

обработка информации / В. Корнеев, А. Гареев, С. Васютин, В. Райх. – М: Нолидж, 2000. – 352 с. 7. Ландэ Д. Основы моделирования и оценки электронных информационных потоков / Д. Ландэ, В. Фурашев, С. Брайчевский, О. Григорьев. – К: Інжиніринг, 2006. – 348 с. 8. Ландэ Д. Основы интеграции информационных потоков: монография / Д. Ландэ. – К: Інжиніринг, 2006. – 240 с. 9. Овсяк В. Алгоритми: методи побудови, оптимізації, дослідження вірогідності / В. Овсяк. – Л: Світ, 2001. – 160 с. 10. Пасічник В. Математична лінгвістика / В. Висоцька, В. Пасічник, Ю. Щербина, Т. Шестакевич. – Л: Новий Світ – 2000, 2012. – 359 с. 11. Советов Б. Моделирование систем / Б. Советов, С. Яковлев. – М: ВШ, 1998. 12. Федорчук А. Контент-мониторинг информационных потоков / А. Федорчук. – Киев, 2005. – № 3. 13. Molga A. Problem solving on absolute value – relevance of visualisation by means of TI-Nspire graphic calculator / Molga A., Wójtowicz M. // Education-Technology-Computer Science, Main problems of informatics and information education, Scientific annual No/2/2011/Part2, Uniwersytet Rzeszowski. – Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów 2011. – S. 242–252. 14. Molga A. Use of computer technology in the design process / Molga A., Wójtowicz M. // Education-Technology-Computer Science, Main problems of informatics and information education, Scientific annual No/4/2013/Part2, Uniwersytet Rzeszowski. – Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów 2013. – S. 418–423.

УДК 004

В. Гнатушенко, Данладі Алі

Національна металургійна академія України,  
кафедра інформаційних технологій та систем

## ДОСЛІДЖЕННЯ САМОПОДІБНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ТРАФІКУ НА ОСНОВІ ON/OFF МОДЕЛІ

© Гнатушенко В., Данладі Алі, 2013

**Розглянуто взаємозв'язок різних характеристик випадкового процесу, пов'язаних з ефектом самоподібності. Проведено імітаційне моделювання процесу передавання трафіку. Отримано результати оцінки показника Херста різними методами.**

**Ключові слова: випадковий процес, on/off модель, трафік, самоподібність, мережа.**

**The article examines the relationship of the various characteristics of the random process associated with the effect of self-similarity. A simulation of the transfer traffic. The results Hurst parameter estimation by different methods.**

**Key words: random process, on/off model, traffic, self-similarity, network.**

### Постановка проблеми

Під час дослідження та вивчення різних властивостей і характеристик систем передачі інформації виникає завдання побудови моделей вхідного трафіку, характеристики яких були б найближчими до характеристик реальних потоків даних. Дослідження різних типів мережевого трафіку за останні роки доводять, що мережевий трафік є самоподібним (self-similar) або фрактальним (fractal) за природою [1–5]. З цього випливає, що використовувані методи моделювання та розрахунку мережевих систем, основані на використанні пуассонівських потоків, не дають повної та точної картини того, що відбувається в мережі.

### Аналіз останніх досліджень

У роботі [6] на основі аналізу великої кількості робіт з дослідження трафіку в IP мережах наведено класифікацію трафіку, і кожному виду трафіку увідповіднений закон розподілу. У роботі

стверджується, що найширше застосовуються три види розподілів: Парето, Вейбулла і логнормальний. Розподіл Парето, як розподіл з важким хвостом, використовується для моделювання інтервалів між запитами до web-ресурсів, розмірів переданих файлів, трафіку VoIP. Розподіл Вейбулла застосовується для моделювання процесів надходження протокольних блоків FTP. Логнормальний розподіл, як найперша модель самоподібного трафіку, використовується для моделювання інтервалів надходження пакетів у локальних обчислювальних мережах, часу між викликами в Call-центрах, розмірів переданих файлів. На особливу увагу заслуговує той факт, що при агрегуванні потоків від декількох джерел, у випадку, якщо хоча б один з них має властивості самоподібності, властивостями самоподібності володітиме і результуючий сумарний потік. Об'єднання потоків від джерел, що генерують трафік, описуваний процесом з нескінченною дисперсією, призводить до самоподібного мережевого трафіку, який прагне до трафіку, описуваного моделлю фрактального броунівського руху. Самоподібність також зберігається при об'єднанні потоків і від однорідних і від різнорідних джерел трафіку. Набули поширення в описі пакетного трафіку ON / OFF-моделі.

### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

За результатами аналізу публікацій, в яких досліджено самоподібні потоки, в межах завдань, що вирішуються в цій статті, найбільший інтерес викликає значення параметра Херста при передачі трафіку віддаленими робочими станціями, що передають інформаційний потік, дані в якому пакетуються за розподілом Парето.

### **Виклад основного матеріалу**

Як зазначалося, одним з важливих моментів у розробленні моделей мережевого трафіку є аналіз відповідності поведінки цих моделей дослідним даним, що вказує на корельованість значень трафіку в широкому часовому діапазоні або на протяжну залежність його кореляційної функції. Різні підходи і рішення з виявлення цієї відповідності експериментальним даним, знятим на пакетному рівні з різних внутрішніх комутаторів у сучасних високошвидкісних мережах, проаналізовано у низці робіт [2–5]. Визначальним фактором наявності цієї властивості для ON/OFF моделі є так званий “важкий” розподіл, що характеризує той факт, що ймовірності довгих ON і OFF інтервалів порядку  $T$  (довгих серій пакетів і міжсерійних інтервалів) можуть бути значними  $P(T > t) \sim t^{-\beta}$ ,  $t \rightarrow \infty$ ,  $0 < \beta < 1$ . Інтервал ON ототожнюється з переданою серією пакетів, а інтервал OFF – з відсутністю передачі пакетів. Ці визначення без конкретизації виду функції розподілу ON/OFF інтервалів взято за основу побудови моделі мережевого трафіку. Тобто в ON/OFF-моделях трафік розглядається як комбінація джерел, які його генерують. Розмір ON-і OFF-періодів є випадковою величиною, яка повинна мати кінцеве математичне сподівання і нескінченну дисперсію. Зазначимо, що ON/OFF часто класифікується як чергуючий фрактальний процес відновлення – один з різновидів FPP. FPP – фрактальні точкові процеси, які є дуже наочними для моделювання самоподібного трафіку. Найпростіший точковий процес представляється на часовій осі неубутною ступінчастою функцією, моменти зростання якої є випадковими. Існує багато модифікацій FPP, які доволі економічні й обчислювально ефективні.

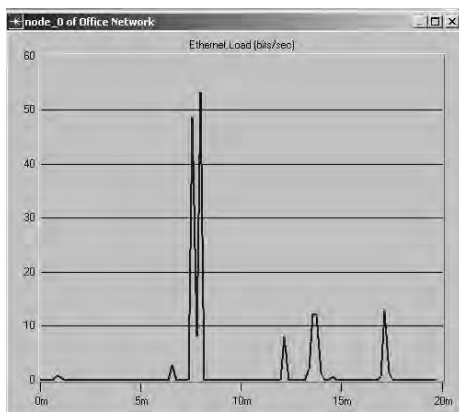
Вважаємо далі, що послідовність пакетів у ON інтервалі має регулярний стаціонарний характер, а сама випадковість у мережевому трафіку зумовлена тільки статистичним характером ON/OFF інтервалів. В роботі побудовано імітаційну модель передачі трафіку в комп'ютерній мережі в середовище OPNET. Налаштування відповідних параметрів станції та графіки завантаження каналів подано на рис. 1 і 2.

Дисперсії цих інтервалів виявляються великими або навіть прямують до нескінченності. Експериментальні дані вказують на своєрідну поведінку мережевого трафіку, що не вкладається в межі поведінки відомих моделей черг (пуассонівських, марковських, модульованих тощо). Для останніх моделей корельованість подій виявляється на обмежених відрізках часу. З протяжною залежністю тісно пов'язана властивість самоподібності, що визначає фрактальний характер цієї функції.

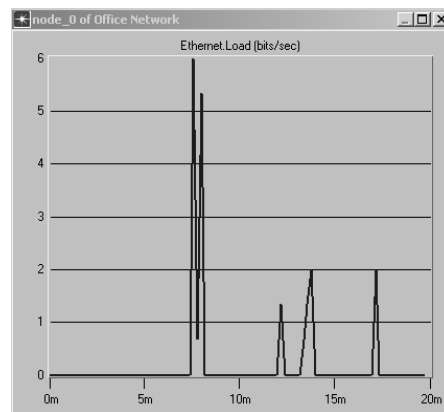
Модель узагальненого трафіку можна отримати в результаті агрегування (суперпозиції) великої кількості незалежних однаково розподілених стаціонарних точкових процесів відновлення. Припускаючи строге чергування інтервалів, отримаємо послідовність цих інтервалів на всій сукупності потоку точок. Описуючи поведінку цих випадкових інтервалів “важким” розподілом, приходимо до узагальненого мережевого трафіку з фрактальними властивостями.

Attribute	Value
Type	station
name	node_0
model	ethernet_station
Traffic Generation Parameters	(...)
Start Time (seconds)	constant (5.0)
ON State Time (seconds)	exponential (10.0)
OFF State Time (seconds)	exponential (90.0)
Packet Generation Arguments	(...)
Interarrival Time (seconds)	exponential (1)
Packet Size (bytes)	pareto (0.1, 0.8)
Segmentation Size (bytes)	No Segmentation
Stop Time (seconds)	Never

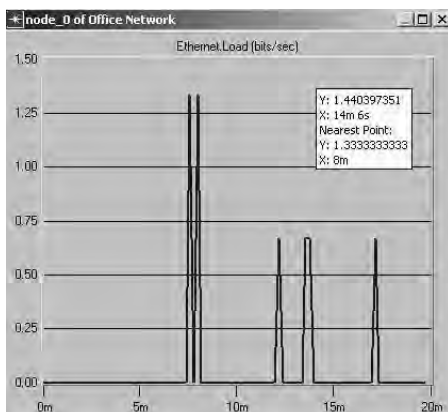
Рис. 1. Параметри трафіку



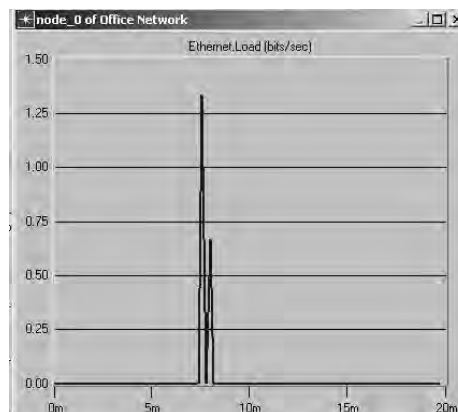
а) *pareto (0.1,0.8)*



б) *pareto (0.1,1.2)*



в) *pareto (0.1,1.6)*



г) *pareto (0.1,1.8)*

Рис. 2. Графіки завантаження каналу

На рис. 4 наведено графік автокореляційної функції досліджуваного часового ряду. Обчислення виконано за допомогою класичної формули

$$r(k) = \frac{1}{N-\tau} \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sigma^2(x)}, \quad (1)$$

де  $\bar{x}$  – вибіркове середнє ряду  $X$ ;  $\sigma^2(x)$  – вибіркова дисперсія ряду  $X$ ;  $k \in \mathbb{Z}_+ = \{0, 1, 2, \dots\}$

Досліджуючи автокореляційну функцію та енергетичний спектр (рис. 3), також можна відзначити наявність гармонічних компонент й слабке спадання АКФ цього виду трафіку.

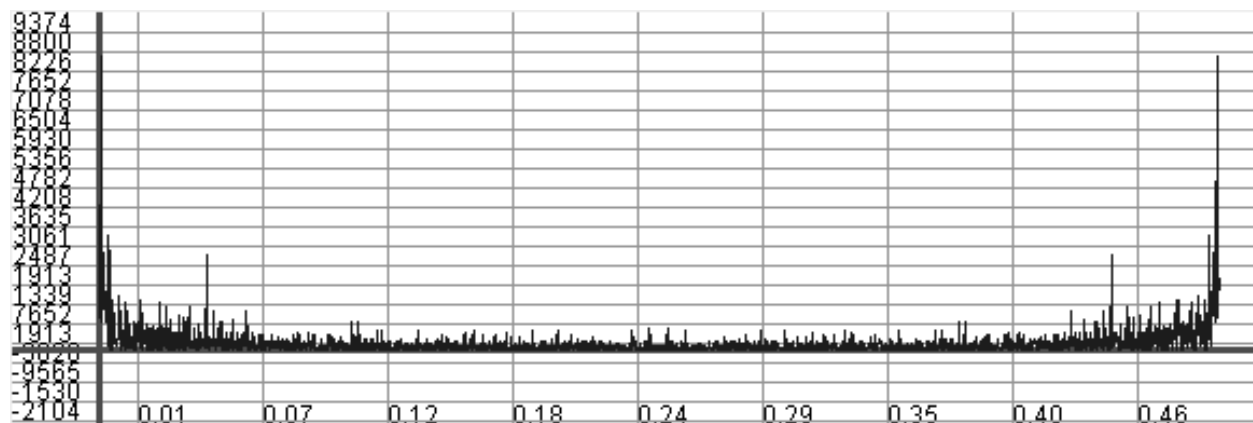


Рис. 3. Спектр потужності мережі

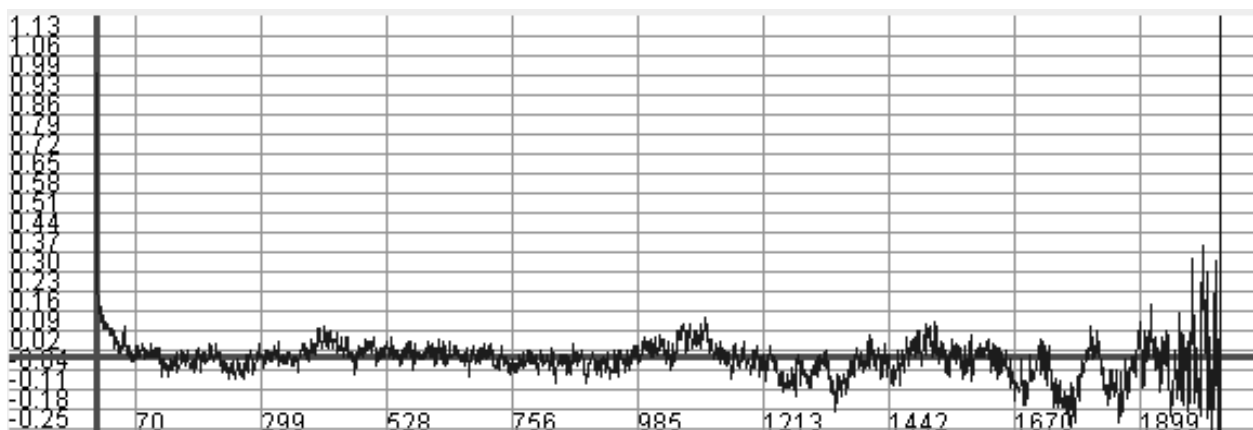


Рис. 4. Автокореляційна функція

У роботі знайдено значення коефіцієнта Херста сімома методами:

1. Метод сукупної відмінності (Variance method). Логарифмічна вибіркова дисперсія порівняно з рівнем агрегування повинна бути прямою лінією з нахилом більше ніж  $-1$ . В цьому випадку  $H=1+B/2$ .

2. Метод нормованого розмаху (R/S plot method). Логарифмічна вибірка R/S статистики порівняно з кількістю точок агрегованих серій  $\epsilon$  прямою лінією з нахилом.

3. Метод абсолютних моментів (Absolute Moments). Агреговані серії  $X(m)$  визначає використання різних розмірів блоків  $m$ . Логарифмічна агрегація, порівняно з рівнем абсолютного першого моменту агрегованих серій  $X$ , повинна бути прямою лінією з нахилом  $H-1$ .

4. Метод різниці залишків (Variance of Residuals). Логарифмічна агрегація порівняно з рівнем середньої дисперсії залишків повинна бути прямою лінією з нахилом  $H/2$ .

5. Метод розрахунку з використанням періодограм (Periodogram). Це метод ділянок логарифма спектральної щільності часового ряду порівняно з логарифмом частоти. Нахил забезпечує оцінку  $H$ . Періодограма задається формулою

$$I(v) = \frac{1}{2pN} \left| \sum_{j=1}^N X(je^{jv}) \right|^2, \quad (2)$$

де  $v$  – частота,  $N$  – довжина часового ряду,

6. Метод розрахунку енергії сплесків (Abry-Veitch Estimator) – для оцінки показника  $H$  використовується енергія серій в різних масштабах.

7. Метод розрахунку мінімальних значень (Whittle Estimator), оснований на мінімізації функції правдоподібності, яка застосовується до періоду часових рядів, надає оцінку  $H$  та залежність на довірчому інтервалі.

Кожен з цих методів має свою точність й похибку розрахунків. Отримані результати зведено в таблицю.

### Отримані результати оцінки показника Херста

Параметр періоду ON/OFF	Aggregate оцінка	R/S оцінка	Periodogram оцінка	Whittle оцінка	Середнє значення $H$
Pareto(10,0.8)	0.647	0.773	0.636	0.628	0.67100
Pareto(10,1.2)	0.640	0.699	0.576	0.608	0.63075
Pareto(10,1.6)	0.637	0.669	0.518	0.546	0.59250
Pareto(10,1.8)	0.598	0.671	0.625	0.559	0.61325

Значення експоненти Херста для всіх розглянутих випадків стабільно більше за 0,5, що свідчить про проявлення ефекту самоподібності в досліджуваній реалізації. Показник Херста ( $H$ ) є мірою стійкості статистичного явища чи мірою тривалості довгострокової залежності процесу. Чим ближче значення  $H$  до 1, тим вищий ступінь стійкості довготривалої залежності. Якщо  $0 \leq H \leq 0,5$ , часовий ряд є трендонестійким (антиперсистентним). Він мінливіший, ніж випадковий ряд, оскільки складається з частих реверсів спад-підйом. Якщо  $0,5 \leq H \leq 1$ , ряд є трендостійким. Тенденція його змін може бути прогнозована. Результати моделювання показали, що метод енергії сплесків є найефективнішим для аналізу процесів у сучасних телекомунікаційних мережах. Самоподібні властивості потоку слабко залежать від характеристик періоду ON-OFF, а також, за близькості значень  $\alpha$  до 1 і більше її, трафік не володіє великими властивостями самоподібності, що суперечить теоретичним даним.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Кожен з розглянутих методів має певну точність й похибку розрахунку. З отриманих результатів можна зробити висновок, що для реального трафіку середнє значення показника Херста  $H$  більше за 0,5. Це свідчить про прояв ефекту самоподібності в досліджуваній реалізації комп'ютерної мережі, оскільки показник Херста, є мірою стійкості статистичного явища або мірою тривалості довготривалого процесу. Чим ближче значення  $H$  до 1, тим вищий рівень стійкості. Це дає нам можливість прогнозувати поведінку трафіку.

1. Norros, I. A storage model with self-similar input / I. Norros // *Queueing System*. – 1994. – V. 8.
2. Taqqu M.S., *Proof of a Fundamental Result in Self-Similar Traffic Modeling* / Taqqu M.S., Willinger W., Sherman R. // *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* – 1997. – Vol. 27, Issue 2. – P. 5–23.
3. Шелухин О.И., Тенякишев А.М., Осин А.В. *Фрактальные процессы в телекоммуникациях: монография* / под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
4. Большаков И.А. *Прикладная теория случайных потоков* / И.А. Большаков, В.С. Ракошиц. – М.: Сов. радио, 1978.
5. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. *Информатика: фрактальные процессы в компьютерных сетях*. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 102 с. Симонина О.А. Яновский Г.Г. *Характеристики трафика в сетях IP* // *Труды учебных заведений связи*. – 2004. – № 177. – С. 8–14.