

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАФИКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ С GPRS-ДОСТУПОМ

Е.Н. Едемская, Т.А. Едемская, Д.В. Бельков  
Донецкий национальный технический университет

*Сучасні дослідження трафіка пакетів комп'ютерних мереж показали, що це є самоподібний процес і його Марківські моделі приводять до некоректних рішень. Тому важливою задачею є подальше дослідження сучасного трафіка. Дана стаття представляє результати статистичного аналізу динамічних послідовностей затримки пакетів в мережі з GPRS доступом збоку відправника.*

## Введение

В области сетевых технологий прослеживается стойкая тенденция к интеграции компьютерных сетей, использующих разную среду передачи, в том числе и беспроводную. Это привело к появлению объединенных компьютерных сетей. Одной из их особенностей является мобильный доступ к провайдерам. Для повышения эффективности функционирования сетей важной задачей является анализ структуры трафика. В теории телетрафика используются математические методы и модели, ориентированные на независимые стационарные потоки. Однако, многочисленные исследования [1] трафика компьютерных сетей свидетельствуют о его фрактальности. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика. Данное явление не учитывается в теории телетрафика. Ситуация, сложившаяся в современных компьютерных сетях, появление новых свойств сетевого трафика, необходимость обеспечения высокого качества обслуживания приложений, делают актуальным статистический анализ трафика сетей с GPRS-доступом.

Целью настоящей работы является исследование структуры трафика, направленное на выявление его характерных особенностей. Изучается один из основных сетевых процессов – процесс RTT-задержки, который служит для получения информации о состоянии сети методом “черного ящика”, когда через сеть пропускается последовательность пакетов, и на основании времени их прохождения до удаленного узла и обратно делаются выводы о загрузке сети.

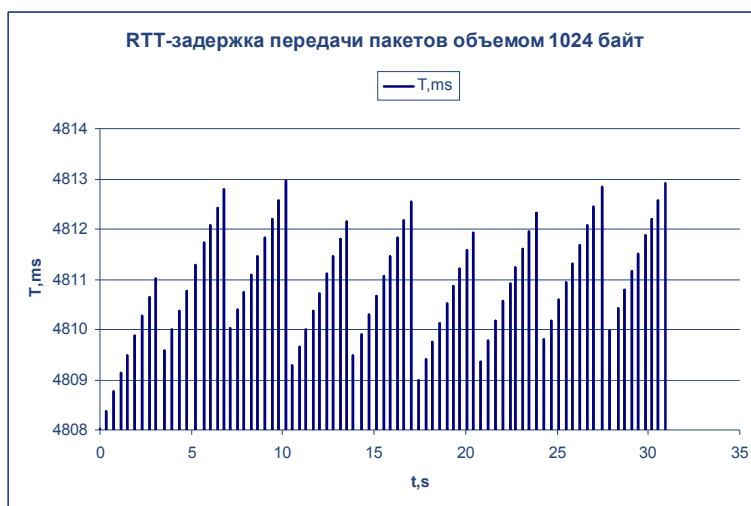
В работе решаются следующие задачи: оцениваются плотность распределения, автокорреляционная функция (АКФ), энергетический

спектр изучаемого временного ряда и степень фрактальности (показатель Херста). В исследовании использовались программы Fractan и Statistika.

#### Реализации сетевого трафика

Для изучения выбрана реализация сетевого трафика [2], полученная в 2007 году в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 3000 отсчетов (ряд UDP\_d1024). Измерялась задержка UDP-пакетов объемом 1024 байт. Отправитель имел GPRS-доступ и операционную систему Windows32, на стороне получателя - 100 Mbps Ethernet, операционная система Linux, скорость передачи 100 pps.

Для процесса RTT-задержки на маршруте прохождения пакета можно выделить постоянную минимальную составляющую, обусловленную отсутствием очередей и переменную составляющую, возникающую из-за задержек в очередях. RTT-задержка измеряется на стороне источника и складывается из времени обработки, времени распространения, времени коммутации, времени ожидания в очереди. Изучаемый временной ряд показан на рисунке 1. Нижний уровень задержки соответствует отсутствию очередей.

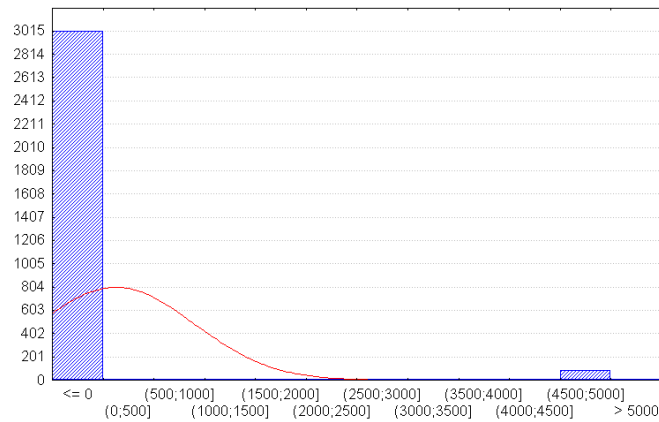


**Рис. 1. Задержка при передаче пакетов объемом 1024 байт**

#### Анализ плотности распределения

В этом разделе выполнен анализ плотности распределения. Оценка проводится на основании гистограмм относительных частот, показанных на рисунке 2. Визуальный анализ позволяет

сделать вывод, что изучаемый ряд не подчиняется нормальному распределению.



**Рис. 2. Плотность распределения ряда UDP\_d1024**

### Анализ автокорреляционных функций

В этом разделе необходимо определить обладает временной ряд медленно убывающей зависимостью или быстро убывающей зависимостью.

Определение [3]. Процесс  $X$  обладает медленно убывающей зависимостью (МУЗ) [long-range dependence], если для его АКФ выполняется условие  $r(k) \sim k^{-\beta} \cdot L_1(k)$ ,  $k \rightarrow \infty$ , где  $0 < \beta < 1$  и  $L_1$  - медленно меняющаяся на бесконечности функция:  $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{L_1(tx)}{L_1(t)} = 1$  для всех  $x$ .

Процессы с МУЗ характеризуются автокорреляционной функцией, которая убывает по степенному закону при увеличении временной задержки (лага). В отличие от процессов с МУЗ, процессы с быстро убывающей зависимостью (БУЗ) [short-range dependence] обладают экспоненциально спадающей АКФ вида  $r(k) \sim e^{-k}$ ,  $k \rightarrow \infty$ .

Вычисления АКФ выполнены с помощью программы Fractan 4.4

по формуле 
$$r(k) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{(N - \tau)\sigma^2(X)}$$
, где  $\bar{X}$  - выборочное

среднее ряда  $X$ ,  $\sigma^2(X)$  - выборочная дисперсия ряда  $X$ ,  $k=0,1,\dots$  Автокорреляционная функция исследуемого временного ряда приведена на рисунке 3.

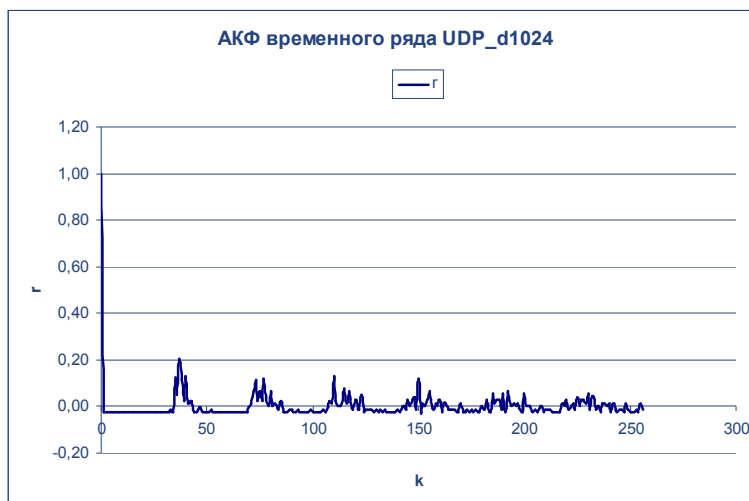
Мерой длительности долгосрочной зависимости процесса является показатель Херста  $H$ . Значение  $H=0,5$  указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. Корреляция между событиями

отсутствует. Ряд является случайным, а не фрактальным. Чем ближе значение  $H$  к 1, тем выше степень устойчивости долгосрочной зависимости. При  $0 \leq H < 0,5$  временной ряд является трендонеустойчивым (антиперсистентным). Он более изменчив, чем случайный ряд, поскольку состоит из частых реверсов спад-подъем. При  $0,5 < H \leq 1$  ряд трендоустойчив. Тенденция его изменения может быть спрогнозирована. Показатель Херста связан с другими фрактальными параметрами формулами, показанными в таблице 1.

**Таблица 1**

**Фрактальные параметры**

Параметр	Расчетная формула
Фрактальная размерность $D$	$D=2-H$
Корреляционный параметр $\beta$	$\beta=2(1-H)$
Спектральный показатель $b$	$b=2H+1$



**Рис. 3 - АКФ временного ряда UDP\_d1024**

### Спектральный анализ

В этом разделе выполнен расчет энергетического спектра исследуемого временного ряда. Известно [3], что в частотной области МУЗ приводит к степенному закону поведения спектральной плотности процесса. Процесс  $X$  обладает МУЗ, если для спектральной плотности  $S(f) = \sum_k r(k) \cdot e^{ikf}$  выполняется условие  $S(f) \sim f^{-b} \cdot L_2(f)$ , где

$f \rightarrow 0$ ,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $0 < b < 4$  и  $L_2$  - медленно изменяющаяся в нуле функция.

Процесс с МУЗ обладает спектральной плотностью с особенностью в нуле: спектральная плотность стремится к бесконечности, по мере того как частота  $f$  стремится к нулю.

Энергетический спектр представлен на рисунке 4. Значения  $S$  стремятся к бесконечности при  $f \rightarrow 0$ , что говорит о присутствии МУЗ в реализации трафика.

Для определения показателя Херста с помощью программы Fractan выполнен R/S-анализ. Результат показан на рисунке 5. Показатель Херста равен 0,17. Фрактальные параметры процесса:  $D=1,83$ ,  $\beta=1,66$ ,  $b=1,34$ . Временной ряд является антиперсистентным и не имеет устойчивой долгосрочной зависимости.



Рис. 4. Спектральная плотность ряда UDP\_d1024

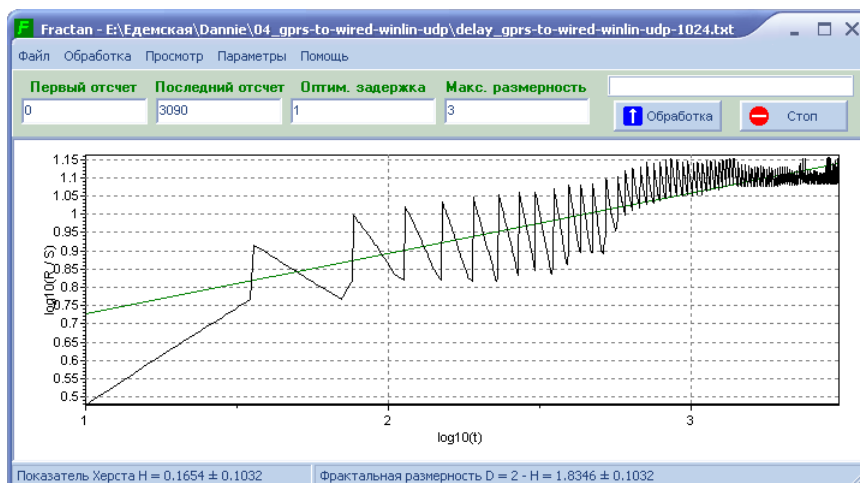


Рис. 5. Результат R/S-анализа ряда UDP\_d1024

### Выводы

В данной работе для реализации [2] процесса задержки UDP-пакетов объемом 1024 байт выполнен анализ плотности

распределения, автокорреляционной функции и энергетического спектра, определен показатель Херста  $H$ . Получены следующие результаты: изучаемый временной ряд не подчиняется нормальному распределению. Он имеет медленно убывающую зависимость АКФ, т.е. у процесса есть долговременная память. Спектральная плотность временного ряда стремится к бесконечности, по мере того как частота стремится к нулю, что говорит о присутствии МУЗ в реализациях трафика.

#### **Библиографический список**

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>
3. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. Автореферат диссертации. Москва. – 2004. – 20 с.