

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Дослідження мережі передачі даних по забезпеченню якості
обслуговування»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТС-61

Шагалієв Юрій Вячеславович _____

Керівник: старший викладач кафедри ТС

Вакуленко Олександр Володимирович _____

Рецензент: доцент кафедри ТК, к.т.н., доцент

Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Програма професійного спрямування (спеціалізація) – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Шагалієву Юрію Вячеславовичу

1. Тема роботи «Дослідження мережі передачі даних по забезпеченню якості обслуговування», керівник роботи Вакуленко Олександр Володимирович, старший викладач кафедри ТС, затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924-с

2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- якість обслуговування мультисервісних мереж;
- математична модель систем розподілу інформації;
- основні властивості самоподібних процесів;
- імітаційні моделі;

4. Зміст роботи:

1. Аналіз існуючої мережі;
2. Дослідження маршрутизації;
3. Моделювання в середовищі GPSS World.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):

- 1). Тема та мета дипломної роботи;
- 2). Аналіз існуючої мережі;
- 3). Якість обслуговування мультисервісних мереж;
- 4). Дослідження маршрутизації;
- 5). Опис моделі самоподібного трафіку;
- 6). Моделювання в середовищі GPSS World;
- 7). Результати моделювання;
- 8). Висновки.

6. Дата видачі завдання: 31.01.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір матеріалів та ілюстрацій по темі дипломної роботи	01.02.2020 - 05.03.2020	Вик.
2	Написання вступу	06.03.2020 – 13.03.2020	Вик.
3	Написання першого розділу	16.03.2020 – 30.03.2020	Вик.
4	Написання другого розділу	31.03.2020 – 14.04.2020	Вик.
5	Написання третього розділу	15.04.2020 – 15.05.2020	Вик.
6	Висновки	16.05.2020 – 19.05.2020	Вик.
7	Оформлення пояснювальної записки Перевірка на антиплагіат	23.05.2020 – 05.05.2020	Вик.
8	Оформлення презентації та доповіді	06.05.2020 – 07.06.2020	Вик.

Студент

Юрій ШАГАЛІЄВ

Керівник роботи

Олександр ВАКУЛЕНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 58 с., 11 рис., 3 табл., 6 джерел.

В даній роботі приведені результати дослідження сучасного стану мережі передачі даних та закономірності функціонування мережевого трафіку а також приведені результати імітаційного моделювання в середовищі GPPS World. Крім цього було розглянуто принцип побудови та роботи мультисервісних мереж. Розглянуто основні поняття самоподібного трафіку, сервісні моделі QoS, також була розглянута класифікація видів трафіку в телекомунікаційних мережах.

ABSTRACT

In this paper, a model of a real network, in the GPSS World environment, was made, and some statistics of this network were derived. The principle of construction and operation of multiservice networks was considered. The basic concepts of self-similar traffic, QoS service models are considered, the classification of types of traffic in telecommunication networks was also considered.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ МЕРЕЖІ	12
1.1 Сучасний стан розвитку телекомунікаційної мережі	12
1.2 Математична модель систем розподілу інформації.....	13
1.3 Основні поняття самоподібного телетрафіка	17
1.4 Якість обслуговування мультисервісних мереж	19
1.5 Сервісні моделі QoS	23
1.6 Імітаційне моделювання на GPSS.....	29
1.7 Мета дослідження і постановка основних задач	30
1.8 Висновки з розділу 1	30
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ	31
2.1 Самоподібність в системах масового обслуговування.....	31
2.2 Основні властивості самоподібних процесів.....	34
2.3 Опис моделі самоподібного потоку.....	37
2.4 Класифікація трафіка в мережах телекомунікацій.....	39
2.5 Потоки пакетів в мультисервісних мережах.....	41
2.6 Дослідження мережевого трафіка.....	42
2.7 Оцінка статистичних характеристик мережевого трафіку.....	43
2.8 Висновки по розділу 2.....	45
3 МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ GPSS WORLD	46
3.1 Імітаційна модель	46
3.2 Імітаційна модель пуассонівського потоку, що надходить.....	48
3.3 Результати моделювання	51
3.4 Імітаційна модель потоку за розподілом закону Парето	53
3.5 Результати моделювання	55
3.6 Висновки з розділу 3	56
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДТЗ	довготривала залежність
КТЗ	короткотривала залежність
ММ	мультисервісна мережа
ПСЗ	повільно спадаюча залежність
СМО	система масового обслуговування
ССШП	строго самоподібний в широкому сенсі процес
AF	Assured Forwarding – гарантована доставка
BE	Best Effort – доставка по можливості
CBWFQ	Class Based Weighted Fair Queuing – обслуговування черг на основі класів
DFA	Detrended Fluctuation Analysis – метод виявлення самоподібності
DSCP	Differentiated Services Code Point – елемент комп'ютерної архітектури
DOS	Denial-of-service attack – вторгнення в комп'ютерну систему
ECN	Explicit Congestion Notification – сповіщення про необхідність обмеження
EF	Expedited Forwarding – термінова доставка
ETTH	Ethernet To The Home – Ethernet до дома
GPSS	General Purpose Simulation System – система для моделювання загального призначення
HT	Heavy Tail of Distribution – «важкі хвости»
FIFO	First In First Out – перший прийшов, перший пішов
RED	Random Early Detection – попередження про перезавантаження
NGN	Next Generation Network – мережі наступного покоління
LRD	Long-range dependent – довготривалі залежності
LLQ	Low Latency Queuing – черговість з низькою затримкою
MPEG	Moving Picture Experts Group – група стандартів для цифрового

	стиснення аудіо і відео форматів
PLC	Power Line Communication – комунікація на лініях електропередачі
PQ	Priority Queuing – черги пріоритетів
IP	Internet Protocol – між мережевий протокол
IPTV	Internet Protocol Television – цифрове телебачення нового покоління
VAoD	Video and Audio on Demand – відео і аудіо по запиту VoIP.
VoIP	Voice over IP – голос поперх IP
QoS	Quality of Service – якість обслуговування
TCP	Transmission Control Protocol – протокол управління передачі даних
TCP/IP	стек мережевих протоколів
TDM	Time Division Multiplexing – тимчасовий поділ між каналами
ToS	Type of Service – тип сервісу
UDP	User Datagram Protocol – один з протоколів стеку TCP/IP
WFQ	Weighted Fair Queuing – справедливі черги
WiFi	Wireless Fidelity – бездротова передача даних
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access – стандарт бездротового зв'язку

ВСТУП

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних технологій характеризується вибуховим прискоренням процесів взаємної конвергенції, які проходять в кожній з спеціалізованих інфраструктур.

Мережі наступного покоління відрізняються від традиційних мереж тим, що інформація, що проходить в мережі, розбита на дві основні частини. Сигнальна інформація – забезпечує комутацію абонентів і надання послуг, і її призначення для користування інформацією, що містить корисну навантаження, призначену для користувача (голос, відео, дані). Шляхи проходження сигнальних повідомлень і призначеного для користувача навантаження, не завжди збігаються. Зараз основним пристроєм для голосового трафіку в мережах NGN є Softswitch (програмний комутатор), він управляє VoIP сесіями. Програмний комутатор має важливу функцію він з'єднує мережі нового покоління NGN з традиційними мережами, за допомогою сигнальних і медіа шлюзів, які можуть бути в одному пристрої.

Зараз у операторів зв'язку є проблема переходу від традиційних мереж до мереж нового покоління. Нові розробки в IP-комунікаціях пов'язані з створенням технологій, що дозволяють при впровадженні технологій наступного покоління зберігати дійсні підключення та забезпечити хорошу роботу в будь-якій мережі: на інфраструктурі мідних пар, по оптичним каналам, на безпроводній (WiMAX, WiFi) і провідній (ETTH, PLC і т. д.) мережі.

Рівень надання послуг в NGN мережах є більше логічним, а в традиційних мережах більш фізичним. Це є основна відмінність цих мереж двох поколінь. NGN мережа передбачає швидкий запуск нових сервісів. Це є перевагою для операторів, тому що вони можуть розгортати нові сервіси на існуючих сучасних платформах.

Компонентами мережі NGN є:

- універсальна транспортна мережа, яка включає IP-ядро мережі та мережі доступу, що використовують різні технології;

- система надання сервісів;
- система обліку абонентів;
- системи управління мережею.

Підсумувавши це, можна сказати, що всі потоки інформації інтегруються в одну мережу.

Ідея мультисервісності має декілька аспектів, які мають вплив на побудову мережі:

- конвергенція завантаження мережі, вона відповідає за передачу різноманітних типів трафіку, в єдиному форматі даних;
- конвергенція протоколів, вона дозволяє переходити від великої кількості мережевих протоколів, до єдиного (зазвичай IP), і мультисервісна мережа має орієнтир на єдиний протокол і різні сервіси;
- фізична конвергенція, дозволяє передавати мультимедійний, голосовий і інші типи трафіку при цьому використовувати єдине обладнання;
- конвергенція пристроїв, відповідає за побудови архітектури для передачі даних, мережевого обладнання, здатної підтримувати різні типи трафіку. Мережеві пристрої обробляють інформацію, що передається відповідно до загального протоколу мережі (наприклад, IP) і мають різноманітні вимоги (наприклад, гарантії ширини смуги пропускання, затримку і ін.);
- конвергенція додатків, дозволяє інтегрувати різні послуги в єдиному програмному засобі (як приклад, Web-браузер дозволяє з'єднувати різні типи даних, на одній сторінці);
- конвергенція технологій містить ідею створення єдиної технологічної бази для побудови телекомунікаційних мереж, які могли б задовольнити всіх користувачів;
- організаційна конвергенція, має ідею централізацію мережевих служб.

Вище згадані аспекти визначають різні ланки побудови мультисервісних мереж, які можуть передавати дані в крайніх частинах мережі, і в її центрі. Мультисервісна мережа має ідею сучасного підходу до передачі даних. Вона має задовольнити різноманітні потреби користувачів усіх типів та роботу всіх служб та підприємств.

З часом мережеві додатки вимагають все більшої смуги пропускання для повного функціонування їх роботи, і менших затримок.

З переходом до пакетної передачі даних, можна побачити що традиційні методи обчислення, не підходять до розрахунку комутації пакетів. Адекватні моделі трафіку, мають велике значення при побудові аудіо і мультимедіа сервісів.

Дослідження, що були проведені останнім часом, демонструють що телекомунікаційний трафік є самоподібним, для основних видів сервісів. З появою властивості самоподібності в телекомунікаційному трафіку, з'явилася потреба нових розрахунків навантаження на мережу. Складні умови функціонування для мережі, створює пачковий характер передачі даних. Ця проблема полягає в тому, що довжина пачок, і інтервалів між ними змінюється в великих межах.

Тому метою роботи є дослідження сучасного стану мереж передачі даних та процесів які функціонують в даних мережах, що до забезпечення якості обслуговування, а також проведення імітаційного моделювання мережевих потоків.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Сучасний стан розвитку телекомунікаційної мережі

Мультисервісна мережа – це мережа, на базі якої надається (не одна, а) декілька телекомунікаційних послуг наприклад:

- мережа, що забезпечує передачу даних та телефонний зв'язок;
- мережа, що забезпечує передачу даних, телефонне з'єднання та відео з'єднання.

Сучасні мультисервісні мережі працюють на базі принципу комутації пакетів за IP протоколом.

Принцип побудови:

- розподіл на рівень транспорту та рівень послуг;
- рівень транспорту спільний;
- на рівні додатків за дію окремих додатків відповідають різні функціональні блоки.

Будівництво мультисервісних мереж пов'язано з темпами зростання трафіку даних незрівнянно перевищує голосовий трафік. Тут обраний шлях – поступової заміни TDM-мереж з комутацією каналів на інфраструктуру пакетних мереж.

Трафіки даних і голосу мають настільки різні особливості, що їх важко примирити в єдиній мережі. У першого непередбачуваний вибуховий характер, він поглинає майже всі наявні ресурси мережі в випадкові короткі відрізки часу, в той час як другий передбачуваний і вимагає стійкої передачі з кінця в кінець з малим часом очікування.

Ідея мультисервісності має декілька аспектів, які мають вплив на побудову мережі:

- конвергенція завантаження мережі, вона відповідає за передачу різноманітних типів трафіку, в єдиному форматі даних;

- конвергенція протоколів, вона дозволяє переходити від великої кількості мережевих протоколів, до єдиного (зазвичай IP), і мультисервісна мережа має орієнтир на єдиний протокол і різні сервіси;
- фізична конвергенція, дозволяє передавати мультимедійний, голосовий і інші типи трафіку, при цьому використовувати єдине обладнання;
- конвергенція пристроїв, відповідає за побудови архітектури для передачі даних, мережевого обладнання, здатної підтримувати різні типи трафіку. Мережеві пристрої обробляють інформацію, що передається відповідно до загального протоколу мережі (наприклад, IP) і мають різноманітні вимоги (наприклад, гарантії ширини смуги пропускання, затримку і ін.);
- конвергенція додатків, дозволяє інтегрувати різні послуги в єдиному програмному засобі (як приклад, Web-браузер дозволяє з'єднувати різні типи даних, на одній сторінці);
- конвергенція технологій містить ідею створення єдиної технологічної бази, для побудови телекомунікаційних мереж, які могли б задовольнити всіх користувачів;
- організаційна конвергенція, має ідею централізації мережевих служб.

1.2 Математична модель систем розподілу інформації

Теорія масового обслуговування описує математичні методи оцінки якості обслуговування. З'явилася на початку XX століття з появою телефонних систем. Використовується в багатьох сферах. Широке використання отримала в системах зв'язку (теорія телетрафіка).

Телетрафік – це застосування теорії інженерного трафіку до телекомунікацій. Інженери телетрафіку використовують свої знання зі статистики, включаючи теорію черг, характер трафіку, практичні моделі, їх вимірювання та моделювання для прогнозування та планування

телекомунікаційних мереж, таких як телефонна мережа чи Інтернет. Ці інструменти та знання допомагають забезпечити надійне обслуговування за менших витрат.

Для аналізу телекомунікаційної системи, модель розглянутої системи повинна бути обов'язково створеною. Спеціально для застосувань теорії телетрафіку для проектування нових систем, цей процес моделювання має принципове значення. Це вимагає знання технічної системи, доступних математичних засобів та реалізації моделі в комп'ютері.

Випадковий потік даних є основною математичною моделлю, що дозволяє описати передачу даних в телекомунікаційних мережах.

Випадковий потік, має свої статистичні властивості. Найчастіше використовуються: щільність ймовірності надходження даних за період, щільність ймовірності інтервалів між надходженнями даних і автокореляційна функція.

Математична модель системи розподілу інформації включає наступні три основні елементи:

- потік вхідних повідомлень (вимог на обслуговування);
- система обслуговування вхідних повідомлень (система комутації);
- дисципліну обслуговування вхідних повідомлень.

Потік повідомлень включає інформацію про параметри і властивості потоку викликів (вимог на обслуговування), а також про вид переданих повідомлень і форми їх подання.

Дисципліна обслуговування вхідних повідомлень характеризується:

- способом обслуговування (з очікуванням, без втрат, з явними втратами, з повторенням або комбінований);
- порядком обслуговування (в порядку черговості, в випадковому порядку або з пріоритетом);
- способом шукання вільних виходів (упорядкований або випадковий).

У теорії масового обслуговування вводиться в розгляд модель потоку подій. Поток подій називається послідовність подій, йдуть одне за одним в випадкові моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_k \dots$. Потік подій, який відбувається в випадкові моменти часу $t_1, t_2 > t_1, \dots, t_n > t_{n-1} \dots$, це є випадкові процеси.

Потік повідомлень, називається стаціонарним, якщо вірогідність приходу подій K за проміжок часу $[t_0; t_0 + \Delta t)$ не залежить від t_0 , а залежить лише від довжини інтервалу. Також стаціонарність означає, вірогідність режиму поведінки випадкової величини по часу без змін. Стаціонарність означає константу по часу щільності надходження повідомлень, що є константою середнього числа повідомлень, за одиницю часу.

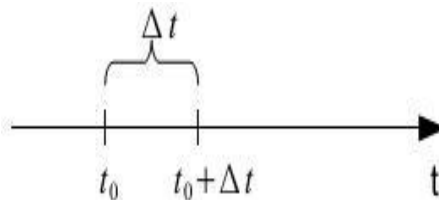


Рисунок 1.1 – Пояснення стаціонарності

Інтенсивність (щільність) потоку подій - середнє число подій в одиницю часу – для стаціонарного потоку повинна залишатися незмінною. Пульсації стаціонарного потоку не носять закономірного характеру, а усереднене число подій, що потрапляють на одиничний ділянку часу, залишається постійним для всього розглянутого періоду.

Потік подій називається ординарним, якщо вірогідність попадання на малий інтервал часу Δt двох або більше подій дуже мала в порівнянні з ймовірністю попадання однієї події. Це означає, що в ординарному потоці, заявки приходять, як правило, поодиноці, а не парами, трійками і тощо. Під ординарністю розуміється, мала вірогідність надходження більш ніж однієї події, за невеликі відрізки часу.

Відсутність наслідку передбачає, що вірогідність поступали K вимог в інтервал часу $[t_0; t_0 + \Delta t)$ не залежить від того, скільки вимог, і як ці вимоги

поступали до моменту часу t_0 : $P_k(t_0, t_0 + \Delta t)$. Ступінь наслідків – рівень залежності вірогідності надходження подій від минулих.

Якщо потік подій має три названі властивості, то він називається найпростішим (або пуассонівським) потоком. При підсумовуванні (взаємне накладення) великої кількості ординарних, стаціонарних потоків з післядією виходить потік близький до найпростішого.

Класичною моделлю в інформаційних мережах є пуассонівський потік. Він характеризується набором ймовірностей $P(k)$ повідомлень k за часовий інтервал t .

$$P(k) = \frac{(\lambda * t)^k}{k!} * e^{-\lambda t},$$

(1.1)

де $k = 0, 1, \dots$ – число повідомлень;

λ – інтенсивність потоку.

При цьому інтервал виміру числа повідомлень t и інтенсивність потоку λ є постійними величинами.

Математичне очікування і дисперсія пуассонівського потоку рівні λt .

Розподіл інтервалу між подіями τ , можна знайти знаючи вірогідність надходження даних за період.

$$P(\tau) = \lambda \cdot e^{-\lambda \tau}, \quad (1.2)$$

Звідси висновок: пуассонівський потік має експоненціальну характеристику розподілу інтервалів між подіями.

Для випадкової величини τ , що має показовий розподіл, математичне очікування m_r є величина, зворотна параметру, а середнє квадратичне відхилення σ_r рівне математичному очікуванню.

$$m_r = \sigma_r = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.3)$$

Перевагою пуассонівського потоку є адитивність, тобто результуючі потоки сум пуассонівських потоків, теж є пуассонівськими з сумарною інтенсивністю. Якщо мультиплексувати ON/OFF джерела, які називаються марківським процесом, можна також отримати пуассонівський потік. Довгий час вважалося, що природа мережевого трафіку відповідає пуассонівському процесу. А це означало, що на вхід пристрою надходить пуассонівський потік заявок, тобто є найпростішим – однорідний стаціонарний потік без післядії.

Теорія масового обслуговування була в основі проектування телекомунікаційних мереж. Найпростіший потік береться за основу потоку викликів в цій теорії, вона робить адекватний опис процесів що відбуваються в мережах.

Мережі з пакетною передачею даних поступово витісняють системи з комутацією каналів, але проблема в тому, що вони проектуються на основі традиційної теорії телетрафіка.

1.3 Основні поняття самоподібного телетрафіка

На сьогоднішній день, змінюється структура і характер інформації, що передається в мережах інформації як користувачького рівня, так і рівня операторів що надають телекомунікаційні послуги. З кожним днем, Інтернет стає все більшим постачальником інформації для суспільства. Мультисервісні мережі стають все більш потрібними, а для їх побудови потрібні нові підходи. Мультисервісні мережі, мають такі характеристики:

- Передають з однаковою якістю всі типи трафіку;
- Мають широку смугу пропускання;
- Мають пакетну комутацію;

Задачею мультисервісних мереж є забезпечення передачі аудіо, відео і даних використовуючи єдину інфраструктуру.

Вперше про самоподібний телетрафік було згадано в 1993 році групою американських дослідників, які досліджували Ethernet-трафік в корпорації

Bellcore і дослідили, що на великих масштабах він має властивість самоподібності, тобто виглядає якісно однаково при будь-яких (досить великих) масштабах тимчасової осі I , та що потоки в сучасних мережах не можна апроксимувати найпростішими, оскільки вони мають іншу структуру, ніж прийнято в класичній теорії телетрафіка. Було встановлено, що трафік мережі має властивість самоподібності (масштабної інваріантності), має пам'ять (післядія), а також має високу пульсацією. З цієї причини обчислення параметрів системи розподілу інформації, призначеної для обробки мережевого трафіку, за традиційними формулами дає хибні, невиправдано хороші результати. Алгоритми обробки трафіку, створено для роботи з найпростішим потоком, неефективні для фрактальних потоків з самоподібністю. Статистичні характеристики (середнє значення, спектральна щільність, автокореляційна функція і ін.) Графіки самоподібного трафіку мають характер спаду та сильно відрізняється від експоненціального. Тому вимагають коректування вихідні передумови, які робилися раніше при розробці багатьох мережевих пристроїв.

Способи розрахунку комп'ютерної мережі по марківських моделях і формулах Ерланга (застосовуються при побудові телефонних мереж), є некоректними, тому що вони дають невиправдано оптимістичні результати, якщо брати до уваги умови самоподібності.

Проблемі дослідження різних типів мережевого трафіку на самоподібність, присвячено багато робіт .

У цих роботах доводять те, що мережевий трафік є самоподібним (self-similar) або фрактальним (fractal) за своєю природою, тобто в ньому присутні так звані спалахи або пачки (burst) даних, що спостерігаються в різних тимчасових інтервалах (від мілісекунд до хвилин або навіть годин) і кореляція між пакетами.

Самоподібний процес визначається як випадковий, і його статистичні властивості виявляють ознаки масштабування.

Відмінністю самоподібного процесу від пуассонівського, є те що самоподібний має післядію. Тобто, вірогідність надходження наступної події

залежить не тільки від часу, але і від попередніх подій. Як наслідок, число поточних подій залежить від попередніх подій.

Безперервний стохастичний процес $X(t)$, є статистично самоподібним з параметром $H(0,5 \leq H \leq 1)$, якщо для будь-якого позитивного числа a , процеси $X(t)$ і $a^{-H}X(at)$ будуть мати однакові розподіли, тобто ідентичні статистичні властивості для всіх позитивних цілих n .

$$\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)\}^D \sim \{a^{-H}X(at_1), a^{-H}X(at_2), \dots, a^{-H}X(at_n)\}$$

Практично статистична самоподібність має на увазі, що виконуються наступні умови:

$$- \text{Середнє } E[X(t)] = \frac{E[X(at)]}{a^H} \quad (1.4)$$

$$- \text{Дисперсія } V_Y[x(t)] = \frac{Var[X(at)]}{a^{2H}} \quad (1.5)$$

$$- \text{Функція автокореляції } R(t, \tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^H} \quad (1.6)$$

де H – це параметр Херста;

a – додатне число.

Параметр Херста показує «ступінь» самоподібності. значення $H = 0,5$ показує відсутність самоподібності, а великі значення H (близькі до 1) показують велику ступінь самоподібності або тривало-залежні (long-range dependent, LRD) в процесі. Це означає, що якщо LRD процес має тенденцію до збільшення (або зменшення) в минулому, то з великою ймовірністю він буде мати тенденцію до збільшення (або зменшення) в майбутньому.

1.4 Якість обслуговування мультисервісних мереж

До кінця 1980-х років Internet перебував в такому стані, що характеризувався низьким обсягом трафіку і малим числом використовуваних мережевих додатків. Підтримкою байта тип обслуговування ToS (Type of Service) можна було знехтувати, що і здійснювалося практично у всіх

реалізаціях протоколу IP. IP-додатки не робили установку значення байта тип обслуговування ToS, а маршрутизатори ігнорували його при прийнятті рішення про просування IP-пакета.

Важливість впровадження механізму QoS (Quality of Service) в масштабах Internet зросла завдяки збільшенню популярності мережі та придбання нею комерційних рис. Функціонування Internet бере за основу наскрізний режим обслуговування пакетів даних без орієнтації на установку з'єднання, він має не гарантовану доставку інформації і використовує для цього два протоколи - протокол управління передачею TCP (Transmission Control Protocol) і протокол Internet IP (Internet Protocol), відомий як стек TCP/IP. З одного боку це робить Internet більш гнучким і стійким, з іншої це робить цю мережу схильною до перевантажень. Перевантаження виникають найчастіше, при перетині двох мереж, в яких значно відрізняється пропускна здатність.

Як наслідок, мережі на основі IP протоколу, не забезпечують гарантованої пропускної здатності, оскільки не дають гарантію доставки.

Отже, для додатків де порядок і інтервал приходу пакетів не важливий, час затримки між різними пакетами не має серйозного значення. Для IP – телефонії порядок приходу пакетів і динаміка передачі сигналу є важливими, вони забезпечуються сучасними засобами передачі інформації. TCP/IP транспортні протоколи, що працюють поверх протоколу IP, вони не дають високої якості обслуговування трафіку. TCP має перевагу, що гарантує достовірну доставку, але має недолік в тому що робить це з великими затримками.

Якість обслуговування в основному використовується для визначення набору вимірюваних параметрів сервісу. У IP-мережі QoS може представлятися, наприклад, продуктивністю передачі IP-пакетів через одну або більше число мереж. Протокол UDP, використовується для передачі інформації в реальному часі, але як протокол TCP він не включає в себе механізмів, що до якості обслуговування.

Оператори мережевих сервісів, мають задачу збільшення продуктивності, та хочуть надати клієнтам «Наскрізної» (end-to-end), гарантованої якості передачі аудіо, відео та інших типів даних.

Необхідне обслуговування описується багатьма параметрами, що характеризують якість обслуговування:

- готовність сервісу (service availability) - характеризує показники надійності з'єднання між користувачем та провайдером;
- затримка (delay) - визначає інтервал між прийомом і передачею пакетів;
- варіація, або флуктуація, затримки (jitter) – характеризує затримки при передачі пакетів;
- продуктивність, або пропускна здатність (throughput) - швидкість передачі пакетів в мережі; існує середня (average rate) і пікова Peak rate) швидкості;
- смуга пропускання (bandwidth) – характеризує номінальну пропускну здатність мережі передачі даних, визначає ширину каналу, вимірюється в біт/с, Кбіт/с, Мбіт/с;
- швидкість втрати пакетів (packet loss rate) – максимальна швидкість, на якій пакети можуть бути відкинуті під час передачі по мережі; втрата пакетів зазвичай відбувається внаслідок перевантажень мережі (congestion).

Сучасний період відповідає все зростаючому збільшенню попиту на інфокомунікаційні послуги. Все більшій кількості користувачів поряд з традиційними послугами зв'язку потрібні послуги передачі даних і доступу в Інтернет. Зростає попит на послуги IP-телефонії. Для задоволення цього попиту оператори зв'язку проводять модернізацію існуючих і будівництво нових мереж, забезпечуючи поступовий перехід до мультисервісних мереж. Мультисервісна мережа (ММ) – це мережа, яка побудована відповідно до замислу NGN(Next Generation Network) і дає можливість надавати великого списку послуг.

Мультисервісним мережам притаманне використання технологій пакетної передачі інформації, переважаючими серед яких є технології на основі IP-протоколів. Прикладом може послужити широке поширення таких послуг, як IP-телефонія, відео та аудіо на вимогу (VAoD – Video and Audio on Demand) і т.п.

Як наслідок, важливим елементом майбутніх мультисервісних мереж повинні бути механізми забезпечення якості обслуговування. Основною задачею є, забезпечити гарантовану доставку даних, не зважаючи на масштаби мережі, в рамках певних параметрів.

Як показує поточний стан мережі Internet, обробка всього трафіку на рівних правах може привести до серйозних проблем, особливо при обмеженій пропускній здатності. Так, пересилання найважливіших даних може бути тимчасово заблоковано передачею великого файлу. В зв'язку з цим, при створенні мережі з комбінованими функціями потрібно гарантувати необхідний рівень сервісу для кожного додатка. В іншому випадку користувачі будуть змушені відмовитися від мультисервісної мережі.

Функції мережі можуть змінюватися, з'являтися нові. Змінюються і додатки, орієнтовані на роботу в мережі, з собою вони приносять нові вимоги до мережі. Призначені для користувача робочі станції зараз надають послуги з обробки повідомлень, відеоінформації, телефонії і т.д.

Тому виникла необхідність гарантувати час реакції, пропускну здатність мережі та інші параметри мережі.

Смуга пропускання. Термін смуга пропускання (bandwidth) описує номінальну пропускну здатність мережі передачі даних, протоколу або з'єднання. Цей термін добре визначає «ширину каналу», що вимагається з додатком для взаємодії з мережі.

Як правило, кожне з'єднання, що потребує гарантованій якості обслуговування, вимагає від мережі резервування мінімальної смуги пропускання.

Наприклад, додатки, орієнтовані на передачу оцифрованої мови, створюють потік інформації інтенсивністю 64 Кбіт/с. Ефективне використання таких додатків стає практично неможливим внаслідок зниження смуги пропускання нижче 64 Кбіт/с на будь-якій з ділянок з'єднання.

Затримка і тремтіння при передачі пакетів. Затримка при передачі пакета (packet delay), або латентність (latency), на кожному переході складається з затримки серіалізації, затримки поширення і затримки комутації.

1.5 Сервісні моделі QoS

Сервісні моделі QoS:

- Best Effort Service – не забезпечує гарантованої доставки. Взагалі не містить механізмів забезпечення QoS. Використовує всі можливі ресурси мережі, без поділу на окремі класи трафіку. Збільшення пропускну здатності є найкращим механізмом забезпечення QoS. Як висновок модель Best Effort Service не дає гарантії уникнення перевантажень, в разі стрімких сплесків трафіку, навіть маючи велику кількість резервів;

- Integrated Service (IntServ) – є інтегрованою моделлю обслуговування, постачає наскрізну (End-to-End) якість обслуговування, і гарантує потрібну пропускну здатність.

- Differentiated Service – є диференційною моделлю, забезпечує QoS беручи за сталу розподіл ресурсів в ядрі мережі. Трафік ділиться по типах у цій моделі, і для кожного типу визначається свій рівень QoS. Differentiated Service є чудовим прикладом розумного управління трафіком.

Додатки, що вимагають QoS:

- потокові аудіо додатки потребують гарантовану пропускну здатність мережі;

- VoIP і відеоконференція вимагають невеликих значень джиттера і затримки;

– велика кількість додатків, наприклад, віддалена хірургія, вимагає гарантованого рівня надійності.

Основними функціями QoS є забезпечення встановлених параметрів сервісів, і визначаються по відношенню до трафіка як:

- систематизація;
- розмітка;
- управління перевантаженнями;
- запобігання перевантажень;
- регулювання.

Функціонально класифікація і розмітка (Classification and Marking) найчастіше забезпечуються на вхідних портах устаткування, і управління і запобігання перевантажень на вихідних. Класифікація пакетів є механізмом співвідношення пакета до певного класу трафіку.

Також важливим завданням при обробці пакетів є маркування пакетів (Packet Marking) - призначення відповідного пріоритету.

Класифікація і розмітка на третьому рівні - маршрутизуючого обладнання оперує IP пакетами, в яких під цілі маркування передбачено відповідне поле в заголовку - IP Type of Service (ToS) розміром один байт. ToS може бути заповнений класифікатором IP Precedence або DSCP в залежності від завдання. IP precedence (IPP) має розмірність 3 біта (приймає значення 0-7). DSCP відноситься до моделі DiffServ і складається з 6 біт (значення 0-63).

Крім цифрової форми, значення DSCP можуть бути виражені з використанням спеціальних ключових слів:

- доставка по можливості BE (Best Effort);
- гарантована доставка AF (Assured Forwarding);
- термінова доставка EF (Expedited Forwarding).

Промаркувати IP пакети значенням QoS можна різними способами: PBR, CAR, BGP.

Управління перевантаженням. Причиною перевантаження (congestions) є переповнення вихідних буферів обладнання, що відповідає за передавання трафіку. До цього призводить неузгодженість швидкостей на інтерфейсах.

Управляти перенавантаженням допомагають черги. Пакети поміщаються в чергу, які по порядку обробляються за встановленим алгоритмом. Управління перевантаженням це визначення порядку виходу пакетів, на основі пріоритетів. Якщо перевантажень немає, механізм черг працювати не буде.

Маршрутизатори забезпечують підтримку черг програмно, що дозволяє більш гнучке конфігурування механізмів опрацювання. При цьому маркування та класифікація пакетів виконується на вході, розподіл по чергах і їх обробки (Scheduling) за певними алгоритмами.

Пріоритезація черг необхідна тільки у вузьких місцях, коли для передачі не вистачає пропускнуої здатності. Також пріоритезація потрібна для запобігання сплесків мережевої активності.

Класифікація методів обробки черг:

– черга з послідовним проходженням пакетів, що працює за принципом FIFO (First In First Out) «перший прийшов - перший пішов». Тут немає ніякої пріоритетності. Включається за замовчуванням на інтерфейсах зі швидкістю більше 2 Мбіт / с;

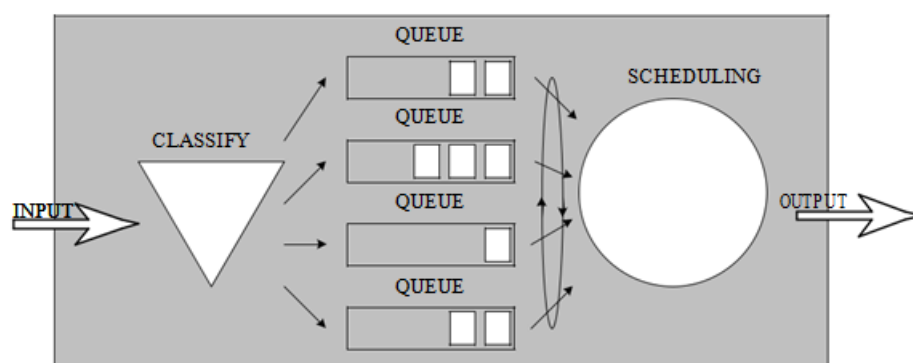


Рисунок 1.2 – Обробка пакетів

– черги пріоритетів PQ (Priority Queuing), яка розподіляє пакети на більше пріоритетні, і менше пріоритетні. Існує чотири види черг: high, medium,

normal і low. Обробка йдеться послідовно, від пакетів з самим високим пріоритетом, до пакетів з самим низьким пріоритетом (від high до low). Є можливість монополізації каналу чергами з високим пріоритетом. Трафік, в якого не зазначений пріоритет, потрапить в чергу за замовчуванням (default);

– справедливі черги WFQ (Weighted Fair Queuing), розподіляють пакети даних, на потоки(flows) Зазвичай їх 256, але їх число змінюється за потреби. При випадку, що число потоків, більше за число черг, в одну чергу уміщається декілька потоків. Класифікація трафіку до потоку, здійснюється по наступним класифікаторам:

- 1) Протоколу TOS;
- 2) IP адреси відправника;
- 3) IP адреси приймача;
- 4) порту відправника;
- 5) порту приймача.

Для кожного потоку, призначена своя черга. WFQ добре розподіляє смугу між потоками. Кожен потік отримує свою частину, з обернено пропорційним коефіцієнтом, що до TOS. Тобто, потоки з однаковим TOS, отримують рівні частини смуги пропускання. Зазвичай, WFQ працює на низькошвидкісних інтерфейсах.

– обслуговування черг на основі класів CBWFQ (Class Based Weighted Fair Queuing). Всі пакети даних розбиваються на 64 класи, по наступним характеристикам:

- 1) Вхідному інтерфейсу;
- 2) Аксес лист протоколу;
- 3) Значенню DSCP;
- 4) мітці MPLS QoS;

Пропускна здатність вихідного інтерфейсу, поділяється на класи. Кожному класу надається частина смуги пропускання. Трафік який не вдалося поділити за певним класом, потрапляє в загальний клас. Якщо черга якогось класу переповнилась, запити цього класу, ігноруються, і не обробляються.

– черговість з низькою затримкою LLQ (Low Latency Queuing). LLQ можна розглядати як механізм CBWFQ з пріоритетною чергою PQ (LLQ = PQ + CBWFQ). PQ в LLQ дозволяє забезпечити обслуговування чутливого до затримки трафіку. LLQ рекомендується в разі наявності голосового (VoIP) трафіку. Крім того, він добре працює з відеоконференціями.

Запобігання перевантажень (Congestion avoidance):

– RED (Random Early Detection) використовується в швидкісних мережах для попередження перевантажень. Зачіпає тільки TCP. Шляхом відкидання випадковим чином пакетів з найбільш потужними потоками змушує посилати на сторону зменшену швидкість передачі (використовуючи відповідні властивості TCP протоколу - вікно перевантаження. Частка пакетів що відкинули регулюється при конфігурації;

– ECN (Explicit Congestion Notification) використовує ту ж логіку, що і RED, але не відкидає пакети, а сповіщає про необхідність обмеження, маркуючи їх (встановлює в IP заголовку ECN біти).

Регулювання інтенсивності:

- обмежувач (Policer);
- формувач (шейпер, Shaper).

Обмежувач, відповідно обмежує потік трафіку до потрібної величини методом простого відкидання пакетів, що надходять і виходять за рамки швидкості. Може працювати як на вхідному, так і на вихідному інтерфейсах. Тобто це обмежувач інтенсивності методом відкидання при перевищенні заданої швидкості. На рисунку 1.3 показаний механізм обмеження трафіку.

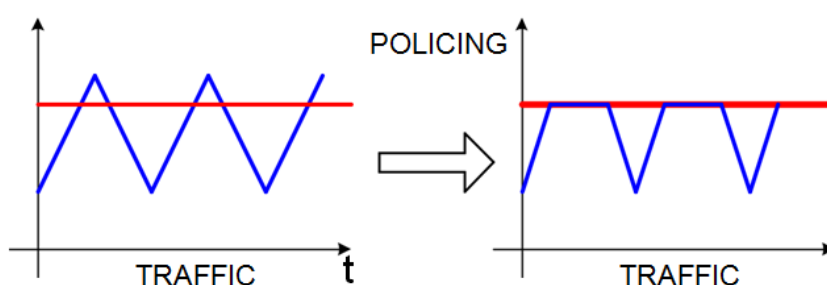


Рисунок 1.3 – Механізм обмеження

Управління інтенсивністю здійснюється обмеженням трафіку до швидкості контракту. Слід зазначити, що обмеження трафіку може допомогти і в разі запобігання DOS атак. Застосовується як на вхідних, так і на вихідних портах. Найчастіше на вхідних, так як в цьому випадку пакети, що відкинули не доходять до процесу маршрутизації і таким чином економляться ресурси. Пристрій для формування зазвичай затримує вихідний трафік, використовуючи буфер або механізм черг, формуючи потік з потрібними параметрами. Виконує функції згладжування.

Застосовується для обмеження пропускної здатності на виході з інтерфейсу. Характеризує як обмежувач-вирівнювач інтенсивності методом затримки (буферизації пакетів) і подальшої пересилки з узгодженою інтенсивністю при перевищенні заданої швидкості. Декларується, що шейпінг більш дружній до TSP, ніж полісінг.

Застосовується завжди на вихідному інтерфейсі в випадках:

- якщо десь далі в мережі застосовується полісінг, який, як відомо, призводить до відкидання пакетів. Краще заздалегідь на підходах «м'яко» обмежити трафік перед полісінгом;
- якщо десь далі в мережі з обсягом вхідних черг, а QoS там не налаштований або неможливий;
- обмеження швидкості доступу до контрактних значень.

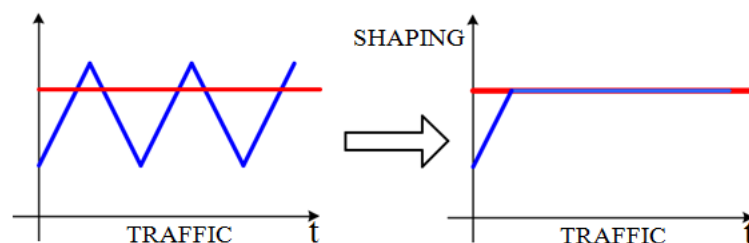


Рисунок 1.4 – Формування трафіку

Внаслідок буферизації пакетів і утворення черг пакетів в мережевих пристроях мереж з комутацією пакетів виникають такі проблеми: втрата пакетів і невизначеність величини затримки пакетів.

Для оцінки якості обслуговування використовуються наступні характеристики: затримка пакетів, зміна величини затримки пакетів (варіації затримки) і втрата пакетів (використовують не надійну IP-мережу).

1.6 Імітаційне моделювання на GPSS

GPSS – мова програмування, що була розроблена Джефрі Гордоном в 1961 році. Її призначення, це імітаційне моделювання різних систем. Недолік цієї мови, те що вона менш гнучка за інша, але її перевага в тому що вона є простою.

Однією з останніх версій пакетів GPSS для персональних комп'ютерів, які працюють під управлінням ОС Windows, називається GPSS World.

Завдяки тому, що GPSS World створений для ОС Windows він використовує всі переваги цієї операційної системи. Такі як:

- Дозволяє виконувати багато задач одночасно;
- дозволяє використовувати оперативну пам'ять;
- інтерактивність;
- графічний інтерфейс користувача;
- візуалізація.

Це блочно-орієнтована концепція, розроблена з орієнтацією на опис СМО. Імітаційна модель в GPSS являє собою послідовність текстових рядків, кожна з яких визначає правила створення, переміщення, затримки і видалення транзактів.

1.7 Мета дослідження і постановка основних задач

Ціль дипломної роботи, є аналіз моделі якості обслуговування опорної IP мережі, аналіз класифікації трафіка що надходить на маршрутизатор, дослідження реального мережевого трафіку, розробка імітаційної моделі в програмі GPSS World.

Для досягнення поставленої задачі необхідно:

- Виміряти та проаналізувати реальний трафік даних;
- дослідити мережевий трафік реального часу, виявити наявність само подібності;
- Розробити імітаційні моделі, для порівняльного аналізу.

1.8 Висновки з розділу 1

1. Мультисервісна мережа має опорну мережу з пакетною комутацією.
2. Мережеві пристрої розроблені відповідно до класичної теорії телетрафіка.
3. Якість обслуговування для визначення вимірювальних параметрів сервісу.
4. GPSS проста мова моделювання для ОС Windows.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ

2.1 Самоподібність в системах масового обслуговування

Структура самоподібного трафіку є унікальною тому, що зберігається при багаторазовому масштабуванні, тобто є мала кількість викидів при середньому ступені трафіку. Це явище погіршує характеристики при проходженні самоподібного трафіку через вузли мережі. Самоподібні моделі можуть проявляти властивість довготривалої залежності, що означає прояв залежності між подіями через досить великі проміжки часу. Самоподібний процес визначається, як непередбачений процес, статистичні параметри якого виявляють властивості масштабування. Різницею самоподібних процесів від пуассонівських є те, що самоподібні мають післядію, тобто вірогідність надходження наступної події залежить не тільки від часу, але і від минулих подій. Тому, число існуючих подій, буде залежати від минулих подій в деякі інтервали часу. Існують потоки, в яких імовірність появи наступної події залежить від настання подій в попередніх інтервалах часу. Типовим прикладом таких потоків є потоки з обмеженим післядією. Для них задається кінцевий набір функцій розподілу для сусідніх інтервалів τ_k між надходженням k подій. Однак такі моделі враховують лише середні значення характеристик або їх довірчі кордону. Такі моделі використовуються зазвичай для обчислення попередніх грубих оцінок необхідної пропускну здатності мережі. Такі ж моделі доцільно використовувати і в тих випадках, коли точні і надійні значення вихідних значень параметрів трафіку недоступні з якихось причин. Однак ускладнення останнім часом природи абонентського трафіку призводить до того, що не врахування випадкових флуктуацій може призводити до перебоїв в обслуговуванні навіть для великих вузлів, тому розглядаються різні математичні моделі абонентського трафіку, що використовують і різні засоби його опису. Бажання користувача отримувати одноразово послуги традиційної телефонії і передачі даних визначають вектор розвитку мереж зв'язку. Одним з важливих статистичних властивостей навантаження, створюваної сучасними

додатками, є наявність залежності між окремими її частинами, що не зникає при зміні шкали часу в бік укрупнення, як це відбувається з традиційними випадковими процесами, використовуваними для опису навантаження в теорії телетрафіка. Так, наприклад, для пуассонівського процесу відповідна кореляція завжди дорівнює нулю, а для марківського процесу з кінцевим числом станів – експоненціально убуває до нуля. Інтеграція в мережах з комутацією пакетів різного за своєю природою трафіку, а так само особливості використовуваних технологій передачі даних для побудови телекомунікаційних мереж і підвищена активність користувачів мереж, є деякими з причин прояви самоподібного характеру мережевого трафіку або, по-іншому, його фрактальних властивостей. Аналіз сучасних технологій і мереж передачі інформації показує, що необхідно розглядати вектор абонентського навантаження, що складається з декількох компонентів, кожна з яких повинна відображати властивості трафіку деяких груп абонентів з однаковими інтегральними характеристиками. Так як кожна з них описує трафік принципово різного походження: наприклад одна- голосовий трафік, друга - трафік даних, третя - відео в режимі реального часу і т.д., то можна вважати ці компоненти статистично незалежними.

Тому, трафік що надходить складається з суміші декількох процесів з різними значеннями параметра Херста і має складну природу і важко досліджувати його властивості. Тому найбільш важливим є з'ясувати, наскільки істотно залежать його властивості від значень параметра Херста і його компонент. З зростом параметра Херста такі статистичні властивості процесу як передбачуваність, розмах значень і т.д. лише погіршуються. Точне визначення значення параметра Херста важко в тому випадку, коли є лише одна компонента. Тому визначити статистичними засобами всі параметри, що характеризують суміш (1.2) є неможливою, особливо якщо інтенсивності окремих компонент є відносно малими. Оскільки основним параметром, що характеризує якість обслуговування мережі, є ймовірність втрати пакетів і важливим є завдання визначення чутливості цього параметра від значень

параметра Херста. Це означає, що при проектуванні мережевих пристроїв необхідно враховувати всі компоненти трафіку; тому що можливі перевантаження в мережі, які будуть виникати істотно частіше, ніж розрахункове значення, отримане при проектуванні і пристрої не зможуть адекватно відобразити реальний потік подій, так як в ньому виявляється довгострокова залежність (число подій на заданому часовому інтервалі залежить від числа подій, що надійшли у віддалені від нього інтервали часу). Способом виміру такої залежності для випадкових процесів є визначення функції кореляції.

Самоподібні процеси можна виявити за кількома рівноцінним ознаками:

- вони володіють гіперболічним затуханням кореляційної функції;
- структура самоподібного трафіку є унікальною тому, що зберігається при багаторазовому масштабуванні, тобто є мала кількість викидів при середньому ступені трафіку виду $R(k) \approx k^{(2H-2)}L(t)$ при $k \rightarrow \infty$. Наступна, кореляційна функція не є сумарною в ряд, створеною послідовністю значень кореляційної функції, розходиться $\sum R(k) = \infty$;
- за умови розгляду самоподібного процесу в найчастішій області, щоб виявити ДТЗ, що підходить до ступеню характеру спектральної щільності, введеного нуля. Процеси КТЗ використовують спектральну щільність, що має позитивне і кінцеве значення при $w = 0$;
- моделі на основі «динамічного моделювання Маркова». Ці моделі представляють собою автомати з кінцевим числовим станом, зображеною діаграмою стану. Вихідні моделі містять набір ймовірностей появи символів;
- ON/OFF-моделі. У них трафік аналізується як поєднання джерел, які його формують. У такому періоді ON вони можуть генерувати інформацію про пакети. Після періоду ON в наступний час OFF, коли історія не генерує пакети. Розмір ON і OFF періодично є випадковою величиною, яка має довгу назву кінцевого математичного очікування та безкінечної дисперсії;

- мультифрактальні моделі відтворюють трафік, агрегований від декількох джерел. Мультифрактальність трафіку проявляється у вимірі статистичних властивостей реалізацій трафіка за зміною масштабу агрегації;
- фрактальний броунівський рух. В основі цієї моделі лежать випадкові процеси, починаючи в початковій координаті з безкінечно малими гауссовськими зростаннями. Для генерації фрактального броунівського руху використовуються алгоритми випадкового переміщення середніх точок або алгоритми систематичного непередбаченого складання;
- фрактальний гауссовський шум - стохастичний процес з визначеними властивостями та автокореляційною функцією заданого виду. Також ця модель має параметр Херста. Він чисельно визначає рівень фрактального масштабування.

Результати реалізації переробних моделей дозволяють отримати достовірне представлення про проведені трафіки в мережах, необхідні для проектування та управління телекомунікаційними мережами.

2.2 Основні властивості самоподібних процесів

Приклад фрактала – крива Коха відноситься до класу детермінованих фракталів, тобто об'єкт безпосередньо складається зі своїх малих копій. В теорії телетрафіка для опису поведінки величини навантаження в мережах зв'язку з пакетною комутацією застосовується клас випадкових (стохастичних) фракталів. В цьому випадку властивість самоподібності (масштабної інваріантності) спостерігається лише «в середньому», тобто подібними є не самі відліки сигналу, а і його кореляційна функція. Самоподібні процеси володіють гіперболічно загасаючим коефіцієнтом кореляції виду:

$$r(k) = \frac{1}{2}((k + 1)^{2H} - 2k_H + (k - 1)^{2H}), \quad (2.1)$$

Для асимптотично самоподібних процесів, кореляційної функції:

$$R(k) \approx k_{2H-2}L(t) \text{ при } k \rightarrow \infty, \quad (2.2)$$

де $L(t)$ – функція що повільно змінюється на безкінечності.

Як висновок, кореляційна функція не утворює суму в ряд утворений послідовними її значеннями. Ця характеристика притаманна всім самоподібним процесам, і є їх ознакою від довготривалих процесів, у яких кореляційна функція стає меншою по вище згаданому закону, і утворює суму.

Тому, можна сказати що довготривала залежність є причиною пульсацій процесу, проте має деяку передбачуваність в малих інтервалах часу. Важливим наслідком кореляційного потоку є неприйнятність оцінок теорії черги.

Самоподібні процеси володіють повільно спадною дисперсією. При усередненні процесу дисперсія вибіркового середнього загасає повільніше, ніж величина, зворотна розміром вибірки, згідно із законом:

$$\sigma_2(X_{(m)}) \propto m^{2H-2} \text{ при } m \rightarrow \infty, \quad (2.3)$$

В той час як для звичних постійних випадкових процесів, зменшується обернено пропорційно обсягу вибірки:

$$\sigma_2(X(m)) = \frac{1}{m} \sigma_2(X), \quad (2.4)$$

Ознаки повільно спадної дисперсії пов'язують самоподібність з розподілом з «вагомим хвостом». Важливістю післядії повільно загасаючої дисперсії є те, що в разі класичних статистичних тестів (наприклад, обчислення довірчих інтервалів) загальноприйнята міра середнє відхилення σ є хибною.

З даними властивістю пов'язано і «нехарактерне» поведінці індексу дисперсії, або індексу розкиду, для відліків процесу (IDC), так само званого фактору Фано. IDC розраховується як відношення дисперсії числа подій на заданому часовому інтервалі T до математичного сподівання цієї величини:

$$F(T) = \frac{\text{Var}[N(T)]}{E[N(T)]}, \quad (2.5)$$

де $N(T)$ – число подій досліджуваного потоку, що наступили в інтервалі (вікні) T .

Для самоподібних процесів логарифм індексу розкиду $F(T)$ лінійно зростає:

$$\ln[F(T) - 1] = (2H - 1) \ln T + y, \quad (2.6)$$

Самоподібні процеси мають розподіли з важкими хвостами. Випадкова величина Z має розподіл з важким хвостом (РВХ), якщо ймовірність $P[Z > x] \sim cx^a$ при $x \rightarrow \infty$, тобто хвіст розподілу загасає за степеневим законом. Як прикладом такого розподілу, може слугувати розподіл Парето. При $0 < \alpha < 2$ величина Z володіє нескінченною дисперсією, а при $0 < \alpha < 1$ середнє значення також нескінченно.

Найбільш суттєвою особливістю випадкової величини, яка має розподіл з важким хвостом, є надзвичайна мінливість. З ймовірністю, яка не є нескінченно малою, в вибірці можуть бути присутні деяке число «дуже великих» значень.

Такі розподіли істотно знижують точність статистичних оцінок; кінцевий об'єм вибірки призводить до заниженої оцінки середнього і дисперсії. Наявність РВХ в зовнішніх по відношенню до досліджуваних процесів явищах є однією з причин виникнення самоподібності у відповідних стохастичних моделях. Часто при розгляді самоподібних процесів говорять про комплекс взаємопов'язаних понять: самоподібності, масштабування, довготривалої залежності, РВХ і статечних законах статистичних характеристик. Цей комплекс властивостей відрізняє процеси, так звані самоподібними, від класичних випадкових процесів, наприклад, пуасонівського.

2.3 Опис моделі самоподібного потоку

Найпростішим самоподібними об'єктами є фрактали. За визначенням, бельгійського вченого Бенуа Мандельброта: «фракталом називається структура, що складається з частин, які в якомусь сенсі подібні цілому». Але з математичної точки зору фрактал – це, перш за все, безліч дробових розмірностей. Тому самоподібні процеси часто називають фрактальними.

Існує кілька підходів у формуванні самоподібного потоку. Найбільш відомим є метод, спочатку запропонований Мандельброт .

Даний метод заснований на суперпозиції кількох незалежних і має однаковий розподіл ON/OFF джерел, відрізки між ON та OFF періодами якого мають ефект Ноя (Noah effect). Під строго чергуються ON/OFF джерелами ми маємо на увазі модель, де ON і OFF періоди строго чергуються, тривалості ON періодів незалежні і мають однаковий розподіл, тривалості OFF періодів теж незалежні і мають однаковий розподіл, і послідовності тривалості ON і OFF періодів не залежать один від одного .

При цьому тривалості ON і OFF періодів можуть мати різні розподіли.

Ефект Ноя в розподілі тривалості ON/OFF періодів є основною точкою при моделюванні самоподібного трафіку на відміну від моделей, коли використовуються стандартний експоненціальний або геометричний розподіл. Ефект Ноя є синонімом синдрому нескінченної дисперсії, що з'явився завдяки емпіричним спостереженням того, що багато природніх явищ можуть бути описані розподілом з нескінченної дисперсією.

Математично для досягнення ефекту Ноя можна використовувати розподіл Парето або логарифмічно-нормальний розподіл, який також часто називають heavy-tailed distributions.

Вважається, що випадкова величина має розподіл з важким (вагомим) хвостом (РТХ або Heavy Tailed), якщо:

$$1 - F(x) \approx x^{-\alpha}, x \rightarrow \infty, \quad (2.7)$$

Тобто хвіст розподілу загасає за степеневим законом, на відміну від, наприклад, гауссовського розподілу з експоненціальним спаданням хвоста. Найбільш популярним є розподіл Парето.

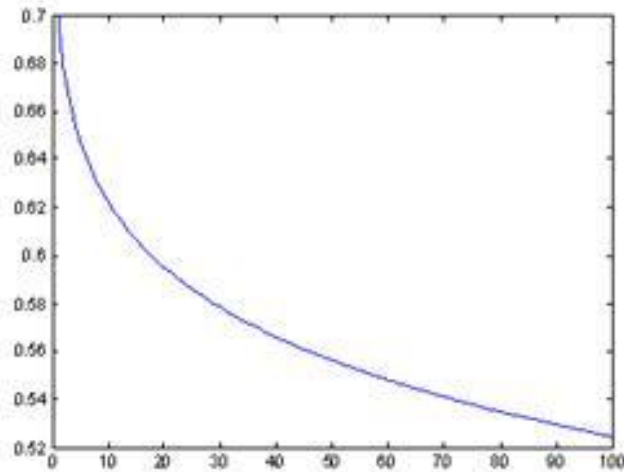


Рисунок 2.1 – Приклад розподілу з важким хвостом

Прийнято, що мережевий трафік якнайкраще описується саме розподілом з важким хвостом.

Розподіл Парето має функцію розподілу:

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha, \quad (2.8)$$

де α – параметр форми, що характеризує, чи буде розподіл мати кінцеве або нескінченне середнє значення і дисперсію;

β – параметр нижньої межі (мінімальне значення випадкової величини x).

Функція що задає щільність розподілу Парето:

$$f(x) = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x}\right)^{\alpha+1}, \quad x > \beta, \alpha > 0, \quad (2.9)$$

$$f(x) = F(x) = 0, \quad x \leq \beta, \quad (2.10)$$

Параметр α визначає середнє число і дисперсію x наступним чином:

– для $\alpha \leq 1$ розподіл має нескінченну середнє;

- для $1 \leq \alpha \leq 2$ розподіл має кінцеве середнє значення і нескінченну дисперсію;
- для $\alpha \leq 2$ розподіл має нескінченну дисперсію.
- Також існує відношення між параметром α і параметром Херста:

$$H = \frac{3-\alpha}{2}, \quad (2.11)$$

- Класичний розподіл Парето використовується при моделюванні багатьох об'єктів даного процесу, таких як розмір дискових файлів, WEB-сторінок, пульсацій даних і т.д., відмінною рисою яких є наявність так званих «важких хвостів» кривої розподілу (НТ, heavy tail of distribution).

2.4 Класифікація трафіка в мережах телекомунікацій

Сучасний стан розвитку телекомунікаційних мереж, вимагає передавання всіх типів даних від мережі, а не тільки традиційних.

QoS стає дуже важливим, коли мережа передає різноманітні види трафіку, як приклад голосовий і відео трафік. Причиною є те, що різні типи трафіку, потребують різні вимоги до QoS. Добитися того, щоб всі параметри QoS виконувалися одночасно для різного трафіку, є дуже складно, тому часто класифікують дійсні трафіки, відносячи їх до певного типу, і таким чином хочуть домогтися виконання всіх характеристик QoS.

На даний момент, проаналізовано багато видів трафіку. Виділимо загальні еталони цих трафіків:

- зрозуміла швидкість передачі пакетів ;
- зміна трафіку при затримці пакетів ;
- зміна трафіку від втрат і зміни інформації в пакетах.

Передбачуваність швидкості передачі даних. По цьому критерію розділимо трафік, на два типи:

- 1) потоковий (stream) – такі додатки продовжують роботу в своєму ритмі, з постійною швидкістю;

2) пульсуючий (burst) – трафік в таких додатках є непередбачуваними, періоди простою змінюються пульсацією трафіку, де пакети слідуєть один за одним.

Чутливість трафіку до затримок пакетів. Перечислимо основні види додатків що до їх чутливості по затримці пакетів даних, в порядку зменшення:

- трафік реального часу включає в себе аудіо і відео інформацію, критичну до затримок при передачі. Допустимі значення затримок зазвичай не перевищують 0,1 с. Крім того, затримка повинна мати малі флуктуації (Jitter);
- трафік транзакцій. Коли даний вид трафіку передається, його затримки не мають бути більше 1с, в іншому випадку робота користувачів буде перервана, через те що тільки після отримання відповіді, вони можуть посилати дані. Інколи, такі затримки, призводять до збою роботи системи.
- трафік даних. В цьому виді трафіку, затримки можуть бути дуже великими, і їх чисельне значення може бути рівне кількох секунд . Для трафіку даних смуга пропускання більш важлива, ніж час затримок: збільшення пропускну здатності мережі тягне за собою зменшення часу передачі. Додатки, що передають великі обсяги даних, розроблені, в основному, так, що захоплюють всю доступну смугу пропускання мережі.

Чутливість трафіку до утрат і змінення інформації в пакетах даних. Слід розглянути окремо втрати і спотворення пакетів.

Додатки, чутливі до утрати інформації. Більшість з додатків, які класифікуються як для передачі слів і чисел, мають високу чутливість до втрати даних. Такі втрати приводять, до втрати сенсу, другої правильно прийнятої інформації. Більшість з існуючих додатків відносяться до цього виду.

До додатків, стійким до утрати даних, відносяться програми, що призначені для передачі даних про фізичні явища, коли сенс отриманих даних, можна зрозуміти по попередньо переданій інформації. Серед таких додатків, є ті які передають аудіо, анімацію, відео інформацію Але навіть зважаючи на це, відсоток втрати не може бути більш ніж 1%.

Класифікація на основі залежності працездатності додатки від затримки пакетів. Види додатків:

- асинхронні – додатки, які не мають обмежень на час затримки (додатки в яких передача даних виконується у фоновому режимі - завантаження файлів, електронна пошта);
- інтерактивні – користувач програми може відчувати дискомфорт, при виникненні затримок, але при цьому додаток залишається працездатним;
- ізохронні – додатки, в яких при перевищенні затримки деякої величини порушується робота додатку;
- надчутливі – додатки, в яких при перевищенні затримки деякої величини додаток перестає функціонувати.

2.5 Потоки пакетів в мультисервісних мережах

Можна побачити велику різницю між трафіком в мультисервісних мережах, і трафіком в модель з пусассонівським потоком, який описується експоненціальною функцією. В мультисервісних мережах, трафік формується множиною запитів, що до надання послуги, а мережеві додатки забезпечують передачу різного типу даних.

Джерела запитів беруть участь у створенні трафіку, і дуже відрізняються у питомій інтенсивності навантаження.

Додатки які беруть участь в обслуговуванні запитів, впливають на інтенсивність навантаження трафіку що проходить в мережі. Алгоритми обслуговування теж мають вплив, на структура пакетів даних. Як приклад, якщо певну послугу забезпечують кілька додатків, то моменти появи запитів що до встановлення з'єднання є корельованими. Це є причиною зміни вихідних потоків даних. У зв'язку з цим, пакети даних вже не є сумою ординарних потоків в цій мережі. Цей трафік є різнотипним, тому вимагає різних стандартів, що до якості обслуговування. Для такого трафіку, мультисервісна мережа є ідеальною, тому що забезпечує передачу всіх видів пакетів даних, по

загальному протоколу, навіть беручи до уваги, що кожен додаток має різну швидкість.

За допомогою програми-снифера Wireshark було проаналізовано трафік, протягом 4,5 годин.

Програма Wireshark (Ethereal) – програма що дозволяє аналізувати трафік в комп'ютерних мережах. За допомогою цієї програми, можна переглянути весь мережевий трафік. Перевагою цієї програми є, її користувацький інтерфейс.

Wireshark – завдяки цьому додатку, можна розібрати весь трафік що проходить через мережу. Цей додаток розпізнає багато форматів, тому можна проаналізувати пакети даних досить точно.

2.6 Дослідження мережевого трафіка

Показники QoS визначаються прямою залежністю від характеристик вхідного потоку мультисервісної мережі.

Сьогодні IP-телефонія з додатковою послугою стала основною і включає в себе відеодзвінки, багатоточкові конференції різного типу (відео, аудіо, Web), передачу повідомлень, документів, контроль доступності абонентів, роумінг та інші. В свою чергу технологія IPTV, що представляє собою технологію доставки мультимедійних послуг (ТБ, аудіо / відео, текст, дані, графіка) розвивається на базі мереж IP в інтерактивному режимі і в режимі мовлення.

Кожен з численних сервісів висуває свої вимоги до QoS і до каналу зв'язку для повноцінного функціонування. Тому тривають дослідження інформаційних потоків з метою забезпечення заданого рівня сервісу, що надаються.

Проаналізувавши дослідження, можна сказати що явища в мережах, мають специфічну структуру, і класичні моделі хибно описують ці процеси. Це пояснюється численними дослідженнями, що проводяться в даний час з метою вивчення впливу різних чинників, що призводять до виникнення складних

мережевих процесів. Ці процеси мають властивості самоподібності, і пов'язуються з фрактальними процесами.

У самоподібного трафіку присутня деяка кількість досить сильних викидів на тлі відносного низького середнього рівня, що значно збільшує затримки і джітер при проходженні самоподібного трафіку через мережу, навіть у випадках, коли середня інтенсивність трафіку набагато нижче потенційно досяжної швидкості передачі в даному каналі. Пакетиризовані дані через їх пачковий характер і нелінійну природу важкі для моделювання та передбачення при використанні класичних моделей. Численні виміри трафіку в усіх країнах світу використовуються для отримання статистичних характеристик, необхідних для вироблення стратегій за якістю обслуговування та управління мережею. В результаті цих досліджень з'явилася можливість порівняння раніше використовуваних класичних моделей і методів, заснованих на вимірах реального трафіку.

Аналіз фрактальних властивостей часових рядів є одним з перспективних напрямків аналізу даних. Обсяги повідомлень в інформаційних потоках утворюють тимчасові ряди. Часовий ряд (лаг) – розрив у часі між двома або кількома подіями, які перебувають в причинно-наслідкового зв'язку. Для дослідження часових рядів сьогодні використовується теорія фракталів.

Є різні методи аналізу часових рядів:

- метод агрегування процесу;
- метод DFA (Detrended Fluctuation Analysis) є одним з універсальних підходів до виявлення само подібності;
- кореляційний аналіз - фактор Фано і інші.

2.7 Оцінка статистичних характеристик мережевого трафіку

Здійснимо оцінки статистичних характеристик розподілу пакетів протоколу MPEG.

Розрахуємо інтервали між надходженнями пакетів. У таблиці представлені дані розрахункових інтервалів між пакетами.

Таблиця 2.1 – Розрахункові інтервали між пакетами

№	Интервал	№	Интервал	№	Интервал	№	Интервал
1	0,0169	6	0,007233	11	0,01475	16	0,00135
2	0,0110	7	0,000428	12	0,01736	17	0,00124
3	0,00766	8	0,00129	13	0,02679	18	0,02869
4	0,000324	9	0,02189	14	0,01090	19	0,002369
5	0,01874	10	0,01298	15	0,00987	20	0,013454

На рисунку представлений тимчасовий ряд залежності інтервалів між пакетами і відповідний номер пакета.

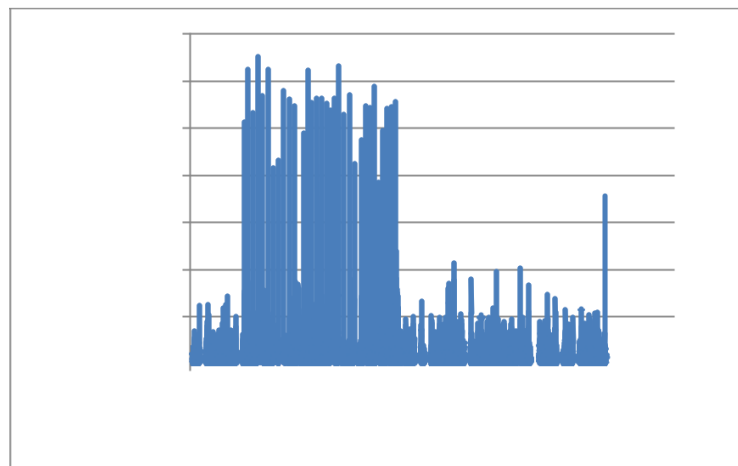


Рисунок 2.2 – Залежність інтервалів між пакетами від їх кількості

З рисунка видно, що поряд з численними мінімальними інтервалами є і великі інтервали між пакетами. Потік пакетів має згустки (характеризується певним рівнем пачковим). Обчислимо числові значення математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнт варіації за формулами:

$$m_t = \frac{1}{\lambda}, \quad (2.12)$$

$$D_t = \frac{1}{\lambda_2}, \quad (2.13)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{\lambda}, \quad (2.14)$$

$$v = \frac{\sigma_t}{m_t}, \quad (2.15)$$

Коефіцієнт варіації – характеристика, яка відображає ступінь нерівномірності надходження заявок.

Ймовірнісно-тимчасові характеристики розподілу інтервалів між пакетами MPEG мають такі числові значення:

- математичне сподівання дорівнює значенню 0,0229;
- дисперсія дорівнює значенню 0,189;
- середньоквадратичне відхилення дорівнює значенню 0,4347.

Аналіз обчислених значень показує, що це розподіл не експоненціальний, так як значення математичного очікування і середньоквадратичного відхилення не рівні між собою.

2.8 Висновки по розділу 2

1. Дослідженням інтервалів пакетів протоколу MPEG підтверджує одну з властивостей самоподібності (масштабної інваріантності) здійснене методом агрегування ($m = 4; 6; 10$);

2. Найважливіший параметр, що характеризує ступінь самоподібності H більше 0,5 і дорівнює 0,69;

3. Ряд персистентний з фрактальною розмірністю рівною $D = 1,31$.

3 МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ GPSS WORLD

3.1 Імітаційна модель

Імітаційна модель – під цим визначенням ми розуміємо номінальний опис роботи в часі, системи яку досліджуємо.

Імітаційна модель СМО – під цією моделлю ми розуміємо, таку яка показує роботу системи, при заданих параметрах, що приходять на вхід системи.

Імітаційне моделювання – це дійсний метод, підрахунку параметрів роботи різноманітних систем, з урахуванням різних випадків ходу процесів. За основу моделювання, беремо метод Монте-Карло. Цей метод вважається найбільш підходящим при моделювання складних систем, на роботу яких впливають різні чинники.

Імітаційне моделювання – допомагає проаналізувати СМО, при надходженні на нього різного типу трафіку, і при різних вимогах що до обслуговування мережі. Дисципліна обслуговування – описує процес, надходження заявок, з черг на обробку. Під пріоритетом, розуміємо правило на першочергове обслуговування заявок. Якщо вхід ОА зайнятий, то заявки утворюють черги, згідно свого пріоритету, так проходить процес утворення черг в СМО. Якщо вхід ОА звільнюється, то на прийом приходять заявки з черги з більшим пріоритетом.

Щоб аналізувати моделі СМО, було створено спеціальні мови для імітаційного моделювання. Одною з найпопулярніших мов є GPSS. Вона добре підходить, для моделювання систем масового обслуговування. Об'єкти цієї мови, беруть за приклад традиційні компоненти СМО. Набір таких компонентів, дозволяє досить точно моделювати системи масового обслуговування.

Програма моделювання GPSS World, працює за алгоритмом від блоку до блоку. Тривалість моделювання визначається не тривалістю інтервалів між

подіями, числом подій, що виникають в системі. Тому перехід на більш дрібні одиниці часу не збільшує час моделювання.

Системи масового обслуговування за основу своєї роботи беруть апарат теорії ймовірностей. Задачі їх математично описані, і як правило приводять до вивчення випадкового процесу. Беручи певні ймовірнісні параметри трафіку, СМО визначає певні характеристики що до його якості обслуговування.

Модель СМО, покладена в основу мови GPSS, являє собою наступне. Є система (маршрутизатор), одноканальний пристрій, який здійснює обслуговування заявок, або транзакцій. Заявки переміщуються по системі, займаючи обслуговуючі пристрої, тобто затримуючись в цих пристроях на обслуговування. Траєкторія руху заявок по системі може бути різною, залежно від виду заявок і від значень випадкових і розрахункових параметрів, які розраховуються заявками в процесі їх руху по системі. В принципі, заявки вводяться в систему спеціальними блоками через задані проміжки часу, які можуть бути і випадковими. Заявки рано чи пізно повинні бути вилучені із системи. Процес моделювання завершується в той момент, коли остання заявка покине систему.

Заявки конкурують між собою за ресурси системи, і в першу чергу за пристрої. Тому в системі виникають черги з заявок, які претендують на один і той же ресурс. Поява черг, зміна їх довжини і інші події фіксуються системою моделювання автоматично, а при закінченні моделювання виводяться в єдиному звіті, що дозволяє описати статистичні характеристики функціонування системи і на підставі їх оцінити, чи підходить вихідна система під задані в технічному завданні умови, чи ні. У загальному вигляді СМО може бути представлена, як показано на рисунку.

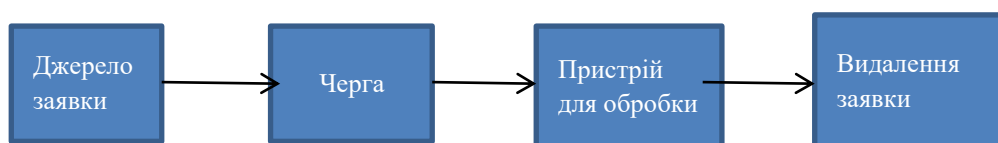


Рисунок 3.1 – Представлення у вигляді СМО

В якості вихідних даних задається потужність вхідного трафіку, який представляє собою пуассонівський найпростіший потік.

3.2 Імітаційна модель пуассонівського потоку, що надходить

Щоб задати вхідний потік вимог на мережевий пристрій, необхідно описати моменти часу їх надходження в систему і число вимог, яке надійшло одночасно. Зазвичай вхідний потік вимог описується розподілом ймовірностей відрізків часу між сусідніми вимогами. Часто припускають, що ці інтервали часу незалежні і мають однаковий розподіл випадкових величин, які утворюють стаціонарний вхідний потік вимог. Класична теорія масового обслуговування розглядає пуассонівський (найпростіший) потік. Розподіл числа викликів в часі для найпростішого потоку характеризується законом Пуассона, а розподіл тривалості проміжків між викликами підпорядковане експоненціальним законом.

Для даного потоку число вимог k для будь-якого інтервалу часу розподіленого за законом Пуассона:

$$P(t_k) = \frac{(\lambda * t)^k}{k!} * e^{-\lambda t}, k \geq 0, t \geq 0, \quad (3.1)$$

де λ - інтенсивність потоку вимог (число вимог за одиницю часу).

Для пуассонівського вхідного потоку буде досить буферів помірного розміру: черга може утворитися в дуже короткі проміжки часу (частки мілі секунд), а за довгий період часу буфери очистяться.

Для дослідження роботи маршрутизатора (як одноканального пристрою) розроблена імітаційна модель в програмному середовищі GPSS World. При цьому вхідний потік являє собою пуассонівський найпростіший потік.

У цій моделі використовувалися наступні блоки мови GPSS :

– Блок generate є джерелом потоку повідомлень в моделі. В даному блоці виробляється підготовка повідомлень, і запуск їх в модель через періоди

часу, що розподіляються за експоненціальним законом. Generate (exponential (1,0,100)) - інтервал часу між транзактами величина випадкова яка має середнє значення 100;

- блок advance затримує просування повідомлення на заданий період часу;

- блок test не змінює ніяких атрибутів повідомлення; він визначає номер наступного блоку для увійшовших в нього повідомлення в залежності від того, виконується необхідна умова чи ні. Блок управляє потоком повідомлень, перевіряючи виконання алгебраїчних відносин;

- вільний блок seize дозволяє увійшовших в нього повідомленням зайняти вказаний пристрій. Блок seize затримує повідомлення, якщо пристрій зайнятий або знаходиться в стані недоступності;

- блок release має задачу звільнення пристрою від того повідомлення, яким воно було зайнято. Якщо повідомлення обробляється пристроєм, то за допомогою блоку release воно звільняє пристрій і переходить до наступного послідовного блоку. Якщо повідомлення оброблялося пристроєм, але не було перервано, то блоком RELEASE буде видалено зі списку переривання пристрою і намагається знову зайняти пристрій;

- блок queue відповідає за збільшення черги;

- блок depart відповідає за зменшення черги;

- блок assign відповідає за збільшення або зменшення дійсного значення параметра транзакта на заданий значення;

- блок transfer (передати) призначений для передачі вхідного в нього транзакта в будь-який інший блок моделі. Всі режими блоку transfer, крім безумовного, вибіркового, тобто відрізняються один від одного способом вибору чергового блоку, до якого повинен бути направлений активний транзакт, операнд A задає цей режим вибору;

- блок link служить для введення транзактів в список користувача (ввести в список), який може бути використаний в режимах: умовному і безумовному;

- блок unlink служить для виведення одного або кількох транзактов зі списку користувача і приміщення їх назад до списку поточних подій

- блок savevalue означає зберігання величини;

- блок terminate відповідає за видалення транзактів з моделі.

Опис елементів файлу статистики:

- START TIME - абсолютний системний час в момент качання моделювання. Воно еквівалентно абсолютному системному часу. Застосування Операторів RESET або CLEAR;

- END TIME - абсолютний час;

- BLOCKS – поточна кількість блоків, що є до завершення процесу моделювання;

- FACILITIES – поточна кількість пристроїв, що є до завершення процесу моделювання;

- STORAGES – поточна кількість багатоканальних пристроїв, що є до завершення процесу моделювання;

- поле FACILITY визначає номер або назву об'єкта типу «Пристрій»;

- поле ENTRIES визначає Кількість разів, коли Пристрій був зайнятий або перерваний після останнього виконання блоків RESET або CLEAR або з качана роботи програми;

- поле UTIL. визначає частину ПЕРІОДУ моделювання, протягом якого Пристрій Було зайнятості;

- поле AVAILABLE відповідає за визначення готовності пристрою, в кінці моделювання. При значення рівному 1, пристрій готов, якщо значення 0, то навпаки;

- поле OWNER визначає номер останнього сполучення, Який Займають Пристрій. 0 означає, що Пристрій НЕ займають;

- поле PEND визначає Кількість Повідомлень, Які мають Пристрій, що знаходиться в «режимі переривання» ";

- поле INTER визначає Кількість Повідомлень, що переривають Пристрій в Зараз (лічильник Повідомлень в списку переривані);

- поле `RETRY` визначає Кількість Повідомлень, Які мають спеціальні умови, що залежать від стану об'єкта типу «Пристрій»;
- поле `DELAY` визначає Кількість Повідомлень, Які мають заняття пристрою;
- поле `QUEUE` визначає ім'я або номер об'єкта типу «Черга»;
- поле `MAX` визначає максимальний вміст об'єкта типу «Черга» в течії ПЕРІОДУ моделювання, Який починається з роботи програми або з останнього оператора `RESET` або `CLEAR`;
- поле `CONT` визначає поточний Зміст об'єкта типу «Черга» в кінці ПЕРІОДУ моделювання;
- поле `ENTRIES` визначає загальна Кількість входів в Черга в течії ПЕРІОДУ моделювання (лічильник входів);
- поле `ENTRIES (0)` визначає Загальну Кількість входів в Черга з нульового години Очікування (лічильник "Нульовий» входів);
- поле `AVE.CONT` визначає Середнє значення вмісту Черги;
- поле `AVE.TIME` визначає середній час, проведений в черзі з урахуванням всіх входів в Черга;
- поле `AVE. (- 0)` визначає середній час, проведений в черзі без урахування "Нульовий» входів в Черга;
- поле `Userchain` (ланцюг користувача) наводиться інформація про наявність транзактов в ланцюзі користувача, в яку транзакти поміщаються примусово при виконанні певних умов).

3.3 Результати моделювання

Після повного прогону моделі, зі зміною величини завантаження пристрою транзактами, розподіленими за експоненціальним законом, що надходить на маршрутизатор.

Для визначення середнього часу очікування зведемо дані результатів моделювання в таблицю:

Таблиця 3.1 – Визначення середнього часу очікування

<i>load</i>	<i>Ave. cont</i>	<i>Ave. time</i>	<i>Ave. (-0)</i>
0,339	0,097	0,573	1,637
0,391	0,124	0,627	1,667
0,738	1,192	3.106	4.038
0,927	3,356	7,198	7,630
0.989	10,018	17,323	17.624

Результати роботи програми:

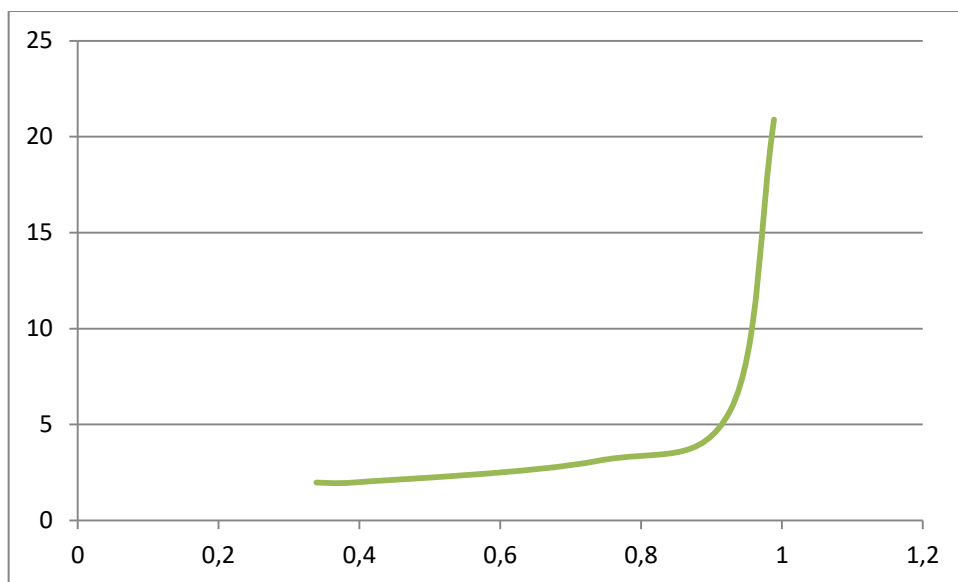


Рисунок 3.2 – Залежність середнього значення вмісту в черзі (*Ave.cont*) від завантаження маршрутизатора.

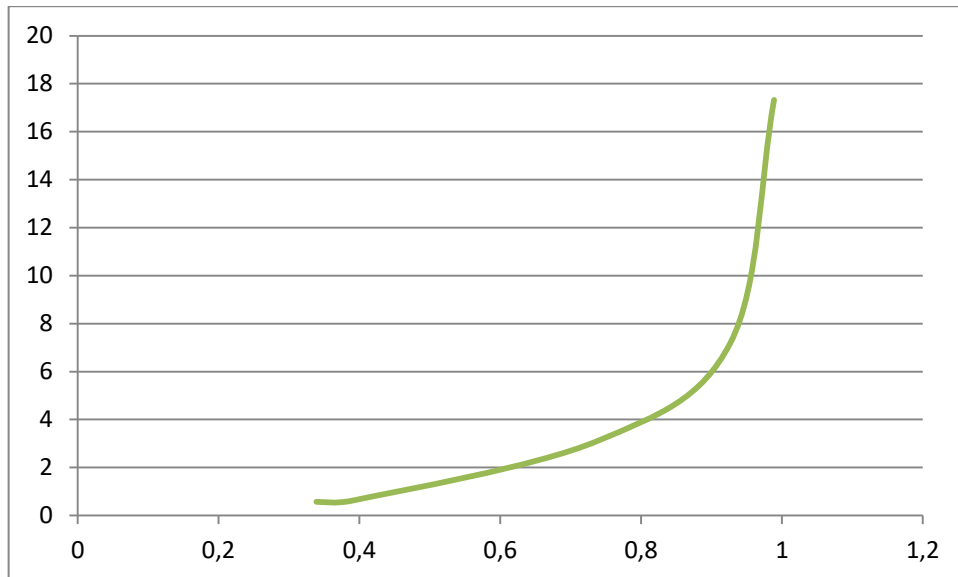


Рисунок 3.3 – Співвідношення середнього часу очікування від навантаження

На підставі вищенаведеного, видно, що вміст черги і середній час очікування в черзі збільшуються коли навантаження перевищує 0,7. Пристрій розрахований на надходження транзактів, розподілених по експоненціальному закону.

3.4 Імітаційна модель потоку за розподілом закону Парето

Численні дослідження процесів в мережі Інтернет показали, що статистичні характеристики трафіку мають властивість тимчасової масштабної інваріантності (самоподібності).

Найпростішим самоподібними об'єктами є фрактали. Згідно з визначенням Мандельброта: «фрактал – структура, що складається з частин, які в якомусь сенсі подібні цілому». Самоподібний процес, можна віднести до випадкового, статистичні ознаки якого притаманні властивості масштабування.

Строго самоподібний в широкому сенсі процес (ССШП) характеризується інваріантністю АКФ при зміні рівня агрегування за умови повільно спадної залежності (ПСЗ).

Самоподібні процеси, мають ефект післядії, тобто події що будуть надходити, залежать від подій що надходили до цього моменту, така

властивість не притаманна пуассонівським процесам. Тому одним з основних властивостей самоподібного процесу (self similar) є ПСЗ (long range dependency). Тому самоподібні процеси часто називають фрактальними. Це пов'язано з процесами обробки мережевими пристроями, різних обсягів даних, з появою безлічі нових додатків і ін. Було відмічено, що не завжди потік пакетів в мережі можна моделювати з використанням пуассонівського процесу. Самоподібний процес часто носить вибуховий (burst) характер, що виражається в можливості наявності викидів під час відносно низькій швидкості надходження подій.

Для уявлення властивості самоподібних потоків пропонуються моделі з наступними розподілами: логарифмічним-нормальним, Вейбулла (W), Парето (P). При математичному моделюванні використовують різні моделі розподілів, серед них в основному розподіл Парето, який має наступний вигляд:

$$w(x) = \frac{\alpha * k^\alpha}{x^{\alpha+1}}, \alpha > 0, k > 0, x > 0, \quad (3.2)$$

де α – параметр форми;

k – параметр, определяющий нижнюю границу для случайной величины.

Параметр α пов'язаний з показником Херста H виразом:

$$\alpha = 3 - 2H, \quad (3.3)$$

Для дослідження і порівняння залежностей середнього часу очікування в черзі пакетів від завантаження здійснено імітаційне моделювання надходження пакетів з розподілом тривалості проміжків між пакетами по закону Парето в об'єктно-орієнтованій програмі GPSS World.

У даній моделі блок generate є джерелом потоку повідомлень розподілених за законом Парето. Generate (Pareto (1, k, a)) - параметри процедури по закону Парето мають наступний сенс: перший параметр - номер вбудованого генератора використовується як аргумент для формування випадкових величин із наперед визначеним законом розподілу і інші два параметра задають безпосередньо параметри імовірнісного розподілу. Стосовно

до трафіку самоподібності виражається в незмінності поведінки при зміні часових масштабів спостереження і збереження схильності до сплесків при усередненні за шкалою часу.

Так як розрахункові дані показали $H = 0,69$ то альфа дорівнює 1,6.

3.5 Результати моделювання

Після повного прогону моделей вихідна інформація представлена в таблиці (розподіл Парето з $\alpha = 1,6$ і $H = 0,69$):

Таблиця 3.2 – Результати моделювання

<i>load</i>	<i>Ave. cont</i>	<i>Ave. time</i>	<i>Ave. (-0)</i>	<i>load</i>	<i>Ave. cont</i>	<i>Ave. time</i>	<i>Ave. (-0)</i>
0,57	0,019	0,032	1,140	0,863	3,614	3,914	6,363
0,7	0,453	0,470	1,525	0,911	4,324	4,440	6,620

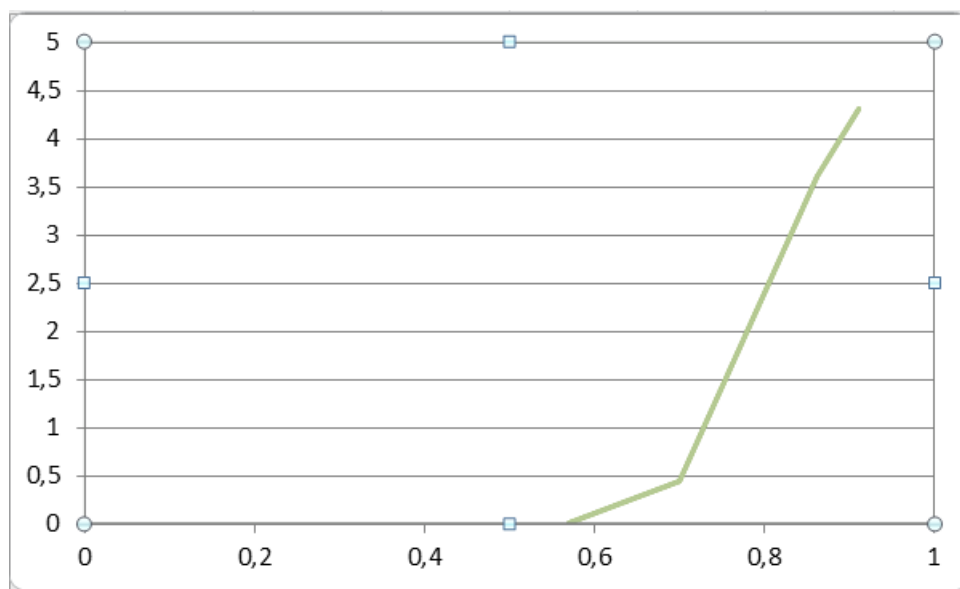


Рисунок 3.4 - Залежність середнього часу очікування від загрузки

З рисунка 3.4 видно, що середній час очікування в черзі починає рости при завантаженні починаючи вище 50%, а при вище 90% різко збільшується черга.

На рисунку побудовані для порівняння залежності середнього часу очікування в черзі від завантаження транзактів (пакетів), розподілених по експонентному і закону Парето.

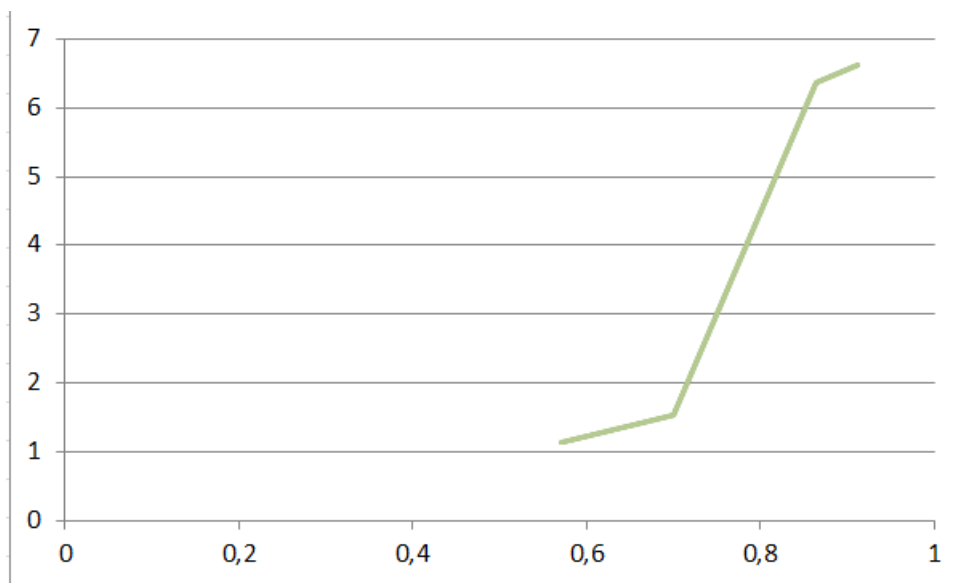


Рисунок 3.5 – Залежність часу очікування в черзі від коефіцієнта завантаження системи

3.6 Висновки з розділу 3

1. На підставі, проведених досліджень імітаційних моделей виявлено, що середній час очікування пакета в черзі зростає швидше при самоподібному трафіку ніж при простому.

2. Необхідно враховувати властивості самоподібності при проектуванні і розробці мережевих пристроїв.

3. Мережевий пристрій 3 рівня, розрахований за математичними моделями відповідно до класичної теорії телетрафіка, знижують в цілому якість

обслуговування, при цьому основні критерії якості обслуговування QoS такі як: затримка передачі пакетів і втрати пакетів матимуть завищені значення.

ВИСНОВКИ

В даний час домінує IP як стандарт єдиного транспортного пакетного трафіку, в якому не існує механізмів гарантованої передачі даних між двома точками мережі.

Актуальною стає проблема забезпечення якості обслуговування QoS тому що, транспортна мережа працює з максимальними зусиллями, потоки з різними додатками (IP-телефонія, IPTV і ін.) тяжіють до цього загальнодоступного транспорту.

В ході вирішення поставлених у бакалаврській роботі завдань отримані наступні результати:

- проведено дослідження реального IPTV трафіку даних з метою визначення ступеня самоподібності і фрактальної розмірності за допомогою методу агрегування процесу;
- здійснено імітаційне моделювання надходження пакетів даних на маршрутизатор, що підкоряються експоненціальному розподілу;
- здійснено імітаційне моделювання надходження пакетів даних на маршрутизатор, розподіленого за законом Парето.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бараш Л. Архітектура мультисервісних мереж. Комп'ютерне дослідження – Київ. – 2002. – № 14.
2. Бельков Д. В. Дослідження мережевого трафіка // Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка ДонНТУ, – Донецьк, 2009. – № 10.
3. Касиор А.В. Порівняльний аналіз трафіка провідних і беспроводних мереж ДонНТУ.
4. W. Willinger, W. Willinger, M. S. Taqqu, and A. Erramilli. “A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks,” Stochastic Networks: Theory and Applications. In Royal Statistical Society Lecture Notes Series, Oxford University Press, 1996, vol. 4, pp.339–366.
5. Бельков Д. В. Методи визначення фрактальної розмірності рельєфа обробленої поверхні – ДонНТУ
6. Шевченко Д.Н., Кравченя И.Н. Імітаційне моделювання на GPSS. методичний посібник для студентів технічних спеціальностей/ - Білорусь: Изд-во Беларус. гос. ун-т. трансп. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 96 с.