

the influence of trace noise on the error of attenuation measurement both for the whole fiber optic link and its particular fragments. We researched the errors of measurement of attenuation coefficient and optical fiber splice loss depending on the optical signal-to-noise ratio and quasi regular span length. Some results of experimental researches are presented. They provide to educe correctly a degradation of fiber optic link parameters at the beginning and to couch the requirements for conditions of measurements by the back-scattering method.

Keywords: *fiber optic data transmission system, optical time-domain reflectometer, linear approximation, error of measurement, experimental research work, analysis of results.*

Баскаков Владимир Семенович, к.т.н., доцент Кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-846-951-27-77; 228-00-66. E-mail: baskakov@psati.ru

Косова Алевтина Леонидовна, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. 8-846-228-00-66. E-mail: kosova_al@mail.ru

Прокопьев Владимир Ильич, доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. 8-846-228-00-66.

УДК 621.396

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕО ТРАФИКА В СЕТЯХ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Буранова М.А., Карташевский В.Г., Самойлов М.С.

В статье представлены результаты исследований трафика Internet TV и IPTV уровня доступа (абонентского оборудования). Получены распределения длительности пакетов и интервалов между поступлениями пакетов.

Ключевые слова: IPTV, Internet TV, самоподобие, параметр Херста, законы распределения.

Введение

Значительную долю трафика глобальных сетей занимают различные мультимедийные приложения. В [1] показано, что трафик мультимедиа-приложений является наиболее перспективным в глобальной сети, в том числе и трафик IPTV. Трафик, создаваемый абонентами IPTV, дает все больший вклад в общую загрузку IP-сетей. Услуга IPTV организуется конкретным провайдером с гарантированными параметрами QoS (Quality of Service – качество обслуживания), в то время как Internet TV может быть доступно пользователю в виде стандартного сервиса сети Internet, следовательно, трафик данного приложения обладает более низким приоритетом QoS. При этом зрителю Internet TV также требуется приемлемое качество предоставляемой услуги.

Важную роль играет изучение природы видеотрафика и влияния, оказываемого на него оборудованием и сетью телекоммуникационных операторов [2]. Не менее важно исследование структуры трафика, создаваемого одним абонентом. Сегодня в публикациях чаще всего приводятся результаты анализа степени самоподобия

трафика и влияния данных свойств на показатели качества обслуживания для речевого трафика [3-4], исследования мультимедийных потоков встречаются значительно реже. Ниже приведен анализ трафика Internet TV и трафика IPTV, регистрация которого проводилась на уровне доступа.

Говоря о самоподобном характере трафика, как правило рассматривают зависимость числа пакетов (заявок) от времени. Зависимости интервалов времени между пакетами и длительности пакетов от времени практически не исследуются на наличие свойств самоподобия (в некоторой степени эти вопросы рассматриваются в [5]), хотя при исследовании характеристик работы сетевых устройств методами теории массового обслуживания такая информация была бы весьма полезна.

Целью работы является исследование статистических свойств трафика Internet TV и трафика IPTV, включая анализ распределений временных характеристик потока пакетов и анализ наличия свойств самоподобия трафика через вычисление показателя Херста.

Исходные данные

В статье проведен сравнительный анализ статистических характеристик телевизионного видеотрафика, передаваемого по сети IP. Анализируется трафик Internet TV и IPTV. Прием телевизионных программ организован двумя способами: с использованием специальной приставки – ресивера IPTV (трафик IPTV) и программной

оболочки – IPTV Player (Internet TV) [6]. Оба случая представляют собой прием multicast-видеографика. Анализ видеотрафика основан на результатах измерений, проводимых в реальных условиях на уровне абонентского оборудования. Схема регистрации трафика приведена на рис. 1.

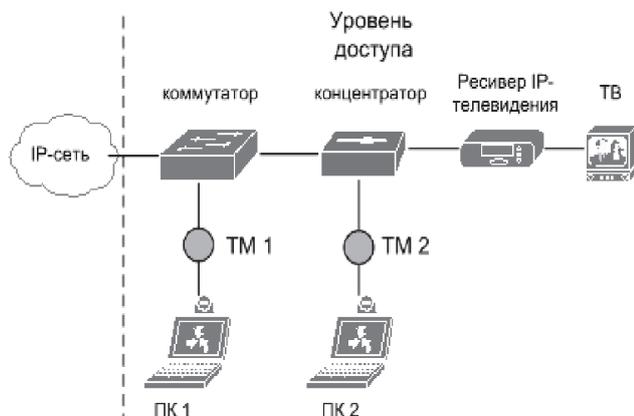


Рис. 1. Схема регистрации трафика

В точке TM 1 (точка мониторинга) регистрируется видеотрафик Internet TV, в точке TM 2 – трафик IPTV, передаваемый ресивером IPTV на экран телевизора. Для осуществления сбора трафика в точке TM 2 на участке сети коммутатор-ресивер подключен концентратор. Сбор статистических данных осуществляется программным продуктом WareShark. Сбор трафика реализован в условиях имитации поведения пользователя, то есть просмотр и регулярное переключение каналов (переключение multicast-групп).

Реализации анализируемого видеотрафика для Internet TV и IPTV приведены на рис. 2-3 в виде зависимости $X(t)$, где фигурирует число пакетов в единицу времени. Такая зависимость представляет собой реализацию случайного процесса, называемого трассой трафика [5].

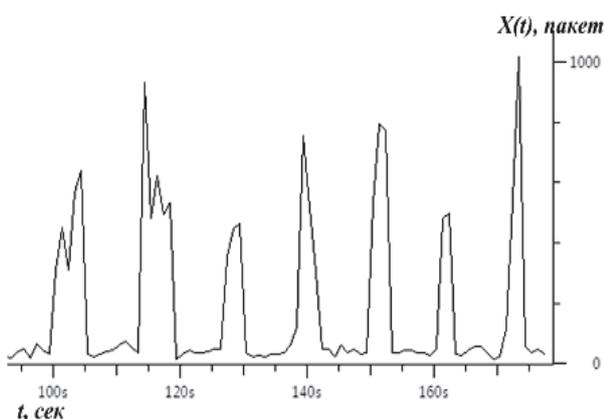


Рис. 2. Реализация видеотрафика Internet TV

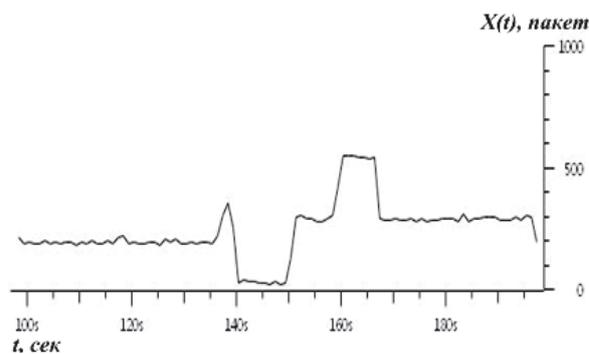


Рис. 3. Реализация видеотрафика IPTV

Трафик Internet TV имеет нестабильную структуру в сравнении с трафиком IPTV, поскольку трафик IPTV передается пользователю по выделенному каналу и служебная управляющая информация поступает лишь в моменты запросов пользователя, например в случае переключения каналов (интервал между 135 и 170 сек., см. рис. 3). В то время как для трафика Internet TV характерно регулярное поступление служебных пакетов наряду с информационными, что придает трассе оттенок периодичности. Internet TV трафик передается в общем потоке с другими видами трафика Internet, что требует постоянного управления и контроля.

Анализ видеотрафика на самоподобие

Наиболее распространенным способом оценки степени самоподобия случайного процесса является определение параметра Херста (для самоподобного процесса $0,5 < H < 1$). Чем ближе значение параметра Херста к единице, тем больше вероятность того, что процесс имеет долговременную зависимость [5]. Например, визуальная оценка рис. 2 выявляет определенную схожесть трассы с периодическим процессом, что позволяет предположить для параметра Херста значение из интервала $0,7 \dots 0,8$. В [5] показано, что большинство современных приложений имеют самоподобные свойства и обладают характерными законами распределения случайных значений $X(t)$ (распределения с «тяжелыми хвостами»). Более того, в нашем случае есть основания предполагать, что самоподобные свойства реализации $X(t)$ предопределяют самоподобные свойства последовательности интервалов времени между пакетами. Анализировать степень самоподобия позволяет программный пакет Fractan. Он дает возможность с помощью анализа нормированного размаха (R/S) [3-4; 7] оценить параметр Херста H .

Анализ трафика Internet TV в TM 1

На рис. 4 и рис. 6 приведены реализации случайных процессов: интервалов времени между

поступлениями пакетов (заявок) и длин пакетов (времени обслуживания) для видеотрафика Internet TV соответственно (реализация в программе Fractan), где

- $A(N)$ – интервалы времени между поступлением пакетов (в сек);
- $B(N)$ – интервалы времени между поступлением пакетов (в байтах);
- N – порядковые номера поступивших пакетов.

На рис. 5 и рис. 7 представлены графики R/S -статистики по определению параметра H для исследуемых последовательностей (реализация в программе Fractan). Показатель Херста для последовательности интервалов времени между пакетами Internet TV $H = 0,65$; для последовательности длин пакетов $H = 0,69$.

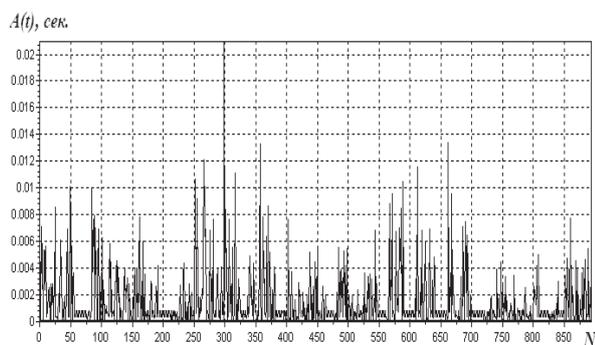


Рис. 4. Реализация последовательности интервалов времени между поступлениями пакетов для видеотрафика Internet TV

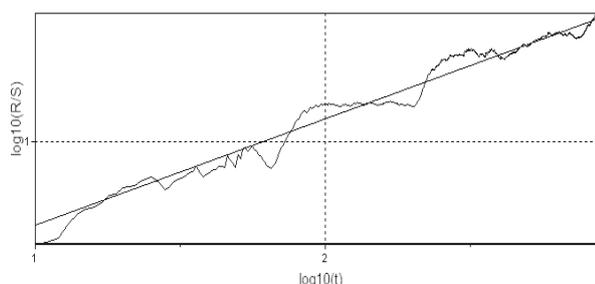


Рис. 5. График R/S -статистики по определению параметра H для последовательности интервалов времени между пакетами Internet TV

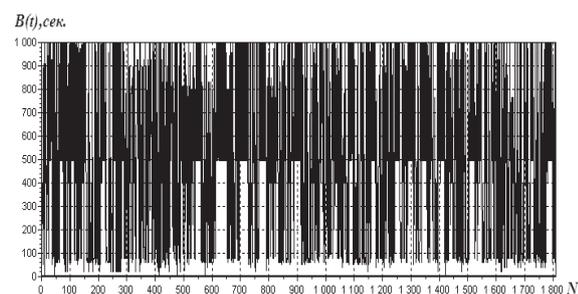


Рис. 6. Реализация последовательности длин пакетов (времени обслуживания) для видеотрафика Internet TV

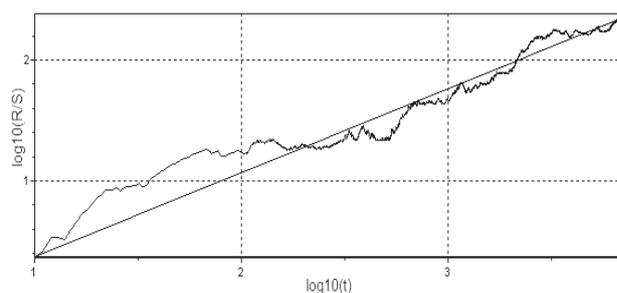


Рис. 7. График R/S -статистики по определению параметра H для последовательности длин пакетов Internet TV

Анализ трафика IPTV в ТМ 2

Анализ трафика в точке ТМ 2 проводился аналогично тому, как это делалось для точки ТМ1. Реализация случайных интервалов времени между пакетами приведена на рис. 8, а реализация последовательности длин пакетов визуально схожа с реализацией на рис. 6 (поэтому здесь не приводится). При этом анализ R/S -статистики дает показатель Херста для последовательности интервалов времени между пакетами IPTV $H = 0,95$; для последовательности длин пакетов $H = 0,77$. Анализ телевизионного видеотрафика Internet TV и IPTV показал, что последовательности интервалов времени между пакетами и длины пакетов обладают высокой степенью самоподобия. Следует заметить, что исследуемые последовательности трафика IPTV обладают большей степенью самоподобия по сравнению с Internet TV.

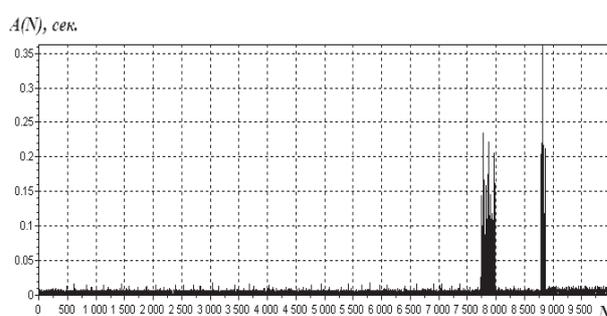


Рис. 8. Реализация случайного процесса интервалов времени между поступлениями пакетов (заявок) для видеотрафика IPTV

Проанализировав реализации последовательностей интервалов времени между пакетами для трафика Internet TV и IPTV (см. рис. 4 и рис. 8), можно проследить определенную взаимосвязь с изменением во времени интенсивности поступающей нагрузки (см. рис. 2 и рис. 3). Так, всплески интенсивности трафика, связанные с изменением поведения пользователя (например переключение каналов), соответствуют всплескам более

длительных интервалов времени между пакетами. В устоявшемся режиме просмотра передач для IPTV (см. рис. 8) интервалы времени между пакетами практически не выходят за пределы значений в 15 мс. В случае трафика Internet TV (см. рис. 4) большая доля интервалов времени лежит в тех же пределах, но количество отсчетов, выходящих за данные границы, также значительно. Кроме того, даже в пределах 15 мс наблюдается существенная доля интервалов времени между пакетами с весьма малыми значениями. Реализации последовательностей длин пакетов являются статистически идентичными и имеют незначительные различия в структуре.

Высокая степень самоподобия показывает, что данные последовательности не обладают свойствами простейших потоков и, следовательно, моделировать работу устройств обслуживания такого трафика следует системами массового обслуживания типа $G/G/1$ или $G/G/n$.

Исследование законов распределения трафика Internet TV

Законы распределения случайных интервалов времени между пакетами и длин пакетов были определены как в [7-8] с использованием программного продукта EasyFit. Иллюстрационный материал для расчета плотности вероятности $f(x)$ интервалов времени между пакетами и длин пакетов представлен на рис. 9 и рис. 10 соответственно. Решение о соответствии построенных гистограмм определенному закону распределения принималось по критерию согласия Колмогорова-Смирнова (программа проводит анализ на соответствие гистограмм 59 функциям из базы данных; EasyFit анализирует и строит функцию распределения вероятности, кумулятивную функцию и т.д., что обеспечивает визуализацию полученных результатов.)

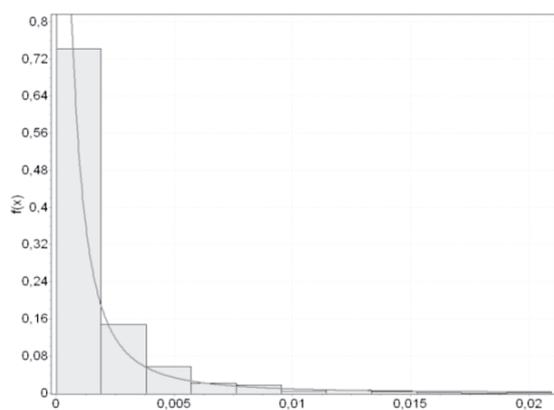


Рис. 9. Распределение плотности вероятности интервалов времени между пакетами Internet TV

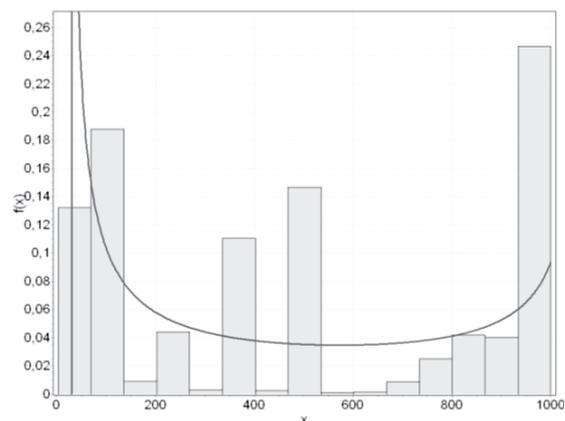


Рис. 10. Распределение плотности вероятности длин пакетов Internet TV

На рис. 9 наиболее точную аппроксимацию гистограммы дает распределение Log-Logistic (логлогистическое), при этом плотность вероятности случайных интервалов времени между пакетами имеет вид:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1} \left(1 + \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-2},$$

где $\alpha > 0$ – непрерывный параметр формы; $\beta > 0$ – непрерывный масштабный коэффициент; область определения функции $\gamma \leq x < \infty$ с параметрами $\alpha = 1,1265$; $\beta = 0,00059$; $\gamma = 0$.

Гистограмма рис. 10 дает довольно сложную картину распределения длин пакетов и соответствует реализации трафика на рис. 4. Непосредственное использование программы EasyFit для аппроксимации гистограммы на рис. 10 дает распределение Johnson SB (Джонсона), которое имеет вид

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi z(1-z)}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\gamma - \delta \ln \left(\frac{z}{1-z} \right) \right)^2 \right),$$

где γ – непрерывный параметр формы, $\delta > 0$ – непрерывный параметр формы; $\lambda > 0$ – непрерывный масштабный коэффициент; ξ – непрерывный параметр сдвига; область определения функции: $\xi < x < \xi + \lambda$, с параметрами $\gamma = 0,13374$; $\delta = 0,33703$; $\lambda = 1025,1$; $\xi = 30,046$. Из гистограммы на рис. 10 следует, что неравномерность распределения длин пакетов является весьма существенной. Данный факт определяется механизмом формирования трафика Internet TV. Подобная неравномерность четко прослеживается и на рис. 6.

Гистограмма рис. 10 является мультимодальной, и для получения более точной аппроксимации уместнее провести ее анализ с использова-

нием распределения смеси [7], которое в данном случае можно записать в виде:

$$f(x) = P_1 \cdot f_1(x) + P_2 \cdot f_2(x) + P_3 \cdot f_3(x) + P_4 \cdot f_4(x) + P_5 \cdot f_5(x) + P_6 \cdot f_6(x).$$

Последней записи соответствует шесть явных фрагментов гистограммы, первые пять из которых могут быть аппроксимированы дельта-функциями, а шестой – распределением Gen. Pareto (Парето) с длинами пакетов от 650 до 1000 байт. Получить распределение для данного фрагмента можно, выбрав из исходной статистики лишь пакеты с длинами от 650 до 1000 байт. При этом значения «долей» используемых распределений равны: $P_1 = 0,13$; $P_2 = 0,18$; $P_3 = 0,04$; $P_4 = 0,11$; $P_5 = 0,15$; $P_6 = 0,38$.

Аппроксимация шестого фрагмента представлена на рис. 11, а выражение для распределения Парето имеет вид:

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

где k – непрерывный параметр формы; $\sigma > 0$ – непрерывный масштабный коэффициент; μ – непрерывный параметр сдвига, область определения функции:

$$\begin{aligned} \mu \leq x < +\infty & \quad \text{при } k > 0; \\ \mu \leq x \leq \mu - \sigma / k & \quad \text{при } k < 0, \end{aligned}$$

с параметрами $k = -4,6419$; $\sigma = 1517,9$; $\mu = 674,93$.

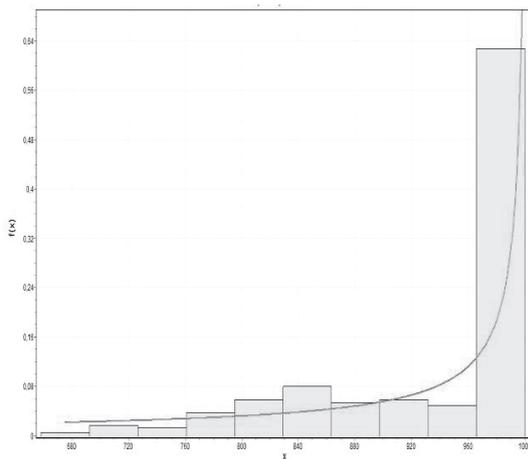


Рис. 11. Распределение плотности вероятности длин пакетов от 650 до 1000 байт для Internet TV

Окончательно для аппроксимации гистограммы рис.10 получим:

$$f(x) = 0,13 \cdot \delta(x - x_1) + 0,18 \cdot \delta(x - x_2) + 0,04 \cdot \delta(x - x_3) + 0,11 \cdot \delta(x - x_4) +$$

$$+ 0,15 \cdot \delta(x - x_5) + 0,38 \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{k}},$$

где x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 соответствуют значениям длин пакетов 33 байта, 100 байт, 233 байта, 367 байт и 500 байт.

Исследование законов распределения трафика IPTV

Анализ законов распределения случайных интервалов времени между пакетами и длин пакетов IPTV был произведен аналогично предыдущему пункту. Иллюстрационный материал для расчета плотности вероятности интервалов времени между пакетами и длин пакетов $f(x)$ представлен на рис. 12 и рис. 13 соответственно.

Распределение, представленное на гистограмме рис. 12, имеет один выраженный пик. Как видно из гистограммы, в исходной статистике существенно преобладают интервалы времени между пакетами от 0,01 с до 0,02 с. Такую гистограмму целесообразно аппроксимировать функцией вида $f(x) = P \cdot \delta(x - x_0)$, где $P \approx 1$, $\delta(x - x_0)$ – дельта-функция, соответствующая пику в точке $x_0 = 0,0122$.

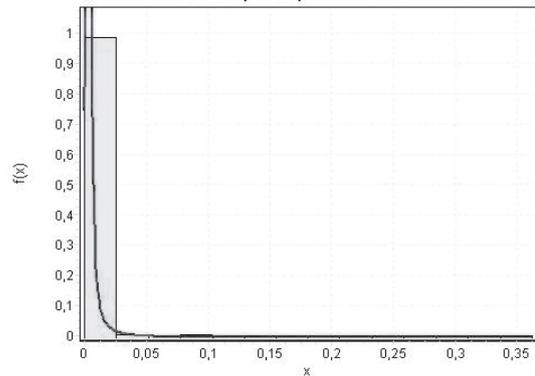


Рис. 12. Распределение плотности вероятности интервалов времени между пакетами IPTV

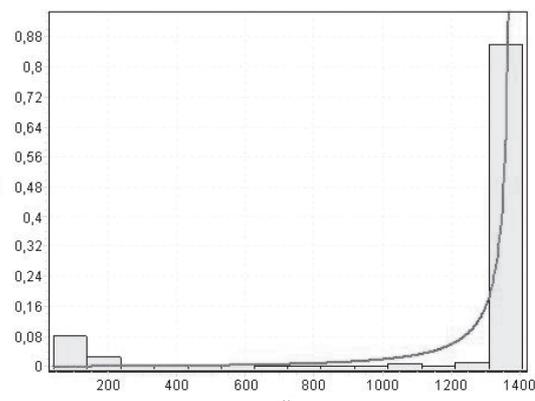


Рис. 13. Распределение плотности вероятности длин пакетов IPTV

Для гистограммы на рис. 13 непосредственное решение задачи аппроксимации дает распределение Gen. Extreme Value (обобщенное экстремальное распределение), плотность распределения вероятности которого имеет вид

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

где k непрерывный параметр формы; $\sigma > 0$ – непрерывный масштабный коэффициент; μ – непрерывный параметр сдвига, область определения функции:

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

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

с параметрами $k = -2,7078$; $\sigma = 100,45$; $\mu = 1340,9$.

Однако, рассуждая аналогично тому, как это было сделано при анализе гистограммы рис. 10, для упрощения аппроксимации в данном случае можно предложить распределение смеси в виде:

$$f(x) = P_1 \cdot \varphi_1(x) + P_2 \cdot \varphi_2(x),$$

где $\varphi_1(x)$ характеризует влияние на общее распределение только пакетов с длинами от 30 до 230 байт, а $\varphi_2(x)$ – пакетов с длинами от 1370 до 1420 байт.

Исключая из исходной статистики пакеты длиной более 1300 байт, для $\varphi_1(x)$ можно получить аппроксимацию в виде (см. рис. 14):

$$\varphi_1(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{k + 1}}.$$

Это распределение Вигг 4Р (четырёхпараметрическое распределение Берра) с параметрами: $k > 0$ – непрерывный параметр формы; $\alpha > 0$ – непрерывный параметр формы; $\beta > 0$ – непрерывный масштабный коэффициент; γ – непрерывный параметр сдвига, область определения функции: $\gamma \leq x < +\infty$, с параметрами $k = -0,06255$; $\alpha = 13,994$; $\beta = 49,73$; $\gamma = 8,2394$.

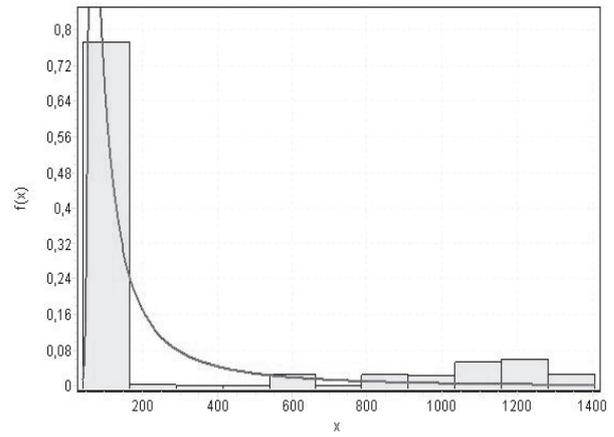


Рис. 14. Распределение плотности вероятности длин пакетов IPTV малой длины

В качестве $\varphi_2(x)$, как следует из рис.13, можно взять $\varphi_2(x) = \delta(x - x_2)$, где $x_2 = 1370$. Соответственно, для P_1 и P_2 выбираются значения, и $P_1 = 0,13$ и $P_2 = 0,87$.

Обобщая сказанное, следует заметить, что пик распределения интервалов времени между пакетами для Internet TV трафика смещен в область от 0 до 2 мс, тогда как для трафика IPTV данный пик имеет диапазон от 0 до 25 мс. Следовательно, интервалы времени между пакетами в трафике IPTV в среднем в десять раз превышают значения трафика Internet TV. При попарном сравнении распределений длительностей пакетов привлекает внимание, что трафик Internet TV – совокупность пакетов различной длины, среди которых трудно выделить явно преобладающие величины, напротив, IPTV трафик имеет явно заметный пик пакетов большой длины (полезная информация). Приведенные выше факты определяются большим числом служебных пакетов в трафике Internet TV, следовательно, и большей плотностью трафика.

Выводы

Установлено, что для трафика Internet TV и IPTV, создаваемого одним пользователем, последовательности интервалов времени между пакетами и длины пакетов обладают самоподобными свойствами. Степень самоподобия трафика IPTV, судя по показателю Херста, заметно больше, чем трафика Internet TV.

Определены вероятностные законы интервалов времени между поступлениями пакетов на обслуживание и вероятностное распределение времени обслуживания в системе для трафика Internet TV и IPTV.

Результаты проводимых исследований необходимы для проведения расчетов параметров

систем и сетей ПД и расчетов параметров оборудования ПД, проводимых методами теории массового обслуживания.

Литература

1. Аджемов А.С., Васильев А.Б., Кучерявый А.Е. Перспективные направления развития сетей связи общего пользования // Электросвязь. № 10, 2008. – С. 6-7.
2. Тарасов Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Особенности видеотрафика для сетей связи следующего поколения // Электросвязь. №1, 2010. – С.37-43.
3. Киреева Н.В., Буранова М.А. Исследование самоподобного трафика с использованием пакета FRACTAN // Т-Comm. №5, 2012. – С. 50-52.
4. Фомин В.В. Статистический анализ IP и VOIP трафика // ИКТ. Т.7, №1, 2009. – С.40-44.
5. Шелухин И.О., Текняшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
6. <http://mediapure.ru>
7. Буранова М.А. Исследование статистических характеристик самоподобного телекоммуникационного трафика // ИКТ. Т.10, №4, 2012. – С. 35-41.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE VIDEO TRAFFIC IN NETWORKS OF THE PACKET TRANSMISSION OF DATA

Buranova M.A., Kartashevskiy V.G., Samoilov M.S.,

Results of researches of a traffic of Internet TV and access IPTV level (the subscriber equipment) are presented in article. Laws of distributions of duration of packages and intervals between receipts of packages are received.

Keywords: , *Internet TV, self-similar, Hurst's parameter, laws of distributions.*

Буранова Марина Анатольевна, старший преподаватель Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности (МСИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 333-53-50; 8-917-148-23-94. E-mail: buranova@psati.ru

Карташевский Вячеслав Григорьевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой МСИБ ПГУТИ. Тел. (846) 332-41-35, 278-56-48, 339-11-08. E-mail: kartash@psati.ru

Самойлов Михаил Сергеевич, аспирант Кафедры МСИБ ПГУТИ. Тел. 8-917-947-89-42. E-mail: samoilovms@mail.ru

УДК 621.395.44

АНАЛИЗ ИНДЕКСА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В СЕТЯХ LTE

Карташевская Е.С.

В статье рассматриваются параметры, отражающие качество функционирования сети LTE, такие как индекс распределения нагрузки и количество неудовлетворенных пользователей. Также приведено моделирование поведения индекса распределения нагрузки при помощи нейро-нечеткой логики.

Ключевые слова: LTE, индекс распределения нагрузки, балансировка нагрузки, нейро-нечеткая логика.

Введение

В сетях LTE такие сервисы реального времени, как VoIP, IPTV, требуют определенного уровня QoS (Quality of Service – качество обслуживания), который может быть достиг-

нут при определенной выделенной скорости передачи данных. Зачастую функциональные параметры сети определяются исходя из соображений постоянного максимального использования канала. Однако в концепции SON (Self-optimizing Networks) для LTE предполагается установка значений функциональных параметров в зависимости от текущих измерений. В [1] в качестве параметров, отражающих качественное функционирование сети, используются индекс распределения нагрузки и количество неудовлетворенных пользователей, рассматриваемые относительно текущей загрузки одного конкретно взятого eNB (eNodeB) и общей загрузки в сети.