

УДК 621.396.931

На правах рукописи

УРЬЕВ ГРИГОРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОТОКОВ ТРАФИКА
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.12.13 – « Системы, сети и устройства
телекоммуникаций»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена на кафедре «Радиотехника и радиотехнические системы» Московского Государственного Университета Сервиса (МГУС)

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
О.И. Шелухин

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор А.В. Светлов

кандидат технических наук С.В. Голованов

Ведущая организация - ФГУП НИИ «Платан» с заводом при НИИ

Защита диссертации состоится « 22 » марта 2007 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д. 212.186.04 при Пензенском государственном университете по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета.

Автореферат размещен на сайте www.pnzgu.ru

Автореферат разослан «_14_» февраля 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Смогунов В. В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На рынке телекоммуникационных услуг речевые и видео сервисы, образующие трафик реального времени, занимают одно из лидирующих мест, и с каждым годом число пользователей подобными услугами возрастает.

Последние исследования показывают, что телекоммуникационный трафик для большинства видов сервисов является самоподобным (фрактальным). Известно множество как экспериментальных, так и теоретических исследований в этой области, однако очень небольшое число работ посвящено исследованию фрактальной природы трафика речевых и видео сервисов.

В настоящее время отсутствуют систематизированные исследования оценок воздействия самоподобных свойств речевого и видео трафика на качество обслуживания каждого подписчика таких сервисов. Исследование данной проблемы представляется важным, поскольку при наличии самоподобного трафика в системах передачи речи и видео качество обслуживания, как правило, ухудшается по сравнению с тем, что наблюдалось бы, например, в случае пуассоновского трафика.

Существенный вклад в решение задач этого класса внесли ученые нашей страны Лиханов Н.С., Потапов А.А., Цыбаков Б.С., Шелухин О.И. и др., а также зарубежные ученые К. Park, W. Willinger, P. Abry, M. S. Taqqu, Пика Норрос и др.

Учет самоподобных (фрактальных) свойств трафика позволит более точно описать и воспроизвести речевой и видео трафик, что, в свою очередь, обеспечит возможность получения заданных показателей качества обслуживания (QoS – Quality of Service).

Поэтому исследование свойств самоподобности речевого и видео трафика, их влияния на характеристики телекоммуникационной сети (ТС) представляется весьма актуальным.

Цель и задача работы. Целью диссертационной работы является исследование фрактальных (самоподобных) свойств трафика реального времени (речевого и видео) и оценка влияния моно- и мультифрактальности трафика на характеристики ТС с целью обеспечения заданного качества обслуживания QoS.

Для достижения указанной цели в диссертации сформулированы и решены следующие **основные задачи работы**:

1. Оценка экспериментальных статистических и фрактальных характеристик речевого и видео трафика с различными стандартами кодирования речи и видео с помощью разработанного специализированного программно-аппаратного комплекса и проведение ряда экспериментальных исследований трафика ТС;
2. Разработка аналитических и численных моделей и их сравнительный анализ для адекватного описания и имитационного моделирования речевого и видео трафика с учетом самоподобных (моно- и мультифрактальных) свойств, для различных стандартов сжатия речевых и видео сигналов, сетевых протоколов и технологий;
3. Оценка влияния на характеристики качества обслуживания QoS телекоммуникационных сетей моно- и мультифрактальных свойств речевого и видео трафика с помощью разработанных аналитических и вычислительных алгоритмов .

Методы исследования. Для проведения исследований использовались методы математической статистики и теории случайных процессов, теории массового обслуживания, а также методы имитационного моделирования.

Достоверность и обоснованность результатов исследований, полученных автором диссертации, подтверждена строгостью применяемых математических методов, рецензированием работ, опубликованных в центральной печати, согласованием основных теоретических научных положений с результатами экспериментальных исследований, длительностью экспериментальных исследований, их повторяемостью и контролируемостью.

Предметом исследований являются: экспериментальные исследования телекоммуникационного трафика реального времени (речевого и видео). Моно- и мультифрактальные модели речевого и видеотрафика. Разработка рекомендаций по повышению эффективности управления и обработки трафика реального времени.

Научная новизна исследований, проведенных в данной работе, состоит в следующем:

1. Экспериментальные исследования статистических и фрактальных характеристик речевого и видео трафика при использовании различных стандартов сжатия в крупномасштабных телекоммуникационных сетях позволили показать, что трафик речевых и видео сервисов обладает самоподобными моно- и мультифрактальными свойствами;
2. Моно- и мультифрактальные модели речевого трафика VoIP как на уровне соединений, так и на пакетном уровне, для кодеков G.711, G.728, G.729, G.723.1, параметры которых оценены из статистических характеристик реального трафика, позволили провести исследование методов выбора параметров телекоммуникационных сетей;
3. Моно- и мультифрактальные модели видеопоследовательностей как на уровне смены сцен, так и в пределах отдельных сцен, позволили провести исследование влияния характеристик кодеков *H.263*, *MPEG-2*, *MPEG-3*, *MPEG-4* и др. на эффективность ТС;
4. Методика оценки влияния самоподобности трафика на построение очередей, позволила доказать, что учет мультифрактальности значительно

увеличивает вероятность отбрасывания пакетов «критического» узла телекоммуникационной сети.

Практическая ценность работы и использование ее результатов:

1. Получены аналитические выражения и численные результаты оценки степени самоподобности реального телекоммуникационного трафика (речевого и видео), выполненные в различных сетях. Показано, что учет долгосрочных моно и мультифрактальных свойств трафика обеспечивает получение более точных соотношений между параметрами QoS телекоммуникационных сетей и параметрами трафика.

2. Результаты диссертации использованы при оценке эффективности эксплуатации ТС ООО «Комплексные телекоммуникационные услуги». В частности, разработанные в диссертации рекомендации по оценке эффективности работы маршрутизаторов при передаче трафика видеоконференций с учетом самоподобия позволили снизить коэффициент потери пакетов с 5% до 2% , что подтверждается соответствующим актом о внедрении.

3. Результаты работы внедрены в курсах «Метрология и радиоизмерения», «Основы телевидения и видеотехники» и «Сетевые информационные технологии» ГОУ ВПО «Московский государственный университет сервиса», а также в курсе « Моделирование систем» Московского технического университета связи и информатики, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика, аналитические и численные результаты статистического анализа трафика реального времени в сети *VoIP* и стандартах сжатия речи (G.711, G.728, G.729, G.723.1), позволяющие оценить моно и мультифрактальные характеристики трафика;

2. Двухуровневая модель речевого трафика на уровне вызовов и на уровне пакетов, которая разработана на основе анализа статистических свойств реального трафика и отличается тем, что в ней учтен не только мо-

но-, но и мультифрактальный характер речевого долговременно зависящего трафика.

3. Результаты экспериментального статистического анализа и имитационного моделирования видеопоследовательностей на выходе цифровых видеокодеков *H.263*, *MPEG-2*, *MPEG-3*, *MPEG-4* и др., позволяющие оценить зависимость характеристик и параметров моно- и мультифрактальности видеотрафика в зависимости от стандартов видео кодирования и сетевых протоколов;

4. Двухуровневые модели видео трафика: импульсная - на уровне смен сцен и долговременно зависящая - в пределах отдельных сцен и отличается тем, что в ней учтен не только моно-, но и мультифрактальный характер видео трафика.

5. Алгоритмы и полученные в результате имитационного моделирования характеристики моно- и мультифрактального трафика, позволяющие оценить качество передачи самоподобного речевого и видео трафика с пакетной коммутацией при вариации начальных и граничных условий;

6. Результаты аналитических исследований влияния моно- и мультифрактальности речевого и видео трафика на вероятность отбрасывания пакетов «критического» узла телекоммуникационной сети, доказывающие, что в случае мультифрактального трафика вероятность отбрасывания значительно возрастает.

Личный вклад. Все основные научные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором лично.

Реализация результатов диссертационной работы. Работа выполнялась в рамках НИР ГОУ ВПО МГУС № 01.04.04 (РН ВНИТЦ №0120.0.404696, 2004-2006гг.) «Исследование и разработка цифровых методов сбора, обработки и передачи данных на всех уровнях автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии».

Апробация результатов. Основные научные и практические результаты докладывались и обсуждались:

- на Международном форуме информатизации (МФИ- 2004, 2005, 2006гг.) конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», Москва , 2004, 2005, 2006 гг;

- на X-й и XI – Международной научно-практической конференции «Наука – сервису», секция «Применение информационных технологий в электротехнических комплексах и системах» МГУС, 2005, 2006 гг;

- научной конференции профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ, 2005 г.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 17 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и 3-х приложений.

Работа содержит 166 страниц машинописного текста, 155 рисунков и 44 таблиц. Список литературы включает 95 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, формулируются цель и задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

В первой главе даны основные теоретические сведения о самоподобных процессах, процессах с долговременными (ДВЗ) и кратковременными (КВЗ) характеристиками, методах оценки степени самоподобности телетрафика с помощью показателя Херста H . Показано широкое распространение явления самоподобия для описания статистических характеристик трафика в ТС, в том числе для описания свойств трафика речевых и видео сервисов. Приводятся основные сведения о качестве обслуживания в ТС, определяются основные показатели качества обслуживания, а также дается анализ основных способов кодирования речи и видео используемых при пакетной коммутации.

Вторая глава посвящена исследованию экспериментальных и аналитических характеристик речевого трафика в ТС, структура которой представлена на рис.1.

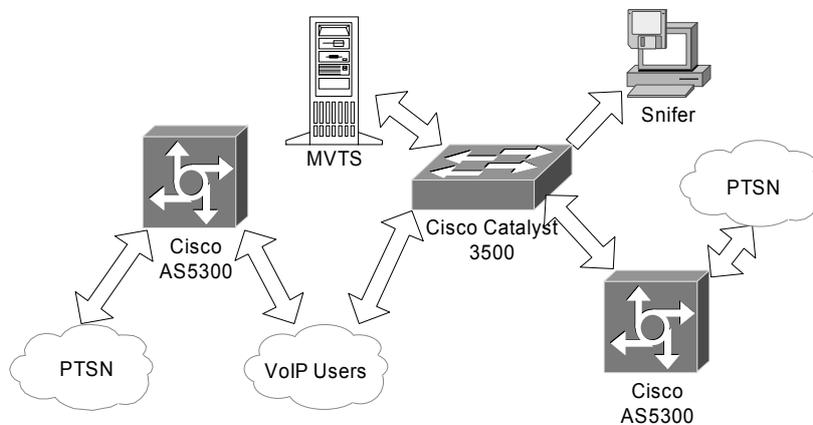


Рис. 1.

На рис. 2. отображена структура разработанного в диссертации программно-аппаратного комплекса, иллюстрирующей последовательность проведения эксперимента и этапы получения статистических данных обрабатываемого речевого и видео трафика.

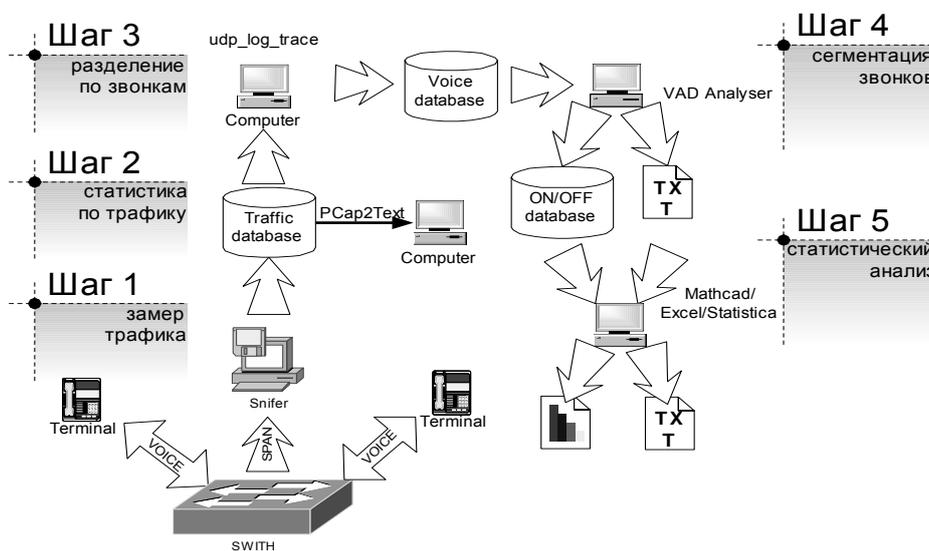


Рис. 2

Результаты статистической обработки экспериментально полученных цифровых информационных потоков ТС, как на уровне вызовов, так и на

уровне пакетов, показали, что пуассоновская модель не согласуется с результатами эксперимента, а объединенный процесс является сильно коррелированным и проявляет свойства долговременной зависимости (ДВЗ), что доказывает самоподобие трафика. Показано, что для моделирования объединенного трафика VoIP можно использовать как фрактальный гауссовский шум, так и более сложные многокомпонентные модели. Анализ суммарного речевого трафика на уровне пакетов в распределенной ТС, выявляет в нем композицию нескольких, в общем случае нестационарных процессов и может быть представлен в виде двух, в общем случае нестационарных компонент.

Первая обусловлена трафиком на больших (минутных и часовых) интервалах времени и описывает периодические структуры ежедневных нагрузок. Как правило, эта компонента имеет сильно пульсирующую, в общем случае негауссовскую структуру, корреляционные свойства которой ограничены суточными колебаниями трафика.

Вторая компонента присутствует только на малых (миллисекундных и секундных) масштабах времени, имеет долговременный характер и исчезает при увеличении масштаба структуры ежедневных нагрузок, обычно наблюдаемых в каналах передачи информации. Для моделирования таких процессов предложено использовать обобщенное распределение Парето $w(x) = ab^c/x^{c+1}$, для $x \geq b$, и распределение Вейбулла $w(x) = (\alpha x^{c-1}/b^c) \exp(-(x/b)^c)$, где $c > 0$ – параметр формы распределения ; b – параметр масштаба.

В главе показано, что трафик речи на уровне вызовов может быть описан и смоделирован полумарковским процессом с переходной функцией вида $Q_{ij}(t) = p_{ij} F_{ij}(t)$, $i, j = 1, 2..N$, где $F_{ij}(t) = P\{T_n < t | \xi_n = j, \xi_{n-1} = i\}$ - функция распределения (ФР) времени пребывания процесса $\xi(t)$ в состоянии i , если известно, что следующим его состоянием будет состояние j ; $p_{ij} = P\{\xi_n = j | \xi_{n-1} = i\}$; $i \neq j$; $p_{ii} = 0$ – вероятность того, что цепь Маркова (ЦМ), находящаяся в состоянии i , в очередной момент изменения состояния перейдет в состояние j ; $\{P_i(0), i \in X\}$ - начальное распределение ; N – число состояний ЦМ.

Для разработки математической модели речевого трафика на уровне пакетов, рассмотрен агрегированный случайный процесс x_{St} на временном интервале $(St, S(t + 1))$ в виде отсчетов большого числа $(N(t) = N)$ независимых и одинаково распределенных трафиковых серий. Каждая серия описывается фрактальным гауссовским шумом (ФГШ) с общими параметрами гауссовского распределения α , σ^2 и параметром Херста H . В результате, агрегированная нестационарная ФГШ-модель для отсчетов сетевого трафика с масштабом времени S для различных времен $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ записывается как

$$x_{St} = m \hat{N} S + \sigma S \sum_{i=1}^{\hat{N}} G_{H,i}(t), t \in T. \quad (1)$$

Здесь \hat{N} - оценка числа суммируемых ФГШ, оцениваемая из полумарковской модели вызовов; T -длительность интервала, соответствующего i -му состоянию ЦМ и определяется ФР $F_{ij}(t) = P\{T_n < t \mid \xi_n = j, \xi_{n-1} = i\}$; $G_H(t)$ - ФГШ с показателем Херста H , средним значением m , СКО σ и корреляционной функцией $R(k) = \frac{\sigma^2}{2} ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H})$.

Показано, что с ростом числа мультиплексируемых источников значение оцененного показателя Херста возрастает, что особенно заметно на оценках, полученных при помощи метода R/S-статистики. Предложенные модели более реалистично описывают поведение нестационарных серий сетевого трафика на малых масштабах времени и должны использоваться при оценке эффективности ТС.

В главе приводятся результаты имитационного моделирования самоподобных процессов, полученные с использованием разработанного в диссертации ПО на основе пакета прикладных программ Network Simulator (NS2). Показано, что в случае высокой загрузки пуассоновская модель не согласуется с результатами моделирования, а объединенный речевой трафик является сильно коррелированным и проявляет свойства долговременной за-

висимости. Степень ДВЗ оценивается показателем Херста, который лежит в диапазоне ($0,5 < H \leq 1$), и подтверждает самоподобность речевого трафика.

В третьей главе рассмотрены особенности измерения и статистического описания фрактальных свойств видеосигналов различных стандартов *H.263*, *MPEG-2*, *MPEG-3*, *MPEG-4* и др. В главе определены основные свойства самоподобных видео процессов и методы оценки наличия самоподобной структуры в реальных видео данных

Проведенные статистические исследования цифровых видеопоследовательностей на выходе видео кодеков показали, что они имеют нестационарный характер и могут быть представлены в виде двух компонент: случайного процесса в виде ступенчатой функции, характеризующей изменение уровня, вызванного сменой сцен и долговременно зависимого случайного процесса в пределах каждой сцены.

Изучена структура выборок из реального MPEG видео трафика вещательного качества на предмет наличия самоподобной структуры. В результате анализа рассмотренных трасс наблюдалось, что все VBR-источники имеют показатель Херста $H \geq 0,7$, что говорит о высокой степени долговременной зависимости видео трафика. В процессе обработки видеоданных в стандарте H.263 оценивались и были разработаны математические модели видеопоследовательностей в системах записи и воспроизведения видеoinформации, в системах видеонаблюдения, видеоконференций и видео телефонии. Показано, что в общем случае видеосигнал может быть описан тремя составляющими: числом сцен S_n , которое описывается распределением $\omega_S(\cdot)$, со средним μ_S и дисперсией σ_S^2 ; интервалами времени между поступлениями $T_n = t_n - t_{n-1}$, где $\{T_n: n = 2,3,4,\dots\}$ – независимые и одинаково распределенные случайные величины с функцией распределения длительности сцен $F_T(\cdot)$, плотностью распределения $\omega_T(\cdot)$ и

средним значением μ_T ; долговременно зависимым процессом, описывающим видеотрафик на уровне сцены.

Распределение размеров сцен $\{\omega_s(\cdot), S_n: n = 0, 1, 2, 3, \dots, M\}$ с пространством состояний $i = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ хорошо описываются отрицательно биномиальным распределением

$\omega_s(i) = \binom{-r}{i} p^r (-q)^i$, параметры которого $0 < p < 1$, $q = 1 - p$, и $r > 0$ оцениваются соотношениями $p = \frac{M[X(t)]}{\text{Var}\{X(t)\}}$ и

$r = \frac{M[X(t)]^2}{\text{Var}[X(t)] - M[X(t)]}$, где $\{X(t)\}$ – интенсивность поступлений в момент времени t , определяемая соотношением $X(t) = \sum S_n 1_{\{t_n \leq t \leq t_{n+1}\}}$.

Функция распределения длительности сцен $F_T(\cdot)$, может быть определена на основе экспериментально найденной корреляционной функции огибающей видеопоследовательности и позволяет описать как кратковременную, так и долговременную зависимости видеотрафика на уровне сцен.

Для описания видеосигнала $x[i]$ в пределах сцены предложено использовать фрактальные авторегрессионные алгоритмы p -го порядка $x[i] = -\sum a[k]x[i-k] + G_H[i]$, где $G_H(i)$ – фрактальный гауссовский шум с показателем Херста H , средним значением m , СКО σ и корреляционной функцией

$R(k) = \frac{\sigma^2}{2} \left((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H} \right)$. Коэффициенты $a[k]$ находятся из решения системы линейных уравнений вида:

$$\begin{pmatrix} \hat{R}_0 & \hat{R}_1 & \dots & \hat{R}_{p-1} \\ \hat{R}_1 & \hat{R}_2 & \dots & \hat{R}_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{R}_{p-1} & \hat{R}_{p-2} & \dots & \hat{R}_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_p \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \hat{R}_1 \\ \hat{R}_2 \\ \vdots \\ \hat{R}_p \end{pmatrix}$$

где элементы матрицы \hat{R}_τ оцениваются из смещенной оценки автокорреляционной функции $\hat{R}_\tau \equiv \frac{1}{N} \sum_{t=\tau+1}^N y_t y_{t-\tau}$. Модификация известных моделей проведена путем замены источника стандартного белого гауссовского шума на последовательность, синтезированную генератором ФГШ. Показано, что полученные в результате наборы данных, более близки по своим характеристикам к реальным видео последовательностям, чем при использовании ранее известных алгоритмов.

Показано, что распределение видеопоследовательностей достаточно хорошо описывается распределениями с «тяжелыми хвостами», типа распределений Парето и Вейбулла, параметры которых могут быть оценены из экспериментальных данных.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, показавших, что большинство реальных речевых и видео процессов обладают помимо монофрактальной еще и мультифрактальной структурой.

В отличие от самоподобных процессов многомасштабные или мультифрактальные процессы обеспечивают более гибкий закон масштабного поведения. Класс мультифрактальных процессов включает все процессы со свойством масштабирования, в том числе и самоподобные, мономасштабные и многомасштабные процессы. Мультифрактальный трафик определяется как расширение самоподобного трафика за счет учета характеристик 2-го и высшего порядков.

Исследования мультифрактального масштабирования мультиплексированного речевого трафика для различного числа источников проведены при помощи зависимости функции разбиения $S_m(q)$ от m в двойном логарифмическом масштабе. Зависимости $S_m(q)$, представленные на рис.3а, иллюстрируют присутствие мультифрактального масштабирования для всех q в случае, когда m выбиралось 10, 20, 30...1000.

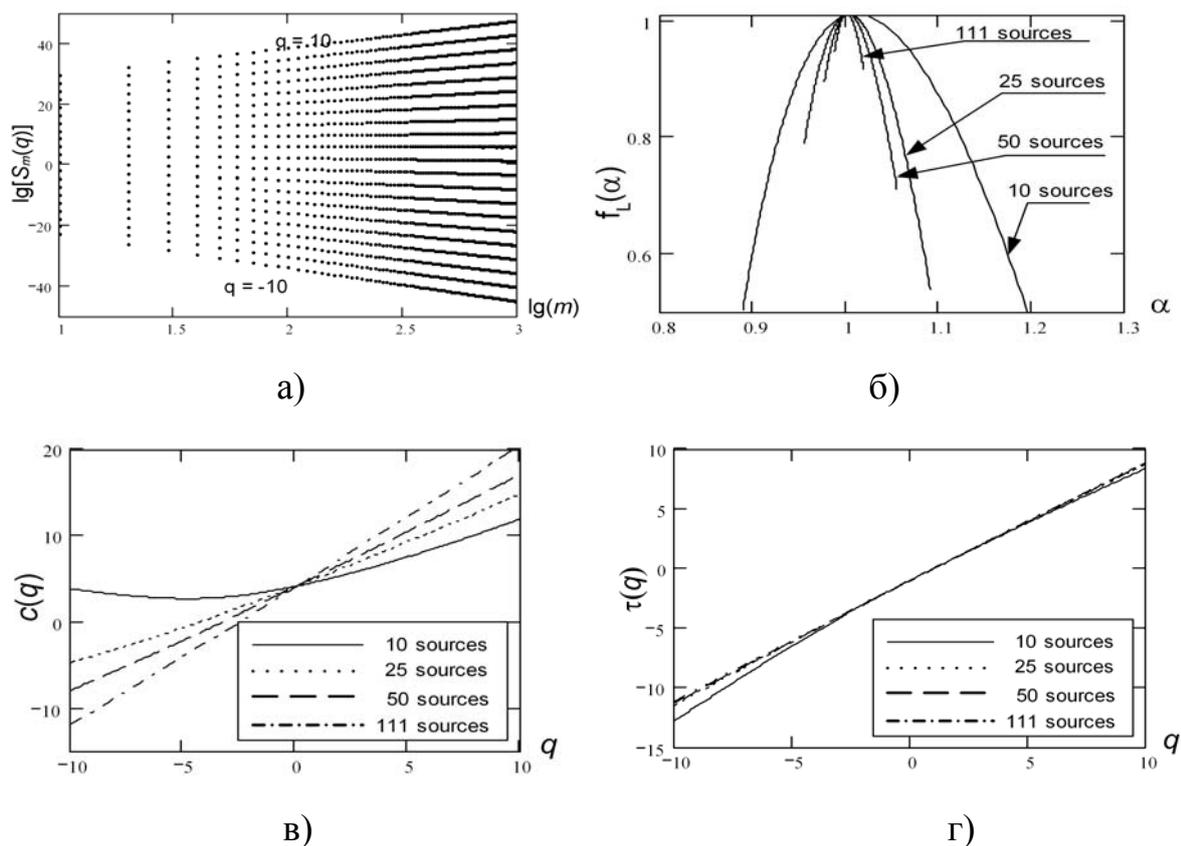


Рис. 3.

Для каждого случая агрегирования, при помощи подбора взвешенной линейной регрессии, получены масштабные функции $\tau(q)$, которые при визуальном осмотре выглядят практически линейными (рис. 3, г). Из рис. 3, в очевидно, что масштабные коэффициенты $c(q)$ при малой степени объединения источников (< 25) носят ярко выраженный нелинейный характер, а с ростом степени мультиплексирования зависимость $c(q)$ становится все более линейной. Для оценки свойств мультифрактального масштабирования, для исследуемых данных был построен спектр Лежандра $f_L(\alpha)$ (рис. 3, б).

Приведенные зависимости свидетельствуют о сужении мультифрактального спектра Лежандра с увеличением числа мультиплексированных источников, что свидетельствует об уменьшении области мультифрактального масштабирования при увеличении числа мультиплексируемых речевых источников. Мультифрактальные свойства видеотрафика оценены в работе с помощью спектра Лежандра в соответствии с разработанной методикой.

Существенное влияние на мультифрактальный характер видеотрафика оказывают характеристики ТС, такие как вид протокола, качество изображения, скорость передачи и др. В диссертации, это иллюстрируется на примере трасс фильмов «Jurassic Park» и «Alladin» для низкого и высокого качества изображения, режимов передачи CBR и VBR на примере протокола H263.

Показано, что наибольшей шириной мультифрактального спектра обладают VBR, а наименьшей, стремящейся к монофрактальному случаю – CBR-последовательности. С улучшением качества изображения ширина спектра Лежандра $f_L(\alpha)$ возрастает. В результате проведенного анализа трафика мультиплексированных речевых источников и трасс видеотрафика с различными способами кодирования показано, что все они обладают значимой мультифрактальной структурой.

Благодаря мультифрактальному анализу видеопоследовательностей становится ясно, что все исследованные видеоданные обладают мультифрактальными свойствами, которые сильно зависят от метода кодирования. Наиболее широкий мультифрактальный спектр наблюдался для случая кодирования H.263 VBR, что объясняется высокой изменчивостью, которая вводится при кодировании данных таким способом.

Общих аналитических результатов построения очередей, или влияния самоподобности и долговременной зависимости трафика на QoS телекоммуникационной сети в настоящее время не существует. Известны лишь отдельные результаты для частных случаев. В главе определена асимптотическая нижняя граница для распределения длины очереди Q в ТС с постоянным временем обслуживания и интенсивностью обслуживания, которая обеспечит требования к QoS.

Исследования механизма построения очередей для отдельного сервера с бесконечной емкостью буфера при постоянной интенсивности обслуживания r , на которую подавался обобщенный мультифрактальный процесс, показали,

что может быть получена аппроксимация асимптотики вероятностей распределения длины очереди в устойчивом состоянии выражением вида.

$$\log\{P[Q > L]\} \approx \min_{q>0} \log\left\{c(q)\left[\frac{L\tau_0(q)}{r(q-\tau_0(q))}\right]^{\tau_0(q)} \left[\frac{lq}{q-\tau_0(q)}\right]^q\right\}.$$

Зависимости вероятностей распределения длины очереди $\log P[Q > L]$ (1) и $\log P_{FBM}[Q > L]$ от значения размера очереди L при различных значений показателя Херста H приведены на рис.5. ($a - r = 5$; $b - r = 7$)

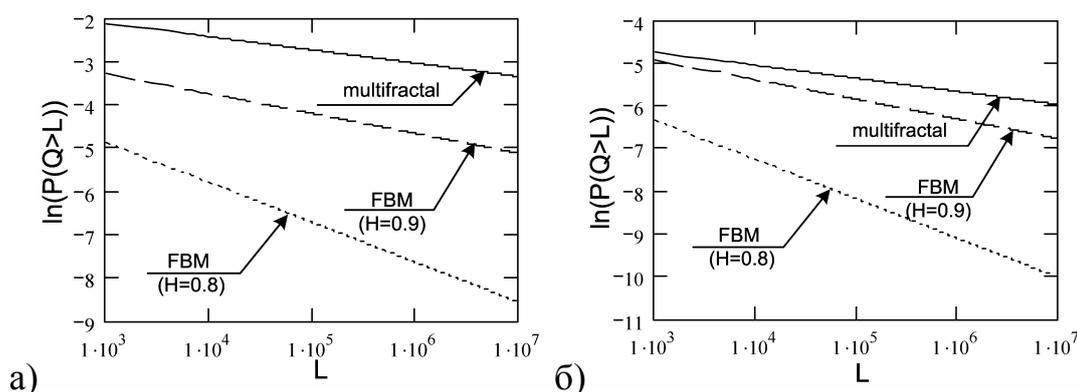


Рис. 5

Показано, что аппроксимация приводит к хорошо изученному случаю распределения очереди по закону Вейбулла, когда в качестве входного процесса выбирается монофрактальное броуновское движение. Исследованы и представлены некоторые последствия мультифрактальности. Найдено, что аппроксимированные вероятности длины очереди на хвосте распределения очереди в мультифрактальном случае гораздо выше, чем в монофрактальном (гауссовском) случае.

Полученные аналитические зависимости и выражения позволяют более корректно провести анализ оценки QoS ТС как при монофрактальном, так и мультифрактальном трафике.

В трех приложениях к диссертации приведено разработанное автором программное обеспечение, с помощью которого осуществлены измерения и проведены статистические исследования самоподобных свойств телекоммуникационных процессов.

Заключение.

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача исследования фрактальных (самоподобных) свойств трафика реального времени (речевого и видео) и оценка влияния моно- и мультифрактальности трафика на характеристики ТС с целью обеспечения заданного качества обслуживания QoS.

1. Проведенный статистический анализ трафика крупной корпоративной ТС показал, что трафик реального времени (речевой и видео) обладает существенными самоподобными свойствами, а также является долговременно зависимым случайным процессом, что необходимо учитывать при оценке эффективности ТС.

2. Статистический анализ речевого трафика показывает, что он может быть представлен в виде двух, в общем случае нестационарных, компонент. Первая, обусловленная трафиком на уровне вызовов на больших (минутных и часовых) интервалах времени, описывает периодические структуры ежедневных нагрузок и имеет сильно пульсирующую, в общем случае, негауссовскую структуру. Вторая компонента присутствует только на малых (секундных и миллисекундных) масштабах времени, имеет самоподобный долговременный характер и постепенно исчезает с ростом масштаба агрегирования.

3. Для описания сильно пульсирующего речевого трафика на пакетном уровне предложена нестационарная ФГШ-модель, число суммируемых парциальных компонент которой оценивается из полумарковской модели вызовов, а длительность интервала суперпозиции, соответствующего i -му состоянию ЦМ, определяется ФР длительности этого состояния. Оценки степени самоподобности методами R/S статистики и изменения дисперсии выявили, что показатель Херста лежит в интервале 0,75 – 0,95.

4. Статистический анализ видео трафика показывает, что он может быть представлен в виде двух, в общем случае нестационарных, компонент. Пер-

вая, импульсная, обусловлена процессом смены сцен и вторая, долговременно зависящая, обусловлена процессом на уровне сцены.

Для описания процесса смены сцен предложено использовать процессы смещающихся уровней. Для описания видео процесса на уровне сцены предложено использовать фрактальные авторегрессионные алгоритмы p -го порядка.

5. Имитационное моделирование, речевых кодеков G.711, G.728 и G.729 и видеокодеков H.263, MPEG-2, MPEG-3, MPEG-4, показало, что суммарный трафик проявляет свойства самоподобности и ДВЗ. Оценки показателя Херста лежат в диапазоне (от 0,6 до 0,9).

5. Исследования речевого и видео трафика показали, что совокупный трафик, передаваемый с использованием различных протоколов не только монофрактален (самоподобен), но также и мультифрактален. Трафик монофрактален на больших временных интервалах (минуты и больше), главным образом вследствие того, что размеры файлов описываются распределениями с «тяжелыми хвостами».

Мультифрактальное поведение на малых временных интервалах обусловлено, прежде всего, динамикой протоколов управления потоками, сетевых перегрузок, потери пакетов и повторной передачи пакетов, и наиболее полно характеризуется спектром Лежандра.

Наиболее широкий мультифрактальный спектр наблюдается для случая кодирования H.263 *VBR*, а наименьший, стремящийся к монофрактальному случаю – для случая с *CBR*-последовательностью.

7. Предложена математическая модель мультифрактального трафика на основе комбинации мультипликативных каскадов и измеренных статистических характеристик телекоммуникационного трафика. В результате, процесс моделирования представляет собой совмещение мультипликативного каскада и логнормального процесса. Полученная в результате модель трафика в состоянии охватить все характеристики мультифрактальности, определяемые при помощи ее функции масштабирования и моментного коэффициента.

8. Исследования механизма построения очередей для отдельного сервера с бесконечной емкостью буфера при постоянной интенсивности обслуживания, с обобщенным мультифрактальным процессом на входе, показали, что аппроксимированные вероятности длины очереди на хвосте распределения очереди в мультифрактальном случае гораздо выше, чем в монофрактальном (гауссовском) случае. Так, например, для размера буфера $L = 10^3$ вероятность может возрастать с 10^{-6} при монофрактальном характере трафика до 5×10^{-4} при мультифрактальном. Полученные формулы дают корректные результаты при анализе как мультифрактального, так и монофрактального трафика.

Основные публикации по теме диссертации :

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Урьев Г.А. Фрактальные свойства и моделирование видеопоследовательностей. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Издательство «Радиотехника». Электромагнитные волны и электронные системы, 2007, №2, стр.37-45.
2. Урьев Г.А. Самоподобие и моделирование видеопоследовательностей. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Осин А.В. Издательство «Радиотехника». Научные технологии, 2007, №2. стр.15-35.
3. Урьев Г.А. Оценка влияния самоподобия трафика на построение очередей. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Осин А.В. Издательство «Радиотехника». Научные технологии, 2007, №2. стр.52-61.
4. Урьев Г.А. Результаты экспериментальных исследований сетевого трафика телекоммуникационной сети. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Осин А.В., «Теоретические и прикладные проблемы сервиса».- 2005.- №1-2 (14-15), с.38 - 49.

Публикации в других изданиях

1. Урьев Г.А. Экспериментальные исследования речевых потоков в сетях VoIP. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Осин А.В. Издательство «Радиотехника». Электротехнические комплексы и информационные системы, 2006. №2. с.54 - 58.
2. Сравнительный анализ методов оценки стационарности самоподобных процессов. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Осин А.В., Невструев И.А., Издательство «Радиотехника». Электротехнические комплексы и информационные системы, 2006. №1, стр.55-60.
3. Урьев Г.А. ЭМС электротехнических и мультимедийных средств интеллектуального здания. Международный форум информатизации (МФИ-2006) Материалы конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», Москва, 2006 г с.278-279.

4. Математические модели и имитационное моделирование агрегированного трафика VoIP. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Пружинин А.В., Осин А.В., Издательство «Радиотехника». Электротехнические комплексы и информационные системы, 2006. №1. с.32 – 37.

5. Урьев Г.А. Результаты экспериментальных исследований видео трафика телекоммуникационной сети. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Издательство «Радиотехника». Электротехнические комплексы и информационные системы, 2006. №1 с.24-27.

6. Урьев Г.А. Математические модели смены сцен видеотрафика, основанные на процессе сдвигающихся уровней. «Известия ВУЗов - электротехнические комплексы и информационные системы», Москва, N1, 2005, с.94 - 98.

7. Урьев Г.А. Моделирование MPEG трафика в телекоммуникационных сетях. Материалы X-й международной научно-практической конференции – Наука сервису. ГОУ ВПО МГУС, - М., 2005г. с.108 - 111.

8. Урьев Г.А. Фрактальные свойства видеопоследовательностей MPEG-2. // Урьев Г.А., Сирухи Дж. В Материалы X-й международной научно-практической конференции – Наука сервису. ГОУ ВПО МГУС, - М., 2005. с.111 - 113.

9. Урьев Г.А. Математические модели трафика VoIP на уровне вызовов и пакетов. Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». Международный конгресс». Коммуникационные технологии и сети» (МФИ-2005) Москва, 2005, с.257-258

10. Терминологический словарь «Бизнес - Безопасность – Телекоммуникации» Авторы: Урьев Г.А., Новикова Е.Г., Петраков А.В., Рабовский С.В., Шемигон Н.Н. М.: Энергоатомиздат, 2005. - 328 с.

11. Урьев Г.А. Фрактальный анализ речевого трафика VoIP на уровне пакетов. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., Материалы научной конференции профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ, книга 1, 2005, с.43 - 44.

12. Урьев Г.А. Самоподобные модели видеотрафика на уровне сцен. // Урьев Г.А., Шелухин О.И., «Известия ВУЗов - электротехнические комплексы и информационные системы», Москва N1, 2005, с.104 - 110.

13. Урьев Г.А. Измерение статистических характеристик речевого трафика телекоммуникационной сети// Урьев Г.А., Шелухин О.И. Международный форум информатизации (МФИ-2004) Материалы конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», 2004 г. стр.280-281.

Соискатель

Урьев Г.А

УРЬЕВ ГРИГОРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОТОКОВ ТРАФИКА
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ
АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Отпечатано с оригинал-макета автора

Лицензия ИД № 04205 от 6.03.2001 г.

Сдано в производство 13.02.2007

Тираж 100 экз.

Объем 1,2 п.л.

Изд. №252

Заказ 254

