

## Анализ трафика беспроводной сети

Д.В. Бельков<sup>\*1</sup>, Д.Д. Лосев<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> к.т.н, доцент, Донецкий национальный технический университет,  
belkovdv@list.ru

<sup>\*2</sup> студент, Донецкий национальный технический университет,  
daniill.tf@gmail.com

*Бельков Д.В., Лосев Д.Д. Анализ трафика беспроводной сети. Исследования современного сетевого трафика показали, что это - самоподобный процесс и его Марковские модели приводят к некорректным результатам. Поэтому важной задачей является дальнейшее исследование трафика. Данная статья представляет результаты статистического анализа временных рядов задержки в сети с GPRS-доступом на стороне отправителя и UMTS-доступом со стороны получателя.*

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

### Введение

Для процессов пакетной передачи характерным 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 в современных сетях.

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.

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

Целью данной 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). Вычислительный эксперимент выполнен в среде Octave.

### Реализации сетевого трафика

Для изучения выбраны шесть реализаций сетевого трафика, полученные в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии, данные свободно доступны для анализа. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 3000 отсчетов. Отправитель имел GPRS-доступ, получатель - UMTS-доступ, скорость передачи 100 pps, 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 рис. 1-3. Условные обозначения, принятые в работе, показаны в табл. 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

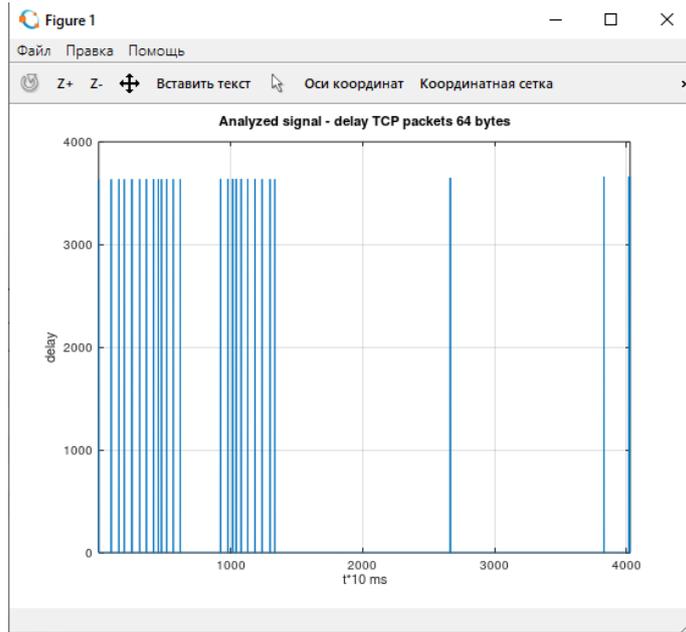


Рисунок 1 – Задержка при передаче пакетов объемом 64 байт

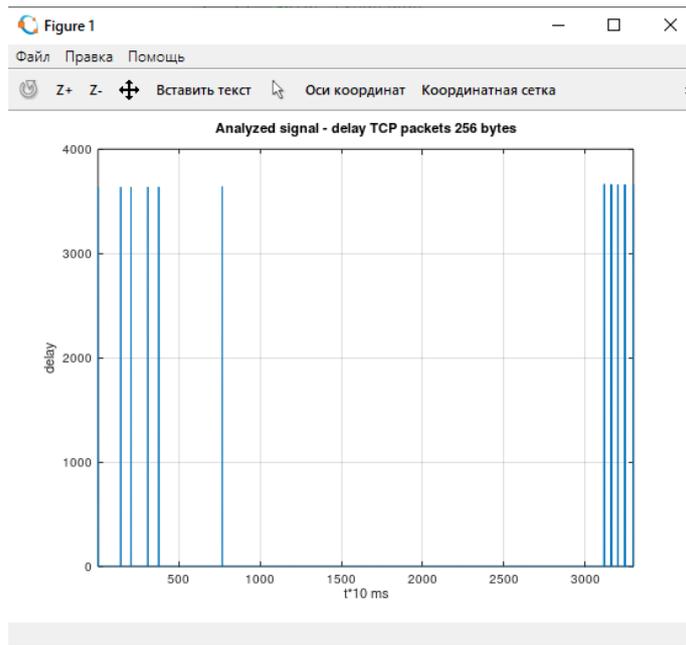


Рисунок 2 - Задержка при передаче пакетов объемом 256 байт

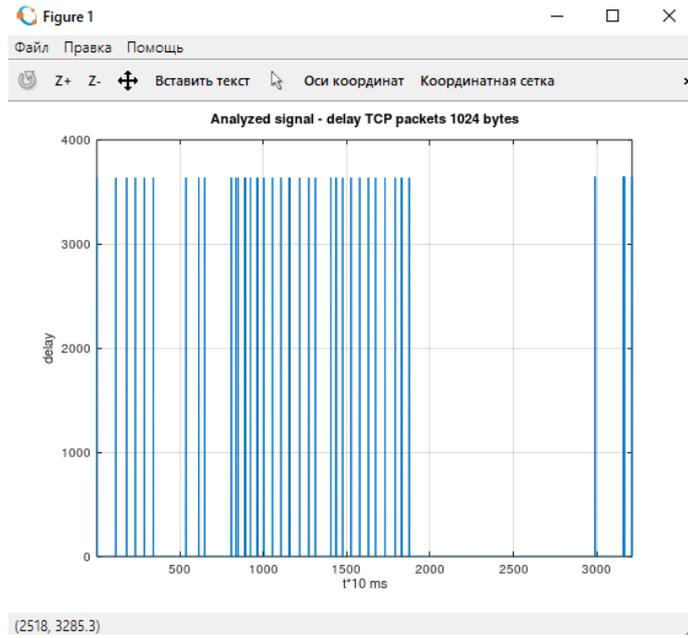


Рисунок 3 - Задержка при передаче пакетов объемом 1024 байт

### ***Анализ плотности распределения***

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

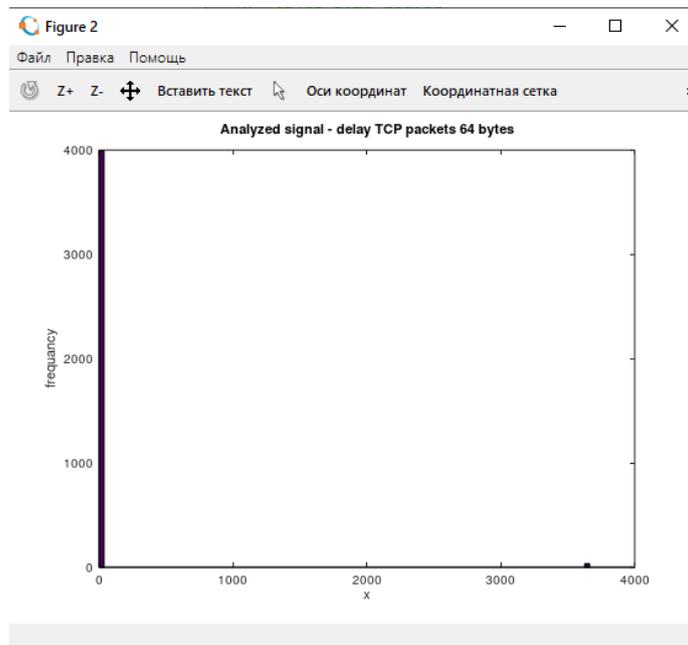


Рисунок 4 - Плотность распределения временного ряда TCP\_d64

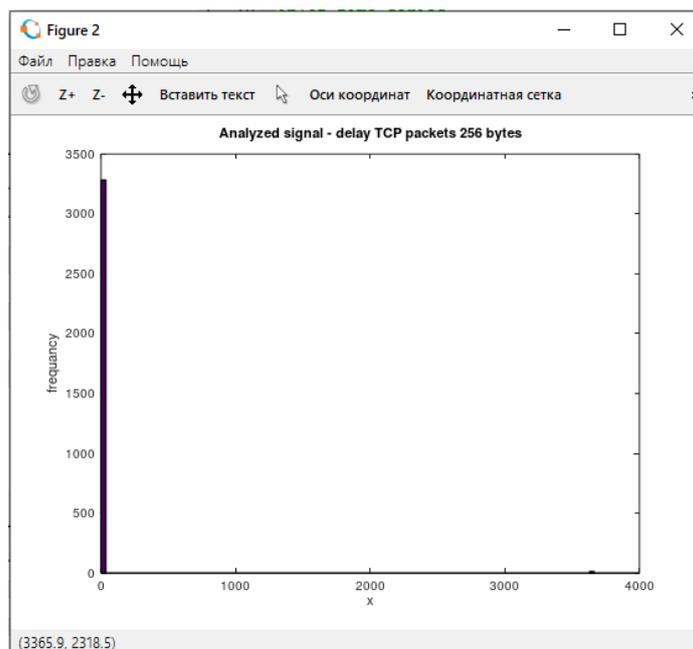


Рисунок 5 - Плотность распределения временного ряда TCP\_d256

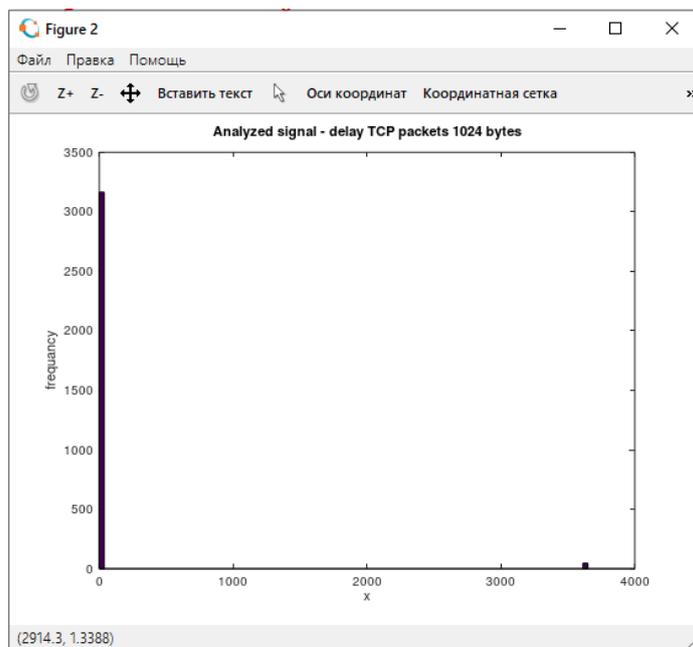


Рисунок 6 - Плотность распределения временного ряда TCP\_d1024

### Анализ 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

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

$k=0,1,\dots$  Автокорреляционные функции исследуемых временных рядов приведены на рис. 7-9.

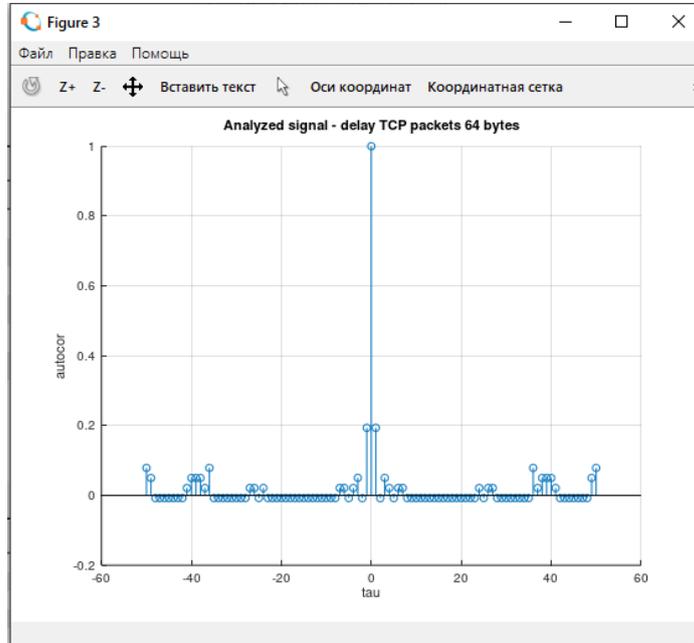


Рисунок 7 - АКФ временного ряда TCP\_d64

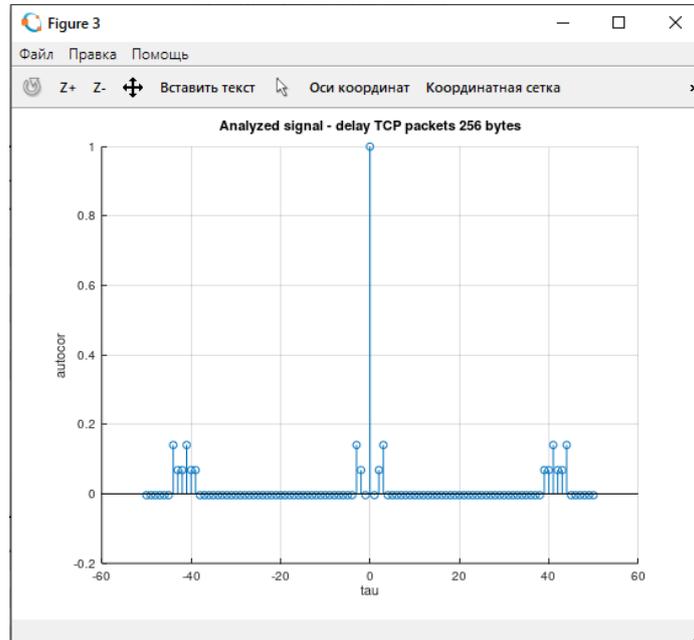


Рисунок 8 - АКФ временного ряда TCP\_d256

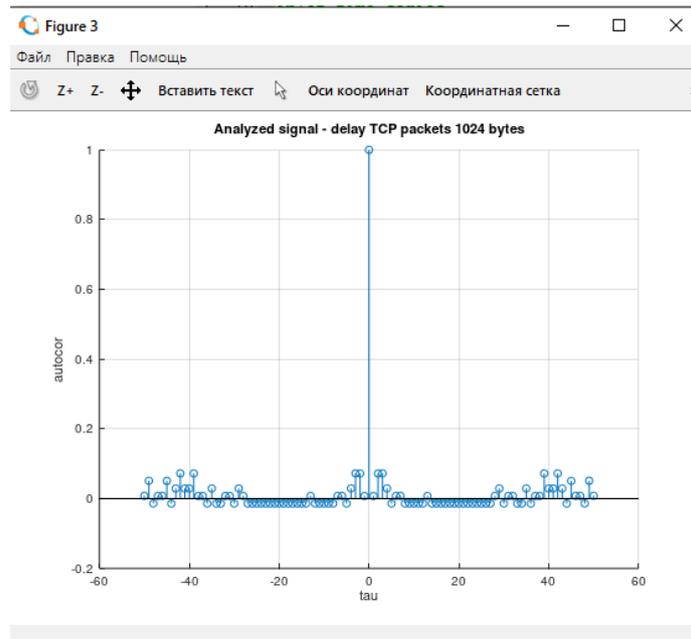


Рисунок 9 - АКФ временного ряда TCP\_d1024

### Спектральный анализ

В этом разделе выполнен расчет энергетических спектров исследуемых временных рядов. Известно, что в частотной области МУЗ приводит к степенному закону поведения спектральной плотности процесса. Процесс  $X$  обладает МУЗ, если для спектральной плотности выполняется условие, 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. Энергетические спектры реализаций представлены на рис. 10-12. Визуальный анализ позволяет сделать вывод, что временные ряды задержки самые мощные гармоники имеют на низких частотах.

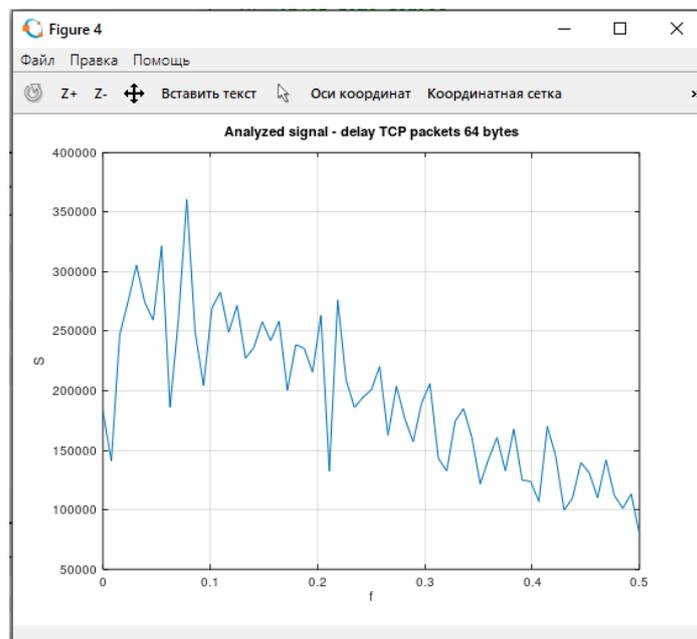


Рисунок 10 - Спектральная плотность временного ряда TCP\_d64

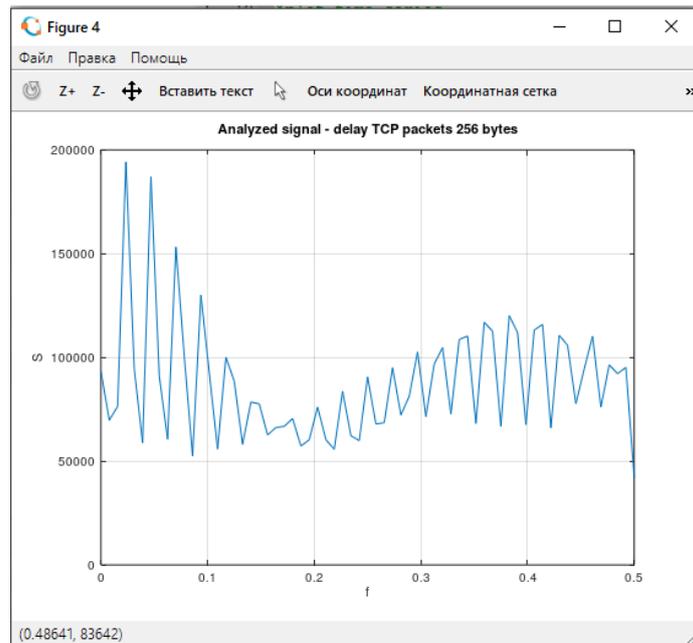


Рисунок 11 - Спектральная плотность временного ряда TCP\_d256

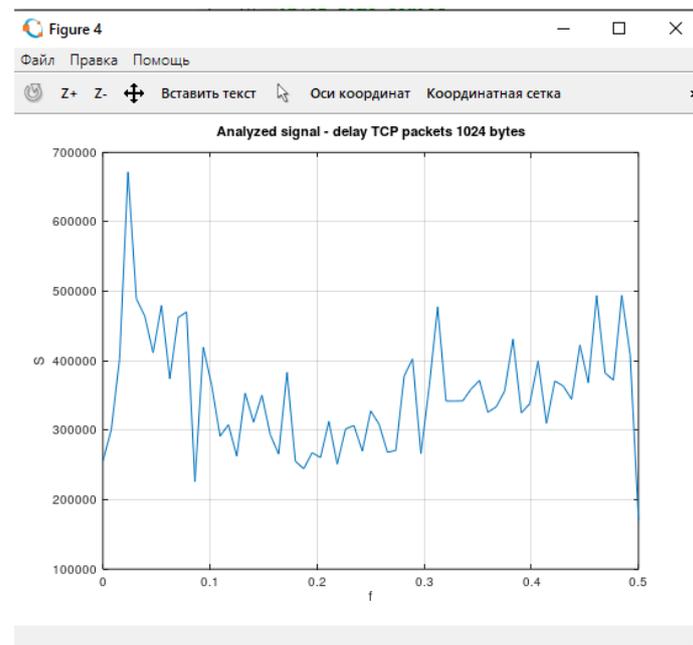


Рисунок 12 - Спектральная плотность временного ряда TCP\_d1024

### **Исследование показателя 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 табл. 2.

Таблица 2 Фрактальные параметры

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

Для определения показателя Херста в работе используется функция `hurst`. Значения  $H$ , полученные для изучаемых временных рядов, показаны в табл. 3.

Таблица 3 Показатель Херста

Временной ряд	Показатель Херста
TCP_d64	0,65494
TCP_d256	0,62933
TCP_d1024	0,61896

### Выводы

В данной работе для реализаций процесса задержки TCP-пакетов выполнен статистический анализ. Получены следующие результаты: изучаемые временные ряды не подчиняются нормальному распределению, имеют медленно убывающую зависимость АКФ, самые мощные гармоники находятся на низких частотах. Все изучаемые временные ряды являются трендоустойчивыми.

### Литература

1. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб.: СПбГТУ, 2000. – 102 с.
2. Шепухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. М. Фрактальные процессы в телекоммуникациях Москва: Радиотехника, - 2003. - 480 с.
3. Ложковський А.Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Автореферат дисертації. – Одеса, 2010. – 38 с.
4. Шиленко И.С., Бельков Д.В., Лазебная Л.А. Моделирование видео трафика. Материалы XI Международной научно-технической конференции «Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование» (ИУСМКМ-2020). – Донецк: ДонНТУ, 2020. - С. 17-22.
5. Едемская Е.Н., Бельков Д.В., Родь А.С. Модель UDP-трафика компьютерной сети. Информационное пространство Донбасса: проблемы и перспективы. Материалы IV Республиканской с международным участием научно-практической конференции. Донецк. ГОУ ВПО «ДонНУЭТ». 2021. – С. 133-136.
6. Бельков Д.В., Лазебная Л.А. Самоорганизация TCP-трафика. Информатика и кибернетика № 21.- С. 29-37.
7. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/traces.php>

**Бельков Д.В., Лосев Д.Д. Анализ трафика беспроводной сети. Исследования современного сетевого трафика показали, что это - самоподобный процесс и его Марковские модели приводят к некорректным результатам. Поэтому важной задачей является дальнейшее исследование трафика. Данная статья представляет результаты статистического анализа временных рядов задержки в сети с GPRS-доступом на стороне отправителя и UMTS-доступом со стороны получателя.**

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

**Belkov D.V., Losev D.D. Analysis of wireless network traffic. Studies of modern network traffic have shown that this is a self-similar process and its Markov models lead to incorrect results. Therefore, an important task is to further research traffic. This article presents the results of a statistical analysis of the time series of latency in a network with GPRS-access on the sender side and UMTS-access on the receiver side.**

**Keywords:** self-similarity, traffic, delay, autocorrelation function, spectral density, Hearst parameter.