

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента *Валах Дмитро Вікторович*

академічної групи *172-16зск-1*

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста*

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
розділів:				
спеціальний	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту _____ *Валах Дмитро Вікторович* _____ академічної групи *172-16зск-1*
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності _____ *172 Телекомунікації та радіотехніка* _____
(код і назва спеціальності)

на тему _____ *Підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного*
трафіку шляхом врахування параметру Херста _____

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз основних положень теорії фракталів і самоподібних процесів, а також існуючих підходів до передачі телекомунікаційного трафіку.	25.02.2019 – 31.03.2019
Розділ 2	Розробка підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста та оцінка його ефективності.	01.04.2019 – 12.05.2019
Розділ 3	Розрахунки трудомісткості підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку та капітальних витрат.	13.05.2019 – 09.06.2019

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Герасіна О.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Валах Д.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 15 рис., 4 таблиці, 4 додатки, 21 джерело.

Об'єкт дослідження – телекомунікаційний трафік.

Предмет дослідження – підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення якості обслуговування телекомунікаційного трафіку за допомогою визначення оптимальних параметрів черг обслуговуючого пристрою, профілю трафіку і фактичного розміру черги на перспективу з використанням математичного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна результатів полягає в використанні як параметру розподілу показника Херста, що характеризує міру фрактальності, тобто виявляє ступінь пульсацій.

У першому розділі проаналізовано основні положення теорії фракталів і самоподібних процесів, а також існуючих підходів до передачі телекомунікаційного трафіку.

У спеціальній частині роботи запропоновано підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста та оцінено його ефективність. За наслідками досліджень зроблено висновки щодо рішення поставленої задачі.

У економічному розділі виконані розрахунки трудомісткості та капітальних витрат розробки підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку.

ФРАКТАЛИ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИЙ ТРАФІК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА, САМОПОДІБНИЙ ПРОЦЕС, ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ У ЧЕРЗІ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 68 с., 15 рис., 4 таблицы, 4 приложения, 21 источник.

Объект исследования – телекоммуникационный трафик.

Предмет исследования – подход к повышению качества передачи фрактального телекоммуникационного трафика.

Цель квалификационной работы – повышение качества обслуживания телекоммуникационного трафика с помощью определения оптимальных параметров очередей обслуживающего устройства, профиля трафика и фактического размера очереди на перспективу с использованием математического и имитационного моделирования.

Научная новизна заключается в использовании в качестве параметра распределения показателя Херста, который характеризует меру фрактальности, то есть описывает степень пульсаций.

В первой главе проанализированы основные положения теории фракталов и самоподобных процессов, а также существующих подходов к передаче телекоммуникационного трафика.

В специальной части работы предложен подход к повышению качества передачи фрактального телекоммуникационного трафика путем вычисления параметра Херста и оценена его эффективность. По результатам исследований сделаны выводы относительно решения поставленной задачи.

В экономическом разделе выполнены расчеты трудоемкости и капитальных затрат разработки подхода к повышению качества передачи фрактального телекоммуникационного трафика.

ФРАКТАЛЫ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ТРАФИК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА, САМОПОДОБНЫЙ ПРОЦЕСС, ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ В ОЧЕРЕДИ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ABSTRACT

Explanatory note: p. 68, fig. 15, tab. 4, 4 additions, 21 sources.

The object of the study is telecommunications traffic.

The subject of the approach to improving the quality of transmission of fractal telecommunications traffic.

The purpose of qualifying work is to improve the quality of service of telecommunications traffic by determining the optimal parameters of the queues of the service device, the traffic profile and the actual size of the queue for the future using mathematical and simulation modeling.

The scientific novelty consists in using as a distribution parameter the Hurst index, which characterizes the measure of fractality, that is, describes the degree of pulsations.

The first chapter analyzes the main principles of the theory of fractals and self-similar processes, as well as existing approaches to the transmission of telecommunications traffic.

In a special part of the work, an approach was proposed to improve the quality of transmission of fractal telecommunication traffic by calculating the Hurst parameter and its effectiveness was evaluated. According to the results of research, conclusions are drawn regarding the solution of the problem.

In the economic section, calculations of the labor intensity and capital costs of developing an approach to improving the quality of the transmission of fractal telecommunications traffic were made.

FRACTAL, TELECOMMUNICATION TRAFFIC, HURST PARAMETER, SELF-SIMILAR PROCESS, STAY DURATION IN QUEUE, SIMULATION MODELING

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСШС – Асимптотично самоподібний в широкому сенсі;
БР – Броунівський рух;
ЕОМ – Електронна обчислювальна машина;
СКВ – Середньоквадратичне відхилення;
СВС – Самоподібний у вузькому сенсі;
ССШС – Строго самоподібний в широкому сенсі;
ЦГТ – Центральна гранична теорема;
ЦС – Центральна станція;
AR – Autoregressive Model – Авторегресійна модель;
ARIMA – Autoregressive Integrated Moving Average – Інтегральний процес ковзаючого середнього;
ARMA – Autoregressive Moving Average – Процес змінного середнього;
FARIMA – Fractional Autoregressive Integrated Moving Average – Фрактальний інтегральний процес ковзаючого середнього;
NGN – Next Generation Networks – Мережа наступного покоління;
TP – Traffic Policing;
TS – Traffic Shaping;
QoS – Quality of Service – Якість обслуговування.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	11
1.1 Основні положення теорії фракталів і самоподібних процесів.....	11
1.1.1 Поняття фрактальності	11
1.1.2 Поняття самоподібності	12
1.1.3 Основні властивості самоподібних процесів	15
1.1.4 Фрактальна розмірність.....	18
1.1.5 Параметр Херста	20
1.1.6 Зв'язок між фрактальною розмірністю і коефіцієнтом Херста	23
1.1.7 Самоподібність мережевого трафіку.....	26
1.2 Існуючі підходи передачі телекомунікаційного трафіку	32
1.3 Висновок. Постановка задачі	42
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	44
2.1 Підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста	44
2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку	49
2.3 Висновок	53
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	55
3.1 Визначення трудомісткості розробки підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку	55
3.2 Розрахунок витрат на розробку підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста.....	56
3.3 Висновок	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	65
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	66
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	67
ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	68

ВСТУП

XXI століття є століттям широкої інформатизації всіх сфер життєдіяльності людини. Інформація є надбанням всього людства і новою продуктивною силою.

Основна відмінність мереж наступного покоління (NGN – next generation networks) від традиційних мереж полягає в тому, що вся інформація, яка циркулює в мережі, розбита на дві складові. Це – сигнальна інформація, що забезпечує комутацію абонентів і надання послуг, і безпосередньо призначені для користувача дані, що містять корисне навантаження, призначене абоненту (голос, відео, дані). Шляхи проходження сигнальних повідомлень і призначеного для користувача навантаження можуть не співпадати. Основними пристроями, які організують маршрут, порядок відправки, пріоритет IP пакетів й, отже, забезпечують виконання вимог до якості обслуговування (QoS – Quality of Service), є комутатори і маршрутизатори.

Наразі існуючі способи і технічні рішення не в повній мірі враховують різноманітність переданої інформації (послуг, що надаються), тобто багатокomпонентність і пачкову структуру трафіку.

Особливістю фрактального трафіку є наявність у ньому стійкої кластеризації. Наприклад, у трафіку, який підпорядкований закону розподілу Пуассона, кластеризація існує на короткостроковому масштабі, а на довгостроковому відбувається її згладжування. В результаті, якщо трафік пуассонівський, то черги, які з'являються при пульсації, в короткостроковій перспективі будуть очищатися. Але як показують дослідження трафікових трас, нерівномірна поведінка мережі сама по собі нерівномірна, тобто відбувається групування пульсацій. У таких випадках інтенсивність надходження пакетів не можна вважати таким, що підкоряється закону Пуассона. Виникаючі при цьому тривалі перевантаження здатні надати дуже негативний вплив на продуктивність мережі передачі даних.

Все це обумовлює необхідність використання при забезпеченні якості обслуговування технічних рішень здатних враховувати при функціонуванні телекомунікаційних мереж фрактальну природу трафіку.

Таким чином, вдосконалення підходів для підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку наразі є актуальною задачею.

Метою роботи є підвищення якості обслуговування телекомунікаційного трафіку за допомогою визначення оптимальних параметрів черг обслуговуючого пристрою, профілю трафіку і фактичного розміру черги на перспективу з використанням математичного та імітаційного моделювання.

Постановка задачі:

- проаналізувати основні положення теорії фракталів і самоподібних процесів;
- провести аналіз існуючих підходів до передачі телекомунікаційного трафіку;
- запропонувати підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста;
- оцінити ефективність розробленого підходу.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Основні положення теорії фракталів і самоподібних процесів

1.1.1 Поняття фрактальності

Поняття фрактал було вперше введено Бенуа Мандельбротом у 1975 році. Слово утворено від латинського *fractus* – складається з фрагментів. З математичної точки зору фрактальний об'єкт, перш за все, має дробову (нецілу) розмірність [1-4].

Відомо, що точка має розмірність, що дорівнює нулю, відрізок прямої і окружність (що характеризуються довжиною) – одиниці, коло і сфера (що характеризуються площею) – двом. Однак, що представляє собою безліч з розмірністю 1.5? Очевидно, для його опису потрібно щось середнє між довжиною і площею. Ще раніше, у 1919 році, Ф. Хаусдорф навів перші приклади об'єктів, що володіють дробовою розмірністю (Канторова безліч, крива Коха та інші).

Інша важлива властивість, яким володіють майже всі фрактали – властивість самоподібності (масштабна інваріантність). Виявляється, фрактал можна розбити на скільки завгодно малі частини таким чином, що кожна частина виявиться просто зменшеною частиною цілого. Прикладом природного фрактального об'єкта є лист папороті. Природа створювала фрактали протягом мільйонів років. Фактично більшість речей в природі не кола, квадрати або лінії, а фрактали, і створення цих фракталів зазвичай визначається рівняннями хаосу. Хаос і фрактальна краса представляють природу реальності. Тому застосування апарату теорії нелінійної динаміки (теорії хаосу) для дослідження самоподібного телетрафіку є перспективним напрямком і розумним розвитком ідей фрактальності трафіку. Термін хаос має на увазі під собою словосполучення детермінований хаос, проте в розмовній мові слово «детермінований» часто опускається. У цьому сенсі, принцип детермінованості

потенційно може відігравати значну роль не тільки в мережевому трафіку, а й у багатьох аналогічних процесах, які здаються на перший погляд випадковими.

На відміну від детермінованих фракталів, стохастичні фрактальні об'єкти (процеси), як правило, описуються масштабною інваріантністю (самоподібністю) статистичних характеристик другого порядку (властивість незмінності коефіцієнта кореляції при масштабування). В літературі поняття фрактального і самоподібного телетрафіку часто використовуються як синоніми.

1.1.2 Поняття самоподібності

Вперше про самоподібність телетрафіку заговорили з моменту його відкриття в 1993 році групою вчених W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger і D. Wilson [5], які досліджували Ethernet-трафік в мережі корпорації Bellcore і виявили, що на великих масштабах він має властивість самоподібності, тобто виглядає якісно однаково при будь-яких (досить великих) масштабах часової осі. При цьому виявилось, що в умовах самоподібного трафіку, методи розрахунку комп'ютерної мережі (пропускної спроможності каналів, ємності буферів та інше) засновані на марковських моделях і формулах Ерланга, які з успіхом використовуються при проектуванні телефонних мереж, дають не виправдано оптимістичні рішення і призводять до недооцінки навантаження.

Різницю між комп'ютерною та телефонною мережами слід розуміти в наступному сенсі: історично склалося, що телефонні мережі спочатку будувалися за принципом комутації каналів. Характеристики трафіку в даних мережах добре вивчені, а також розроблені строгі методики розрахунків. В основу комп'ютерних мереж, як правило, був покладено принцип комутації пакетів, а методики розрахунків, можливо, внаслідок деякого відставання науки від технологій, залишилися практично тими ж, що й призвело до виникнення «проблеми самоподібності». Тим не менш, у даний час все більшого поширення

отримують способи передачі мовної інформації по мережах з комутацією пакетів, трафік яких, природно, також є самоподібним [6].

Нехай $X=(X_1, X_2, \dots)$ – напівнескінченний відрізок стаціонарного у широкому сенсі випадкового процесу дискретного аргументу (часу) $t \in N^{\Delta}=\{1,2,\dots\}$. Позначимо через $\mu<\infty$ і $\sigma^2<\infty$ середнє і дисперсію процесу X , відповідно, а через

$$r(k) = \frac{\Delta \overline{(X_{t+k} - \mu)(X_t - \mu)}}{\sigma^2},$$

$$b(k) = \sigma^2 r(k), \quad k \in Z_+^{\Delta} = \{0,1,2,\dots\}$$

– автокореляційну функцію і автоковаріацію процесу X . Оскільки процес X – стаціонарний у широкому сенсі, середнє $M[X]=\mu$, дисперсія $D[X]=\sigma^2 \equiv b(0)$, коефіцієнт кореляції $r(k)$ і автоковаріація $b(k)$ не залежать від часу t і $r(k)=r(-k)$, $b(k)=b(-k)$.

Припустимо, процес X має автокореляційну функцію наступного виду:

$$r(k) \sim k^{-\beta} L_1(k), \quad k \rightarrow \infty \quad (1.1)$$

де $0 < \beta < 1$ і L_1 – функція, яка повільно змінюється на нескінченності, тобто

$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{L_1(tx)}{L_1(t)} = 1$ для всіх $x > 0$ (прикладми функції, яка повільно змінюється, можуть служити $L_1(t) = \text{const}$, $L_1(t) = \log(t)$).

Позначимо через $X^{(m)} = (X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots)$ – усереднений по блокам довжини m процес X , компоненти якого визначаються рівністю

$$X_t^{(m)} = \frac{\Delta}{m} (X_{tm-m+1} + \dots + X_{tm}), \quad m, t \in N \quad (1.2)$$

У подальшому викладі будемо називати такий ряд – агрегованим. Позначимо через $r_m(k)$, $b_m(k)$ і $V_m = b_m(0)$ коефіцієнт кореляції, автоковаріацію і дисперсію процесу $X^{(m)}$ відповідно.

Процес X називається строго самоподібним в широкому сенсі (ССШС) (exactly second-order self-similar) з параметром $H=1-(\beta/2)$, $0 < \beta < 1$, якщо

$$r_m(k) = r(k), \quad k \in \mathbb{Z}_+, \quad m \in \{2, 3, \dots\} \quad (1.3)$$

тобто, що ССШС процес не змінює свій коефіцієнт кореляції після усереднення по блокам довжини m .

Іншими словами, X – ССШС, якщо агрегований процес $X^{(m)}$ відрізняється від вихідного процесу X , як мінімум щодо статистичних характеристик другого порядку.

Процес X називається асимптотично самоподібним в широкому сенсі (АСШС) (second-order asymptotical selfsimilarity) з параметром $H=1-(\beta/2)$, $0 < \beta < 1$, якщо

$$\lim_{m \rightarrow \infty} r_m(k) = g(k), \quad k \in \mathbb{N}. \quad (1.4)$$

Сенс цього визначення полягає в тому, що X є АСШС процесом, якщо після усереднення по блокам довжини m і при $m \rightarrow \infty$ він сходиться до ССШС процесу.

Разом з поняттям ССШС існує поняття просто самоподібного процесу, яке для більшої термінологічної відмінності ми будемо називати самоподібним у вузькому сенсі процесом.

Процес X називається самоподібним у вузькому сенсі (СВС) (strictly self-similarity) з параметром $H=1-(\beta/2)$, $0 < \beta < 1$, якщо справедливий вираз

$$m^{1-H} X^{(m)} \stackrel{\bullet}{=} X, \quad m \in \mathbb{N}, \quad (1.5)$$

який розуміється в сенсі рівності розподілів. Зв'язок між процесами ССШС і СВС аналогічний зв'язку між процесами, стаціонарними в широкому і вузькому сенсах.

Дослідники відзначили однаковість розподілів вихідного і агрегованого процесів (при великих m), виміряли параметр H (параметр Херста), названий так в честь британського кліматолога Херста, і виявили, що останній для мережевого трафіку перебуває в інтервалі $(0,5; 1)$. На якісному рівні такий самоподібний трафік має постійний вибуховий характер на багатьох масштабах часової осі. Для опису подібних процесів іноді вживають спеціальний термін – шерстність [3].

1.1.3 Основні властивості самоподібних процесів

Найцікавіша риса самоподібних процесів – повільне спадання автокореляційної функції агрегованого процесу $X^{(m)}$ при $m \rightarrow \infty$, на відміну від поширених стохастичних моделей, для яких виконується [3]

$$r_m(k) \rightarrow 0, \quad m \rightarrow \infty, \quad k \in N \quad (1.6)$$

У 1984 році Сох показав, що завдання АКФ у вигляді (1.1), або завдання спектральної щільності у вигляді рівносильне визначенню процесу з наступною дисперсією:

$$\sigma^2 \sim am^{-\beta}, \quad m \rightarrow \infty, \quad (1.7)$$

де a – кінцева позитивна константа, яка не залежить від m , і $0 < \beta < 1$.

З іншого боку, для процесів, що задовольняють (1.6), можна показати виконання

$$\sigma^2 \sim bm^{-1}, \quad m \rightarrow \infty, \quad (1.8)$$

де b – кінцева позитивна константа, яка не залежить від m .

На якісному рівні відповідно до властивостей (1.7) і (1.8) можна припустити, що самоподібний процес при досить великих m виглядає менш плавним, більше рівномірним, (тобто має більшу дисперсією) ніж процес, що задовольняє (1.6), що наглядно показано на рис. 1.1.

Слід зауважити, що процес X не може бути самоподібним у вузькому сенсі, якщо його середнє значення не дорівнює нулю. Дійсно, в силу (1.5)

$$M[X] = m^{1-H} M[X^{(m)}] \quad (1.9)$$

Можна показати, що в силу (2.2) $M[X^{(m)}] = M[X]$, тоді (1.9) виконується тільки у разі $M[X]=0$.

Поведінка процесу X при агрегуванні (1.2) має принципове значення, оскільки деякі процеси в теорії мереж, наприклад буферизація, виділення смуги, можна розглядати як оперування саме з агрегованим процесом. Щоб

представляти особливості, які можуть проявлятися у агрегованих процесів, розглянемо простий приклад.

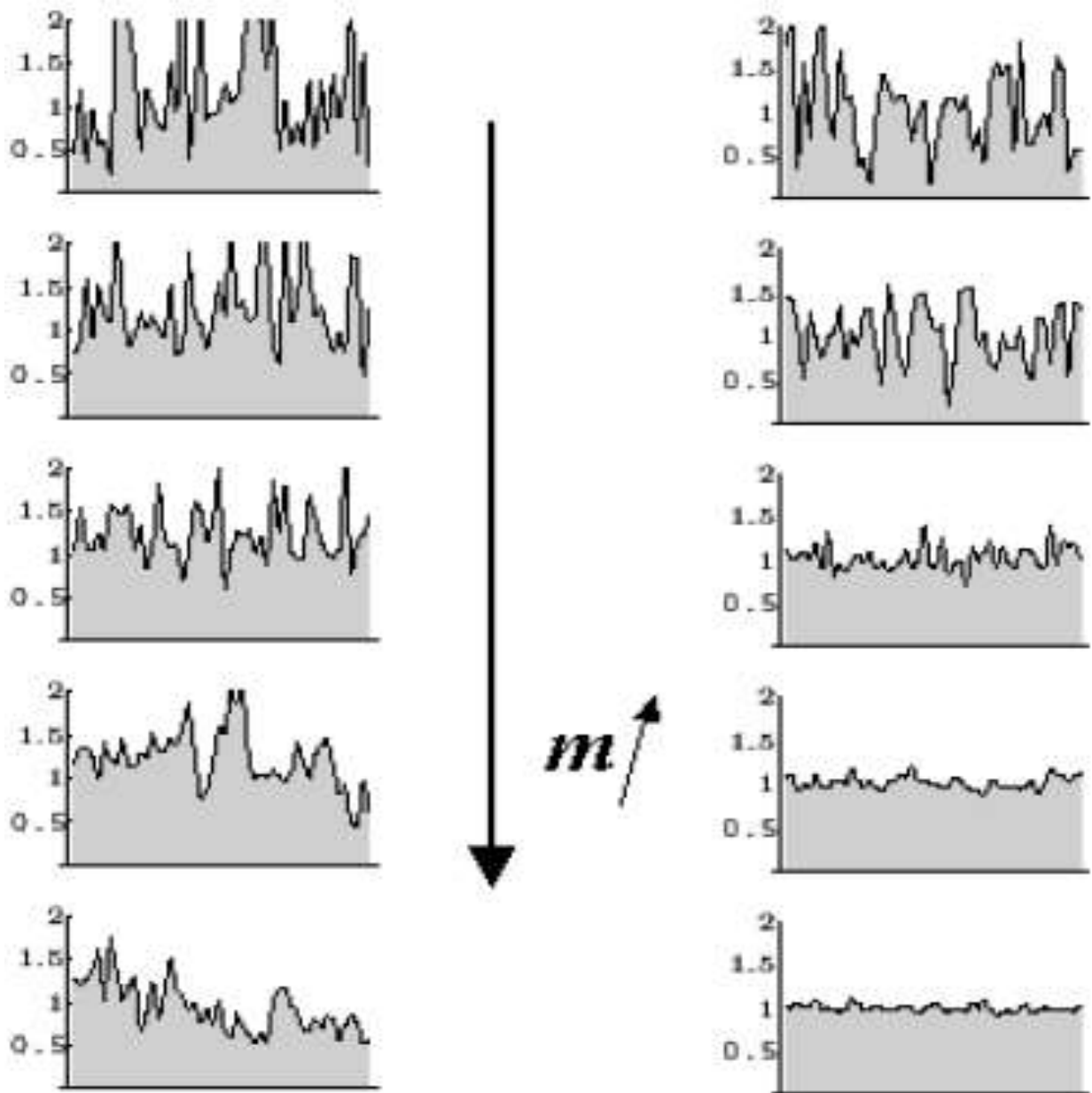


Рисунок 1.1 – Часові реалізації реального мережевого (самоподібного) трафіку (зліва) і традиційної не самоподібної (Пуассонівської) моделі телетрафіку (праворуч) під різних масштабах часової осі (зверху вниз масштаб часової осі укрупнюється)

Нехай збільшення ε (тобто перші різниці) часового ряду X є випадковими. Тоді перші m членів ряду можна записати [3, 6-8]:

$$X_1 = X_1,$$

$$X_2 = X_1 + \varepsilon_1,$$

$$X_3 = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

...

$$X_m = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{m-1}$$

а другий набір з m членів - як

$$X_{m+1} = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{m-1} + \varepsilon_m$$

$$X_{m+2} = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{m-1} + \varepsilon_m + \varepsilon_{m+1}$$

$$X_{m+3} = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{m-1} + \varepsilon_m + \varepsilon_{m+1} + \varepsilon_{m+2}$$

...

$$X_{2m} = X_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{2m-1}$$

} (1.10)

Якщо обчислити різницю між середнім другого і першого наборів, то отримаємо

$$d = (1/m) (\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + 3\varepsilon_3 + \dots + (m-1)\varepsilon_{m-1} + m\varepsilon_m + (m-1)\varepsilon_{m+1} + \dots + \varepsilon_{2m-1}). \quad (1.11)$$

Зауважимо, що d є першою різницею агрегованого ряду, визначеного відповідно до (1.2). Знайдемо дисперсію d :

$$\begin{aligned} D[d] &= D[\varepsilon] \cdot \frac{1}{m^2} (1 + 2^2 + 3^2 + \dots + (m-1)^2 + m^2 + (m-1)^2 + \dots + 3^2 + 2^2 + 1) = \\ &= D[\varepsilon] \cdot \frac{1}{m^2} (2 \cdot \sum_{j=1}^{m-1} j^2 + m^2) \end{aligned}$$

Знайдемо коваріацію двох послідовних різниць агрегованого ряду. Для цього помножимо вираз (1.11) на аналогічний вираз, зрушений у часі на m і візьмемо середнє:

$$b_m = D[\varepsilon] \cdot \frac{1}{m^2} (\sum_{j=1}^{m-1} j(j-1) + m(m-1)) = \frac{m^2 - 1}{6m} \cdot D[\varepsilon] \quad (1.12)$$

тоді кореляція $R(m)$ між послідовними різницями агрегованого ряду дорівнює

$$R(m) = \frac{m^2 - 1}{2(2m^2 + 1)} \quad (1.13)$$

Зобразимо залежність (1.13) від m графічно (рис. 1.2).

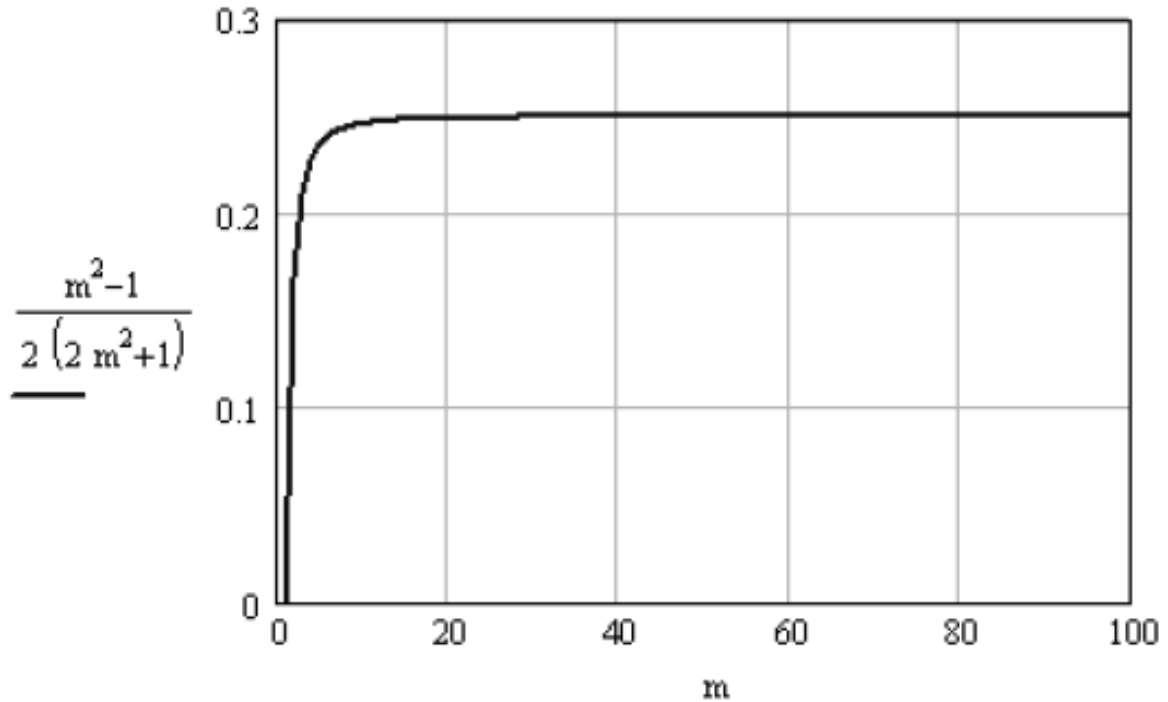


Рисунок. 1.2 – Залежність кореляції між сусідніми першими різницями агрегованого ряду від значення m

Таким чином, незважаючи на те, що перші різниці вихідного ряду незалежні, перші різниці агрегованого ряду не є такими.

1.1.4 Фрактальна розмірність

Як уже згадувалося, мережевий трафік відноситься до класу фрактальних процесів, що мають властивість статистичної самоподібності характеристик другого порядку, й, отже, може характеризуватися фрактальною розмірністю [3, 9-11].

Відомо, що довжина кривої лінії L_0 в евклідовому просторі визначається числом $N(\delta)$ відрізків довжини δ прямої, необхідних для покриття її повністю. Міру L довжини кривої можна ввести за допомогою наступного співвідношення:

$$L = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta = \frac{L_0}{\delta} \cdot \delta = L_0 \quad (1.14)$$

Як випливає з (1.14), в межі при зменшенні δ міра L стає рівною довжині кривої L_0 , і при цьому її значення не залежить від δ . Формально, безлічі точок, відповідних даній кривій, можна зіставити інший вимірювальний елемент, наприклад квадрат зі стороною δ . Площа такого вимірювального елемента дорівнює δ^2 . Якщо для покриття кривої потрібно $N(\delta)$ квадратів, то результуюча міра («площа») кривої буде дорівнювати

$$S = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta^2 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{N(\delta)}{\delta} \cdot \delta^2 = \lim_{\delta \rightarrow 0} L_0 \delta \quad (1.15)$$

При $\delta \rightarrow 0$ величина S прагне до нуля. Тому, з практичної точки зору, єдиною мірою кривої, що представляє інтерес, є її довжина L , а не «площа» S .

Аналогічно, безлічі точок, що утворюють площу поверхні S_0 , можна зіставити міру площі

$$S = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{S_0}{\delta^2} \cdot \delta^2 = S_0 \quad (1.16)$$

З іншого боку, формально евклідової поверхні S_0 можна також поставити у відповідність будь-яку довжину кривої, яка покриває цю поверхню

$$L = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{S_0}{\delta^2} \cdot \delta = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{S_0}{\delta} \quad (1.17)$$

Однак при $\delta \rightarrow 0$ такий захід поверхні розходиться, тобто для покриття поверхні потрібно крива нескінченної довжини.

Для загального випадку заходи можна записати

$$M = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta^\beta = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{M_0}{\delta^D} \cdot \delta^\beta = \lim_{\delta \rightarrow 0} M_0 \cdot \delta^{\beta-D} \rightarrow \begin{cases} 0, \beta > D \\ \infty, \beta < D \end{cases} \quad (1.18)$$

де β – розмірність обраної міри.

Величина $\beta=D$, при якій M змінюється стрибком, розглядається як розмірність Хаусдорфа. Якщо β – не ціла кількість, то відповідна міра називається фрактальною.

Найпростішим фрактальним і самоподібним об'єктом, який використовується в якості моделі складних процесів, є безліч Кантора (або Канторів пил). Утворюючий елемент такої множини можна вибрати у вигляді

одиничного відрізка. Розділивши цей відрізок на три частини і відкинувши середню частину, отримаємо два відрізки довжини $\zeta=1/3$. Застосовуючи багаторазово таку процедуру після k -го етапу розбивки, отримаємо $N=2^k$ відрізків, довжиною $\delta=(1/3)^k$ (див. рис. 1.3).

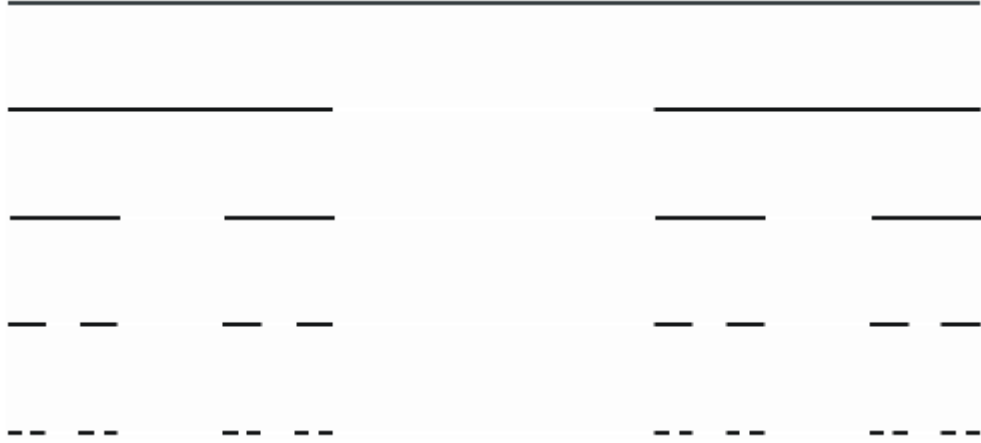


Рисунок. 1.3 – Триадна Канторова множина

Міра отриманої в результаті такої процедури множини може бути обчислена з використання (1.18)

$$M = \lim_{\delta \rightarrow 0} N(\delta) \cdot \delta^\beta \rightarrow \lim_{\delta \rightarrow 0, n \rightarrow \infty} 2^k (1/3)^{k\beta} \quad (1.19)$$

Така міра не розходиться і не прагне до нуля, якщо $2^k (1/3)^{k\beta} = 1$, звідси $D = \beta = \frac{\ln 2}{\ln 3} \approx 0.631$. Хоча топологічна розмірність Канторової множини дорівнює нулю, його розмірність Хаусдорфа – дробна, отже, множина Кантора є фрактальною.

У теоретичному аспекті може бути цікавим застосування множини Кантора при моделюванні мережі з комутацією пакетів як системи з втратами.

1.1.5 Параметр Херста

Гарольд Едвін Херст був британським чиновником в Каїрі, де брав участь в гідротехнічних проектах на р. Ніл. Переглянувши літописі за 800 років на предмет розливів Нілу, Херста виявив, що існувала тенденція, коли за роком

хорошої повені слідував ще один родючий рік, й, навпаки, за роком малої води слідував ще один «голодний» рік. Іншими словами, поява голодних і родючих років – не випадкова. Для підтвердження даного факту, Херст ввів коефіцієнт $0 < H < 1$, який в його честь зараз називається коефіцієнтом (експонентою) Херста [3, 12].

Одним із способів обчислення коефіцієнта Херста H є аналіз так званої R/S статистики (нормованого розмаху). Позначимо ξ – щорічний рівень води в Нілі, тоді середній рівень води за τ років:

$$M[\xi] = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} \xi_i. \quad (1.20)$$

Отримаємо новий (кумулятивний) ряд, що представляє суму за час t щорічних коливань рівня Нілу щодо середнього $M[\xi]$:

$$X(t, \tau) = \sum_{i=1}^t (\xi_i - M[\xi]), \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (1.21)$$

При цьому діапазон між максимальним і мінімальним значенням $X(t, \tau)$ за час τ позначається $R(\tau)$:

$$R(\tau) = \max(X(t, \tau)) - \min(X(t, \tau)), \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (1.22)$$

Тоді R/S статистика визначається безрозмірним відношенням діапазону $R(\tau)$ до стандартного відхилення S :

$$R/S = \frac{R(\tau)}{S(\tau)} = \frac{R(\tau)}{\sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} (\xi_i - M[\xi])^2}}. \quad (1.23)$$

Херста показав, що для багатьох природних явищ справедлива залежність:

$$M \left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)} \right] \sim c \tau^H, \quad \tau \rightarrow \infty \quad (1.24)$$

де c – позитивна константа, яка не залежить від τ .

Зокрема, якщо збільшення досліджуваного часового ряду (1.22) незалежні, тобто ряд представляє собою броунівський рух (БР) з незалежними приростами, то коефіцієнт Херста в (1.24) $H=0.5$. Однак Херст виявив для Нілу

$H \approx 0.7$, що підтверджувало присутність деякої залежності між послідовними відліками ξ_i і ξ_{i+1} .

Слід зауважити, а разі $0.5 < H < 1$ говорять про персистентній (такій, що підтримується) поведінці процесу або про те, що процес має тривалу пам'ять. Іншими словами, якщо протягом деякого часу в минулому спостерігалися позитивні збільшення процесу, тобто відбувалося збільшення, то й надалі в середньому буде відбуватися збільшення. Інакше кажучи, ймовірність того, що процес на $i+1$ кроці відхиляється від середнього в тому ж напрямку, що й на i кроці настільки велика, наскільки параметр H близький до 1. Тобто персистентні стохастичні процеси виявляють чітко виражені тенденції зміни при відносно малому «шумі».

У разі $0 < H < 0.5$ говорять про антиперсистентність процесу. Тут високі значення процесу слідує за низькими, й навпаки. Іншими словами, ймовірність того, що $i+1$ кроці процес відхиляється від середнього в протилежному напрямку (по відношенню до відхилення на i кроці) настільки велика, наскільки параметр H близький до 0.

При $H=0.5$ відхилення процесу від середнього є дійсно випадковим і не залежить від попередніх значень, що відповідає випадку БР.

Слід зауважити, що саме властивість персистентності виправдовує застосування для моделювання та передбачення самоподібних рядів AR (авторегресійних) моделей виду

$$X_n = \varphi_0 + \sum_{r=1}^p \varphi_r \cdot X_{n-r} + \varepsilon_n \quad (1.25)$$

де φ_i – константи, ε_n – некорельовані випадкові змінні (білий шум) з нульовим середнім. Вираз (1.25) показує, як, знаючи минуле процесу, передбачити його майбутнє. Зокрема, набули широкого поширення такі авторегресійні моделі, як ARMA (процес змінного середнього), ARIMA (інтегральний процес ковзаючого середнього) і FARIMA (фрактальний інтегральний процес ковзаючого середнього).

Властивість довгострокової пам'яті характерно для повеней Нілу, мережевого трафіку, процесів, що відбуваються на фінансових ринках та інших.

Співвідношення (1.24) може використовуватися для оцінки коефіцієнта H по часовому ряду. Для цього необхідно прологарифмувати обидві частини (1.24)

$$\log\left(M\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]\right) \sim H \log(\tau) + \log c, \quad \tau \rightarrow \infty \quad (1.26)$$

і побудувати графік залежності $\log\left(M\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]\right)$ від $\log(\tau)$. Нахил прямої, апроксимуючої дану залежність, і є експонента H , що характеризує досліджуваний часовий ряд.

Для оцінки параметра Херста часового ряду існує безліч методів: R/S статистика, аналіз графіка зміни дисперсії, оцінка Віттла, вейвлет-аналіз, аналіз індексу дисперсії тощо.

1.1.6 Зв'язок між фрактальною розмірністю і коефіцієнтом Херста

Фрактальна розмірність D може розглядатися як міра нерівності, порізаності поверхні об'єкта при $D \in [n, n+1)$ для поверхні в n -розмірному просторі, причому більш нерівні, «шорсткі» поверхні відповідають більш високим значенням D . Ефект Херста характеризує тривалу пам'ять, або персистентність процесу. В принципі, фрактальна розмірність і коефіцієнт Херста можуть розглядатися незалежно один від одного: фрактальна розмірність характеризує локальну властивість, а довгострокова пам'ять – глобальну характеристику всього процесу. Проте, в науковій літературі ці поняття тісно пов'язані, головним чином, завдяки фрактальному гаусівському шуму і фрактальному броунівському руху, які виявляють обидві властивості [3, 13-14].

Отже, для самоподібного процесу локальні властивості відображаються на глобальних відповідно зі знаменитим співвідношенням

$$D=n+1-H \quad (1.27)$$

між фрактальною розмірністю і коефіцієнтом Херста для самоподібного об'єкта в n -вимірному просторі. Для часового ряду $n=1$, і, відповідно,

$$D = 2 - H \quad (1.28)$$

Тому властивість повільно спадної залежності, що асоціюється з $0.5 < H < 1$, відповідає низькій фрактальній розмірності. Випадок «шорсткої» поверхні, що володіє високою фрактальною розмірністю, відповідають антиперсистентному процесу з $0 < H < 0.5$ (див. рис. 1.4).

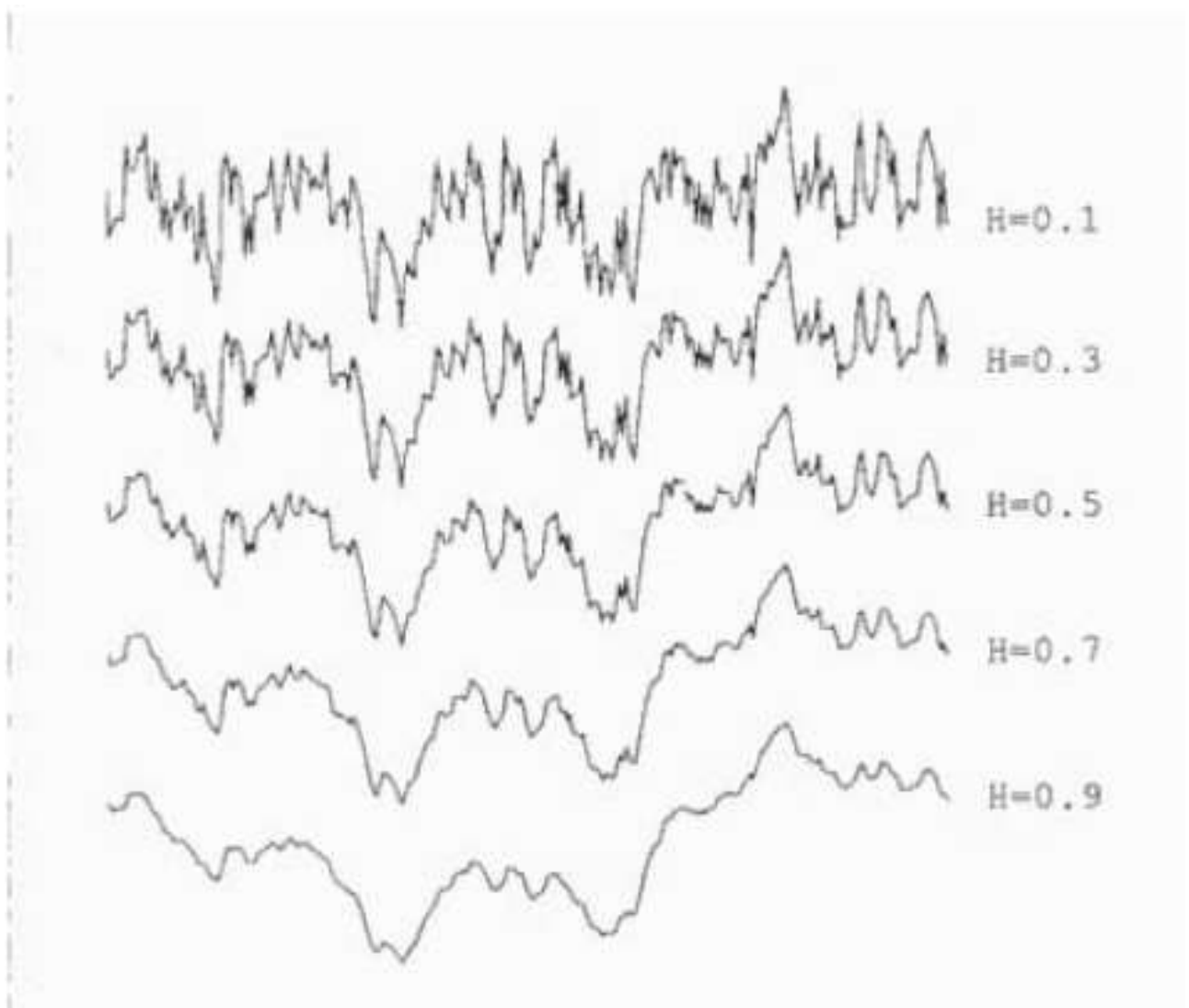


Рис.1.4 – Характерні реалізації часовій послідовності для різних значень параметру Херста

Розглянемо як приклад стаціонарний у широкому сенсі випадковий процес X з нульовим середнім і дисперсією, яка дорівнює одиниці. Поведінка кореляційної функції даного процесу характеризує локальні властивості реалізації, тобто якщо виконується співвідношення

$$1 - r(k) \sim |k|^\alpha \quad \text{при} \quad k \rightarrow 0, \quad (1.29)$$

де $\alpha \in (0, 2]$, то реалізація випадкового процесу має фрактальну розмірність

$$D = n + 1 - \frac{\alpha}{2}. \quad (1.30)$$

Якщо процес X при цьому володіє персистентністю, то він характеризується раніше розглянутою поведінкою кореляційної функції

$$r(k) \sim |k|^{-\beta} \quad \text{при} \quad |k| \rightarrow \infty, \quad (1.31)$$

де $\beta \in (0, 2)$, з урахуванням взаємозв'язку з коефіцієнтом Херста

$$H = 1 - \frac{\beta}{2} \quad \text{и} \quad \beta = 2 - 2H. \quad (1.32)$$

Для фрактального гаусівського шуму – класичного стаціонарного самоподібного стохастичного процесу, розглянутого раніше, кореляційна функція

$$r(k) = \frac{1}{2} [|k+1|^{2H} - |2k|^{2H} + |k-1|^{2H}], \quad k \in \mathbb{N}. \quad (1.33)$$

можна показати, що

$$r(k) \sim H(2H - 1) |k|^{-(2-2H)}, \quad |k| \rightarrow \infty, \quad (1.34)$$

і

$$1 - r(k) \sim |k|^{2H}, \quad |k| \rightarrow 0 \quad (1.35)$$

порівнюючи (1.29) і (1.35) робимо висновок, що співвідношення (1.30) виконується при $n=1$.

Таким чином, припущення самоподібності процесу X (в умовах ототожнення його з фрактальним гаусівським шумом) визначає взаємозв'язок між фрактальною розмірністю і коефіцієнтом Херста (або локальною і глобальною поведінкою) процесу.

Разом з тим, для не самоподібних процесів співвідношення (1.30) може не виконуватися й, отже, параметри H і D можуть у такому випадку змінюватися незалежно.

1.1.7 Самоподібність мережевого трафіку.

Для того щоб уявити собі особливості, що виникають у реальній мережі внаслідок ефекту самоподібності, розглянемо механізм статистичного мультиплексування інформаційних потоків.

Алгоритм статистичного мультиплексування потоків широко використовується в телекомунікаціях, оскільки дозволяє економно використовувати пропускну здатність магістральних каналів. В рамках роботи було розглянуто найпростіший приклад передачі інформації багатьох джерел по одному магістральному каналу. В принципі, можна закріпити за кожним з джерел певну частину ресурсів магістрального каналу (скажімо, розділити джерела по частоті). У цьому випадку кожне джерело може використовувати тільки ту частину ресурсів, яка йому відведена (див. рис. 1.5 зліва).

Інший спосіб передачі, званий статистичними мультиплексуванням, полягає в тому, що потоки окремих джерел складаються (агрегуються) в магістральному каналі з економією пропускну здатності dC (див. рис. 1.5 праворуч).

На рис. 1.5 зліва показані трафіки трьох окремих джерел при жорсткому розподілі смуги магістралі між ними. На рис. 1.5 праворуч – трафіки тих же джерел в магістральному каналі при роботі алгоритму статистичного мультиплексування. При цьому досягається вигреш в смугі dC .

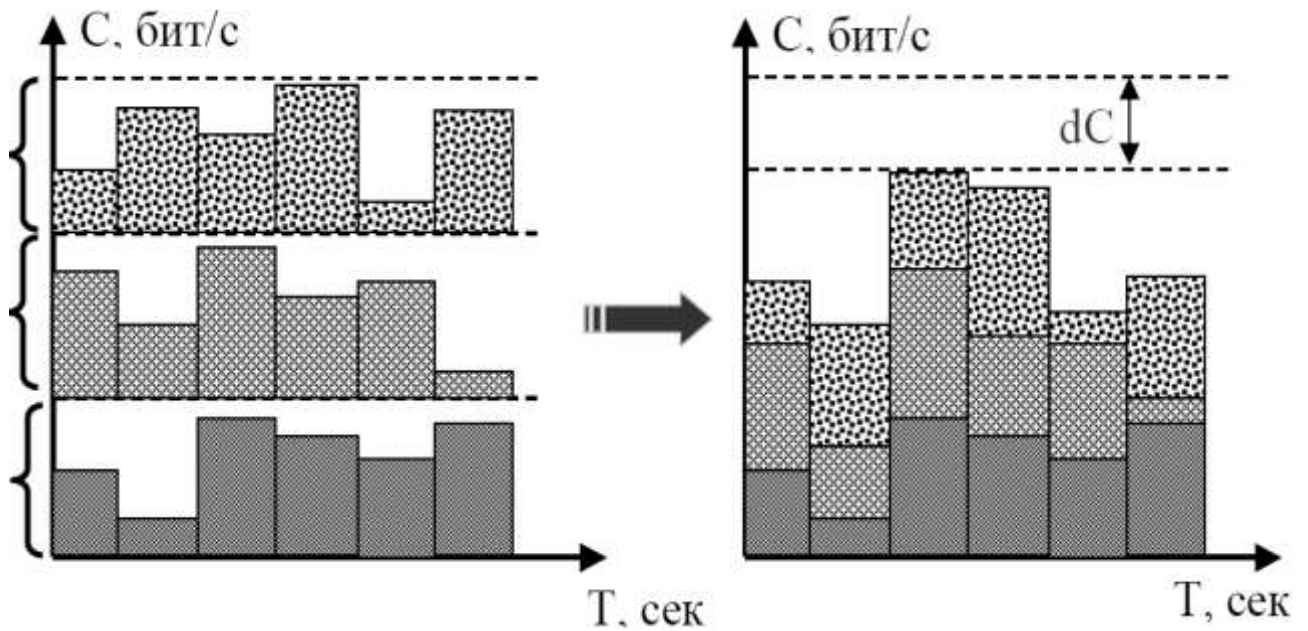


Рисунок 1.5 – Графічне пояснення роботи алгоритму статистичного мультиплексування

Розглянемо другий варіант більш докладно. Припустимо, є n окремих (парціальних) джерел. Нехай процеси (рис. 1.6) $\xi_1(M[\xi_1], D[\xi_1]), \dots, \xi_n(M[\xi_n], D[\xi_n])$ мають однакові середні $M[\xi_i] = \mu$ і дисперсії $D[\xi_i] = \sigma^2$, тоді за умови незалежності і однакового розподілі $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ коефіцієнт варіації результуючого процесу ξ_Σ в магістральному каналі:

$$\text{cov}(\xi_\Sigma) = \frac{\sqrt{D[\xi_\Sigma]}}{M[\xi_\Sigma]} = \frac{\sqrt{D[\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n]}}{M[\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n]} = \frac{\sqrt{n \cdot D[\xi_i]}}{n \cdot M[\xi_i]} = \frac{\sigma}{\mu\sqrt{n}} \quad (1.36)$$

Як видно з (1.36), коефіцієнт варіації являє собою відношення середньоквадратичного відхилення процесу до його середнього. В даному випадку коефіцієнт варіації відображає ступінь згладжування результуючого процесу ξ_Σ при збільшенні кількості мультиплексуєчих парціальних процесів. Ефект зорового згладжування процесу ξ_Σ при зростанні n досягається завдяки більш швидкому зростанню середнього процесу ξ_Σ у порівнянні з його середньоквадратичним відхиленням (СКВ). Принципово, що середнє порівнюється з СКВ, а не з дисперсією. Це робиться для отримання

безрозмірної оцінки ступеню згладженості (коефіцієнта варіації в даному випадку).

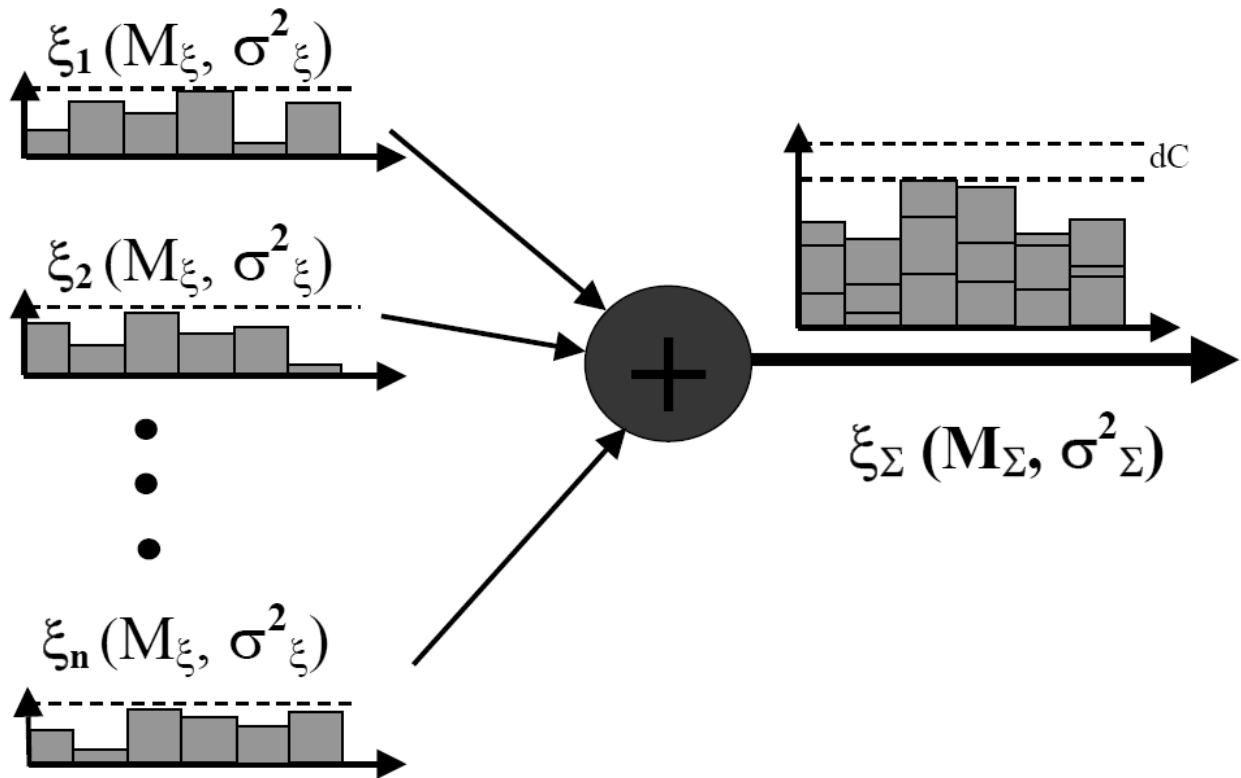


Рисунок 1.6 – Схема статистичного мультиплексування з отриманням в магістральному каналі процесу ξ_{Σ}

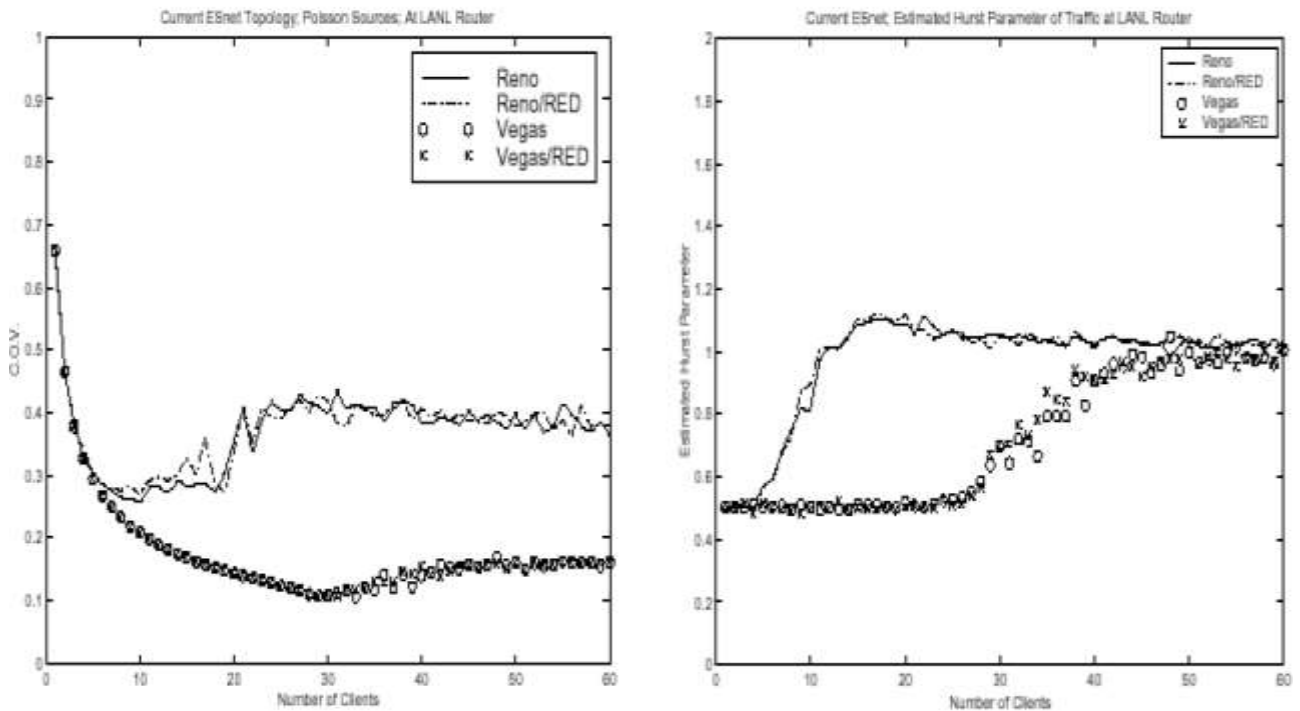
Більш того, відповідно до центральної граничної теореми (ЦГТ) при збільшенні n повинна також відбуватися нормалізація процесу ξ_{Σ} .

Згладжування відбувається в незалежності від ступеню самоподібності парціальних потоків. Іншими словами, процес в магістральному каналі настільки херстний, наскільки херстні парціальні потоки, але при цьому більш згладжений [3].

Однак на практиці частіше за все ресурси магістрального каналу (смуга, буфери) багато менше, ніж сумарна потенційна можливість мультиплексуємих процесів, що визначає ефективність системи [3]. Як результат – парціальні потоки при додаванні в обмеженому буфері, наприклад, втрачають незалежність. Вже при $n=10 \dots 15$ (і при роботі широко поширеної реалізації

Reno протоколу TCP) формула (1.36) дає похибки, а при $n=60$ реально вимірний $\text{cov}(\xi_\Sigma)$ більше розрахованого по даній формулі на 300% (рис. 1.7).

Ступінь залежності парціальних потоків залежить від версії протоколу мережевого рівня TCP, що функціонує в мережі. Дійсно (рис. 1.7), при роботі версії Vegas коефіцієнт варіації ξ_Σ зменшується при збільшенні n до 30 (на відміну від більш поширеної версії Reno). Далі мультиплексуємі потоки втрачають незалежність. Характерно, що при цьому показник Херста процесу ξ_Σ , збільшуючись від 0.5 до 1 в точці $n=15$ для Reno і в точці $n=30$ для Vegas. Можна зробити висновок, що, у міру того як вхідні процеси втрачають незалежність, процес на виході стає все більш персистентним. У результаті агрегований процес не досягає розрахункового (1.36) ступеню згладжування, і алгоритм статистичного мультиплексування виявляється малоефективним.



а

б

Рисунок 1.7 – Графіки залежностей для версій протоколу TCP, що функціонують у досліджуваній мережі: а – залежність коефіцієнта варіації магістрального потоку від числа клієнтів, б – залежність величини показника Херста від числа клієнтів

Типовий вид агрегованого мережевого трафіку показаний на рис. 1.8.

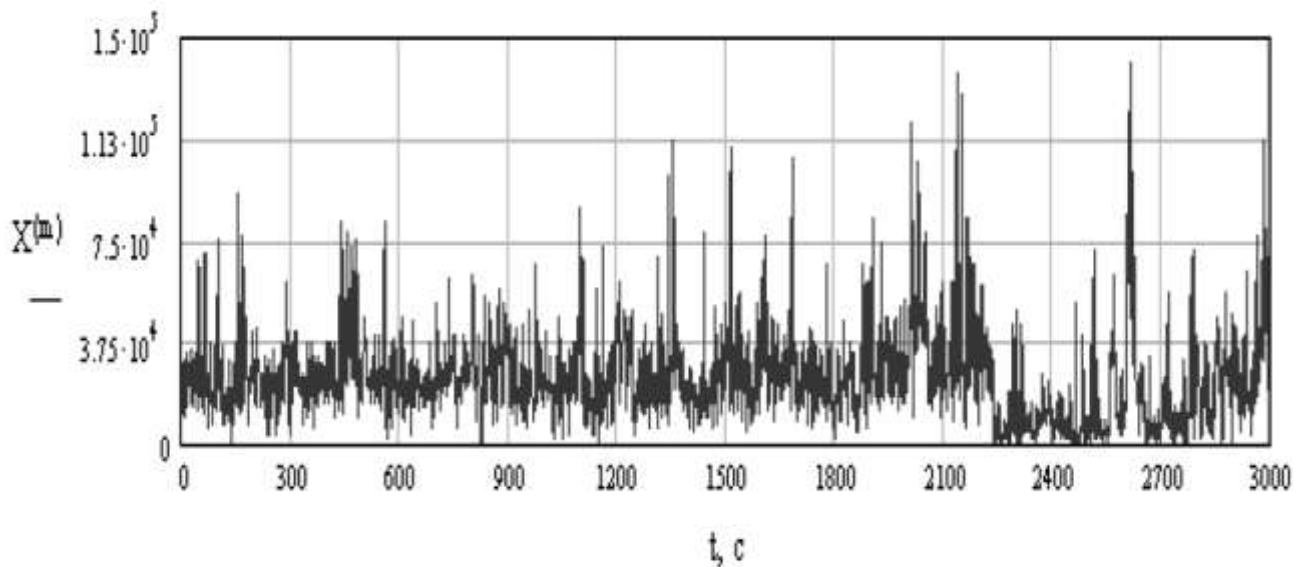


Рисунок 1.8 – Графік агрегованого мережевого трафіку

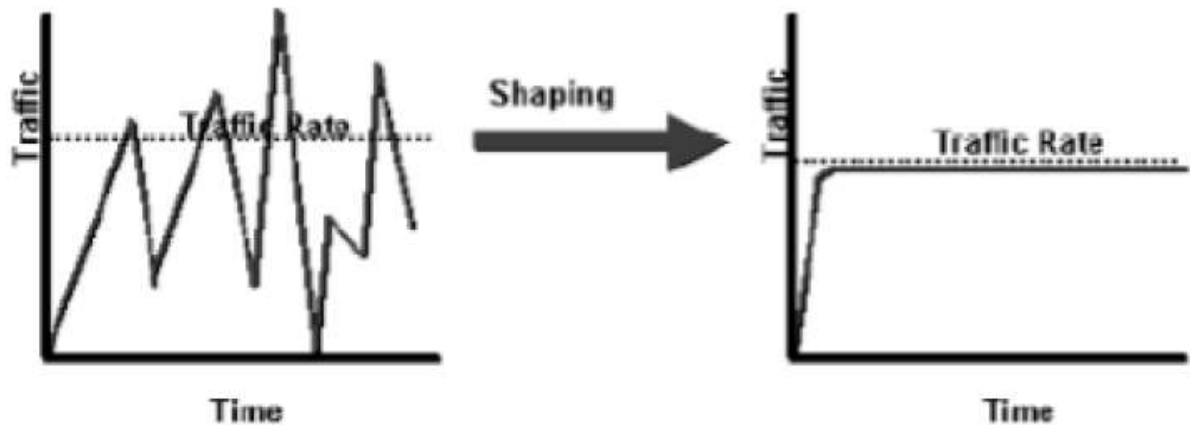
Кожна точка на даному графіку (рис. 1.8) являє собою кількість байт, переданих в магістральному каналі за інтервал часу в 1 секунду. Тривалість реалізації становить 3000 точок або 50 хвилин. Коефіцієнт Херста дорівнює приблизно 0.8.

Як видно з рис. 1.8, процес має високу мінливість (оскільки підпорядковується розподілу з важким хвостом) і його навряд чи можна назвати плавним. Як результат, для того щоб передати такий трафік без втрат, пропускна здатність каналу повинна відповідати рівню пікових викидів, тобто в даному випадку бути не менше $1.4 \cdot 10^5$ біт/с. Можна помітити, оскільки середній рівень трафіку все-таки досить низький, пропускна здатність буде витрачатися неефективно. Іншими словами, коефіцієнт використання такого каналу буде низьким.

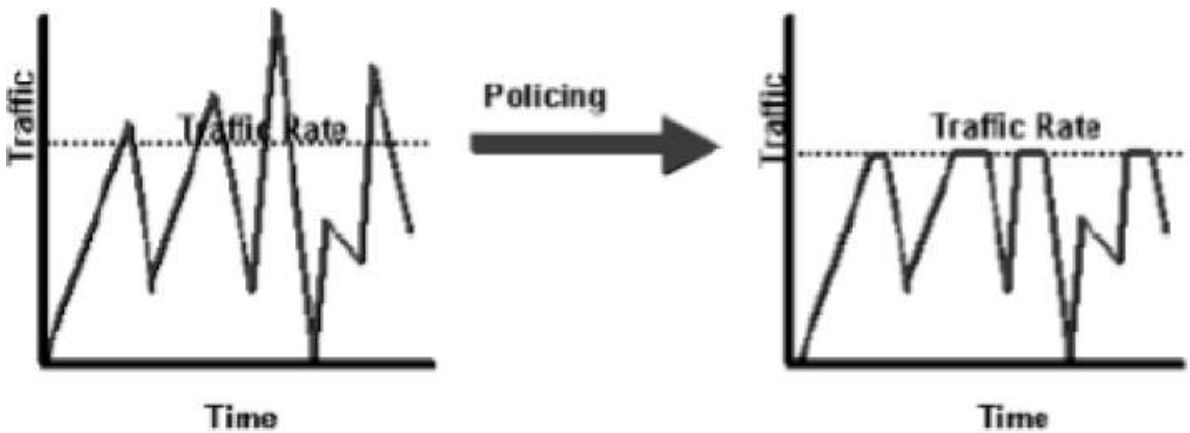
Для управління інтенсивністю переданого по мережі трафіку компанія Cisco Systems, визнаний лідер в області телекомунікацій, наразі рекомендує використовувати механізми Traffic Shaping (TS) і Traffic Policing (TP) [3].

Суть даних алгоритмів, як впливає з рис.1.9, полягає в наступному: TS згладжує трафік і пересилає його з постійною інтенсивністю (узгодженою

швидкістю передачі) шляхом постановки в чергу (буферизації) пакетів, інтенсивність передачі яких перевищила середнє значення; механізм TP у свою чергу просто відкидає пакети, інтенсивність яких вище узгодженої швидкості передачі.



а



б

Рисунок 1.9 – Принципи роботи механізмів обмеження трафіку: а – TS , б – TP

З одного боку, оскільки TS не допускає відкидання пакетів, це робить його привабливим для управління передачею інформації реального часу (голос, реальне відео). З іншого боку він вносить затримки, пов'язані з буферизацією, що негативно позначається на характеристиках переданого трафіку.

З розвитком напрямки самоподібності все більше з'являється робіт по передбачення інтенсивності трафіку [12-14]. Можливість здійснювати прогнози

впливає з властивості довгострокової пам'яті процесів і теоретично повинна забезпечити підвищення коефіцієнта використання каналу та загальної ефективності системи (рис. 1.10).

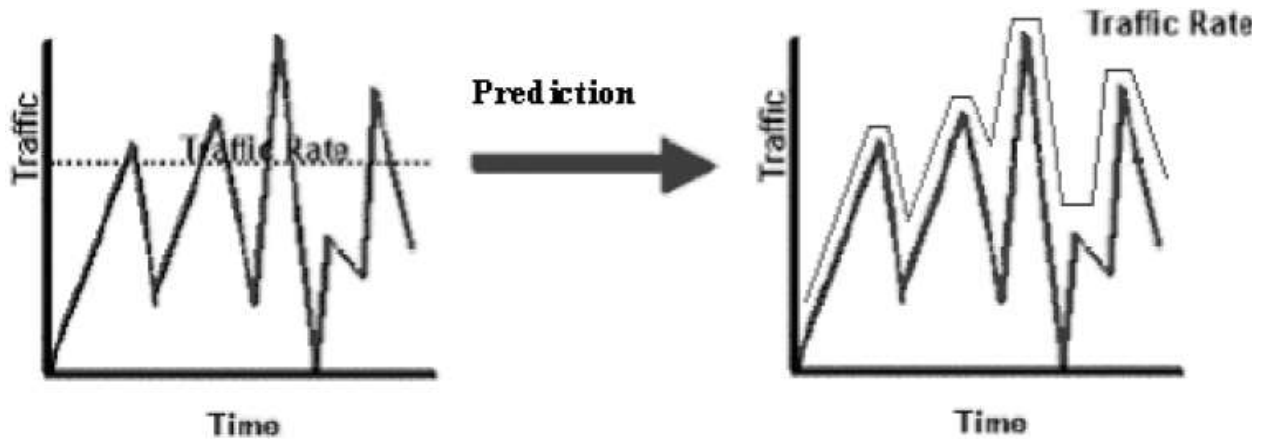


Рисунок 1.10 – Можливий варіант роботи алгоритму передбачення трафіку

1.2 Існуючі підходи передачі телекомунікаційного трафіку

Відомий спосіб розподілу пропускної здатності в супутникових мережах з передачею пакетного призначеного для користувача трафіку змінної швидкості, що враховує вимоги по часовій затримці і джиттеру передачі, запропонований у [15].

Згідно способу [15] весь заявлений до передачі в супутникових каналах мультимедійний трафік в залежності від вимог до якості передачі розділяється на інформаційні потоки (класи сервісу), чутливі до часової затримки (трафік реального часу: мова, відеоконференц-зв'язок), та інформаційні потоки, не критичні до часової затримки (трафік інтерактивних даних: передача файлів, доступ в інтернет, електронна пошта тощо). Спосіб передбачає резервування на закріпленій основі часових слотів від одного циклу до іншого для передачі трафіку реального часу з метою зменшення тривалості затримки і джиттеру. Для інтерактивного трафіку на кожному циклі проводиться призначення часових слотів, що залишилися після обслуговування запитів трафіку реального

часу. Основна увага в даному способі приділяється технічній реалізації алгоритму послідовного за класами сервісу призначення часових слотів (обґрунтування продуктивності, тактової частоти процесору, розрядність шини), що забезпечує скорочення часу, що витрачається на процедуру формування частотно-часового плану передачі (ВТР).

Недоліком способу розподілу пропускної здатності в супутникових мережах з передачею пакетного призначеного для користувача трафіку змінної швидкості [15] є резервування на закріпленій основі часових слотів від одного циклу до іншого, що не дозволяє досягти потенційно високої ефективності використання доступної пропускної здатності.

Відомий спосіб динамічного розподілу ресурсу в інтерактивних мережах супутникового зв'язку [16].

Згідно винаходу всі запити динамічного резервування, що поступають на центральну станцію (ЦС) від супутникових терміналів, класифікуються за типами сервісу на основі величини запитуваної швидкості, обсягу переданих даних, рівня вимог до якості передачі трафіку тощо. Пристрій динамічного планування ЦС відповідно до класу запитів послідовно розподіляє наявний в поточному циклі частотно-часовий ресурс. Виділення ресурсу пропускної здатності проводиться частотно-часовими блоками фіксованого обсягу $[\Delta F \cdot \Delta t]$, де ΔF – частотна смуга, відповідна мінімальній символній швидкості, Δt – тривалість часового слоту.

Недоліком способу динамічного розподілу ресурсу в інтерактивних мережах супутникового зв'язку [16] є виділення пропускної здатності тільки блоками фіксованої довжини, що не дозволяє досягти потенційно високу ефективність використання доступної пропускної здатності.

Також відомий спосіб динамічного розподілу ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мультимедійній мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу [17].

Згідно способу [17] супутникові інтерактивні термінали здійснюють формування запитів динамічного резервування часових слотів на тривалості

чергового циклу передачі, відправляють сформовані запити на центральну станцію мережі. Центральна станція перераховує запитуваний терміналом обсяг пропускної здатності в кількість часових слотів, які виділяються терміналам на тривалості чергового циклу передачі.

Недоліком способу динамічного розподілу ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мультимедійної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу [17] є досягнення високої ефективності розподілу ресурсу пропускної здатності тільки в умовах перевантаження по трафіку, що не дозволяє досягти потенційно високу ефективність використання доступної пропускної здатності.

Найбільш близьким за технічною сутністю до розробленого в наступному розділі підходу є спосіб динамічного резервування і розподілу пропускної здатності каналів в супутниковій мережі [18].

Сутність даного способу полягає в наступному.

Для кожного активного супутникового терміналу змінюють швидкість трафіку пакетних даних, що надходить, й заповненість вхідного буферу супутникового терміналу, визначають оптимальне значення рівня квантилю для прогнозних значень швидкості надходження пакетних даних в буфер супутникового терміналу на один, два і три цикли передачі вперед, формують запит динамічного резервування пропускної здатності з урахуванням вимог QoS, виходячи з заповненості вхідного буфера і сформованих на попередніх циклах передачі запитах, а також даних прогнозу швидкості надходження пакетного трафіку, виконаного з урахуванням рівня квантилю, що характеризує надмірність резервування, відправляють сформовані запити на центральну станцію мережі, центральна станція перераховує запитуваний терміналом обсяг пропускної здатності в кількість часових слотів, які виділяються терміналам.

При цьому в кожному активному супутниковому терміналі виконують класифікацію трафіку по дисципліні обслуговування і типу резервування (CRA, RBDC, VBDC).

Для початкових запитів визначають довгостроковий статистичний профіль агрегованого трафіку, що надходить, визначають короткостроковий статистичний профіль агрегованого трафіку, визначають параметри вимірювання вибіркового середнього і вибіркової дисперсії бітової швидкості призначеного для користувача трафіку, що надходить, а саме період вимірювання, величину кроку квантування діапазону значень швидкості, вимірюють на обраному періоді вибіркоче середнє і вибіркочу дисперсію швидкості призначеного для користувача трафіку, що надходить.

Визначають параметри прогнозованої динаміки умовного середнього і дисперсії умовного середнього бітової швидкості, а саме коефіцієнти регресії і змінного середнього, виходячи з короткострокового статистичного профілю трафіку, очікуваного часу інерційності резервування і розподілу, прогнозують значення умовного середнього і дисперсії умовного середнього бітової швидкості трафіку, що надходить на вхід супутникового терміналу.

Формують і відправляють на центральну станцію запит на виділення пропускної здатності з інформацією про прогнозований статистичний профіль трафіку і параметри резервування. На центральній станції, враховуючи статистичні профілі трафіку, формують частотно-часовий план передачі, визначають оптимальне значення тривалості часових слотів для супутникових каналів мережі на один цикл передачі, відправляють терміналам частотно-часові плани.

Можливість реалізації заявленого способу і пристрою пояснюється наступним чином.

Загальнодоступний частотно-часовий ресурс зворотних каналів супутникового мережі, розділений на цикли передачі (суперкадри) 10, кожен з яких в свою чергу розділений на кадри 11 (рис. 1.11).

Кожен кадр 11 і 14 (рис. 1.11) займає сукупність частотних смуг $\Delta f_{s1}, \Delta f_{s2}, \Delta f_{s3}$, відповідних символній швидкості передачі, і обмежений за часом фіксованою тривалістю, розділеної часовими слотами 12, 15. Кількість

часових слотів в циклі передачі, на позиціях яких передаються дані з інформаційної бітової швидкістю, визначає потенційний ресурс пропускної здатності мережі.

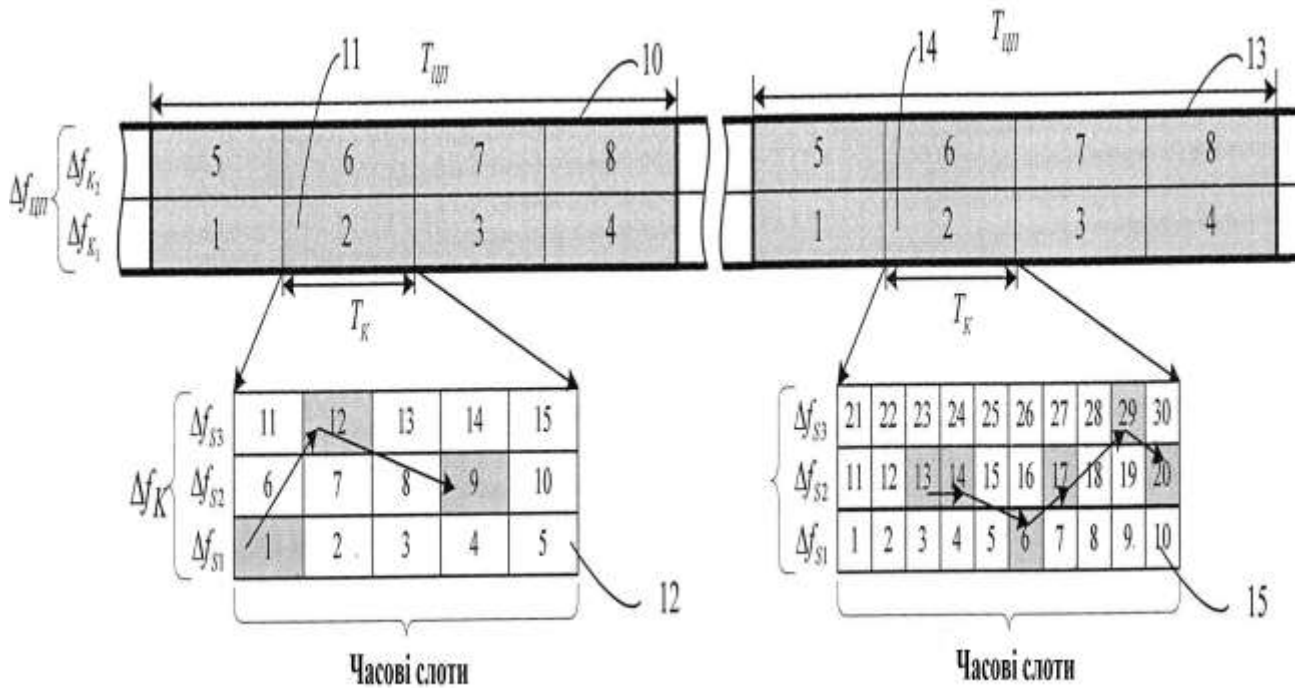


Рисунок 1.11 – Частотно-часова структура циклу передачі

Наприклад, в представленій на рис. 1.11 структурі, цикл передачі 10 складається з 8 кадрів 11, в кожному з яких розташовуються 15 часових слотів 12. Інформаційна швидкість передачі на тривалості одного часового слоту дорівнює 32 кбіт/с. В цьому випадку ресурс пропускної здатності мережі становить $8 \cdot 15 \cdot 32 = 3840$ кбіт/с. Цикл передачі 13 складається з 8 кадрів 14, в кожному з яких розташовуються 30 часових слотів. Інформаційна швидкість передачі на тривалості одного часового слоту дорівнює 16 кбіт/с. Ресурс пропускної здатності мережі становить $8 \cdot 30 \cdot 16 = 3840$ кбіт/с. Кількість часових слотів в кадрі визначається центральною станцією. Залежно від отриманих від супутникових терміналів статистичних профілів трафіку, центральна станція визначає оптимальний розмір часових слотів, кількість яких в різних циклах передачі може відрізнятися.

Для отримання доступу до ресурсу пропускної здатності чергового циклу передачі супутниковий термінал проходить процедуру реєстрації, що включає етапи ініціалізації терміналу, синхронізації за частотою, циклової і тактової синхронізації.

Для передачі запитів динамічного резервування на виділення часових слотів чергового циклу передачі використовуються тимчасові позиції слотів загальноканалної сигналізації (CSC), що розподіляються між активними терміналами на основі випадкового (S-ALOHA) доступу.

Після обробки запитів ЦС визначає оптимальну кількість часових слотів в циклі передачі, виходячи з отриманих статистичних профілів трафіку, розподіляє і призначає кожному СТ необхідну кількість трафікових часових слотів відповідно до прийнятого запиту динамічного резервування пропускної здатності.

Дані про виділення ЦС радіоресурсу для роботи супутникових терміналів (смуга частот, номер несучої, часові інтервали для передачі слотів) передаються у вигляді додаткових таблиць сервісної інформації: складу циклу передачі, складу кадру, структури часових слотів, повідомлень про корекцію, термінальних інформаційних повідомлень, часового плану передачі пакетів терміналом.

В межах кадру супутникового терміналу можуть бути виділені будь-які трафікові часові слоти. Наприклад, на рис. 1.11, стрілками показана послідовність виділення часових слотів для одного терміналу, спочатку слот 1 в смузі частот Δf_{S1} , потім слот 12 в смузі частот Δf_{S3} і слот 9 в смузі частот Δf_{S2} . Для циклу передачі 23 послідовність виділення часових слотів в кадрі 24 для одного терміналу: спочатку слот 13, потім 14 в смузі частот Δf_{S2} , потім слот 6 в смузі частот Δf_{S1} , далі слот 17 в смузі частот Δf_{S2} слот 29 в смузі частот Δf_{S3} і слот 20 в смузі частот Δf_{S2} .

Відповідно до способу динамічного резервування пропускної здатності (рис. 1.12), на тривалості чергового k -го циклу передачі, оцінюють кількість активних супутникових терміналів в мережі I (етап 2).

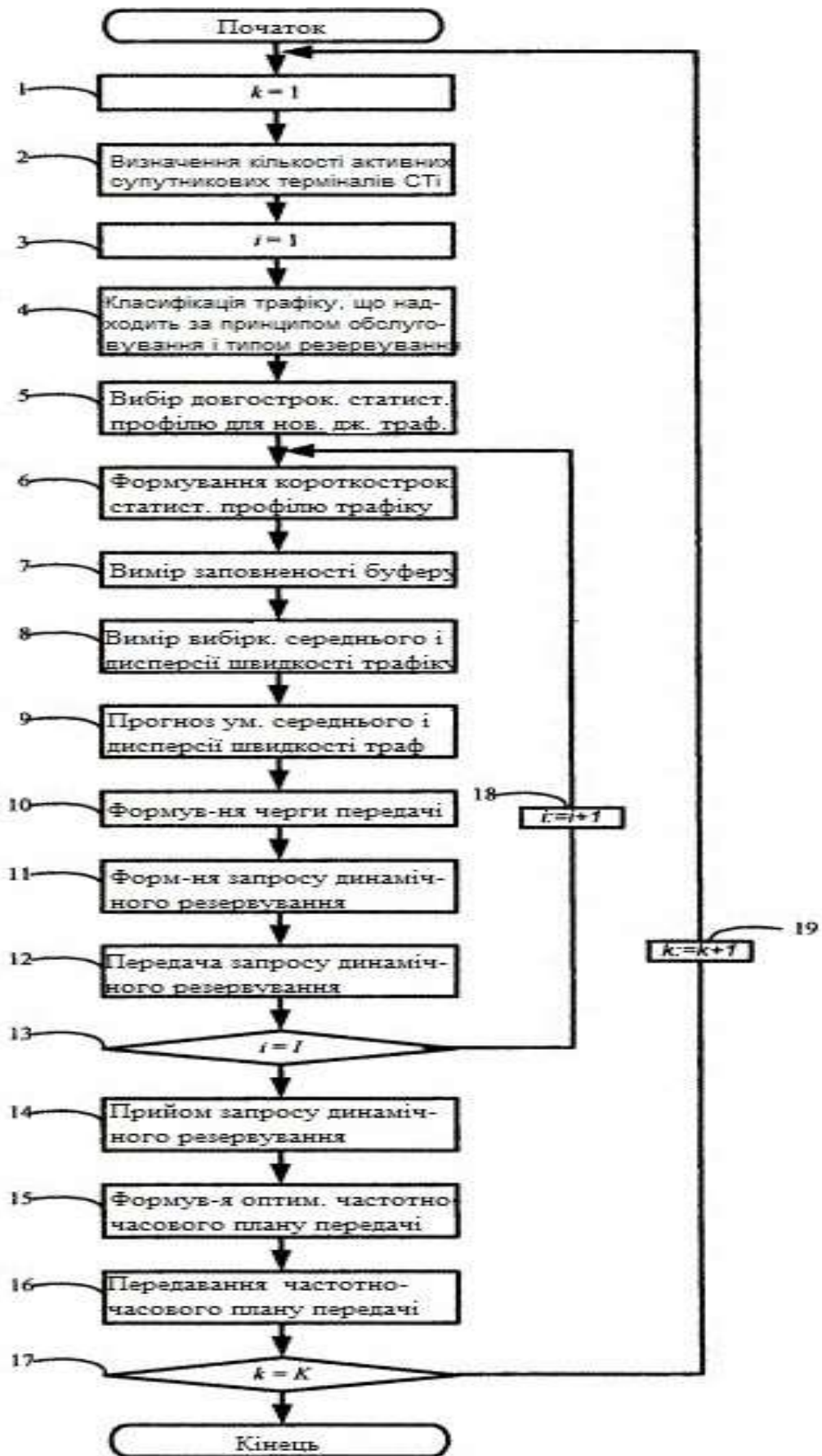


Рисунок 1.12 – Блок-схема алгоритму резервування і розподілу пропускної здатності каналів мережі супутникового зв'язку;

На етапі 4 (рис. 1.12) в кожному активному супутниковому терміналі записують пакетну інформацію, що надходить, в осередки пам'яті вхідного регістра зсуву, після чого зчитують з відповідних розрядів регістра другий байт заголовка протоколу IP (RFC 791), що містить інформацію про тип обслуговування пакету. Далі байт типу обслуговування пакету перетворюють в адреса буфера передачі, після чого отриманий пакет зчитують з регістра зсуву і записують його в буфер передачі за отриманою адресою.

На етапі 5 (рис. 1.12) обирають довгостроковий статистичний профіль агрегованого трафіку. Для агрегованого трафіку від типової конфігурації кінцевого обладнання, що надходить на вхід супутникового терміналу, вибирають відповідний довгостроковий статистичний профіль трафіку.

Довгостроковий статистичний профіль трафіку пакетної інформації являє собою заздалегідь відому гістограму щільності розподілу ймовірності бітової швидкості, заздалегідь певні кореляційні та спектральні властивості процесу зміни бітової швидкості і обчислені заздалегідь моменти випадкової величини, такі як математичне очікування, дисперсія бітової швидкості. Крім того, довгостроковий статистичний профіль трафіку містить заздалегідь обчислені оптимальні параметри вимірювання та прогнозування умовної середньої швидкості для типової конфігурації кінцевого обладнання. Безліч довгострокових статистичних профілів трафіку у вигляді таблиць з даними зберігається в осередках пам'яті постійного запам'ятовувального пристрою.

Довгостроковий статистичний профіль трафіку, відповідний конфігурації кінцевого обладнання, зчитують з осередків пам'яті постійного запам'ятовувального пристрою і записують в осередку оперативної пам'яті. Крім того, виходячи із заданих в довгостроковому статистичному профілі оптимальних параметрах для вимірювання вибіркового середнього і вибіркової дисперсії бітової швидкості (період усереднення, величина кроку розбиття діапазону значень швидкості) і для прогнозування (коефіцієнт регресії і змінного середнього), формують оптимальні керуючі команди.

На етапі 6 (рис. 1.12) визначають короткостроковий статистичний профіль трафіку джерела пакетної інформації, який представляє собою аналогічну довгостроковому статистичному профілю трафіку гістограму щільності розподілу ймовірності швидкості і обчислені моменти випадкової величини, змінені відповідно до динаміки надходження пакетної інформації на вхід супутникового терміналу. Визначення короткострокового статистичного профілю трафіку виконують в процесі надходження пакетних даних на вхід буферу передачі супутникового терміналу.

На етапі 7 (рис. 1.12) вимірюють заповненість буферу передачі супутникового терміналу, результатом чого є визначення кількості бітів інформації, що знаходяться в буфері передачі в даний момент.

На інтервалі часу вимірювання, визначеному в довгостроковому статистичному профілі трафіку, відбувається вимір вибіркової середньої швидкості (етап 8 (рис. 1.12)) трафіку пакетних даних, що надходить в супутниковий термінал, шляхом підрахунку кількості бітів, які надійшли в буфер передачі супутникового терміналу по кожному пакету і міжпакетну тривалість.

Вимірювання вибіркової дисперсії бітової швидкості на етапі 8 (рис. 1.12) відбувається шляхом визначення квадрату середньоквадратичного відхилення вимірних значень бітової швидкості трафіку по пакетах відносно виміряного вибіркового середнього на тактовому інтервалі.

Для виконання процедури прогнозування умовного середнього і дисперсії умовного середнього швидкості (етап 9 (рис. 1.12)) використовують заздалегідь заданий час інерційності резервування, що виступає в якості горизонту прогнозування. Результатом прогнозування умовного середнього і дисперсії умовної середньої швидкості трафіку є їх очікувані значення до моменту отримання плану розподілу пропускної здатності.

Виходячи з певних на етапі 10 (рис. 1.12) класів обслуговування і типу резервування в кожному активному супутниковому терміналі, формують чергу передачі, відповідно до якої пропускна здатність в першу чергу надається

найбільш високому класу обслуговування і так далі, по зниженню класу обслуговування.

На етапі 11 (рис. 1.12), виходячи з виміряного значення заповнювання буферу передачі (етап 7), сформованого на етапі 6 короткострокового статистичного профілю трафіку, виміряного значення вибіркового середнього і вибіркової дисперсії швидкості (етап 8) і прогнозного значення умовного середнього і дисперсії умовного середнього швидкості (етап 9), формують запит на виділення пропускної здатності

$$R_{req}(kT_{СК}) = \frac{Q(kT_{ЦП})}{T_{ЦП}} + \tilde{R}_b (kT_{ЦП} + \tau_{RTD}), \quad (1.37)$$

де $R_{req}(kT_{СК})$ – запитувана терміналом швидкість на кроці k , $Q(kT_{ЦП})$ – виміряне значення заповнювання буфера передачі на кроці k , $T_{ЦП}$ – період циклу передачі, τ_{RTD} – час затримки, \tilde{R}_b – значення бітової швидкості надходження трафіку в буфер супутникового терміналу, що є таким, який обчислюється за функцією прогнозованого умовного середнього і дисперсії умовного середнього швидкості.

Отримане значення $R_{req}(kT_{ЦП})$ передається по зворотному супутниковому каналу через ретранслятор зв'язку на центральну станцію (етап 12 на рис. 1.12).

Центральна станція отримує від усіх супутникових терміналів запити на виділення пропускної здатності і параметри статистичного профілю трафіку ($M[R_b]$, $D[R_b]$) (етап 14) і визначає оптимальну величину часового слоту (етап 15).

На етапі 15 (рис. 1.12) центральна станція формує оптимальний частотно-часовий план передачі для мережі і передає на термінали частотно-часові плани із зазначенням розміру часового слоту і дозволених для передачі номерів часових слотів по прямому каналу (етап 16).

Визначення кількості часових вікон, яке буде виділено кожному супутниковому терміналу визначають за відомим алгоритмом. В якості цільової

функції використовують залежність показника якості передачі трафіку від кількості виділених часових слотів.

Послідовність дій повторюється для кожного i -го супутникового терміналу в кожному k -му циклі передачі.

Спосіб динамічного резервування і розподілу пропускної здатності каналів в супутниковій мережі [18] має такі недоліки.

1. Не використовують фрактальний аналіз пульсуючої структури телекомунікаційного трафіку.

2. Не застосовують імітаційне моделювання для передбачення виникнення перевантаження.

У способі не враховують фрактальність телекомунікаційного трафіку, й він, відповідно, не здатний забезпечити якість обслуговування при сильних пульсаціях.

Також в способі прототипі не проводять визначення розміру черги на перспективу за допомогою імітаційного моделювання, що не дозволяє механізмам забезпечення якості обслуговування завчасно відкоригувати параметри обслуговуючого пристрою.

1.3 Висновок. Постановка задачі

В розділі проаналізовано основні положення теорії фракталів і самоподібних процесів. Встановлено, що при функціонуванні телекомунікаційних мереж для забезпеченні якості обслуговування необхідно враховувати фрактальну природу телекомунікаційного трафіку.

В розділі проаналізовано існуючі підходи передачі телекомунікаційного трафіку. Встановлено, що відомий спосіб динамічного резервування і розподілу пропускної здатності каналів має такі недоліки: у ньому не враховують фрактальність телекомунікаційного трафіку, й він, відповідно, не здатний забезпечити якість обслуговування при сильних пульсаціях.

Також в способі прототипі не проводять визначення розміру черги на перспективу за допомогою імітаційного моделювання, що не дозволяє механізмам забезпечення якості обслуговування завчасно відкоригувати параметри обслуговуючого пристрою.

Таким чином, для усунення недоліків існуючих способів необхідно:

- запропонувати підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста;
- оцінити ефективність розробленого підходу.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста

Запропонований підхід відноситься до галузі управління потоком або управління перевантаженням каналів зв'язку і може бути використаний для забезпечення вимог якості обслуговування (QoS) при передачі фрактального телекомунікаційного IP трафіку.

Технічний результат полягає в підвищенні якості обслуговування телекомунікаційного трафіку за допомогою визначення оптимальних параметрів черг обслуговуючого пристрою, профілю трафіку і фактичного розміру черги на перспективу з використанням математичного та імітаційного моделювання. Для цього в режимі реального часу проводять обчислення оптимальних значень параметрів маршрутизатора, які відповідають за забезпечення якості обслуговування, час процесора, що виділяється, і розмір буфера, на підставі моделей обслуговування самоподібного телекомунікаційного трафіку, після аналізу заходів фрактальності і визначення реальних значень показників за допомогою імітаційного моделювання.

Здатність розробленого підходу працювати з усіма типами трафіку незалежно від використовуваного середовища передачі дозволяє використовувати його в будь-яких пакетних IP системах передачі даних.

Функціональна схема запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста представлена на рис. 2.1.

На рис. 2.1 введені такі позначення:

- 1 – середовище поширення;
- 2 – вхідний трафік;
- 3 – передавач;
- 4 – модем;

- 5 – маршрутизатор;
- 6 – інтерфейс оператора;
- 7 – сніфер;
- 8 – генератор трафіку;
- 9 – аналізатор фрактальності;
- 10 – блок імітаційного моделювання;
- 11 – блок математичного моделювання.

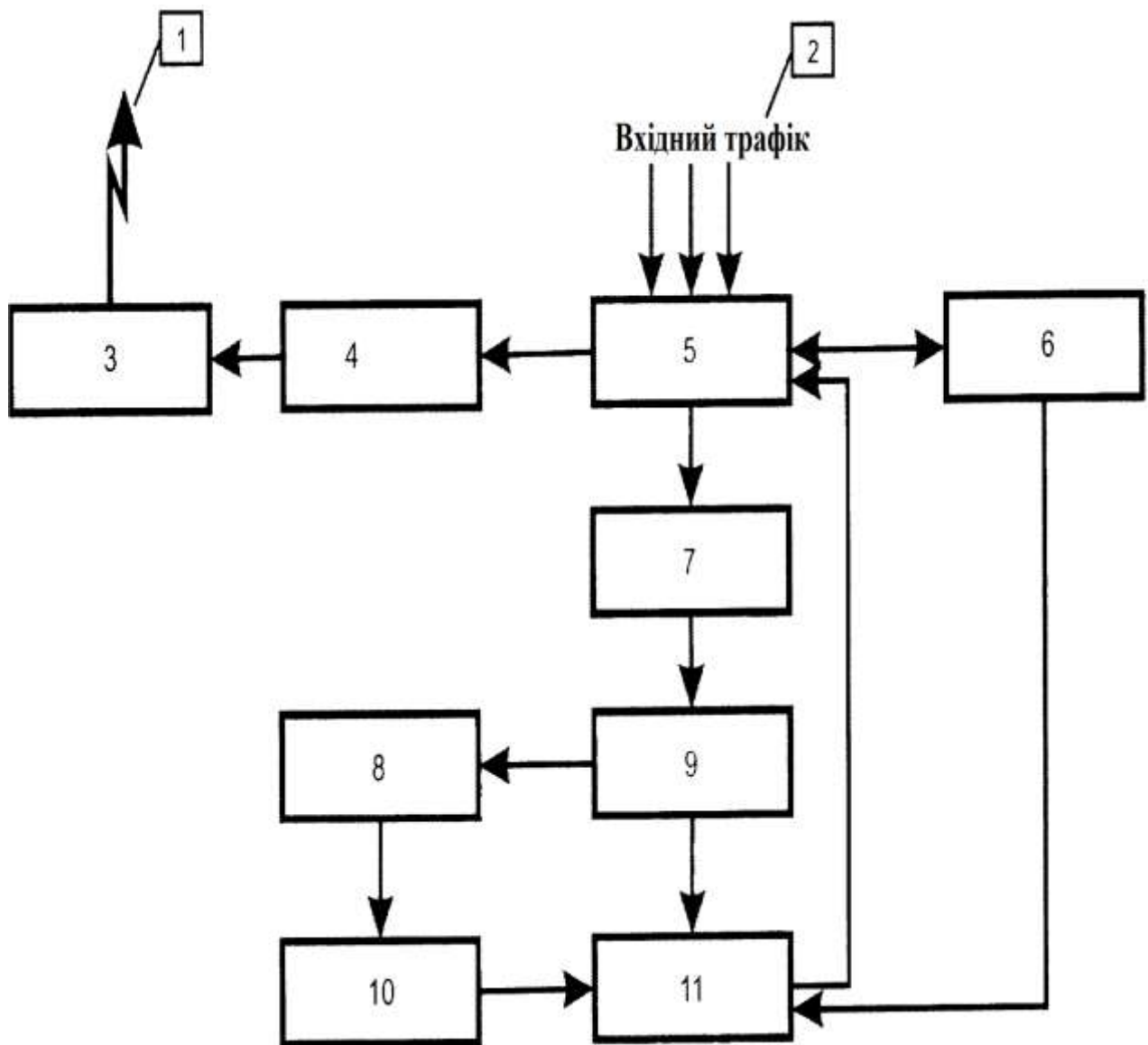


Рис. 2.1 – Функціональна схема запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку

Для вирішення мети роботи запропоновано підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку, що полягає в наступному (рис. 2.1).

З інтерфейсу оператора 6 вводять в блок математичного моделювання необхідні значення показників якості обслуговування для черг з різним пріоритетом.

Через інтерфейс оператора конфігурують маршрутизатор, при цьому визначають пріоритети для різних потоків і встановлюють для них поточні значення розміру буфера і інтенсивності обслуговування, які коригують надалі з блоку математичного моделювання в автоматичному режимі.

До одного з виходів маршрутизатора 5 підключають сніфер 7.

Сніфер 7, який є комп'ютером з встановленим на ньому спеціальним програмним забезпеченням, збирає дані про вхідний трафік 2 маршрутизатора 5 (час приходу пакету, клас пріоритету, розмір пакета).

Дані про вхідному трафіку зі сніфера 7 передають на аналізатор фрактальності 9. Функціонал даного блоку реалізують спеціалізованим програмним забезпеченням [19]. Аналіз телекомунікаційного трафіку проводиться наступним чином.

Крок 1. Формують таблиці даних про вхідні пакети. На даному етапі програмно здійснюють зняття інформації про трафік сніфером 7.

Крок 2. Агрегація трафіку. На даному етапі проводять агрегування трафіку, необхідне для роботи методів визначення показника Херста H і визначення форми розподілу вхідного потоку.

Крок 3. Визначають показник Херста H різними методами. Показник Херста визначають трьома методами: нормованого розмаху; індексу дисперсії для відліків; графіку зміни дисперсії. Для отримання чисельних значень, отримані в використаних методах залежності апроксимують за методом найменших квадратів.

Крок 4. Визначають результуючий показник Херста як середнє трьох методів.

Отримане значення міри фрактальності H передають на блок математичного моделювання 11 і генератор трафіку 8.

У блоці математичного моделювання 11 здійснюють обчислення параметрів черг для кожного типу трафіку відповідно до моделей обслуговування фрактального телекомунікаційного трафіку [20]. Використані математичні моделі дозволяють обчислювати значення показників якості обслуговування через значення показника Херста.

Показник Херста H у свою чергу обчислюють наступними відомими методами з подальшим усередненням суми отриманих значень:

1. Графік зміни дисперсії;
2. R/S-статистика

$$\frac{R}{S} = \frac{\max_{1 \leq j \leq N} \left[\sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right] - \min_{1 \leq j \leq N} \left[\sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right]}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_k - M(N))^2}} \quad (2.1)$$

$$M(N) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j$$

У виразі (2.1) $M(N)$ і являє собою вибіркове середнє за період

часу N . При побудові графіка $\log \left[\frac{R}{S} \right]$ від N в логарифмічному масштабі, після апроксимації за методом найменших квадратів, отримують пряму лінію з нахилом H .

$$3. \text{ Індекс дисперсії для відліків} \quad IDO(t) = \frac{\sigma^2 \{A_t\}}{M \{A_t\}}.$$

Для визначення показника Херста отримані залежності апроксимують за методом найменших квадратів.

На генератор трафіку 8 передають від аналізатора фрактальності 9 поточне значення показника Херста, проводять генерування телекомунікаційного трафіку з розподілом обсягу даних відповідним такому, що поступає на вхід.

При генеруванні використовують функцію зворотну функції розподілу Парето і датчик випадкових чисел рівномірно розподілених від 0 до 1.

Згенерований трафік подають на блок імітаційного моделювання 10, де виконують прискорену імітацію роботи маршрутизатора 5. Прискорену імітацію роботи проводять за рахунок невиконання операцій по модуляції і кодуванню, які при реальній обробці проводять в модемі 4 і передавачі 3.

Прискорення імітації роботи маршрутизатора, з огляду на те що швидкості вхідного і вихідного інтерфейсу обмежені продуктивністю електронної обчислювальної машини (ЕОМ), проводять за рахунок максимального використання ресурсів процесора ЕОМ.

В процесі роботи імітаційної моделі визначають реальні значення показників якості обслуговування (затримка, варіація затримки, ймовірність відмови в обслуговуванні) на перспективу і передають їх на блок математичного моделювання 11, в якому порівнюють з вимогами до QoS і при необхідності корегують параметри математичної моделі.

В блоці математичного моделювання 11 здійснюють визначення оптимальних параметрів черг на підставі моделей обслуговування фрактального трафіку і виробляють їх коригування в маршрутизаторі 5.

Маршрутизатор 5 завдяки отриманим від блоку математичного моделювання налаштувань обробляє трафік з урахуванням виконання вимог до якості обслуговування, і формує потік даних на вході модему 4.

Модем 4 з'єднують з передавачем 3 в якому формують сигнали, що передаються через середовище поширення 1.

«Промислова придатність» способу обумовлена наявністю можливості реалізувати його на штатних ЕОМ, шляхом установки додаткового програмного забезпечення і з'єднання їх по Ethernet з маршрутизатором вузла.

Зіставлення запропонованого підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста з існуючим [18] показує, що запропонований підхід істотно відрізняється від існуючого.

Загальні ознаки запропонованого підходу і існуючого:

1. Використовують математичне обчислення параметрів, які характеризують розподіл обсягу даних вхідного потоку.
2. Використовують стандартні методи забезпечення якості обслуговування (резервування, профілювання, формування).
3. Отримують поточні статистичні характеристики вхідного телекомунікаційного трафіку.

Відмінні ознаки запропонованого підходу.

1. Використовують імітаційне моделювання, яке дозволяє передбачити появи перевантаження в разі некоректної роботи використовуваної математичної моделі.
2. Використовують в якості моделі надходження і обслуговування пакетів розподіл Парето.
3. Використовують як параметр розподілу показник Херста, який характеризує міру фрактальності, тобто виявляє міру пульсацій.

Розроблений підхід дозволяє розподілити пропускну здатність УК таким чином, щоб забезпечити виконання вимог якості обслуговування до середнього часу затримки, відповідно до самоподібної структури кожного пріоритетного потоку.

2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку

Оцінка ефективності запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста проводилась в середовищі Matlab / Simulink. Вихідні дані для моделювання представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Вихідні дані для оцінки ефективності запропонованого підходу передачі фрактального телекомунікаційного трафіку

№ п/п	Найменування параметру	Значення			Одиниці виміру
		1 черга	2 черга	3 черга	
1.	λ – інтенсивність вхідного потоку пакетів	500	1300	700	пакетів/с
2.	$P_{\text{відм}}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні	0,001			-
3.	$t_{\text{пп}}$ – час перебування пакета у черзі	0,1	0,4	1	с
4.	$\sigma_{\text{пп}}$ – варіація затримки (джиттер)	50		нн	мс
5.	M_{max} – загальна інтенсивність обслуговування	3000			пакетів/с
6.	K_{max} – максимальний розмір буферу	не обмежений			
7.	H – показник Херста	0,5 - 1			-
8.	V – кількість обслуговуючих приладів на чергу	1			шт.
9.	X_{min} – мінімальне число пакетів у пачці	1			шт.
10.	X_{max} – максимальне число пакетів у пачці	500	1300	700	шт.
11.	C_b^2 – квадратичний коефіцієнт варіації часу обслуговування (розмір пакету)	1			-

На рис. 2.2 представлені результати моделювання роботи маршрутизатора при обслуговуванні самоподібного телекомунікаційного трафіку з використанням відомого способу динамічного резервування і розподілу пропускної здатності каналів [18].

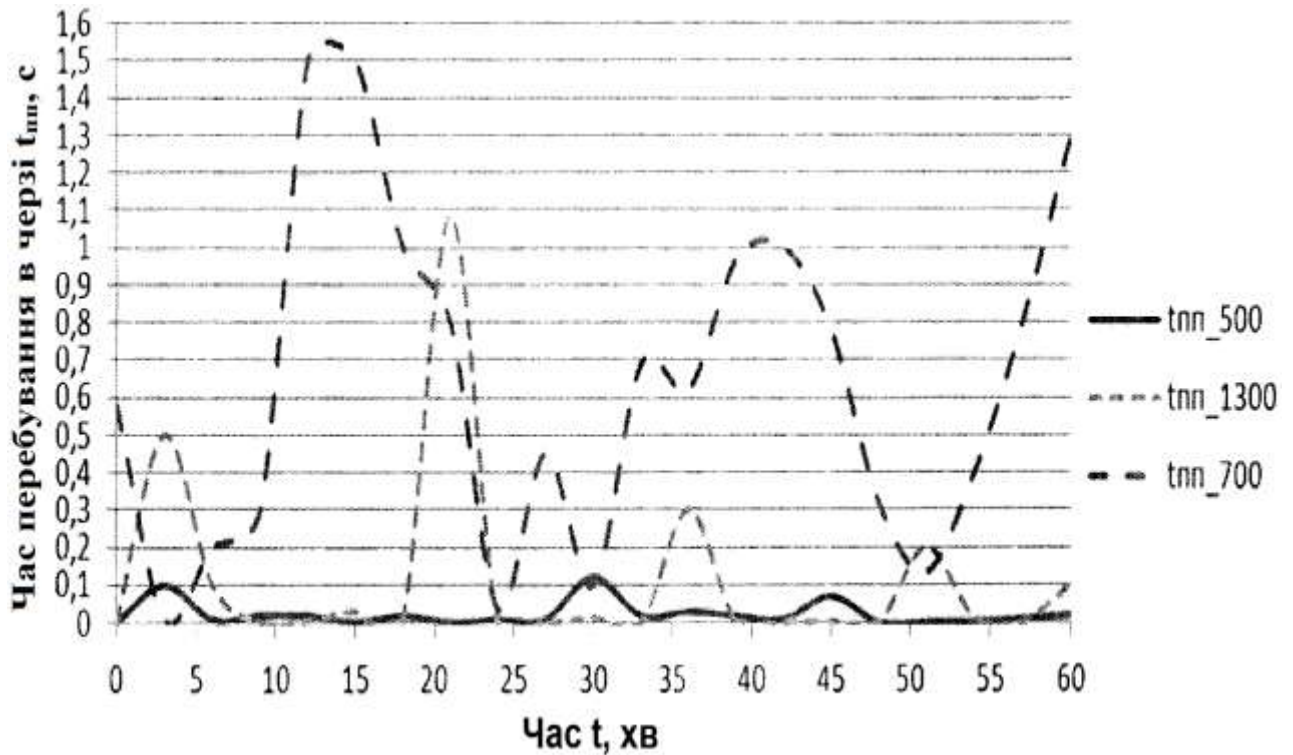


Рис. 2.2 – Результати моделювання роботи маршрутизатора при обслуговуванні телекомунікаційного трафіку з використанням відомого способу

На рис. 2.3 представлені результати моделювання роботи маршрутизатора при обслуговуванні самоподібного телекомунікаційного трафіку з використанням запропонованого в розділі 2.1 підходу передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста.

В табл. 2.2 представлені результати моделювання роботи маршрутизатора при обслуговуванні самоподібного телекомунікаційного трафіку з використанням відомого способу [18] і запропонованого в розділі 2.1 підходу передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста.

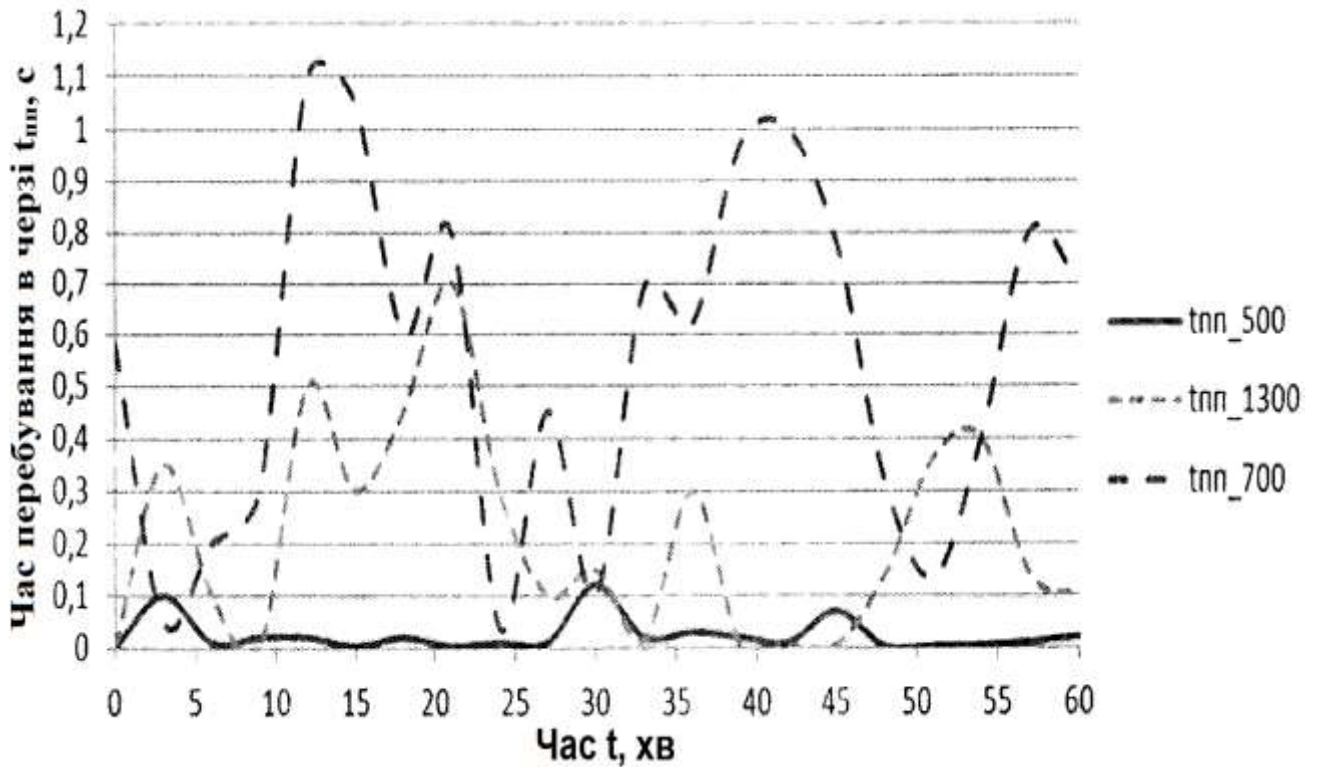


Рис. 2.3 – Результати моделювання роботи маршрутизатора при обслуговуванні телекомунікаційного трафіку з використанням запропонованого підходу

Таблиця 2.2. Максимальні значення показників якості обслуговування при оптимізації відомим і розробленим підходом

Час перебування у черзі, с		Варіація часу перебування в черзі, с		Ймовірність відмови в обслуговуванні	
відомий підхід	розроблений підхід	відомий підхід	розроблений підхід	відомий підхід	розроблений підхід
0,28	0,25	87	80	0,032	0,029

Порівняння графіків на рис. 2.2 і 2.3 дозволяє зробити висновок про те, що величина затримки (час перебування пакета у черзі) приймає менші значення при використанні розробленого підходу (рис. 2.3), на відміну від відомого (рис. 2.2), та при одних й тих же початкових умовах (таблиця 2.1).

Аналіз даних з таблиці 2.2 показує, що використання розробленого підходу дозволяє, на відміну від відомого:

- зменшити час перебування в черзі на 0,03 с або на 10%;
- зменшити варіацію часу перебування в черзі на 7 с або на 8,04%;
- зменшити ймовірність відмови в обслуговуванні на 0,003 або на 9,37%.

Таким чином, мета роботи щодо підвищення якості обслуговування досягнута.

2.3 Висновки

В розділі запропоновано підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку, що полягає в наступному. В режимі реального часу виробляють обчислення оптимальних значень параметрів маршрутизатора, які відповідають за забезпечення якості обслуговування, час, що виділяється, процесору і розмір буферу [21].

Підхід відрізняється тим, що:

- сніфером зчитують параметри телекомунікаційного трафіку і формують таблиці даних про час приходу пакету, адресу відправника та розмір пакету;
- в аналізаторі фрактальності виробляють визначення показника Херста;
- обчислюють оптимальні значення обсягу буферу і інтенсивності обслуговування для кожної черги в маршрутизаторі, при цьому використовують моделі обслуговування самоподібного телекомунікаційного трафіку;
- проводять імітаційне моделювання роботи маршрутизатора в прискореному режимі при обробці згенерованого трафіку з показником Херста, відповідним виміряному;
- порівнюють показники якості обслуговування, які отримані в імітаційній моделі, із заданими як необхідні оператором;

- корегують параметри черг для кожного типу трафіку і математичної моделі обслуговування фрактального трафіку, що обчислює значення показників якості обслуговування через значення показника Херста;

- змінюють параметри маршрутизатора на основі отриманих математичною моделлю значень обсягу буфера і інтенсивності обслуговування.

Шляхом моделювання встановлено, що величина затримки (час перебування пакета у черзі) приймає менші значення при використанні розробленого підходу, на відміну від відомого, при одних й тих же початкових умовах.

Встановлено, що використання розробленого підходу дозволяє, на відміну від відомого:

- зменшити час перебування в черзі на 0,03 с або на 10%;
- зменшити варіацію часу перебування в черзі на 7 с або на 8,04%;
- зменшити ймовірність відмови в обслуговуванні на 0,003 або на 9,37%.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення трудомісткості розробки підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку

Трудомісткість – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції. Трудомісткість розробки підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста можливо розрахувати за формулою (3.1):

$$t = t_0 + t_{ан} + t_{дн} + t_{роз} + t_{оц} + t_{п} \quad (3.1)$$

де t_0 – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_{до}$ – витрати праці на дослідження основних положень теорії фракталів і самоподібних процесів;

$t_{ан}$ – витрати праці на аналіз існуючі підходи передачі телекомунікаційного трафіку;

$t_{роз}$ – витрати праці на розробку підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста;

$t_{оц}$ – витрати праці на оцінку ефективності запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку;

$t_{п}$ – витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення.

У таблиці 3.1 представлено зведені данні тривалості процесів, що мали місце при розробці підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста.

Таблиця 3.1 – Тривалість робочих процесів

Назва робочого процесу	Тривалість, год.
Витрати праці на підготовку і опис поставленого	3

завдання	
Витрати праці на дослідження основних положень теорії фракталів і самоподібних процесів	15
Витрати праці на аналіз існуючі підходи передачі телекомунікаційного трафіку	17
Витрати праці на розробку підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста	45
Витрати праці на оцінку ефективності запропонованого підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку	23
Витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення	20

Отже, загальна трудомісткість за формулою 3.1:

$$t = 3 + 15 + 17 + 45 + 23 + 20 = 123 \text{ години.}$$

3.2 Розрахунок витрат на розробку підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста

Витрати на розробку підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста включають витрати на заробітну плату інженера телекомунікацій і вартість машинного часу. Заробітна плата – це винагорода, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівнику за виконану роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та

господарської діяльності підприємства в цілому. Заробітна плата інженера телекомунікацій визначається за формулою 3.2:

$$Z_{\text{зп}} = t \times \text{Спр, год.} \quad (3.2)$$

де t – загальна трудомісткість розробки, яка розраховується за формулою 3.1, годин;

Спр – середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій (основна і додаткова) з урахуванням єдиного соціального внеску, грн./год.

Середня заробітна плата інженера телекомунікацій на 01.04.2019р. складає 9160 грн. Отже, заробітна плата інженера телекомунікацій з урахуванням премій (22%) і можливих надбавок (15%) складає 12549,2 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 150590,4 грн. Єдиний соціальний внесок складає 36%, тобто 54212,54 грн.

Річний фонд заробітної плати включає: фонд денної зарплати; оплату відпусток; оплату часу, витраченого на виконання держобов'язків; виплати відрядженим на інші підприємства; оплату за вислугу років та ін. Разом, річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби склав 204802,94 грн.

Номінальний річний фонд часу роботи одного робітника визначається відніманням з повного календарного фонду часу за рік неробочих (вихідних і святкових) днів, відпустки. Він є максимально можливим часом, протягом якого могла б вироблятися робота при встановленому режимі, якби не було жодних втрат робочого часу.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу за формулою 3.3, при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_n = (T_k - T_{\text{св}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{від}}) \cdot 8 \text{ год,} \quad (3.3)$$

де T_k – кількість календарних днів у році, $T_k = 365$ днів;

$T_{\text{св}}$ – кількість святкових днів у році, $T_{\text{св}} = 10$ днів;

$T_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів у році, $T_{\text{вих}} = 104$ днів;

$T_{\text{від}}$ – календарна тривалість відпустки, $T_{\text{від}} = 27$ днів.

Отже, річний фонд часу за формулою 3.3 дорівнює:

$$F_n = (365 - 10 - 104 - 27) \cdot 8 = 1792 \text{ години.}$$

Середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій визначається співвідношенням 3.4, яка має вигляд:

$$C_{зп} = \frac{\Phi_{зп_{сн}}}{F_n} \text{ грн/год,} \quad (3.4)$$

де $\Phi_{зп_{сн}}$ – річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби;

F_n – річний фонд робочого часу.

Отже середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій за формулою 3.4 дорівнює:

$$C_{зп} = 204802,94 / 1792 = 114,29 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника складають з урахуванням формули 3.2 отримаємо:

$$З_{зп} = 123 \times 114,29 = 14057,34 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ включає витрати на програмне та апаратне забезпечення і витрати за електроенергію, здійснюється по формулі 3.5:

$$З_{мч} = C_o + C_{ел} \quad (3.5)$$

де C_o – витрати на обладнання, грн.;

$C_{ел}$ – витрати на електроенергію, грн.

Для розрахунку вартості машино-часу необхідно знати вартість ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, і вартість споживаної електроенергії. Відповідні дані представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вартість необхідного програмного та апаратного забезпечення

Найменування	Вартість, грн
Персональний комп'ютер	8890,00

Монітор	2980,00
Комплект клавіатура+миша	645,00
Операційна система Windows 7 SP1 Professional	2000,00
Matlab 6.5	4500,00
Разом:	19015

Витрати на електроенергію залежать від часу роботи на ЕОМ та собівартості машино-години роботи ЕОМ і розраховується за формулою:

$$C_{ел} = C_{мч} \cdot t \quad (3.6)$$

$$C_{мч} = W \cdot \Pi_{ел} \quad (3.7)$$

Де W – потужність ЕОМ, $W = 0,5$ кВт/год.

$\Pi_{ел}$ – вартість $1кВт \cdot год$ електроенергії. З 1.04.18 за обсяг, спожитий понад 150 кВт·год до 600 кВт·год електроенергії на місяць (включно) складає 1,825 грн.

$$C_{ел} = 0,5 \times 1,825 \times 123 = 112,1 \text{ грн.}$$

Враховуючи вартість програмного й апаратного забезпечення та витрати на електроенергію отримаємо вартість машинного часу:

$$З_{мч} = 112,1 + 19015 = 19127,1 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на розробку підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста:

$$В_{роз} = 19127,1 + 14057,34 = 33184,44 \text{ грн.}$$

3.3 Висновок

В економічному розділі розраховано трудомісткість розробки підходу підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста, заробітну плату інженера телекомунікацій, капітальні затрати. Загальні капітальні витрати становлять 33184,44 грн.

трудомісткість розробки підходу до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом врахування параметру Херста – 123 години.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу основних положень теорії фракталів і самоподібних процесів встановлено, що при функціонуванні телекомунікаційних мереж для забезпеченні якості обслуговування необхідно враховувати фрактальну природу телекомунікаційного трафіку.

2. В результаті існуючих підходів передачі телекомунікаційного трафіку встановлено їх недоліки. Недоліками способу динамічного резервування і розподілу пропускної здатності каналів є те, що у ньому не враховують фрактальність телекомунікаційного трафіку, й він, відповідно, не здатний забезпечити якість обслуговування при сильних пульсаціях. Також в способі не проводять визначення розміру черги на перспективу за допомогою імітаційного моделювання, що не дозволяє механізмам забезпечення якості обслуговування завчасно відкоригувати параметри обслуговуючого пристрою.

3. Запропоновано підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста за допомогою визначення оптимальних параметрів черг обслуговуючого пристрою, профілю трафіку і фактичного розміру черги на перспективу з використанням математичного та імітаційного моделювання.

4. В результаті оцінки ефективності запропонованого підходу встановлено, що величина затримки (час перебування пакета у черзі) приймає менші значення при використанні розробленого підходу, на відміну від відомого, при одних й тих же початкових умовах. Встановлено, що використання розробленого підходу дозволяє зменшити час перебування в черзі на 10% та зменшити ймовірність відмови в обслуговуванні на 9,37%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях: учеб. пособие. / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, О.Г. Иванова, А.В. Лагутин, В.М. Тютюнник – Тамбов, 2004. – 108 с.
2. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография / Под ред. О.И. Шелухина – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
3. Петров В.В. То, что вы хотели знать о самоподобном телетрафике, но стеснялись спросить / В.В. Петров – М.: МЭИ, ИРЭ, 2003.
4. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса / Б.С. Цыбаков // «Радиотехника», 1999. – № 5. – С. 24-31.
5. Leland W.E. On the self-similar nature of Ethernet traffic / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger D.W. Wilson // Computer Communications Review, 1993. – 23. – P.193-193.
6. Нейман В.И. Новое направление в теории телетрафика / В.И. Нейман // «Электросвязь», 1998. – № 7. – С. 27-30.
7. Ryu В.К. Fractal Network Traffic: From Understanding to Implications. Ph.D. thesis. – Columbia University, 1996. – 143 p.
8. Петров М.Н. Самоподобие в системах массового обслуживания с ограниченным буфером / М.Н. Петров, Д.Ю. Пономарев // "Электросвязь", 2002. – №2. – С.35-39.
9. Городецкий А.Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. Учебное пособие / А.Я. Городецкий, В.С. Заборовский – СПб: СПбГТУ, 2000.
10. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
11. Willinger W. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks / W. Willinger, M.S. Taqqu,

A. Errimilli [Электронный ресурс], 2001. – Режим доступа: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>

12. Ложковский А.Г. Анализ и синтез систем распределения информации в условиях мультисервисного трафика / А.Г. Ложковский // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – ОНАЗ им. А.С. Попова. – Одесса. – 2010. – С. 38.

13. Бельков Д.В. Статистический анализ сетевого трафика / Д.В. Бельков, Е.Н. Едемская, Л.В. Незамова // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика, обчислювальна техніка”. – Вип. 13 (185). – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 66 -75.

14. Бельков Д.В. Статистический анализ трафика сети с беспроводным доступом / Д.В. Бельков, Е.Н. Едемская // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика, обчислювальна техніка”. – Вип. 14 (188). – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – С. 113-122.

15. Патент US №7385943. Method of allocating communication resources in an MF-TDMA telecommunication system / D. Niddam – заявл. 10.05.2002, опубл. 10.06.2008.

16. «Dynamic resource allocation based on quality-of-service», патент US № 2007/0104101 A1, H04L 12/26, 10.05.2007.

17. Патент RU 2410838. Способ динамического распределения ресурса пропускной способности обратных каналов в мультимедийной сети спутниковой связи интерактивного доступа / А.А. Илюхин, А.Г. Дубровин – заявл. 21.07.2009, опубл. 27.01.2011, бюл. №3.

18. Патент RU 2614983. Способ динамического резервирования и распределения пропускной способности каналов в спутниковой сети и устройство его реализующее / А.А. Илюхин, Д.Ю. Зайцев – заявл. 16.12.2015, опубл. 03.04.2017.

19. Белов П.Ю., Белов К.Ю., Полоус А.И., Клименко В.В. Программа анализа фрактальности реального информационного трафика (ПАФРИТ).

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014613976 от 14.04.2014.

20. Назаров А.Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А.Н. Назаров, К.И. Сычев – Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. – С. 254.

21. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт (проектів) бакалаврів та магістрів спеціальностей 125 Кібербезпека, 172 Телекомунікації та радіотехніка / Упоряд.: О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, О.М. Алексєєв, О.В. Кручінін. – Дніпро: НГУ, 2018. – 50 с.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	33	
6	A4	Спеціальна частина	11	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1 Презентація Валах.ppt

2 Диплом Валах.doc

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

В І Д Г У К

**на кваліфікаційну роботу студента групи 172-16зск-1 Валаха Д.В.
на тему: «Підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного
трафіку шляхом врахування параметру Херста»**

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів і висновків, розташованих на 68 сторінках.

Мета роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на підвищення якості обслуговування телетрафіку за допомогою визначення оптимальних параметрів черг обслуговуючого пристрою, профілю трафіку і фактичного розміру черги з використанням математичного та імітаційного моделювання.

При виконанні роботи автор продемонстрував добрий рівень теоретичних знань і практичних навичок. На основі аналізу основних положень теорії фракталів і самоподібних процесів, а також існуючих підходів до передачі телекомунікаційного трафіку в ній сформульовані задачі, вирішенню яких присвячений спеціальний розділ. У ньому було запропоновано підхід до підвищення якості передачі фрактального телекомунікаційного трафіку шляхом обчислення параметру Херста та оцінено його ефективність.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонований підхід може бути використаний в будь-яких пакетних ІР системах передачі даних.

До недоліків роботи слід віднести недостатню проробку окремих питань.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому робота задовольняє усім вимогам, а її автор Валах Д.В. заслуговує на оцінку «
» та присвоєння кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

**Керівник роботи,
к.т.н., доцент**

О.В. Герасіна