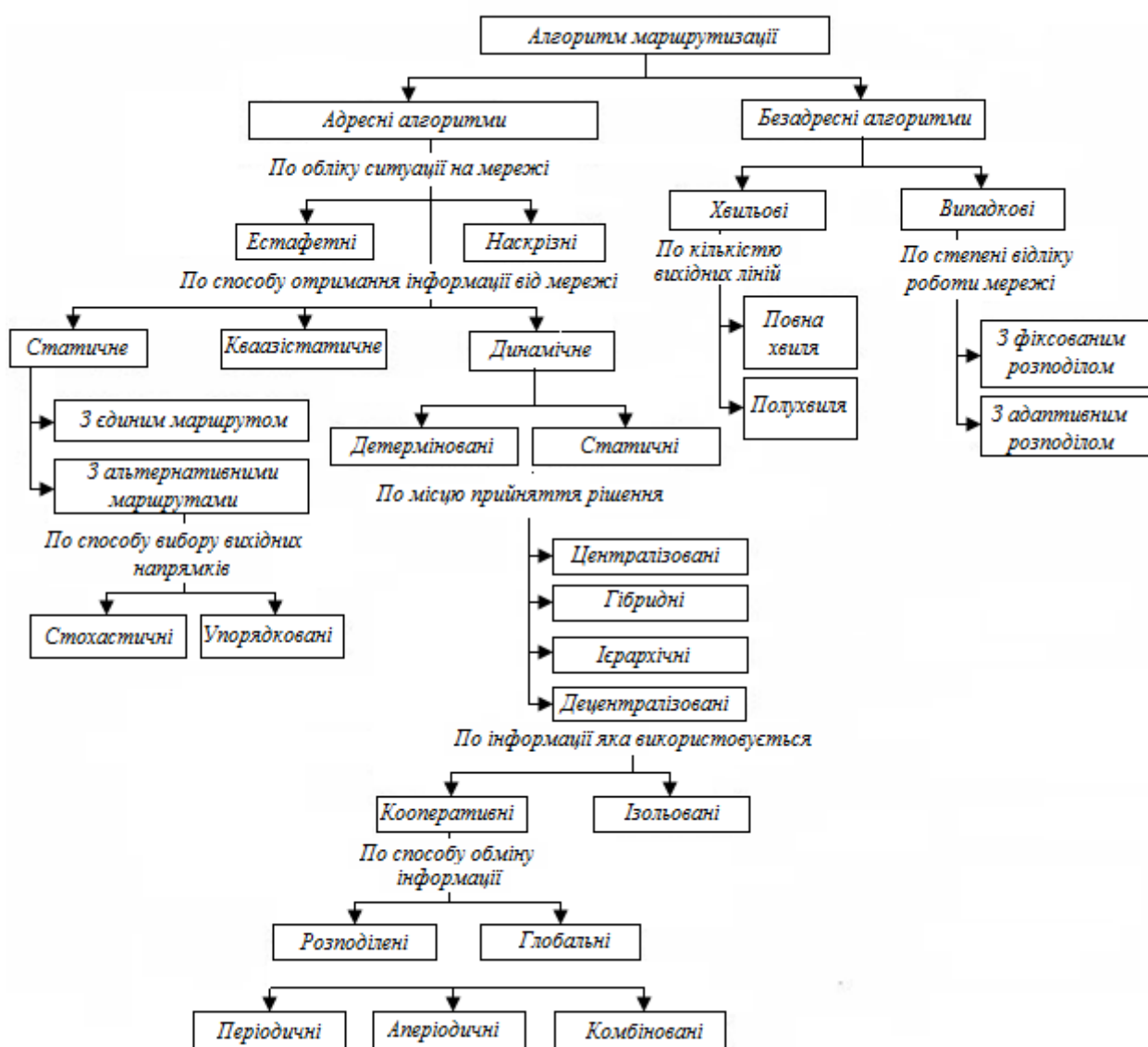
Рисунок 1.7. Класифікація методів управління трафіком в магістральній мережі

З допомогою методів управління трафіком стає можливим сформуванню таблиці маршрутизації даних різних класів трафіку і розподілити потоки даних за доступними напрямками передачі.

Допустимо, що в загальному випадку алгоритм маршрутизації повинен забезпечувати гарантоване визначення маршруту передачі повідомлення; маршрутизацію одноадресні, багатоадресних і циркулярних повідомлень; оптимізацію обраних маршрутів в відповідності з прийнятим критерієм; адаптацію до можливих змін умов функціонування мережі зв'язку і змін параметрів інформаційних потоків.

Крім того, алгоритм маршрутизації повинен усувати зациклювання повідомлень, вимагати незначного витрати мережевих ресурсів і мати прийнятні складність реалізації і швидкодія.

Розглянемо класифікацію алгоритмів маршрутизації рис. 1.8. Адресні алгоритми маршрутизації при виборі маршруту доведення повідомлення використовують його адресу, який аналізується в кожному центрі з метою визначення оптимального напрямки подальшої передачі. Для цього в маршрутизаторах повинні зберігатися маршрутно-адресні таблиці.



Рисунк 1.8. Класифікація алгоритмів маршрутизації

Безадресні алгоритми використовуються для обміну службовими даними в допоміжних протоколах або в мережах оповіщення, де існують підвищені вимоги по надійності доставки.

Проведений класифікаційний аналіз алгоритмів маршрутизації дозволяє зробити висновок а необхідність використання в магістральній підмережі мультисервісної мережі адресного способу маршрутизації.

Обґрунтуванням такого вибору може служити той факт, що безадресні методи задіють при роботі необґрунтовано більше ресурсів мережі і призначені виключно для обміну службовою інформацією тоді, як адресні використовують мінімум ресурсу мережі і не накладають обмежень на розмір повідомлення.

За допомогою адресного алгоритму точно визначається маршрутизатор, якому призначено повідомлення, не займаючи тим самим додатково ресурс мережі і центрів комутації, для яких це повідомлення не призначене. При цьому найбільш ефективною є адаптивна маршрутизація, так як вона дозволяє враховувати умови функціонування окремих елементів і мережі в цілому і запобігати затримки в центрах комутації при збільшенні навантаження або виході з ладу елементів мережі [6]. Службова інформація про стан мережі може передаватися розподіленим або суміжних способом .

1.3 Огляд основних функцій алгоритмів маршрутизації

Для опису топології мережі використовуємо теорію графів, за допомогою якої зручно визначити основні використовувані в роботі поняття і описати процес маршрутизації.

Для роботи алгоритму маршрутизації необхідно визначити критерій, за яким буде здійснюватися вибір напрямку. Під напрямком передачі розуміється будь-яка гілка графа мережі, інцидентна вершині ініціатору передачі. Введемо поняття "навантаження". Під навантаженням в «лінії» (i,j) (джерело - одержувач) необхідно розуміти інтенсивність надходить трафіку $f_{(i,j)}$. Визначимо, що поняття "лінія" і "канал" будуть синонімами, оскільки фізичні процеси передачі не

розглядаються. Загальний потік, що надходить в магістраль мережі, позначимо Λ . Потік $f(i,j)$ проходить по лінії (i,j) , вимірюється в одиницях даних в секунду. Визначимо також, що поняття "шлях" і "маршрут" в рамках даної роботи мають одні і той же сенс і визначаються поняттям "простий шлях" - послідовність вершин, таких, що дві будь-які послідовні вершини з'єднані хоча б одному ребром.

У потокових моделях, апроксимуючу роботу магістральних мереж, робиться неявне припущення про те, що статистика трафіка не змінюється в часі. Це вірно тоді, коли статистика змінюється повільно в порівнянні із середнім часом, необхідним для зменшення черг в мережі, і коли потоки в лініях вимірюються шляхом тимчасового усереднення.

Робота будь-якого протоколу маршрутизації описується його цільовою функцією відповідно до критерію. Серед таких критеріїв виділяють:

- мінімум затримки на поширення;
- максимум коефіцієнта використання каналу;
- мінімум витрат на передачу інформації.

Критерій для максимуму коефіцієнта використання лінії аналітично запишемо наступним чином [7]:

$$\frac{f(i,j)}{d(i,j)} \rightarrow \max, \quad (1.1)$$

де $d(i,j)$ - пропускна здатність лінії (i,j) , яка вимірюється в тих же одиницях, що і $f(i,j)$ - потік, що проходить по лінії (i,j) .

У класичній постановці завдання оптимальної маршрутизації записується в такий спосіб [7,8]:

$$\sum_{(i,j)} d(i,j)(f(i,j)) \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

де $d(i,j)$ ($f(i,j)$) - деяка вартісна функція. Дана цільова функція мінімізує завантаження лінії зв'язку. При цьому повинні бути виконані обмеження про існування потоку і наявності хоча б одного маршруту джерело - одержувач.

Критерій мінімуму витрат на передачу даних по шляхам P_1, \dots, P_n записується у вигляді [9].

$$\min COST(P_1, \dots, P_n), \quad (1.3)$$

якщо задана деяка вартісна функція $COST(P_1, \dots, P_n)$, що дозволяє визначати ефективність функціонування мережі і витрати на передачу даних в залежності від обраних маршрутів.

На основі аналізу цільових функцій, алгоритмів маршрутизації, а також їх реалізацій в конкретних протоколах сформована табл. 1.2.

Наприклад, для протоколу АТМ застосовувались цільові функції, такі як мінімум адміністративного ваги, що позначається AW і характеризує значимість лінії в аспекті ціни, протяжності, пріоритетності та ін.; баланс пропускної здатності BW , мінімізуюча кількість ліній з низькими значенням "доступна частина пропускної спроможності" - $AVCR$ при заданому значенні MCR - максимальної пропускної здібності, виділеної лінії.

На етап проектування в магістральній мережі найбільш ефективно з точки зору використання доступної пропускної здатності і складності використовувати К-шляхову маршрутизацію, а на етапі оперативно-технічного управління - протокол OSPF.

На основі аналізу механізмів управління трафіком, виділимо наступні особливості.

1. Мережа зв'язку є багатопрокольною і мультисервісною, як наслідок, включає в себе різні керуючі механізми, розподілені по різних рівнів і функціонують незалежно один від одного.

2. Параметри та режими роботи протоколів маршрутизації встановлюють декларативно і не підтримується динамічне налаштування їх параметрів.

3. Управління потоками і боротьба з перевантаженнями в рамках технології IP/MPLS базується на профілактичні методи.

4. Основним завданням управління навантаженням в мережі є забезпечення QoS.

Таблиця 1.2.

Алгоритми маршрутизації і цільові функції які реалізуються ними

На етапі проектування			На етапі оперативного-технічного управління		
Назва	Переваги	Недоліки	Назва	Переваги	Недоліки
Одно-шляхова Цільова функція	Знаходження єдиного оптимального шляху	Висока складність алгоритму $O(N^4)$, неможливість контролю QoS, враховується лише параметр середнього часу затримки пакету	PNN1 Цільова функція	Контроль допуску в мережу (CAC/GCAC) Можливість вибору метрик.	Неможливість досягнення балансу потоків. Неможливість перерозподілу потоків
Альтернативна Цільова функція	Відносна простота знаходження рішення складності $O(N^3)$	неможливість контролю QoS, враховується лише параметр середнього часу затримки пакету	OSPF Цільова функція	Є можливість перерозподілу потоків. Можливість вибору метрик	Неможливість досягнення балансу потоків.
К-шляхова Цільова функція	Відносна простота знаходження рішення складності $O(N^2)$	неможливість контролю QoS, враховується лише параметр середнього часу затримки пакету	IS-IS Цільова функція	Є можливість перерозподілу потоків. Можливість вибору метрик	Неможливість досягнення балансу потоків.

Необхідною умовою роботи превентивного управління може служити одержання прогнозної оцінки навантаження, створюваної джерелом інформації, а

також при використанні систем аналізу трафіку - непрогнозований збільшення навантаження за певний інтервал часу. Використання даних умов дозволяє визначити поріг початку роботи механізмів управління потоком і здійснити вибір необхідного механізму управління.

Крім того, необхідно визначити порогові значення початку функціонування різних механізмів управління відповідно до класу надходить навантаження. Наприклад для трафіку реального часу використання алгоритмів управління потоком зі зворотним зв'язком не бажано, більший ефект буде забезпечуватися скиданням пакетів [10].

На закінчення розгляду методів управління, мережевим трафіком, слід зазначити, що процедури, їх реалізують, в даний час повністю не стандартизовані, В зв'язку з цим фактом актуальна задача розробки алгоритму що дозволяє здійснювати вибір маршруту відповідно до цільової функцією при досягненні балансу потоків. Крім того, введення такого алгоритму дозволить гнучко реалізовувати розглянуті механізми управління з урахуванням їх комплексного використання, що і зумовлює актуальність дисертаційного дослідження. Розглянуті в розділі цільові функції не можуть бути використані для досягнення балансу потоків, що визначає необхідність розгляду нової, яка знімає це обмеження. Крім того, необхідно вибрати показники якості які відображають ефективність функціонування алгоритму маршрутизації.

1.4 Устаткування для мереж операторського класу IP/MPLS

Для побудови транспортної мережі, у даному підрозділі було виконано аналіз обладнання компанії Huawei, на базі якого телеком-оператори мають змогу побудови мереж рівня ядра, агрегації або управління. Розглянуто платформи комутації і маршрутизації операторського класу які володіють мають ефективною продуктивністю і дозволяють операторам надавати послуги як кінцевим користувачам так і для бізнесу.

1.4.1 Огляд технічних характеристик та переваг магістральних маршрутизаторів

Huawei 7950 XRS - це найпотужніша в світі платформа для магістральної маршрутизації, що забезпечує неперевершену масштабованість, ефективність і універсальність можливостей. 7950 XRS вирішує широкий спектр завдань, що постають перед операторами для забезпечення зв'язку зараз і в найближчому майбутньому.

Максимальна економічна ефективність роботи магістрального маршрутизатора досягається завдяки поєднанню продуктивності, масштабованості і набору можливостей. Інноваційний мережевий процесор і перевірена часом операційна система є ядром такого унікального поєднання властивостей. Лінійка продуктів 7950 XRS забезпечує серйозну економію завдяки можливостям надання IP-маршрутизації, комутації MPLS LSR/LER і послуг VPN на одній платформі. Впровадження єдиної платформи забезпечує гнучкість і відповідність поточним та майбутнім вимогам до пропускної спроможності і функціональності в магістральних та міських транспортних мережах.



Рисунок 1.9. Лінійка продуктів магістральних маршрутизаторів 7950

а) 7950 XRS-16с Оптимізовано для створення операторських мереж регіонального рівня продуктивністю 6.4 Tb/s. Система включає 16 слотів з пропускною здатністю 200 Gb/s або 8 слотів 400 Gb/s.

Завдяки можливості установки 32 інтерфейсів 100GE або 320 10GE інтерфесом в в одному шасі, маршрутизатор 7950 XRS-16с є найкращим вибором для операторів, яким потрібні менш продуктивні системи, але володіють такими ж широкими можливостями, як і більш потужні моделі лінійки 7950 XRS.

б) 7950 XRS-20 Забезпечує продуктивність 16 Tb/s в одній стійці 19 ". Система включає 20 слотів з пропускною спроможністю 400 Gb/s. 7950 XRS-20 підтримує до 80 портів з інтерфейсами 100GE в одній стійці, і займає на 80% менше місця ніж будь-які існуючі магістральні маршрутизатори аналогічної ємності.

Маршрутизатор 7950 XRS-20 може бути розширений до 7950 XRS-40 з подвоєною продуктивністю, а також до мультішасійних конфігурацій 7950 XRS які можуть знадобитися в майбутньому.

в) 7950 XRS-40 забезпечує продуктивність маршрутизації 32 Tb/s в одній системі. Система включає 40 слотів з пропускною спроможністю 400 Gb/s.

Розроблений для найбільших магістральних мереж, один маршрутизатор 7950 дозволяє отримати до 160 інтерфейсів 100 GE. така ємність перевищує сумарну ємність всіх встановлених на сьогоднішній день мультішасійних конфігурацій.

Маршрутизатор був розроблений для надання швидкостей 1 Tb/s і з запасом забезпечує можливість використання інтерфейсних модулів 400 GE в майбутньому.

Дана лінійка маршрутизаторів забезпечує наступні переваги:

- Скорочення витрат на електроенергію і економія простору, маршрутизатор 7950 дозволяє операторам скоротити витрати на електроенергію і оренду приміщення для розміщення обладнання більш ніж на 50% за п'ять років експлуатації;

- Економічна ефективність, гнучке поєднання в одному пристрої можливостей IP маршрутизації, MPLS комутації та надання інфраструктурних послуг забезпечує економічну ефективність впровадження маршрутизатора 7950;

- Неперевершена масштабованість, гнучкість і масштабованість в одному пристрої мінімізує вартість володіння і робить простим нарощування пропускної здатності і можливостей мереж в майбутньому;

- Висока продуктивність і надійність, маршрутизатор гарантує операторам високу надійність завдяки продуктивній операційній системі SR OS, надійність якої підтверджена великою кількістю успішних впроваджень.

1.4.2 Огляд технічних характеристик та переваг мультисервісних маршрутизатор

Мультисервісні маршрутизатори Huawei 7750 призначені для надання диференційованих високопродуктивних послуг з високим рівнем експлуатаційної готовності. Маршрутизатор 7750 SR характеризуються пропускною спроможністю 90 Гбіт/с до 7,2 Тбіт/с, можливістю спеціалізованої обробки додатків на рівні сервісів, розширеним якістю надання послуг (QoS) і повним набором мультисервісних/Ethernet інтерфейсів і протоколів. Завдяки цим властивостям 7750 SR забезпечують найкращу в галузі масштабованість і гнучкість, що дозволяють надавати широкосмугові і бездротові IP-послуги приватним та корпоративним споживачам на конвергентній платформі маршрутизації.



Рисунок 1.10. Лінійка продуктів мультисервісних маршрутизаторів 7750

Дана лінійка маршрутизаторів забезпечує наступні переваги:

- Підвищення прибутку за рахунок надання інноваційних диференційованих послуг, підтримка розширених мережевих послуг дозволяє отримувати додатковий прибуток, надаючи орієнтований на абонентів доступ до інтернету і послуги підключення. Розуміння потреб абонентів, особливостей послуг і додатків дозволяє надавати диференційоване якість послуг для пріоритетного трафіку. Гарантія високої оцінки якості послуг (QoE) для певних програм і їх оцінка для визначення тарифікації дозволяє організувати багаторівневу схему ціноутворення, диференційовану по різних рівнів якості послуг. Можливість відстежувати якість надання сервісів на рівні абонента, послуги та додатків дозволяє операторам пріоритезувати найбільш дорогий трафік;

- Управління та контроль якості послуг, маршрутизатор лінійки 7750 SR працюють під управлінням системи Huawei 5620 Service Aware Manager (SAM), яка дозволяє управляти сервісами і надає наочне відображення параметрів роботи мережі на рівні послуг в мережах будь-якого розміру. До складу рішення для управління Huawei входять додаткові кошти: 5650 Control Plane Assurance Manager (CPAM) і 5670 Reporting and Analysis Manager (RAM), які, працюючи спільно з 5620 SAM, оптимізують управління мережею і допомагають налаштування та управління мережевими підключеннями і найсучаснішими послугами мережі;

- Зниження експлуатаційних витрат, об'єднання послуг на стороні провайдера за допомогою граничних маршрутизаторів 7750 SR дозволяє спростити управління мережею, тому що всі послуги працюють на платформі з єдиним набором функцій, однією операційною моделлю і єдиним управлінням при одночасній підтримці масштабування, необхідного для об'єднання послуг. У міру перенесення послуг на конвергентні мережі, застарілі мережі, за якими надавалися ці послуги, можуть виводитися з експлуатації, що ще більше спрощує загальне управління мережею і дозволяє знизити витрати;

- Захист інвестицій, лінійка маршрутизаторів 7750 SR постійно удосконалюються відповідно до зростання вимог замовників до функціональності і масштабування. Гнучка апаратна частина 7750 SR дозволяє додавати нові

можливості і удосконалення програмним способом, а не шляхом постійно мінливих численних апаратних модифікацій.

Кращий в галузі мережевої процесор FP забезпечує необхідну пропускну здатність платформи 7750 SR, а масштаби послуг можуть постійно зростати зі зростанням вимог замовників, забезпечуючи замовникам безпрецедентний рівень захисту інвестицій.

Виконано огляд більш компактних мультисервісних маршрутизаторів лінійки 7705 (SAR) відрізняються компактністю виконання в поєднанні з кращими в галузі можливостями передачі даних в будь-якій мережевій середовищі.

Маршрутизатор Huawei 7705 Service Aggregation Router (SAR) призначений для мультисервісної адаптації, агрегації і маршрутизації трафіку в сучасних мережах Ethernet і IP/MPLS. Виконаний в компактній платформі, з мінімальним енергоспоживанням, з потужною операційною системою Service Router Operating System (SR OS) і ефективною системою управління 5620 SAM, маршрутизатор 7705 SAR забезпечує високу експлуатаційну готовність в відмовостійких і гнучких мережесхем топологіях. 7705 SAR добре підходить для агрегації і передачі мобільного трафіку 2G, 3G і LTE, забезпечуючи економічне масштабування і трансформацію в мережу IP / MPLS, при цьому в процесі переходу від уже існуючих до нових консолідованим пакетним рішенням підтримується модернізація комерційних послуг. За допомогою маршрутизатора 7705 SAR можна значно зменшити площу, зайняту обладнанням і витрати на електроенергію. Енергетичні, транспортні, інші галузеві підприємства і державні організації можуть впевнено впроваджувати Huawei 7705 SAR для забезпечення надійної роботи обладнання попереднього покоління і в той же час отримання сучасних VPN послуг.



Рисунок 1.11. Лінійка продуктів мультисервісних маршрутизаторів 7705

Таблиця 1.3.

Можливості та переваги мультисервісних маршрутизаторів

Можливості	Переваги
Всі можливості IP / MPLS маршрутизації в компактному форм-факторі на сайтах рівня доступу та агрегації.	Модульна гнучка архітектура спрощує проектування мережі і планування її майбутнього розширення. Компактний захищений варіант виконання дозволяє виробляти монтаж в тому числі зовні приміщень.
Можливість надання мультисервісних послуг на рівні доступу дозволяє об'єднати їх в єдину ефективну економічну пакетну інфраструктуру.	Компактні енергоефективні мультисервісні платформи знижують вартість витрат на електроенергію та охолодження. Широкі можливості налаштування політик QoS покращують сприйняття користувачем послуг.
Діагностика OAM на рівні послуг, доповнена можливостями системи управління 5620 SAM з графічним інтерфейсом, дозволяють конфігурувати елементи мережі, управляти послугами, моніторити продуктивність і здійснювати діагностику мережі на всіх рівнях.	Швидке виявлення відмов і потужні інструменти введення в експлуатацію, пошуку та усунення неполадок підвищують ефективність роботи обслуговуючого персоналу і знижують час простою мережі.

Продовження таблиці 1.3.

Можливості та переваги мультисервісних маршрутизаторів

Можливості	Переваги
Міграція з традиційних мережевих технологій (TDM) на економічно ефективні пакетні мережі IP / MPLS дозволяє використовувати інтерфейси підключення будь-якого типу на рівні доступу.	Побудова мереж на основі IP / MPLS і Ethernet дозволяє знизити витрати на операційні витрати в тому числі на оренду виділених ліній.
Міцні та резервування, включаючи: модулі управління і комутації без перерви в роботі (7705 SAR-8 і 7705 SAR-18), резервування синхронізації, мережевих інтерфейсів і харчування. Маршрутизатор 7705 (крім 7705 SAR-18) працюють в розширеному температурному діапазоні.	Висока відмовостійкість збільшує час роботи мережі, що позитивно впливає на ставлення замовників і дозволяє збільшити прибуток від послуг з високим рівнем рентабельності.
Широкий вибір варіантів синхронізації, гнучкість експлуатації, резервування і точність, підтверджена результатами незалежного тестування.	Точна синхронізація забезпечує економічне розгортання пакетної мережі і підвищує якість роботи користувачів (наприклад, зменшує втрату даних, число перерваних викликів в мобільних додатках).

1.4.3 Огляд технічних характеристик та переваг комутаторів операторського класу

Сімейство компактних мультисервісних комутаторів Huawei 7210 Service Access Switch (SAS) призначене для використання в мережах невеликих сервіс-провайдерів, корпоративних мережах і як пристрої підключення ко кінцевого клієнта до мереж операторів.

Комутатори 7210 SAS дозволяють надавати диференційовані послуги в мережах Carrier Ethernet, а також сервіси VPLS, VLL і IP VPN на моделях 7210 SAS з підтримкою IP/MPLS і RSVP. Важливими особливостями комутаторів є: підтримка технології PBB (IEEE 802.1ah), ієрархічне якість обслуговування (H-QoS), розширений набір інструментів управління, адміністрування і

обслуговування (OAM), можливість синхронізації (SyncE і 1588v2) і підтримка інтерфейсу 10GigE.

Комутатори 7210 SAS сертифіковані за специфікаціями MEF9 і MEF14, використовують переваги операційної системи для маршрутизаторів (SR OS) і управляються системою 5620 Service Aware Manager (SAM), що забезпечує повну інтеграцію з універсальними рішеннями агрегації Carrier Ethernet з підтримкою IP/MPLS рішень компанії Huawei.

Комутатори дозволяють надавати інноваційні послуги Carrier Ethernet VPN і підтримувати роботу додатків з високими гарантованими рівнями обслуговування (SLA) якими можна управляти аж до пристрою доступу на стороні клієнта. 7210 SAS випускаються в 5 варіантах шасі (7210 SAS-X, 7210 SAS-M, 7210 SAS-D, 7210 SAS-E, 7210 SAS-MX) з різним функціоналом, володіють гнучкістю, що дозволяє провайдерам дротових і бездротових послуг, мультисервісних операторам, а також корпоративним замовникам створювати рентабельні інфраструктури Carrier Ethernet для надавати представлення промислових, споживчих і мобільних послуг.



Рисунок 1.12. Лінійка комутаторів операторського класу 7210

Huawei 7450 Ethernet Service Switch. Huawei 7450 ESS - це високопродуктивний комутатор для агрегації послуг Carrier Ethernet операторського класу, з найвищою в галузі продуктивністю, кращою інтеграцією і високою надійністю.

Комутатор 7450 ESS поєднує властиві IP/MPLS масштабованість, відмовостійкість і гарантована якість послуг з продуктивністю і економічністю Ethernet, що дозволяє операторам надавати послуги нового покоління. Комутатор Huawei 7450 ESS має сертифікат MEF, що підтверджує відповідність встановленим рекомендаціям для виробників обладнання, а також підтримує розширені послуги

Ethernet і IP/MPLS, що дає можливість клієнтам розвивати свої мережі, отримуючи прибуток від впровадження нових сервісів при одночасному збереженні прибутковості від уже працюючих послуг.

Таблиця 1.4.

Переваги комутаторів операторського класу

Підвищення прибутку	Завдяки наданню інноваційних послуг Carrier Ethernet і IP VPN, підтримують розширені додатки, контрольовані аж до рівня доступу на стороні замовника, сервіс провайдери мають можливість отримати додатковий прибуток.
Економічна ефективність	Об'єднання професійних, мобільних і споживчих послуг на основі Ethernet в невеликих мережах на компактній платформі Carrier Ethernet з підтримкою MPLS забезпечує економічну ефективність.
Експлуатаційна ефективність	Системи управління і контролю Huawei 5620 SAM і Huawei 5650 SRAM забезпечують точне вимірювання і контроль продуктивності SLA, швидку діагностику несправностей і підтримку настроюються порталів оператора і кінцевого користувача, а також автоматичний запуск сервісів, що мінімізує витрати на експлуатацію та підвищує ефективність використання мережі.
Скорочення експлуатаційних витрат	Завдяки повній інтеграції з комплексними рішеннями Carrier Ethernet і IP / MPLS через узгоджене надання послуг якості обслуговування і OAM в межах міста, країни або в міжнародному масштабі, а також повної інтеграції з точками надання послуг IP / MPLS і оптимізованому оновленню мереж, скорочуються витрати на навчання, випробування і інтеграцію з зонтичною системою управління мережею (OSS).

Підтримка швидкості до 100 Гбіт/с без зниження продуктивності з використанням всіх можливостей коммутатора, в т.ч. ієрархічних черг, VPLS, VLL, IPVPN, дозволяє операторам перейти від міських мереж Carrier Ethernet, працюючих на швидкості 10 Гбіт/с, до швидкостей 100 Гбіт/с з можливістю подальшого переходу до швидкостей 400 Гбіт / с.

Крім того, завдяки реалізації протоколу PBB/VPLS, замовники отримують можливість гнучкого впровадження послуг Carrier Ethernet, або будь-яких поєднань послуг на основі IP/MPLS у відповідності зі своїми планами розвитку мереж.

Операційна система для маршрутизаторів SR OS компанії Huawei є відмовостійкою, багатофункціональною операційною системою операторського класу, використовується в усіх мультисервісних коммутаторах і маршрутизаторах Huawei, в т.ч. і в 7450 ESS. Завдяки застосуванню єдиної операційної системи для всіх платформ, оператори можуть гарантувати злагоджену і надійну роботу систем і управління ними при надаванні пріоритетного обслуговування клієнтам сервісів Ethernet (VLL, VPLS), IP / MPLS (IP VPN), ATM, TDM, POS, а також мобільних послуг і додатків.

Комутатор 7450 ESS випускається в чотирьох різних модифікаціях, які представлено на рис.



Рисунок 1.13. Лінійка комутаторів операторського класу 7450

1.5 Рішення для управління IP/MPLS мережами

1.5.1 Система управління 5620 Service Aware Manager

Huawei 5620 Service Aware Manager (SAM) - це ефективна система управління мережею і послугами в конвергентному середовищі IP/MPLS. Від рівня доступу до ядра швидко конфігурація сервісів скорочує термін надання послуг

кінцевим користувачам і підвищує рівень гнучкості при запуску нових сервісів. Активна діагностика несправності допомагає усунути можливі проблеми до того, як вони стануть помітні клієнтам, а проста інтеграція з існуючими системами OSS допомагає провайдерам з максимальною ефективністю використовувати свої інвестиції.

Інтегрований з системою управління 5620 SAM програмний модуль Huawei 5650 Control Plane Assurance Manager (CPAM) істотно розширює можливості контролю мережі, надаючи безпрецедентний рівень наочності динамічної мультивендорної IP/MPLS-маршрутизації і послуг.

5620 SAM - це перевірений часом рішення, яке встановлює стандарти управління мережами і мережевими послугами, гарантовано забезпечує швидке повернення інвестицій. Більше 350 провайдерів вже впровадили 5620 SAM, в тому числі для управління найбільш великими і передовими мережами в світі. 5620 SAM допомагає провайдерам вирішувати складні завдання замовників і створює основу для надання послуг нового покоління клієнтам мобільних, комерційних, ШСД і конвергентних мереж.

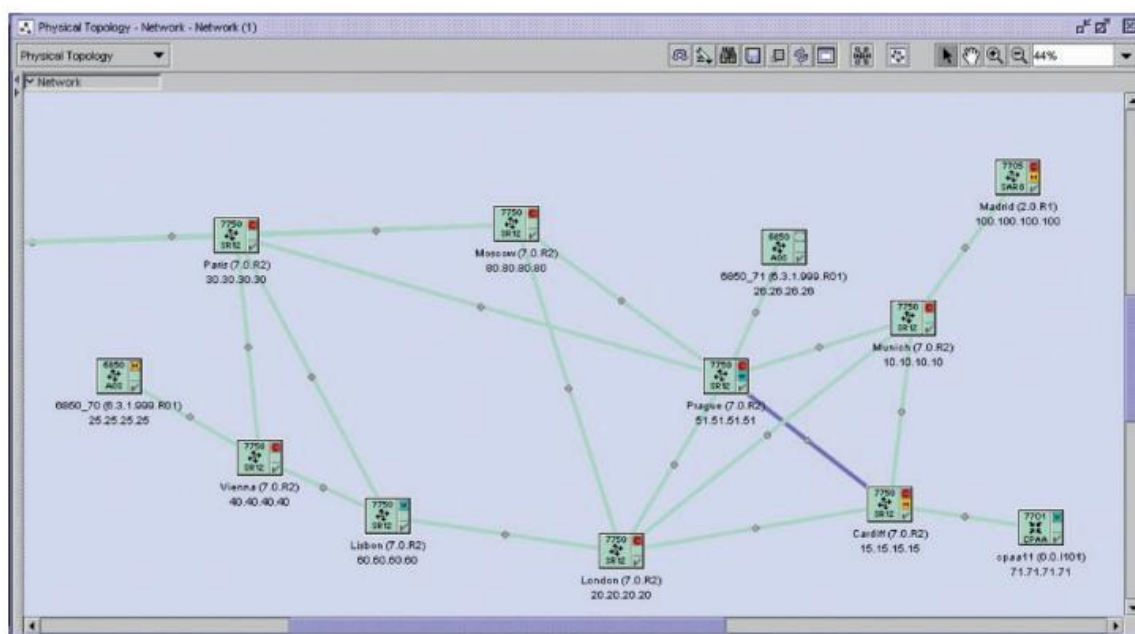


Рисунок 1.14. Інтерфейс системи управління 5620 Service Aware Manager

Можливості системи управління.

1. Попередня діагностика:

- Графічне відображення змін роботи мережі дозволяє операторам проводити аналіз впливу цих змін на роботу системи, а також заздалегідь перевіряти зміни до внесення їх в мережу за допомогою симулятора мережевий топології.

- Здійснює профілактичний моніторинг повідомлень про стан каналу зв'язку (LSA), які розповсюджуються протоколами маршрутизації IGP і оновленнями маршрутів inter-AS протоколу BGP.

- Виявляє і повідомляє про підозрілі зміни IP або MPLS LSP маршрутів, які не збігаються з прогнозованими змінами, або надає повний огляд всіх змін.

2. Оперативний пошук несправностей

- Діагностує послуги VLL / VPLS і IPVPN і MPLS топологію за допомогою інструментів OAM відповідно до IP-топологій

- Інформує про стан каналів IP/MPLS для виявлення вузлів, які не забезпечують маршрутизацію згідно алгоритму CSPF (Constrained Shortest Path First)

- Дозволяє візуалізувати і діагностувати поширення інформації по протоколам PIM і IGMP згідно поточної топології IGP

3. Масштабоване управління IP/MPLS

- Дозволяє автоматично виявляти помилки конфігурації IGP, використовуючи моніторинг стану протоколів, щоб виявити невідповідності в налаштуваннях IGP, LDP або RSVP між вузлами

- Дозволяє зіставляти зміни шляхів MPLS відповідно до динамічними змінами протоколів маршрутизації в графічному режимі

- Підтримує графічне відображення мультивендорної мереж в режимі реального часу за допомогою отримання інформації про протоколах рівня управління від 7701 CРАА.

Переваги системи управління. У тісній інтеграції з системою 5620 SAM модуль 5650 CРАМ збільшує надійність мережі, її експлуатаційну ефективність і можливість управління інфраструктурою і сервісами IP/MPLS завдяки наступним параметрам:

1. Предварительная диагностика

- Скорочує кількість порушень гарантованої якості обслуговування через некоректної поведінки протоколів контрольного рівня і помилок конфігурації до того, як це вплине на якість надаваних споживачам послуг.

2. Оперативне усунення несправностей.

- Швидко усувати несправності завдяки візуалізації топології протоколів контрольного рівня, конфігурації маршрутів і оновлень баз маршрутизації.

3. Масштабоване управління IP / MPLS

- Дозволяє операторам самостійно вирішувати проблеми без залучення високооплачуваних експертів;

- Прискорює виконання завдань за рахунок оптимізації робочих процесів і автоматизації;

- Підвищує точність планування мультивендорної мереж і додатків traffic-engineering шляхом надання інформації в режимі реального часу про IP-топологию і маршрутизацію.

1.5.2 Система аналізу і генерації звітів 5670 Reporting and Analysis Manager

Huawei 5670 Reporting and Analysis Manager (RAM) - це додаток для аналізу і генерації звітів про послуги

VPN всіх типів і трафіку абонентів мереж ШСД. Система збирає, зберігає, впорядковує і аналізує інформацію

про структуру та обсяг трафіку за кожним з працюючих на стороні клієнта додатків. 5670 RAM є частиною

системи гарантованої доставки додатків Application Assurance, яка складається з апаратної частини - мультисервісного модуля MS-ISA, що забезпечує роботу технології DPI для маршрутизатора 7750 і системи генерації звітів 5670 RAM.

Використання системи 5670 RAM покращує якість надання послуг VPN за рахунок додаткових можливостей аналізу обсягу, продуктивності і якості послуг

для кожної програми, що дозволяє виявляти і встановлювати причини відмов, а також планувати пропускну здатність мереж. Розширені за допомогою Application Assurance можливості бізнес-VPN дозволяють сервіс-провайдерам надавати прибуткові диференційовані послуги і вирішувати особливо важливі завдання корпоративних клієнтів, такі як централізація надання додатків і використання хмарних послуг.

Провайдерам ШСД система 5670 RAM допомагає вирішувати важливі технічні та економічні проблеми, які можуть виникати в результаті різкого зростання кількості мультимедійних та інших додатків з інтенсивним трафіком, в тому числі ідеопріложенія. 5670 RAM дозволяє враховувати в системі білінгу фактично спожиті послуги та тарифікацію будь-яких мережевих додатків. Крім того, система 5670 RAM надає звіти про використання ресурсів мережі для виявлення випадків некоректної поведінки додатків по кожному користувачеві.



Рисунок 1.15. Інтерфейси системи аналізу і генерації звітів

Можливості системи аналізу і генерації звітів:

- Візуалізація сценаріїв використання додатків і аналізу продуктивності протоколу TCP для операторських послуг або в конкретних вузлах мережі;
- Моніторинг голосових, відео і аудіо додатків за допомогою ефективної звітності про характеристики RTP/UDP Mean-Opinion-Score (MOS);
- Надання бізнес-клієнтам даних про індекс продуктивності додатків (APDEX) для аналізу загальної оцінки якості послуг, що надаються і роботи використовуваних в мережі додатків;

- Надання докладної статистичної інформації на рівні додатків для виявлення, діагностики та прогнозування відмов мережі і планування пропускної спроможності;
- Створення різноманітних звітів за готовими шаблонами;
- Створення спеціалізованих звітів за допомогою настроюваної користувачем функції;
- Автоматична розсилка звітів в різних форматах по електронній пошті або передача їх в зовнішні системи для подальшої обробки;
- Розсилка повідомлень по електронній пошті при порушенні встановлених значень SLA або перевищенні обсягу трафіку;
- Візуалізація можливостей поліпшення політик QoS, пов'язаних з Application Assurance (AA) для ШПД- і бізнес-клієнтів;
- Можливість аналізу, збору і зберігання великого обсягу даних про використання трафіку додатками.

Аналіз переваги системи аналізу і генерації звітів.

1. Гарантована доставка додатків для надання послуг кінцевим користувачам:

- Система генерації звітів дозволяє визначити які з додатків створюють основний трафік;
- Чи гарантує високу якість обслуговування абонентів в сфері контрольованого персонального контенту і підвищує задоволеність клієнтів послугою завдяки інтелектуальній оптимізації політик QoS на потрібному ділянці і в потрібний час на основі даних про характер використання додатків (прописується пріоритет однієї програми над іншими);
- Аналізує і коригує параметри надання вже використовуваних послуг або формує нові послуги з різними рівнями якості обслуговування, дозволяючи персоналізувати і адаптувати послуги відповідно до вимогами абонентів для мережевих бізнес-додатків, ігор, перегляду відео з персоналізованою рекламою, відвідування сайтів та інших завдань;

- Надає статистичний звіт по кожному абоненту для створення нових схем тарифікації, в тому числі, привертають абонентів до використання партнерського та іншого контенту, який користується попитом.

2. Гарантована доставка додатків для корпоративних VPN:

- Гарантує виконання жорстких вимог угод про рівень обслуговування (SLA) за допомогою моніторингу, аналізу продуктивності та завантаження каналу додатками за результатами аналізу трафіку;

- Дозволяє створювати багаторівневі тарифні плани для корпоративних VPN-послуг з різними рівнями якості обслуговування для різних додатків;

- Створює додаткові переваги для корпоративних клієнтів шляхом надання детального аналізу потоків трафіку, що, в кінцевому рахунку, дозволяє замовникам контролювати витрати і планувати зростання завантаження каналів. При підключенні додаткових послуг клієнт може отримувати статистику і управляти настройками через спеціальні сервісні інтернет-портали;

- Гарантована якість обслуговування для бізнес-додатків і економія на дорогих продуктах для оптимізації WAN.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКА МАГІСТРАЛЬНОЇ MPLS МЕРЕЖІ

2.1 Аналіз імітаційної моделі процесу маршрутизації в магістральній мережі зв'язку

Побудова імітаційної моделі дозволяють розглянути процеси, що протікають в магістральній мережі, уточнити її характеристики. Як інструмент моделювання обрано середовище MathLab версії 6.5. Вибір середовища моделювання був зроблений на підставі переваг які полягають в вивченості і опрацьованості систем автоматизації математичних розрахунків, побудованих на розширеному поданні та застосуванні, математичних операцій, відкритості і розширюваності, а також зручність візуального об'єктно-орієнтованого програмування [11,12].

У розробленій моделі магістральна мережа представляється окремими елементами - блоком генерації трафіку, блоком черги FIFO (first input - first output) маршрутизатором, що здійснює видачу пакета а напрямок відповідно до обраного критерію і обслуговуючий пристрій. Процес управління інформаційним потоком в рамках з'єднання транспортного рівня складається з наступних операцій:

- визначення найкоротших маршрутів;
- управління допуском в мережу (вхідний навантаженням);
- маршрутизація потоку заявок відповідно до обраного критерію.

Дані операції реалізуються алгоритмом маршрутизації.

Необхідно відмітити, що процес функціонування даних механізмів пов'язаний з параметрами функціонування мережі, такими як метрика алгоритму маршрутизації і інтенсивності вхідних потоків. Тоді в блок-схемі імітаційної моделі повинні враховуватися метрика алгоритму маршрутизації і модель вхідного потоку. Функціональна схема імітаційної моделі процесу маршрутизації представлена на рис. 2.1.

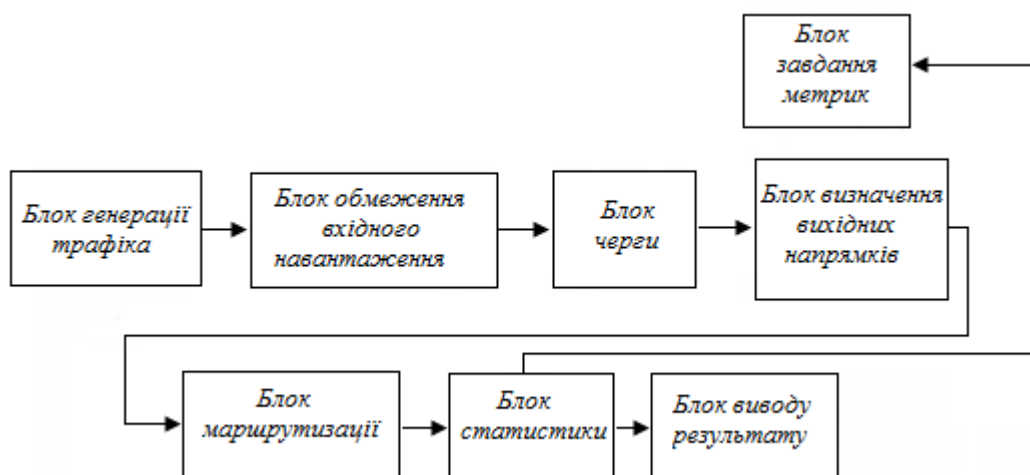


Рисунок 2.1. Блок-схема імітаційної моделі процесу маршрутизації

Досліджена імітаційна модель використовує ті ж вхідні значення, що і реальна мережа оператора зв'язку. Для отримання на імітаційній моделі значень параметрів якості обслуговування з заданою точністю необхідна її верифікація.

Для цього в регіональному відділенні ПраТ «Фарлеп-Інвест» була отримана топологічна схема магістральної мережі рис. 2.2, а також такі характеристики, як завантаження напрямків зв'язку, обсяг переданого трафіку (вхідного і вихідного), середній час затримки і ймовірність скидання пакетів.

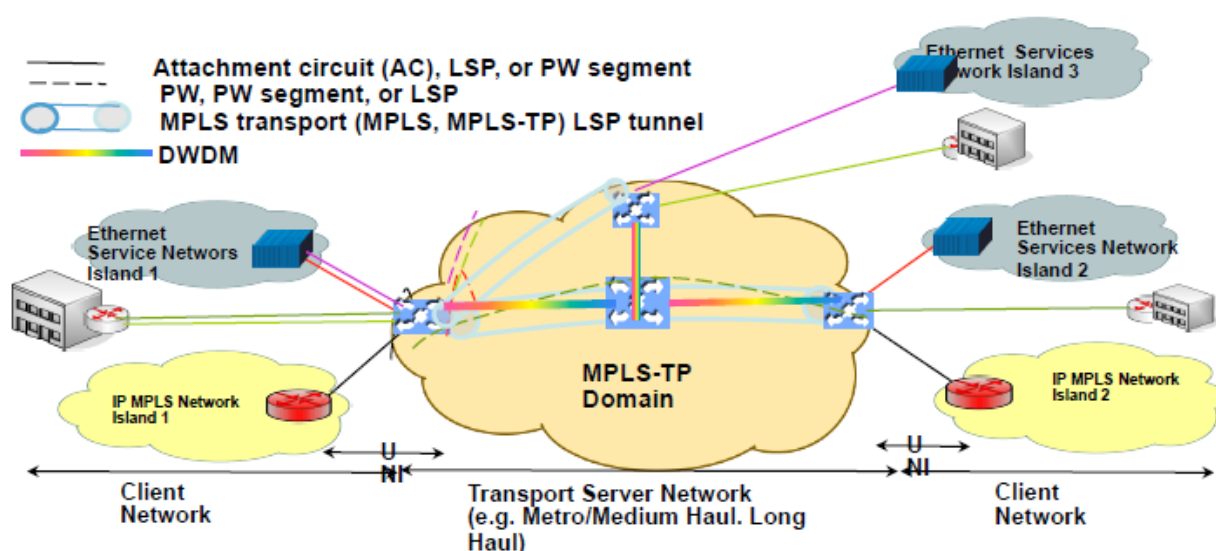


Рисунок 2.2. Топологія магістральної MPLS-мережі ПраТ «Фарлеп-Інвест»

Імітаційна модель процесу маршрутизації, представлена на рис. 2.2, синтезувалася для відомої топології. Вихідні дані по продуктивності маршрутизаторів, дисципліни обслуговування, пропускним здібностям ліній зв'язку використовувалися за аналогією з мережею-прототипом дозволило забезпечити еквівалентність вхідних даних і здійснити перевірку адекватності розробленої моделі.

Для наповнення імітаційної моделі конкретними числовими значеннями необхідно попередньо провести параметричне опис інформаційного процесу (ІП), що реалізується моделлю, яка повинна також включати і параметри процесу управління. Параметричний опис інформаційного процесу, одиниці виміру і діапазони можливих значень параметрів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметричний опис хворили процесу маршрутизація

№ п/п	Параметр	Одиниця виміру	Діапазон можливих значень	Примітка
1.Характеристики вхідного потоку				
1	$\lambda (i,j)$ – вхідний потік по лінії (i,j)	Мбіт/с	0-24	
2	$x_{(k,l)}^{(i,j)}$ – доля потоку $\lambda (i,j)$ -яка проходить по лінії (k, l)	Мбіт/с	0-24	
2.Характеристики середовища передачі				
1	C_d - доступна полоса пропускання каналу	Мбіт/с	0-24	
2	C - повна полоса пропускання каналу	Мбіт/с	0,2048-24,576	
3.Характеристики черги обслуговування (блок черги)				
1	$L_{черги}$ –довжина черги	байт	0-512000	
3.Характеристики алгоритма маршрутизації				
1	K - зв'язність вузлів	одиниць	1-4	

Розглянемо блоки імітаційної моделі.

1. Блок генерації трафіку

Являє собою генератор пакетів, що дозволяє генерувати відповідно до таких статистичними характеристиками: закон розподілу генерації пакета, математичне очікування і дисперсія часу генерації пакета, початкове випадкове заповнення регістрів генератора.

Так як: вхідний потік в магістральній мережі формується різними мережевими службами, то за своїми характеристиками він може бути апроксимований наступними категоріями обслуговування (по аналогії з технологією ATM): потік з постійною бітовою швидкістю (CBR) - рис. 2.3, змінною бітовою швидкістю (VBR) - рис. 2.6 і доступною бітовою швидкістю (AJBR) - рис. 2.5.

Інші типи трафіку з певною точністю можуть бути апроксимовані зазначеними категоріями. На графіках (рис. 2.4-2.6) по осі абсцис відкладений часовий інтервал спостереження процесу передачі пакетів (вимірюється в мікросекундах), а по осі ординат - реалізація процесу генерації пакета даних $X(t)$. При цьому амплітуда обрана довільно і служить лише для позначення моменту виникнення пакета на вході в мережу.

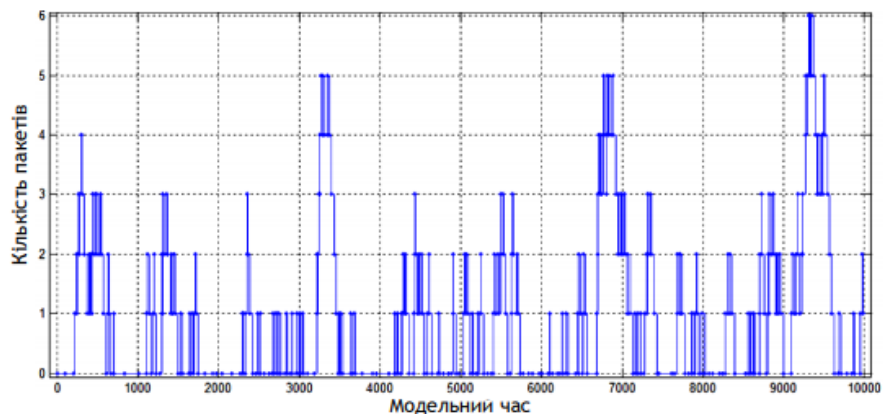


Рисунок 2.3. Діаграма відтворення одиниць трафіку CBR-класу

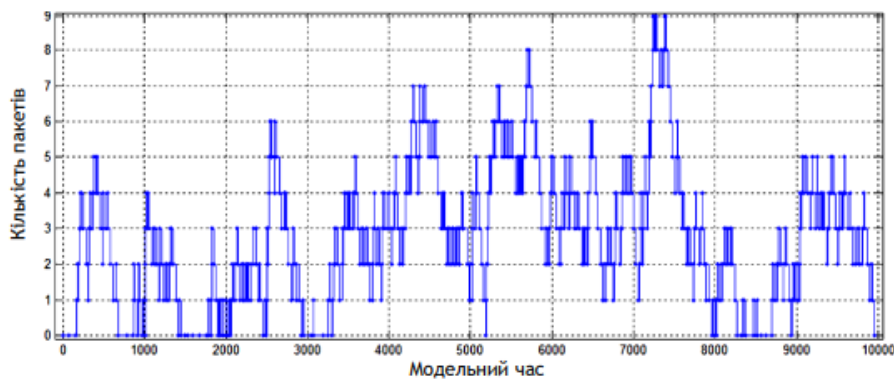


Рисунок 2.4. Діаграма відтворення одиниць трафіку VBR-класу

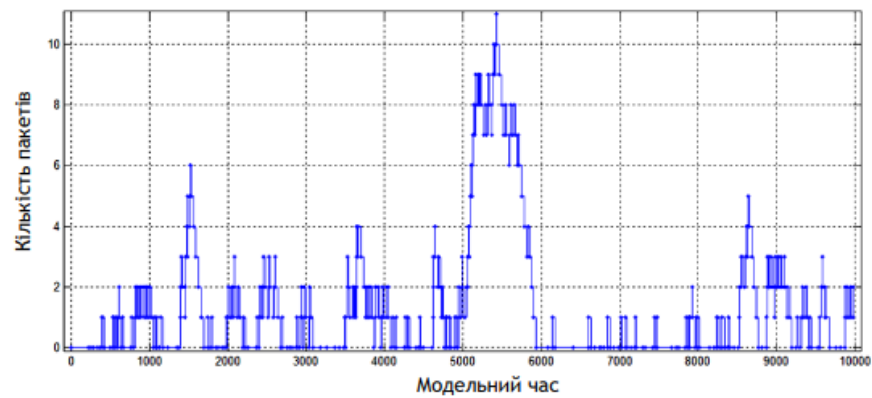


Рисунок 2.5. Діаграма відтворення одиниць трафіку ABR-класу

Генератор транзактів (Time-Based Entity Generator) являє собою блок рис. 2.6:

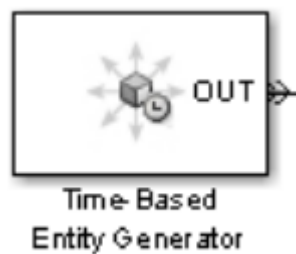


Рисунок 2.6. Генератор транзактів

Вузли-генератори створюють нові транзакти і передають їх в інші вузли моделі. Параметри генератора можна змінити за допомогою впливу з іншого вузла за допомогою сигналу "cheg". Таким чином можливо задавати різні види розподілу часу генерації пакетів, їх інтенсивності.

Термінатор (Entity Sink) транзактів є блок рис. 2.7:

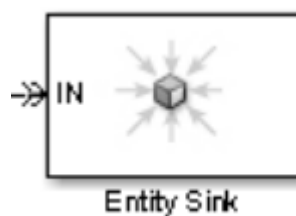


Рисунок 2.7. Термінатор транзактів

Термінатор виконує функцію знищення надходять в нього транзактів.

2. Блок обмеження вхідний навантаження

У мережі значення параметрів вхідного потоку Λ були визначені за допомогою алгоритму контролю допуску в мережу (CAC або TSA), але ці значення можуть бути перевищені (порушені). В імітаційній моделі при допуску в мережу здійснюються перевірка вхідного потоку і введення обмежень на нього для запобігання умов, що призводять до перевантаження, блокування і в результаті, до непрацездатності мережі.

Для динамічного контролю параметрів кожного з агрегованих класів якості обслуговування необхідно здійснювати вимірювання навантаження і порівняння значень її параметрів з існуючими. У разі, якщо поступаючий потік відповідає необхідним параметрам, він обслуговується, в іншому випадку - скидається. Таким чином, даний блок виконує перевірку умови відповідно до виразу (2.1).

$$0 \leq x_{(k,l)}^{s(i,j)} \leq 1, \quad k.l.i,j = 1,2, \dots, N \quad (2.1)$$

3. Блок черги.

Даний блок виконує функцію черги типу FIFO - першим прийшов - першим вийшов, що є допустимим для використання в маршрутизаторах. Черга характеризується параметром "довжина" і визначає, скільки пакетів одночасно може перебувати в ній. Черга безпосередньо пов'язана з обслуговуванням пакетів в маршрутизаторі і залежить від інтенсивності обслуговування пакетів. Спільна робота вхідної черги і маршрутизатора описується алгоритмом "дірявого відра" - Leaky Bucket, описаного в [13].

Однією з головних завдань даного алгоритму є вимір і відповідне управління надходить навантаженням, для чого використовується лічильник. При надходженні пакета в чергу значення розміру лічильника повинно бути збільшено на деяке число, попередньо заданий параметром I , званим «інкрементом». Якщо сума значень розміру лічильника і інкремента не перевищує розміру буфера, то встановлюється, що надійшов пакет відповідає профілю (є конформних) і поміщається в буфер, якщо ж ця сума перевищує розмір буфера, то визначається,

що надійшов пакет "поза профілю" (не є конформний) і скидається. Блок-схема даного алгоритму представлена на рис. 2.8.

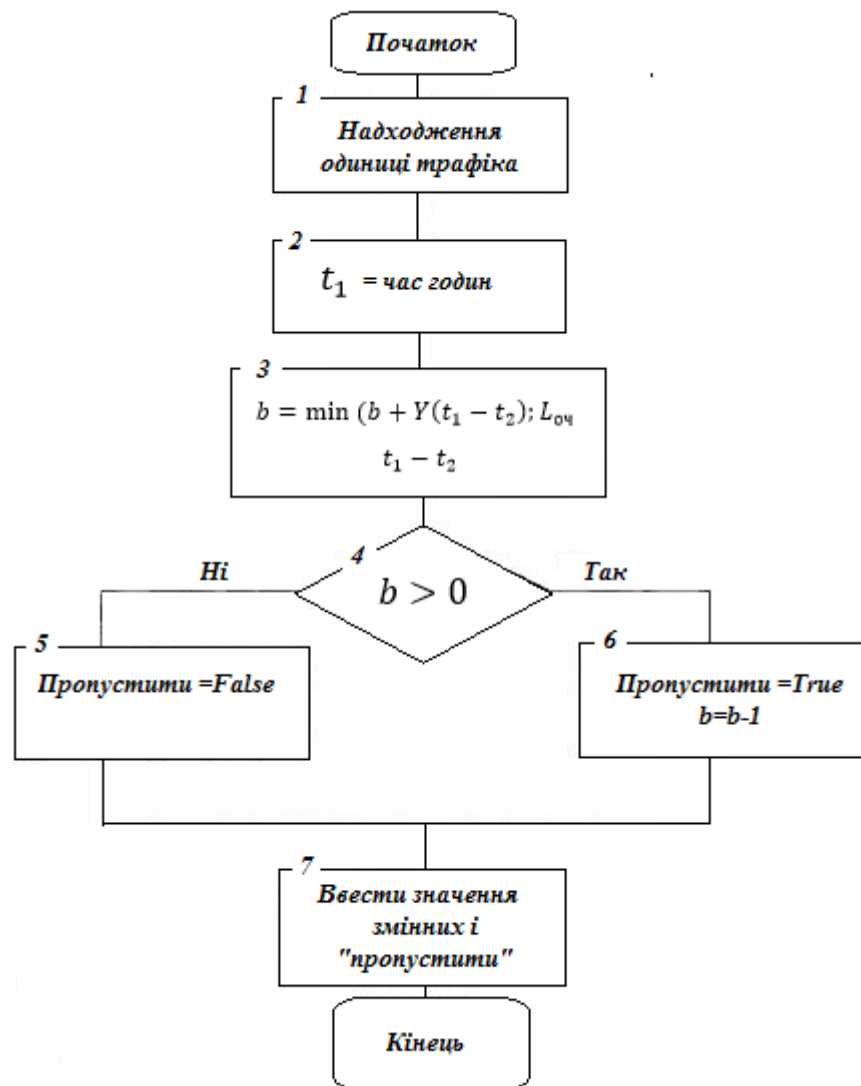


Рисунок 2.8. Блок-схема "діряве відро"

Проріджувати логічна схема зберігає а своїй пам'яті наступні параметри:

- час t_2 , відповідне останньої одиниці трафіку (яке спочатку одно поточному часу t_1)
- граничне значення Y для логічної схеми (інтенсивність надходження маркерів);
- об'єм черги $L_{\text{черги}}$;
- b - значення лічильника банку, що представляє собою число маркерів в Банку в будь-який момент часу.

Спочатку $b = 0$ = але число "маркерів" зростає зі стандартною швидкістю відповідно граничному значення Y . Після отримання нової одиниці трафіку (етап 1) логічна схема запам'ятовує значення поточного часу в перервах t_1 (етап 2). Після цього проріджуюча логічна схема обчислює значення величини $[Y_x=(t_1-t_2)+b]$ порівнює його зі значенням $L_{\text{черги}}$ і вибирає для змінної b менше з цих значень. Крім того, проріджуюча логічна схема оновлює значення змінної t_2 (етап 3), потім аналізує, чи має змінна b значення, що перевищує нуль (етап 4). Якщо це так, то змінній «пропускання» привласнюють значення «істинно» (True) , а значення лічильника банку зменшують на одиницю (етап 6). В разі, якщо значення b лічильника не перевищує нуль, змінної "пропускання" привласнюють значення "хибн " (False) (етап 5). Нарешті, значення змінної "пропускання" вводиться, а це означає, що проріджують логічна схема приймає рішення або пропустити, або перервати передачу (перше - якщо "пропускання" = True, а останнє - якщо "пропускання" = False) [14],

5. Блок визначенні вихідних напрямів.

Для роботи протоколу маршрутизації необхідна інформація про топології, встановлених метриках і суміжних потоках до гілкам графа мережі. Пропонується використовувати алгоритм Йєна, що дозволяє знайти K -шляхи без петель мінімальної довжини в підвішеному графі. Для алгоритмів на графах, наведених нижче »використовуємо позначення джерела – u_1 стоку u_2 .

Алгоритм починає роботу з пошуку найкоротшого шляху від u_1 до u_2 , алгоритмом Дейкстри. Другий шлях знаходиться способом перебору найкоротших відхилень від першого, третій - найкоротших відхилень від другого і т. д.

6. Блок завдання метрики.

Призначений для розрахунку метрики протоколу маршрутизації виходячи з завантаженості гілок графа мережі і апріорної ймовірності вибору маршруту, отриманого від блоку збору статистики. На першому етапі визначаються вимоги по QoS для вхідного потоку. Для цього виділяються параметри часу затримки і ймовірності скидання пакетів. Розрахований на їх основі інтегральний показник приймається в якості метрики протоколу маршрутизації. Здійснюється корекція

маршрутно-адресної таблиці відповідно до зміненої метрикою. Змінена таблиця маршрутизації також розсилається "суміжним" маршрутизаторам.

7. Блок маршрутизації.

Даний блок на підставі отриманого плану розподілу пакетів, використовуючи явну маршрутизацію, здійснює передачу пакета в мережу.

Він включає в себе блок Path Combiner, який має вигляд, представлений на рис.2.9.

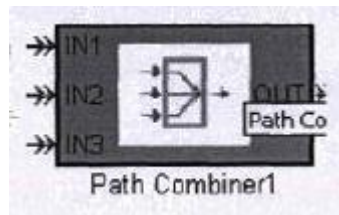


Рисунок 2.9. Вид блоку Path Combiner

Даний елемент моделі виконує функцію конкатенації потоків на вході в єдиний потік на виході.

Блок маршрутизації (Output Switch), представлений на рис. 2.10, виконує функцію маршрутизації єдиного потоку транзактів на вході в кілька потоків на виході на основі керуючого алгоритму.

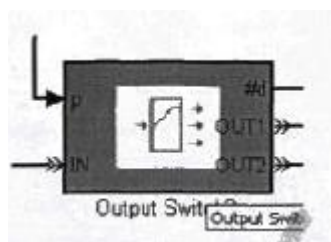


Рисунок 2.10. Блок маршрутизації Output Switch

Едементи середовища моделювання, які імітують ланку маршруту, представлені на рис.2.11.

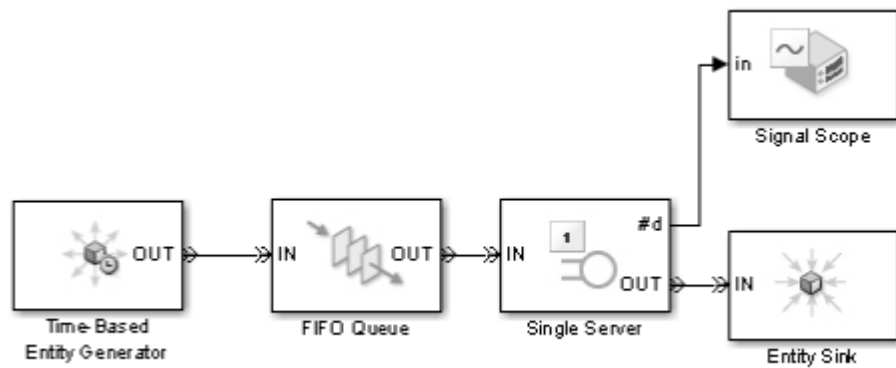


Рисунок 2.11. Елементи блоку ланки маршруту

Елементи даного блоку виконують наступні функції:

- Entity Departure Counter - лічильник транзактів з різними пріоритетами;
- Queue - черга (з пріоритетами або без). Якщо пріоритети не враховуються, то транзакти упорядковуються в черзі в порядку надходження (FIFO), інакше транзакт потрапляє не в «хвіст» черги, а в кінець своїм пріоритетної групи;
- Server - вузол обслуговування з паралельними каналами. Обслуговування може здійснюватися в порядку надходження транзактів в каналі що звільнився, або за правилом абсолютних пріоритетів;
- Add - вузол підсумовування і віднімання;
- Divide - вузол множення і ділення.

8. Блок статистики

Призначений для формування зворотного зв'язку з блоком завдання метрики і передачі параметрів, необхідних для її розрахунку - середнього часу затримки пакету і ймовірності скидання. Складається з лічильників і блоків математичних операцій,

9. Блок виведення результатів

Здійснює висновок і інтерпретацію отриманих результатів в матричній формі і у вигляді графіків.

2.2 Статистичний аналіз мережевого трафіку

Для опису алгоритму управління мережевим трафіком необхідно формалізувати його основні етапи у вигляді узагальненого алгоритму, що дозволить системно уявити послідовність виконання операцій рис.2.12.



Рисунок 2.12.Сообщенний алгоритм управління мережевим трафіком

Робота узагальненого алгоритму починається з визначення безлічі найкоротших маршрутів, які будуть використовуватися для побудови плану розподілу пакетів. На наступному кроці алгоритму визначається стан мережі. У разі, якщо мережа до теперішнього моменту не функціонувала, то відсутня статистика, на основі якої розраховуються ймовірно-часові характеристики процесу маршрутизації - середній час затримки пакета. В цьому випадку, необхідно

використовувати апроксимацію мережі моделлю СМО типу $M2/G2/S/\infty$, що дозволяє отримати грубі оцінки даного параметра.

Якщо ж мережа функціонувала, то здійснюється статистичний аналіз мережевого трафіку, що дозволяє визначити момент зміни потокової моделі і вимагає перерозподілу потоків для досягнення балансу навантаження.

Вихідними даними для наступного етапу алгоритму - визначення параметрів макросистемної моделі - необхідно отримати інтенсивність надходження пакетів від мереж доступу - вхідний потік, апіорну ймовірність вибору напрямку передачі пакетів.

На наступному етапі на їх основі розраховується множини допустимих планів, розподілу пакетів де вибирається найкращий за критерієм максимуму ентропійної функції. Також визначаються частки потоку по гілкам, при яких буде забезпечуватися баланс навантаження в мережі.

На сьомому кроці алгоритму здійснюється маршрутизація пакетів згідно обраного плану.

Далі розглянемо докладніше етапи узагальненого алгоритму.

Реалізації алгоритмів маршрутизації в сучасних протоколах, таких як OSPF, IS-IS, припускають періодичне оновлення вихідних даних, а також розсилку оголошень про змінені метрики і зв'язках, По замовчуванню час поновлення даних в протоколах становить 20 хвилин. [15]. Дане значення часу є компромісним, між достатньою оперативністю роботи протоколу і необхідним мінімумом пересилання службових даних. Цей спосіб має недолік - низьку оперативність зміни потокової моделі. Рішення дійкою проблеми можна шляхом статистичного аналізу трафіку, а саме шляхом побудови профілів навантаження на основі статистики роботи джерела інформації і порівняння їх з еталонним. На основі подібності або відмінності профілів приймається рішення про необхідність зміни потокової моделі.

Блок-схема алгоритму статистичного аналізу трафіку представлена на рис. 2.13. та рис.2.14.

Алгоритм починає роботу з моменту приходу одиниць трафіку, в якості яких служать пакети даних. Для зв'язку в часі процесів оцінювання надходить потоку даних і розрахунку ентропійної функції введена змінна z -крок (ітерація), використання якої забезпечує нерозривність процесів аналізу і управління.

У разі, якщо еталонний профіль не створений (початковий етап функціонування мережі), здійснюється його побудова. Для цього на основі ста відліків які надходять одиниць трафіку здійснюється побудова еталонного профілю.

На наступному етапі розраховується математичне сподівання часу приходу одиниць трафіка \bar{x} . При наявності йарнаціоіного ряду спостережень за даною величиною використовується наступна формула:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{kv} x_i n_i \quad (2.2)$$

де n - обсяг вибірки, а kv - кількість варіантів.

Наступний ЕТАп - розрахунок автокореляційної функції. Для її розрахунку при вибірці об'ємом n відліків використано вираз:

$$\bar{R}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-z} (x_t - \bar{x})(x_{t-z} - \bar{x}) \quad (2.3)$$

$$\text{де } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_t$$

На етапі нормування автокореляційної функції здійснюється розрахунок за формулою:

$$r_z = R_z / R_0 \quad (2.4)$$

На наступному кроці алгоритму визначаються параметри авторегресії. Вони пов'язані з автокорреляційною послідовністю системою лінійних рівнянь, рішення яких дозволяє обчислити коефіцієнти авторегресії $\varphi_1, \dots, \varphi_p$.

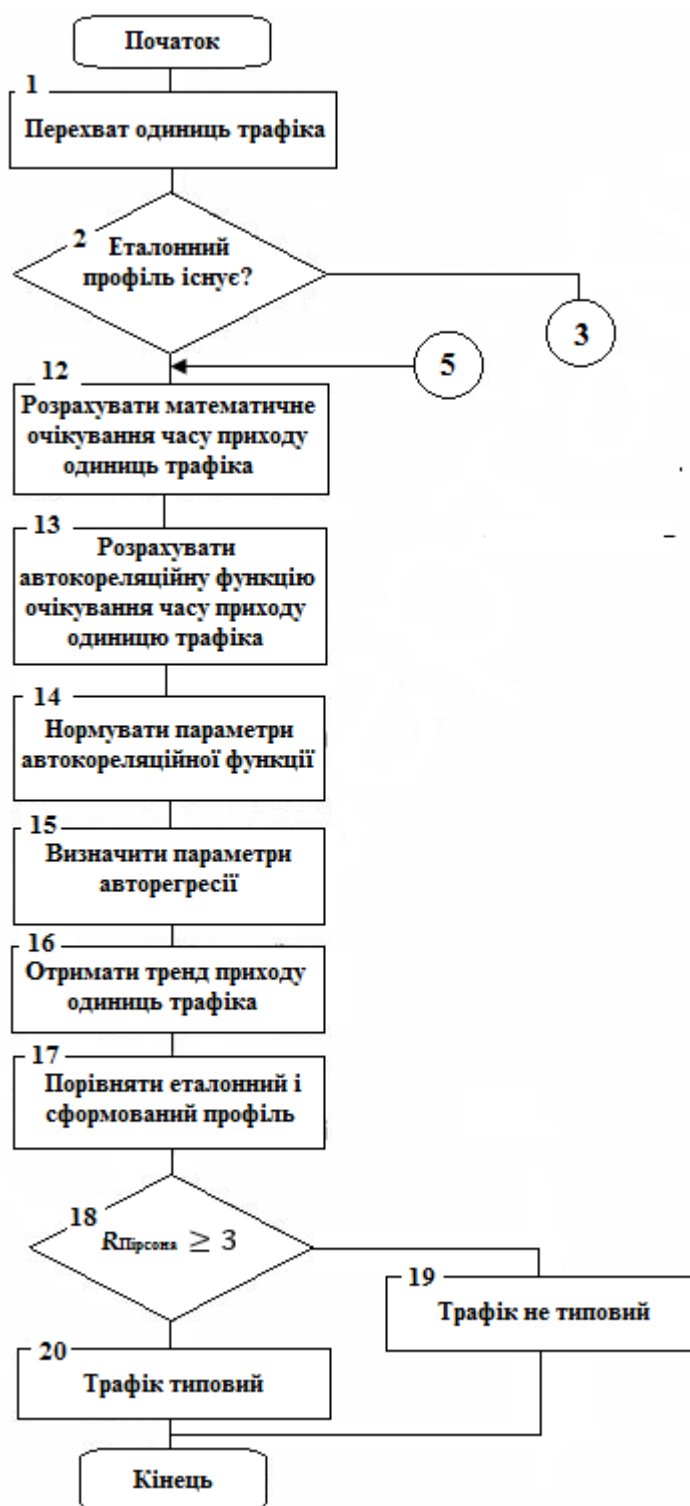


Рисунок 2.13. Блок-схема алгоритму статистичного аналізу мережевого трафіку



Рисунок 2.14. Блок-схема алгоритму статистичного аналізу мережевого трафіку (продовження)

$$r_1 = \varphi_1 + \varphi_2 r_1 + \dots + \varphi_p \varphi_{p-1}$$

$$r_2 = \varphi_1 r_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_p r_{p-2}$$

.....

$$r_p = \varphi_1 r_{p-1} + \varphi_2 r_{p-2} + \dots + \varphi_p$$

(2.5)

$$\text{або } \varphi = P_p^{-1} r_p$$

Для знаходження порядку моделі p обчислюються значення приватної АКФ, що представляє собою масив останніх коефіцієнтів в АР-моделі порядку 1, 2 і т. д. Для цього перепишемо рівняння Юла-Уокера $\varphi = P_r^{-1}$ для моделі порядку:

$$\varphi_z = P_z^{-1} \times r_z, \text{ де } \varphi_z = \begin{bmatrix} \varphi_{z1} \\ \varphi_{z2} \\ \dots \\ \varphi_{zz} \end{bmatrix}$$

Приватну кореляційну функцію складають значень $\varphi_{11}, \varphi_{22}, \varphi_{33}, \dots$

З рішення рівнянь отримуємо: $\varphi_{11} = r_1$,

$$\varphi_{22} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & r_1 \\ r_1 & r_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & r_1 \\ r_1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{r_1 - r_1^2}{1 - r_1^2} \quad (2.6)$$

У знаменнику виразів варто визначник симетричної матриці, а в чисельнику - визначник матриці, отриманої з матриці знаменника шляхом заміни останнього стовпчика вектором r_z .

Кількість необхідних для вирішення системи лінійних рівнянь обчислювальних операцій пропорційно величині p^2 , тому на даному етапі необхідно визначити, яка кількість параметрів авторегресії повинне бути присутнім в ефективній та економічній моделі процесу. На практиці, як правило, використовують модель другого порядку, що дозволяє отримати прийнятне співвідношення між точністю розрахунку і обчислювальними витратами. Внаслідок цього система рівнянь (2.5) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} r_1 + \varphi_1 + \varphi_2 r_1, \\ r_2 + \varphi_1 r_1 + \varphi_2. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Після ідентифікації порядку моделі і визначення АР-параметрів, сформуємо часовий ряд з залишкових помилок, наближено відповідний деякого процесу змінного середнього (ЗС) [16]. Модель авторегресії змінного середнього тут використовується для згладжування, Для цього вихідну послідовність даних піддамо фільтрації за допомогою АР-фільтра з системної функцією:

$$A(J) = 1 + \sum_{z=1}^p \varphi[z]J^{-z} \quad (2.8)$$

Множимо $\hat{\varepsilon}_t = \varepsilon_t - Q_1\varepsilon_{t-1} - Q_2\varepsilon_{t-2} - \dots - Q_q\varepsilon_{t-q}$. На $x_t - z$ і застосуємо оператор усереднення, отримаємо:

$$R_z = M[(\varepsilon_i - Q_1\varepsilon_{i-1} - \dots - Q_q\varepsilon_{i-q}) \cdot (\varepsilon_{i-z} - Q_1\varepsilon_{i-z-1} - \dots - Q_q\varepsilon_{i-z-q})] \quad (2.9)$$

Дисперсія процесу буде складати:

$$R_0 = \sigma_x^2 = (1 + Q_1^2 + Q_2^2 + \dots + Q_q^2)\sigma_\varepsilon^2 \quad (2.10)$$

а z -й ввідлік кореляційній функції

$$R_z = \begin{cases} (-Q_z + Q_1Q_{z+1} + Q_2Q_{z+2} + \dots + Q_{q-z}Q_q) \cdot \sigma_\varepsilon^2, & z = 1, 2, \dots, q \\ 0, & z > q \end{cases} \quad (2.11)$$

Для нормованої автокореляційної функції:

$$r_z = \begin{cases} \frac{Q_z + Q_1Q_{z+1} + Q_2Q_{z+2} + \dots + Q_{q-z}Q_q}{1 + Q_1^2 + Q_2^2 + \dots + Q_q^2}, & z = 1, 2, \dots, q \\ 0, & z > q \end{cases} \quad (2.12)$$

Ці рівняння - нелінійні і для $q > 1$ повинні вирішуватися ітеративно. Оцінки, отримані в результаті рішення рівнянь (2.11), часто носять наближений характер.

Крім того, залишається досить високою ймовірність незбіжності алгоритму розрахунку параметрів ЗС-моделі.

Після того як модель ідентифікована і параметри оцінені, модель може бути піддана діагностичній перевірці, яка має на увазі перевірку моделі з надмірною кількістю параметрів. Оцінювання параметрів більш загальної моделі, ніж очікувана. Тут застосовні різні методи: метод найменших квадратів (МНК), метод максимальної правдоподібності [17]. В процесі діагностики по черзі змінюються порядки авторегресії і ковзного середнього з метою виявлення неадекватних властивостей моделі. В процесі функціонування АРПСС фільтра крім зміни параметрів самої моделі можливе здійснення корекції отриманих прогнозних оцінок [18],

Етап отримання тренда часу приходу одиниць трафіку передбачає отримання прогнозних оцінок часу надходження чергових пакетів на вхід системи, що необхідно для побудови еталонного профілю поведінки джерела інформації.

Спрогнозовані значення часу приходу пакетів даних утворюють еталонний профіль і зберігаються. Далі модель АРПСС використовується для генерації тренда навантаження. Дана властивість використовується в блоці порівняння еталонного і реального профілів для визначення їх кореляційної зв'язку,

Для того щоб отримати поточний профіль, над вступниками пакетами здійснюються ті ж операції, що і при побудові еталонного профілю. Коли реальний профіль сформований, проводиться його порівняння з еталонним.

На етапі порівняння профілів виконується обчислення коефіцієнта кореляції Пірсона.

$$R_{\text{Пірсона}} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i^{\text{набл}} - \bar{t}^{\text{набл}})(t_i^{\text{ет}} - \bar{t}^{\text{ет}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i^{\text{набл}} - \bar{t}^{\text{набл}})^2 \sum_{i=1}^N (t_i^{\text{ет}} - \bar{t}^{\text{ет}})^2}} \quad (2.13)$$

Де $t_i^{\text{набл}}$ - спостережувані значення часу приходу пакетів даних, $t_i^{\text{набл}}$ - його математичне очікування, $t_i^{\text{ет}}$ - еталонні значень часу приходу пакетів даних, $\tilde{t}^{\text{ет}}$ - його математичне очікування.

Існують кілька значень оцінки коефіцієнта кореляції. Вважається що кореляції дуже сильна - при значенні $R_{\text{Пірсона}}^z \geq 0,85$, сальна при $0,65 \leq R_{\text{Пірсона}}^z \leq 0,85$, слабка $0,45 \leq R_{\text{Пірсона}}^z \leq 0,65$. При інших значеннях приймається рішення про відсутність кореляції двох профілів.

Таким чином, при сильній кореляції двох профілів вважається, що профіль є типовим і перестроювання маршрутних схем не потрібно. Якщо ж кореляція профілів значна, то приймається рішення про те, що потік не типовий і необхідний перерахунок плану розподілу пакетів, який буде забезпечувати баланс потоків для нових умов.

2.3 Дослідження алгоритму пошуку найкоротшого шляху передачі даних в магістральній мережі

Пропонується використовувати алгоритм Йена, що дозволяє знайти k -шляхів без петель мінімальної довжини в підвішеному графі для знаходження конкуруючих маршрутів. Зробимо модифікацію даного алгоритму для зменшення його обчислювальної складності. У зв'язку з тим, що алгоритм Йена починає свою роботу з пошуку найкоротшого шляху алгоритмом Дейкстри, складність якого оцінюється $O(n^2)$ і пропонується використовувати замість алгоритму Дейкстри хвильовий алгоритм (алгоритм Лі), який має меншу складність $O(n)$ [19].

Можливість використання хвильового алгоритму для знаходження найкоротшого шляху в магістральній мережі заснована на припущенні, що лінії мережі мають однакову вагу, а саме - пропускну здатність, що є достатньою умовою його застосовності.

Алгоритм починає роботу з пошуку найкоротшого шляху хвильовим алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис.2.15.

Далі мною було виконано аналіз роботи алгоритму, в результаті чого знайдено короткий шлях, який початковою умовою для роботи алгоритму Йена, який описаний в попередньому підрозділі. У цьому випадку другий шлях знаходиться перебором найкоротших відхилень від першого, третій - найкоротших відхилень від другого і т. д.

Таким чином, алгоритм Йена дозволяє знайти всі шляхи від джерела до одержувача, що буде необхідно для отримання переліку конкуруючих маршрутів.

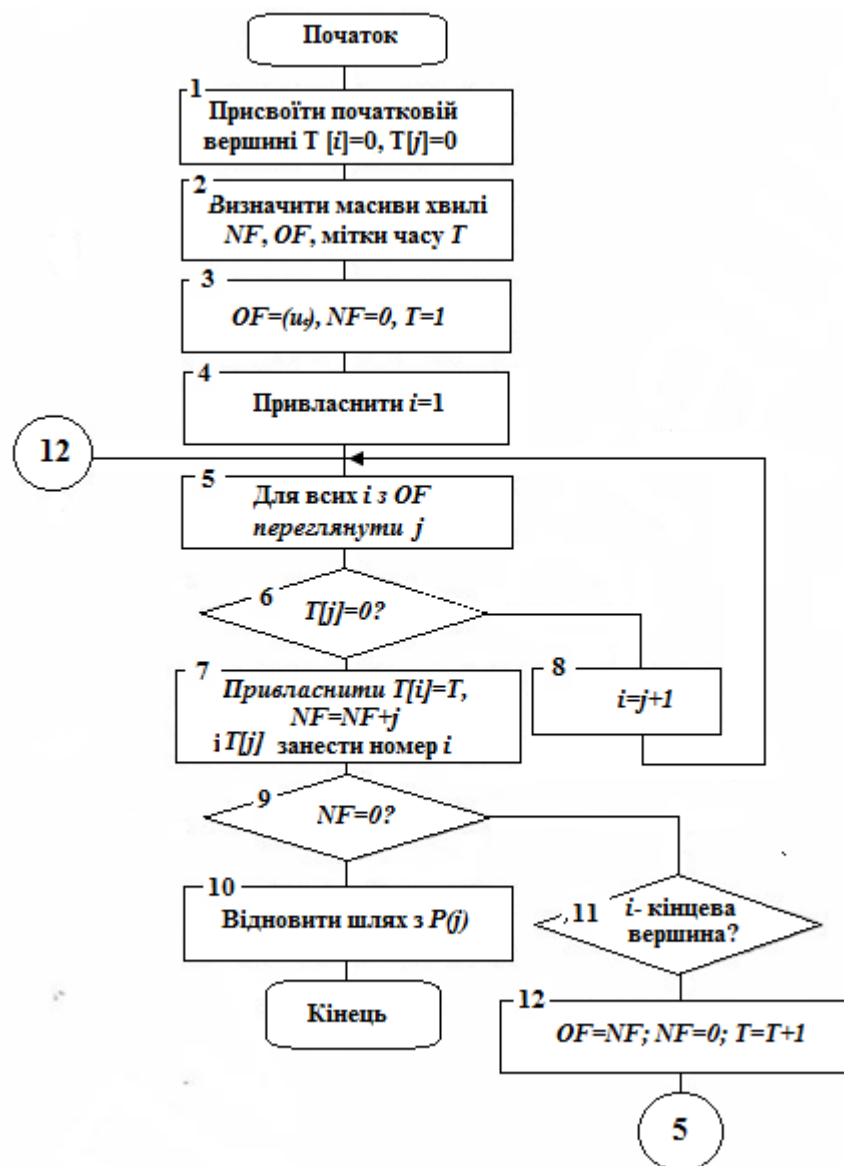


Рисунок 2.15. Хвильовий алгоритму пошуку шляху в графі

В мережі MPLS для пошуку найкоротшого шляху використовується алгоритм Дейкстри в складі протоколу OSPF. Стосовно до задачі побудови макросистемної

моделі магістральної мережі, використання даного алгоритму необхідно k раз. Це пов'язано з тим, що для завдання маршрутизації необхідно отримати k - шляхів з допустимим відхиленням $\varepsilon \leq \varepsilon^{\text{треб}}$.

Аналіз ефективності розглянутого алгоритму пошуку найкоротших шляхів поведемо з використанням імітаційної моделі. В якості критерію виберемо мінімум часу роботи алгоритму, визначивши для цього залежність часу збіжності алгоритму від кількості вузлів в мережі.

Відображення отриманих результатів може проводитися в табличному і графічному вигляді. Таблична форма подання результатів дозволяє уявити компактно великий обсяг результатів проведених експериментів. Однак в цьому випадку відсутній наочність в порівнянні еоответствующих параметрів, необхідна при аналізі результатів дослідження при різних вихідних даних. У зв'язку з цим, для наочності дослідження параметрів алгоритмів формування плану розподілу повідомлень і їх впливів на ймовірно-часові характеристики мережі передачі даних скористаємося графічним видом відображення отриманих результатів.

На графіку, який представлено на рис. 2.16. представлена залежність загального часу збіжності алгоритмів пошуку шляху від кількості вузлів в мережі і при їх різній пов'язаності R ($R = N - 1$) – повнозв'язній та деревоподібній.

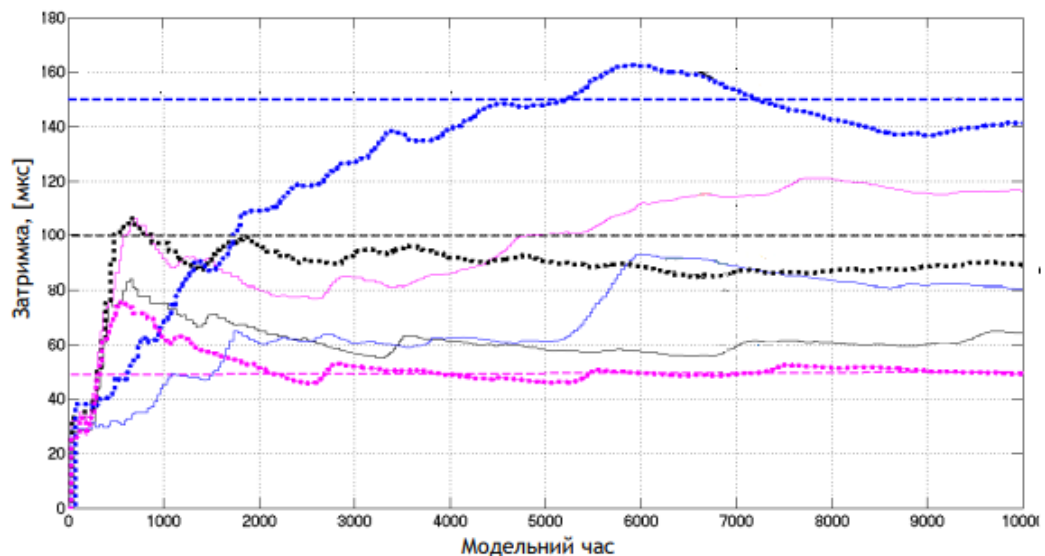


Рисунок 2.16. Залежність часу збіжності алгоритмів пошуку маршруту від кількості вузлів N при їх різній зв'язності

З графіка видно, що при пов'язаній структурі мережі час збіжності модифікованого алгоритму Йена менше, ніж алгоритму Дейкстри. Також показано, що при деревовидній топології мережі час збіжності алгоритмів практично не відрізняється, що зумовлено топологією. Таким чином, запропонований алгоритм ефективніший, ніж алгоритм Дейкстри за критерієм мінімуму часу збіжності, і ефективність зростає зі збільшенням зв'язності графа мережі.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МАРШРУТИЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНОЇ MPLS МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Опис системи аналізу мережевого трафіка

Розглянутий в другому розділі алгоритм аналізу мережевого трафіку може бути, реалізований програмним або апаратним способом, при цьому в його основі лежить система аналізу мережевого трафіку. До її складу входять блоки: фільтрації трафіку, розрахунку, автокореляційної функції, розрахунку параметрів авторегресії, фільтра авторегресії, розрахунку коефіцієнта кореляції, прийняття рішення, на яку підучити відповідні патенти.

Пропоновані технічні рішення використані в маршрутизаторах мережі передачі даних. Спосіб і система аналізу мережевого трафіку призначені для побудови профілів поведінки джерела навантаження і прийняття рішення про ступінь їх кореляції, що дозволить поставити поріг спрацьовування схеми з побудови плану розподілу пакетів, що забезпечують підвищення точності прийняття рішення по управлінню мережевим трафіком за рахунок перерозподілу інформаційних потоків по графу мережі.

Можливість реалізації заявленого способу полягає в наступному. Відомо, що в сучасних протоколах маршрутизації критерієм для перерахунку маршрутних схем служить або поява (пропажа) маршрутизатора, або фіксований часовий проміжок. Використання невеликих часових інтервалів поновлення маршрутних схем призводить до необґрунтовано перевитрати обчислювальних і каналних ресурсів комутаційних пристроїв а рідкісне оновлення - до можливих перевантажень. Таким чином, цикл управління, пов'язаний з прийняттям рішення по перераагределенію мережевого ресурсу, повинен бути значно менше часу протікання перехідних процесів в системі, а для конкретного випадку - менше періодів локальної стаціонарності надходить на вхід системи зв'язку трафіку. В той же час сучасні системи зв'язку є високошвидкісними. Зниження циклу управління можливо на основі отримання прогностичної оцінки параметрів трафіку (побудова на

її основі еталонного профілю) і порівняння з вхідним потоком (реальним профілем). Таким чином, досягається оперативність реагування на зміну потокової моделі джерела.

Реалізована система, яка представлена на рис.3.1, містить блоки фільтрації трафіку, розрахунку автокореляційної функції, розрахунку параметрів авторегресії, фільтра авторегресії, при цьому перший інформаційний вихід відблиску фільтрації трафіку підключений до першого інформаційного входу блока розрахунку автокореляційної функції, інформаційний вихід блока розрахунку автокореляційної функції з'єднаний з інформаційним входом блока розрахунку параметрів авторегресії, а інформаційний вихід блока розрахунку параметрів авторегресії з'єднаний з першим інформаційним входом блока фільтра авторегресії, а також містить чотири ключа, лічильник, блок розрахунку коефіцієнта кореляції, блок прийняття рішення, блок управління ключами, причому до інформаційних входів першого ключа підключені канал зв'язку, і інформаційний вихід блока фільтра авторегресії, а перший інформаційний вихід блока фільтрації трафіку підключений до входу другого ключа і першого входу четвертого ключа, а вихід другого ключа з'єднаний з першим входом блока розрахунку автокореляційної функції, при цьому другий інформаційний вихід блока фільтрації трафіку через лічильник підключений до керуючого входу блоку-управління ключами, керуючому входу третього ключа, а інформаційний вихід третього ключа з'єднаний з другим інформаційним входом блока розрахунку автокореляційної функції і другим інформаційним входом блока фільтра авторегресії, і вихід першого ключа з'єднаний з першим інформаційним входом третього ключа, блоком управління ключами а вторім інформаційним входом четвертого ключа, виходи якого, пов'язані з блоком розрахунку коефіцієнтів кореляції а інформаційний вихід блока розрахунку коефіцієнтів кореляції з'єднаний з інформаційним входом блока прийняття рішення, виходи котрого є виходами системи, вихід блока фільтра авторегресії з'єднаний з другим інформаційним входом третього ключа, причому вихід блока управління ключами з'єднаний з керуючими входами першого, другого і четвертого ключів.

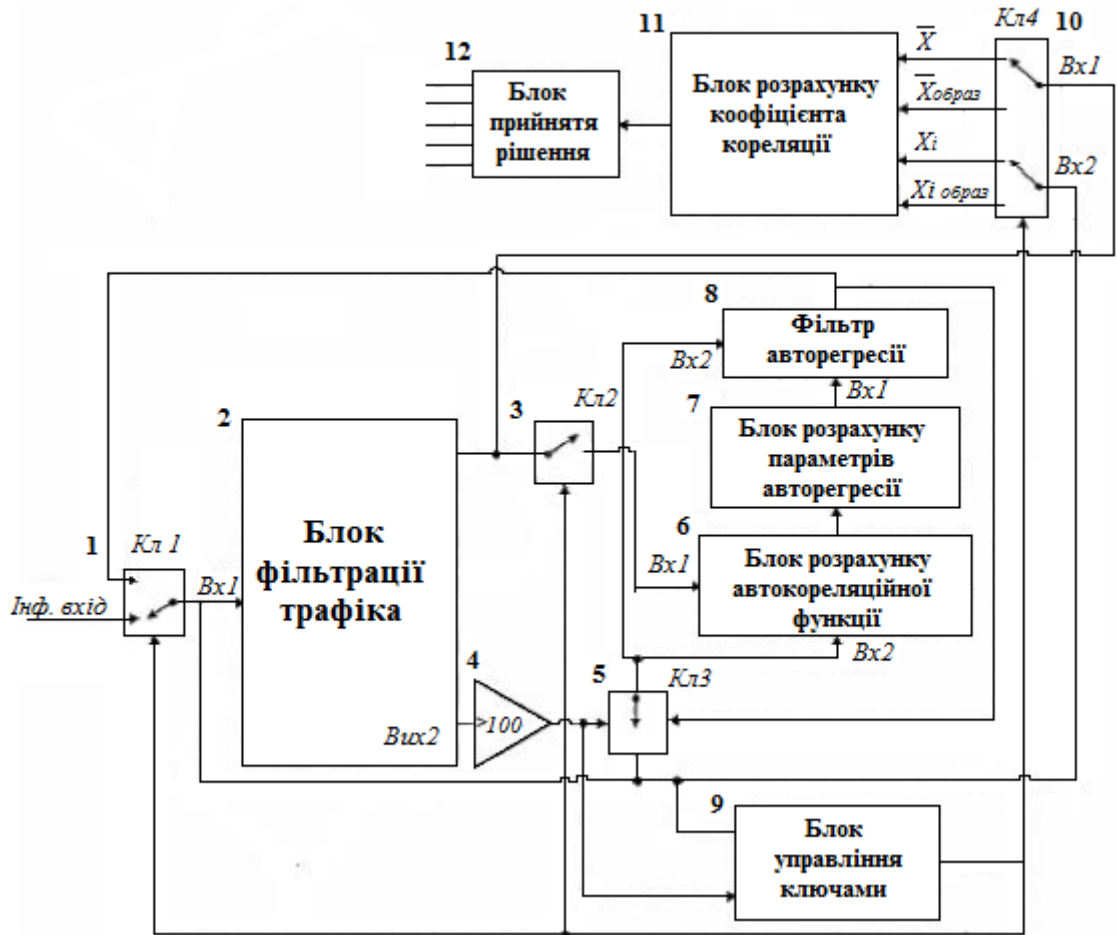


Рисунок 3.1. Структурна схема системи аналізу трафіку

На схемі позначені: 1, 3, 5, 10 - ключі, що виробляють перемикання зв'язків між блоками системи.

Блок фільтрації трафіку 2 - здійснює прийом послідовності одиниць графіка і проводить розрахунок математичного очікування часу надходження, одиниць трафіку шляхом одночасного віднімання значень одиниць трафіку сусідніх діапазонів з наступним множенням результатів на відносні частоти появи відповідних розподілів одиниць трафіку.

Лічильник 4 - здійснює підрахунок кількості вступників одиниць трафіку і після приходу сотої одиниці видає логічну "1", яка, є керуючою командою для включення блоку управління ключами і третього ключа.

Блок розрахунку автокореляційної функції 6 виробляє обчислення за формулою:

$$\bar{R}_z = \frac{1}{n} \sum_{t-z}^{n-z} (x_t - \bar{x})(x_{t-z} - \bar{x}) \quad (3.1)$$

де x_t - значення часу приходу поточної одиниці трафіка; x_{t-z} - значення часу приходу одиниці трафіку зрушеною на z інтервалів назад; \bar{x} - математичне очікування часу приходу одиниць трафіку.

Блок розрахунку параметрів авторегресії 7, призначений для розрахунку вагових коефіцієнтів фільтра авторегресії за формулами:

$$\begin{aligned} r_1 &= \varphi_1 + \varphi_2 r_1 + \dots + \varphi_p r_{p-1} \\ r_2 &= \varphi_1 r_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_p r_{p-2} \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ r_p &= \varphi_1 r_{p-1} + \varphi_2 r_{p-2} + \dots + \varphi_p \end{aligned} \quad (3.2)$$

або $\varphi = P_p^{-1} r_p$. Тут $r_1 \dots r_{p-1}$ - коефіцієнти нормованої автокореляційної функції.

Рішення системи лінійних рівнянь дозволяє обчислити коефіцієнти авторегресії $\varphi_1 \dots \varphi_p$.

Блок фільтра авторегресії 8 призначений для отримання прогнозу оцінки часу приходу чергової одиниці трафіку. Це стає можливим після визначення характеру залежності цієї величини від своїх попередніх значень. Дана залежності визначається як авторегресійну процес н являє собою наступне лінійне різнищеве рівняння з комплексними коефіцієнтами:

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} \quad (3.3)$$

де x_t - послідовність на виході фільтра, в розглянутому прикладі дана величина є значення часу приходу поточної одиниці трафіка; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_p$, - значення

вагових коефіцієнтів фільтра авторегресії порядку p , x_{t-p} - значення часу приходу одиниці трафіку зрушеною на p інтервалів назад.

Прогноз здійснюється наступним чином. Нехай на фільтр авторегресії надходить значення часу приходу одиниці трафіку x_t . Змінна x_t проходить лінії затримки цифрового фільтра і помножується на коефіцієнти авторегресії φ_1, φ_p , де $p=2$, значення які надійшли з блоку розрахунку параметрів авторегресії. Результати підсумовуються, і кінцеве значення x_{t+1} надходить на вихід фільтра авторегресії. Змінна x_{t+1} представляє собою прогноз часу надходження $z = 1, 2, \dots, n$ одиниць трафіку.

Блок управління ключами 9 подає керуючу команду на перший, другий і четвертий ключі з частотою, удвічі перевищує частоту надходження одиниць трафіку. Необхідність в подвоєнні частоти виникає для вирішення завдання синхронізації, а саме - пристрою потрібно за один інтервал надходження одиниць трафіку розрахувати реальний образ за перший полутакт і еталонний образ - за другий полутакт. Даний блок може бути реалізований на перетворювачі частоти з електронним ключем (перемикачем).

Блок розрахунку коефіцієнта кореляції 11 здійснює розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона відповідно до вираження (2.13)

Даний коефіцієнт кореляції дозволяє оцінити ступінь схожості еталонного та реального образів. Виходом даного блоку є числове значення коефіцієнта кореляції, яке надходить на вхід блоку прийняття рішення. Блок прийняття рішення виконує порівняння надійшов значення з константою. При перевищенні значення 0,7 приймається рішення про сильну кореляцію, або про середнє значення в інтервалі від 0,5 до 0,7. Якщо значення менше 0,13, то приймається рішення про дуже слабку кореляції. При перевищенні значення до 0,3 приймається рішення про помірну кореляції, в іншому випадку - про слабку.

Процес функціонування системи включає в себе три етапи.

Перший етап. Проводиться формування еталонного профілю навантаження (формування образів), тобто здійснюється навчання системи авторегресії змінного середнього.

Для отримання прогнозової оцінки часу приходу одиниць трафіку необхідний деякий інтервал часу для набору статистичних даних і навчання системи. Інтервал часу, протягом якого відбувається налаштування системи, залежить від швидкості трафіку і повинен бути досить великим по відношенню до швидкості самого повільного трафіку з можливою. Для якісної настройки авторегресійну моделі необхідно, щоб інтервал спостереження включав сто і більше відліків часу приходу одиниць трафіку. Профіль навантаження формується на основі статистичної вибірки, що включає, наприклад, тимчасові інтервали приходу одиниць трафіку.

У початковому стані після включення живлення, одиниці трафіку (наприклад, потік пакетів) направляються на вхід системи аналізу мережевого трафіку. Ключі перший, другий, третій і четвертий - в початковому стані. Сто відліків трафіку надходять через перший ключ і на блок фільтрації трафіку 2, де здійснюється розрахунок математичного очікування часу їх приходу.

Математичне сподівання цих відліків з першого інформаційного виходу блоку фільтрації трафіку 2 через другий ключ 3 надходить на перший інформаційний вхід блоку розрахунку автокореляційної функції 6, на другий, вхід якого через третій ключ 5 надходять поточні значення цих відліків з виходу першого ключа 1, одночасно надходять на другий інформаційний вхід блоку фільтра авторегресії - здійснюється процес навчання системи. Блок розрахунку автокореляційної функції обчислює значення функції автокореляції відповідно до вираження (3.1). Далі в блоці розрахунку параметрів авторегресії здійснюється нормування автокореляційної функції.

На другому інформаційному виході блоку фільтрації трафіку 2 встановлений лічильник на 100 імпульсів 4, який спрацьовує один раз по приході соті одиниці трафіку (завершення етапу навчання системи авторегресії змінного середнього). Його онулення можливе лише після виключення живлення в системі.

Значення математичного очікування одиниць трафіку з першого інформаційного виходу блоку фільтрації трафіку 2, а також з виходу першого ключа надходять через четвертий ключ 10 на блок розрахунку коефіцієнта кореляції II, але операції з ними не проводяться.

Після прийому ста відліків на виході блоку фільтра автдерегресії 8 з'явиться $100 + 1$ прогнозований відлік одиниці трафіку, який надходить на другий інформаційний вхід першого ключа 1.

Так як схема містить лічильник на 100 імпульсів 4, то після приходу сотого відліку трафіку він видасть керуючу команду на третій ключ 5, а також команду включення на блок управління ключами 9. Третій ключ 5 спрацьовує один раз після отримання логічної "1" від лічильника 4. Блок управління ключами 9 являє собою електронний ключ, який працює на частоті, удвічі більшою, ніж частота входять імпульсів, спрацьовує двічі за один часовий проміжок. Це необхідно для ТОГОІ щоб за перший полутакт здійснити розрахунок параметрів еталонного образу, а за другий полутакт розрахувати параметри реального образу. Блок управління ключами 9 подає керуючу команду на перший 1, другий 3 і четвертий 10 ключі.

Другий етап. Перший полутакт. Після закінчення процесу навчання системи спрогнозувати 101 одиниця трафіку знаходиться на другому інформаційному вході першого ключа 1. Ключі перший 1, другий 3 і четвертий 10 - в початковому стані. Ключ третій 5 - переключений то перший відлік трафіку купує через перший ключ 1 на інформаційний вхід блоку фільтрації трафіка 2, з першого інформаційного виходу якого значення математичного очікування часу приходу сто першої одиниці трафіку надходить через перший інформаційний вхід четвертого ключа 10 на вхід блоку розрахунку коефіцієнта кореляції II. Також, сто перше відлік трафіку з виходу першого ключа 1 через другий інформаційний вхід четвертого ключа надходить в блок розрахунку коефіцієнта кореляції II.

Таким чином, час приходу реального сто перше відліку трафіку і значення його математичного очікування записуються в блок розрахунку коефіцієнта кореляції. Ці параметри становлять реальний образ джерела навантаження.

Третій етап. Другий полутакт. Ключі перший 1, другий 3 і четвертий 10 - переключені. З другого входу першого ключа I прогнозоване значення часу приходу сто першого відліку надходить на блок фільтрації трафіку 2 і одночасно через другий інформаційний вхід четвертого ключа 10 записується в блок розрахунку коефіцієнта кореляції II. Математичне сподівання часу приходу цієї

одиниці трафіку через другий ключ 3 надходить на перший інформаційний вхід блоку розрахунку автокореляційної функції 6 і про d почасово через четвертий ключ 10 в блок розрахунку коефіцієнта кореляції II Так як на другому інформаційному вході Блоку розрахунку автокореляційної функції 6 знаходилося прогнозоване значення сто перше відліку, то в момент появи на першому інформаційному вході цього блоку математичного очікування прогнозованого сто перше відліку здійснюється процес з прогнозування сто другого відліку. З виходу блоку фільтра авторегресії 8 прогнозоване значення сто другого відліку надійде на другий інформаційний вхід першого ключа 1, на другий інформаційний вхід блоку розрахунку автокореляційної функції 6 і на другий інформаційний вхід блоку фільтра авторегресії.

Таким чином, після другого полутакт в блоці розрахунку коефіцієнта кореляції 11 виявляться записані на першому полутакті параметри реального і отримані на другому полутакті параметри еталонного трафіків. На вихід даного блоку надходить значення коефіцієнта кореляції i , яке далі віддається на блок прийняття рішення 12, де відбувається її порівняння з пороговим значенням блоків порівняння і приймається рішення про відповідність еталонного і реального профілів. Можливі такі варіанти; сильна кореляція; середня; помірна; слабка; дуже слабка.

Сильна і середня кореляція означають високу ступінь схожості образів реального і еталонного трафіків - зміни потокової моделі не потрібно. Помірне значення коефіцієнта кореляції служить моментом для запуску процесу перерахунку маршрутних схем.

Перевагою запропонованої схеми є використання стандартних схем і алгоритмів, що застосовуються для проріджування трафіку в вузлах комутації. Однак деяка доробка даних схем дозволила отримати нову якість, а саме статистичний аналізатор трафіку який дозволяє визначити зміну потокової моделі джерела навантаження в циклі функціонування алгоритму маршрутизації.

3.2 Практична реалізації досліджуваного алгоритма маршрутизації на фрагменті мережі MPLS

Маршрутизація в MPLS-мережі є децентралізований процес. В ході розподілу інформаційних потоків приймають участь граничні маршрутизатори по мітках (E-LSR) і маршрутизатори, що знаходяться безпосередньо усередині MPLS-хмари, рис.3.2.

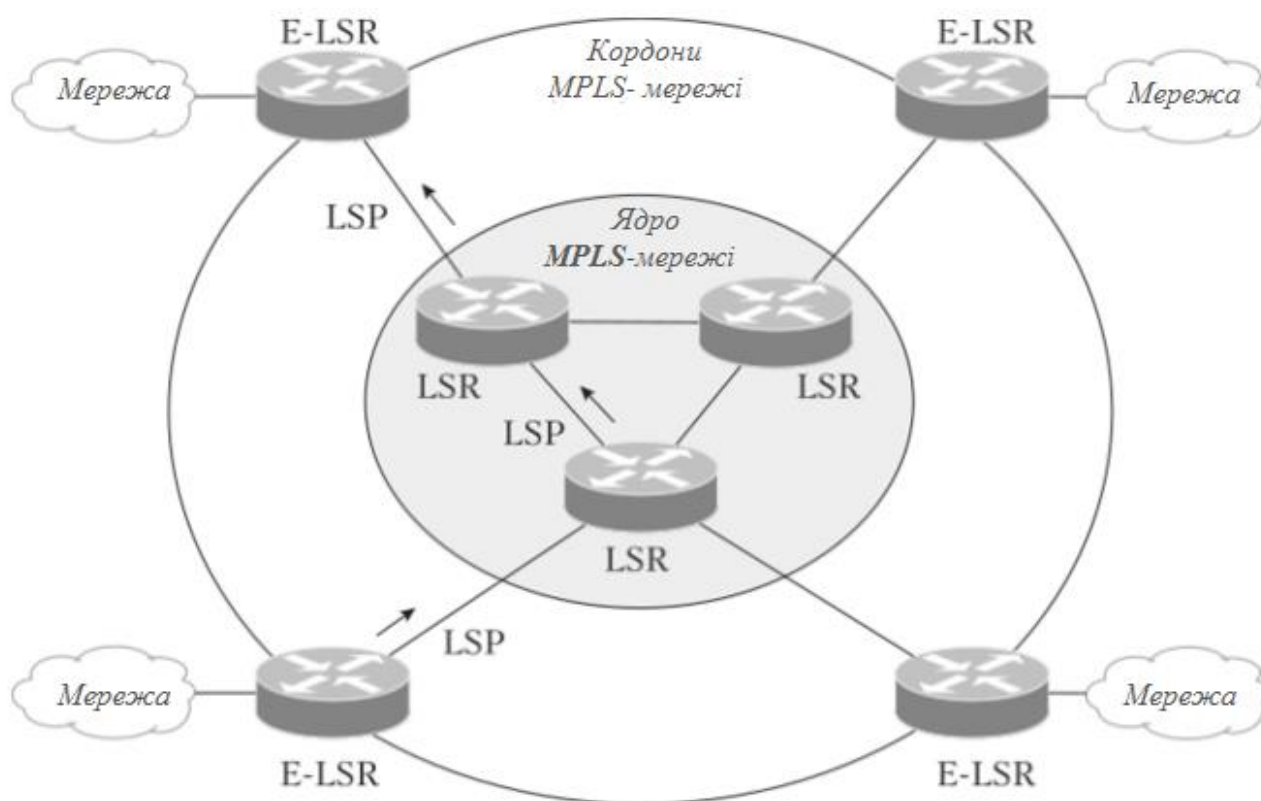


Рисунок 3.2. Маршрутизатор ядра і кордони MPLS-мережі

У середині хмари MPLS функціонують протоколи, що забезпечують підтримку актуальності логічної структури мережі (OSPF, IS-IS, BGP) і просування пакетів. Вибір маршруту пов'язаний з методом, використовуваним при виборі шляху по мітках для виразно класу еквівалентності трафіку. Архітектура протоколу MPLS підтримує маршрутизацію крок за кроком і явну маршрутизацію. Перша дозволяє кожному вузлу незалежно вибрати наступний крок для кожного FEC [20]. Це звичайний режим для існуючих IP-мереж.

У LSP при явній, маршрутизації кожен маршрутизатор не вибирає наступний крок незалежно; один з них специфікує кілька (або всі) маршрутизатори на протязі усього маршруту. Якщо один маршрутизатор специфікує весь шлях по мітках, то такий шлях називається явно маршрутизованим. Якщо ж специфікуються тільки деякі ланки шляху, то такий шлях є "неточно" маршрутизованим. Автором пропонується явно специфікувати маршрут на прикордонних маршрутизаторах. У MPLS такий маршрут повинен бути специфікований в момент формування мітки, але явний маршрут не повинен бути специфікований для кожного IP-пакета. Це робить явну маршрутизацію MPLS більш ефективною в порівнянні з альтернативною IP-маршрутизацією відправника,

При такій організації заволодіння міток входять пакетам не потрібно високої продуктивності комутаторів по мітках ядра мережі та оновлення обладнання для реалізації розроблених пропозицій з технічної реалізації алгоритму маршрутизації.

Алгоритм k знаходить до конкуруючих шляхів, і записи про вузли мережі вносяться в таблицю маршрутизації. В якості метрики використовується інтегральна, запропонована в розділі 2.

Пропонується на межі маршрутизаторах встановити систему аналізу мережевого трафіку, яка дозволить визначити характер що надходить потоку і момент початку роботи синтезованого алгоритму маршрутизації. Функції по обробці статистики функціонування мережі покладені на граничні маршрутизатори. Дані про завантаження ліній зв'язку, ймовірності скидання пакета в напрямку, а також залишкової пропускнуої здатності лінії зв'язку оцінюються на маршрутизаторах (всередині хмари MPLS). Всередині мережі MPLS- маршрути прокладаються протоколами OSPF з інтегральною метрикою. Відповідно до QoS, запитуваною вхідним трафіком, йому присвоюється мітка, і пакет передається наступному маршрутизатору. Дані за прийнятими/переданої/скинутим пакетам збираються в кожному маршрутизаторі і служать для створення статистики про функціонування мережі. Однак на початковому етапі функціонування мережі немає статистики, так як немає інформаційного обміну. В такому випадку для оцінки ймовірно-часових характеристик процесу передачі пакетів необхідно

використовувати модель на основі СМО, що розглядалось в другому розділі. Грубі оцінки ВВХ, отримані з її допомогою, використовуються на початковому етапі функціонування мережі, поки не буде зібрана статистика, для точечного та інтервального непараметричного оцінювання часу затримки і скинутих пакетів. Пропонується статистику, отриману по кожній ланці шляху, використовувати в якості вихідних даних для розрахунку апіорної ймовірності вибору маршруту $a_{(k,l)}^S$. Використовуючи синтезовану модель магістральної мережі, визначимо безлічі планів розподілу пакетів і оберемо той, який забезпечить баланс навантаження, а також знайдемо частки потоків, при яких будуть задоволені вимоги по QoS, рис. 3.3 [21].

Трафік з інтенсивністю Λ від мережі доступу надходить на граничний маршрутизатор. На вході в магістраль здійснюються контроль допуску в мережу і управління чергами. Так як основна затримка пакета формується при обслуговуванні в черзі і комутації, то її значення по кожному з суміжних маршрутів надходить в блок аналізу статистики модуля оцінювання та управління.

Функціонально він включає в себе блок завдання метрики, модуль розрахунку маршруту і блок аналізу статистики.

Модуль, розрахунку маршруту виконує функцію щодо визначення плану розподілу пакетів і передає його в маршрутно-адресну таблицю для явної маршрутизації. Таким чином, обраний за критерієм максимуму ентропійної функції маршрут буде використаний для передачі пакетів, поки не зміниться потокова модель джерела.

Розмір поля протоколу OSPF, що визначає тип сервісу, є фіксований, що ускладнює завдання по кодуванню інтегральної метрики і впровадження її в стандартне поле. В зв'язку з цим пропонується використовувати нульовий код для інтегральної метрики замість значення «Хмарний сервіс». Тоді стає можливою реалізація інтегральної метрики в протоколі OSPF. Крім того, зміна алгоритму Дейкстри на алгоритм Ієна дозволить використовувати такий модифікований алгоритм без подальших змін і обмеження [21].

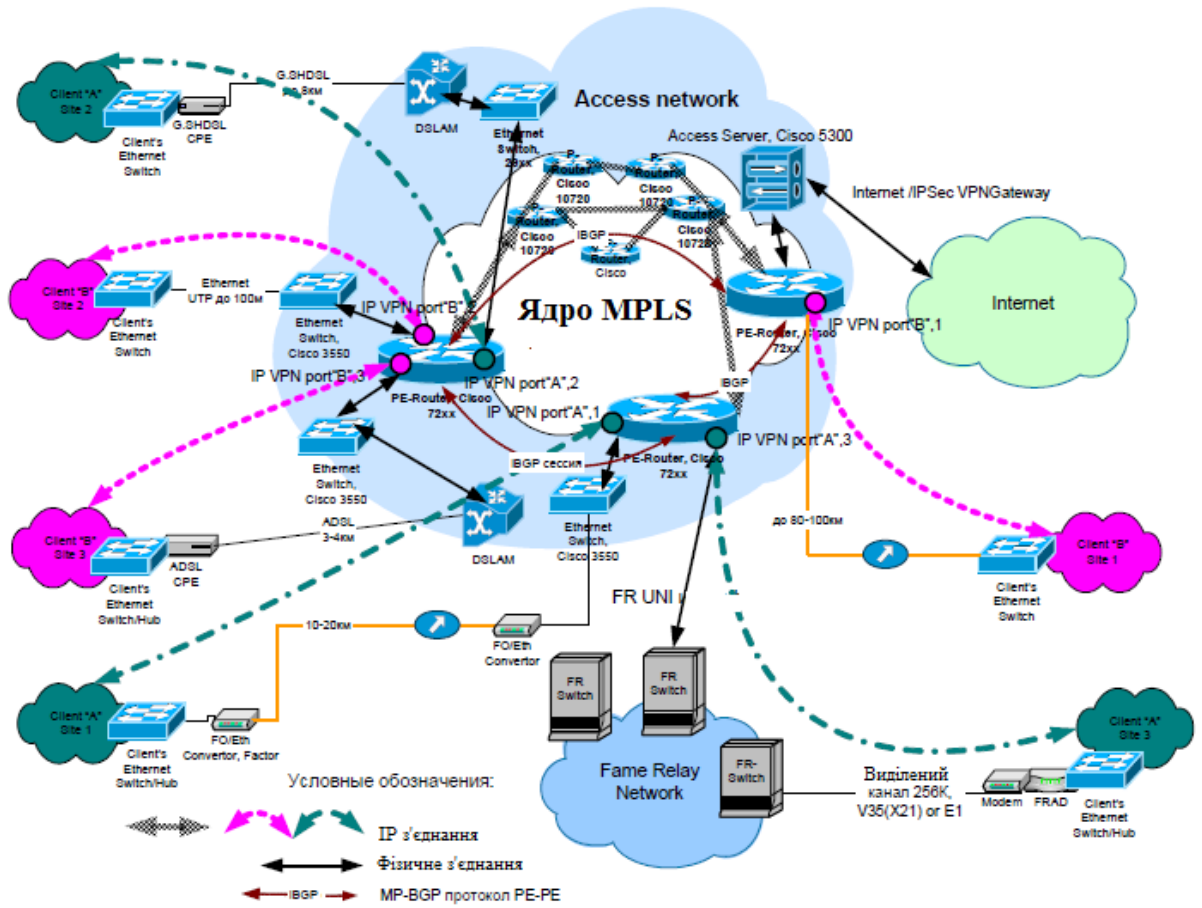


Рисунок 3.3. Пропозиції по керуванню трафіком в магістральній мережі

Функціональна схема розроблених пропозицій представлена на рис. 3.4.

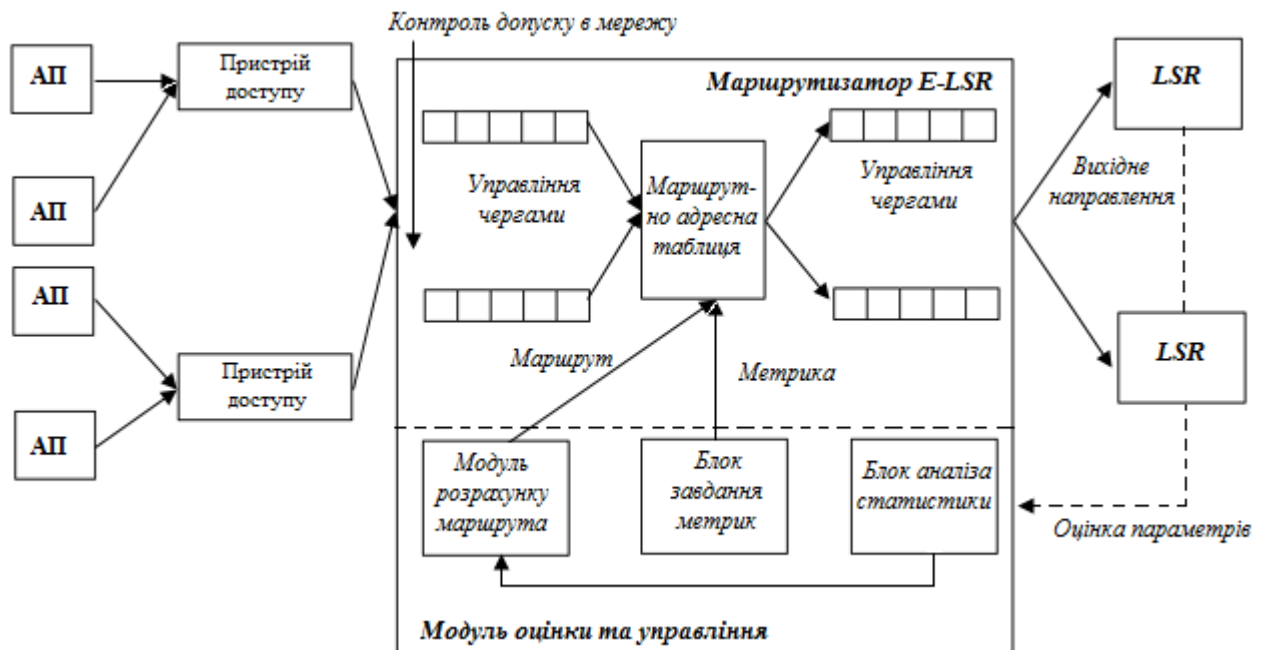


Рисунок 3.4. Функціональна схема системи управління мережевим трафіком і її розподіл по вузлах мережі

3.3 Оцінка ефективності реалізованого алгоритму

Розглянутий алгоритм маршрутизації спрямований на забезпечення вимог щодо якості обслуговування, а також підвищення ефективності використання мережевих ресурсів магістральної мережі. Оцінку отриманого ефекту від використання даного алгоритму пропонується провести на основі експерименту з допомогою прийнятого критерію оцінки ефективності. Для цього скористаємося імітаційною моделлю представленої в розділі 2, а для розрахунку показника якості скористаємося даними з табл. 3.1.

Характер надходить в магістраль трафіку є різним і представлений на рис.3.5.

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Кількість вузлів мережі	12
Кількість джерел	5
Значення вхідного навантаження	1200 Мбіт/с
Пропускна здатність магістральних ліній	6000 Мбіт/с

Очевидно, що сумарний трафік є нерегулярним. Це обумовлено тим, що в потоці передаються дані, що мають такі характеристики - різні класи обслуговування, різну інформаційну швидкість, девіацію часу затримки. У зв'язку з цим актуальним є використання системи аналізу мережевого трафіку, заснованої на побудові статистичного профілю навантаження і подальшого порівняння з еталонним.

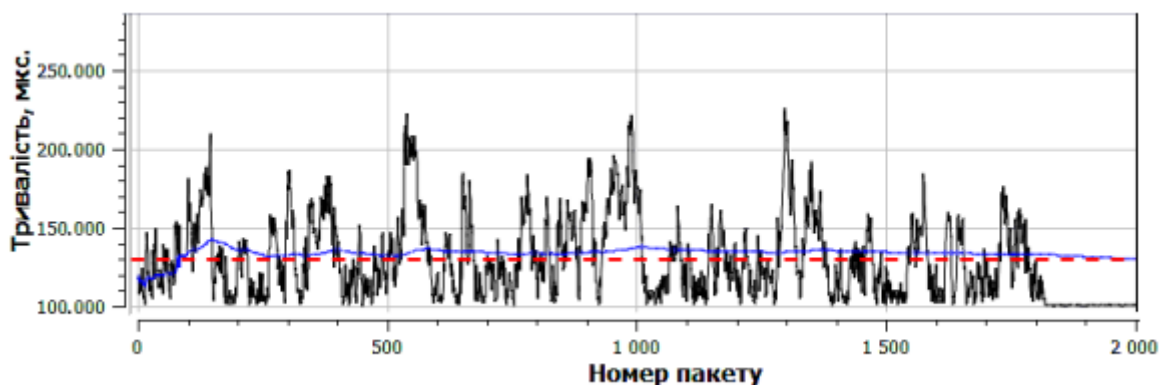


Рисунок 3.5. Навантаження, що надходить від джерел

Кроме того, використання інтегральної метрики протоколу маршрутизації дозволить врахувати основні вимоги по середньому часу затримки і ймовірності скидання пакета, що відображають якість обслуговування вхідного трафіку, Досліджуваний алгоритм має ті ж переваги, що і використовувані в даний час в протоколах маршрутизації, але має відмінність в пошуку найкоротших шляхів і використовуваної метриці. У зв'язку з цим необхідно оцінити швидкодію і обчислювальну складність запропонованого алгоритму в порівнянні з найбільш поширеним – OSPF [22].

Обчислювальна складність розробленого алгоритму може бути оцінена часом, витраченим центральним процесором маршрутизатора на пошук найкращого плану розподілу пакетів в порівнянні з вже існуючим алгоритмом маршрутизації. Для отримання такої оцінки використовувалася розроблена імітаційна модель процесу маршрутизації. При повно-топології мережі і фіксованому кількості вузлів отриманий план розподілу пакетів з використанням синтезованого і існуючого алгоритмів, в після закінчення моделювання проведено порівняння значення модельного часу обох алгоритмів, рис. 3.6.

Аналіз отриманих результатів для існуючих і розробленого алгоритмів показав, що з ростом розмірності мережі різниця за часом збіжності двох алгоритмів збільшується і при розмірі області маршрутизації в 12 вузлів вона становить 4,53%. Даний факт обумовлений тимчасовими витратами при розрахунку ентропічної функції.



Рисунок 3.6. Залежність часу збіжності алгоритмів від кількості вузлів мережі

Крім того, дослідження існуючого і розробленого алгоритмів показало, що зі збільшенням надходить навантаження збільшуються середній час затримки і ймовірність скидання пакету рис.3.7 і рис.3.8.

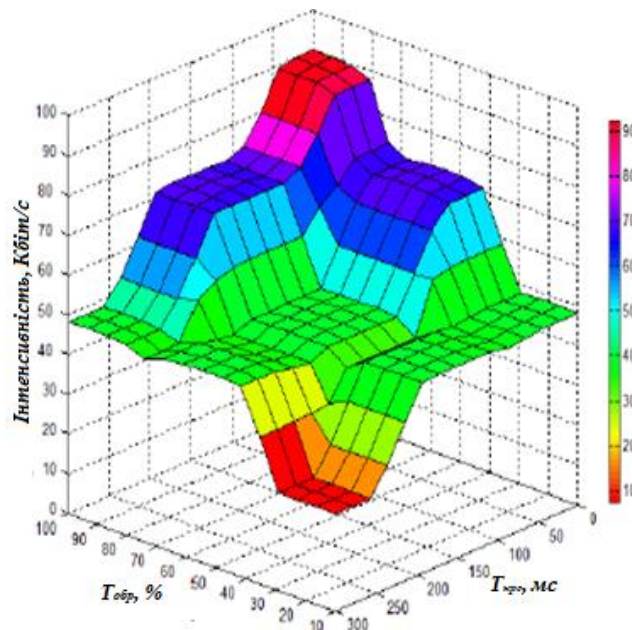


Рисунок 3.7 - Залежність показників ефективності від інтенсивності навантаження для алгоритму OSPF

Одним з важливих властивостей алгоритму є його швидкодія, пов'язане з часом, що витрачається на пошук плану розподілу пакетів, і тривалістю перехідних процесів в мережі. Необхідно, щоб тривалість перехідних процесів була більше, ніж час обчислення маршрутної схеми. При імітаційному моделюванні були отримані наступні значення, табл. 3.2.

Аналіз таблиці показує, що тривалість перехідних процесів багато більше часу роботи алгоритму, що дозволяє говорити про своєчасність внесення керуючого впливу [22, 23].

Аналіз рис. 3.9- 3.12 показав, що використання досліджуваного алгоритму дозволяє знизити ймовірність скидання і середнього часу затримки пакета, що дозволяє зменшити значення, показників, що відображають вимоги QoS. Таким чином, при збільшенні інтенсивності вхідного потоку вимоги щодо якості обслуговування не перевищують необхідних значень.

Таблиця 3.2.

Оцінки часу перехідних процесів в області маршрутизації

Кількість вузлів мережі	Час обчислення оптимального плану розподілу пакеті	Час перестроювання маршрутної схеми, с	Середній час затримки передачі службового пакету, с	Загальний час перехідного процесу, с
5	$7,12 * 10^{-6}$	10^{-5}	10^{-3}	$1,1 * 10^{-4}$
8	$9,44 * 10^{-6}$	10^{-5}	10^{-3}	$1,1 * 10^{-4}$
12	$1,16 * 10^{-5}$	10^{-5}	10^{-3}	$1,1 * 10^{-4}$
15	$8,32 * 10^{-5}$	10^{-5}	10^{-3}	$1,1 * 10^{-4}$

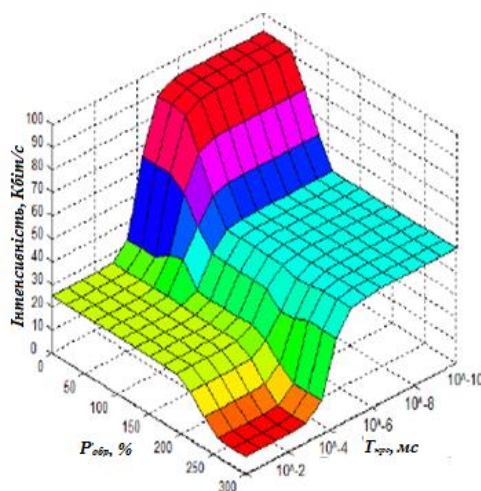


Рисунок 3.8. Залежність показників ефективності від інтенсивності навантаження для синтезованого алгоритму

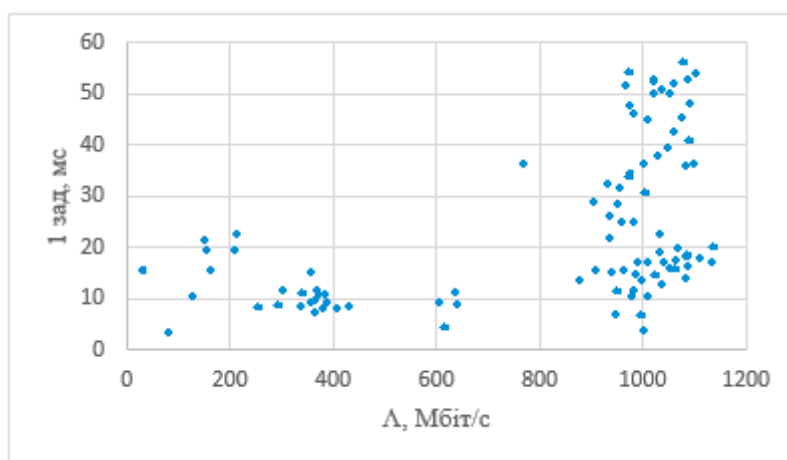


Рисунок 3.9. Залежність часу затримки від інтенсивності надходить навантаження для алгоритму ОСПФ

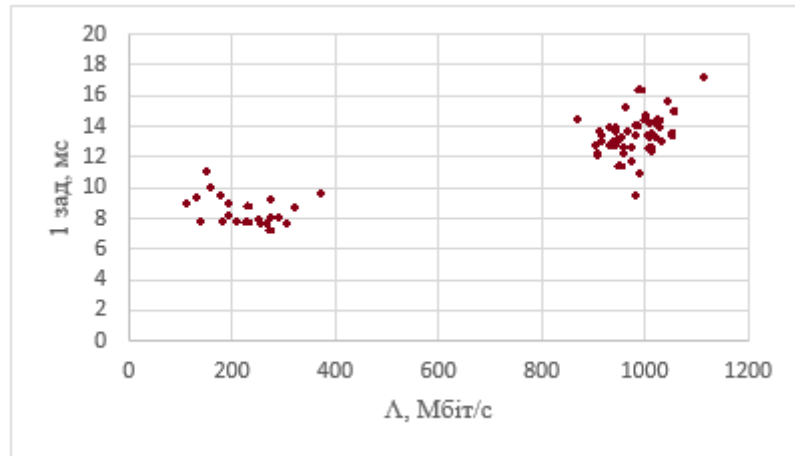


Рисунок 3.10. Залежність часу затримки від інтенсивності надходить навантаження для синтезованого алгоритму

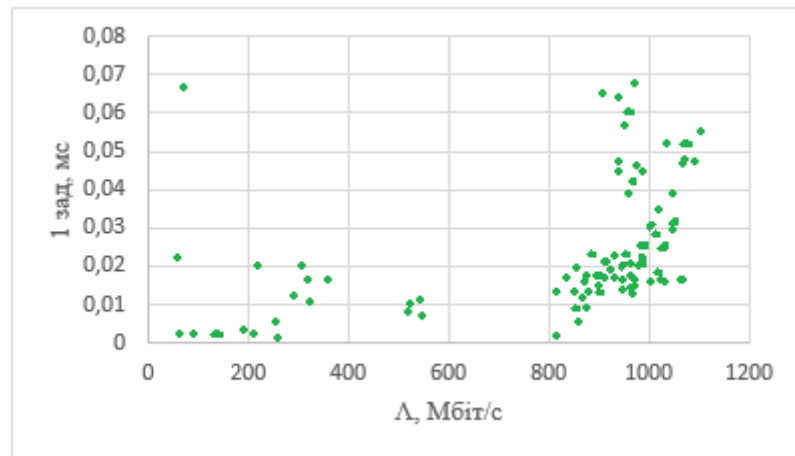


Рисунок 3.11. Залежність ймовірності скидання від інтенсивності надходить навантаження для алгоритму ОСПФ

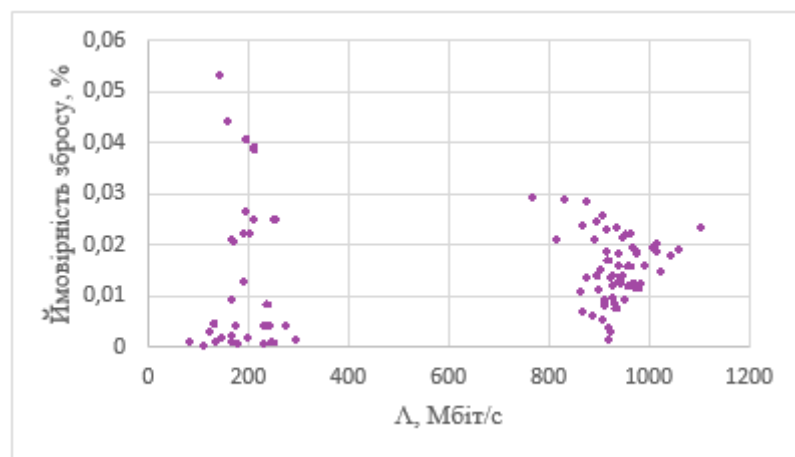


Рисунок 3.12. Залежність ймовірності скидання від інтенсивності надходить наїрузкі для синтезованого алгоритму

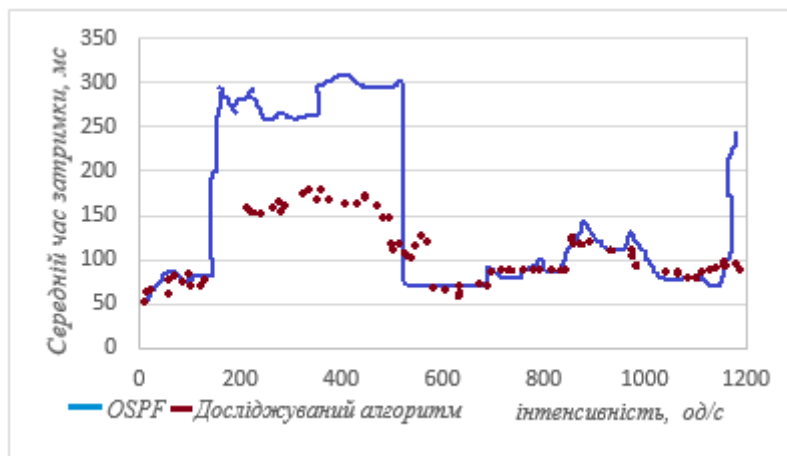


Рисунок 3.13. Залежність середнього часу затримки пакету від інтенсивності джерел

Графік на рис.3.13 ілюструє динаміку зміни середнього часу затримки пакету від інтенсивності вхідного навантаження. На даному графіку опущена оцінка ймовірності скидання пакетів, так як обидва алгоритму забезпечують потрібну установку.

Отримавши оцінку показників якості функціонування алгоритмів, проведемо оцінку ймовірності забезпечення QoS алгоритмами маршрутизації, табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Оцінка ймовірності забезпечення QoS алгоритмами маршрутизації

Забезпечення вимог QoS алгоритмами маршрутизації	Ймовірність забезпечення QoS $P_{\text{забезп. QoS}}, \%$
OSPF	61,5 %
Реалізований алгоритм	65%

Таким чином, за критерієм «ймовірність забезпечення вимог QoS» синтезований алгоритм перевершує OSPF на 4,5% [23]. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1, При збільшенні надходить навантаження середній час затримки пакетів зростає. Характерна особливість пакетної комутації - наявність граничного

значення надходить навантаження, після якого середній час затримки пакетів різко зростає.

2. Розроблений алгоритм має більшу обчислювальний час, ніж OSPF, що пов'язано з обчисленням ентропійної функції, а також аналізом ймовірно-часових характеристик маршрутів і розрахунком на їх основі апіорної ймовірності вибору шляху. На сучасному етапі розвитку, техніки і процесорних технологій машинним часом, витраченим на математичні операції, в розглянутому алгоритмі можна знехтувати.

3. Ефективність досліджуваного алгоритму на 4,5% вище, ніж існуючого - OSPF.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі сформульовані і вирішені основні завдання теоретичного дослідження процесу передачі і маршрутизації пакетів в MPLS мережі.

Розглянуто основні принципи побудови і функціонування магістральної мережі зв'язку, джерела навантаження для неї. Також визначено умови її функціонування, чинники, що впливають на ефективність роботи. Проведено аналіз основних технологій побудови магістральних мереж, методів і способів управління трафіком на різних рівнях моделі OSI. Виконано аналіз устаткування для мереж операторського класу IP/MPLS, та проаналізовано показники і критерії ефективності функціонування магістральної мережі зв'язку.

Розглянуто аналітичну та імітаційну моделі магістральної MPLS-мережі, яка описує стан рівноваги інформаційних потоків з урахуванням необхідного рівня QoS.

Виконано аналіз реалізації алгоритму маршрутизації, що враховує вимоги щодо забезпечення якості обслуговування надходить трафіку, і дозволяє забезпечити рівномірне завантаження вузлів мережі і врахувати при виборі маршруту класу трафіку який надходить.

Аналіз показав, що розглянуті системи аналізу мережевого трафіку для аналізу вхідного потоку в магістраль мережі зв'язку необхідні для визначення динаміки зміни потокової моделі і внесення керуючого впливу шляхом зміни маршрутних схем в магістральної мережі. Система призначена для побудови еталонного профілю і його подальшого порівняння з реальним, для знаходження ступеня кореляції між ними, визначаючи, таким чином зі зміни потокової моделі момент запуску алгоритму маршрутизації.

У практичній частині, магістерської кваліфікаційної роботи, наведені результати функціонування алгоритмів маршрутизації, які були досліджені у другому розділі, в магістральної мережі зв'язку.

На прикладі MPLS мережі проведено порівняння алгоритмів маршрутизації з різними метриками:

- середній час затримки пакета;
- ймовірність скидання пакету;
- залишкова пропускна здатність;
- інтегральна метрика.

В результаті чого встановлено, що використання системи аналізу мережевого трафіку дозволяє на основі методів статистичного аналізу профілів навантаження визначати зміни потокової моделі і, відповідно до критерію оцінки, перерозподіляти трафік в магістральній мережі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей. Версия 4. — М.: 2016.
2. Том М. Томас II Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Руководство Cisco. OSPF Network Design Solutions. — 2-е изд. - М.: «Вильямс», 2014. — 816с.
3. Рекомендация RFC 2702 - Requirements for Traffic Engineering Over MPLS.
4. Рекомендация RFC 3031 - Multiprotocol Label Switching Architecture.
5. Мишин Е. Д., Маршак М. Д., Гольдштейн Б. показатели качества обслуживания с учетом перехода следующего поколения.// Техника связи, 2017. №1, с. 14-22.С.
6. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. - СПб.: Наука и Техника, 2014. - 336 с.
7. Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика, 2011. - 518 с.
8. Том М. Томас II Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Руководство Cisco. OSPF Network Design Solutions. — 2-е изд. - М.: «Вильямс», 2014. — 816с.
9. Вишнеvский В. М. Пороцкий С. М. Динамическая маршрутизация в АТМ сетях - проблемы решения. // Автоматика и телемеханика. - 2016. № 6. с. 20-23.
10. Нетес В. А. Качество обслуживания в сетях связи. Обзор рекомендаций МСЭ-Т. // Сети и системы связи, №3, 2010.
11. Дьяконов В. П. Matlab6.5 SP1/7+Simulink5/6. Основы применения. Серия "Библиотека профессионала". -М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 800 с.
12. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. - СПб: Питер, 2011. - 480 с.

13. Романов А. Г. и др. Аналитическая оценка времени задержки пакетов, передаваемых в канале множественного доступа в составе разнородных потоков информации. - Сети связи и системы коммутации: Сб. науч. тр. Вып.1.- СПб.: Тема, 2015. - 117 с.

14. Жожикашвили В. А. Вишневский В. М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. - М.: Радио и связь, 2011. - 192 с.

15. Рекомендация RFC 3630 - Traffic Engineering (TE) Extensions OSPF Version 2

16. Мাপинецкий Г. Г., Курдюмов С. П. Нелинейная динамика и проблемы прогноза.// Вестник академии наук , 2015. Том 71, № 3,

17. Свами М., Тхуласирамян К. Графы, сети и алгоритмы. - М.: Мир, 1984.-456 с.

18. Грешидов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов - М.: Радио и связь, 2012. - 112 с.

19. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. "Мир", 2010.-432 с.

20. Царев Д. С., Крюков О. В., Козачок В. И. Адаптивные алгоритмы управления в сети документальной связи.// Сборник 3-й Межвузовской научно-практической конференция: "Перспективы развития средств связи в силовых структурах, обеспечение информационной безопасности в системах связи".-2007.67-70.

21. Мишин Е. Д., Маршак М. Д. Гольдштейн Б. показателей качества обслуживания с учетом перехода следующего поколения.// Техника связи, 2018. №1, с. 14-22. С.

22. Сычев К. И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. - 272 с.

23. Сычев К. И. Моделирование, анализ эффективности процессов функционирования и оптимизация сетей передачи данных с коммутацией пакетов. - Орел. 2015. — 118 с.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ