УДК 338.984:519.6

И.В. КОРСУН, В.М. БЕЗРУК, д-р техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ САМОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ

Введение

Реальный трафик в современных сетях связи, как правило, является самоподобным (фрактальным) по своей природе, поскольку в нем присутствуют «вспышки» пакетов, наблюдаемые в различных временных интервалах (от милисекунд до минут или даже часов), а также наблюдается корреляция между пакетами [1, 2]. Поэтому методы моделирования и расчета сетевых характеристик, основанные на математической модели трафика в виде пуассоновских потоков, уже не дают полной и точной картины происходящих в сети процессов.

В данной работе выполнен анализ реального трафика для сети мобильной связи третьего поколения и показаны его самоподобные свойства. Предложено использовать вейвлет-преобразование, описывающее самоподобность сетевого трафика, для решения задач прогнозирования трафика и планирования качества обслуживания в сети.

Анализ самоподобности реального трафика сети мобильной связи

Непрерывный стохастический процесс $X(t)$ считается статистически самоподобным с параметром Херста $H\,(0.5 \le H \le 1)$, если для любого положительного числа a процессы $X(t)$ и $a^{-H}X(at)$ будут иметь идентичные распределения, т.е. иметь одинаковые статистические свойства для всех положительных целых n [1]:

$$\{X(t_1), X(t_2), \ldots, X(t_n)\} \overset{D}{\sim} \{a^{-H}X(at_1), a^{-H}X(at_2), \ldots, a^{-H}X(at_n)\}. \qquad (1)$$

Отношение $\overset{D}{\sim}$ обозначает асимптотическое равенство в смысле распределения. Практически, статистическая самоподобность подразумевает, что выполняются следующие условия для математического ожидания, дисперсии и функция автокорреляции [1]:

$$M[X(t)] = \frac{M[X(at)]}{a^H},\ \sigma^2[X(t)] = \frac{\sigma^2[X(at)]}{a^{2H}},\ R(t,\tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^{2H}}. \qquad (2)$$

Параметр Херста H показывает “степень” самоподобности процесса. Значение $H = 0.5$ показывает отсутствие самоподобности, а большие значения H (близкие к 1) показывают большую степень самоподобности или длительные статистические зависимости в процессе.

Анализ самоподобности реального трафика производился в сети мобильной связи украинского оператора «X», который предоставляет услуги связи третьего поколения. Для исследования был выбран один из регионов, обслуживаемых сетью. Максимальная скорость передачи данных в форвард канале составляет 2.4 *Mb/s*, максимальный объем обслуживаемой голосовой нагрузки в регионе на момент проведения измерений составлял порядка 600 *Erl* в сутки.

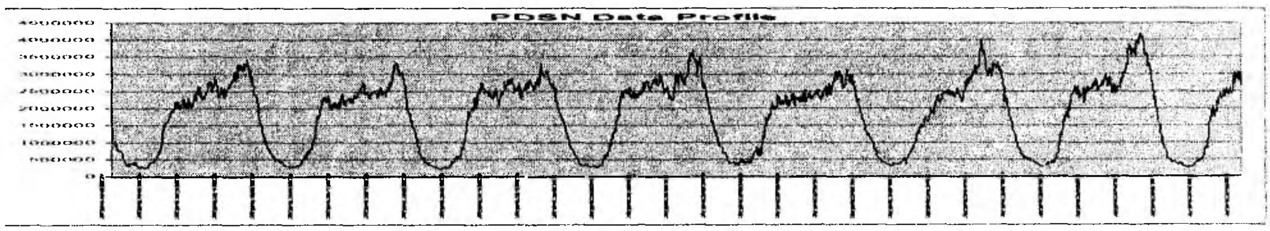
Данные по голосовому трафику обрабатывались за период два месяца, 24 часа в сутки с интервалом 30 минут. Данные по трафику передачи данных собирались в течение одного месяца, 24 часа в сутки с интервалом 5 минут. Для дальнейшего анализа полученные данные были разделены на группы: трафик передачи данных и трафик передачи речи. Основные показатели трафиков и фрагменты профайлов трафиков приведены соответственно в табл. 1, 2 и рис. 2.

Таблица 1

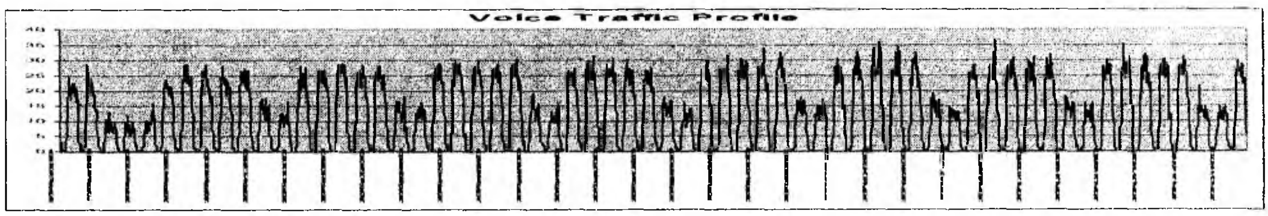
Общий объем переданной информации, *Mb*	Максимальный объем переданной информации в ЧНН, *Mb*	Среднесуточный объем переданной информации, *Mb*
9577648	23369	295117

Таблица 2

Общий объем обслуженной нагрузки, *Erl*	Максимальный объем обслуженной нагрузки в ЧНН, *Erl*	Среднесуточный объем обслуженной нагрузки в ЧНН, *Erl*
36366.5	186.2	586.6



а



б

Рис. 1

Для проверки самоподобности реального трафика использовался метод абсолютных юментов [1]. В данном методе исходная последовательность данных длинной N разделялся а блоки с длиной m. На границах блока последовательность имеет среднее значение (дисерсию)

$$X^{(m)}(k)=\frac{1}{m}\sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i,\ k=1,2,...,[N/m]. \tag{3}$$

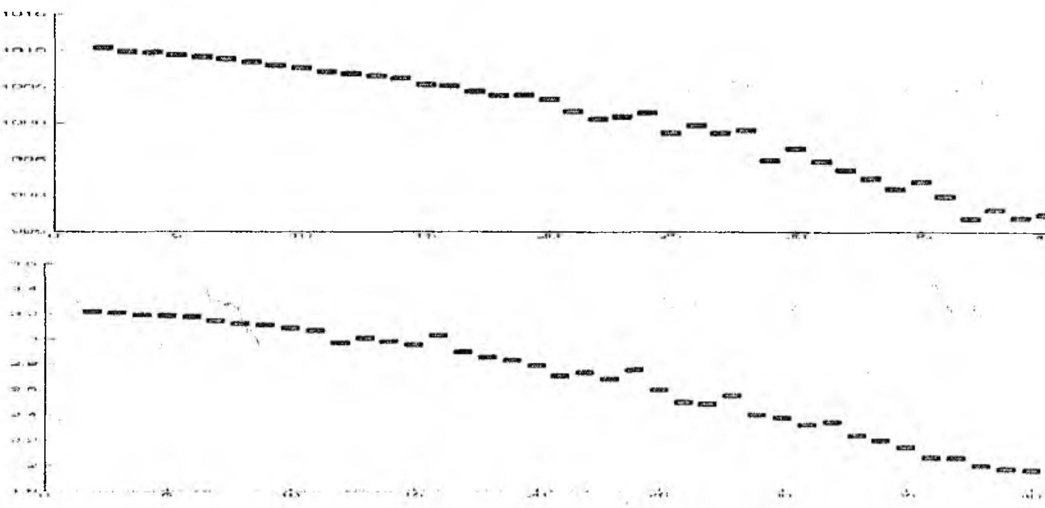
Для каждого блока рассчитывались дисперсия $X^{(m)}$ и математическое ожидание $\overline{X}$ для сей последовательности. После этого для каждого блока находился n-й момент

$$AM_n^{(m)}=\frac{1}{N/m}\sum_{k=1}^{N/m}\left|X^{(m)}(k)-\overline{X}\right|^n. \tag{4}$$

Далее строился график зависимости средних значений (дисперсий) абсолютных моменов для последовательности от m. С помощью полученных точек построена аппроксимиующая прямая по методу минимального среднеквадратического отклонения от эксперименальных данных. Получившийся наклон линии равен β. С помощью β найден параметр $H=1-|\beta|$.

Если исследуемая последовательность – это не процесс с медленно изменяющейся зависимостью, то $H=0.5$ и наклон апроксимационной линии будет равен $1/2$. Если процесс самоподобен, тогда $0.5\le H\le 1$ и наклон линии будет меньше чем $1/2$.

Данный метод реализован с помощью программы, написанной в программной среде MatLab 2006. Получены зависимости дисперсии от среднего m и был определен параметр Херста для каждого профайла трафика. Дисперсионно-временные графики для профайлов передачи данных и речи на рис. 2.



а)

б)

Рис. 2

Значения параметра Херста, рассчитанные с помощью метода абсолютных моментов для исследованных профайлов, показаны в табл. 3.

Таблица 3

Профайл	Abs(β)	Параметр Херста
Данные	0,13	0.84
Речь	0,04	0,96

Проведены также исследования свойств самоподобности реального трафика методом вейвлет-анализа [1]. Принцип, положенный в основу вейвлет-анализа, это так называемый многомасштабный анализ, который заключается в разложении последовательности $x(t)$ на грубую (низкочастотную) аппроксимацию и мелкие (высокочастотные) детали:

$$x(t)=\sum_{k} u_{jk}\varphi_{J,k}(t)+\sum_{j=J_0}^{\infty}\sum_{k} w_{jk}\psi_{j,k}(t). \qquad (5)$$

Функции $\left\{\varphi_{j,k}(t)=2^{-j/2}\varphi_0\left(2^{-j}t-k\right)\right\}$ и $\left\{\psi_{j,k}(t)=2^{-j/2}\psi_0\left(2^{-j}t-k\right)\right\}$ образуют ортонормированный базис из сдвинутых и расширенных скейлинг функций ϕ_0 и вейвлет-функций ψ_0. Вейвлет-преобразование состоит в нахождении коэффициентов разложения $\left\{ w_{jk}, j=1,\ldots,J,\ k\in Z\right\}$ и $\left\{ u_{jk}, k\in Z\right\}$.

На практике обычно работают с дискретным или конечным представлением процесса $x(t)$, заменяя полубесконечную сумму (14) суммой на конечном числе масштабов $0\le j\le n-1,\ n\in Z$.

Переход от высокого разрешения к более низкому приводит к деталям на больших временных масштабах. В частотной области это может интерпретироваться как полосовая фильтрация, переходящая от высоких к низким частотам с постоянной относительной полосой пропускания. При таком представлении k отражает пространственное расположение анализа, а j указывает на масштаб или разрешение анализа. Большее j соответствует большему разрешению, $j=0$ отражает самый грубый масштаб или самое низкое разрешение анализа.

Исследования реального трафика методом вейвлет-анализа было выполнено средствами пакета MatLab 2006. Полученные результаты вейвлет-анализа приведены на рис. 3.

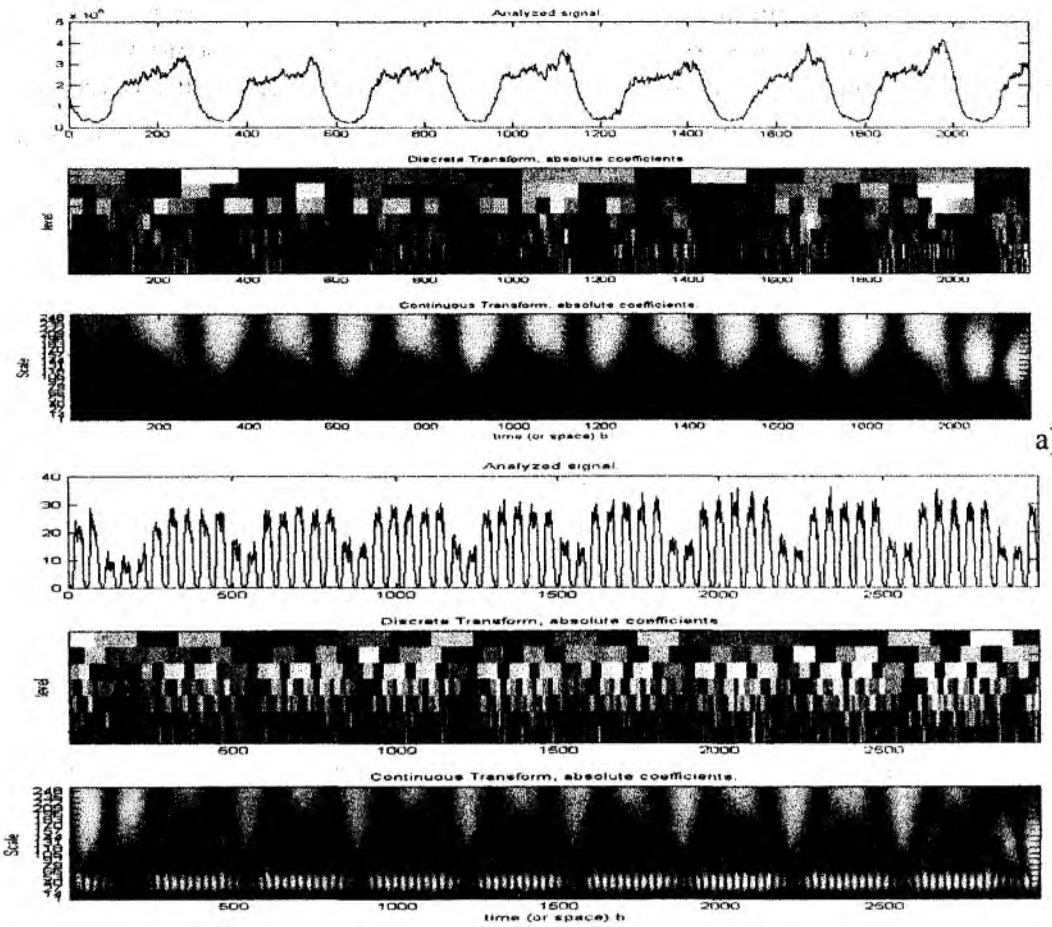


Рис. 3

Анализ изображений коэффициентов вейвлет-преобразования позволяет судить о фрактальных свойствах исследуемых реальных трафиков в сети. Дисперсии вейвлет-коэффициентов затухают с масштабом в соответствии со степенным законом для параметра H. Это степенное затухание, совместно с декорреляцией вейвлет-коэффициентов, приводит к быстрым устойчивым алгоритмам их оценивания.

Полученные результаты исследований реального трафика позволяют сделать следующие выводы:

1. Речевой трафик и трафик передачи данных в сети мобильной связи достаточно хорошо описываются самоподобными процессами, о чем свидетельствуют полученные значения критерия Херста и характерные особенности вейвлет-коэффициентов.
2. Эффект самоподобности трафика проявляется в широком диапазоне времени: от нескольких часов до нескольких месяцев.
3. Возрастание интенсивности трафика ведет к возрастанию коэффициент самоподобности.

Особенности моделирования трафика сети мобильной связи с использованием свойств самоподобности

Рассмотрим некоторые особенности моделирования трафика сети мобильной связи на основе свойств самоподобных процессов. Воспользуемся при этом методом моделирования случайных процессов на основе ортогональных разложений [3].

Вейвлет-преобразование выступает в качестве некоторого эквивалента декоррелирующего ортогонального разложения Карунена – Лоэва самоподобных процессов с долговременной зависимостью. Моделирование этих процессов в вейвлет-области более эффективно, чем во временной области.

Процессы с долговременной зависимостью могут быть приблизительно синтезированы на основе обратного вейвлет-преобразования. Вейвлет-коэффициенты могут быть получены как независимые гаусовские случайные величины с нулевым средним и с гауссовым распределением в пределах масштаба $W_{jk} \sim N\left(0;\sigma_j^2\right)$, где σ_j^2 дисперсии вейвлет-коэффициентов.

Таким образом, моделирование сетевого трафика может быть выполнено согласно следующего алгоритма:

1. Выбираются $N = 2^k$ наблюдаемых значений реального трафика.
2. Вычисляются вейвлет-коэффициенты для этих данных.
3. Вычисляются дисперсии вейвлет-коэффициентов σ_j^2 для каждого j-го масштаба.
4. Простым стохастичесим процессом гаусовского типа моделируются новые значения вейвлет-коэффициентов.
5. С применением обратного вейвлет-преобразования получаются отсчеты трафика во временной области для последующих моментов времени.

Данный алгоритм моделирования, в частности, может быть использован для решения задач прогнозирования трафика и планирования качества обслуживания в сети мобильной связи.

Заключение

Полученные результаты исследований самоподобности реального трафика в сетях мобильной связи третьего поколения позволяют сделать вывод о возможности использования для его описания математической модели в виде самоподобных процессов. Предложенный алгоритм моделирования сетевого трафика на основе соответствующего вейвлет-преобразования может быть применен для предсказания трафика и перспективного планирования в сетях мобильной связи. В последующих работах будут исследованы практические особенности решения указанных сетевых задач.

Список литературы: *1. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В.* Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. *2. Цыбаков Б.С.* Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. 1999. № 5. *3. Безрук В.М.* Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. Харків: ХНУРЕ, 2002.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 23.09.2009