УДК 621.391

М.І. Науменко[1], Г.А. Кучук[2], Я.Ю. Стасєва[2]

[1]*Департамент військової освіти та науки МО України, Київ*
[2]*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ТРАФІКА МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТА ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ

У даній статті розглянуто підхід до створення моделі інтегрального трафіка мультисервісної мережі, при якому використовується апарат вейвлет-перетворень. На першому етапі моделювання вибирається лінійний простір, елементи якого можуть виступати у якості задовільної заміни розглядаємого процесу. Далі у вибраному просторі будується ортонормований вейвлет-базис, за яким проводиться розбиття поточного мережного трафіка. Остаточна трафікова модель враховує результати отриманого розбиття і дозволяє досліджувати характеристики не тільки центрованих приростів мережевого навантаження, але і ідентифікувати масштабно-інваріантні характеристики самих потоків даних.

Ключові слова: *інтегральний мультисервісна мережа, трафік, масштабна інваріантність, вейвлет-перетворення, ортонормований базис, непараметричні статистики другого порядку.*

Вступ

Якість обслуговування в сучасних мультисервісних мережах (ММ) суттєво залежить від двох основних факторів: моделі обслуговування та моделі трафікового проектування [1]. Модель обслуговування визначає різні класи обслуговування та встановлює розподіл мережних ресурсів [2]. Модель трафікового проектування використовується з метою визначення потрібної ємності мережних ресурсів [3] та базується на підмоделях відповідних мережних процесів. Мережні процеси у мультисервісних мережах із інтегральним трафіком, який об'єднує траікові процеси різних служб мережі, мають фрактальний характер [3, 4]. При побудові моделей таких мережних процесів можливо використання непараметричних статистик другого порядку (наприклад, спектральна щільність, кореляційна функція кількості відліків, нормована дисперсія кількості відліків, коефіцієнт кореляції тощо), які дозволяють визначити характеристики самоподібності трафіка [5, 6]. При цьому мережному трафіку можна зіставити стохастичні процеси із властивістю масштабної інваріантності, яка виникає при агрегуванні достатньої кількості точкових відліків [7], що дозволяє використовувати методи фрактального аналізу [8] та застосовувати різні імовірнісні методи для оперативного прогнозування процесів за допомогою моделей з мінімальною кількістю настроюємих параметрів [9, 10]. В наведених умовах можливо використання різних методів дослідження фрактального мережного трафіка [11, 12], але при цьому дуже багато часу займає кількісна оцінка меж зміни масштабних та частотних властивостей аналізуємого процесу. Отже, досягнення необхідної якості обслуговування ММ потребує розробки конструктивних математичних моделей мережних процесів, на базі яких можна промоделювати трафік, адекватний реальному мережному трафіку. Тому **метою даної статі** є розробка підходу до моделювання інтегрального трафіка на базі математичної моделі мережних процесів у ММ, який є адекватним реальному процесу, використовує на начальному етапі моделювання апарат вейвлет-перетворень та враховує фрактальний характер існуючого трафікового процесу.

1. Вибір лінійного функціонального простору

На першому етапі підготовки до моделювання зосередимося на виборі лінійного простору, елементи якого можуть виступати у якості задовільної заміни розглядаємого процесу. У випадку стохастичних процесів загальний принцип вибору зводиться до вибору базису, коефіцієнти розкладання за яким є некорельованими.

Зокрема, коефіцієнти розкладання стаціонарного випадкового процесу за тригонометричним базисом є некорельованими випадковими величинами. В результаті при розкладанні трафікового процесу в ряд за цим базисом необхідно одночасно задовольнити дві, в загальному випадку суперечливі, вимоги:

– відобразити з максимальною точністю локальну особливість трафікового процесу в конкретній часовій області;

– поза цією областю використовуємі базисні функції повинні компенсувати одна одну.

Наприклад, для δ-функції Дираку 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.

Вищеперерахованим вимогам задовольняє двовимірне вейвлет-перетворення, або перетворення сплесків [13 – 16], у основі якого лежить процедура багатократного відділення високочастотної складової сигналу та її подальшого розкладання за локалізованим базисом, що складається із зсувів вибраної базисної функції. В результаті на кожному кроці перетворення високочастотна складова послідовно розкладається за базисом функцій, розтягнутих вздовж часової осі в два рази в порівнянні з попереднім кроком. В результаті на площині $\varphi \times t$ (“частота” × “час”) кожна базисна функція відповідає за свою прямокутну ділянку, але площі всіх таких ділянок є рівними.

Вейвлет-перетворення для одномірного трафікового процесу складається з його розкладання за ієрархічним базисом, сконструйованим із солітоноподібних функцій за допомогою їх масштабних перетворень і зсувів. На відмінність від традиційного перетворення Фур'є при розкладанні за вейвлет-базисом забезпечується двовимірна розгортка досліджуваного одномірного сигналу, при якій частота і час розглядаються як дві незалежні змінні.

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

$$L^p(2\pi) = \left\{ y(t) \middle| \begin{array}{l} y(t) \in T(0;2\pi); \\ \|y\|_p = \left(\int\limits_{-\pi}^{\pi} |y(t)|^p \, dt \right)^{1/p}, 1 \le p \le \infty \end{array} \right\};$$

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

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

Сформулюємо деякі поняття, які знадобляться для подальшого. Будь-яка функція $y(t) \in L^p(2\pi)$ із може бути представлена у вигляді ряду Фур'є

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{i \cdot n \cdot t}, \tag{1}$$

де
$$C_n = (2\pi)^{-1} \int\limits_0^{2\pi} y(t) e^{i \cdot n \cdot t} dt. \tag{2}$$

Функції або синусоїдальні хвилі виду

$$w_n(t) = e^{i \cdot n \cdot t}, \tag{3}$$

де $n \in Z$, утворюють ортонормований базис простору, побудований за допомогою масштабного перетворення функції $w(t) = e^{i \cdot t}$.

Таким чином, 2π-періодична і квадратично інтегрована функція може бути представлена за допомогою суперпозиції масштабних перетворень однієї базисної функції $w(t)$.

Розглянемо тепер простір $L_2(R)$, тобто простір функцій $z(t)$, які визначені на всій дійсній осі $R(-\infty, \infty)$ і мають кінцеву квадратичну норму

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

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 $L^2(0, 2\pi)$.

2. Вибір ортогонального базису

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:

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

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

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} \psi\left(a_0^{-m} \cdot t - b_{on}\right) \tag{4}$$

або

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{m/2} \psi\left(a_0^{m} \cdot t - b_{on}\right). \tag{5}$$

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 [17 – 20] набув найбільш простий варіант перетворення типу (5) при $a_0 = 2$ і $b_0 = 1$. За допомогою цього перетворення можна побудувати послідовність вкладених підпросторів наступного вигляду:

$$\left\{V_j\right\}_{j\in Z} =$$

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

де V_j – підпростір масштабу 2^{-j} (тому, що індекс j може мати різні знаки, коефіцієнт 2^{-j} може бути як більше, так і менше одиниці).

Послідовність $\{\psi_{jn}\}_{n\in Z}$ утворює ортонормований базис в підпросторі V_j.

Вочевидь, що $\bigcap\limits_{j\in Z} V_j = \varnothing$, а замикання підпросторів V_j за нормою утворює простір, тобто

$$\bigcup_{j\in Z} V_j = L^2(R). \qquad (6)$$

Однак, хоча $V_j \subseteq V_{j+1}$, але ортонормований базис $\{\psi_{jn}\}_{n\in Z}$ в V_j не є частиною базису в підпросторі V_{j+1}.

З метою побудови базису для перетворення сплесків розглянемо пряму суму підпросторів вигляду

$$V_1 = V_0 \oplus W_0,$$

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 $(n\in Z)$ 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

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t\in[0,1]; \\ 0, & \text{â ³í ø èõ âèï àäêàõ} \end{cases}$$

за таку функцію ϕ можна взяти, наприклад, сплеск Хаара

$$\phi(t) = \phi^H(t) = \begin{cases} 1, & t\in[0; 0,5]; \\ -1, & t\in[0,5; 1]; \\ 0, & \text{â ³í ø èõ âèï àäêàõ}, \end{cases}$$

який визначає базис цілочисельних зсувів масштабу 1 в просторі W_0.

Цю властивість для підпростору W_0 можна записати у вигляді співвідношення

$$W_0 = \left[\phi_{0n}(t) = \phi(t-n)\right]_{n\in Z}.$$

Аналогічним чином при розгляданні прямої суми $V_2 = V \oplus W_1$ будується базис для підпростору W_1.

Якщо визначити підпростори вищих порядків як $W_j = \left[\phi_{jn}(t) := 2^{j/2}\phi\left(2^j t - n\right)\right]_{n\in Z}$, то буде виконуватись рівність

$$V_j \oplus W_j = V_{j+1}. \qquad (7)$$

В результаті одержимо

$$L^2(R) = \mathop{\oplus}_{j=-\infty}^{\infty} W_j. \qquad (8)$$

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

3. Розкладання мережного трафіка

Оскільки трафік в комп'ютерних мережах вимірюється із обмеженою роздільною здатністю, то доцільно замінити $\mathop{\oplus}\limits_{j=-\infty}^{\infty} W_j$ на V_0. В цьому випадку замість (6) можна записати

$$L^2(R) = V_0 \oplus \left\{ \mathop{\oplus}_{j=-0}^{\infty} W_j \right\}. \qquad (9)$$

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

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

$$z(t) = \sum_{j\in Z}\sum_{n\in Z} W_{jn}\phi_{jn}(t) =$$

$$= \sum_{n\in Z} U_{0n}\psi_{0n}(t) + \sum_{j=n}^{\infty}\sum_{n\in Z} W_{jn}\phi_{jn}(t) = \qquad (14)$$

$$= U_0 + \sum_{j=0}^{\infty}\sum_{n\in Z} W_{jn}\phi_{jn}(t),$$

де $U_0 = \sum\limits_{n\in Z} U_{0n}\psi_{0n}(t)$ – функція із підпростору функцій одиничного масштабу, коефіцієнти U_{0n} якої представляють розкладання трафіку з роздільною здатністю «одна точка на 2^n точок аналізуємого трафіку». 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 $\left(n\cdot 2^{-j};(n+1)\cdot 2^{-j}\right)$ перетинається з аналізуємим 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

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

Відмітимо, що після виконання масштабного перетворення базису норма $\phi(2^j t)$ буде дорівнювати

$$\left\|\phi(2^j t)\right\|_2=\left(\int_{-\infty}^{\infty}\phi(2^j t)\cdot\phi(2^j t)dt\right)^{1/2}=$$

$$=\left(\int_{-\infty}^{\infty}2^{-j}\cdot\phi^2(2^j t)d(2^j t)\right)^{1/2}=2^{-j/2}\left\|\phi(t)\right\|_2.$$

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

$$\left\|\phi(2^j t-k)\right\|_2=2^{-j/2}\left\|\phi(t)\right\|_2.$$

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

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

характеризуються тим, що $\left\|\phi_{jk}\right\|_2=\left\|\phi\right\|_2=1$. При цьому, якщо сімейство $\{\phi_{jk}\}$ утворює ортонормований базис функціонального простору $L^2(R)$, то кожна функція $f\in L_2(R)$ може бути представлена у вигляді ряду

$$f(t)=\sum_{j,k=-\infty}^{\infty}W_{jk}\phi_{jk}(t).$$

Із сімейства функцій $\phi(t)$, які задовольняють всім перерахованим вище вимогам, виділимо функцію Хаара $\phi^H(t)$.

Введемо операцію зсуву за допомогою формули

$$\phi_{jk}^H(t)=\phi^H(2^j\cdot t-k),\quad j,k\in I.$$

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

Розглянемо локальні усереднення значень трафіка з лівого краю інтервалу

$$\left(k\cdot 2^{-j};(k+1)\cdot 2^{-j}\right).$$

Значення індексу $j=0$ відповідає найбільш грубій шкалі спостереження за трафіком, що у разі його розгляду для ренормалізованого часового аргументу відповідає інтервалу [0,1]. Варіації усереднених значень, які помітні лише при розгляді трафіка із розв’язувальною здатністю $j+1$, відображаються за допомогою коефі-цієнтів $W_{j,k}$. Безпосередньою підстановкою перевіряється, що самі коефіцієнти перетворення сплесків у разі використання базису Хаара пов'язані такими рекурентними співвідношеннями:

$$U_{j,k}=2^{-1/2}\left(U_{j+1,2k}+U_{j+1,2k+1}\right);\qquad(11)$$

$$U_{j,k}=2^{-1/2}\left(U_{j+1,2k}+U_{j+1,2k+1}\right).\qquad(12)$$

Так, якщо досліджуваному процесу співставляються випадкові значення інтенсивності мережевого трафіка, то $X(t)\geq 0$, і тому всі усереднення на різних інтервалах спостереження значення також позитивні, отже $U_{j,k}\geq 0$. Це дозволяє сформулювати важливу для побудови моделі трафіка наступне твердження.

Твердження. Для того, щоб ряд (10) для будь-яких значень t був позитивним, необхідне і достатньо, щоб виконувалася умова

$$\left|W_{j,k}\right|\leq U_{j,k}.\qquad(13)$$

Доведення. Необхідність виконання (13) виходить з наступного. Складаючи співвідношення (11) і (12), одержимо:

$$U_{j,k}+W_{j,k}=2^{1/2}U_{j+1,2k};$$

$$U_{j,k}-W_{j,k}=2^{1/2}U_{j+1,2k+1}.$$

Тому що для послідовних інтервалів спостереження позитивного сигналу значення $U_{j+1,2k}$ і $U_{j+1,2k+1}$ більше нуля, то

$$\left|U_{j,k}\right|>\left|W_{j,k}\right|,$$

що і є підтвердженням необхідності виконання умови (13).

Достатність цієї умови виходить з того, що із наступних нерівностей:

$$W_{j,k}<U_{j,k};$$

$$-W_{j,k}>-U_{j,k},$$

виходячи із рекурентних співвідношень (11) і (12), одержимо:

$$U_{j+1,2k}=2^{-1/2}\left(U_{j,k}+W_{j,k}\right);$$

$$U_{j+1,2k+1}=2^{-1/2}\left(U_{j,k}-W_{j,k}\right).$$

Твердження доведене.

4. Побудова моделей

За умови збереження позитивності усереднених значень трафіка, коли даний інтервал стискається ($j \to \infty$), витікає, що самі значення трафіка задовольняють умові $z(t) > 0$ [21, 22]. Враховуючи, що властивості статистичної самоподібності виявляються для центрованих випадкових процесів, використання наведених розкладань може дуже істотно розширити можливості побудови моделей процесів в комп'ютерних мережах.

Так, якщо для моделі трафіку умова (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 (14) в моделі трафіку можуть бути зв'язані співвідношенням

$$W_{j,k} = a_{j,k} \cdot U_{j,k}, \tag{14}$$

де $a_{j,k}$ – випадковий і рівномірно розподілений на інтервалі [–1, 1] параметр моделі.

Такі фрактальні моделі на основі перетворення сплесків мають вигляд ряду (10) при виконанні умови (13) і виборі базисних функцій Хаара. Для спрощення обчислень значень $W_{j,k}$ можна не використовувати, а безпосередньо визначати суміжні коефіцієнти розкладання за формулами:

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

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

В цьому випадку модельовані відліки трафіка обчислюються як

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

а величина n визначає найвищу точність або найменший масштаб представлення модельованого трафіка.

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

$$U_{2,0} = \left(1 + a_{1,0}\right) 2^{-1/2} U_{1,0} =$$

$$-2^{-1}\left(1 + a_{1,0}\right)\left(1 + a_{00}\right) U_{00};$$

$$U_{2,1} = \left(1 - a_{1,0}\right) 2^{-1/2} U_{1,0} =$$

$$= 2^{-1}\left(1 - a_{1,0}\right)\left(1 - a_{00}\right) U_{00};$$

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

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

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 «вітку» коефіцієнтів відповідного бінарного дерева від U_{00} до U_{j,k_j}.

Зрештою одержимо таку остаточну рівність:

$$\begin{aligned} x^{(n)}(k) &= 2^{-n} U_{00} \prod_{i=0}^{n-1}\left(1 + (-1)^{k'_i} a_{ik_i}\right) = \\ &= 2^{-n} U_{00} \prod_{j=0}^{n-1}\left(1 + (-1)^{k'_i} a_{(j)}\right), \end{aligned} \tag{15}$$

де $a_{(j)}$ – випадкова змінна, розподіл якої відповідає моделі (142).

Відмітимо, що послідовність $x^{(n)}(k)$ не є стаціонарною в широкому сенсі. Із співвідношень (14) і (15) витікає, що моменти порядку для суміжних рівнів масштабування і j зв'язані простим алгебраїчним співвідношенням

$$M\left\{U^q_{j-1,k}\right\} = M\left\{U^q_{j,k}\right\} \cdot 2^{q/2} M\left\{\left(1 - a_{(j-1)}\right)^q\right\}^{-1}$$

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.

Висновок

Розроблений підхід до моделювання інтегрального трафіка на базі математичної моделі мережних процесів у мультисервісних мережах із інтегральним трафіком є адекватним реальному процесу і використовує на начальному етапі моделювання апарат вейвлет-перетворень, зокрема із використанням функції Хаара, та враховує фрактальний характер існуючого трафікового процесу. Розглянутий підхід до створення трафікової моделі дозволяє досить швидко визначити межі зміни масштабних та частотних властивостей аналізуємого процесу.

Перспективним напрямом подальших досліджень є прогнозування трафіка на основі статистичних характеристик із врахуванням властивості масштабної інваріантності на базі розробленого підходу до побудови трафікової моделі.

Список літератури

1. *Кучук Г.А., Гахов Р.П., Пашнев А.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.*
2. *Телекоммуникационные системы и сети. Т. 3. Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.*
3. *Кучук Г.А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 3. – С. 91-99.*
4. *Гургенидзе А.Т., Кореш В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Наука и техника, 2003. – 400 с.*
5. *Кучук Г.А. Моделирование трафика изолированного пульсирующего источника // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 168-173.*
6. *Leland W., Taqqu M., Willinger W. On the self-similar nature of IP-trafic // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1997. – № 3. – P. 423-431.*
7. *Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. – М.: Триумф, 2003. – 528 с.*
8. *Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Ин-т комп. исследований, 2002. – 656 с.*
9. *Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2.– С. 18-27.*
10. *Королев А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Управление сетевыми ресурсами. – Х.: ХВУ, 2004. – 224 с.*
11. *Варакин Л.Е. Введение в теорию инфокоммуникаций. Ч. 1. // Электросвязь. – 2000. – № 2 (14). – С. 2-11.*
12. *Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 6 (44). – С. 25 – 29.*
13. *Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.*
14. *Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.*
15. *Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и условия применения // Успехи физических наук. – 1998. – Т. 166, № 11. – С. 1145-1170.*
16. *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.*
17. *Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.*
18. *Zaborovsky V., Yegorov S. Traffic models and Management in High-Speed Networks // Proceedings of International Conference on Informatics and Control. – St.-P. – 1997. – P. 231-240.*
19. *Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. – К.: Техніка, 2001. – 392 с.*
20. *Стасєв Ю.В., Харітонов О.Л., Кучук Г.А.. Визначення непараметричних статистик фрактального мережного трафіка // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС,, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 163-172.*
21. *Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография // Г.А. Кучук, А.А. Можаев, Р.Э. Пащенко и др. – Х.: ЭкоПерспектива, 2006. – 360 с.*
22. *Кучук Г.А., Можаев А.А. Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 8 (27). – С. 261-271.*

Надійшла до редколегії 22.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТРАФИКА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Н.И. Науменко, Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасева

В данной статье рассмотрен подход к созданию модели интегрального трафика мультисервисной сети, при котором используется аппарат вейвлет-преобразований. На первом этапе моделирования выбирается линейное пространство, элементы которого могут выступать в качестве удовлетворительной замены рассматриваемого процесса. Дальше в выбранном пространстве строится ортонормированный вейвлет-базис, по которому проводится разбивка текущего сетевого трафика. Окончательная трафиковая модель учитывает результаты полученной разбивки и позволяет исследовать характеристики не только центрируемых приращений сетевой нагрузки, но и идентифицировать масштабно инвариантные характеристики самих потоков данных.

Ключевые слова: *интегральная мультисервисная сеть, трафик, масштабная инвариантность, вейвлет-преобразование, ортонормированый базис, непараметрические статистики второго порядка.*

DESIGN OF INTEGRAL TRAFFIC MULTISERVICE NETWORK WITH THE USE OF VEHICLE OF WAYVLET-TRANSFORMATIONS

N.I. Naumenko, G.A. Kuchuk, Ya.Yu. Staseva

In this article approach is considered to creation of model of integral traffic of multiservice network, which the vehicle wayvlet-transformations is used for. Linear space the elements of which can come forward as satisfactory replacement of the examined process gets out on the first stage of design. Farther a orthonormalized wayvlet-base which laying out of current network traffic is conducted on is built in the chosen space. A final трафиковая model takes into account the results of the got laying out and allows to explore descriptions of not only the centred increases of the network loading but also to identify invariant descriptions of flows of data scale.

Keywords: *integral multiservice network, traffic, scale invariance, wayvlet-transformation, orthonormalized base, non-parametric statisticians of the second order.*