

УДК 004.7

Статистический анализ трафика беспроводной сети

Бельков Д.В., Едемская Е.Н.

Донецкий национальный технический университет

belkov65@list.ru

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Статистический анализ трафика беспроводной сети. Недавние исследования трафика пакетов в сети показали, что это - самоподобный процесс и его Марковские (без последействия) модели приводят к некорректным решениям. Поэтому важной задачей является дальнейшее исследование современного трафика. Данная статья представляет результаты статистического анализа RTT-задержки беспроводной сети с GPRS-доступом на стороне отправителя и UMTS-доступом со стороны получателя.

Ключевые слова: трафик, задержка, джиттер, функция автокорреляции, спектральная плотность, параметр Херста.

Введение

В связи с тенденциями объединения различных телекоммуникационных приложений на базе универсальной сетевой инфраструктуры актуальной проблемой является разработка методов анализа и синтеза информационно-управляющих систем. Данная работа посвящена одной из важных задач развития этого направления – исследованию процессов в компьютерных сетях с беспроводным доступом.

Использование в сетях интегрированных информационных приложений и пакетной коммутации сопровождается сложными явлениями, изучение которых может быть выполнено с помощью вероятностных подходов.

Характерным для процессов пакетной передачи является обнаруженное на практике свойство фрактальности. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика. Данное явление, которое значительно влияет на потери и задержки пакетов, не учитывается в теории телетрафика. Расчет параметров системы распределения информации по классическим формулам дает некорректные, неоправданно оптимистические результаты. Алгоритмы обработки трафика, созданные для работы с простейшим потоком неэффективны для фрактальных потоков [1-6].

Появление новых свойств сетевого трафика, необходимость обеспечения высокого качества обслуживания приложений, делают актуальным статистический анализ трафика сетей.

Целью настоящей работы является исследование структуры трафика сети с беспроводным доступом, 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 плотности распределения, автокорреляционные функции (АКФ), энергетические спектры изучаемых временных рядов, определяется степень фрактальности (показатель Херста). В исследовании использовались программы Fractan и Statistika.

Используемые сигналы

Для изучения выбраны шесть реализаций сетевого трафика [7], полученные в 2007 году в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Условные обозначения, принятые в работе, показаны в таблице 1.

Таблица 1. Условные обозначения

Обозначение	Описание
TCP_d64	Ряд измерений задержки TCP-пакетов объемом 64 байт
TCP_d256	Ряд измерений задержки TCP-пакетов объемом 256 байт
TCP_d1024	Ряд измерений задержки TCP-пакетов объемом 1024 байт

Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 3000 отсчетов. Отправитель имел GPRS-доступ, получатель - UMTS-доступ, скорость передачи 100 rps,

операционная система Windows32, на каждой из сторон.

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. Изучаемые временные ряды показаны на рисунках 1-3. Нижний уровень задержки соответствует отсутствию очередей.

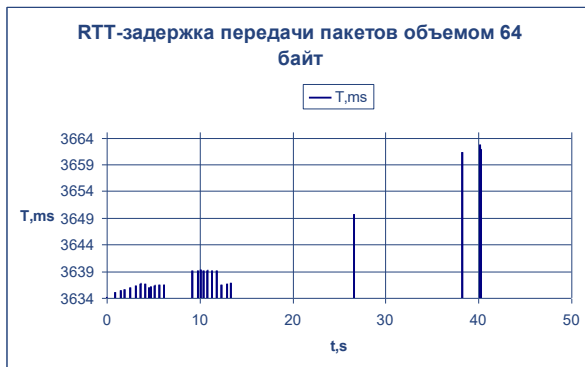


Рисунок 1 - Сигнал передачи пакетов объемом 64 байт

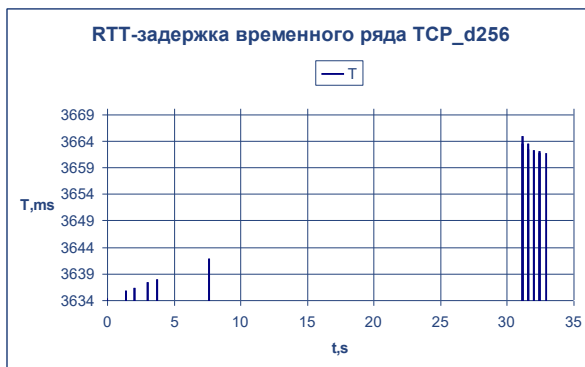


Рисунок 2 - Сигнал передачи пакетов объемом 256 байт

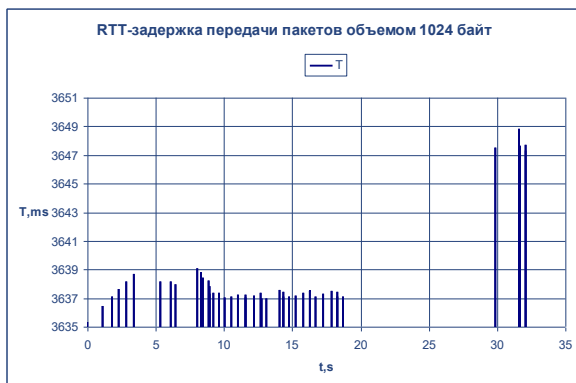


Рисунок 3 - Сигнал передачи пакетов объемом 1024 байт

Построение плотности распределения

В этом разделе выполнен анализ плотности распределения. Оценка проводится на основании гистограмм относительных частот, показанных на рисунках 4-6. Визуальный анализ позволяет сделать вывод, что исследуемые ряды не подчиняются нормальному распределению.

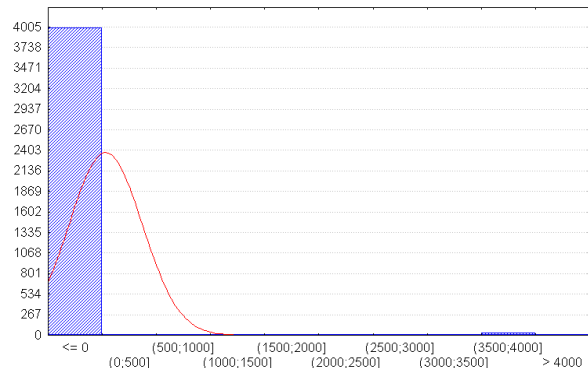


Рисунок 4 - Плотность распределения временного ряда TCP_d64

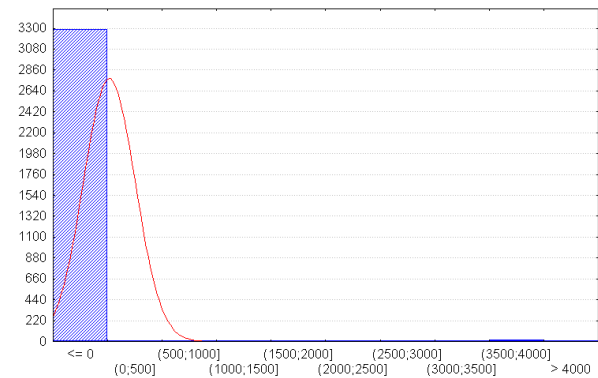


Рисунок 5 - Плотность распределения сигнала TCP_d256

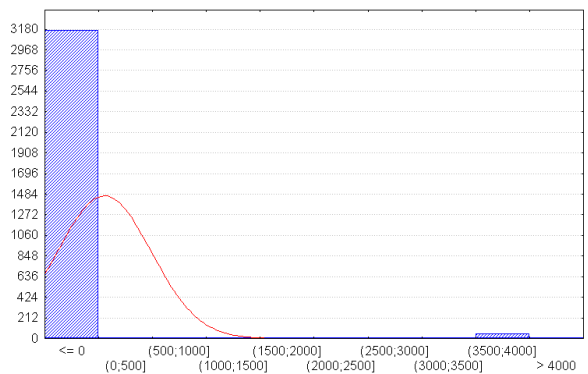


Рисунок 6 - Плотность распределения сигнала TCP_d1024

Построение автокорреляционных функций

В этом разделе необходимо определить обладают ли временные ряды медленно убывающей

зависимостью или быстро убывающей зависимостью. По определению 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

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

выборочное среднее ряда X, $\sigma^2(X)$ - выборочная дисперсия ряда X, $k=0,1,\dots$ Автокорреляционные функции исследуемых временных рядов приведены на рисунках 7-9. Их аппроксимация степенными функциями будет показана в разделе 5.

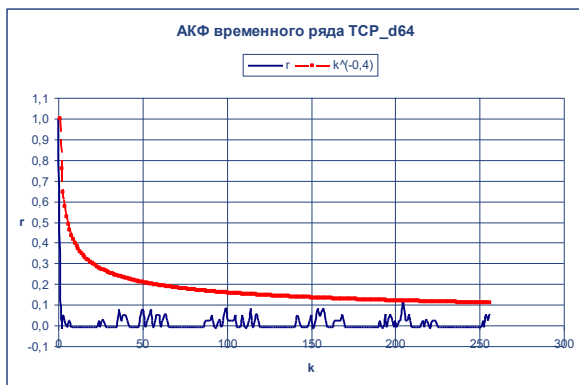


Рисунок 7 - АКФ сигнала TCP_d64

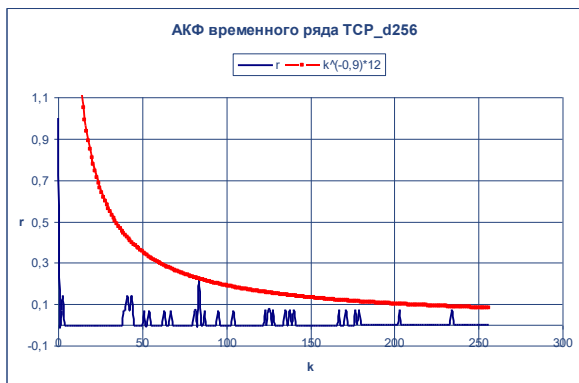


Рисунок 8 - АКФ сигнала TCP_d256

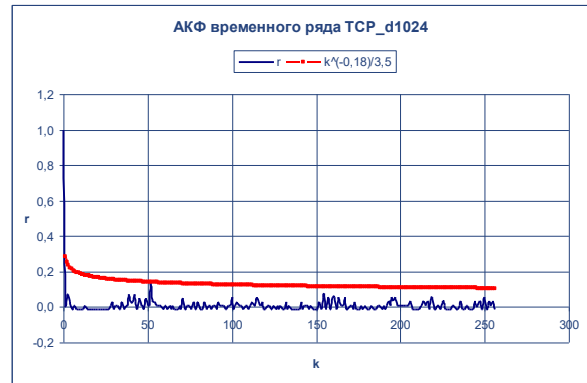


Рисунок 9 - АКФ сигнала TCP_d1024

Построение спектральной плотности сигналов

В этом разделе выполнен расчет энергетических спектров исследуемых временных рядов. Известно [8, 9], 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 $f \rightarrow 0, b = \sqrt{-1}, 0 < b < 4$ 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. Энергетические спектры реализаций представлены на рисунках 10-12.

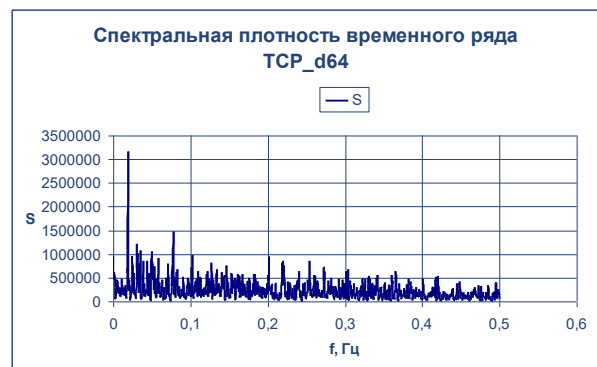


Рисунок 10 - Спектральная плотность сигнала TCP_d64

Визуальный анализ позволяет сделать вывод, что временные ряды RTT-задержки имеют на низких частотах самые мощные гармоники.



Рисунок 11 - Спектральная плотность сигнала TSP_d256

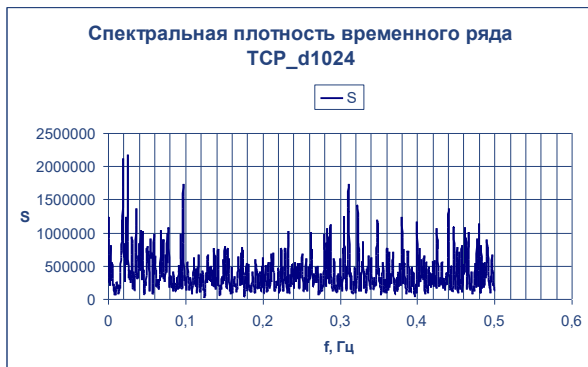


Рисунок 12 - Спектральная плотность сигнала TSP_d1024

Анализ спектральной плотности изучаемых рядов будет выполнен в следующем разделе.

Показатель Херста

В этом разделе оценивается показатель Херста H , который является мерой устойчивости статистического явления или мерой длительности долгосрочной зависимости процесса. 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 2.

Таблица 2. Фрактальные параметры

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

Для определения значения H в работе используется алгоритм R/S-анализа временных рядов, реализованный в программе Fractan 4.4 [10]. Алгоритм состоит в следующем. В исходной реализации Z последовательно выделяем отрезки $Z_\tau = z_1, z_2, \dots, z_\tau$, $\tau = 1000, 2000, \dots, 12000$, для каждого из которых

$$\bar{z}_\tau = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} z_i}{\tau}$$

вычисляем текущее среднее

для каждого фиксированного Z_τ вычисляем накопленное отклонение для его отрезков длины t : $X_{\tau,t} = \sum_{i=1}^t (z_i - \bar{z}_\tau)$, $t = 1, 2, \dots, \tau$, разность

(размах) между максимальным и минимальным накопленными отклонениями $R = R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} (X_{\tau,t}) - \min_{1 \leq t \leq \tau} (X_{\tau,t})$ и стандартное

отклонение $S = S(\tau)$. Показатель Херста

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{\tau}{2}\right)^H$$

вычисляем с помощью формулы

Логарифмируя обе части этого равенства, получаем последовательность координат точек (x_τ, y_τ) , где $x_\tau = 1000, 2000, \dots, 12000$,

$$y_\tau = H(\tau) = \frac{\lg(R(\tau)/S(\tau))}{\lg(\tau/2)}$$

зависимости $H(\tau)$ и линию тренда, определим аппроксимированное значение показателя Херста H .

На рисунке 13 показан результат R/S-анализа для процесса задержки пакетов объемом 64 байт. Показатель Херста вычислен с погрешностью $\Delta = \pm 0,2846$ и лежит в диапазоне между 0,62 и 1,19. Для определения значения H по графику спектральной плотности предлагается следующий метод исследования спектральной плотности временного ряда. Как показано на рисунке 14, строим линию L , которая огибает максимальные значения плотности S в направлении слева направо, и выполняем ее аппроксимацию степенной функцией. Показатель степени, равный 0,6, дает значение спектрального показателя b . Искомое значение $H=0,8$, вычисляется по формуле $H = (1 + b)/2$.

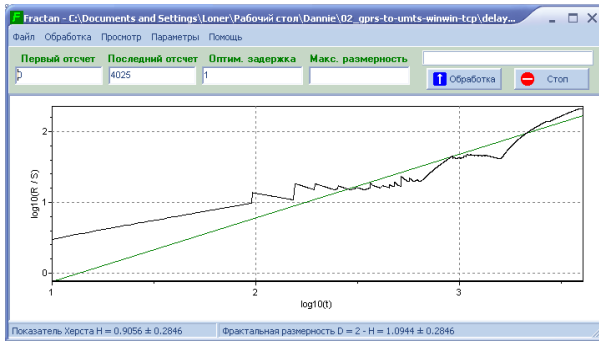


Рисунок 13 - Результат R/S-анализа сигнала TCP_d64

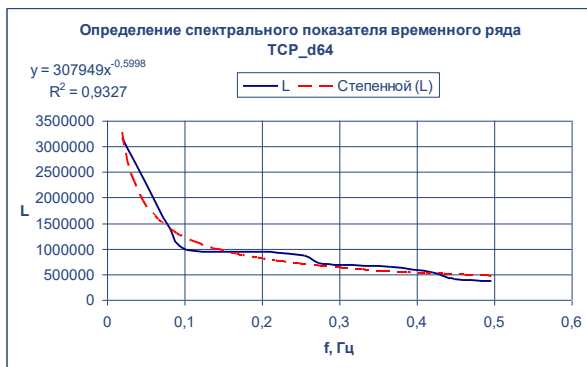


Рисунок 14 - Определение показателя b сигнала TCP_d64

Поскольку значение H лежит в диапазоне $0,5 < H \leq 1$, то ряд TCP_d64 трендоустойчив. Для аппроксимации АКФ этого ряда вычислено значение $\beta = 0,4$ по формуле $\beta = 2(1 - H)$.

На рисунке 15 показан результат R/S-анализа для процесса задержки пакетов объемом 256 байт. Показатель Херста лежит в диапазоне между 0,57 и 0,92. Определение спектрального показателя по графику спектральной плотности показано на рисунке 16. Значение $b=0,09$, $H=0,55$, $\beta = 0,9$. Ряд TCP_d256 близок к случайному.

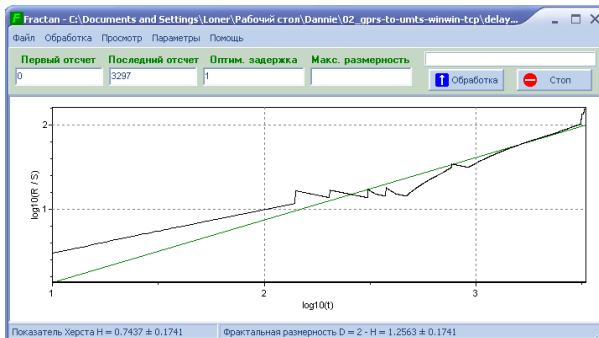


Рисунок 15 - Результат R/S-анализа сигнала TCP_d256

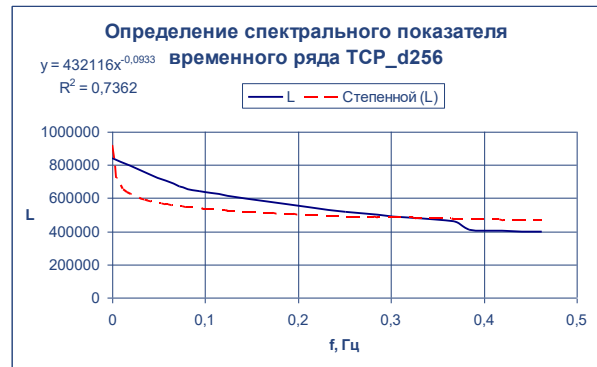


Рисунок 16 - Определение показателя b сигнала TCP_d256

На рисунке 17 показан результат R/S-анализа для процесса задержки пакетов объемом 1024 байт. Показатель Херста лежит в диапазоне между 0,59 и 1,07. Определение спектрального показателя по графику спектральной плотности показано на рисунке 18. Значение $b=0,18$, $H=0,59$. Аппроксимации АКФ этого ряда выполнена при $\beta = 0,82$.

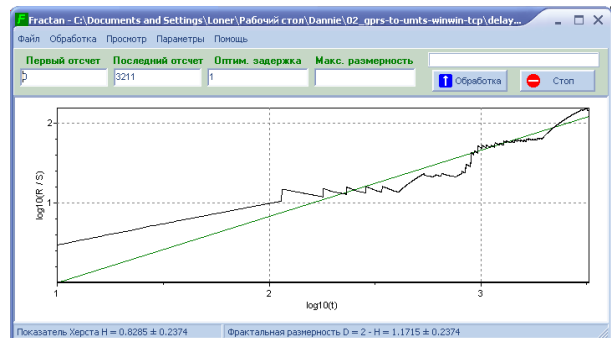


Рисунок 17 - Результат R/S-анализа сигнала TCP_d1024

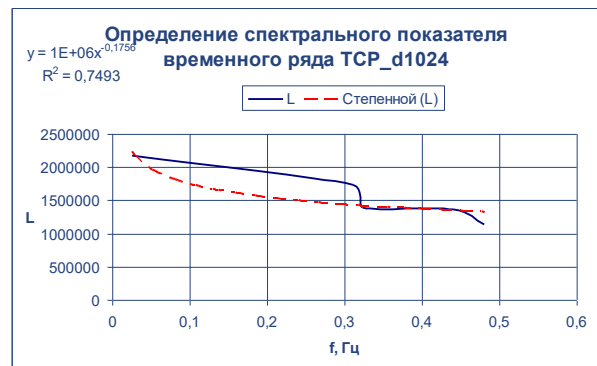


Рисунок 18 - Определение показателя b сигнала TCP_d1024

Выводы

В данной работе для сети с беспроводным доступом и реализаций [7] процесса задержки ТСП-пакетов выполнен статистический анализ. Предложен метод определения спектрального показателя по графику спектральной функции.

Получены следующие результаты:

1. Изучаемые временные ряды не подчиняются нормальному распределению.
2. Изучаемые временные ряды имеют медленно убывающую зависимость АКФ, т.е. у процессов есть долговременная память.
3. Спектральная плотность временных рядов стремится к бесконечности, по мере того как частота стремится к нулю.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение структуры трафика сетей с беспроводным доступом методами нелинейной динамики.

Литература

1. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб.: СПбГТУ, 2000. – 102 с.
2. <http://pi.314159.ru/park1.pdf> - Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview.
3. <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf> - Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A. A bibliographical guide to self-similar traffic

and performance modeling for modern high-speed networks.

4. Иванов А. В. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования и управления очередями в компьютерных сетях. Санкт – Петербург. – 2001. – 18 с.
5. Осин А.В. Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях. Автореферат диссертации. Москва. – 2005. – 20 с.
6. Ложковський А.Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Автореферат дисертації. – Одеса, 2010. – 38 с.
7. <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php> - Network tools and traffic traces.
8. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. Автореферат диссертации. Москва. – 2004. – 20 с.
9. Шепухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. М. Фрактальные процессы в телекоммуникациях Москва: Радиотехника, - 2003.- 480с.
10. http://freesoft.ru/fractan_44 - Fractan 4.4. Фрактальный анализ временных рядов.

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Статистический анализ трафика беспроводной сети. Недавние исследования трафика пакетов в сети показали, что это - самоподобный процесс и его Марковские (без последействия) модели приводят к некорректным решениям. Поэтому важной задачей является дальнейшее исследование современного трафика. Данная статья представляет результаты статистического анализа RTT-задержки беспроводной сети с GPRS-доступом на стороне отправителя и UMTS-доступом со стороны получателя.

Ключевые слова: трафик, задержка, джиттер, функция автокорреляции, спектральная плотность, параметр Херста.

Belkov D.V., Edemskaya E.N. The statistical analysis of the traffic traces for wireless network. Recent network packet traffic investigations have demonstrated, that it is self-similar process and more conventional models, such a simple Markovian (memory-less) models have fault. Analysis the real traffic is an important task. This paper presents the results of the statistical analysis of RTT-delay traces with GPRS-access to the network at sender side and UMTS-access to the network at receiver side.

Keywords: traffic, delay, jitter, autocorrelation function, spectral density, Hurst parameter.

Статья поступила в редакцию 20.11.2016
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом