

УДК 621.371

Г.А. КУЧУК, О.О. МОЖАЄВ, О.В. ВОРОБІЙОВ

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба***МЕТОД АГРЕГУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО ТРАФІКА**

Пропонується метод агрегування фрактального трафіка телекомунікаційних мереж, що базується на статистичному мультиплексуванні інформаційних потоків з окремих джерел, при якому, виходячи із результатів прогнозування, створюється агрегований потік. Для створення агрегованого потоку пропонується проводити динамічний розподіл пропускної спроможності. Проведено аналіз властивостей даного агрегованого потоку з метою підвищення якості обслуговування в телекомунікаційних мережах.

фрактальний трафік, самоподібність, масштабна інваріантність, сплеск, вейвлет-перетворення, пропускна спроможність, методи агрегування, динамічний розподіл

Вступ

Вперше про самоподібний телетрафік (тобто трафік, що має фрактальний характер) телекомунікаційних мереж було згадано у 1993 році [1]. Було встановлено, що Ethernet-трафіку у мережі корпорації Bellcore властива самоподібність, тобто він має якісно однаковий вигляд при майже будь-яких масштабах часової вісі [1]. Як з'ясувалось, для такого трафіку методи розрахунку, які базуються на пуасонівських моделях та формулах Ерланга, дають невірні оптимістичні рішення та призводять до недооцінки реального навантаження.

З розвитком теорії фрактального трафіка з'являється багато робіт щодо прогнозування інтенсивності трафіка [2 – 5] та можливості використання різних методів дослідження фрактального мережного трафіка з метою підвищення якості обслуговування [6, 7]. Але в них дуже багато часу займає кількісна оцінка меж зміни масштабних та частотних властивостей аналізованого процесу. Можливість здійснювати прогнози зобов'язана властивості тривалої пам'яті процесу і теоретично повинна забезпечити підвищення коефіцієнту використання каналу та збільшення загальної ефективності системи, а на основі близького до дійсності прогнозу при статистичному мультиплексуванні можна провести задовільне агрегування трафіка.

Метою даної статі є дослідження особливостей реальної телекомунікаційної мережі, що виникають внаслідок ефекту самоподібності, на базі яких пропонується метод агрегування фрактального трафіку із динамічним розподілом пропускної спроможності, забезпечуючий підвищення якості обслуговування мережі.

Результати досліджень

Аналіз властивостей трафіка телекомунікаційної мережі як самоподібного процесу. Зосередимося на виборі лінійного простору, ізоморфного розглядаемому процесу із врахуванням властивості масштабної інваріантності. Для стохастичних процесів загальний принцип вибору полягає у виборі базису, коефіцієнти розкладання за яким некорельовані. В результаті при розкладанні сигналу в ряд за цим базисом необхідно одночасно задовольнити дві, в загальному випадку суперечливі, вимоги:

- відобразити максимально точно локальну особливість сигналу в конкретній часовій області;
- поза цією областю базисні функції, що використовуються, повинні компенсувати одна одну.

Наприклад, для δ -функції Дірака частотний спектр Фур'є є постійним, отже для відображення такої локальної δ -особливості за допомогою спектральної характеристики необхідно враховувати всі його

компоненти. Відсутність частини спектральних компонент призведе до перекручення сигналу в часовій області не тільки поблизу даної особливості, але і на будь-якій відстані від неї. Таким чином, для представлення локальної особливості сигналів потрібен базис, функції якого є добре локалізованими в часовій області. Проте якщо локальні особливості присутні на фоні стаціонарного сигналу, то для адекватного представлення обох складових вибраний базис повинен забезпечувати локалізацію не тільки самого сигналу, але і його перетворення Фур'є.

Використання вейвлет-перетворень при моделюванні фрактального графіка. Вищеперерахованим вимогам задовольняє двовимірне перетворення сплесків (вейвлет-перетворення) [8 – 10], у основі якого лежить процедура багатократного відділення високочастотної складової сигналу та її подальшого розкладання за локалізованим базисом, що складається із зсувів вибраної базисної функції. На кожному кроці перетворення високочастотна складова послідовно розкладається за базисом функцій, розтягнутих вздовж часової осі в два рази в порівнянні з попереднім кроком. Таким чином, вейвлет-перетворення для одновимірного сигналу складається з його розкладання за ієрархічним базисом, сконструйованим із солітоноподібних функцій за допомогою їх масштабних перетворень і зсувів.

Для подальшого розглядання введемо позначення наступних лінійних функціональних просторів (2π -періодичних функцій та функцій, що розкладаються за експоненціальним базисом відповідно):

$$L^p(2\pi) = \left\{ y(t) \left| \begin{array}{l} y(t) \in T(0;2\pi); \\ \|y\|_p = \left(\int_{-\pi}^{\pi} |y(t)|^p dt \right)^{1/p}, \quad p \geq 1 \end{array} \right. \right\}; \quad (1)$$

$$l^p = \left\{ x(t) \left| \begin{array}{l} x(t) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} C_n e^{i \cdot n \cdot t}; \\ \|x\|_p = \left(\sum_{n \in \mathbb{Z}} |C_n|^p \right)^{1/p} \end{array} \right. \right\}. \quad (2)$$

У першому випадку належність до простору L^p повністю визначається поведінкою функції в часовій

області. У другому – властивості функції характеризуються тільки її спектром або коефіцієнтами розкладання за вибраним базисом. За винятком випадку $p = 2$ жоден вид простору L^p не може бути задовільно описаний в термінах, властивих простору l^p , тобто властивості нормованих просторів не можуть бути зведені до опису ні тільки в часовій, ні тільки в частотній областях.

Розглянемо простір $L^2(R)$, тобто простір функцій $z(t)$, які визначені на всій дійсній осі $R(-\infty, \infty)$ і мають кінцеву квадратичну норму

$$\|z(t)\| = \int_{-\infty}^{\infty} |z(t)|^2 dt < \infty.$$

Функціональні простори $L^2(0,2\pi)$ і $L^2(R)$ суттєво різні. Зокрема, локальне середнє значення кожної функції із $L^2(R)$ повинно наближатися до нуля на $\pm\infty$, а базисні функції простору тим паче повинні наближатися до нуля на $\pm\infty$, на відміну від функцій простору $L^2(0,2\pi)$. Побудова ортогонального базису в просторі функцій $L^2(R)$ починається з вибору масштабуючої функції $\psi(x)$. Замикання за нормою $L^2(R)$ лінійної оболонки цілочисельних зсувів цієї функції є підпростором масштабу 1:

$$V_0 = [\psi_{0n}(t) = \psi(t-n)]_{n \in \mathbb{Z}} = \left\{ \sum_{n \in \mathbb{Z}} C_{0n} \psi_{0n} \left| \sum_{n \in \mathbb{Z}} |C_{0n}|^2 < \infty \right. \right\}. \quad (3)$$

Для підпростору V_0 масштабуючі функції мають такий вигляд, як наведено на рис. 1.

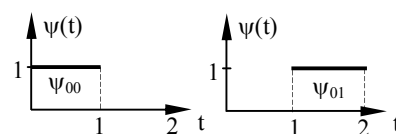


Рис. 1. Масштабуючі функції V_0

Для побудови моделі трафіку потрібні підпростори функцій різних масштабів. Ці підпростори можна визначити на основі перетворень зсуву і стиску масштабуючих функцій (рис. 2) таким чином:

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m} \cdot t - b_{0n}), \quad (4)$$

або
$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{m/2} \psi(a_0^m \cdot t - b_{0n}). \quad (5)$$

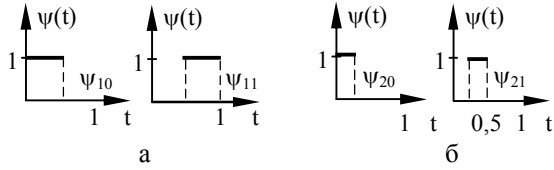


Рис. 2. Масштабуючі функції для: а – V_1 ; б – V_2

Вибір варіанту перетворення (4) або (5) залежить від характеру даного завдання і визначається зручністю представлення початкових даних в досліджуваній вибірці. Широкого поширення при обробці трафіка [11 – 13] набув найбільш простий варіант перетворення типу (5) при $a_0 = 2$ і $b_0 = 1$. За допомогою цього перетворення можна побудувати послідовність вкладених підпросторів такого вигляду:

$$\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}} = \left\{ V_j = \left[\psi_{jn}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - n) \right]_{n \in \mathbb{Z}} \right\},$$

де V_j – підпростір масштабу 2^{-j} , а послідовність $\{\psi_{jn}\}_{n \in \mathbb{Z}}$ утворює ортонормований базис в V_j .

Побудова ортогонального базису. З метою побудови базису для вейвлет-перетворення розглянемо пряму суму підпросторів

$$V_1 = V_0 \oplus W_0, \quad (6)$$

де W_0 – ортогональне доповнення V_0 до V_1 .

Базис V_0 складається із цілочисельних зсувів функції Ψ_{00} , а базис V_1 – із зсувів на $n/2$ ($n \in \mathbb{Z}$) функції $\psi_1(t)$ ($\psi_1(t) = \psi_1(t - n/2)$). Тому базис W_0 визначають за допомогою функції φ , цілочисельні зсуви якої утворюють ортонормовану послідовність.

Для масштабуючої функції вигляду

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0,1]; \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

за функцію φ можна взяти, наприклад, сплеск Хаара

$$\varphi(t) = \varphi^H(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 0,5]; \\ -1, & t \in [0,5, 1]; \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

який визначає базис цілочисельних зсувів масштабу 1 в просторі W_0 . Цю властивість для підпростору W_0 можна записати у вигляді співвідношення

$$W_0 = [\varphi_{0n}(t) = \varphi(t - n)]_{n \in \mathbb{Z}}.$$

Аналогічним чином при розгляданні прямої суми $V_2 = V \oplus W_1$ будується базис для підпростору W_1 . Функції, що його складають, надані на рис. 3.

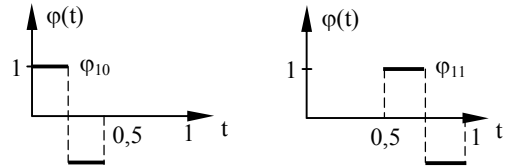


Рис. 3. Ортогональний базис у W_1

Якщо визначити підпростори вищих порядків як

$$W_j = [\varphi_{jn}(t) := 2^{j/2} \varphi(2^j t - n)]_{n \in \mathbb{Z}},$$

то
$$V_j \oplus W_j = V_{j+1}, \quad (7)$$

тобто
$$L^2(R) = \bigoplus_{j=-\infty}^{\infty} W_j. \quad (8)$$

Оскільки підпростори W_j взаємно ортогональні, то сукупність їх базисів утворює ортонормований базис $\{\varphi_{jn}\}_{j \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{Z}}$ і в просторі $L^2(R)$.

Оскільки трафік в комп'ютерних мережах вимірюється із обмеженою роздільною здатністю, то доцільно замінити $\bigoplus_{j=-\infty}^{\infty} W_j$ на V_0 . В цьому випадку

$$L^2(R) = V_0 \oplus \left\{ \bigoplus_{j=0}^{\infty} W_j \right\}. \quad (9)$$

Іншими словами, ортогональний базис $L^2(R)$ складається з цілочисельних зсувів функцій масштабу 1 $\{\psi_{0n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$ і сплесків $\{\varphi_{jn}\}_{j \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{Z}, j \geq 0}$.

В результаті будь-яку функцію з $L^2(R)$, у тому числі і трафік в досліджуваній мережі, можна розкласти в ряд за базисом сплесків

$$z(t) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{n \in \mathbb{Z}} W_{jn} \varphi_{jn}(t) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} U_{0n} \psi_{0n}(t) + \sum_{j=nn \in \mathbb{Z}} \sum_{j=0n \in \mathbb{Z}} W_{jn} \varphi_{jn}(t), \quad (10)$$

де $U_0 = \sum_{n \in Z} U_{0n} \psi_{0n}(t)$ – функція із підпростору функцій одиничного масштабу, коефіцієнти U_{0n} якої є розкладанням трафіку з роздільною здатністю «одна точка на 2^n точок аналізованого трафіка». Враховуючи дискретний характер вимірювання значень $z(t)$, проведемо ренормалізацію часового аргументу, при якій $t \in [0, 1]$. Вибираючи індекс часового зсуву n , що змінюється кратно ступеню 2, відмітимо, що в розкладанні (10) використовуватимуться тільки ті індекси j і n , для яких область зміни функції сплеску $(n \cdot 2^{-j}; (n+1) \cdot 2^{-j})$ перетинається з аналізованим інтервалом зміни $z(t)$, наприклад $[a, b]$. Таким чином, часткова сума ряду (10) за $j = \overline{0, N}$ є наближенням трафіка з точністю завдання масштабу вимірювань 2^{-N-1} . Тому для ренормалізованого значення аргументу $x \in L^2[0,1]$ маємо

$$z(t) = U_{0n} + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{2^j-1} W_{jn} \varphi_{jn}(t). \quad (11)$$

Враховуючи, що зсув не змінює величини введеної норми функції, одержимо, що

$$\|\varphi(2^j t - k)\|_2 = 2^{-j/2} \|\varphi(t)\|_2. \quad (12)$$

Таким чином, якщо $\varphi(t) \in L^2(R)$ має одиничну норму, то всі функції $\{\varphi_{jk}\}$ вигляду

$$\varphi_{jk}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k), \quad j, k \in Z$$

характеризуються тим, що $\|\varphi_{jk}\|_2 = \|\varphi\|_2 = 1$. При цьому, якщо сімейство $\{\varphi_{jk}\}$ утворює ортонормований базис функціонального простору $L^2(R)$, то кожна функція $f \in L^2(R)$ може бути представлена у вигляді ряду $f(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} W_{jk} \varphi_{jk}(t)$.

Із сімейства функцій $\varphi(t)$, які задовольняють всім перерахованим вище вимогам, виділимо функцію Хаара $\varphi^H(t)$. Введемо операцію зсуву за допо-

могою формули $\varphi_{jk}^H(t) = \varphi^H(2^j \cdot t - k)$, $j, k \in I$.

Тоді будь-які дві функції φ_{jk}^H і φ_{lm}^H утворюють базис в $L^2(R)$.

Дослідження масштабно-інваріантних характеристик. Якщо для моделі трафіка умова

$$|W_{j,k}| \leq U_{j,k} \quad (13)$$

виконується автоматично, то це дозволяє досліджувати характеристики не тільки центрованих приростів мережевого навантаження, але і ідентифікувати масштабно-інваріантні характеристики самих потоків даних. В цьому випадку коефіцієнти розкладання (10) в моделі трафіка можна задати як

$$W_{j,k} = a_{j,k} \cdot U_{j,k} \quad (14)$$

де $a_{j,k}$ – випадковий і рівномірно розподілений на інтервалі $[-1, 1]$ параметр моделі. Такі фрактальні моделі на основі вейвлет-перетворення мають вигляд ряду (10) при виборі базисних функцій Хаара. Для спрощення обчислень значень $W_{j,k}$ можна визначити суміжні коефіцієнти розкладання:

$$U_{j+1,2k} = (1 + a_{j,k}) \cdot 2^{-1/2} U_{j,k}; \quad (15)$$

$$U_{j+1,2k+1} = (1 - a_{j,k}) \cdot 2^{-1/2} U_{j,k}. \quad (16)$$

В цьому випадку модельовані відліки трафіка обчислюються як

$$z^{(n)}(k) = 2^{-n/2} \cdot U_{n,k}, \quad k = 0, 2^n - 1,$$

а величина n визначає найменший масштаб представлення модельованого трафіка.

Починаючи розрахунок з коефіцієнта $U_{0,0}$ і беручи до уваги бінарну структуру дерева коефіцієнтів, можна записати наступне:

$$U_{2,0} = (1 + a_{1,0}) 2^{-1/2} U_{1,0} = 2^{-1} (1 + a_{1,0})(1 + a_{00}) U_{00};$$

$$U_{2,1} = (1 - a_{1,0}) 2^{-1/2} U_{1,0} = 2^{-1} (1 - a_{1,0})(1 - a_{00}) U_{00}.$$

Продовжуючи розрахунки і враховуючи, що індекс зсуву k при переході на новий рівень точності представлення трафіка $j+1$ змінюється за вищеведеними правилами, запишемо

$$U_{j,k_j} = 2^{-j/2} U_{00} \prod_{i=0}^{j-1} \left(1 + (-1)^{k_j^i} a_{ik_j} \right), \quad (17)$$

де $k_j = \sum_{i=0}^{j-1} k_i' 2^{j-1-i}$. Задаючи значення k_i' , де

$i = \overline{0, j}$, можна визначити значення k_i і далі всю «гілку» коефіцієнтів відповідного бінарного дерева від U_{00} до U_{j,k_j} , а зрештою одержимо:

$$\begin{aligned} x^{(n)}(k) &= 2^{-n} U_{00} \prod_{i=0}^{n-1} \left(1 + (-1)^{k_i} a_{ik_i} \right) = \\ &= 2^{-n} U_{00} \prod_{j=0}^{n-1} \left(1 + (-1)^{k_j} a_{(j)} \right), \end{aligned} \quad (18)$$

де $a_{(j)}$ – випадкова змінна, розподіл якої відповідає моделі (14).

Відмітимо, що послідовність $x^{(n)}(k)$ не є стаціонарною в широкому сенсі. Із співвідношень (14) і (18) витікає, що моменти порядку q для суміжних рівнів масштабування $j-1$ і j зв'язані простим алгебраїчним співвідношенням

$$M\{U_{j-1,k}^q\} = M\{U_{j,k}^q\} \cdot 2^{q/2} M\{(1 - a_{(j-1)})^q\}^{-1} \quad (19)$$

що дозволяє використовувати для формування моделі трафіка властивості статистичних моментів на різних інтервалах агрегації, причому, як показали дослідження, на площині «дисперсія – масштабний коефіцієнт перетворення» в подвійному логарифмічному масштабі емпіричні залежності можуть бути з високою точністю апроксимовані лінійними залежностями, нахил яких дозволяє оцінити параметр масштабної інваріантності досліджуваних процесів, а відмічений лінійний характер залежностей зберігається для різних інтервалів агрегації коефіцієнтів перетворення.

Статистичне мультиплексування трафіка. Аналіз методів дослідження реального фрактального мережного трафіка показав переваги алгоритму статистичного мультиплексування потоків, який широко використовується в телекомунікаціях, оскільки дозволяє економно використовувати пропускну спроможність магістральних каналів. Розглянемо

простий приклад передачі інформації багатьох джерел одним магістральним каналом. В принципі, можна закріпити за кожним з джерел певну частину ресурсів магістрального каналу (скажімо, розділити джерела по частоті). В цьому випадку кожне джерело може використовувати тільки ту частину ресурсів, яка йому відведена (рис. 4, а). При статистичному мультиплексуванні потоки окремих джерел складаються (агрегуються) в магістральному каналі з економією пропускну спроможності dC (рис. 4, б).

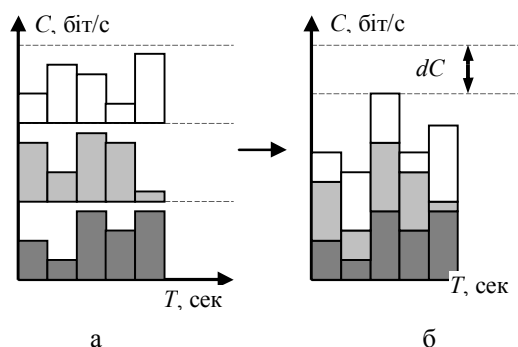


Рис. 4. Схема статистичного мультиплексування

Розглянемо детальніше процес статистичного мультиплексування. Нехай є n окремих (парціальних) джерел. Припустимо, мають місце процеси $\xi_1 (M[\xi_1], D[\xi_1]), \dots, \xi_n (M[\xi_n], D[\xi_n])$, які характеризуються однаковими математичними сподіваннями $M[\xi_i] = \mu$ та дисперсіями $D[\xi_i] = \sigma^2$, тоді за умови незалежності і при однаковому розподілі $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ коефіцієнт варіації результуючого процесу ξ_Σ в магістральному каналі дорівнює

$$\begin{aligned} \text{cov}(\xi_\Sigma) &= \frac{\sqrt{D[\xi_\Sigma]}}{M[\xi_\Sigma]} = \\ &= \frac{\sqrt{D[\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n]}}{M[\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n]} = \frac{\sqrt{n \cdot D[\xi_i]}}{n \cdot M[\xi_i]} = \frac{\sigma}{\mu\sqrt{n}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Як видно з (20), коефіцієнтом варіації є відношення середньоквадратичного відхилення процесу до його математичного сподівання.

В даному випадку коефіцієнт варіації відображає ступінь згладжування результуючого процесу ξ_Σ при збільшенні кількості мультиплексуємих парціальних процесів. Ефект згладжування процесу ξ_Σ

при зростанні n досягається завдяки швидшому зростанню середнього процесу ξ_{Σ} в порівнянні з його середньоквадратичним відхиленням (СКВ). Принципово, що середнє порівнюється з СКВ, а не з дисперсією. Це робиться для отримання безрозмірної оцінки ступеня згладження (коефіцієнта варіації в даному випадку). Більш того, відповідно до центральної граничної теореми (ЦГТ) при збільшенні повинна також відбуватися нормалізація процесу ξ_{Σ} . Проте на практиці найчастіше ресурси магістрального каналу (пропускна спроможність, буфери) є набагато меншими, ніж сумарна потенційна можливість мультиплексуємих процесів, що визначає ефективність системи [14]. Як результат, парціальні потоки при складанні в обмеженому буфері, наприклад, втрачають незалежність.

Ефекти, які можуть виникати при мультиплексуванні залежних потоків, детально розглянуті в [15]. Зокрема, експеримент показав, що вже при $n > 10$ (і при роботі широко поширеної реалізації Reno протоколу TCP) формула (20) дає погрішності, які суттєво збільшуються при збільшенні значення n (так, при $n = 40$ реально зміряне значення $\text{cov}(\xi_{\Sigma})$ більше розрахованого по даній формулі на 200%).

Відмітимо, що ступінь залежності парціальних

потоків залежить від версії протоколу мережевого рівня TCP, що функціонує в мережі. Дійсно, при роботі протоколу версії Vegas коефіцієнт варіації ξ_{Σ} зменшується при збільшенні n до 30 (на відміну від поширенішої версії Reno). Далі, мультиплексуємі потоки втрачають незалежність. Характерно, що при цьому показник Херста процесу, збільшуючись від 0,5 до 1 в точці $n = 15$ для Reno і в крапці $n = 30$ для Vegas. Можна зробити висновок, що, по мірі втрачання вхідними процесами незалежності, процес ξ_{Σ} на виході стає все більш персистентним, в результаті він не досягає розрахункового (20) ступеня згладжування, і алгоритм статистичного мультиплексування виявляється малоефективним.

Типовий вигляд агрегованого мережевого трафіка показаний на рис. 5. Тривалість реалізації складає 16 хвилин. Коефіцієнт Херста приблизно дорівнював 0,8. Як видно з рис. 5, процес має високу змінність (оскільки підпорядковується розподілу, що має "важкий хвіст") і його навряд чи можна назвати згладженим. Як результат, для того, щоб передати такий трафік без втрат, пропускна спроможність каналу повинна відповідати рівню пікових викидів, тобто в даному випадку бути не менше 25 Кбіт/с. Можна відмітити, оскільки середній рівень трафіку

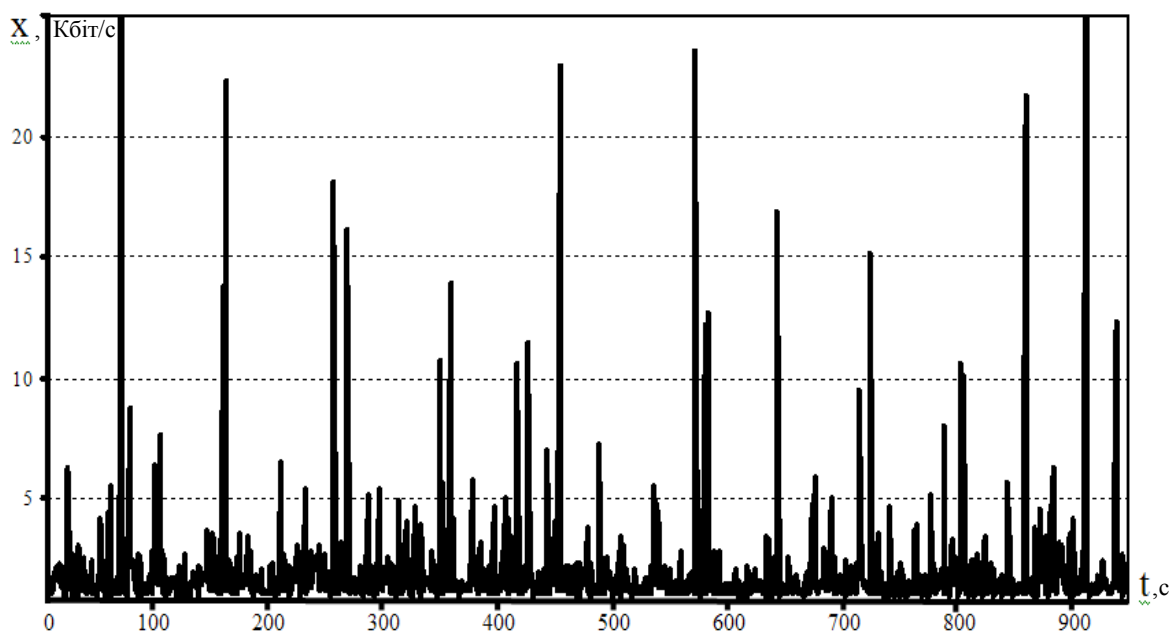


Рис. 5. Приклад реалізації агрегованого трафіка [18]

є достатньо низьким, пропускна спроможність витрачатиметься неефективно, тобто коефіцієнт використання такого каналу буде низьким.

Агрегування трафіка. Для управління інтенсивністю і згладжування профілю трафіку, який передається мережею, є два основні способи: шейпінг трафіка (Traffic Shaping), або TS-спосіб і полісинг трафіка (Traffic Policing), або TP-спосіб [16 – 17]. Суть алгоритмів цих способів (рис. 6) полягає в наступному: при TS-способі трафік згладжується та пересилається з постійною інтенсивністю (узгодженою швидкістю передачі Π_{y3}) шляхом постановки до черги (буферизації) пакетів, інтенсивність передачі яких перевищила задане значення; механізм TP-способу у свою чергу відкидає пакети, інтенсивність яких вище узгодженої швидкості передачі Π_{y3} .

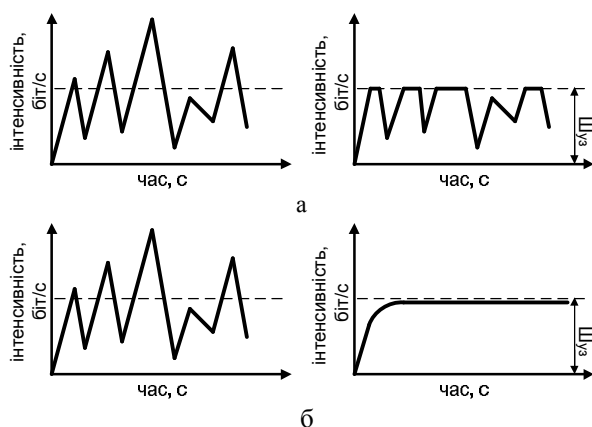


Рис. 6. Схема способів функціонування механізмів управління інтенсивністю трафіку:
а – TS-спосіб; б – TP-спосіб

З одного боку, оскільки TS-спосіб 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 трафіку, що передається. Алгоритм TP-способу відносно берстного трафіку (трафіку, що володіє високою пачечністю) також проявляє себе далеко не з кращого боку: щоб досягти прийнятних показників втрат, необхідно значно збільшити пропускну спроможність каналу, понизивши при цьому утилізацію (коефіцієнт використання) в каналі.

Можливість динамічного розподілу при агрегуванні. На рис. 7 ілюструється пропонуєний метод функціонування алгоритму динамічного розподілу пропускної спроможності з прогнозуванням. Чим ближче прогнозована пропускна спроможність до профілю трафіку, тим менше втрат при пропусканні такого трафіку через канал з прогнозованою пропускнуою спроможністю, тим затримки пакетів, що менше вносяться, виникають із-за буферизації і тим вище утилізація (використання) каналу.

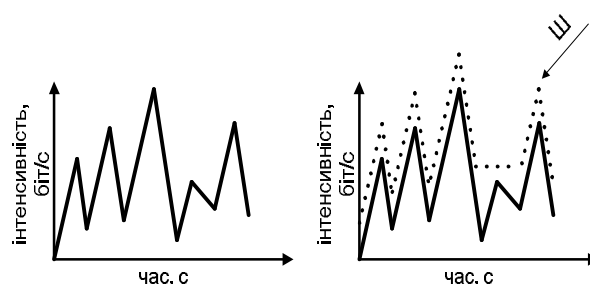


Рис. 7. Схема динамічного розподілу пропускної спроможності з прогнозуванням

Інакше кажучи, пропускна спроможність каналу міняється динамічно, відстежуючи профіль трафіку. Це основна відмінність запропонованої схеми від статичного способу завдання пропускної спроможності за допомогою TP- або TS-способів.

Вищезгадані виміри мережного трафіку довели що найкраще вони інтерпретуються розподілом, який має «важкий хвіст» (РВХ). Для РВХ-розподілу Z повинна виконуватися така властивість:

$$P[Z > x] \sim c \cdot x^{-a}, x \rightarrow \infty, \quad (21)$$

де a – параметр розподілу, $0 < a < 2$; c – довільна константа.

Будемо інтерпретувати Z як час існування мережного з'єднання. У [17, 18] була показана принципова можливість прогнозу майбутнього процесу, що задовольняє РВХ-розподілу та представлена залежність середньої ентропії S трафіку від довжини інтервалу часу, на якому він досліджується. За даною залежністю теоретично можна оцінити час, потрібний на спостереження трафіку, перш ніж зробити висновки про його майбутнє з прийнятною мірою достовірності.

Висновки

Запропонований метод агрегування фрактально-го мережного трафіка дозволить досить швидко визначити межі зміни масштабних та частотних властивостей аналізованого процесу. Найбільш ефективні для агрегування моделі будуються при використанні вейвлет-перетворення, зокрема із використанням функцій Хаара, при цьому можливо прогнозування трафіка на основі статистичних характеристик із врахуванням властивості масштабної інваріантності. Це дає змогу використовувати при агрегуванні трафіка динамічний розподіл пропускної спроможності каналу, що у порівнянні із класичною схемою статичного завдання пропускної спроможності дозволяє зменшити втрати і збільшити коефіцієнт використання каналу. **Метою подальших досліджень** у даному напрямі є проведення аналізу прогнозуємості мережного трафіка та оцінка ефективності розробленого алгоритму при обробці фрактального трафіка,

Література

- Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W. On the self-similar nature of Ethernet traffic // *IEEE/ACM Transactions of Networking*. – 1994. – 2(1). – P. 1-15.
- Miloucheva I., Muller E., Anzaloni A. A practical approach to forecast Quality of Service parameters considering outliers, 2003. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cisco.com>.
- Foag J., Wild T. Traffic Prediction Algorithm for a Speculative Network Processor // *17th Int. Symposium for High Performance Computing Systems and Applications HPCS 2003*. – Sherbrooke. – May 2003.
- Trajkovic L., Niedhardt A. Internet traffic prediction // *Centre for Systems Science, Simon Fraser University*. – Mar.2000. – Vol. 12, Is. 1.
- Koucheryavy Y., Harju J. A novel approach for self-similar traffic prediction. // *Proceeding of the St.-P., Russia*. – 2002. – P. 172-179.
- Ghaberi M. On the Relevance of Self-Similarity in Network Traffic Prediction. – 2003. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cs.uwaterloo.ca/cs-archive/CS-2003/28/TR-CS-2003-28.pdf>.
- Sadec N., Khotanzad A., Chen T. ATM Dynamic Bandwidth Allocation Using F-Arima Prediction Model. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://snoopy.seas.smu.edu/papers/icccn03/pdf>.
- Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
- Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
- Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и условия применения // *Успехи физических наук*. – 1998. – Т. 166, № 11. – С. 1145-1170.
- Cheng C.S., Thomas J.A. Effective bandwidth in high-speed digital networks // *IEEE journal on selected Areas in Communications*. – 1995. – V. 13. – P. 1091-1100.
- Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
- Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2005. – Вип. 5 (45). – С. 74-84.
- Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи. – М.: Мир, 2000. – 384 с.
- Feng W., Tinnakornsriruphap P. The Failure of TCP in Nigh-Performance Computational Grids // *SC2000: Nigh-Performance Network and Computing Conf., Dallas, TX.-November, 2000*.
- Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 368 с.
- Policing and Shaping Overview, QS: Cisso IOS Release Dependence of Traffic Prediction // *Proceedings of ICC'01*. – Helsinki, June 2001.
- Кучук Г.А. Моделирование трафика изолированного пульсирующего источника // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 5 (45). – С. 168-173.

Надійшла до редколегії 6.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.