

6. J.M. Alonso, A.J.Calleja, J.Ribas, E.Lopez, M.Rico-Secades, J. Sebastian.//Using Input-Current-Shaper Based Electronic Ballast.//Conf. Rec. IEEE APEC'99, 1999, pp.746-752.
7. J.M. Alonso, A.J.Calleja, J.Ribas, E.Lopez, M.Rico, J. Sebastian.//Design and Experimental Results of an Input Current Shaper in the Implementation of High-Power-Factor Electronic Ballasts.//Conf. Rec. IEEE IAC'99, 1999, pp.269-276.
8. C.K.Tse. Circuit theory of power factor correction in switching converters. // International Journal of Circuit theory and Application. Vol.31,No.2, 2003, pp.157÷198.
9. Лупенко А.М. Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності.//Деклараційний патент України №17388б опубл.в бюл.№9 від 15.09.2006.
10. M.Gulko, S.Ben-Yaakov. Current-Sourcing Push-Pull Parallel-Resonance Inverter (CS-PPRI): Thory and Application as a Fluorescent Lamp Driver.// Conf. Rec. IEEE APEC'93, 1993, pp.411-417.
11. А.Лупенко. Аналіз вихідного високочастотного каскаду електронного пускорегулюючого апарата. //Вісник Тернопільського державного технічного університету. -2004. –Т.9.-№4. – С. 117-127.
12. А.Лупенко. Люмінесцентна лампа як елемент електричного кола та її високочастотна модель. //Вісник Тернопільського державного технічного університету. -2006. –Т.11.-№4. – С. 109-117.
13. Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп.- М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
14. Е.А.Обжерин, Д.И.Панфилов, В.Д.Поляков. Сравнительный анализ способов регулирования светового потока люминесцентных ламп.//Светотехника, 2003.- №3.- С. 21-23.

Одержано 28.02.2007 р.

УДК 681.327.8

М.Карпінський, докт.техн.наук; Н.Герила

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕЛЕТРАФІКУ

Проведено теоретичний аналіз процесів, що описують випадковий потік даних у телекомунікаційних мережах, досліджено потік даних комп'ютерної мережі з точки зору ефекту самоподібності. Отримано математичні залежності щодо розподілу потоку даних у глобальній мережі Internet.

M.Karpinskyy, N.Heryla

RESEARCH OF TELETRAFFIC PROPERTIES

The theoretical analysis of processes which describe the casual stream of information in telecommunication networks is conducted, probed began to the flow information of network from the point of view the effect of self similarity. Mathematical dependences are got in relation to the division of stream of information in the global network of Internet.

При проектуванні, запуску й експлуатації інформаційних телекомунікаційних мереж однією з основних проблем є задача забезпечення якості обслуговування (заданих рівнів затримок, втрат і ін.) при обробці потоку даних - трафіка, що є наслідком інформаційного обміну між системами.

Донедавна теоретичну базу для проектування систем розподілу інформації забезпечувала теорія телетрафіка, що є однією з галузей теорії масового обслуговування і з'явилася в результаті робіт А.К.Ерланга, Т.Енгсета, Г.О.Делла, К.Пальма, А.Я.Хинчина й ін.

Дана теорія добре описує процеси, що відбуваються в таких системах розподілу інформації, як телефонні мережі, побудовані за принципом комутації каналів.

Найбільш розповсюдженою моделлю потоку викликів (даних) у теорії телетрафіка є найпростіший потік (стаціонарний ординарний потік без післядії), названий стаціонарним пуассонівським потоком.

Теперішній період бурхливого розвитку високих технологій привів до появи і значного поширення мереж з пакетною передачею даних, що поступово стали витіснити системи з комутацією каналів, але, як і раніше, вони проектувалися на основі загальних положень теорії телетрафіка.

Однак у 1993 році група американських дослідників W.Leland, M.Taqqi, W.Willinger і D.Wilson опублікували результати своєї нової роботи, яка суттєво змінила існуючу уяву про процеси, що відбуваються в телекомунікаційних мережах з комутацією пакетів. Ці дослідники вивчили трафік в інформаційній мережі корпорації Bellcore і знайшли, що потоки в ній не можна апроксимувати найпростішими, і, як наслідок, вони вже мають зовсім іншу структуру, ніж прийнята в класичній теорії телетрафіка. Зокрема, було встановлено, що трафік такої мережі володіє так званою властивістю самоподібності, тобто виглядає якісно однаково при майже будь-яких масштабах тимчасової осі, має пам'ять (післядію), а також характеризується високою надмірністю.

У результаті теоретичний розрахунок параметрів системи розподілу інформації, призначений для обробки такого трафіка, за класичними формулами дає некоректні і невиправдано оптимістичні результати. Більш того, звичні алгоритми обробки трафіка, створені для роботи з найпростішими потоками, виявляються недостатньо ефективними для потоків з самоподібною природою. Таким чином, утворилася проблема самоподібності телетрафіка, якій за останні роки присвячено більше тисячі робіт і яка до сьогодні не втратила своєї актуальності. Серед закордонних учених, які активно займаються цією проблемою, необхідно виділити вже згадуваних авторів, яким належать найбільш фундаментальні праці в цьому напрямку, а також К. Park, В. Ruu, V.Paxson, R. Mondragon і ін. Серед російських та українських дослідників необхідно відзначити роботи В.И.Неймана, Б.С.Цибакова, Н.Б.Лиханова, О.И.Шелухина, В.С.Заборовского, А.Я. Городецького й ін.

Незважаючи на значну популярність цієї тематики і тривалий період її активного вивчення, доводиться констатувати, що дотепер залишається безліч питань і невіршених задач.

Телетрафік – це поняття, яке можна визначити як рух інформаційних потоків в інформаційних системах. Теорія телетрафіка вивчає закономірності і кількісний опис інформаційних потоків.

Основною математичною моделлю процесів, що описують трафік у телекомунікаційних мережах, є випадковий потік даних. Випадковий потік володіє наступними основними властивостями:

- стаціонарність – незалежність ймовірнісних характеристик від часу;
- ступінь післядії – рівень залежності ймовірності надходження подій від попередніх;
- ординарність – нескінченно мала ймовірність надходження більше ніж однієї події за нескінченно малий інтервал часу.

Потік як випадковий процес характеризується своїми статистичними властивостями. Найчастіше використовуються: щільність ймовірності надходження даних за період, щільність ймовірності інтервалів між надходженнями даних і автокореляційна функція.

Пуассонівський потік даних.

Класичною моделлю трафіка в інформаційних мережах є пуассонівський (найпростіший) потік. Він характеризується набором ймовірностей $P(k)$ надходження k повідомлень за часовий інтервал t [1]:

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де $k=0,1,\dots$ -кількість повідомлень; λ - інтенсивність потоку.

Зауважимо, що інтервал часу вимірювання кількості повідомлень t та інтенсивність потоку λ є постійними величинами.

Сімейство пуассонівських розподілів $P(k)$ у залежності від λ зображено на рис. 1. Більше значення λ відповідає більш широкому і симетричному графіку щільності ймовірності.

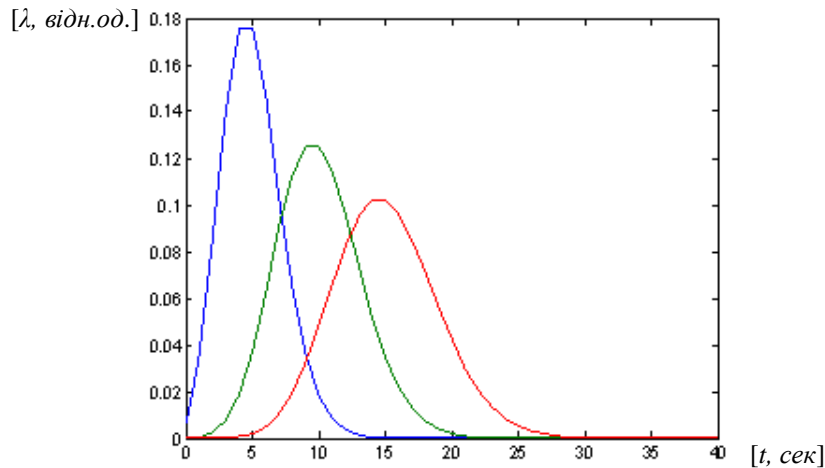


Рисунок 1 - Пуассонівські розподіли. Щільності ймовірностей.

Математичне сподівання (середнє) і дисперсія пуассонівського потоку дорівнюють λ . Знаючи ймовірність надходження даних за період, можна одержати розподіл інтервалу τ між сусідніми подіями [1]:

$$P(\tau) = \lambda \cdot e^{-\lambda \tau}. \quad (2)$$

Звідси висновок: пуассонівський потік характеризується експоненціальним розподілом інтервалів між подіями.

Основною властивістю пуассонівського потоку, що зумовлює його широке застосування для моделювання, є адитивність: результуючий потік суми пуассонівських потоків теж є пуассонівським із сумарною інтенсивністю [1]:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum \lambda \quad (3)$$

При моделюванні пуассонівський потік можна одержати мультиплексуванням сукупності ON/OFF джерел, що називаються марковими процесами (рис. 2).

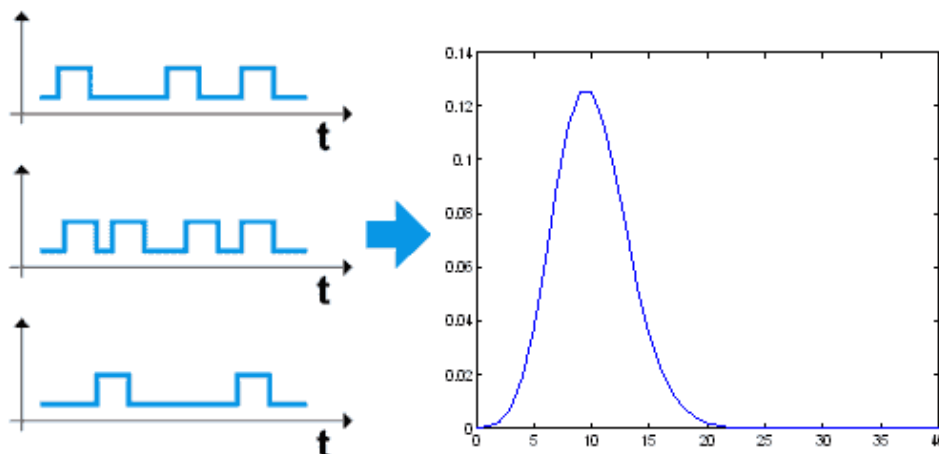


Рисунок 2 - Одержання пуассонівського розподілу.

Важкохвостовий розподіл

Вважається, що випадкова величина має розподіл з важким (вагомим) хвостом (PBX або Heavy Tailed), якщо:

$$P(x) \approx x^{-\alpha} \quad \text{при } x \rightarrow 0. \quad (4)$$

Тобто хвіст розподілу згасає за степеневим законом, на відміну від, наприклад, Гаусівського розподілу з експонентним зменшенням хвоста. Приклад важкохвостового розподілу наведений на рис. 3.

Вважається, що мережевий трафік у багатьох випадках найкраще описується саме важкохвостовим розподілом, наприклад розподілом Парето [1].

Автокореляційна функція (АКФ)

Автокореляція – кореляційний зв'язок між значеннями того самого випадкового процесу в рознесені моменти часу. Автокореляційна функція (АКФ) характеризує цей зв'язок. У загальному випадку АКФ характеризує внутрішню залежність між тимчасовим рядом і тим же рядом, але зміщеним на деякий проміжок (зміщення) часу, що називається лагом.

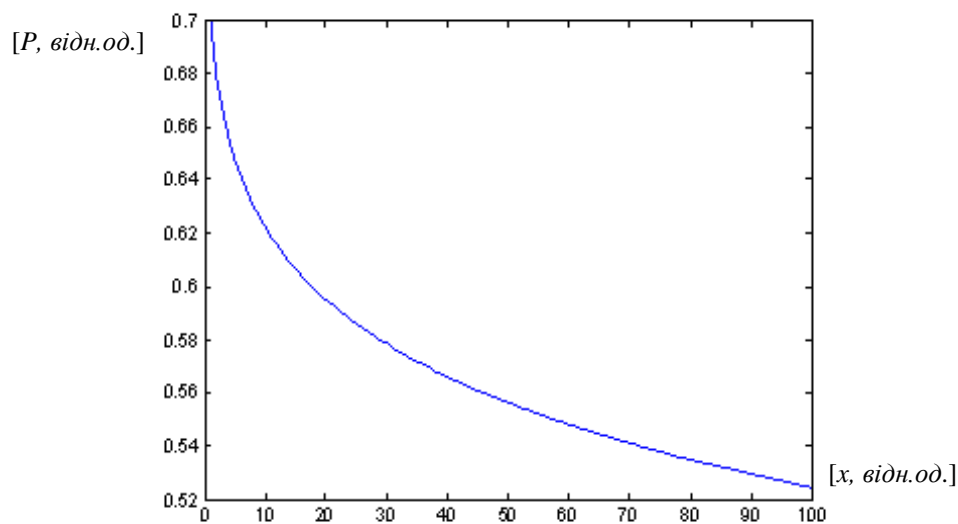


Рисунок 3 - Приклад важкохвостового розподілу.

Обчислення АКФ проводяться за класичною формулою:

$$r(k) = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X}) \cdot (X_{i+k} - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad (5)$$

де \bar{X} - вибіркове середнє, k = 0, 1, 2, ... - лаг.

Повільно зменшувана залежність (ПЗЗ)

Вважається, що процес має повільно зменшувану залежність (ПЗЗ, long range dependence), якщо він характеризується АКФ, що спадає гіперболічно (за степеневим законом) при збільшенні лага [1]. На протигагу ПЗЗ використовується поняття швидко зменшуваної залежності (ШЗЗ) (рис 4).

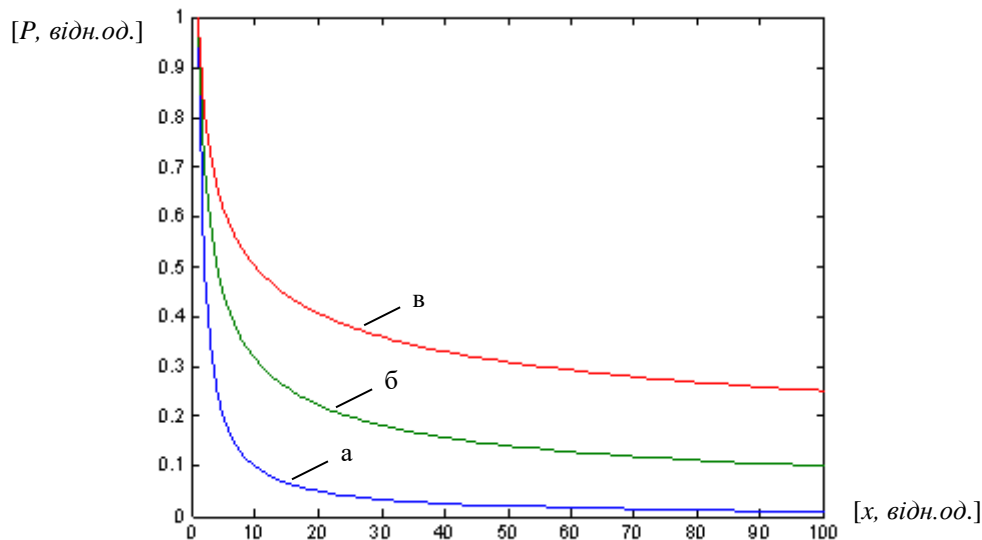


Рисунок 4 - АКФ ШЗЗ (а) і АКФ ПЗЗ (б,в).

З поняттям ПЗЗ зв'язана найважливіша прогнозуюча властивість – тривала пам'ять, що характеризується залежністю поточних параметрів процесу від попередніх.

Самоподібність трафіка

Численні сучасні дослідження Інтернет трафіка свідчать про те, що він має властивість самоподібності [1].

Найпростішим самоподібними об'єктами є фрактали. Відповідно до визначення Банаха, фрактал – структура, що складається з частин, що у якомусь змісті подібні цілому (рис. 5.) [4]. Тому самоподібні процеси часто називають фрактальними.

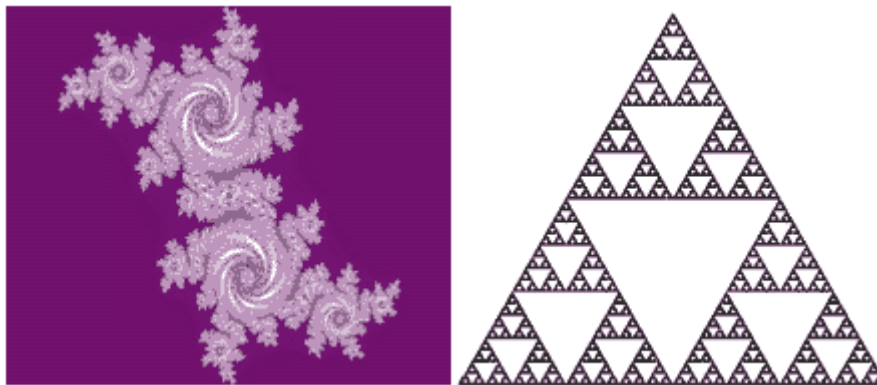


Рисунок 5 – Фрактали.

Неформально самоподібний процес визначається як випадковий процес, статистичні характеристики якого виявляють властивості масштабування.

Самоподібний у широкому змісті процес (СШП) характеризується інваріантністю АКФ при зміні рівня агрегування за умови ПЗЗ.

На відміну від пуассонівських процесів самоподібні характеризуються наявністю післядії: ймовірність надходження наступної (чергової) події залежить не тільки від часу, але і від попередніх подій (передісторії). Це означає, що кількість поточних подій може залежати від числа попередніх подій у віддалені проміжки часу. Тому одним з основних властивостей самоподібного процесу (self similar) є ПЗЗ (long range dependency).

Найважливішим параметром, що характеризує міру самоподібності, є параметр Херста (Hurst) H , зумовлений для тимчасового ряду $X_k, k=1,2,K N$ зі співвідношення

$$R / S = (\alpha N)^H, \tag{6}$$

де $R = \max(X_k) - \min(X_k)$ – розмах відхилення;

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2}, \quad (7)$$

де S - стандартне відхилення, N - кількість членів тимчасового ряду, a - константа.

Використовуючи значення показника Херста H , виділяють три типи випадкових процесів:

- $0 \leq H \leq 0,5$ - випадковим процес є антиперсистентним, або ергодичним, рядом, що не володіє самоподібністю;
- $H = 0,5$ - цілком випадковий ряд, аналогічний випадковим зміщенням частинки при класичному броунівському русі;
- $H > 0,5$ - персистентний (самопідтримуваний) процес, що має тривалу пам'ять і є самоподібним.

Додатково слід зазначити, що самоподібний процес часто носить вибуховий (burst) характер, що виявляється в можливості наявності викидів під час відносно низької швидкості надходження подій.

Стосовно трафіка самоподібність виявляється в незмінності поведінки при зміні тимчасових масштабів спостереження і збереження схильності до сплесків при усередненні за шкалою часу.

Дослідження комп'ютерної мережі та аналіз експериментальних даних

З метою вивчення основних статистичних властивостей реального трафіка були проведені його дослідження та аналіз отриманих експериментальних даних. Об'єктом вивчення була магістраль 100 мбіт/с Інтернет провайдера. Основною методикою одержання вихідних даних було перехоплення минаючих IP пакетів (за допомогою утиліти tcpdump) з подальшим перекладом у еквідистантну форму.

1. Відповідний часовий ряд залежності кількості пакетів за одиницю часу (1 мс) наведений на рис. 6.

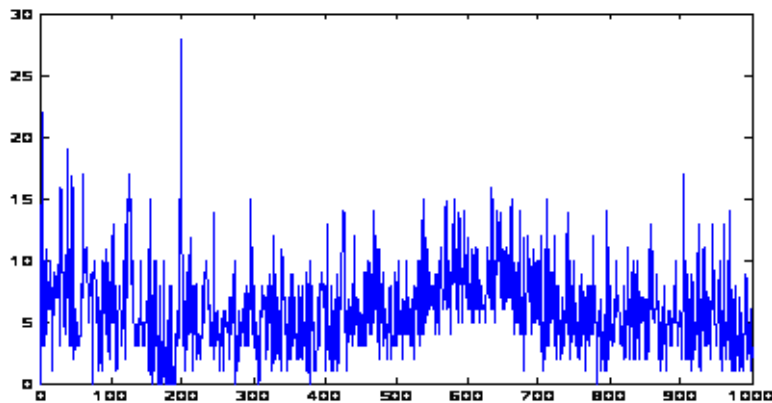


Рисунок 6 - Число пакетів за одиницю часу (1 мс).

2. Гістограма для даного тимчасового ряду, що відображає щільність розподілу кількості пакетів за одиницю часу, показана на рис. 7.

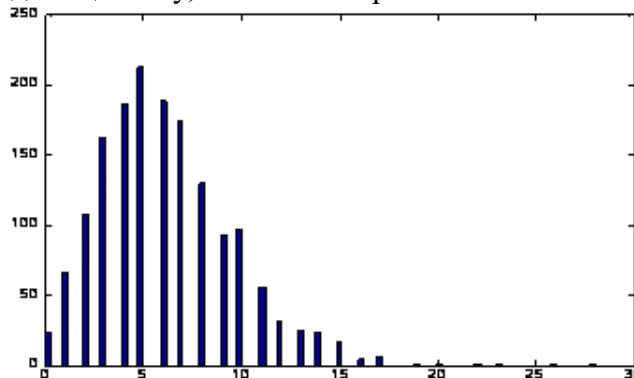


Рисунок 7 - Гістограма розподілу пакетів за одиницю часу (число пакетів/мс).

Візуально гістограма відповідає розподілові Пуассона, однак тест Колмогорова-Смирнова [2] спростовує цю гіпотезу, тобто потік даних усе-таки не є найпростішим.

3. АКФ даного тимчасового ряду наочно демонструє ПЗЗ (LRD), що характерна для фрактальних процесів.

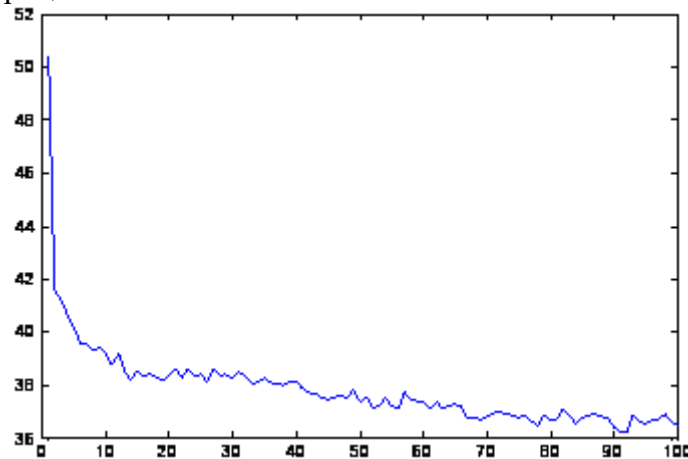


Рисунок 8 - АКФ тимчасового ряду числа пакетів за одиницю часу.

4. Вимірювання параметра Херста підтверджують гіпотезу про самоподібність – $H=0.8$.

Висновки

Розподіл Інтернет трафіка на магістральному вузлі провайдера Інтернет близький до Пуассонівського, але ним не є. Потік даних є самоподібним. Близькість розподілу до Пуассонівського можна пояснити наявністю великої кількості мультиплексованих потоків, тому що об'єктом дослідження є магістральна лінія. Самоподібність можна розцінювати як фундаментальну статистичну властивість мережевого трафіка, яку необхідно враховувати на практиці.

Отримані результати можна використати під час:

- 1) моделювання при проектуванні, розрахунку пропускної здатності;
- 2) визначення якості обслуговування в мережах передачі даних (Quality of Service);
- 3) виявлення аномалій у мережах.

Література

1. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения.- СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Вуколов В. Э. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA® и Excel. –М.:ФОРУМ: ИНФА-М, 2004.
3. Орлов А.И. Прикладная статистика. Учебник. - М.: Издательство "Экзамен", 2004.
4. Банах С. Успехи математических наук. Новая серия, 1946 - Т. 1, вып. 3-4.
5. Walter Willinger, Murad S. Taqqu, Robert Sherman and Daniel V. Wilson, "Self-Similarity Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level". IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 1, 1997
6. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса. Радиотехника, 1999, № 5.

Одержано 20.02.2007 р.