

ВСЕУКРАЇНСЬКА ПРОГРАМА ПІДТРИМКИ СТУДЕНТІВ
“Професіонали майбутнього”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПРОФІЛЬНИХ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ
за напрямом “ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ”



ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЗВІТ

про виконання проекту на тему
**«Прогностичне керування мультисервісним
трафіком в мережі IP/MPLS»**

Узгоджено:

декан факультету

комп'ютерних інформаційних

технологій та автоматики ДонНТУ

О.В. Хорхордін

Виконавці проекту:

Студенти IV курсу напрямку підготовки „Телекомунікації” спеціальності «Телекомунікаційні системи і мережі»:

Фазульянов Сергій;

Тищенко Олександр;

Сінгатурін Віктор;

Волков Артем;

Охріменко Михайло.

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри „Автоматика і телекомунікації” (АТ) Дегтяренко Ілля Вячеславович.

Консультанти:

д.т.н., професор кафедри АТ Воронцов Олександр Григорович;

к.т.н., доцент, завідувач кафедри АТ Бессараб Володимир Іванович;

асистент кафедри АТ Батир Семен Сергійович.

Виконавці проекту висловлюють подяку керівництву та співробітникам східного територіального управління „МТС Україна” за підтримку проекту та надання деяких реальних даних для роботи над завданням.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 НОВИЗНА ПРОЕКТУ.....	5
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	6
3 ОПИС ПРОЕКТУ.....	6
3.1 Аспекти розвитку транспортної мережі оператора зв'язку.....	6
3.2 Математичні основи прогностичного керування трафіком в мультисервісній мережі.....	8
3.2.1 Розробка структурно-алгоритмічної моделі для оцінювання та прогнозування трафіку.....	8
3.2.2 Розробка методики визначення відносного пріоритету класів трафіку.....	10
3.3 Опис концепції прогностичного керування трафіком.....	12
3.4 Моделювання системи прогностичного керування трафіком.....	13
4 ПОТРЕБИ ФІНАНСОВИХ ВИТРАТ.....	15
РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ.....	15
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	16

ВСТУП

Темпи розвитку телекомунікаційної галузі є одними з найбільш стрімких. Оператори зв'язку повинні безперервно слідкувати, а також своєчасно реагувати на тенденції розвитку телекомунікаційного ринку послуг для того, щоб в умовах високої конкуренції зберегти та зміцнити власні позиції.

Сьогодні на ринку телекомунікаційних послуг можна чітко окреслити наступні тенденції:

- зниження темпів зростання клієнтської бази операторів мобільного зв'язку;
- зростання трафіку в мобільних мережах за рахунок впровадження нових технологій (Wi-Fi, LTE, UMTS);
- збільшення долі послуг на основі IP-технологій: високошвидкісний доступ в Інтернет, відеодзвінки та конференції, IPTV, цифрове телебачення високої чіткості, інформаційні та мультимедійні сервіси за запитом тощо.

Реагуючи на вищезгадані тенденції, вже багато операторів фіксованого та мобільного зв'язку взяли напрямом на впровадження нових послуг. Таким чином, мережі починають функціонувати як мультисервісні з використанням новітніх IP-технологій. Збільшення кількості сервісів призводить до зростання навантаження. Як правило, цей факт не є критичним для магістральних мереж оператора, оскільки технології мультиплексування, які використовуються разом з технологією SDH, дозволяють отримати величезну пропускну здатність волоконно-оптичних каналів зв'язку. Однак, для граничних вузлів збільшення навантаження може стати суттєвою проблемою.

Послуги на основі IP-технологій вимагають переорієнтування мережі з каналної комутації на пакетну. Важливою вимогою для мультисервісної мережі також є забезпечення показників QoS, які суттєво відрізняються для кожного типу трафіку. Крім того, трафік мультисервісних мереж має високу пачечність та циклічні коливання часового тренду. При цьому може виникати перевантаження одних каналів при тому, що інші можуть майже не використовуватися. Це вимагає застосування методів керування трафіком, заснованих як на статистичних, так і на прогностичних даних.

Застосування технології IP/MPLS дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з комутацією пакетів і забезпеченням параметрів QoS у транспортній SDH-мережі. До того ж IP/MPLS підтримує механізм маршрутизації на основі резервування ресурсів RRR (Routing by Resource Reservation), який дозволяє керувати потоками трафіку під час його передачі каналами зв'язку.

Підсумовуючи вищезгадані факти, сформулюємо мету проекту – удосконалення алгоритмів керування мультисервісним трафіком на граничних вузлах транспортної мережі SDH з використанням технології IP/MPLS.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- 1) оцінити сучасний стан транспортної мережі оператора та виявити проблемні ділянки;
- 2) розробити структурно-алгоритмічну модель для оцінювання та прогнозування навантаження на граничних вузлах мультисервісної мережі;
- 3) обґрунтувати можливості використання механізму RRR для керування трафіком;
- 4) створити концепцію прогностичного керування трафіком на основі розробленої структурно-алгоритмічної моделі та можливостей механізму RRR;
- 5) розробити цифрову модель для оцінювання ефективності системи прогностичного керування трафіком в мультисервісній мережі.

1 НОВИЗНА ПРОЕКТУ

- Отримала подальший розвиток теорія самоподібних випадкових процесів стосовно прогнозування трафіку мультисервісних мереж.
- Удосконалено алгоритм прогнозування навантаження з урахуванням самоподібних властивостей трафіку.
- Розроблено нову методику визначення відносного пріоритету класів трафіку, засновану на аналізі вимог QoS.
- Вперше запропонована концепція прогностичного керування трафіком в мережі IP/MPLS.

- Вперше розроблена та застосована цифрова модель прогностичного керування трафіком в програмному середовищі NS-2, яка орієнтована на використання розширення протоколу RSVP.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розв'язання поставлених задач використовувалися теорія телетрафіку, теорія самоподібності та фрактального аналізу, методи математичного моделювання, теорія мереж та системний аналіз.

3 ОПИС ПРОЕКТУ

3.1 Аспекти розвитку транспортної мережі оператора зв'язку

Функціонування мережі національного оператора неможливо уявити без розвиненої транспортної інфраструктури. Національні та регіональні мережі працюють на технології SDH рівня STM-16 та STM-64. Впровадження нових послуг (особливо послуг пов'язаних з передачею відеотрафіку) сприятиме зростанню навантаження. Даний факт не є критичним для магістральних мереж, оскільки рівень їх завантаження сьогодні близько 20-25%, крім того існує можливість збільшення їх пропускної спроможності за рахунок технологій xWDM. Рівень завантаження граничних вузлів вже на сьогоднішній день складає 60-70%. Подальше збільшення навантаження за рахунок впровадження нових послуг потребує застосування в мережі інноваційних технологій.

Технологія IP/MPLS має певні переваги при використанні на транспортних мережах: вона працює з будь-якою технологією каналного рівня, дозволяє вирішити проблеми пакетної комутації в мережі SDH та

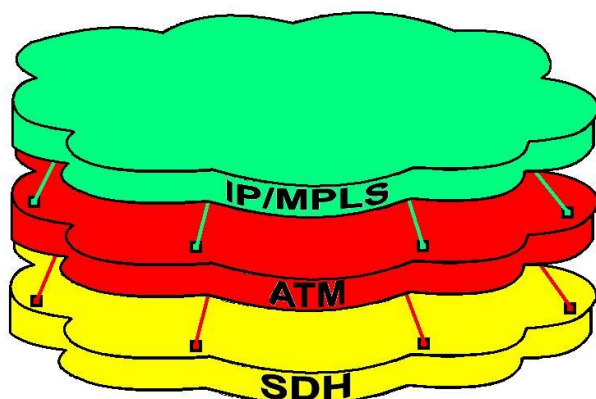


Рис. 3.1 - Схема розгортання мережі IP/MPLS

дозволяє забезпечити показники QoS для всіх типів послуг.

Найбільш вдало, на наш погляд, IP/MPLS розгортається на транспортній мережі SDH спільно з технологією ATM. Більшість обладнання, яке вже працює на транспортній мережі, підтримує ці технології, однак їх впровадження

потребує переконфігурування обладнання та придбання ліцензій виробника на право використання цих технологій.

Схема використання IP/MPLS спільно з ATM має декілька переваг. По-перше, спрощується інкапсуляція MPLS-міток, які можуть передаватися в полях-заголовках каналного рівня чи як частина кадрів AAL5 у випадку, коли інформація мітки складається зі стеку міток [1]. По-друге, впровадження MPLS до середовища ATM проявляється в синергетичному ефекті – для реалізації динаміки протоколу IP в ATM-мережах більше не потрібні протоколи NHRP і класичний стек IP [2]. По-третє, у ATM-комутатора вже є передавальний компонент MPLS-типу, оскільки він виконує заміну поля VPI/VCI, схожу на заміну MPLS-міток. Таким чином, щоб ATM-комутатор підтримував MPLS, йому потрібен тільки керівний компонент. Для цього необхідно запустити на ньому протоколи маршрутизації, наприклад, OSPF чи IS-IS, протокол розповсюдження міток LDP та протокол резервування ресурсів RSVP з функцією керування трафіком RSVP-TE. За допомогою вказаної функції реалізується механізм маршрутизації на основі резервування ресурсів RRR [1], який здійснює передачу IP-пакетів із урахуванням класу трафіку, вимог до обслуговування і наявності доступних ресурсів мережі. Робота механізму пояснюється на рис.3.2 [1].

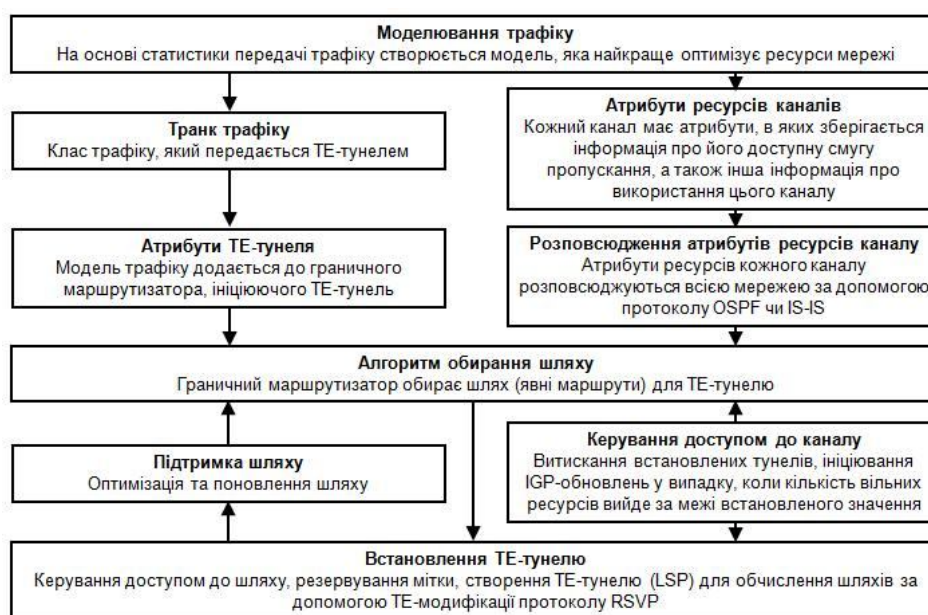


Рис. 3.2 - Алгоритм функціонування механізму RRR

Ключовим елементом приведеного алгоритму є процедура моделювання трафіку. Вона реалізується на основі аналізу статистичних

даних навантаження каналів. Отримані результати можуть бути підставою для впровадження системи прогностичного керування без зміни концепції механізмів функціонування мережі IP/MPLS.

3.2 Математичні основи прогностичного керування трафіком в мультисервісній мережі

Зазвичай при плануванні навантажень використовуються моделі, засновані на припущенні, що трафік даних відповідає пуассонівському розподілу. Але, як показали результати багатьох досліджень, класична пуассонівська модель є не завжди адекватною [3, 4]. Спираючись на велику кількість експериментальних даних і ретельний статистичний аналіз, було доведено, що трафік IP-мереж і Інтернет трафік, а також трафік мультисервісних мереж на базі АТМ характеризуються такими кореляційними властивостями, як самоподібність і довгострокова залежність [4]. Таким чином, можна обґрунтувати необхідність застосування теорії самоподібності для побудови алгоритмів прогнозування трафіку IP/MPLS мережі.

Прийняття рішень щодо керування трафіком вимагає вирішення не тільки задачі прогнозування, але й визначення відносних пріоритетів класів трафіку. Все це повинно враховувати з одного боку фізичні можливості каналів, а з іншого – вимоги QoS для різних послуг.

3.2.1 Розробка структурно-алгоритмічної моделі для оцінювання та прогнозування трафіку

Випадковий процес $X(t)$ ($t \in \mathcal{R}$) вважається самоподібним та довгостроково залежним, якщо масштабуючий параметр самоподібності H (параметр Херста) задовольняє умовам: $0,5 < H < 1$. Цей параметр може бути оцінений декількома методами [5]. Найбільш адекватну оцінку дає метод заснований на модифікованій дисперсії Алана [4].

Для стаціонарних часових серій $X = \{x(i), i \geq 1\}$ можна визначити m -агреговані часові серії $X^{(m)} = \{X_k^{(m)}, k = 0, 1, 2, \dots\}$, додаючи первинні часові серії за сусідніми блоками розміру m , які не перекриваються:

$$X_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km-(m-1)}^{km} x(i), \quad (3.1)$$

де індекс k - номер блока; m – масштаб агрегації.

Агреговані часові серії являють собою метод компресії часової шкали. При усередненні за кожною множиною втрачаються малі деталі, які стають доступними при максимальному збільшенні. Якщо статистичні характеристики процесу (середнє значення, дисперсія, кореляція і т.д.) зберігаються при компресії, то це вказує на самоподібність процесу.

Практично статистична самоподібність передбачає виконання наступної умови для кожної агрегованої серії [6]:

$$D[X^{(m)}] = \frac{D[X]}{m^\beta}; \quad (3.2)$$

де $D[X]$ – дисперсія процесу X ; $\beta = 2(1 - H)$.

Довгострокова залежність дає підставу будувати прогностичні моделі із застосуванням теорії самоподібності та фрактального аналізу.

З точки зору загальної теорії прогнозування [7] часовий ряд, який відповідає прогнозу трафіку мережі можна представити у вигляді:

$$\mathcal{X}(i) = \chi(i) + \sigma(i). \quad (3.3)$$

$\chi(i)$ - не випадкова компонента, яка містить в собі циклічні і сезонні коливання. Її можна оцінити як математичне очікування за відповідні агреговані періоди у минулому $X_i^{(m)}(k)$, що відповідають i -ій прогнозованій ділянці:

$$\chi(i) = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} X_i^{(m)}(k), \quad (3.4)$$

де, N_k – кількість врахованих циклів тренду трафіку.

Параметр $\sigma(i)$ це змінна складова прогнозу, яка враховує випадкові коливання трафіку та періодичну змінну його пачечності. Її можна оцінити за дисперсіями агрегованих серій. З урахуванням самоподібності трафіку $\sigma(i)$ може бути оцінена по формулі:

$$\sigma(i) = \sqrt{\frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} D[X_i^{(m)}(k)] m^\beta}. \quad (3.5)$$

Для стійкості процедури прогнозу треба враховувати помилку прогнозу на минулому кроці:

$$\mathcal{X}^*(i) = \mathcal{X}(i) + e(i-1). \quad (3.6)$$

Таким чином, алгоритм прогнозу буде мати вигляд, що приведено на рис.3.3. Даний алгоритм може бути використаний у складі системи прогностичного керування ресурсами мережі.

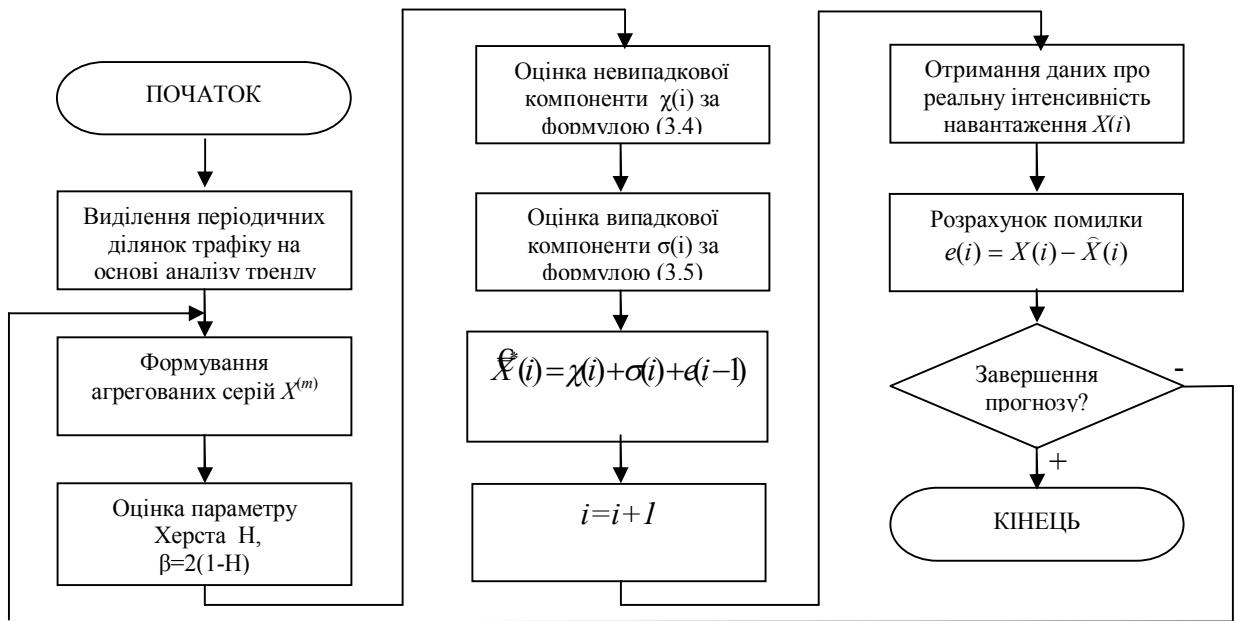


Рис. 3.3 - Блоксхема алгоритму прогнозування

3.2.2 Розробка методики визначення відносного пріоритету класів трафіку

Процес визначення пріоритету супроводжується маркуванням пакетів. Пакети можуть бути промарковані шляхом визначення поля IP-пріоритету чи поля коду диференційованої послуги (DSCP), які розташовані в заголовках IP-пакетів. Ми пропонуємо власну методику визначення відносного пріоритету класів трафіку. Вона базується на вимогах QoS різних послуг. При цьому, як один із можливих варіантів, - виділення таких класів трафіку: голосовий, IPTV, відео-конференції, інтерактивні данні, аудіо за запитом, клас даних Best Effort, трафік сигналізації. Вимоги щодо якості обслуговування цих класів, згідно з рекомендаціями ITU-T Y.1541, зведені в таблицю 3.1. Базуючись на даних таблиці, ми пропонуємо розрахувати загальні вагові коефіцієнти, значення яких може бути використане при встановленні бітів поля CoS заголовку MPLS-мітки.

Розрахунок ведеться з використанням двох матриць А и В (див. табл. 3.2 - 3.3). Відповідні стовпчики матриці А заповнюються за формулами:

$$A_{i1} = \frac{P_{\min}}{P_i}; A_{i2} = \frac{T_{\min}}{T_i}; A_{i3} = \frac{dt_{\min}}{dt_i}; A_{i4} = \frac{C_i}{C_{\max}}. \quad (3.7 - 3.10)$$

Матриця В заповнюється числами 1, 2 та 3, які відображають відповідно низьку, середню та високу значимість вимог до показників QoS [6]. Ці параметри можуть визначатись оператором.

Таблиця 3.1 – Вимоги до QoS класів трафіку та їх відносний пріоритет

Клас трафіку	i	Показники QoS				Пріоритет
		Втрати пакетів P, %	Затримка T, ms	Джиттер dt, ms	Смуга пропускання C, kbps	
Голос	1	< 0,25	150	< 10	21-106	0,2430 (101)
IPTV	2	< 2	1000	< 30	10240	0,1527 (011)
Відео-конференції	3	< 1	150	< 30	12288	0,2314 (100)
Інтерактивні данні	4	< 0,1	400	Не існує значних вимог	128	0,0950 (010)
Аудіо по запиту	5	< 1	1000	<15	256	0,0157 (001)
Трафік сигналізації	6	< 0,1	100	Не існує значних вимог	64	0,2514 (110)
Клас даних Best Effort	7	< 2	1000	Не існує значних вимог	64	0,0109 (000)

Таблиця 3.2 – Формування матриці відносних коефіцієнтів (A)

Клас трафіку	i	Показники QoS			
		Втрати пакетів P	Затримка T	Джиттер dt	Смуга пропускання C
		j=1	j=2	j=3	j=4
Голос	1	0,400	0,667	1,000	0,008
IPTV	2	0,050	0,100	0,333	0,833
Відео-конференції	3	0,100	0,667	0,333	1,000
Інтерактивні данні	4	1,000	0,250	0,000	0,010
Аудіо по запиту	5	0,100	0,100	0,067	0,020
Трафік сигналізації	6	1,000	1,000	0,000	0,006
Клас даних Best Effort	7	0,050	0,100	0,000	0,006

Таблиця 3.3 – Формування матриці значимості показників QoS (B)

Клас трафіку	i	Показники QoS			
		Втрати пакетів P	Затримка T	Джиттер dt	Смуга пропускання C
		j=1	j=2	j=3	j=4
Голос	1	2	3	3	1
IPTV	2	1	1	3	3
Відео-конференції	3	2	2	3	3
Інтерактивні данні	4	2	1	1	2
Аудіо по запиту	5	1	1	2	2
Трафік сигналізації	6	3	3	1	2
Клас даних Best Effort	7	3	1	1	2

Значення пріоритетів для класів трафіку розраховується за формулою:

$$Pr_i = \frac{\sum_{j=1}^4 A_{ij} B_{ij}}{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 A_{ij} B_{ij}} \quad (3.11)$$

Результати розрахунків відображені в останньому стовпчику таблиці 3.1. в десятковому та бінарному вигляді.

Розроблений алгоритм прогнозування та методика визначення відносних пріоритетів є необхідними елементами для розробки концепції прогностичного керування.

3.3 Опис концепції прогностичного керування трафіком

Прогностичне керування пропонується реалізувати на основі структури, що наведено на рис.3.4.

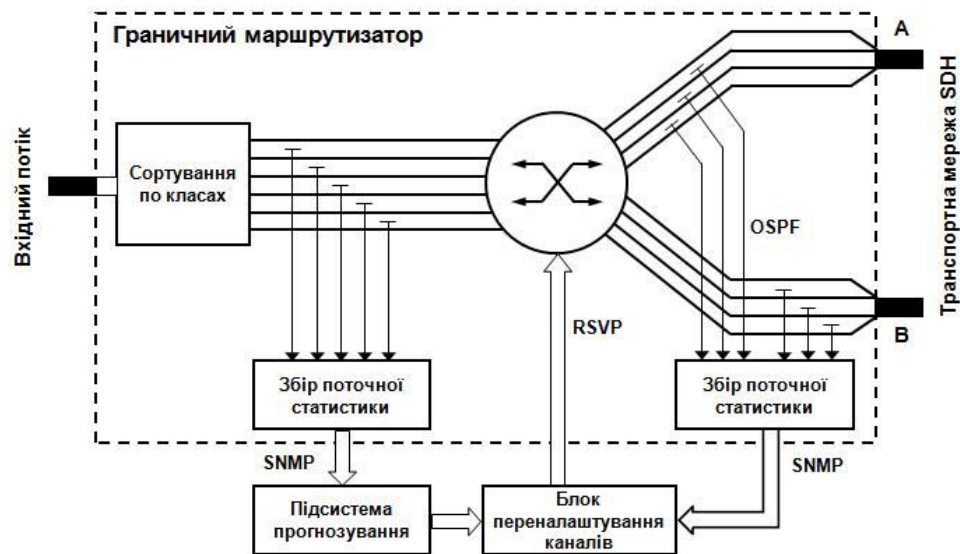


Рис. 3.4 - Функціональна схема системи прогностичного керування

До її складу входять граничний маршрутизатор, підсистема прогнозування, блок переналаштування каналів (БПК).

На вхід граничного маршрутизатора надходить трафік декількох джерел. Маршрутизатор проводить класифікацію пакетів з метою віднесення їх до того чи іншого класу трафіку. Інформація про інтенсивність надходження пакетів кожного класу передається підсистемі прогнозування. Вона для самоподібних класів трафіку розраховує прогноз навантаження на наступний часовий проміжок. Результат надходить на один із двох входів БПК, де проходить процедуру пріоритезації за розробленою методикою.

На інший вхід БПК передаються дані з граничного маршрутизатора про стан каналів мережі. Можливість отримання такої інформації забезпечується розширенням протоколів OSPF чи IS-IS [7]. Аналізуючи отримані на обох

входах дані, БПК може надати команду маршрутизатору на перерозподіл ресурсів. Перерозподіл ресурсів в мережі відбувається засобами протоколу RSVP з функцією керування трафіком RSVP-TE [7]. Керування може відбуватися в рамках одного чи кількох фізичних каналів. В першому випадку відбувається звуження-розширення смуг пропускання TE-тунелів, в другому – повністю виконується процедура встановлення TE-тунелю на інших фізичних каналах.

Розглянута концепція прогностичного керування може бути основою технічної системи, що дозволить **зменшити імовірність втрати пакетів** за рахунок прогнозування. Оцінити ефективність роботи розробленої системи керування пропонується за допомогою створеної цифрової моделі.

3.4 Моделювання системи прогностичного керування трафіком

В якості середовища моделювання було обрано пакет NS-2 із наступних міркувань: симулятор є дискретним, використовує механізм подій і призначений для досліджень в галузі комп'ютерних мереж; підтримує більшу частину існуючих протоколів стеку TCP/IP, протоколів маршрутизації та дисциплін обслуговування черг; має відкритий код і доступний для вільного використання та модифікації, сумісний з багатьма операційними системами.

Топологія мережі, яка моделюється представлена на рис. 3.5.

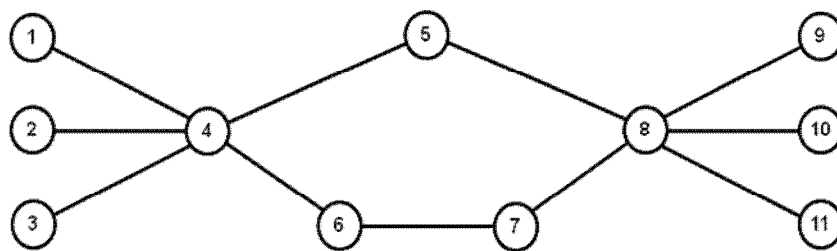


Рис. 3.5 - Топологія мережі, яка моделюється в середовищі NS-2

Модель складається із трьох генераторів трафіку (1,2,3), граничних маршрутизаторів (4,8), транзитних вузлів (5,6,7) та вузлів-приймачів(9,10,11). Один з генераторів є джерелом самоподібного трафіку, реалізація якого заздалегідь записана до файлу та перевірена декількома методами на значення параметра Херста ($H \approx 0,8$). Трафік інших джерел не є самоподібним.

Між граничними маршрутизаторами (4 і 8) встановлюються два ТЕ-тунелі через вузол 5, якими направлено самоподібний трафік і трафік одного з джерел з меншим пріоритетом. Третій ТЕ-тунель встановлено через вузли 6 та 7. Метрика шляху 4-5-8 краща, ніж шляху 4-6-7-8.

В моделі реалізована процедура прогнозування навантаження на ТЕ-тунелі та керування ними. Для зменшення часу моделювання дана процедура відслідковує тільки самоподібний трафік, що виправдовує використання інших двох несамоподібних джерел.

Процедура прогнозування та керування каналами відслідковує протягом інтервалу прогнозування самоподібний трафік і вносить його у вікно спостереження, видаляючи при цьому найстарший запис. Від довжини інтервалу прогнозування залежить похибка оцінювання. Моделювання проводиться з прив'язкою до змін трафіку протягом доби згідно з розробленим алгоритмом (пункт 3.2.1). Прогнозоване значення може бути використано для керування каналом.

Результати моделювання представлені у вигляді графіків (рис. 3.6)

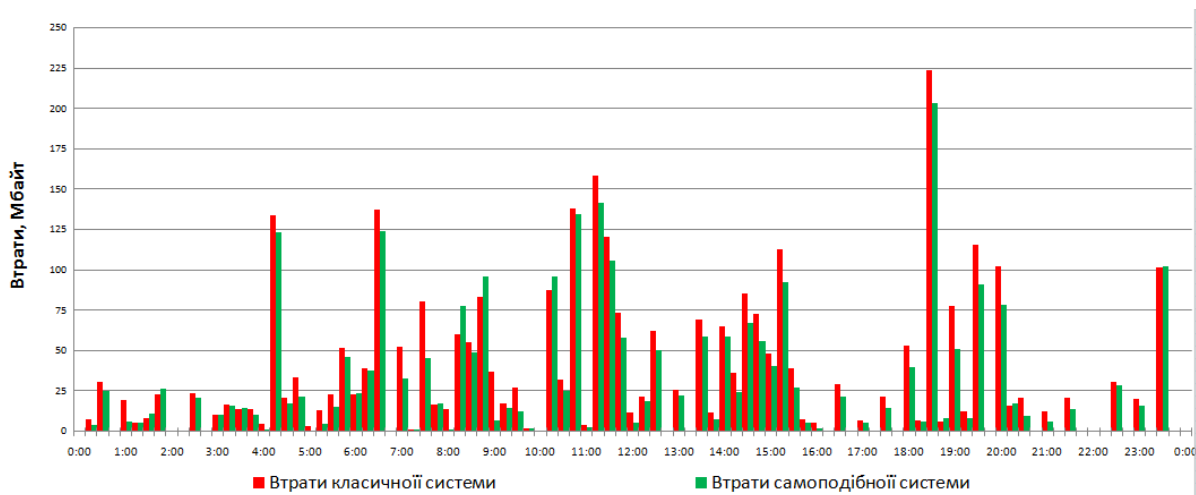


Рис. 3.6 - Графіки втрат у каналі для різних систем прогнозування

Модель, яка враховує самоподібний розподіл трафіку, на 10% зменшує втрати, в порівнянні з класичними моделями прогнозування, при цьому середня утилізація каналу дорівнює близько 88%. Таким чином, була доведена працездатність та ефективність запропонованої концепції прогностичного керування трафіком граничних маршрутизаторів.

4 ПОТРЕБИ ФІНАНСОВИХ ВИТРАТ

Основні пункти фінансових витрат:

- проведення статистичних досліджень трафіку в мережі;
- розробка проекту по реалізації системи;
- придбання обчислювального обладнання та розробка програмного забезпечення;
- придбання ліцензій на використання технологій ATM та MPLS;
- інтеграція системи в мережу;
- налаштування і супровід системи прогнозування.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

В результаті виконання проекту виявлені шляхи та методи удосконалення алгоритмів керування мультисервісним трафіком на граничних вузлах транспортної мережі SDH з використанням технології IP/MPLS. Запропоновано впроваджувати технологію IP/MPLS спільно з використанням технології ATM. Таке рішення дозволяє ефективно використовувати ресурси наявної мережі при передачі мультисервісного трафіку.

Аналіз літературних джерел показав, що трафік мультисервісних мереж характеризується такими кореляційними властивостями як самоподібність та довгострокова залежність. Ці факти стали засадами для розробки концепції прогностичного керування трафіком на граничних маршрутизаторах транспортної мережі. Дана концепція повністю узгоджена з механізмом маршрутизації на основі резервування ресурсів, передбачених протоколом RSVP, адаптованим під технологію MPLS.

В рамках запропонованої концепції були розроблені алгоритм прогнозування навантаження на мережу та методика визначення відносного пріоритету класів трафіку. Алгоритм враховує циклічні коливання тренду трафіку та його самоподібність. Методика дозволяє врахувати вимоги до параметрів QoS при перерозподілі ресурсів мережі.

Синтезовано функціональну схему системи прогностичного керування, згідно з якою розроблено цифрову модель в середовищі NS-2. Аналіз результатів моделювання показав, що втрати пакетів при врахуванні самоподібності трафіку зменшуються на 10% в порівнянні з системами, які базуються на класичних постулатах теорії телетрафіку.

Використання результатів даного проекту дозволить оператору зменшити кількість втрат на граничних маршрутизаторах при забезпеченні необхідних параметрів QoS для мультисервісного трафіку та здійснювати більш гнучкий перерозподіл наявних фізичних ресурсів транспортної мережі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Srinivas Vagesna. IP Quality of Service. – Cisco Press. – 2001. – 368 p.
2. Пилдуш Д. Сети АТМ корпорации Cisco. – М.: Вильмс. – 2004. – 880с.
3. Воропаева В.Я., Литвинов А. А. Методика прогнозирования параметров трафика телекоммуникационных сетей // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков, НТУ «ХПИ». – 2005. - № 54. – 180 с. С. 142 – 147.
4. Соловьев М.С., Воропаева В.Я. Прогноз трафика GSM сетей с учетом свойств фрактальности // Матеріали другої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», м. Київ, 20 – 23 травня 2008 р. // Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2008. С. 99 – 101
5. Столингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб: Питер. – 2003. - 784 с.
6. Дегтяренко І.В. Шепеленко А.Г., Спосіб оцінки параметра Херста для трафіку ІР-мереж// Вісник ВПІ, №5. –Вінниця: ВНТУ. –2007. – С.157-160.
7. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2 т. 2-е изд. –М.: ЮНИТИ – ДАНА. –2001. – 432 с.
8. Крылов В.В., Самохвалова С.С. – Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург. –2005. – 288 с
9. Osbourne E. Traffic Engineering with MPLS. – Cisco Press. – 2002. – 608 p.