

УДК 004.7

Д.В. Бєльков (канд. техн. наук, доц.), **Є.М. Едемська** (ст. викл.),
Л.В. Незамова (асистент)

Донецький національний технічний університет

belkov@telenet.dn.ua

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ФРАКТАЛЬНОГО ТРАФІКА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Актуальною проблемою розвитку мереж є розробка нових або поліпшення існуючих моделей трафіка. У роботі виконано аналіз переваг і недоліків сучасних моделей фрактального трафіка. Наведені характеристики фрактальних процесів в комп'ютерних мережах і наслідки виникнення фрактальності трафіка.

Ключові слова: фрактальний процес, масштабна інваріантність, моделі фрактального трафіка.

Вступ

В даний час мережі з пакетною передачею даних мають широке розповсюдження і поступово витісняють системи з комутацією каналів. Дослідження різних типів мережного трафіка доводять, що він є самоподібним (self-similar) або масштабно інваріантним і фрактальним [1,2]. Масштабна інваріантність є властивістю процесу зберігати свою поведінку і зовнішні ознаки при розгляді в різному масштабі. З цього слідує, що використовувані методи моделювання і розрахунку мережних систем, засновані на використуванні Пуасоновських потоків, не дають точної картини того, що відбувається в мережі. Самоподібний трафік має особливу структуру, що зберігається при багатократному масштабуванні. В реалізації, як правило, присутня деяка кількість викидів при відносно невеликому середньому рівні трафіка. Дане явище погіршує характеристики (збільшує втрати, затримки, джиттер пакетів) при проходженні трафіка через вузли мережі. Пакети поступають на вузол не по одному, а цілою пачкою, що може приводити до їх втрат через обмеженість буфера, розрахованого за класичними методами.

Стохастичні фрактальні процеси, як правило, описуються масштабною інваріантністю статистичних характеристик другого порядку (кореляційної функції, спектральної густини, дисперсії). Якраз з такими стохастичними фракталами мають справу при вивченні характеристик мережного трафіка. В цьому зв'язку в літературі поняття фрактального і самоподібного трафіка використовуються як синоніми.

Серед іноземних вчених, що активно займаються питанням самоподібності трафіка, необхідно виділити W. Leland, M. Taqqu, W. Wilinger, D. Wilson, V. Paxson, A.C. Gilbert та ін. Серед російських і українських дослідників треба відзначити роботи О.І. Шелухина, Б.С. Цибакова, В.В. Петрова, О.Я. Городецького, А.Г. Ложковського, В.С. Заборовського, А.В. Осіна. Проте проблема розробки моделей самоподібного трафіка для прогнозування його поведінки та забезпечення QoS не втратила своєї актуальності. Не дивлячись на тривалий період її вивчення, залишається ряд невирішених задач:

- фактично відсутня строга теоретична база, яка прийшла б на зміну класичної теорії масового обслуговування при проектуванні сучасних систем розподілу інформації з самоподібним трафіком;
- немає єдиної загально визнаної моделі самоподібного трафіка;
- не існує достовірної і визнаної методики розрахунку параметрів і показників якості систем розподілу інформації при впливі ефекту самоподібності;
- відсутні алгоритми і механізми, що забезпечують якість обслуговування в умовах самоподібного трафіка [3].

Рішення вказаних задач має не тільки теоретичне, але і практичне значення. При використуванні асинхронних додатків не було нагальної необхідності в детальному аналізі і усуненні причин, що зумовлюють перевантаження і затримки в мережі. Проте, більшість сучасних додатків є синхронними і ставить високі вимоги до якості з'єднання. Для них затримка не повинна перевищувати певної величини або швидкість передачі не повинна падати нижче за допустиме значення. В мережному трафіку до цих пір переважає передача файлів з гарантованою доставкою, але частка даних, що відносяться до нових класів додатків, постійно росте.

Ситуація, що склалася в сучасних глобальних комп'ютерних мережах, наявність великої кількості мережних маршрутів, на яких періодично виникають різкі коливання затримки в передачі даних і великий відсоток втрат пакетів, необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять задачу дослідження фрактального трафіка актуальною.

Метою даної роботи є аналіз переваг і недоліків існуючих моделей фрактального трафіка.

Задачі роботи:

1. Сформулювати характеристики фрактальних процесів;
2. Проаналізувати наслідки виникнення фрактальності трафіка;
3. Виконати аналіз переваг і недоліків існуючих моделей фрактального трафіка.

Математичний опис дискретного фрактального процесу

Фрактали - це нерегулярні структури, що на різних масштабах виглядають приблизно однаково. Мультифрактали - неоднорідні фрактальні об'єкти, для повного опису яких недостатньо лише одного фрактального розміру, а необхідний спектр таких розмірів. Причина цього полягає в тому, що разом з чисто геометричними характеристиками такі фрактали мають і деякі статистичні властивості.

Фрактальний розмір D тимчасового ряду пов'язаний з показником ступеня його фрактальності (показником Херста) H формулою $H=2-D$. Параметри самоподібності H і D є показниками стійкості статистичного явища або міри тривалості довгострокової залежності стохастичного процесу. Значення $H=0,5$ або $D=1,5$ указують на відсутність довгострокової залежності. Кореляція між подіями відсутня. Ряд є випадковим, а не фрактальним. Чим ближче значення H до 1, тим вище ступінь стійкості довгострокової залежності. При $0 \leq H < 0,5$ тимчасовий ряд не має стійкого тренду. Він більш мінливий, чим випадковий ряд, оскільки складається з частих реверсів спад-підйом. При $0,5 < H \leq 1$ ряд має стійкий тренд. Тенденція його зміни може бути спрогнозованою.

Існує два класи фрактальних процесів, так звані точно самоподібні та асимптотично самоподібні процеси. Процес X називається точно самоподібним з параметром β ($0 < \beta < 1$), якщо виконуються наступні умови: $D_m = D/m^\beta$, D - дисперсія процесу X , D_m - дисперсія агрегованого процесу, отриманого зменшенням розміру шкали спостережень X в m раз. Автокореляційна функція (АКФ) зберігається на всіх масштабах: $R(k, X^{(m)}) = R(k, X)$.

Процес X називається асимптотично самоподібним, якщо для великих k виконуються умови: $D_m = D/m^\beta$, D - дисперсія процесу X , D_m - дисперсія агрегованого процесу $X^{(m)}$, отриманого зменшенням розміру шкали спостережень X в m раз. Параметр β пов'язаний з параметром Херста H співвідношенням $\beta = 2(1-H)$. АКФ зберігається при $m \rightarrow \infty$: $R(k, X^{(m)}) \rightarrow R(k, X)$. Найбільш точною характеристикою самоподібних процесів є те, що АКФ не вироджується при, на відміну від стохастичних процесів, де $R(k, X) \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$.

Випадковість і фрактальність трафіка

Відмінність між комп'ютерною і телефонною мережами слід розуміти в наступному сенсі: історично склалося так, що телефонні мережі спочатку будувалися з використанням принципу комутації каналів. Характеристики трафіка в цих мережах були добре вивчені, а також

розроблені методики розрахунків, що дозволяли одержувати результати, що добре співпадали з реальними значеннями пропускної спроможності пучків каналів. В основу комп'ютерних мереж було покладено встановлений принцип комутації пакетів, а методики розрахунків залишилися практично такими ж, що і привело до виникнення проблеми, пов'язаної з неадекватністю результатів розрахунку навантаження. В даний час все більше поширення набувають способи передачі мовної, мультимедійної і сигнальної інформації за допомогою мереж з комутацією пакетів, трафік яких характеризується фрактальністю.

Самоподібний процес виглядає менш згладженим, більш нерівномірним (тобто має більш високу дисперсію), ніж чисто випадковий процес. Порівняльний аналіз випадкового і самоподібного процесів показано на рисунку 1. Випадковий процес, що зображено праворуч, швидко згладжується на відміну від самоподібного процесу.

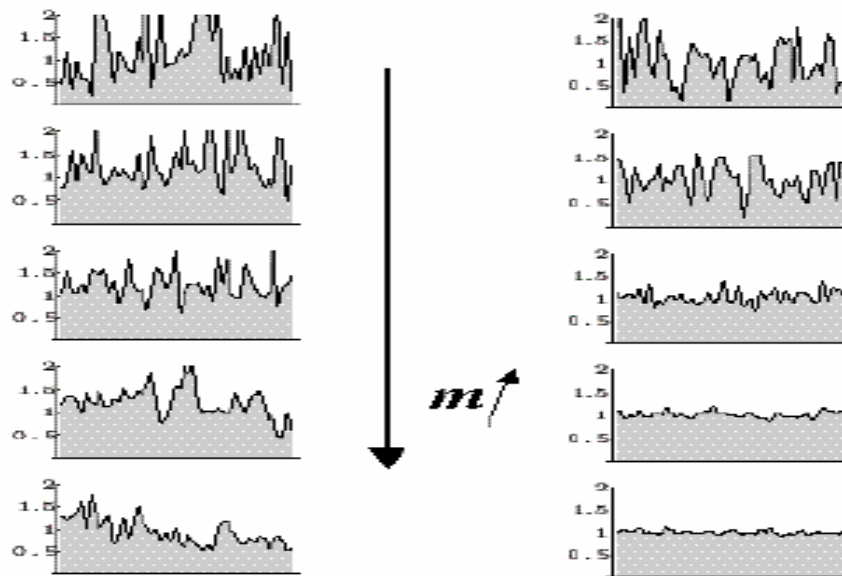


Рисунок 1- Порівняльний аналіз випадкового і самоподібного процесів

Згладжування процесу досягається завдяки більш швидкому зростанню середнього значення процесу, в порівнянні з його стандартним відхиленням. Відповідно до центральної граничної теореми теорії імовірності при збільшенні кількості елементів часового ряду повинна також відбуватися нормалізація процесу. Проте на практиці ресурси магістрального каналу набагато менші, ніж сумарна потенційна інтенсивність процесів. Тому потоки при складанні, наприклад, в буфері обмеженого об'єму, втрачають незалежність.

Масштабна інваріантність мережного трафіка дозволяє розробити алгоритми прогнозування, які зможуть за допомогою аналізу трафіка на

відносно невеликому відрізку часу передбачити його поведінку на більш тривалих інтервалах. Використовуючи такі прогнози, можна буде створювати більш ефективні методи управління пропускнуою спроможністю, що дозволить скоротити затримки передачі даних і втрати пакетів.

Наприклад, в роботі [3] запропонований алгоритм динамічного розподілу пропускнуої спроможності каналу, що використовує прогнозування інтенсивності мережного трафіка. Пропускна спроможність каналу встановлюється динамічно, відстежуючи профіль трафіка. Не трафік змінюється під задану пропускну спроможність, як у відомих методах шейпінга і полісінга, а пропускна спроможність підстроюється під реальний трафік.

Аналіз моделей фрактального трафіка

Методи моделювання мережного трафіка концептуально можна розділити на два класи – аналітичні та імітаційні. Аналітичні моделі зручні для проведення теоретичних досліджень, проте, для більшості джерел побудова адекватної аналітичної моделі неможлива. Використання імітаційних моделей є більш переважним і зручним. Але імітаційні моделі мають вузьку специфіку та вимагають пристосовування моделі під нові умови застосування. Можливі також комбіновані моделі, що поєднують в собі аналітичну і алгоритмічну частини [4]. Аналіз публікацій по моделюванню самоподібного трафіка дозволяє виділити наступні моделі.

Фрактальний броунівський рух (Fractional Brown Motion, FBM). В основі моделі FBM лежить випадковий процес із початку координат з незалежними нескінченно малими Гаусовськими приростами. FBM описується аналітично або використовуються алгоритми випадкового переміщення середньої точки (RMD-алгоритм) і алгоритми послідовного випадкового складання (SLA-алгоритм).

Фрактальний Гаусовський шум (Fractional Gaussian Noise, FGN). FGN – стаціонарний в широкому сенсі стохастичний процес з визначеними параметрами і автокореляційною функцією заданого вигляду. В порівнянні із звичайним Гаусовим шумом, FGN має додатковий параметр Херста, який кількісно визначає ступінь фрактального масштабування. Основна складність використання FBM і FGN – підбір якнайкращих значень параметрів для отримання трафіка, близького за властивостями до експериментально знятих реалізацій.

Хаотичні відображення (Chaotic Map, CMAP). Такі моделі є достатньо поширеними і концептуально простими, вони використовують менше число параметрів, чим FGN і FBM.

Моделі на основі техніки динамічного моделювання Маркова (Dynamic Markov Modelling, DMM). Ці моделі є автоматами з кінцевим числом станів, що зображуються орграфами або діаграмами станів моделі. В процесі навчання моделі, при отриманні чергового символу вхідного потоку, відбувається перехід моделі в наступний стан і модифікація частотних лічильників, відповідних вірогідності переходів. Виходом моделі є набір вірогідності появи символів.

Моделі з використанням нечіткої логіки. Побудова нечітких моделей, як правило, заснована на настройці функцій приналежності за параметрами нечітких множин, використовуваних в правилах, терезів правил і на настройці операцій. Використовування нечіткої моделі часового ряду дозволяє ефективно моделювати і прогнозувати роботу складної технічної системи.

Нейромережні моделі дозволяють вирішити задачу апроксимації функцій декількох змінних за допомогою повчальної вибірки.

Авторегресійні моделі (Autoregressive Models, AR) широко застосовуються для моделювання і прогнозу завдяки властивості тривалої пам'яті самоподібних процесів. В цих моделях поточне значення величини, що генерується, розраховується як зважена сума N попередніх значень плюс випадкова змінна. Як різновиди таких моделей використовуються моделі ARMA (процес ковзаючого середнього), ARIMA (інтегральний процес ковзаючого середнього) і FARIMA (фрактальний інтегральний процес ковзаючого середнього). До переваг необхідно віднести можливість гнучкого управління кореляційною структурою.

Фрактальні точкові процеси (Fractal Point Process, FPP). Найпростіший точковий процес представляється на часовій осі східчастою функцією, моменти зростання якої є випадковими. Існує багато модифікацій FPP, які достатньо економічні та ефективні.

ON/OFF-моделі. В цих моделях трафік розглядається як комбінація джерел, що його генерують. Кожне джерело має наступну структуру. Деякий період часу воно може генерувати пакети інформації (так звані ON-періоди), при цьому усередині одного періоду пакети приходять з однаковими інтервалами між ними. Після ON-періоду слідує OFF-період, коли джерело не генерує пакети. Розмір періодів є випадковою величиною, яка повинна мати кінцеве математичне очікування і нескінченну дисперсію. Процес ON/OFF може бути класифікований як один з різновидів FPP.

Фрактальний рух Леві (Fractional Levy Motion, FLM) відноситься до так званих стійких процесів. В основі його моделювання лежать симетричні стійкі розподіли, що характеризуються окрім показника Херста, ще і показником Леві. FLM можна розглядати як узагальнення

FBM і ефективно використовувати для моделювання інтенсивності трафіка або швидкості передачі, що має теоретично нескінченну дисперсію.

Мультифрактальні моделі (Multifractal, MF) відтворюють трафік, агрегований від декількох істотно відмінних джерел. Мультифрактальність трафіка виявляється в зміні статистичних властивостей реалізації при зміні масштабу агрегації. Для опису таких властивостей вводяться додаткові коефіцієнти. В основі MF-моделей лежать консервативні бінарні мультиплікативні каскади.

Вейвлет-моделі (Wavelet Models) будуються на основі зворотного дискретного вейвлет-перетворення, яке полягає у формуванні за допомогою масштабних і вейвлет-коефіцієнтів дискретного часового ряду, використовуючи функції деталізації різного масштабу на основі прототипу смужової вейвлет-функції і низькочастотної скейлинг-функції. Вейвлет-моделі можуть мати різну кількість параметрів і достатньо ефективні для моделювання самоподібного трафіка. Близькими за властивостями до вейвлет-моделей є моделі на основі перетворення сплесків.

Моделі на основі систем масового обслуговування. Такими моделями описують трафік з Марківськими потоками. Проте, модель $M/G/\infty$ здатна створити приблизно самоподібний трафік шляхом управління поведінкою "хвоста" довільного розподілу обслуговування користувачів, створюючи тим самим довготривалу залежність.

Висновки

Загальним недоліком використовуваних в даний час моделей мережного трафіка є їх спрямованість на конкретний різновид трафіка або мережі та відсутність універсальності. Уточнення опису реального трафіка досягається шляхом ускладнення моделей, об'єднання декількох моделей, введення додаткових параметрів. Проте, для складніших моделей потрібні великі обчислювальні можливості або більший час для генерування реалізацій трафіка. Тому встає проблема застосування моделі трафіка, якщо чинник реального часу накладає жорсткі обмеження на її складність.

На знанні параметрів трафіка базується основна частина робіт по розрахунку мережі. Тому одна з найактуальніших задач на сучасному етапі розвитку мереж – розробка нових або поліпшення існуючих моделей трафіка [4].

Список літератури

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview [Електронний ресурс] / K. Park, 2003. – Режим доступу: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>

2. Willinger W. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks [Электронный ресурс] / Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A., 2001. – Режим доступа: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>

3. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: автореферат диссертации / В.В. Петров. – М., 2004. – 20 с.

4. Костромицкий А.И. Подходы к моделированию самоподобного трафика. [Электронный ресурс] / А.И. Костромицкий, В.С. Волотка., 2010. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Vejpt/2010_4_7/EEJET_4_7_2010_46-49.pdf

Надійшла до редакції 21.09.2011.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Назарова И.А.

Д.В. Бельков, Е.Н. Едемская, Л.В. Незамова.

Донецкий национальный технический университет.

Анализ моделей фрактального трафика компьютерных сетей. Актуальной проблемой развития сетей является разработка новых или улучшение существующих моделей трафика. В работе выполнен анализ достоинств и недостатков современных моделей фрактального трафика. Приведены характеристики фрактальных процессов в компьютерных сетях и указаны последствия возникновения фрактальности трафика.

Ключевые слова: фрактальный процесс, масштабная инвариантность, модели фрактального трафика.

D.V. Belkov, E.N. Edemskaya, L.V. Nezamova.

Donetsk national technical university.

The Analysis of Fractal Traffic of Models for Computer Networks. The issue of the day of the development of networks is the design of new traffic models or improvement of existent traffic models. An analysis of advantages and drawbacks of modern fractal traffic models is carried out in the work.

Keywords: fractal process, scale invariance, fractal traffic models.