

УДК 004.7

Анализ UDP-трафика

Бельков Д.В., Едемская Е.Н.

Донецкий национальный технический университет
belkov65@list.ru

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Анализ UDP-трафика. В данной работе для реализаций процесса задержки и джиттера UDP-пакетов объемом 64 и 512 байт выполнен анализ плотности распределения, автокорреляционных функций и энергетических спектров. Найдены значения показателя Херста H . Получены следующие результаты. Изучаемые временные ряды не подчиняются нормальному распределению, ряды не обладают экспоненциально спадающей АКФ, свойственной случайным рядам. Для процесса задержки пакетов объемом 64 байт выполняется условие $0,5 < H < 1$, для пакетов объемом 512 байт выполняется условие $0 < H < 0,5$. Для джиттера при передаче пакетов объемом 64 байт и 512 байт показатель Херста близок к значению 0,5 – ряды являются случайными.

Ключевые слова: UDP-пакеты, трафик, плотность распределения, автокорреляционная функция, энергетический спектр, показатель Херста.

Введение

Многочисленные исследования [1-5] трафика компьютерных сетей свидетельствуют о том, что он обладает свойством масштабной инвариантности - имеет особую фрактальную (самоподобную) структуру, сохраняющуюся на разных масштабах. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика. Данное явление, которое значительно влияет на потери, задержки и джиттер пакетов, не учитывается в классической теории телетрафика. Расчет параметров системы распределения информации, предназначенной для обработки сетевого трафика, по классическим формулам дает некорректные, неоправданно оптимистические результаты. Алгоритмы обработки трафика, созданные для работы с простейшим потоком неэффективны для фрактальных потоков.

Ситуация, сложившаяся в современных компьютерных сетях, наличие большого количества сетевых маршрутов на которых периодически возникают резкие колебания задержки в передаче данных и большие потери пакетов, появление новых свойств сетевого трафика, необходимость обеспечения высокого качества обслуживания приложений, делают актуальным статистический анализ сетевого трафика.

Целью настоящей работы является исследование структуры трафика, направленное на выявление его характерных особенностей. Изучается один из основных сетевых процессов – процесс задержки пакетов, 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 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). Исследования выполнены в среде MatLab.

Статистический анализ трафика

Для изучения выбраны две реализации сетевого трафика [6], полученные в 2007 году в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 12 000 отсчетов. В первом случае (ряды UDP_d64 и UDP_j64) измерялись задержка и джиттер UDP-пакетов объемом 64 байт, во втором случае (ряды UDP_d512 и UDP_j512) измерялись задержка и джиттер UDP-пакетов объемом 512 байт. Отправитель имел ADSL-доступ (640 Kbps), на стороне получателя - 100 Mbps Ethernet, операционная система Linux на каждой из сторон, скорость передачи 100 pps.

Необходимо отметить, что для процесса задержки на маршруте прохождения пакета можно выделить постоянную минимальную составляющую, обусловленную отсутствием очередей и переменную составляющую, возникающую из-за задержек в очередях. Задержка измеряется на стороне источника. Она складывается из времени обработки, времени распространения, времени коммутации, времени

ожидания в очереди. Изучаемые временные ряды показаны на рисунках 1-4.

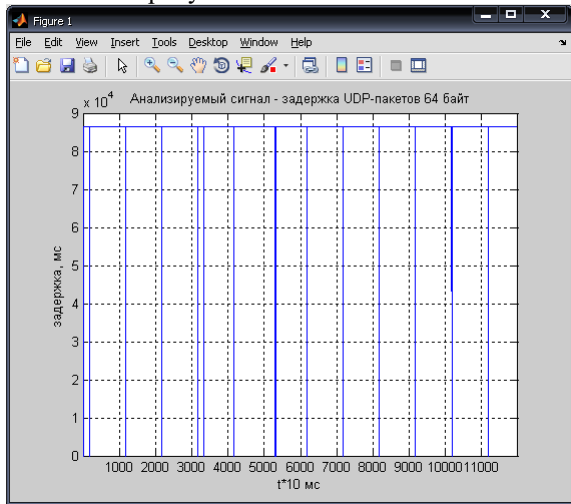


Рисунок 1 - Задержка при передаче пакетов объемом 64 байт

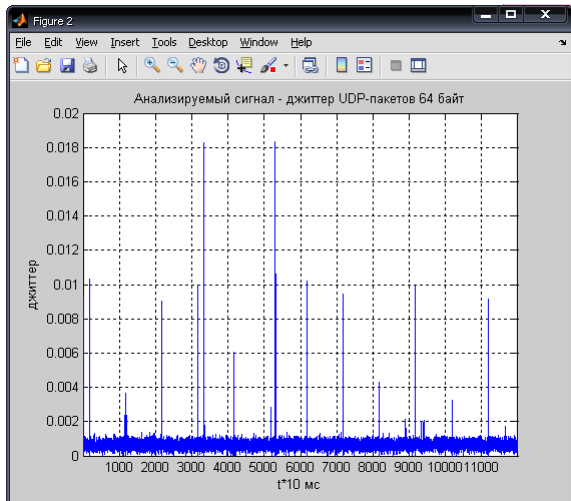


Рисунок 2 - Джиттер при передаче пакетов объемом 64 байт

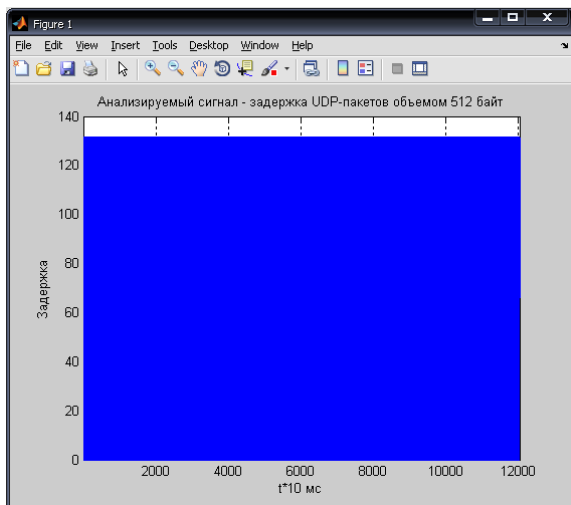


Рисунок 3 - Задержка при передаче пакетов объемом 512 байт

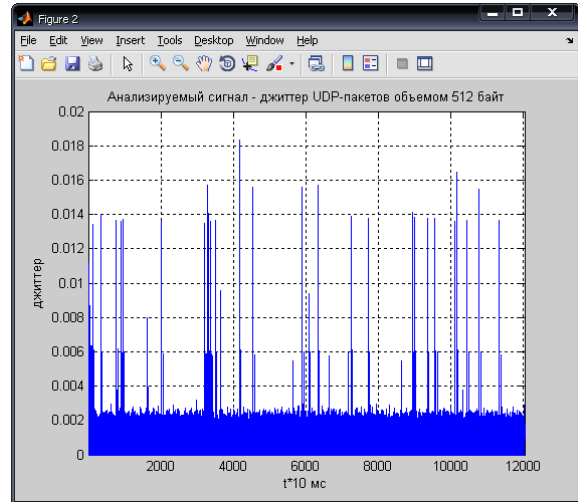


Рисунок 4 - Джиттер при передаче пакетов объемом 512 байт

Оценка плотностей распределения проводится на основании гистограмм относительных частот, показанных на рисунках 5-8.

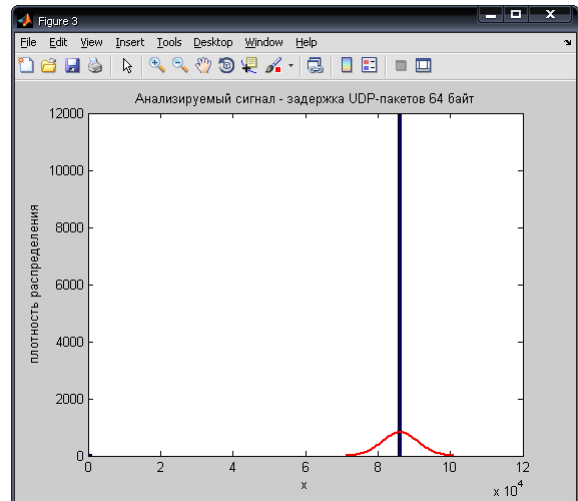


Рисунок 5 - Плотность распределения временного ряда UDP_d64

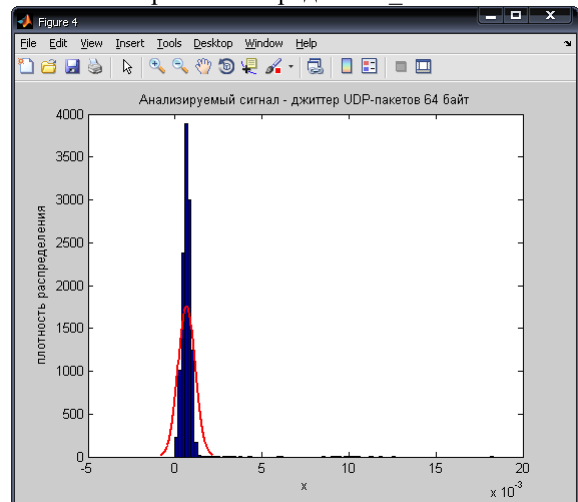


Рисунок 6 - Плотность распределения временного ряда UDP_j64

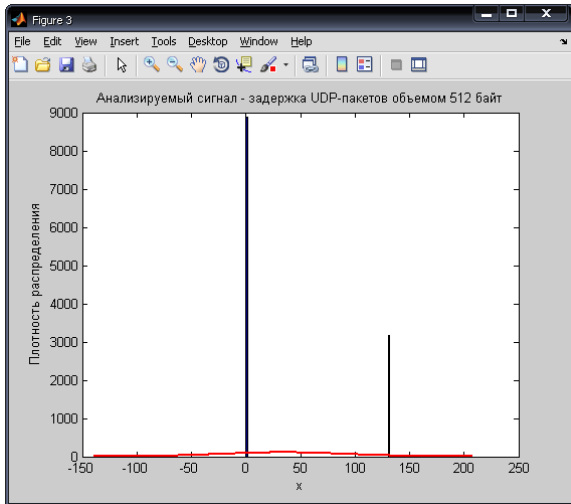


Рисунок 7 - Плотность распределения временного ряда UDP_d512

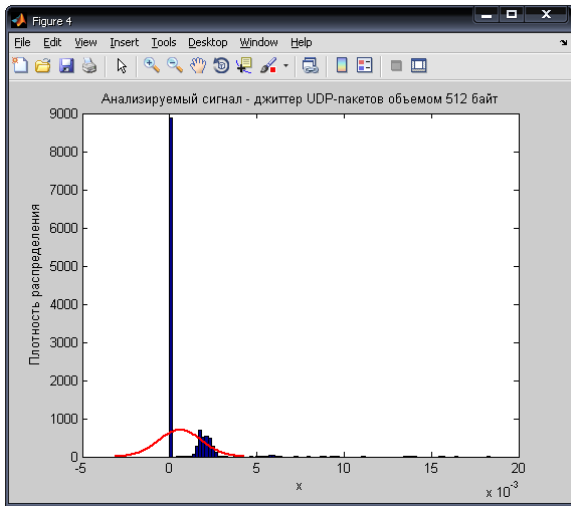


Рисунок 8 - Плотность распределения временного ряда UDP_j512

Временные ряды UDP_d64, UDP_d512, UDP_j512 не подчиняются нормальному распределению. Ряд UDP_j64 близок к случайному.

В работе необходимо определить обладают ли временные ряды медленно убывающей зависимостью или быстро убывающей зависимостью.

Процесс X обладает медленно убывающей зависимостью (МУЗ) [long-range dependence], если для его АКФ выполняется условие $r(k) \sim k^{-\beta} \cdot L_1(k) + C_1, k \rightarrow \infty$, где $C_1 = const, 0 < \beta < 1$ и L_1 - медленно меняющаяся на бесконечности функция:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{L_1(tx)}{L_1(t)} = 1 \text{ для всех } x.$$

Процессы с МУЗ характеризуются автокорреляционной функцией, которая убывает по степенному закону при увеличении временной задержки (лага) [7]. В

отличие от процессов с МУЗ, процессы с быстро убывающей зависимостью (БУЗ) [short-range dependence] обладают экспоненциально спадающей АКФ вида $r(k) \sim \rho^k, k \rightarrow \infty$.

Вычисления АКФ по формуле

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

выборочное среднее ряда X, $\sigma^2(X)$ - выборочная дисперсия ряда X, $k=0,1,\dots$. Автокорреляционные функции исследуемых временных рядов приведены на рисунках 9-12. Они не обращаются в ноль при больших значениях k, что говорит о медленном убывании АКФ и присутствии МУЗ во всех исследуемых реализациях трафика.

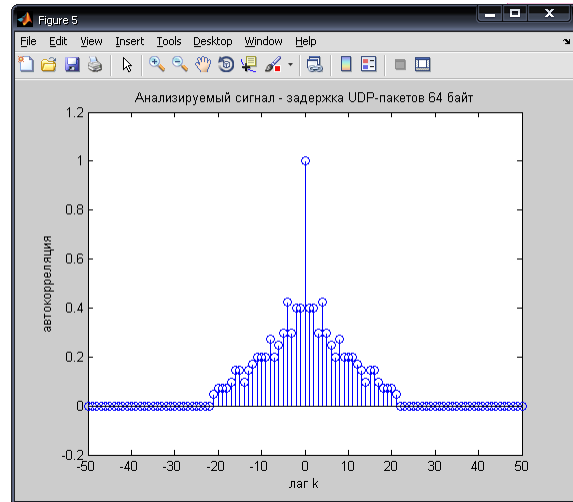


Рисунок 9 - АКФ временного ряда UDP_d64

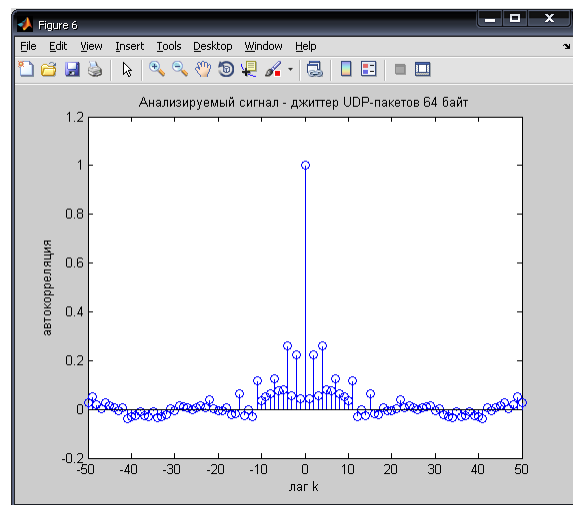


Рисунок 10 - АКФ временного ряда UDP_j64

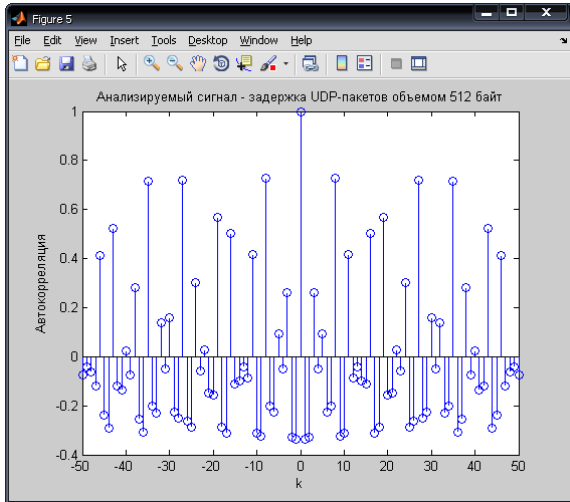


Рисунок 11 - АКФ временного ряда UDP_d512

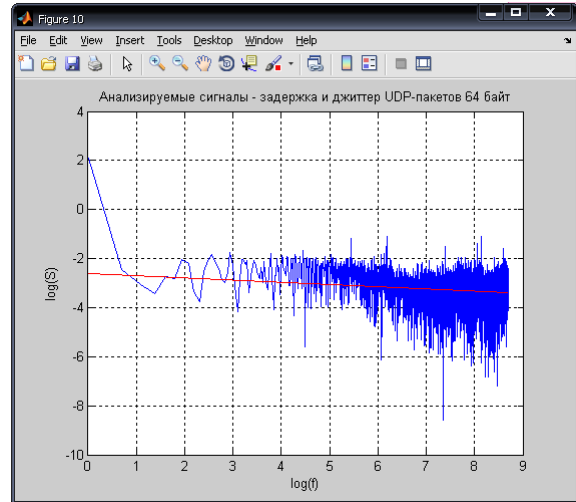


Рисунок 14 - Спектральная плотность временного ряда UDP_j64

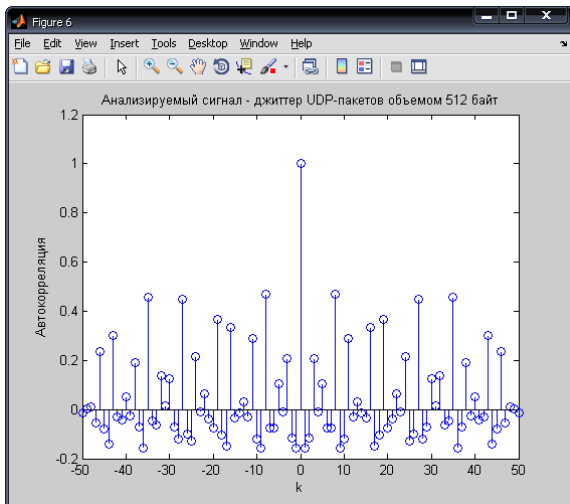


Рисунок 12 - АКФ временного ряда UDP_j512

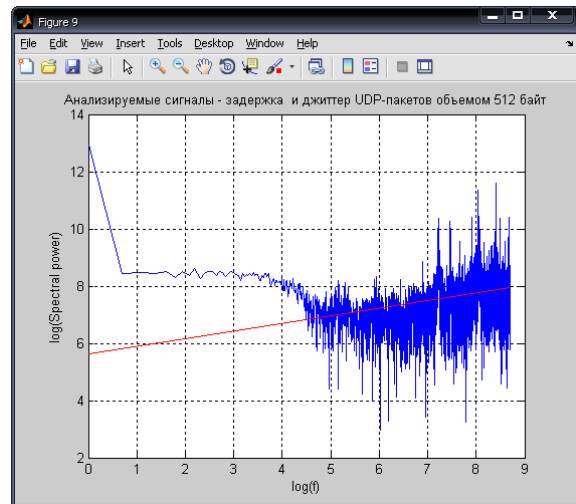


Рисунок 15 - Спектральная плотность временного ряда UDP_d512

Известно [8-10], что в частотной области МУЗ приводит к степенному закону поведения спектральной плотности процесса. Энергетические спектры временных рядов представлены на рисунках 13-16.

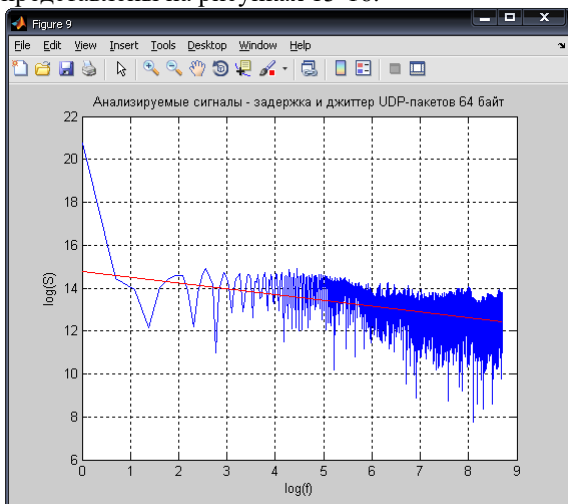


Рисунок 13 - Спектральная плотность временного ряда UDP_d64

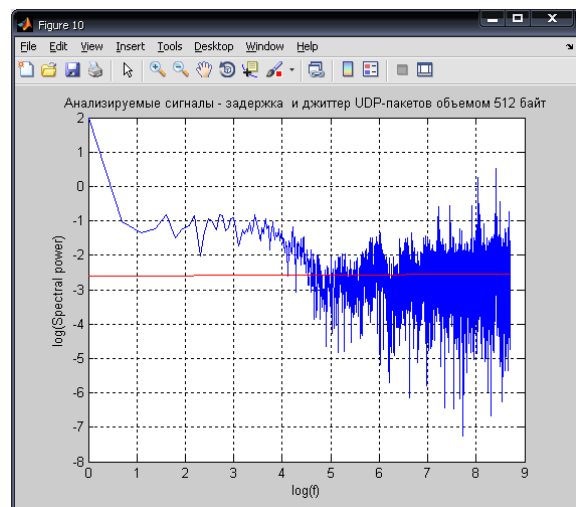


Рисунок 16 - Спектральная плотность временного ряда UDP_j512

Функция Херста

В этом разделе оценивается показатель Херста H , который является мерой длительности долгосрочной зависимости процесса [4]. Значение $H=0,5$ указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. 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.

В работе [11] для анализа трафика предложено использовать функцию Херста. Ее график строится следующим образом. По оси абсцисс откладываем значения $N=2,3,\dots,N_m$, где N_m – максимальная длина временного ряда, N – текущее количество элементов временного ряда. Для каждого значения N с помощью R/S-анализа определяем величину показателя Херста $H(N)$ и откладываем ее по оси ординат. Показатель Херста каждого ряда указан в таблице 1.

1. Таблица 1. Показатель Херста

Временной ряд	Показатель Херста
UDPd64	0,66
UDPj64	0,49
UDPd512	0,37
UDPj512	0,52

Графики функции Херста изучаемых рядов показаны на рисунках 17-20.

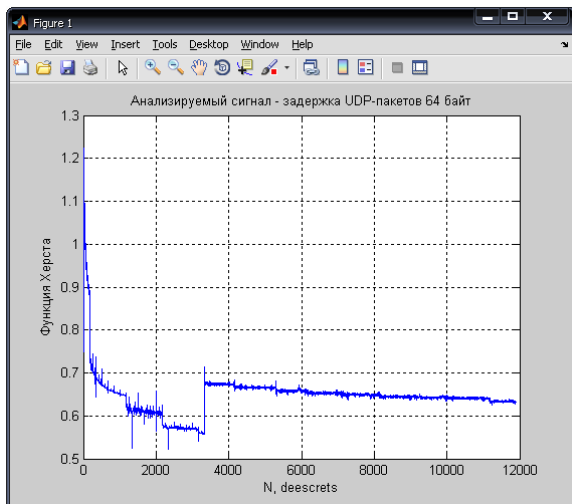


Рисунок 17 – Функция Херста ряда UDP_d64

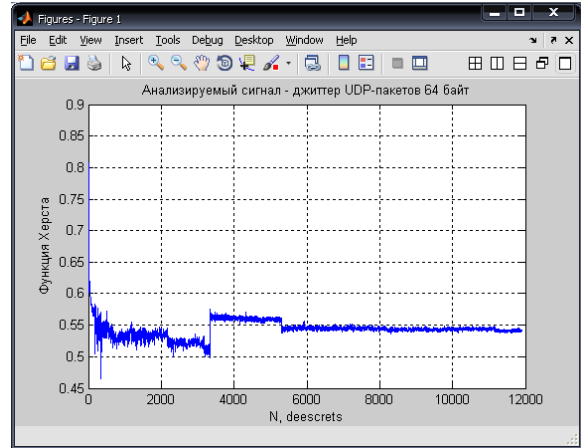


Рисунок 18 – Функция Херста ряда UDP_j64

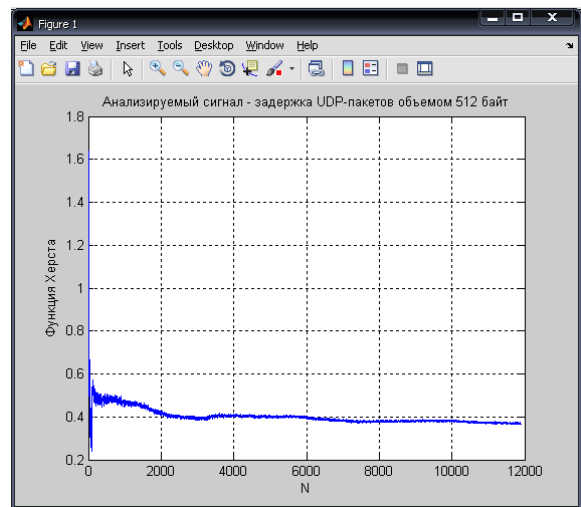


Рисунок 19 – Функция Херста ряда UDP_d512

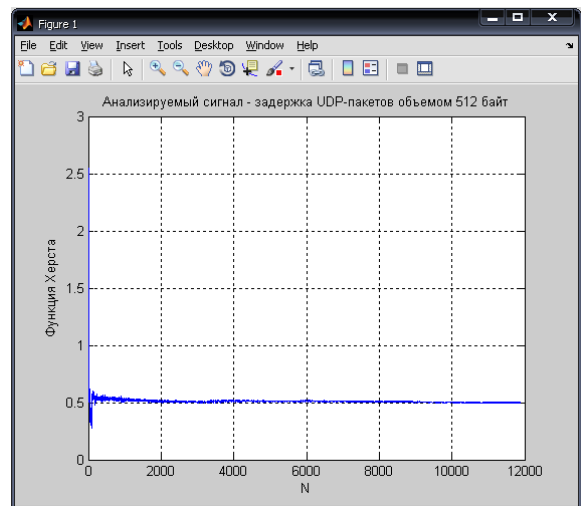


Рисунок 20 – Функция Херста ряда UDP_j512

Выводы

Современный трафик имеет особенности, затрудняющие применение теории очередей. Для процессов передачи данных пакетным трафиком характерно обнаруженное на практике свойство фрактальности.

В данной работе для реализаций [3] процесса задержки и джиттера UDP-пакетов объемом 64 байт выполнен анализ плотности распределения, автокорреляционных функций и энергетических спектров. Найдены значения показателя Херста H . Получены следующие результаты:

2. Изучаемые временные ряды не подчиняются нормальному распределению.
3. Изучаемые временные ряды не обладают экспоненциально спадающей АКФ, свойственной случайным рядам.
4. Для процесса задержки пакетов объемом 64 байт выполняется условие $0,5 < H < 1$. Этот ряд является трендоустойчивым (персистентным) и обладает долговременной памятью.
5. Для процесса задержки пакетов объемом 512 байт выполняется условие $0 < H < 0,5$. Этот ряд является антиперсистентным.
6. Для джиттера при передаче пакетов объемом 64 и 512 байт показатель Херста близок к значению 0,5 – ряды являются случайными.

Перспективным направлением является создание математических моделей сетевых процессов.

Литература

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks. [Электронный ресурс], 2001. –

- Режим доступа: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>
3. Иванов А. В. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования и управления очередями в компьютерных сетях. Санкт – Петербург. – 2001. – 18 с.
 4. Осин А.В. Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях. Автореферат диссертации. Москва. – 2005. – 20 с.
 5. Ложковський А.Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Автореферат дисертації. – Одеса, 2010. – 38 с.
 6. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: [ttp://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php](http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php)
 7. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. Автореферат диссертации. Москва. – 2004. – 20 с.
 8. Trang Dinh Dang New results in multifractal traffic analysis and modeling. Budapest, – 2002. – 101 с.
 9. Шепухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. М. Фрактальные процессы в телекоммуникациях Москва: Радиотехника, - 2003.- 480с.
 10. Городецкий А. Я., Заболоцкий В. С. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб: Издательство СПбГТУ, 2000. – 139 с.
 11. Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Исследование сетевого трафика с помощью функции Херста. Информатика и кибернетика № 2. Донецк: ДонНТУ, 2015. - С.39-46.

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Анализ UDP-трафика. В данной работе для реализаций процесса задержки и джиттера UDP-пакетов объемом 64 и 512 байт выполнен анализ плотности распределения, автокорреляционных функций и энергетических спектров. Найдены значения показателя Херста H . Получены следующие результаты. Изучаемые временные ряды не подчиняются нормальному распределению, ряды не обладают экспоненциально спадающей АКФ, свойственной случайным рядам. Для процесса задержки пакетов объемом 64 байт выполняется условие $0,5 < H < 1$, для пакетов объемом 512 байт выполняется условие $0 < H < 0,5$. Для джиттера при передаче пакетов объемом 64 байт и 512 байт показатель Херста близок к значению 0,5 – ряды являются случайными.

Ключевые слова: UDP-пакеты, трафик, плотность распределения, автокорреляционная функция, энергетический спектр, показатель Херста.

Belkov D.V., Edemskay E.N. Analysis of UDP-traffic. *In this work for realization delay process and jitter process of UDP-packets by volume of a 64 byte and 512 byte the analysis of closeness of distributing, autocorrelation functions and power spectrums are executed. The values of Hurst H index are found. Next results are got. The studied time series do not submit to normal distribution, series do not possess exponentially falling ACF, incident to the casual series. For the delay process of packets by volume of a 64 byte the condition $0,5 < H < 1$ is executed, for the delay process of packets by volume of a 512 byte the condition $0 < H < 0,5$. For jitter process at the transmission of packets by volume of a 64 byte and 512 byte the Hurst indexes are near to the value 0,5 - the series are stochastic.*

Keywords: *UDP-packets, traffic, closeness of distributing, autocorrelation function, power spectrum, the Hurst index.*

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