

са России на 2007-2013 годы» (госконтракт №07.514.11.4153) и РФФИ (проекты №12-07-31089 и №12-07-31022).

### Литература

1. Gail R., Kleinrock L. Queueing Systems: Problems and Solutions. John Wiley and Sons, 1996. – 413 p.
2. Pournaghshband V., Kleinrock L., Reiher P., Afanasyev A. Pournaghshband, V. Controlling Applications by Managing Network Characteristics // Proceedings of IEEE ICC 2012 Communication and Information Systems Security Symposium, 2012. – P.110-1105.
3. Kim W., Sharma P., Lee J., Banerjee S., Tourrilhes J., Lee S.J., Yalagandula P. Automated and Scalable QoS Control for Network Convergence. Princeton University, 2011. – 435 p.
4. QoS without Context: Good for the Network, Not So Good for the End user // <https://devcentral.f5.com/weblogs/macvittie/archive/2012/06/06/qos-without-context-good-for-the-network-not-so-good.aspx>. Дата обращения: 13.08.2012.

### ENSURING QUALITY OF SERVICE IN PROGRAM CONFIGURED NETWORKS

**Bahareva N.F., Konnov A.L., Tarasov V.N., Ushakov Yu.A.**

**In article results of researches of a problem of providing demanded parameters of productivity and quality of service in a perspective segment of program configured networks are presented. General provisions concerning QoS realization in switchboards of various producers are given, decisions on the basis of features of implementation of the OpenFlow protocol of version 1.0 are proved and offered.**

**Keywords:** *Quality of Service (QoS), a data-processing center (TsOD), program configured networks, the OpenFlow protocol.*

Бахарева Надежда Федоровна, д.т.н, профессор Кафедры «Программное обеспечение и управление в технических системах» (ПОУТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13, 8-927-557-23-28.

Коннов Андрей Леонидович, к.т.н, доцент Кафедры «Системный анализ и управление» (САУ) Оренбургского государственного университета (ОГУ). E-mail: andrey\_konnov@mail.ru

Тарасов Вениамин Николаевич, д.т.н., профессор, зав. Кафедрой ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13, 8-917-943-87-94. E-mail: vt@ist.psati.ru

Ушаков Юрий Александрович, к.т.н, доцент Кафедры САУ ОГУ. andrey\_konnov@mail.ru

УДК 621.396

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДОБНОГО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ТРАФИКА

*Буранова М.А.*

В работе проведено исследование трафика сети Интернет (на уровне пользователя). Проанализирована математическая модель исследуемого трафика, получены законы распределений длительности пакетов и интервалов между поступлениями пакетов, а также интенсивности их поступления.

**Ключевые слова:** самоподобие, параметр Херста, законы распределения, распределения с «тяжелыми хвостами».

#### Введение

Характерной особенностью современных мультисервисных сетей связи является неоднородность трафика. Оценка таких параметров качества обслуживания трафика (QoS), как задержка пакетов, скорость передачи, а также про-

пускная способность каналов связи являются одной из наиболее актуальных задач на сегодняшний день.

Развитие телекоммуникационных сетей, их глубокая интеграция и сближение с IT-технологиями, кроме того, бурный рост технологий облачных вычислений, широкое применение их сервисов постоянно увеличивают требования к пропускной способности телекоммуникационных сетей, вносят изменения в структуру обслуживаемого трафика, а требования к параметрам QoS становятся все более критичными. Это приводит к необходимости пересмотра алгоритмов управления трафиком, а также к необходимости более глубокого изучения структуры современного трафика телекоммуникационных сетей [1]. В работе проведено исследование трафика сети

Internet на уровне пользователя, а также анализ законов распределений таких характеристик как длительности пакетов, интервалы между пакетами и интенсивность поступающих пакетов.

### Исследование самоподобия трафика сети Internet

Наиболее распространенным способом оценки степени самоподобия процессов является определение параметра Херста ( $1/2 < H < 1$ ). Чем ближе его значение к единице, тем больше вероятность того, что процесс имеет долговременную зависимость.

Наиболее простой характеристикой трафика является интенсивность, которая может быть охарактеризована зависимостью числа поступающих пакетов от времени. Данная зависимость представляет собой реализацию случайного процесса, называемую трассой. В [2] показано, что практически для всех современных приложений трассы обладают самоподобными свойствами, а характерными законами распределения мгновенной интенсивности являются законы распределения с «тяжелыми хвостами», такие как, например, распределение Вейбулла и Парето.

Для теоретического анализа трафика и устройств его обработки методами теории массового обслуживания необходимы другие характеристики трафика, а именно: законы распределения интервалов времени между пакетами и длительности самих пакетов.

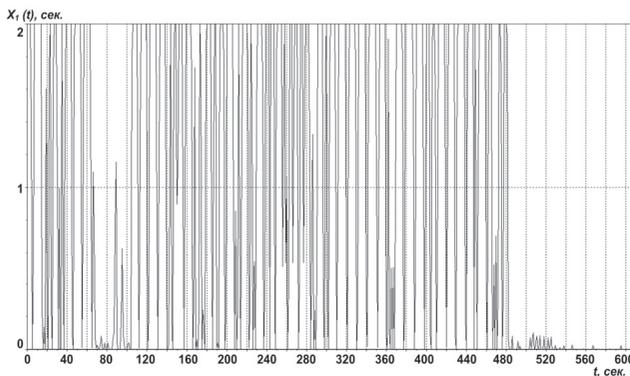


Рис 1. Реализация случайных интервалов между пакетами во времени

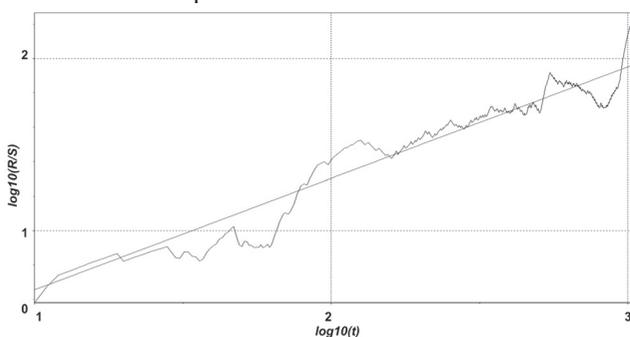


Рис. 2. График  $R/S$ -статистики, определяющий значение показателя Херста для последовательности интервалов между пакетами ( $H = 0,64$ )

С целью определения этих законов был поставлен эксперимент с использованием мультимедийного трафика, регистрация которого проводилась на ПК пользователя Internet. Сбор статистической информации осуществлялся с помощью программы WireShark. Анализировать степень самоподобия позволяет программа Fractan, которая дает возможность оценить параметр Херста посредством  $R/S$ -анализа.

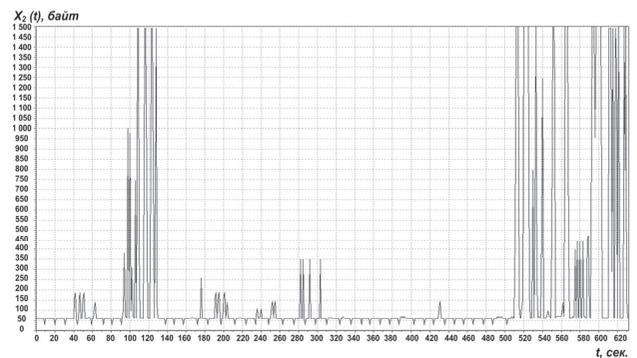


Рис. 3. Реализация случайных длин пакетов во времени

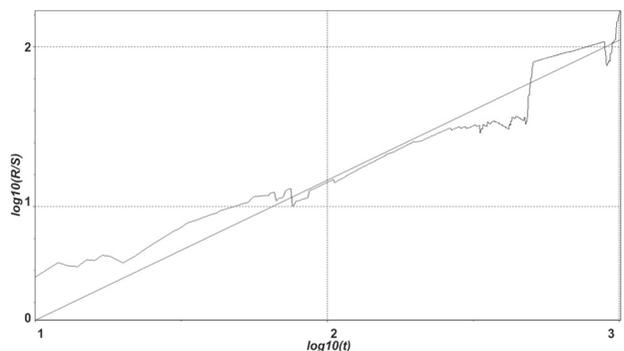


Рис. 4. График  $R/S$ -статистики, определяющий значение показателя Херста для последовательности длин пакетов ( $H = 0,87$ )

Результаты исследований приведены на рис. 1-6. Реализации процессов, показанных на рис. 1, рис. 3 и рис. 5, представляют собой следующие зависимости:

- интервалы между пакетами от времени  $X_1(t)$ , на рис. 1;
- длины пакетов от времени  $X_2(t)$ , на рис. 3;
- число пакетов в единицу времени  $X_3(t)$ , на рис. 5;
- графики  $R/S$ -статистики (определение показателя Херста) для исследуемого процесса, на рис. 2 для зависимости  $X_1(t)$ ; на рис. 4 для зависимости  $X_2(t)$  и на рис. 6 для зависимости  $X_3(t)$ .

Исследования показали, что значения показателя Херста для интервалов времени между пакетами  $H = 0,64$ , для длин пакетов  $H = 0,87$ , что

говорит о том, что данные процессы являются самоподобным. Заметим, что для последовательности длин пакетов показатель Херста ближе к единице по сравнению с последовательностью интервалов между пакетами, что говорит о большей степени самоподобия процесса.

Значение показателя Херста для интенсивности трафика ( $H = 0,58$ ) также указывает на самоподобный характер процесса, что подтверждает предположения, основанные на результатах, описанных в [2].

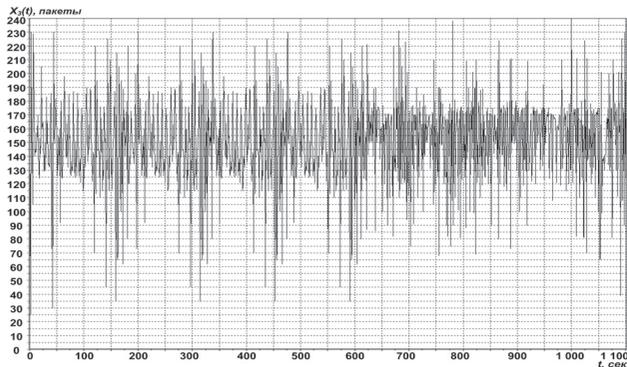


Рис. 5. Реализация интенсивности числа пакетов в единицу времени

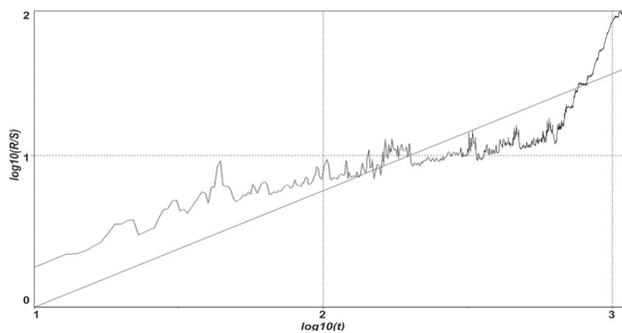


Рис.6. График  $R/S$ -статистики, определяющий значение показателя Херста для последовательности длин пакетов ( $H = 0,58$ )

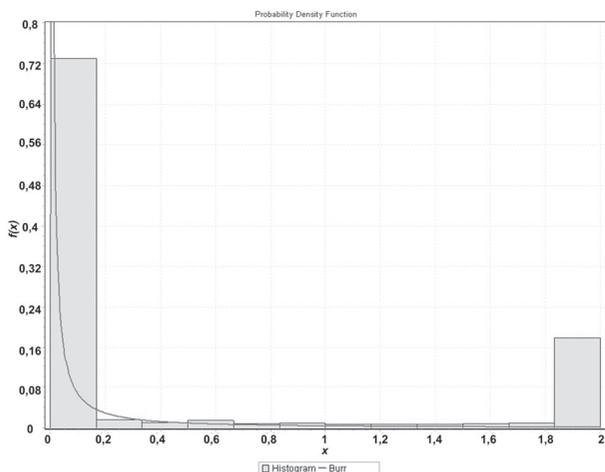


Рис. 7. Распределение Берра для случайных интервалов между пакетами, параметры распределения:  $k = 0,13903$ ;  $\alpha = 1,6125$ ;  $\beta = 4,4187 \cdot 10^5$ ;  $\gamma = 0$

## Исследование законов распределения

Анализ распределения случайной длительности интервалов времени между пакетами, проведенный с использованием программы Easyfit Professional, показал, что наиболее точная аппроксимация гистограммы согласно критерию Колмогорова-Смирнова дается распределением Берра (Burr). На рис. 5 представлены гистограмма и результат ее аппроксимации. Берра-распределение имеет вид:

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right)^{k+1}}, \quad (1)$$

где  $k$ ,  $\alpha$  – непрерывные параметры формы;  $\beta$  – непрерывный масштабный коэффициент; область определения:  $\gamma \leq x < +\infty$ .

Представленная гистограмма имеет два ярко выраженных пика, то есть распределение является бимодальным. В рассматриваемой ситуации более целесообразным является использование распределения, по форме совпадающего с распределением смеси, которое для гистограммы рис. 7 может быть представлено в следующем виде

$$f(x) = P_1 \cdot \delta(x - x_0) + P_2 \cdot \delta(x - x_1), \quad (2)$$

где  $\delta(x - x_0)$  – дельта функция в точке  $x_0$ , соответствующей первому пику;  $\delta(x - x_1)$  – дельта функция в точке  $x_1$ , соответствующей второму пику;  $P_1 = 0,74$ ,  $P_2 = 0,22$ . Следовательно

$$f(x) = 0,74 \cdot \delta(x - x_0) + 0,22 \cdot \delta(x - x_1), \quad (3)$$

при этом очевидно, что  $P_1 + P_2 \approx 1$ .

Гистограмма показывает, что основной вклад дают интервалы между пакетами от 0 до 0,17 с (первый пик) и от 1,83 до 2 с (второй пик). Очевидно, что улучшить аппроксимацию возможно, проанализировав трафик без вклада коротких интервалов (первый пик) и без вклада длинных интервалов (второй пик) между пакетами. Гистограммы данных случайных характеристик представлены на рис. 8 и рис. 9 соответственно.

Закон распределения интервалов времени между пакетами без учета больших значений наилучшим образом аппроксимирует распределение Берра. На рис. 8 представлена гистограмма и результаты ее аппроксимации со значениями параметров:  $k = 0,23825$ ,  $\alpha = 1,4804$ ,  $\beta = 5,8052 \cdot 10^{-5}$ ,  $\gamma = 0$ .

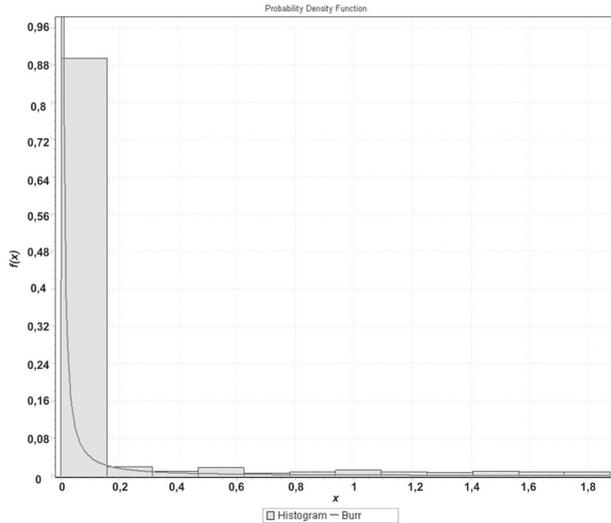


Рис. 8. Распределение Берра для интервалов между пакетами без учета больших значений, параметры распределения:  $k = 0,23825$ ;  $\alpha = 1,4804$ ;  $\beta = 5,8052 \cdot 10^{-5}$ ;  $\gamma = 0$

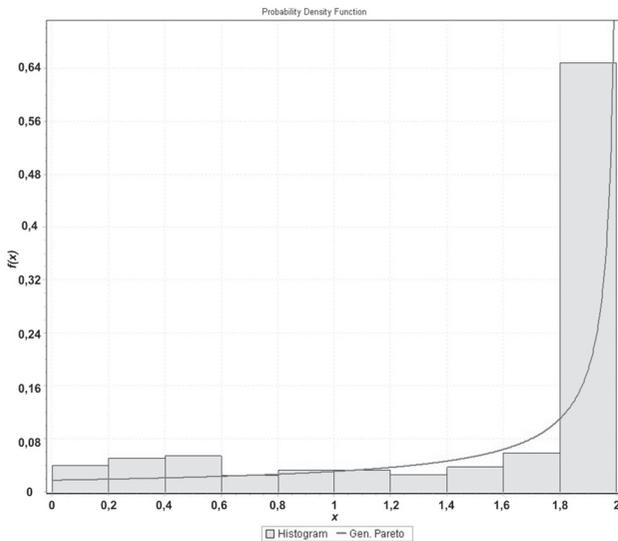


Рис. 9. Обобщенное распределение Парето для интервалов между пакетами без учета малых значений, параметры распределения:  $k = -5,3925$ ;  $\sigma = 13,816$ ;  $\mu = -0,55008$

Для случая без вклада малых значений интервалов времени между пакетами наилучшую аппроксимацию дает обобщенное распределение Парето (Gen. Pareto), которое имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-1/k}, & k \neq 0; \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right), & k = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $k$  – непрерывный параметр формы;  $\sigma$  – непрерывный масштабный коэффициент ( $\sigma > 0$ );  $\mu$  – непрерывный параметр сдвига. Область опре-

деления:  $\mu \leq x \leq +\infty$  при  $k \geq 0$ ;  $\mu \leq x \leq \mu - \sigma/k$  при  $k < 0$ .

Учитывая полученные распределения без вклада больших и малых значений, можно ввести аппроксимацию гистограммы рис. 7 аналогично (2), используя вместо дельта-функций распределения рис. 8; см. формулу (1) и рис. 9: см. формулу (4):

$$f(x) = P_1 \cdot \frac{\alpha k \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)^{k+1}} + P_2 \cdot \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-1/k}. \quad (5)$$

Так как  $P_1 = 0,74$ ;  $P_2 = 0,22$  получим:

$$f(x) = 0,74 \cdot \frac{\alpha k \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)^{k+1}} + 0,22 \cdot \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-1/k}. \quad (6)$$

При анализе распределения случайной длительности пакетов учтено, что длительности и длины пакетов являются величинами статистически эквивалентными. Для исследования использована статистика длин пакетов.

При анализе статистики длин пакетов получено, что наиболее точную аппроксимацию дает закон распределения Фреше (Frechet). На рис. 10 представлена гистограмма и результаты ее аппроксимации. Как и в случае с интервалами между пакетами, распределение длин пакетов исследуемого трафика является бимодальным. Поэтому целесообразным является использование аппроксимации распределения формулой (2), где  $P_1 = 0,6$ ;  $P_2 = 0,36$ . Гистограмма показывает, что основной вклад дают длины пакетов от 30 до 150 байт (первый пик) и от 1375 до 1500 байт (второй пик). Как и выше, получим распределения без учета вклада больших и малых длин пакетов соответственно.

На рис. 11 представлена гистограмма и ее аппроксимация для распределения длин пакетов без вклада больших значений. Наиболее точно аппроксимирует данную гистограмму распределение Вейкеби (Wakeby).

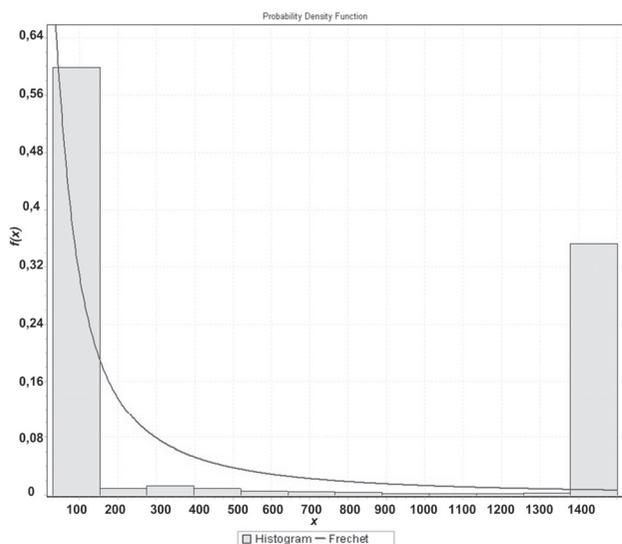


Рис. 10. Распределение Фреше для длин пакетов, параметры распределения:  $\alpha=0,68554$ ,  $\beta=90,267$

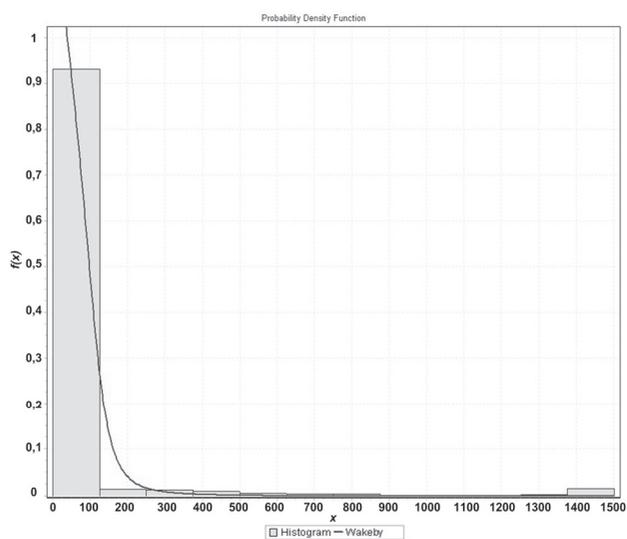


Рис. 11. Распределение Вейкеби для длин пакетов без вклада больших значений, параметры распределения:  $\alpha = 92,099$ ;  $\beta=0,62464$ ;  $\gamma = 2,7315$ ;  $d = 0,92942$ ;  $\xi = -10,149$

Вейкеби-распределение относится к классу распределений экстремальных величин с цензурированным «хвостом», при этом низкие значения переменной описываются одним классом распределения, а высокие значения переменной описываются другим классом распределения. Функция распределения  $F(x)$  случайной величины  $\zeta$ , относящейся к семейству WAK (5), задается неявной формулой:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \left(1 - (1 - F)^\beta\right) - \frac{\gamma}{d} \left(1 - (1 - F)^{-d}\right),$$

где  $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $\gamma$ ;  $d$ ;  $\xi$  – являются непрерывными параметрами распределения.

На распределение накладываются следующие ограничения:  $\alpha \neq 0$  или  $\gamma \neq 0$ ;

$$\beta + d > 0 \text{ или } \beta = \gamma = d = 0;$$

если  $\alpha = 0$ , то  $\beta = 0$ ;

если  $\gamma = 0$ , то  $d = 0$ ,  $\gamma \geq 0$  и  $\alpha + \gamma \geq 0$ .

Область определения:

$$\xi \leq x < \infty, \text{ если } d \geq 0 \text{ и } \gamma > 0;$$

$$\xi \leq x \leq \xi + \alpha/\beta - \gamma/d, \text{ если } d < 0 \text{ или } \gamma = 0.$$

В [4-5] показано, что предельная функция для Вейкеби-распределения  $G(x)$  имеет вид:

$$G(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ \exp(-x^{-1/d}), & x > 0. \end{cases}$$

Для  $x > 0$  имеем плотность распределения:

$$g(x) = \frac{1}{d} x^{-(1+d)} \exp(-x^{-1/d}). \quad (7)$$

Исследование случайных длин пакетов без вклада малых значений показал, что наиболее точную аппроксимацию дает обобщенное экстремальное распределение (Gen. Extreme Value). На рис. 12 представлены гистограмма распределения длин пакетов без вклада малых значений и результаты ее аппроксимации.

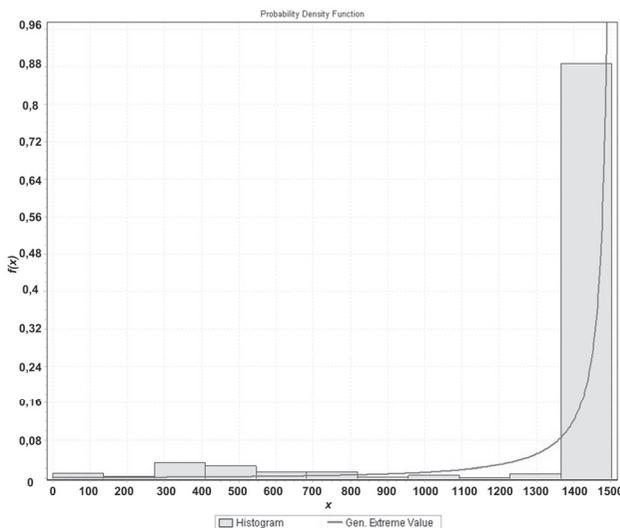


Рис. 12. Обобщенное экстремальное распределение для длин пакетов без учета малых значений, параметры распределения:  $k = -3,1266$ ,  $\sigma = 50,26$ ,  $\mu = 1488,6$

Обобщенное экстремальное распределение имеет следующий вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1+kz)^{-1/k}) (1+kz)^{-1-1/k}, & k \neq 0; \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)), & k = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $k$  – непрерывный параметр формы;  $\sigma$  – непрерывный масштабный коэффициент;  $\mu$  – непрерывный параметр сдвига. Область определения:

$$1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0, \text{ при } k \neq 0,$$

$$-\infty < x < +\infty, \text{ при } k = 0.$$

Полученные законы распределений (7)-(8) могут быть использованы по аналогии с (5). В итоге получим:

$$f(x) = P_1 \cdot \frac{1}{d} x^{-(1+d)} \exp(-x^{-1/d}) +$$

$$+ P_2 \cdot \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + kz)^{-1/k}) (1 + kz)^{-1-1/k}.$$

При  $P_1 = 0,6$ ,  $P_2 = 0,36$  получим

$$f(x) = 0,6 \cdot \frac{1}{d} x^{-(1+d)} \exp(-x^{-1/d}) +$$

$$+ 0,36 \cdot \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + kz)^{-1/k}) (1 + kz)^{-1-1/k}.$$

Исследование интенсивности трафика показывает, что наилучшую аппроксимацию закона распределения случайной величины числа пакетов дает обобщенное логистическое распределение (Gen. Logistic). На рис. 13 представлена гистограмма и результаты ее аппроксимации.

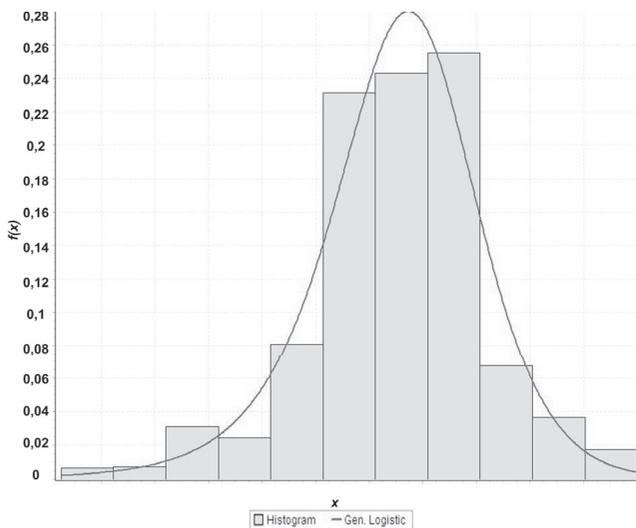


Рис. 13. Обобщенное логистическое распределение для числа пакетов в единицу времени, параметры распределения:  $k = -0,06562$ ;  $\sigma = 17,521$ ;  $\mu = 152,26$

Обобщенное логистическое распределение имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1 + kz)^{-1-1/k}}{\sigma(1 + (1 + kz)^{-1/k})^2}; & k \neq 0; \\ \frac{\exp(-z)}{\sigma(1 + \exp(-z))^2}; & k = 0, \end{cases}$$

где  $k$  – непрерывный параметр формы;  $\sigma$  – непрерывный масштабный коэффициент;  $\mu$  – непрерывный параметр сдвига. Область определения:

$$1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 \text{ при } k \neq 0;$$

$$-\infty < x < +\infty \text{ при } k = 0.$$

Следует заметить, что в отличие от распределений случайных величин интервалов между пакетами и их длительностей распределение числа пакетов является одномодальным.

### Выводы

Исследование мультимедийного трафика показало, что в сети Internet он обладает свойствами самоподобия, при этом самоподобным является процесс поступления интервалов между пакетами, а также последовательность длин пакетов и числа пакетов в единицу времени.

Для данной реализации трафика определены вероятностные законы случайных интервалов времени между поступлениями пакетов на обслуживание и вероятностное распределение времени обслуживания требований в системе, а также их интенсивности.

Случайные величины числа пакетов характеризует обобщенное логистическое распределение. Распределение интервалов времени между пакетами аппроксимирует распределение Берра, которое в нашем случае является бимодальным и его можно представить в виде суммы обобщенного распределения Парето и распределения Берра.

Вероятностный закон распределения длин пакетов характеризует распределение Фреше, причем оно также может быть представлено в виде суммы распределений Вейкеби и обобщенного экстремального распределения. В обоих случаях основной вклад в распределения вносят только очень большие и очень малые интервалы времени, что позволяет получить простые аппроксимации истинных распределений, которые могут быть использованы при анализе систем обработки трафика, а также при его моделировании и выборе алгоритмов сетевого управления.

## Литература

1. Киреева Н.В., Буранова М.А., Поздняк И.С. Исследование трафика IP-телефонии с использованием пакета Fractan // Цифровая обработка сигналов и ее применение. Вып. XIV; Т. 2, 2012. – С. 501-503.
2. Шелухин О.И., Тенякишев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
3. Лидбеттер М., Линдгрэн Г., Ротсен Х. Экстремумы случайных последовательностей и процессов. М.: Мир, 1989. – 392 с.
4. Кобякова И.А. Асимптотическое распределение экстремумов, индуцированных распределением WAK (5) // Тезисы X ВС по ППМ (осенняя открытая сессия). Сочи-Дагомыс, 2009. <http://www.tvp.ru/conferen/vsppm10/speso423.pdf>

## RESEARCH OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE SELF-SIMILAR TELECOMMUNICATION TRAFFIC

Buranova M.A.

Research of degree of self-similar of a traffic of the Internet (at level of the user) is carried out. The mathematical model of a studied traffic is analysed, laws of distributions of duration of packets and intervals between receipts of packets are received, but as theirs arrival density.

**Keywords:** self-similar, Hurst's parameter, laws of distributions, distribution with a «heavy tail».

Буранова Марина Анатольевна, старший преподаватель Кафедры «Мультисервисные сети и информационная безопасность» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 333-53-50; 8-917-148-23-94. E-mail: buranova@psati.ru

## ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.932.4

### МЕТОД ТЕКСТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Карлушин К.А., Курбатова Е.Е., Медведева Е.В.

Предложен метод текстурной сегментации аэрокосмических изображений на основе двумерных цепей Маркова. В качестве текстурного признака используется оценка вероятности перехода между элементами изображения. Проведено экспериментальное исследование разработанного метода сегментации и сравнение его с известными контурными методами (Канни, Собела, Лапласиана гауссиана). Метод эффективно выделяет текстурные области с разными статистическими характеристиками и позволяет снизить вычислительные затраты.

**Ключевые слова:** текстурная сегментация, цифровые полутоновые изображения, марковский процесс, энтропия, оценка вероятности перехода.

#### Введение

В системах аэрокосмического мониторинга земной поверхности для решения задач анализа изображений широко применяется сегментация, которая позволяет выделить на изображениях интересные области. Все известные методы сегментации изображений можно условно разделить

на методы контурной сегментации и методы, основанные на выделении однородных (текстурных) областей. Методы на основе выделения контуров обладают высоким быстродействием, но не всегда оказываются приемлемыми при выделении на изображении областей, не имеющих четко выраженных границ и лишенных существенных деталей. В этом случае необходимо использовать идентификацию областей изображений на основе анализа их текстуры.

В [1] показано, что для описания текстуры могут быть использованы марковские случайные поля. Однако при обработке аэрокосмических изображений, представляющих собой полутоновые (или цветные) изображения с числом уровней яркости  $2^g$ , возникает проблема хранения в памяти и оперирования с матрицами вероятностей переходов размерностью  $2^g \times 2^g$ . Такая обработка изображений требует больших вычислительных ресурсов. Представление  $g$ -разрядных полутоновых изображений  $g$ -разрядными двоичными изображениями (РДИ) в [2-3] позволило