УДК 004.7 DOI: 10.31673/2518-7678.2019.047479

Іщеряков С.М., к.т.н.; **Каргаполов Ю.В., Космінський Р.В., Піскун О.О.**

МЕТОДИКА ФРАКТАЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ СПОЖИВАННЯ ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ МЕТОДУ МУЛЬТИФРАКЦІЙНОГО ХВИЛЕВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Ischeryakov S.M., Karhapolov Yu.V., Kosminskyj R.V., Piskun O.O. Method of fractal calculation of computer network traffic consumption based on multifraction wave conversion method

The fractal method is the most constructive and versatile means of presenting the process, as it now solves hundreds of practical management and decision-making challenges.

The mathematical model of wave transformation provides an opportunity to adequately describe network traffic statistics and will be further explored in the future. The technique of fractal calculation of traffic usage based on mathematical theory of continuously reproducible self-similar process is considered in the article, mathematical model of wave transformation is developed.

In the field of information technology, fractal analysis can provide more adequate results than results based on the use of traditional analytical models and calculation algorithms to determine the required network resources over a period of time.

Keywords: fractal, singularity, traffic simulation, multifraction wave model, as-is, scaling, random variable, distribution, Serpinski triangle, random variables an adaptive radio communication channel, power, fuzzy logic, digital fuzzy controller, quality, fadings, synthesis, mathematical model, mathematical simulation, fuzzy-system.

Іщеряков С.М., Каргаполов Ю.В., Космінський Р.В., Піскун О.О. Методика фрактального розрахунку споживання трафіку комп'ютерної мережі на основі методу мультифракційного хвилевого перетворення

У статті розглянута методика фрактального розрахунку використання трафіку на основі математичної теорії безперервно відтворюваного самоподібного процесу, розроблена математична модель хвилевого перетворення.

В області інформаційних технологій фрактальний аналіз може надати можливість отримувати більш адекватні результати порівняно з результатами, які ґрунтуються на використанні традиційних аналітичних моделей та алгоритмів обчислення для визначення необхідних ресурсів мережі за певний проміжок часу. Фрактальний метод є найбільш конструктивним і універсальним засобом представлення процесу, оскільки на теперішній час за допомогою нього розв'язуються сотні практичних задач управління та прийняття рішення.

Математична модель хвилевого перетворення забезпечує можливість адекватного опису статистики мережевого трафіку і буде детальніше досліджена у майбутньому.

Ключові слова: фрактал, сингулярність, моделювання трафіку, мультифракційна хвилева модель, якість, масштабування, випадкова змінна, розподіл, трикутник Серпінського, випадкові величини.

Ищеряков С.М., Каргаполов Ю.В., Косминский Р.В., Пискун А.А. Методика фрактального расчета потребления трафика компьютерной сети на основе метода мультифракцийного волнового преобразования

В статье рассмотрена методика фрактального расчета использования трафика на основе математической теории непрерывно воспроизводимого самоподобного процесса, разработана математическая модель волнового преобразования.

В области информационных технологий фрактальный анализ может дать возможность получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, основанные на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов вычисления для определения необходимых ресурсов сети за определенный промежуток времени. Фрактальный метод является наиболее конструктивным и универсальным средством представления процесса, поскольку в настоящее время с помощью него решаются сотни практических задач управления и принятия решения.

Математическая модель волнового преобразования обеспечивает возможность адекватного описания статистики сетевого трафика и будет подробнее исследована в будущем.

Ключевые слова: фрактал, сингулярность, моделирование трафика, мультифракцийна волновая-модель, качество, масштабирование, случайная переменная, распределение, треугольника Серпинського, случайные величины.

Вступ

Якщо найбільшим винаходом у телекомунікаціях наприкінці XIX століття став телефон, то інтернет став наступником у XX столітті. З моменту свого публічного дебюту близько двох десятиліть тому інтернет зростав експоненціально за кількістю користувачів, кількістю комп'ютерів та кількістю мережевого трафіку. У XXI столітті перед нами постає завдання ефективного управління та обробки мережевих даних. Причому дослідження мережевого трафіку виявило деякі закономірності [1]. Зокрема, така фрактальна закономірність проявляється при проведенні аналізу даних. Тому аналіз та моделювання фрактального трафіку є актуальною темою дослідження в галузі компютерних наук при дослiджені передачі даних.

Мандельброт [2] вперше ввів термін "фрактал" три десятиліття тому і вивчив природні явища, використовуючи модель мультифракталу. У 1988 році Барнслі вказав, "що фрактали є скрізь", і розробив популярний алгоритм стиснення фрактального зображення, який називається "iterated functional system (IFS)" [3]. Однак застосування фрактальних алгоритмів в області передачі даних обмежується моделюванням трафіку [4]. Практичні фрактальні алгоритми у вимірюванні та управлінні трафіком ще недостатньо розроблені. Це обумовлено наступним:

1) фрактальний характер мережевого трафіку недостатньо вивчений;

2) дуже складно перевірити ідеї такої фрактальної поведінки через швидку зміну мережевих технологій, які впливають на характеристики трафіку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Фрактали використовують математичну міру у вигляді

$$\mu = \delta\ \alpha, \tag{1.1}$$

де δ – одиниця, а α – показник, який називається локальною сингулярністю (який потрібно визначити). При α = 1 μ дорівнює δ в традиційній формі, а міра предмета μ – це просто сума в одиницях δ. Значення α характеризують фрактальну множину у функціональному сенсі розподілу, виражену $f(\alpha)$. Отже, ми можемо записати

$$\mu(t) = \delta\alpha\,(t) \subset f\,(\alpha). \tag{1.2}$$

Крім того, міра μ також являється масштабованою, що змінюється за законом $\delta = 2^{-n}$ та $n\to\infty$ не буде впливати на $f(\alpha)$. Фрактал описує механізм самоорганізації. Він відтворює себе ітеративно. Проте це дозволяє забезпечити певну випадковість, не руйнуючи її механізму, тобто свою оригінальну форму. Приклад наведено на рис. 1. Стандартний трикутник Серпінського зображено на рис. 1, а. Для кожної ітерації трикутник може розбиватися на три напівмасштабних малих трикутники і утворений таким чином середній вилучається з подальших поділів. Цей процес можна теоретично повторити нескінченно. Тому, в загальному вигляді, будь-яка невелика частина фрактальної множини нескінченна у фрактальному просторі. Однак для більшості практичних випадків лише вимірюваний об'єкт має певне практичне значення. Отже, для трикутника Серпінського ми можемо визначити розмір трикутника у масштабі n

$$S\,[n] = N_n\,(\Delta) \times S_n\,(\Delta) = 3^n \times 2^{-2n-1}, \tag{1.3}$$

де Δ позначає дрібномасштабний трикутник $N_n(\Delta)$ – кількість малих трикутників, що залишились в масштабі *n*, $S_n(\Delta)$ – розмір одного невеликого трикутника. Трикутник Серпінського має фрактальний розмір d_f, який можна знайти наступним чином

$$\left.\begin{aligned} N_n(\Delta) &= 3^n \\ N_n(\Delta) &= \delta^{-d_f} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\delta=2^{-n}} d_f - \log_2 3 = 1.585\cdot \tag{1.4}$$

Отже, ми отримуємо

$$S[n] = 2^{-415n-1}, \tag{1.5}$$

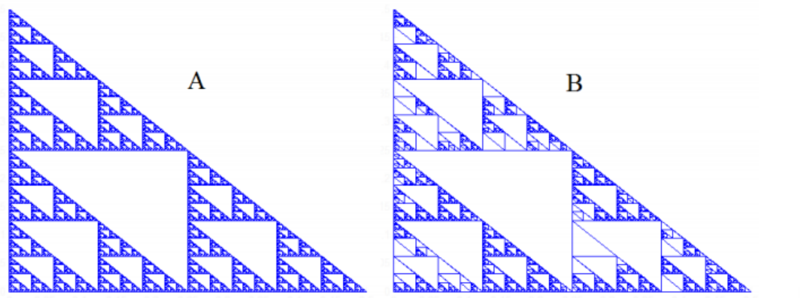

Рис. 1. Трикутники Серпінського:
а. Звичайний трикутник Серпінського;
б. Трикутник Серпінського з вірогідністю зупинки 0,25 на кожній шкалі в ітерації

Рис. 1, б все ще виглядає як трикутник Серпінського. Однак, якщо уважно придивитися, то можна побачити, що існує багато відсутніх трикутників у багатьох масштабах, оскільки встановлена ймовірність зупинки розщеплення трикутників. Який розмір цієї фігури, не рахуючи докладно трикутники? У цьому прикладі ймовірність зупинки віджимання є 0,25. Використовуючи (1.3) та (1.4), знаходимо

$$d_f\, 1.1699\ i\ S[n] = 2^{-0.8301n-1}. \tag{1.6}$$

У випадку мережевого трафіку "пробіли" є невикористаною пропускною здатністю протягом масштабованого інтервалу часу (рис. 2). Подібно до трикутника Серпінського, трафік має різний рівень "відкручувань": на рівні пакетів протоколу (TCP або UDP) відправляють пакети під час різкого збільшення трафіку; на рівні з'єднання кілька об'єктів (наприклад, на веб-сторінці) співвідносяться, а також різкого збільшення трафіку на рівні сеансу.

Хвилева модель інтернет трафіку

За допомогою хвилевого-перетворення можна декорелювати залежну структуру трафіку. Ключова теорія Капланда та Куо [5–6] стверджує, що коефіцієнти хвилі фрактальних даних є незалежними в кожному масштабі. Тому ці коефіцієнти можуть бути змодельовані як нульові середні Гауссові випадкові величини. Оскільки випадкова величина Гаусса має лише два параметри, середнє та дисперсійне значення, ми можемо використовувати хвильові коефіцієнти для зйомки структури LRD трафіку у кількох масштабах. При синтезі даних Гауссові змінні породжуються різницею хвильових коефіцієнтів у цих масштабах, а потім вибірки даних обчислюються шляхом зворотного хвилевого перетворення. Вищевказаний метод часто називають незалежною хвилевою моделлю [7]. Однак є проблема з IWM. Він створює нереальні негативні значення для трафіку через використання випадкових змінних Гаусса. Інший підхід, запропонований Ріді та ін. [8] вирішили цю проблему. Ця модель називається мультифракційною хвилевою-моделлю (MWM).

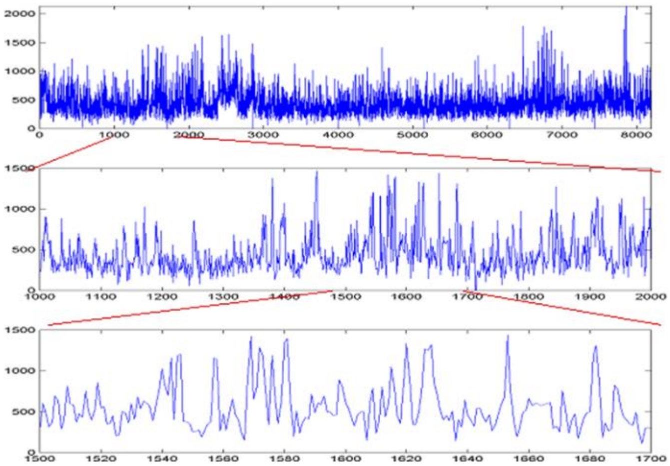

Рис. 2. Фрактальний мережевий трафік з різними часовими масштабами

Модель MWM представлена на рис. 3.

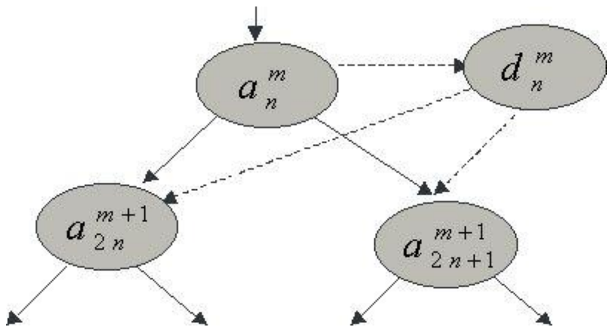

Рис. 3. Ілюстрація моделі руху трафіку MWM

У хвилевому-перетворенні Хаара коефіцієнти масштабування можна знайти за системою рівнянь

$$\begin{cases} a_{2n}^{m+1} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(a_n^m + d_n^m) \\ a_{2n+1}^{m+1} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(a_n^m - d_n^m) \end{cases} \qquad (1.7)$$

Для позитивного процесу, $a_n^m \geq 0$ і $a_n^m \geq \left|d_n^m\right|$ для будь-якого *m*, *s*, *n*.

Нехай A_n^m являється випадковою змінною і $\mathrm{A}_n^m \in$ [-1; 1]. Тому можна встановити

$$d_n^m = A_n^m a_n^m . \qquad (1.8)$$

Звідси, на основі (1.7) та (1.8) отримаємо

$$\begin{cases} a_{2n}^{m+1} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(1 + A_n^m)a_n^m \\ a_{2n+1}^{m+1} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(1 - A_n^m)a_n^m \end{cases} \qquad (1.9)$$

Використовуючи (1.9) і застосовуючи розподіл випадкової величини A_n^m, ми можемо точно синтезувати траєкторію трафіку. У роботі Ріді [8] були досліджені два розподіли для випадкових 20 змінних A_n^m: симетричний бета-розподіл та розподіл точок-маси. Крім того, для моделювання потрібно, щоб A_n^m представляв собою рівномірно розподілений і симетричний стаціонарний процес. Тоді властивість масштабування енергії хвилі може бути зафіксована як

$$\frac{Var[d_n^m]}{Var[d_n^{m+1}]} = \frac{2E[(A^m)]}{E[(A^{m+1})](1 + E[(A^{m+1})^2])} = 2^{2H-1} \qquad (1.10)$$

Щоб визначити відповідність структури масштабування енергії, необхідно рекурсивно розв'язати (1.10), починаючи з найбільш грубої шкали $m = 0$. Більш важливим являється те, що алгоритм MWM можна ототожнити з біноміальним каскадом і близьким до мультифракційної міри в природній фрактальній структурі. Це дає можливість описати модель мережевого трафіку на основі отриманої статистики. Дослідження цих моделей представляє науковий інтерес в майбутньому.

Висновки

В області інформаційних технологій фрактальний аналіз дає можливість отримувати більш адекватні результати порівняно з результатами, які основані на використанні традиційних аналітичних моделей та алгоритмів обчислення потреб мережі за певний проміжок часу.

Актуальність впровадження, використання та подальшого вивчення тенденцій збільшення споживання інтернет трафіку методом хвилевого перетворення та його переваги над відомими класичними концепціями моделювання полягає у збільшенні степеню адаптованості до специфіки задач які постають за типових вихідних даних: коректність даних та врахування більшої кількості різних факторів, які впливають на процеси.

З одного боку, традиційні методи дають свої результати, однак вони не прийнятні, коли вихідне описання проблеми, яку необхідно вирішити, завідомо є неточним або носить масштаби які виходять за звичні рамки. Можливість врахувати більшу кількість аспектів робить їх ефективними, прагнення отримати всю вичерпну інформацію для побудови точної моделі реальної ситуації будь-якої складності може дозволити шляхом спостереження та аналізу локальних спостережень зрозуміти глобальну картину дійсності. В подібних ситуаціях найбільш доцільно скористатися такими методами, які враховують неповноту та неточність вихідних даних. Тому доцільно скористатися такими методами, які спеціально орієнтовані на побудову моделей, що враховують неповноту та неточність вихідних даних.

Методика фрактального розрахунку споживання трафіку на основі методу хвилевого перетворення показує спосіб спостереження і передбачення навантаження комп'ютерної мережі, який дозволяє зекономити ресурси та покращити якість послуг. Представлена методика хвилевого перетворення є одним з варіантів розрахунку мережі, і служить основою для більш вузько направлених потреб. Фрактальний метод є найбільш конструктивним і універсальним засобом уявлення ситуації, оскільки на теперішній час на його основі розв'язуються практичні завдання управління та прийняття рішення.

Список використаної літератури

1. W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, D. V. Wilson, “Про самоподібний характер трафіку Ethernet”, IEEE / ACM Trans. Networking Vol. 2, арк.1-15. 1994 рік.

2. Б. Б. Мандельброт, Фрактальна геометрія природи. W.H.Freeman and Company, Нью-Йорк, 1982 рік.

3. М.Барнслі, Фрактали скрізь. Academic Press Professional, 1993.

4. R.Riedi, M.S.Crouse, V.J.Ribeiro та R.G. Баранюк, “Мультифракційна модель вейвлетів із застосуванням до мережевого трафіку”, IEEE Trans. Інформу-вати. Теорія, Вип. 45, №3, арк.992-1018, квіт.1999.

5. Л.М.Каплан і К.Д.Куо, “Фрактальна оцінка за шумовими даними за допомогою дискретного дробового гауссового шуму (DFGN) та основи Хаара”, IEEE Trans. в Інфо. Теорія, 41 (12), 1993.

6. Л.М.Каплан і К.Д.Куо, "Розширення самоподібності дробового броунівського руху" IEEE Trans. Обробка сигналів, т.42, pp3526-30, груд.1994.

7. С. Ма і К. Джі, "Моделювання гетерогенного мережевого трафіку в домені вейвлетів", IEEE / ACM Trans. у Мережах, т.9, №5, жовт.2001, стор. 634-49.

8. R.Riedi, M.S.Crouse, V.J.Ribeiro, and R.G. Baraniuk, “A multifractal wavelet model with application to network traffic,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 45, no.3, pp.992-1018, Apr.1999.

Автори статті

Іщеряков Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Каргаполов Юрій Володимирович – старший викладач кафедри комп’ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Космінський Роман Віталійович – аспірант, асистент кафедри комп’ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Піскун Олександр Олександрович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Ishcheriakov Serhii Mikhailovich – candidate of Sciences (technical), associate professor, associate professor of Computer Science Department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Karhapolov Yuriy Volodymyrovych - senior lecturer of Computer Science Department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kosminskyj Roman Vitaliovych – postgraduate student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Piskun Olexander Olexandrovich – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 02.11.2019 р. Рецензент: д.т.н., доцент В.Ф. Заїка