

УДК 621.396.67

О. И. Кутузов, С. А. Марфин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Сравнительный анализ очереди при самоподобной нагрузке

Имитационным моделированием оцениваются и сопоставляются значения очередей систем массового обслуживания (СМО) при Парето- и экспоненциальном распределении обслуживания поступлений. Показано значение калибровки распределений к диапазону размеров сообщений сетевого трафика.

Трафик, самоподобие, очередь, распределение Парето, калибровка

Характерной особенностью трафика современных компьютерных сетей с коммутацией пакетов является его статистическая самоподобность или фрактальность. Фрактальный трафик описывается долговременными зависимостями (ДВЗ) и распределениями с тяжелыми хвостами (РТХ) [1], [2]. Распределение Парето – наиболее распространенное РТХ с функцией распределения

$$F(t) = 1 - (k/x)^\alpha, \quad x \geq k, \quad k > 0, \quad \alpha > 0,$$

где α – параметр формы; k – нижний граничный параметр, т. е. минимальное значение для случайной переменной x . Распределение Парето (РП) имеет конечное математическое ожидание $m = \alpha K / (\alpha - 1)$ при $\alpha > 1$ и бесконечную дисперсию при $\alpha \leq 2$. Чем меньше значение параметра α , тем «тяжелее» хвост. Распределение Парето $Pa(k; \alpha)$ используется для моделирования веб-страниц, размеров дисковых файлов, пульсаций данных FTP и т. д.

При фрактальном трафике особое внимание уделяется анализу очередей сообщений. В многочисленных публикациях отмечается, что затраты на буферизацию пакетов в сетях резко возрастают по сравнению с тем, как предсказывает классический анализ очередей, в основе которого лежит предположение о пуассоновском потоке [1], [2]*.

При решении практических задач целесообразно оценивать характеристики очереди (например, среднюю либо максимальную длину) при конечных дисперсиях, а при $1 < \alpha < 2$, что представляет основной диапазон самоподобия трафика [2], необходимо имитационное моделирование.

Проблемы корректной реализации фрактальных случайных величин (с. в.) $Pa(k; \alpha)$ исследуются в [3], [4].

Оценим и сопоставим названные характеристики очереди для СМО М/М/1 и М/Па/1.

В работе [5] получено пороговое значение $\alpha = (1 + \sqrt{2})$, при превышении которого для экспоненциальной СМО М/М/1 средняя длина очереди оказывается большей, чем для СМО М/Па/1 при одинаковой входящей нагрузке для обеих СМО.

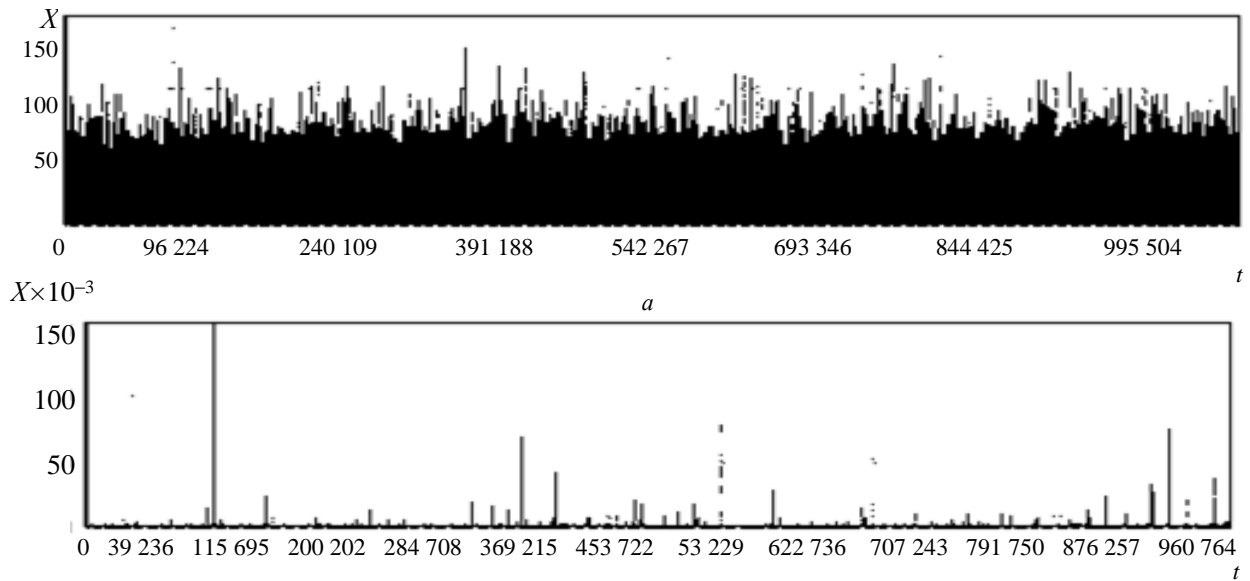
Оценим влияние самоподобия на характеристики очереди при значениях $1 < \alpha \leq 2$ с применением численного эксперимента с имитационной моделью соответствующей СМО.

Сопоставление характеристик очереди при экспоненциальном распределении (РЭ) и РП размеров поступлений (длительностей сообщений) производит «удручающее» впечатление (табл. 1, где $L_{СП}$, $L_{МП}$ – среднее и максимальное значения очереди при Парето-распределении значений поступлений; $L_{С.э}$ и $L_{М.э}$ – аналогичные значения очереди при экспоненциальном распределении поступлений).

Таблица 1

Отношение	α	ρ			
		0,25	0,5	0,7	0,9
$L_{СП}/L_{С.э}$	1,1	16 820,8	5708,0	1959,1	808,3
	1,5	12,7	12,9	14,6	24,1
	2,41	0,95	0,96	0,94	0,97
$L_{МП}/L_{М.э}$	1,1	1384,9	1373,1	730,9	278,4
	1,5	51,5	44,5	35,0	22,9
	2,41	7,0	8,5	6,2	3,9

* <http://niifvt.ru/publikacii/opredelenie-samopodobija-trafika/>.



б
Рис. 1

Однако обратимся к выборке значений из Парето и экспоненциально распределенных значений с. в., выполненной без ограничения значений random (рис. 1, а – выборка при экспоненциальном распределении значений поступлений: $\lambda = 0,1$; рис. 1, б – выборка при Парето-распределении значений поступлений: $\alpha = 1,1$; $m = 10$; ρ – коэффициент загрузки СМО; шкала X – значения длительности поступлений, шкала t – последовательное во времени количество поступлений)

– $y_{\max}^{\Pi} = 505$. Для экспоненциального распределения – $y_{\max}^{\Xi} = m \ln \frac{1}{10^{-4}} = 92,2$.

Обращает внимание, что максимальные значения ординат длительностей поступлений, распределенных по Парето, почти в 1000 раз превышают аналогичные значения при экспоненциальном распределении. Но ведь размеры поступлений отображают возможные длительности сообщений одного и того же трафика. Поэтому такой значительной разницы в отображении максимальных значений длительностей сообщений быть не должно.

При увеличении диапазона дискретности разница в возможных выборочных максимальных значениях еще более возрастает.

Получается, что прямое сопоставление значений очередей в СМО М/М/1 и М/Ра/1 некорректно. Максимальные значения сообщений одного и того же реального трафика априори отображаются разными значениями при РП и при РЭ длительности поступлений: при одном и том же датчике случайных чисел заведомо $y_{\max}^{\Pi} > y_{\max}^{\Xi}$.

При «прямом» моделировании это значительное различие изначально заложено в генерации реализаций с. в. рассматриваемых распределений. Максимальные выборочные значения с. в. (длительностей сообщений), экспоненциально- и Парето-распределенных (y_{\max}^{Ξ} и y_{\max}^{Π} соответственно), существенно разнятся.

В табл. 2 представлены статистические характеристики Парето ($\alpha = 1,1$, $k = 5$) и экспоненциально распределенных длительностей поступлений при ограничении, учитывающем возможный диапазон $l_{\min} \dots l_{\max}$ размеров поступающих сообщений. Такой подход имеет смысл из-за существования верхнего предела на размеры передаваемых кадров L_k .

Так, при $rnd_{\min} = 10^{-4}$ для РП: при $m = 10$, $\alpha = 1,1$ имеем $y_{\max}^{\Pi} = \frac{1,618}{1,1\sqrt{10^{-4}}} = 17\,000,3$; при $\alpha = 2$

Приведенные в табл. 2 данные получены в результате численного эксперимента с имитационными моделями СМО М/Ра/1 и М/М/1. Схема эксперимента показана на рис. 2.

Объемы выборочных данных: $N_1 = 10^6$ – для диапазона $l_{\min} \dots l_{\max}$; N_2 – для диапазона $y_{\min} \dots y_{\max}$ (столбец 2 при РП, столбец 6 при РЭ). В столбцах 3 и 7 представлены отношения оценочных дисперсий к квадратам средних значений размеров поступлений при РП и РЭ соответ-

Таблица 2

№ п/п	М/Па/1				М/М/1			
	1	2	3	4	5	6	7	8
	$L_{\text{к}}$ $l_{\text{min}} \dots l_{\text{max}}$ Y_{max}	N_2	$\frac{D_2}{m_2^2}$	$\frac{D_1}{m_1^2}$	$L_{\text{к}}$ $l_{\text{min}} \dots l_{\text{max}}$ Y_{max}	N_2	$\frac{D_2}{m_2^2}$	$\frac{D_1}{m_1^2}$
1	5...50 1 855 032,0	1 086 696	3317,5	0,53	5...50 603	1 703 447	1,001	0,29
2	5...100 2 803 142,1	1 038 484	5680,1	1,01	5...100 567	1 262 604	0,995	0,45
3	5...1000 2 438 309,3	1 002 970	4668,8	5,97	5...1000 527	1 126 757	1,001	0,80
4	5...2,5E4 14 438 902,0	1 000 086	7039,5	63,76	5...2,5E4 809	1 095 587	1,003	0,84
5	5...5E4 900 547,46	1 000 044	1864,89	105,95	5...5E4 572	1 130 892	1,001	0,79

ственно без ограничения значений random, в столбцах 4 и 8 – те же отношения при ограничении минимального значения random (1E-4).

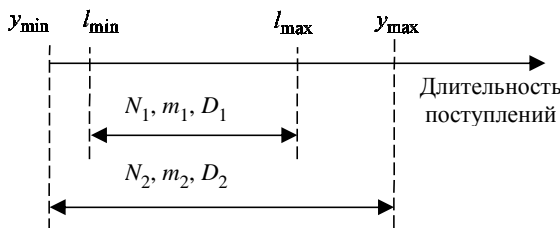


Рис. 2

Среднее значение m_2 размера поступлений при РЭ длительностей поступлений взято равным статистической оценке m_2 РП длительностей поступлений с тем, чтобы сохранить одинаковую нагрузку при обслуживании поступающих требований.

В табл. 3 представлены соотношения средних значений очередей $L_{\text{сП}}$ (М/Па/1) и $L_{\text{с.э}}$ (М/М/1), вычисленные с использованием формулы Полячека–Хинчина и статистик (табл. 2, столбцы 3 и 7 соответственно) без учета калибровки моделей потоков к диапазону $l_{\text{min}} \dots l_{\text{max}}$.

Таблица 3

Отношение	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
$L_{\text{сП}}/L_{\text{с.э}}$	1659,0	2913,4	2334,9	3467,9	1426,6

В табл. 4 представлены соотношения средних и максимальных ($L_{\text{МП}}$ и $L_{\text{М.э}}$) значений очередей тех же СМО, соответствующие выборочным данным и покрытию $y_{\text{max}}^{\text{П}}$ и $y_{\text{max}}^{\text{э}}$ (табл. 2, строки 1, 2) и покрытию значением $y_{\text{max}}^{\text{П}}$ и непокрытию значением $y_{\text{max}}^{\text{э}}$ (табл. 2, строки 3, 4 и 5) диапазонов $l_{\text{min}} \dots l_{\text{max}}$.

При перекрытии диапазонов, как при экспоненциальном распределении, так и при Парето отличие характеристик очередей процентное (столбцы 1 и 2 табл. 4).

Таблица 4

Отношение	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
$L_{\text{сП}}/L_{\text{с.э}}$	1,25	1,34	3,83	35,2	56
$L_{\text{МП}}/L_{\text{М.э}}$	1,04	1,43	3,48	38,4	46,1

При перекрытии диапазонов при Парето-распределении и неперекрытии при экспоненциальном (столбцы 3, 4 и 5 табл. 4) отличие возрастает по мере увеличения различия в выборочных максимальных значениях.

Анализ представленных в табл. 4 результатов позволяет сделать следующие выводы, связанные с особенностью моделирования и сопоставления очередей М/М/1 и М/Па/1.

Различие в характеристиках очереди между экспоненциальным обслуживанием и обслуживанием по Парето возрастает с увеличением нагрузки при $\alpha = 1,1$. При $\alpha \geq 1,5$ различие от нагрузки значительно менее заметно и существенно снижается с ростом значения α (см. табл. 1).

Еще в большей степени выравнивание названных характеристик очередей заметно при приведении выборочных значений экспоненциально- и Парето-распределенных случайных величин к возможному диапазону размеров сообщений реального трафика. Другими словами, калибровка распределений к определенному диапазону протокольных единиц трафика при моделировании обязательна. Эту калибровку непременно надо делать при практических задачах с Парето-распределением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / под ред. О. И. Шелухина. М.: Радиотехника, 2003.
2. Столингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003.
3. Задорожный В. Н., Кутузов О. И. Моделирование и расчет буферов фрактальных СМО // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2011): Материалы 5-й всерос. конф. Т. 1. СПб.: ЦТ СС, 2011. С. 156–161.
4. Задорожный В. Н., Кутузов О. И. Проблемы генерации случайных величин с фрактальными распределениями // Омский науч. вестн. 2012. № 3. С. 20–24.
5. Тонг Минь Дык, Кутузов О. И. Оценка влияния самоподобной нагрузки на характеристики очереди // Изв. СПбЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. Вып. 3. С. 35–38.

O. I. Kutuzov, S. A. Marfin
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

COMPARATIVE ANALYSIS OF A SELF-SIMILAR LOADING QUEUE

Simulation is evaluated and compared the value of the SMO queue by Pareto and exponential distribution service revenues. Calibration value of scheduling to the size range of communications network traffic is displayed.

Traffic, self-similarity, queue, Pareto distribution, calibration

УДК 378.147

А. И. Водяхо, Д. В. Пузанков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Т. С. Грицкая, С. В. Сомов
Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка

Архитектурный подход к созданию и сопровождению образовательных ресурсов¹

Рассматриваются возможные подходы к управлению образовательными ресурсами университетов, занимающихся подготовкой ИТ-специалистов. Вводится понятие архитектуры образовательного ресурса, предлагается архитектурный фреймворк, ориентированный на управление образовательным контентом.

Образовательные ресурсы, архитектурный фреймворк, управление образовательными ресурсами

Современный этап развития техники и технологий характеризуется постоянным увеличением сложности создаваемых антропогенных систем,

причем информационной составляющей принадлежит все большая доля, постоянно ужесточаются требования к эффективности системы инженерного образования и, прежде всего, к стоимости, изменяются требования к содержанию образования (образовательному контенту). В этом контексте систему образования можно рассматривать как информационную систему (ИС), ориентированную на работу со знаниями.

¹Работа выполнена в рамках соглашения между СПбГЭТУ и Полтавским национальным техническим университетом им. Юрия Кондратюка о совместной подготовке магистров. Договор от 05.07.2011 г.