

## Анализ моделей вероятности потери пакетов в буфере маршрутизатора с учетом фрактальности трафика

Ю. И. Лосев, К. М. Руккас

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина*

In this paper analyzed the influence of fractal traffic on the probability of loss of communications in a buffer memory router. We show that fractal traffic greatly increases the probability of loss of communications.

### 1. Общая постановка задачи и её актуальность

Анализ реального трафика данных в существующих и перспективных телекоммуникационных сетях (ТКС) показал некорректность использования во многих случаях пуассоновских моделей для определения их вероятностно-временных характеристик [1]. Исследования [1-4] показали, что методы расчета характеристик ТКС (таких как, пропускная способность сети, время доставки и т.п.), основанные на марковских моделях, дают неоправданно оптимистические оценки, и ведут к недооценке нагрузки, и как следствие, к невозможности обеспечить требуемое качество обслуживания. Важным параметром при определении качества обслуживания является вероятность потери сообщения за счет переполнения буферных запоминающих устройств (БЗУ). На сегодняшний день существует большое количество моделей оценки вероятности потери пакетов в результате переполнения буфера. Поэтому возникла задача провести их сравнительный анализ и выработать рекомендации по их применению.

### 2. Существующие модели вероятности потери пакетов

На сегодняшний день основной моделью является модель СМО  $M/M/1$ , предполагающая, что время поступления заявок и время их обслуживания распределены по экспоненциальному закону.

$$P_{loss} = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{W+1}} \cdot \rho^W, \quad (1)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$  - коэффициент загрузки канала обслуживания

$\lambda$  - интенсивность входного потока;

$\mu$  - интенсивность обслуживания выходного потока;

$W$  - емкость запоминающего устройства (ЗУ), измеряемая в пакетах.

В работе [2] была получено общее выражение для вероятности потери пакетов в системе  $G/G/1$

$$P_{loss} = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{(W+1) \cdot \frac{2}{C_\lambda^2 + C_\mu^2}}} \cdot \rho^{W \cdot \frac{2}{C_\lambda^2 + C_\mu^2}}, \quad (2)$$

где  $C_\lambda^2 = \left(\frac{\delta[\lambda]}{M[\lambda]}\right)^2$  - квадратичный коэффициент девиации входного потока;

$C_\mu^2 = \left(\frac{\delta[\mu]}{M[\mu]}\right)^2$  - квадратичный коэффициент девиации выходного потока.

Если входной и выходной потоки распределены по экспоненциальному закону, то  $C_\lambda^2 = C_\mu^2 = 1$ , а значит выражение (2) преобразуется к выражению (1) для системы  $M/M/1$ .

В работе [3] предлагается оценивать вероятность потери пакета при помощи параметра самоподобия (параметра Херста). Выражение вероятности потерь принимает вид

$$P_{loss} = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{(W+1)^{2(1-H)}}} \cdot \rho^{W^{2(1-H)}} \quad (3)$$

Если параметр Херста  $H = 0.5$ , то процесс не обладает свойством фрактальности. В этом случае выражение (3) преобразуется к виду (1). Если параметр Херста  $H = 1$ , то процесс полностью самоподобен и обладает свойством фрактальности.

Наиболее часто для моделирования фрактального трафика используется распределение Парето. Достоинством такого распределения является возможность определения фрактальности трафика по его параметрам. Недостатком является то, что оно имеет бесконечную дисперсию, что означает высокую изменчивость входного трафика. Следовательно, использовать это распределение не удастся.

Табл. 1. Характеристики некоторых распределений

Название распределений	Математическое ожидание	Дисперсия
Парето	$\frac{\alpha \cdot \beta}{\alpha - 1}$ , при $\alpha < 1$ матожидание не существует	$\frac{\alpha \cdot \beta^2}{(\alpha - 1) \cdot (\alpha - 2)}$ , при $\alpha < 2$ дисперсия не существует
Вейбулла	$\beta \cdot \Gamma\left(\frac{\alpha + 2}{\alpha}\right)$	$\beta^2 \cdot \left[ \Gamma\left(\frac{\alpha + 2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha}\right) \right]$

Логонормальное	$e^{\frac{\alpha + \beta^2}{2}}$	$e^{\beta^2 + 2\alpha} \cdot (e^{\beta^2} - 1)$
Гамма распределение	$\alpha \cdot \beta$	$\alpha \cdot \beta^2$

Наряду с распределением Парето, наиболее часто используется при моделировании фрактального трафика распределение Вейбулла. Закон распределения вероятностей для распределения Вейбулла имеет следующий вид

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, \tag{4}$$

где  $\beta, \alpha$  - соответственно масштабный параметр и параметр формы. В работах [1-3] показано, что модели трафика с долговременной зависимостью (в частности, модели, основанные на фрактальном броуновском движении) приводят к асимптотике распределения вероятностей хвостов вейбулловского типа, т.е.

$$P(x > B) \sim e^{-(\gamma B)^{2-2H}}, \tag{5}$$

где  $\gamma$  - константа;

$P(x > B)$  - вероятность того, что параметр  $x$  (например, длина очереди), больше параметра  $B$ ;

$H$  - параметр Херста (параметр самоподобия). Параметр Херста  $H$  представляет собой меру устойчивости статистического явления, или меру длительности долгосрочной зависимости. Значение  $H = 0.5$  указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. Чем ближе значение  $H$  к 1, тем выше степень устойчивости долгосрочной зависимости. При исследовании различных типов трафика современных ТКС показал, что параметр Херста для большинства приложений находится в интервале  $0.5 < H < 1$ .

Из выражения (2) можно определить, что параметр  $\alpha$  распределения Вейбулла можно выразить через параметр Херста следующим образом

$$\alpha = 2 - 2H. \tag{6}$$

Следовательно, при исследовании системы массового обслуживания (G/G/1) с приоритетами и фрактальным входным трафиком, параметр  $\alpha$  распределения Вейбулла будет находиться в интервале  $0 < \alpha < 1$ .

В [5] представлена формула для вероятности потери при использовании технологии АТМ

$$P_{loss} = \frac{d}{\beta \cdot (\beta + 1)} \cdot \lambda^\beta \cdot (\lambda_\Sigma \cdot \tau)^{1+\beta} \cdot W^{1-\beta} \quad (7)$$

где  $\beta$  - параметр, связанный с параметром Херста через соотношение  $\beta = 3 - 2 \cdot H$ ;

$\tau$  - среднее время передачи от одного источника;

$\lambda_\Sigma$  - интенсивность потока одного источника;

$\lambda$  - суммарная интенсивность потока от нескольких источников;

$d$  - нормирующий коэффициент.

Данная формула является эмпирической и применение ее ограничено технологией АТМ.

Для моделей СМО типа  $G/M/1$ , в которой входной поток описывается по гамма закону с параметром распределения  $\alpha = 0.5$ , предложена следующая формула вероятности потери для такой системы [6]

$$P_{loss} = \frac{(1 - \frac{\rho}{4} - \sqrt{\frac{\rho^2}{16} + \frac{\rho}{2}})}{1 - (\frac{\rho}{4} + \sqrt{\frac{\rho^2}{16} + \frac{\rho}{2}})^{w+2}} \cdot (\frac{\rho}{4} + \sqrt{\frac{\rho^2}{16} + \frac{\rho}{2}})^{w+1} \quad (8)$$

### 5. Анализ результатов моделирования

Для проведения исследований были построены зависимости  $P_{loss} = f(\rho)$  (по формулам (1,2,3)) для различных значений  $w = \{5, 10, 15, 20\}$  с учетом различных значений показателя Херста  $H = \{0.7, 0.8, 0.95\}$  и для различных коэффициентов девиации  $C = 8, 16$  (см. Рис.2).

Из приведенных выше зависимостей следует, самую оптимистичную оценку дает формула (1) модель СМО  $M/M/1$ . Эту оценку можно использовать как нижнюю границу вероятности потери сообщений при заданном объеме БЗУ и известном коэффициенте загрузки канала  $\rho$ . Самая высокая вероятность потери сообщений наблюдается при использовании СМО с показателем Херста 0.95. С увеличением фрактальности трафика и с ростом коэффициента девиации вероятность потери пакета  $P_{loss}$  растет. Влияние фрактальности уменьшается с увеличением емкости БЗУ. Приведенные графики показывают, что объективная оценка вероятности потери сообщения за счет переполнения БЗУ может быть только при учете характера трафика. В противном случае эта вероятность может быть определена с большой долей погрешности.

Если известен тип трафика, его фрактальность в соответствии с табл.2 и формулы 2 можно определить диапазон изменения вероятностей потери сообщений.

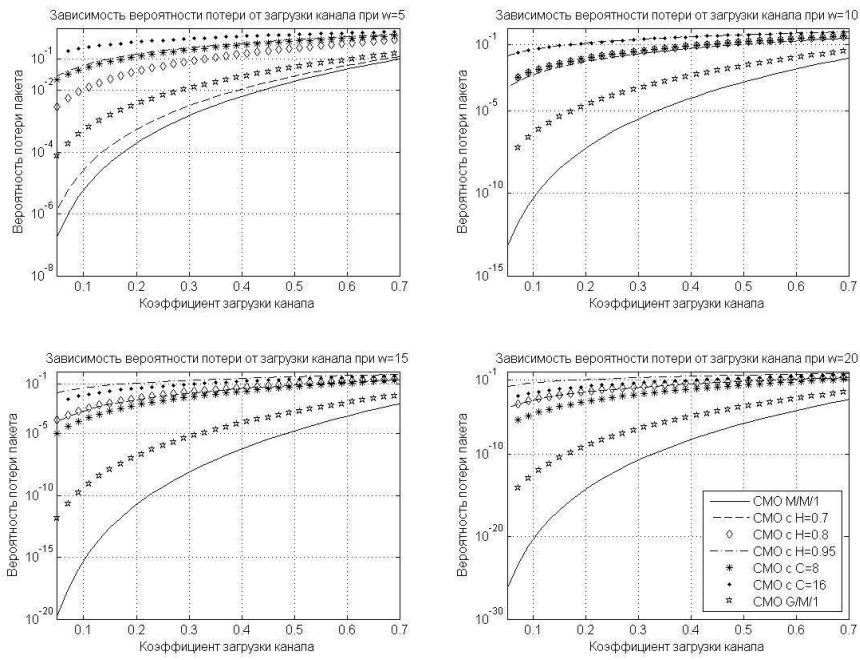


Рис.1

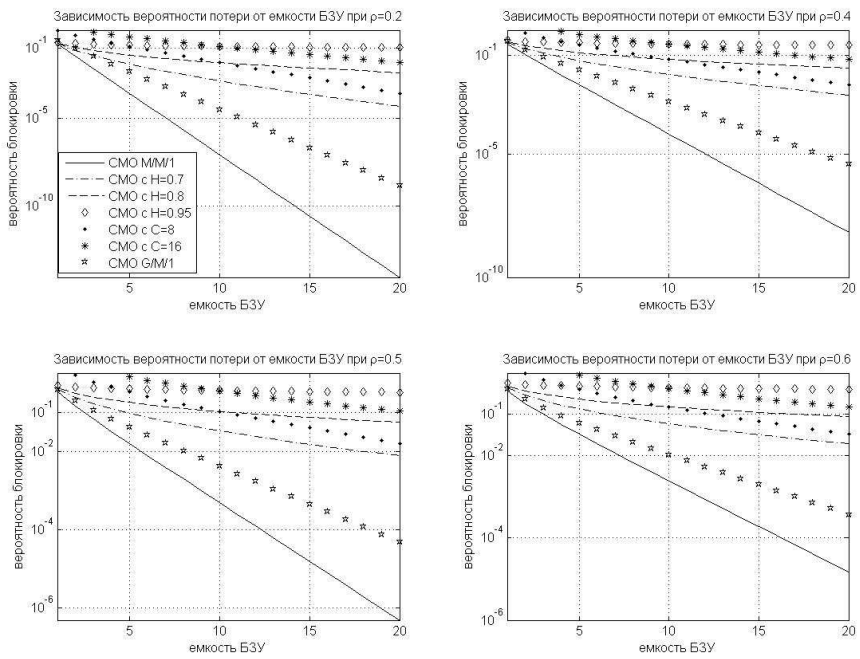


Рис.2

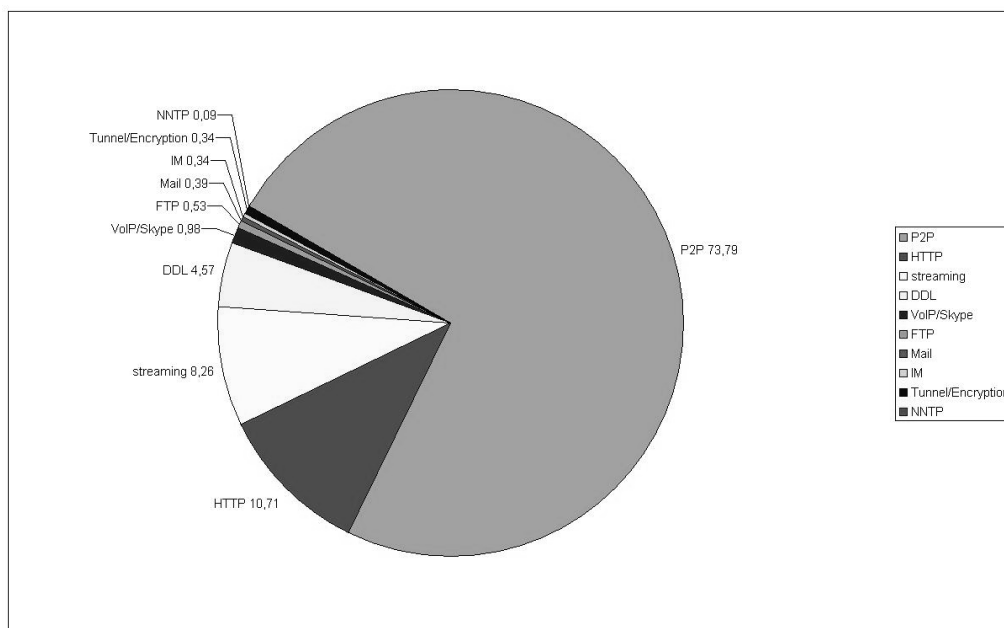


Рис.3.

Каждый тип трафика имеет свою степень фрактальности (см. таб.1).

Табл. 2. Фрактальность различных типов трафика

Тип трафика	Фрактальность трафика ( $H$ )
Ethternet	0.9
HTTP	0.75-0.92
Видео	0.6-0.9
Аудио	0.6-0.9
P2P	0.6-0.9

Как видно из таблицы основные типы сетевых приложений имеют коэффициент Херста больше 0.6. При таком трафике вероятность потери сообщения желательно определять по формуле (3).

### 6. Выводы по результатам и направления дальнейших исследований

Показано, что фрактальность трафика в значительной мере увеличивает вероятность потери сообщения. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что для уменьшения влияния фрактальности трафика необходимо увеличить емкость БЗУ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография. / Под ред. О.И. Шелухина.- М.: Радиотехника, 2003.- 480 с.: ил.
2. Моделирование информационных систем. / Под ред. О.И. Шелухина.- М.:

Радиотехника, 2005.- 368 с.: ил.

3. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения.- СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
4. Симонина О. А., Яновский Г.Г. Характеристики трафика в сетях IP.// Труды учебных заведений связи/ СПбГУТ. СПб, 2004. №171. с.7-15.
5. Сепиашвили Д. М. Свойства трафика в сетях IP.// Труды учебных заведений связи/ СПбГУТ. СПб, 2004. №176. с.198-204.
6. Пономарев Д.Ю. Об обслуживании в системе с входным гамма потоком.//Материалы V Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям с участием иностранных ученых.