УДК 004.7

Исследование UDP-трафика в среде Matlab Wavelet Toolbox

Д.В. Бельков, Е.Н. Едемская
Донецкий национальный технический университет
belkov65@list.ru

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Исследование UDP-трафика в среде Matlab Wavelet Toolbox. *Многочисленные исследования пакетного трафика компьютерных сетей свидетельствуют, что это – фрактальный процесс и его Марковские модели неэффективны. Поэтому важной научной задачей является анализ современного сетевого трафика. Данная статья представляет результаты анализа UDP-трафика, выполненные в среде Matlab Wavelet Toolbox.*

Ключевые слова: *фрактальный трафик, вейвлет-преобразование сигнала, самоподобие.*

Введение

Исследования, проведенные за последние двадцать лет учеными разных стран, позволяют утверждать, что трафик современных компьютерных сетей обладает особой структурой, не позволяющей использовать при проектировании методы, основанные на Марковских моделях. Игнорирование этих особенностей трафика приводит к недооценке нагрузки и к неоправданно оптимистическим решениям. В современном трафике проявляется эффект самоподобия. В трафике присутствуют сильные всплески на фоне низкого среднего уровня, что значительно увеличивает задержки и джиттер при прохождении самоподобного (фрактального) трафика через сеть, даже в случаях, когда средняя интенсивность трафика намного ниже потенциально достижимой скорости передачи в канале.

Фрактальные процессы относятся к процессам с длинной памятью, что позволяет предсказать их будущее, зная относительно недавнее прошлое. Прогнозирование трафика важно при разработке алгоритмов работы сетей для повышения качества обслуживания (QoS). Для провайдеров услуг прогнозирование загрузки сетей позволяет планировать их своевременное развитие. К настоящему времени показано, что фрактальной структурой обладает трафик в проводных сетях и сетях беспроводного доступа.

В связи с обнаружением фрактальной структуры трафика актуальность приобретают конструктивные методы исследования фрактальности и учет влияния самоподобия при передаче пакетного трафика [1-4].

В последние десятилетия при анализе процессов для разложения сигналов вместо традиционных длинных синусоидальных волн успешно используются функции с графиком типа небольшой волны (вейвлет). Теория вейвлетов является мощной альтернативой анализу Фурье и дает более гибкую технику обработки негармонических сигналов. Одно из основных преимуществ вейвлет-анализа заключается в том, что он позволяет заметить хорошо локализованные изменения сигнала, тогда как анализ Фурье этого не позволяет. В коэффициентах Фурье отражается поведение сигнала за все время его существования [5-7].

Вейвлет-анализ для одномерного сигнала состоит из его разложения по иерархическому базису, составленному из солитоноподобных функций с помощью масштабных преобразований и переносов. Каждая из функций базиса характеризует, как определенную частотную составляющую сигнала, так и локализацию этой составляющей во времени. Таким образом, обеспечивается двумерная развертка исследуемого одномерного сигнала, а частота и момент времени рассматриваются в качестве независимых переменных. Этот подход дает возможность анализировать свойства сигнала одновременно во временном и частотном пространствах. Пространственно-временной спектр является важной характеристикой процессов в сложных нелинейных динамических системах при взаимодействии различных возмущающих факторов в широких диапазонах пространственно-временных частот.

Вейвлет-преобразование показывает внутреннюю структуру неоднородных потоков данных и позволяет обнаружить самоподобные свойства трафика. По оценкам, полученным с помощью вейвлет-анализа на коротких интервалах времени и с учетом

самоподобия можно выполнить прогноз состояния трафика на большие временные интервалы [8,9].

Целью данной статьи является анализ UDP-трафика для выявления его самоподобия. В работе решаются задачи исследования трафика с помощью дискретного и непрерывного вейвлет-преобразования. Анализ выполнен в среде Matlab Wavelet Toolbox.

Реализации трафика

Для изучения выбраны две реализации сетевого трафика [10], полученные 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 (ряд UDP_d512) измерялась задержка UDP-пакетов объемом 512 байт. Второй ряд (UDP_j512) – это измерения джиттера при передаче 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.

На маршруте прохождения пакета для процесса задержки можно выделить постоянную минимальную составляющую, обусловленную отсутствием очередей и переменную составляющую, возникающую из-за задержек в очередях. Задержка измеряется на стороне источника.

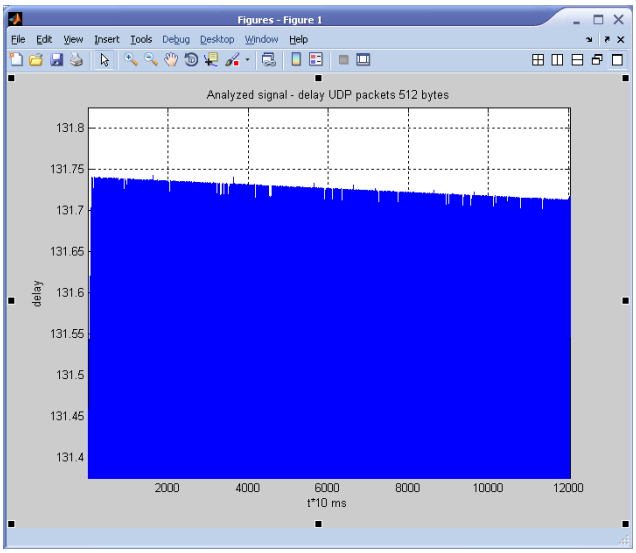

Рисунок 1 – Временной ряд UDP_d512

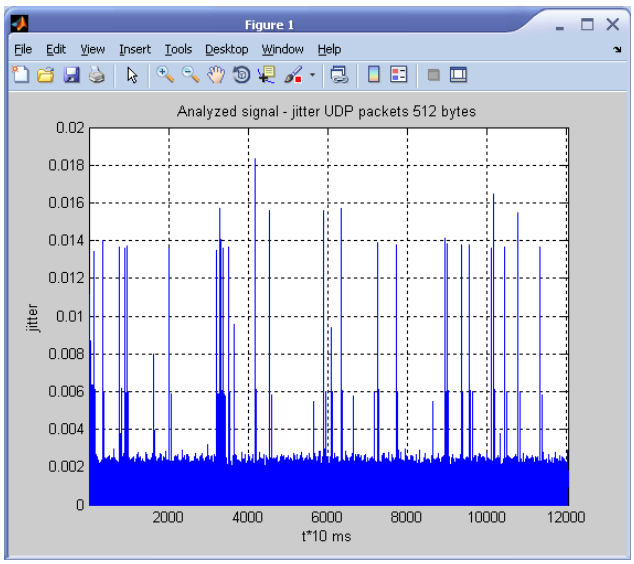

Рисунок 2 – Временной ряд UDP_j512

Она состоит из времени обработки, времени распространения, времени коммутации, времени ожидания в очереди. Изучаемые временные ряды показаны на рисунках 1 и 2. Нижний уровень задержки на рисунке 1 соответствует отсутствию очередей.

Дискретный вейвлет-анализ

В этом разделе выполнен дискретный вейвлет-анализ сетевого трафика с использованием вейвлета coif3 и при разложении сигнала до уровня 5. На рисунке 3 показаны графики сигнала UDP_d512 и вейвлет-коэффициентов. Колебания сигнала происходят с высокой частотой и не заметны на графике. Изучаемый сигнал UDP_d512 есть сумма аппроксимирующих коэффициентов a_5 и детализирующих коэффициентов $d_1, d_2, ..., d_5$. В верхней части рисунка 4 в одном окне изображен исследуемый сигнал и его аппроксимация после удаления Гауссовского шума (операция De-noise).

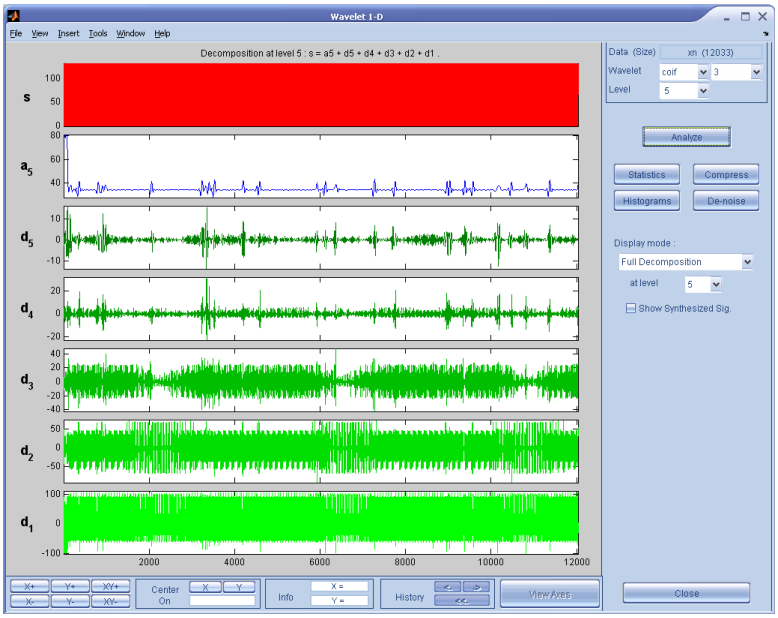

Рисунок 3 – Графики сигнала UDP_d512 и вейвлет-коэффициентов

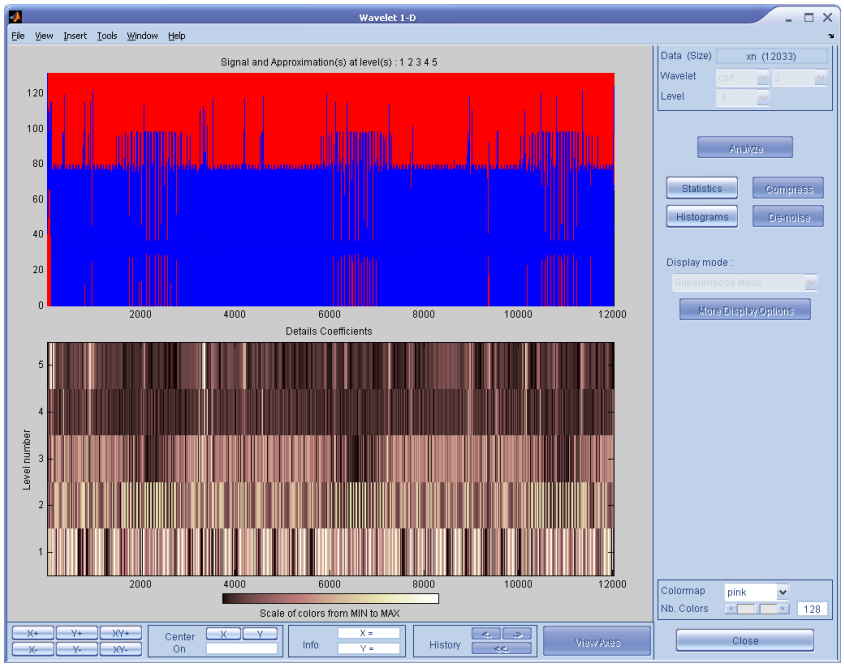

Рисунок 4 – Аппроксимация ряда UDP_d512 и спектрограмма

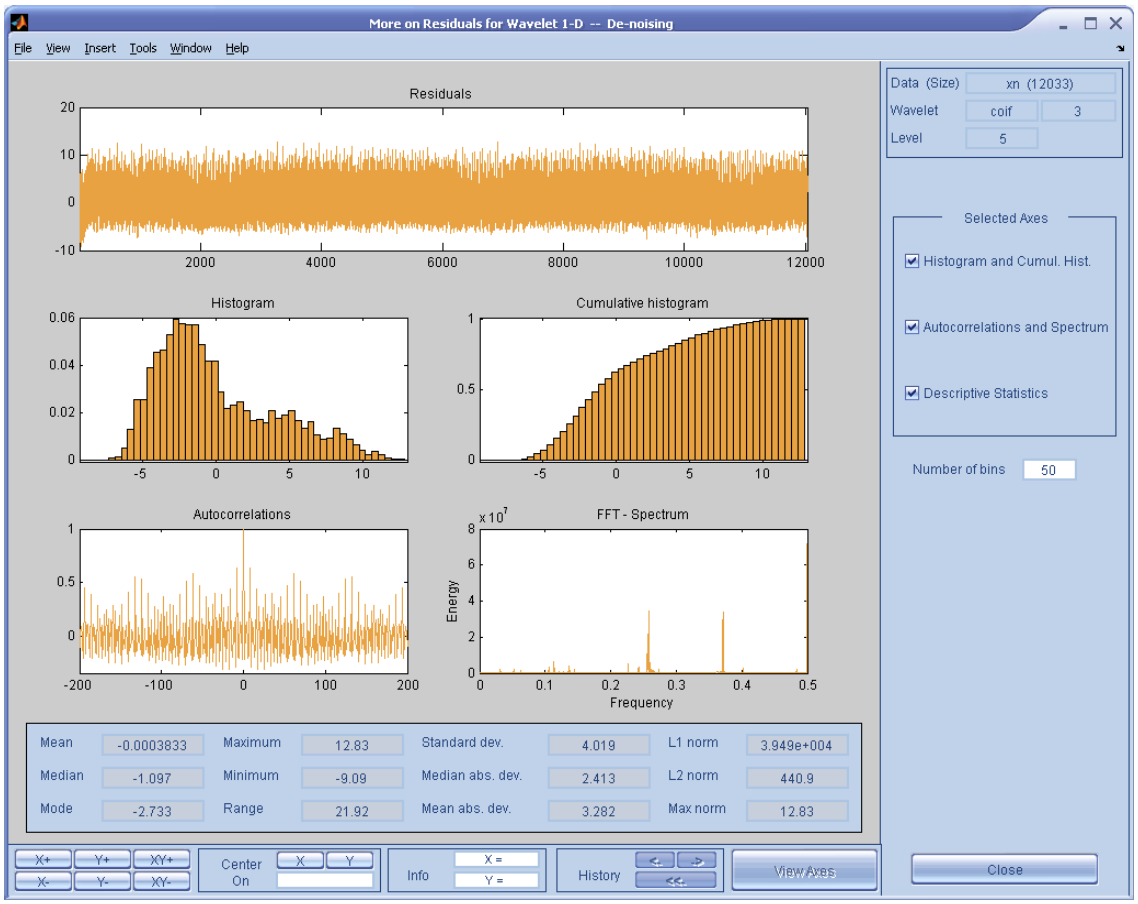

Рисунок 5 – Статистические характеристики ряда UDP_d512

В нижней части рисунка 4 показана спектрограмма дискретного вейвлет-преобразования. Видно, что сигнал UDP_d512 имеет колебательный характер и самоподобную структуру на всех пяти уровнях. На рисунке 5 сначала изображен график отличий между исходным сигналом и его аппроксимацией, затем приведены статистические характеристики ряда UDP_d512.

На рисунке 6 показаны графики сигнала UDP_j512 и вейвлет-коэффициентов. Изучаемый сигнал UDP_j512 есть сумма аппроксимирующих коэффициентов a_5 и детализирующих коэффициентов $d_1, d_2, ..., d_5$. В верхней части рисунка 7 показан исследуемый сигнал и его аппроксимация после удаления шума. В нижней части рисунка 7 показана спектрограмма дискретного вейвлет-преобразования. Сигнал UDP_j512 имеет колебательный характер и самоподобную структуру на всех пяти уровнях. На спектрограмме отчетливо видны резкие всплески сигнала. В верхней части рисунка 8 показан график отличий между исходным и аппроксимированным сигналами, ниже приведены статистические характеристики ряда UDP_j512.

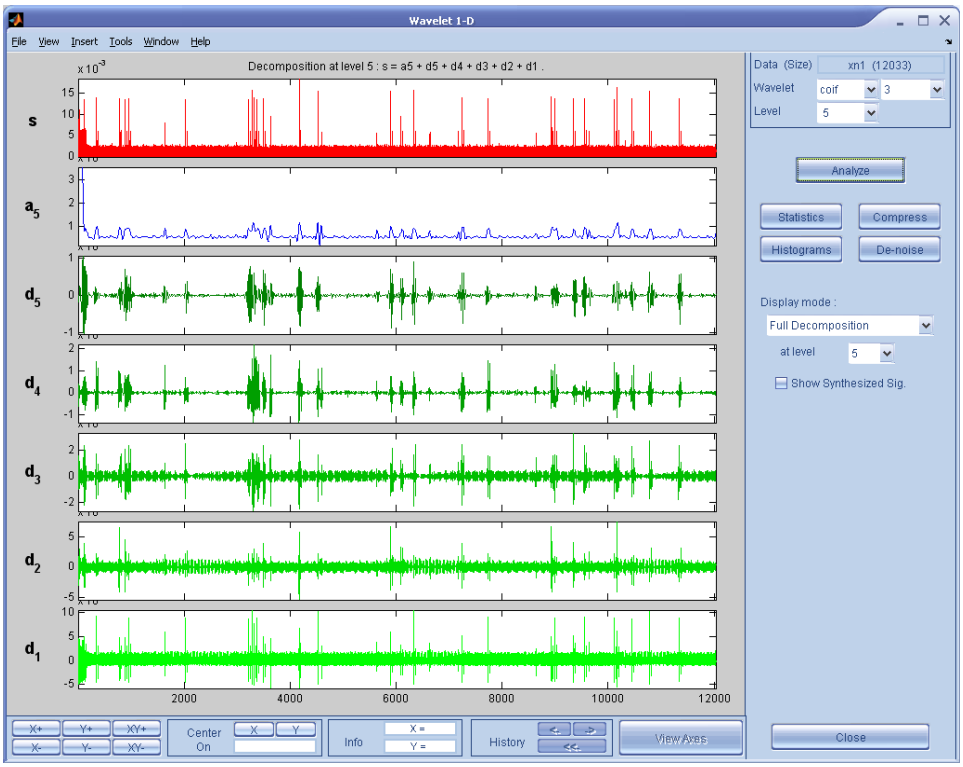

Рисунок 6 – Графики сигнала UDP_j512 и вейвлет-коэффициентов

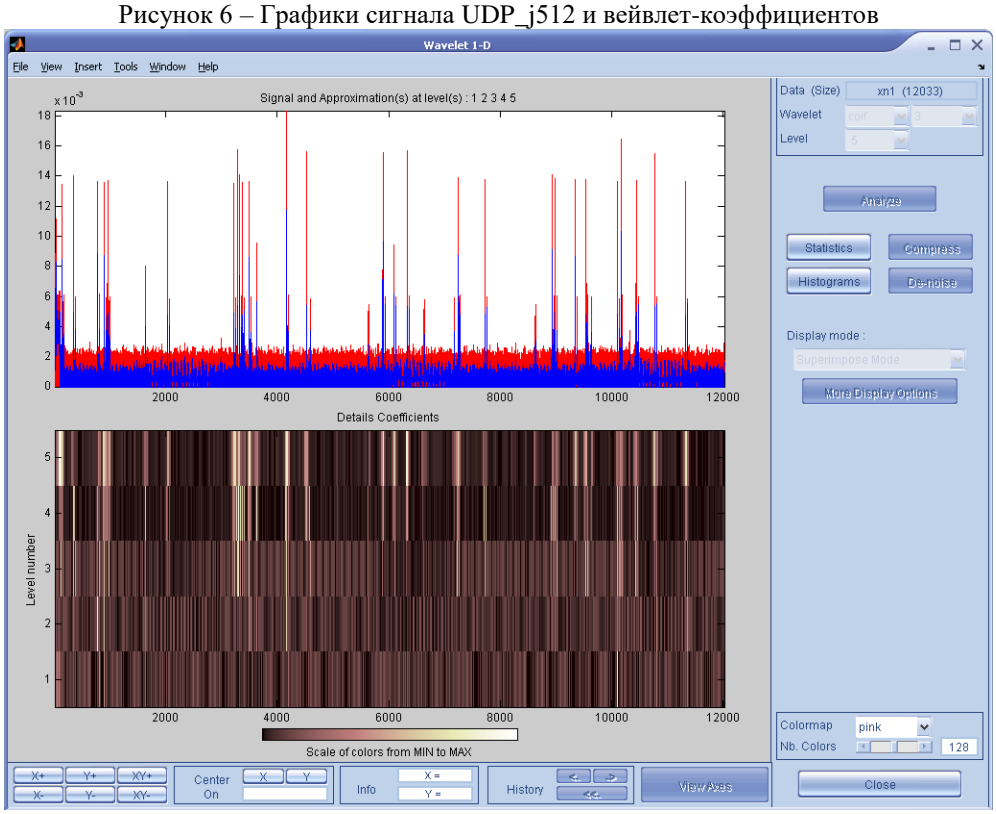

Рисунок 7 – Аппроксимация ряда UDP_j512 и спектрограмма

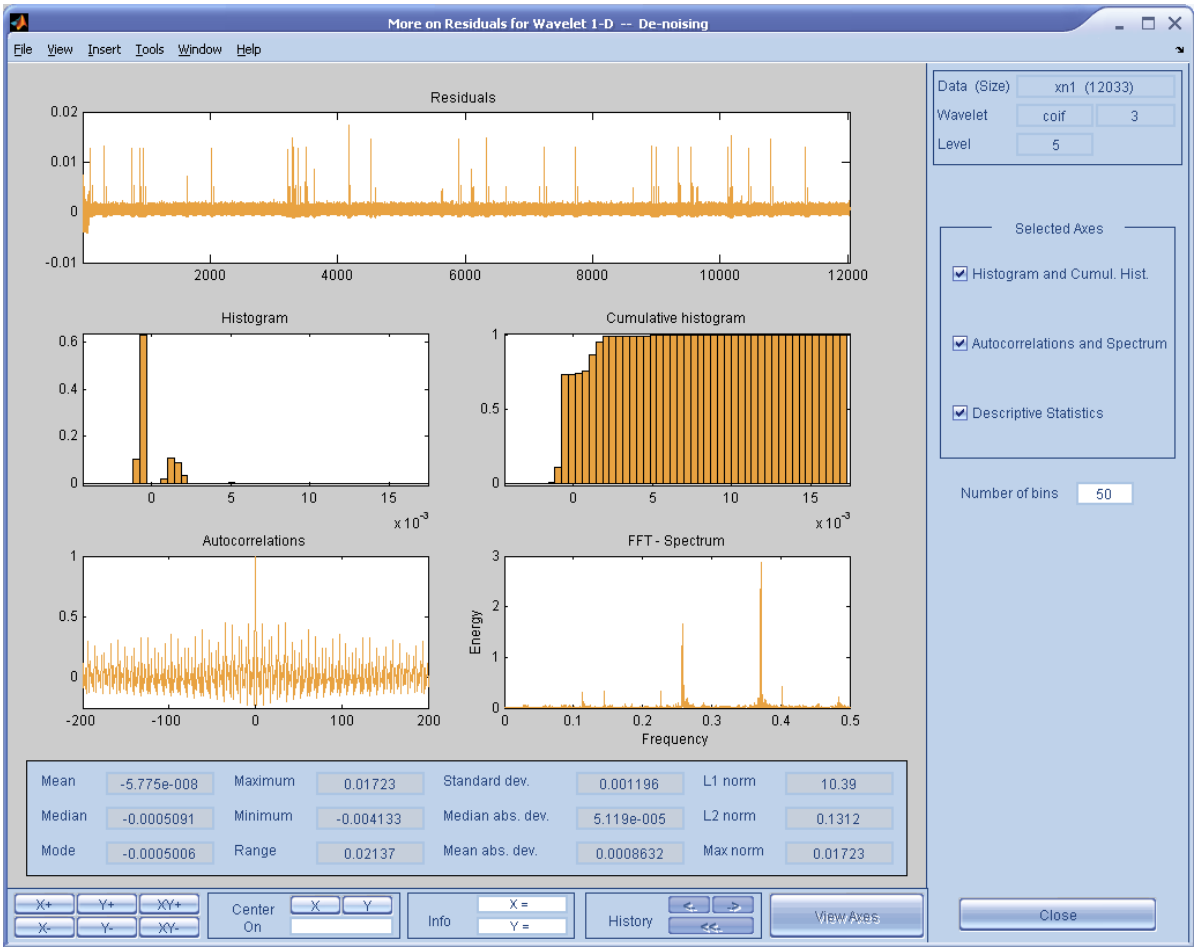

Рисунок 8 – Статистические характеристики ряда UDP_j512

Непрерывный вейвлет-анализ

В этом разделе выполнен непрерывный вейвлет-анализ сетевого трафика с использованием вейвлета coif3. На рисунке 9 показан график сигнала UDP_d512, его спектрограмма, график средней строки коэффициентов разложения на уровне a=32 и изображение локальных максимумов коэффициентов на каждом уровне масштаба от 1 до 64. На спектрограмме сигнала отчетливо просматривается его колебательный характер и самоподобная структура.

На рисунке 10 показан график сигнала UDP_j512, спектрограмма, график средней строки коэффициентов разложения на уровне a=32 и изображение локальных максимумов коэффициентов на каждом уровне масштаба от 1 до 64. На спектрограмме сигнала отчетливо просматривается его колебательный характер и самоподобная структура.

Выводы

Для процессов передачи данных пакетным трафиком, характерно обнаруженное на практике свойство самоподобия. В связи с этой особенностью сетевых процессов актуальной является разработка конструктивных методов исследования современного трафика.

В данной работе выполнено дискретное и непрерывное вейвлет-преобразования для временных рядов [10] задержки и джиттера UDP-пакетов объемом 512 байт. С помощью вейвлет-анализа выявлен колебательный характер изучаемых сигналов и их самоподобная структура. Перспективным направлением исследований является вейвлет-анализ свойств потоков трафика реального времени.

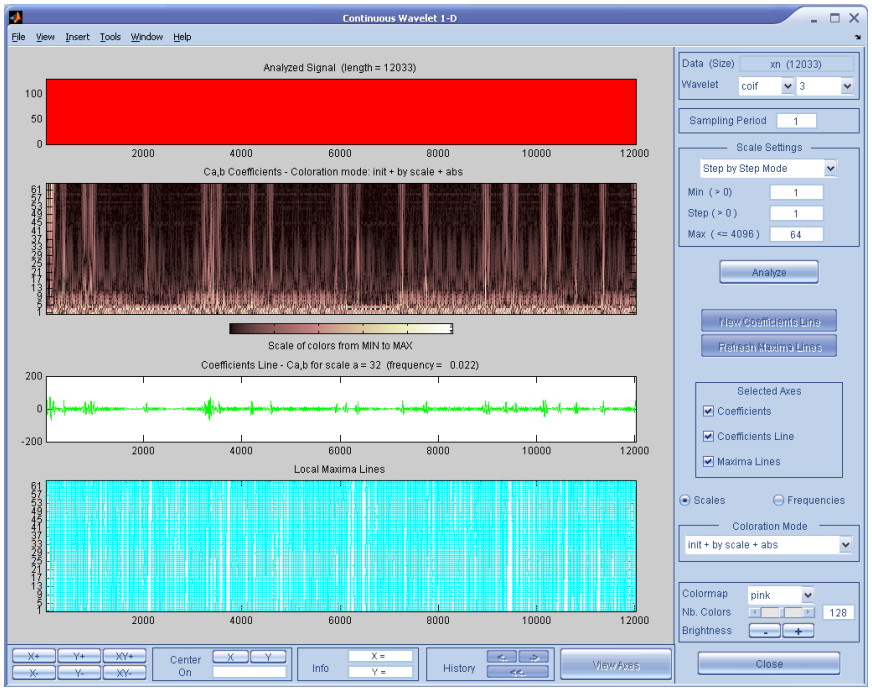

Рисунок 9 – Непрерывный вейвлет-анализ ряда UDP_d512

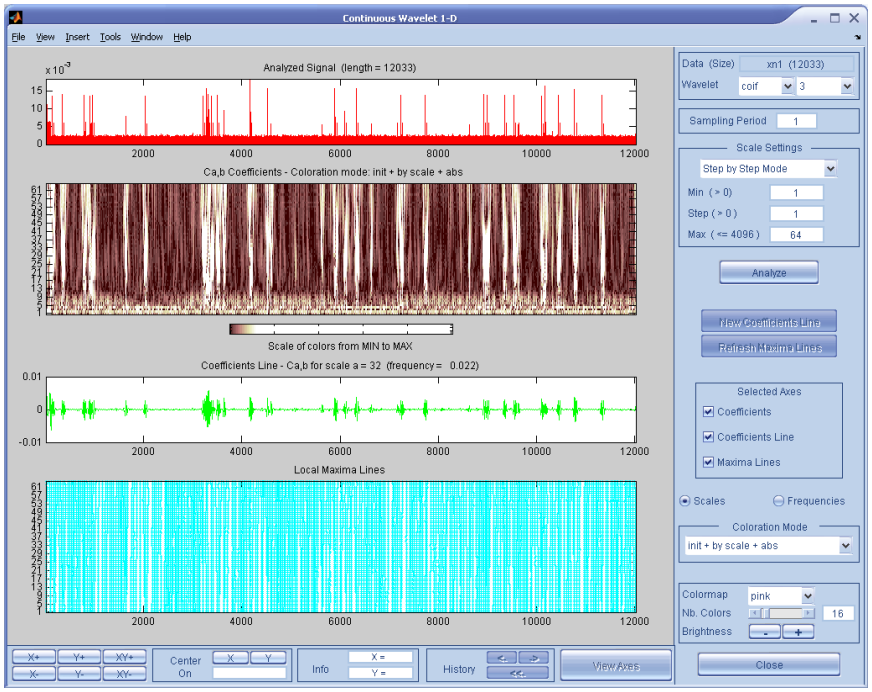

Рисунок 10 – Непрерывный вейвлет-анализ ряда UDP_j512

Литература

1. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. - Мультисервисные сети. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2005. - 592 с.
2. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: http://pi.314159.ru/park1.pdf
3. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Информатика. Фрактальные процессы в

компьютерных сетях. – СПб.: СПбГТУ, 2000. – 102 с.
4. Шепухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях Москва: Радиотехника, - 2003.- 480с.
5. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Москва: ДМК Пресс, 2005. - 304 с.
6. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – М.: РХД, 2001. – 248 с.
7. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматлит, 2003. — 176 с.
8. Заборовский В.С. Протяженные стохастические и динамические процессы в компьютерных сетях: модели, методы анализа для систем защиты информации. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/suhinin/lib/99.pdf
9. Бельков Д.В., Едемская Е.Н., Незамова Л.В. Статистический анализ сетевого трафика. Зб. Наукових праць ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика, обчислювальна техніка". Вип. 13 (185): - Донецьк: ДонНТУ.- 2011.- С. 66 -75.
10. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Исследование UDP-трафика в среде Matlab Wavelet Toolbox. *Многочисленные исследования пакетного трафика компьютерных сетей свидетельствуют, что это – фрактальный процесс и его Марковские модели неэффективны. Поэтому важной научной задачей является анализ современного сетевого трафика. Данная статья представляет результаты анализа UDP-трафика, выполненные в среде Matlab Wavelet Toolbox.*

Ключевые слова: *фрактальный трафик, вейвлет-преобразование сигнала, самоподобие.*

Belkov D.V., Edemskaya E.N. Research of UDP-traffic in the Matlab Wavelet Toolbox. *Numerous researches of the packets traffic in the computer networks testify, what it - a fractal process and his Markov models are ineffective. An important scientific task is therefore been by the analysis of the modern network traffic. The given article presents the results of the analysis UDP-traffic, executed in the Matlab Wavelet Toolbox environment.*

Keywords: *Fractal traffic, discreet wavelet decomposition for the signal, continuous wavelet decomposition for the signal, self-similarity.*

Статья поступила в редакцию 20.5.2017
Рекомендована к публикации д-ром физ.-мат.. наук А.С. Миненко