

УДК 004.7

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ПАКЕТОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ UDP-ТРАФИКА

Бельков Д.В., Едемская Е.Н., Незамова Л.В., Едемская Т.А.

Донецкий национальный технический университет

Кафедра вычислительной математики и программирования

E-mail: belkov@telenet.dn.ua

Аннотация

Бельков Д.В., Едемская Е.Н., Незамова Л.В., Едемская Т.А. Анализ потерь пакетов при передаче UDP-трафика. Недавние исследования пакетного трафика показали, что это - фрактальный процесс и его традиционные Марковские модели с кратковременной памятью некорректны. Поэтому для повышения качества обслуживания (QoS) важной задачей является анализ современного трафика компьютерных сетей. Одним из критериев QoS может быть количество потерянных при передаче пакетов. В данной статье представлены результаты статистического анализа процесса потерь пакетов при передаче UDP-трафика.

Введение

Многочисленные исследования [1,2] трафика компьютерных сетей свидетельствуют о том, что он имеет особую (фрактальную) структуру. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика. Данное явление, значительно влияющее на потери и задержки пакетов, не учитывается классической теорией 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.

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 процесс потерь пакетов при передаче UDP-трафика.

В работе решаются следующие задачи: оценивается плотность распределения, автокорреляционная функция (АКФ), энергетический спектр изучаемого временного ряда, определяется степень фрактальности (показатель Херста). В исследовании использовались программы Fractan и Statistika.

1. Реализация сетевого трафика

Для изучения выбрана одна из реализаций сетевого трафика [3], полученная 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. Измерялось количество потерянных 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 rps. Точечная диаграмма изучаемого временного ряда показана на рисунке 1.



Рисунок 1.- Количество потерь при передаче UDP-пакетов

2. Анализ плотности распределения

В этом разделе выполнен анализ плотности распределения. Оценка проводится на основании гистограммы относительных частот, показанной на рисунке 2. Визуальный анализ позволяет сделать вывод, что изучаемый временной ряд не подчиняется нормальному распределению.



Рисунок 2.- Плотность распределения процесса потерь пакетов

3. Анализ автокорреляционной функции

В этом разделе необходимо определить обладает ли временной ряд медленно убывающей зависимостью или быстро убывающей зависимостью. Процесс с МУЗ характеризуется автокорреляционной функцией, которая убывает по степенному закону при увеличении временной задержки (лага). В отличие от процесса с МУЗ, процесс с быстро убывающей зависимостью (БУЗ) [short-range dependence] обладает экспоненциально спадающей АКФ. Вычисление АКФ выполнено 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 временного ряда приведена на рисунке 3. Это колебательный процесс, который не обращается в ноль при больших значениях k , что говорит о медленном убывании АКФ и присутствии МУЗ в исследуемом трафике. Необходимо отметить, что процесс потерь пакетов тесно коррелирован с процессом их задержки (временной ряд задержки UDP-пакетов объемом 512 байт приведен в [3]). На рисунке 4 показаны автокорреляционные функции потерь и задержек пакетов.

Автокорреляционная функция

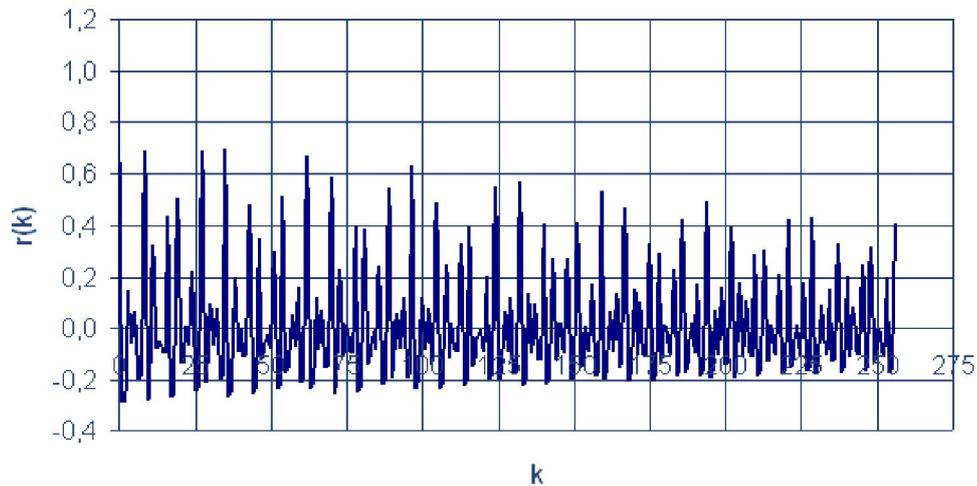


Рисунок 3.- АКФ процесса потерь пакетов

Автокорреляционные функции

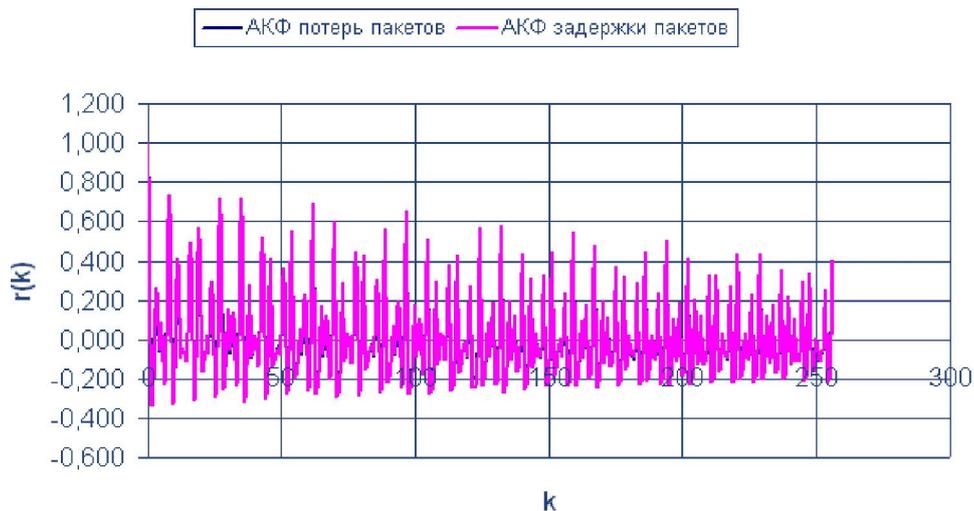


Рисунок 4.- АКФ процессов потерь и задержки пакетов

4. Спектральный анализ

В этом разделе выполнен расчет энергетического спектра исследуемого временного ряда. Известно [4], 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

$S(f) \sim f^{-b} \cdot L_2(f) + C_2$, где $f \rightarrow 0$, $i = \sqrt{-1}$, $0 < b < 4$ и L_2 - медленно изменяющаяся в нуле функция, $C_2 = const$.

Энергетический спектр исследуемого временного ряда показан на рисунке 5. Линия аппроксимации построена для $f \rightarrow 0$ по формуле $S(f) = f^{-b} \cdot 10^{-4}$. Процесс с МУЗ обладает спектральной плотностью с особенностью в нуле: спектральная плотность стремится к бесконечности, по мере того как частота f стремится к нулю.

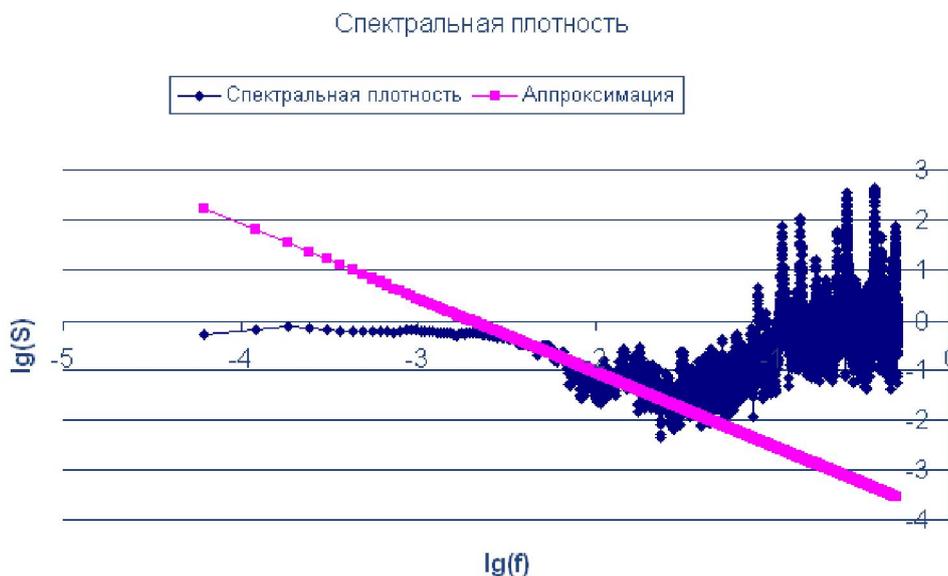


Рисунок 5.- Спектральная плотность процесса потерь пакетов

5. Определение показателя 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. 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. Связь показателя Херста с другими фрактальными параметрами показана в таблице 1.

Таблица 1. Фрактальные параметры

Параметр	Расчетная формула
Фрактальная размерность D	$D = 2 - H$
Корреляционный параметр β	$\beta = 2(1 - H)$
Спектральный показатель b	$b = 2H + 1$
Фрактальный показатель α	$\alpha = 3 - 2H$

Для определения значения H в работе используется алгоритм R/S-анализа временных рядов, который выполняется программой Fractan 4.4. Полученный результат показан на рисунке 6. Показатель Херста равен 0,236.

Используя полученное значение $H = 0,236$, по формулам, указанным в таблице 1, определены фрактальные параметры процесса потерь UDP-пакетов: $D = 1,764$, $\beta = 1,528$, $b = 1,472$, $\alpha = 2,528$. Поскольку выполняется условие $0 < H < 0,5$, изучаемый ряд является антиперсистентным. Спектральный показатель b близок к 1,5, такой сигнал называется “розовым шумом”.

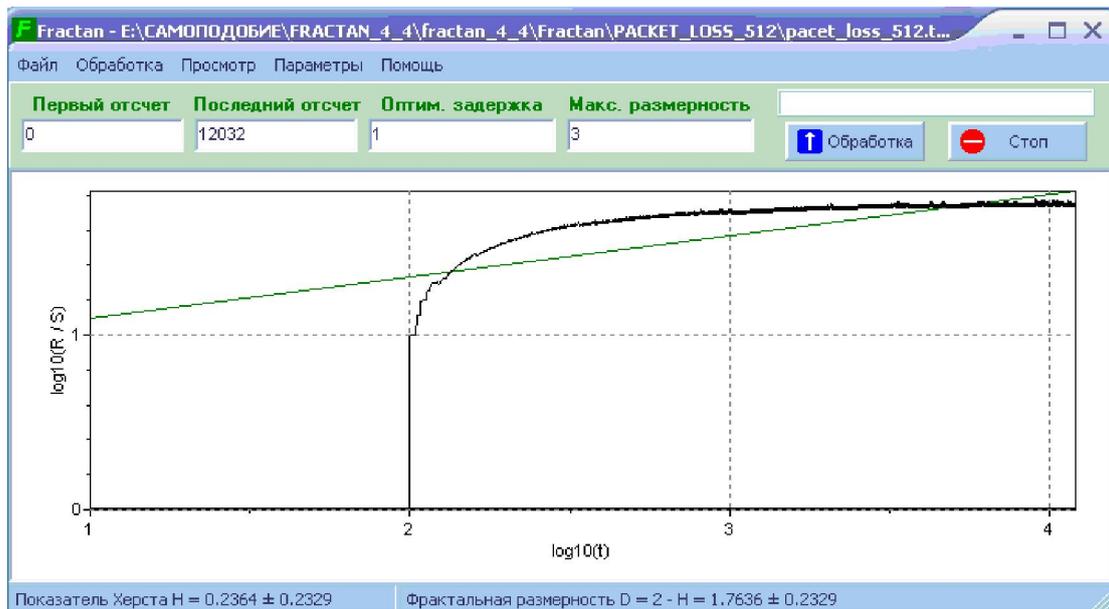


Рисунок 6.- Определение показателя Херста

Выводы

В данной работе для реализации [3] процесса потерь UDP-пакетов выполнен анализ плотности распределения, автокорреляционной функции и энергетического спектра. Найдено значение показателя Херста. Получены следующие результаты:

1. Изучаемый временной ряд не подчиняется нормальному распределению.
2. Изучаемый временной ряд не обладает экспоненциально спадающей АКФ, свойственной случайным рядам.
3. Для процесса потерь UDP-пакетов выполняется условие $0 < H < 0,5$. Изучаемый ряд является антиперсистентным. Спектральный показатель b близок к 1,5. Временной ряд является “розовым шумом”.

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть анализ сетевых процессов методами нелинейной динамики. Для повышения эффективности работы современных телекоммуникационных систем требуется создание математических моделей, наиболее полно отражающих фрактальные свойства 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. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>
4. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. Автореферат диссертации. Москва. – 2004. – 20 с.