

## АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА УЗЛА АГРЕГАЦИИ В МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

**Буранова Марина Анатольевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Мультисервисные сети и информационная безопасность» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

*E-mail:* buranova@psati.ru.

**Карташевский Вячеслав Григорьевич**

доктор технических наук, профессор, декан факультета телекоммуникаций и радиотехники, заведующий кафедрой «Мультисервисные сети и информационная безопасность» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

*E-mail:* kartash@psati.ru.

**Самойлов Михаил Сергеевич**

аспирант кафедры «Мультисервисные сети и информационная безопасность» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

*E-mail:* samoilovms@mail.ru.

*Адрес:* 443010, г. Самара, ул. Л.Толстого, д. 23.

**Аннотация:** В статье подробно рассмотрен трафик проходящий через узел агрегации современной телекоммуникационной сети: объединённый мультимедийный трафик и выделенный видеотрафик IPTV, описана схема регистрации трафика с помощью специального программного обеспечения и ПК. Описан метод исследования зарегистрированного трафика с помощью теории массового обслуживания. В первой части представлены результаты статистических исследований мультимедийного трафика и выделенного видеотрафика IPTV узла агрегации. Анализ статистических характеристик зарегистрированного трафика проведён двумя способами: расчёт параметра Херста и автокорреляционной функции для трафика различного вида, проходящего через узел агрегации. Для сравнения были проведены расчёты автокорреляционной функции видеотрафика IPTV двух уровней: уровня агрегации и уровня доступа. Во второй части статьи представлены гистограммы распределений временных параметров трафика по реальным выборкам и предложены их аппроксимации для объединённого мультимедийного трафика и выделенного видеотрафика IPTV. Исследование показало, что трафик уровня агрегации обладает менее выраженными самоподобными свойствами в отличие от трафика уровня доступа. Схожесть характеристик законов распределений случайных интервалов времени между пакетами и длин пакетов трафика в обоих случаях указывает на большое влияние телевизионного трафика на объединённый трафик уровня агрегации. Это объясняется преобладанием видеотрафика IPTV в суммарном информационном потоке.

**Ключевые слова:** IPTV, мультимедийный трафик, самоподобие, параметр Херста, автокорреляционная функция, законы распределения.

### Введение

Особенностью современных телекоммуникационных сетей, в частности сетей провайдеров, предоставляющих полный спектр телекоммуникационных услуг, является постоянно растущий объём и неоднородность передаваемой информации. Основными услугами в такой сети являются: IPTV, IP-телефония, интернет ресурсы, видео по запросу (VoD, iVoD, nVoD), социальные сети, видео- и аудиоконференции и другие интерактивные сервисы на базе открытых платформ. Существенную часть обще-

го потока трафика от уровня ядра до уровня доступа современной телекоммуникационной сети составляет IPTV-трафик.

Основные методы исследования трафика современных телекоммуникационных сетей базируются на анализе трафиковых трасс (зависимости числа пакетов от времени) [1 - 4]. Данные исследования показали, что современный телекоммуникационный трафик, который можно рассматривать как локально - стационарный случайный процесс, обладает свойствами самоподобия [5]. Установлены харак-

терные законы распределений для интенсивности трафика. Однако исследование трафика методами теории массового обслуживания требует использования таких параметров, как интервалы времени между пакетами и длительности пакетов.

Для получения наиболее полной информации о статистических свойствах трафика мультимедийных приложений необходимо исследовать характеристики потоков, передаваемых на различных уровнях мультисервисной сети, что позволит проследить влияние объединения потоков на уровне агрегации на свойства трафика. На рис. 1 представлена типовая схема сети Metro Ethernet. Регистрация трафика производится в двух точках, определяющих функционирование сети на разных уровнях: в точке *ТМ 1* (точка мониторинга) – регистрация на уровне агрегации, в точке *ТМ 2* – на уровне доступа. При данном подходе можно сравнить статистические свойства агрегированного трафика и трафика поступающего к отдельным абонентам. Степень самоподобия потоков различных приложений уровня доступа установлена в работе [6]. Для трафика уровня агрегации также имеются отдельные исследования, посвященные интенсивности трафика, но такие характеристики как интервалы времени между пакетами и длительности пакетов изучены недостаточно.

### Исходные данные

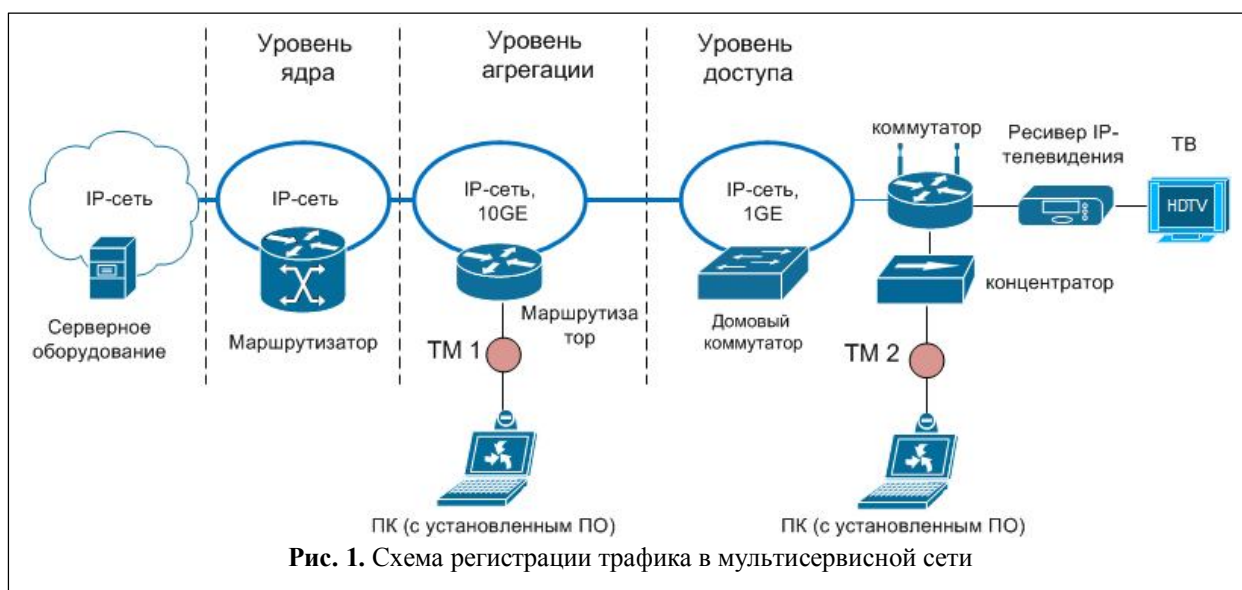
Будем анализировать статистические характеристики трафика узла агрегации мультисервисной сети. При этом анализируется агрегированный в канале передачи трафик и выделенный из общего потока видеотрафик IPTV. Поток перенаправляется методом зеркалирования на скорости передачи 1 Гбит/с в точку *ТМ 1*, где регистрируется согласно схеме рис. 1 с помощью программы WireShark. Количество членов суммарного ряда 100 000 пакетов.

### Анализ трафика на самоподобие

Как известно [1], одним из основных признаков самоподобия любого случайного процесса является медленное (гиперболическое) убывание отсчетов корреляционной функции, медленное затухание дисперсии выборочного среднего, а также справедливость законов распределения с тяжёлыми хвостами [7]. Данные признаки определяют и методы обнаружения самоподобных процессов. Одними из наиболее известных и распространённых методов определения долговременной зависимости является оценивание параметра Херста и вычисление автокорреляционной функции [8, 9].

Оценка параметра Херста проводилась на основе  $R/S$ -анализа [10]. Параметр Херста ( $H$ ) вычислялся для четырёх статистических характеристик трафика уровня агрегации:

- объединённый трафик – интервалы времени между пакетами и длины пакетов;
- выделенный видеотрафик IPTV – интер-



валы времени между пакетами и длины пакетов. Результаты расчётов сведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Значения параметра Херста для параметров трафика уровня агрегации

Источник	Интервалы времени между пакетами – агрегированный трафик	Длины пакетов – агрегированный трафик	Интервалы времени между пакетами – видеотрафик IPTV	Длины пакетов – видеотрафик IPTV
Параметр Херста, H	0,650	0,582	0,597	0,657

Анализируя данные таблицы 1 можно проследить уменьшение степени самоподобия трафика уровня агрегации по сравнению с трафиком уровня доступа [6]. Это соответствует известному результату, согласно которому суммарный поток при большом числе составных потоков стремится к пуассоновскому.

Телекоммуникационный трафик, регистрируемый как случайный процесс в дискретном времени, обладает долговременной зависимостью. Считая, что процесс обладает свойством эргодичности, будем рассчитывать коэффициенты корреляции в соответствии с выражением:

$$R(k) = \frac{1}{N-k} \cdot \frac{\sum_{i=0}^{N-k} (X_i - \bar{X}) \cdot (X_{i+k} - \bar{X})}{\frac{1}{N} \sum_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad (1)$$

где  $N$  - общее число элементов последовательности;  $X_i$  -  $i$ -ый член последовательности  $X$ ;  $\bar{X}$  - выборочное среднее последовательности  $X$ .

Анализ АКФ проводился для четырёх выборок телекоммуникационного трафика уровня агрегации: интервалы времени между пакетами и длины пакетов агрегированного трафика и выделенного видеотрафика IPTV; двух выборок IPTV трафика уровня доступа: интервалы времени между пакетами и длины пакетов. Графики АКФ для первых членов ряда представлены на рис. 2-4.

Самоподобие характеризуется долговременной зависимостью наблюдаемых процессов. Для асимптотически самоподобного случайного процесса АКФ обладает гиперболическим

затуханием и не суммируема  $\sum_k R(k) = \infty$ .

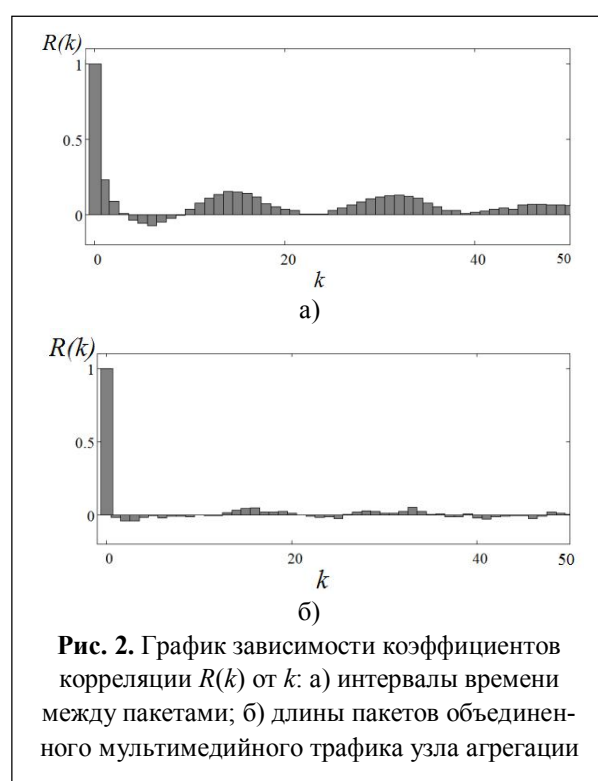
При этом значения показателя Херста удовлетворяют соотношению  $0,5 < H < 1$ .

На рис.5 построена АКФ самоподобного случайного процесса, рассчитанная по формуле при  $k \geq 1$ :

$$R(k) = \frac{1}{2} \cdot ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}), \quad (2)$$

где  $H$  - параметр Херста.

Данный график построен для  $H = 0,650$  из таблицы 1.



**Рис. 2.** График зависимости коэффициентов корреляции  $R(k)$  от  $k$ : а) интервалы времени между пакетами; б) длины пакетов объединенного мультимедийного трафика узла агрегации

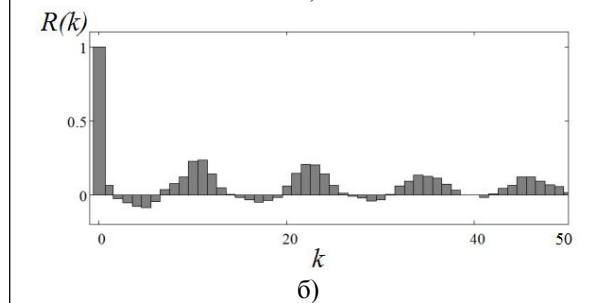
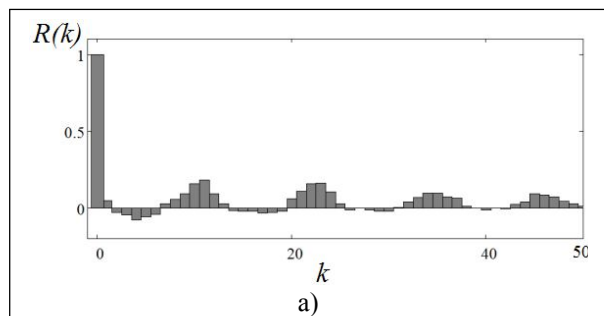
С другой стороны АКФ рис. 2, 3 характеризуются достаточно выраженной периодикой, демонстрируя скрытые периодические процессы внутри рядов, что также может являться признаком самоподобия.

Графики АКФ рис. 4, характеризующие медленным затуханием отсчётов (как на графике рис.5) позволяет утверждать, что видеотрафик IPTV - самоподобный.

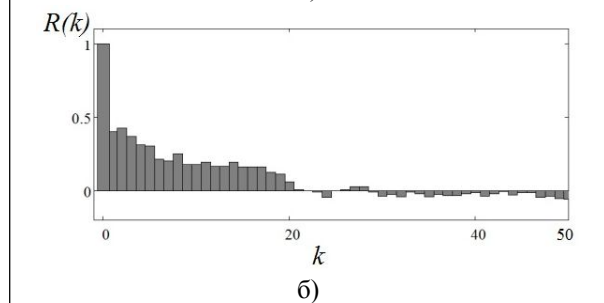
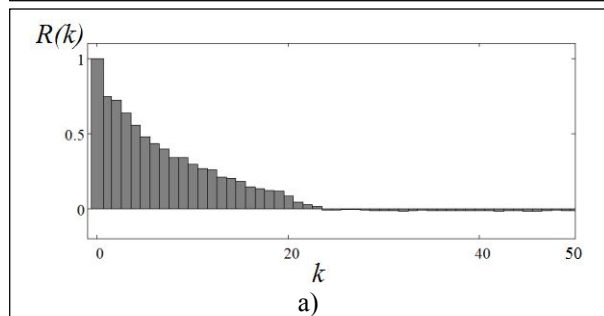
Трафик уровня агрегации (выделенный IPTV и объединённый) мультисервисной сети связи провайдера обладает признаками самоподобия в меньшей степени, чем IPTV трафик

на уровне доступа, что согласуется с результатами, полученными на основе оценки параметра Херста.

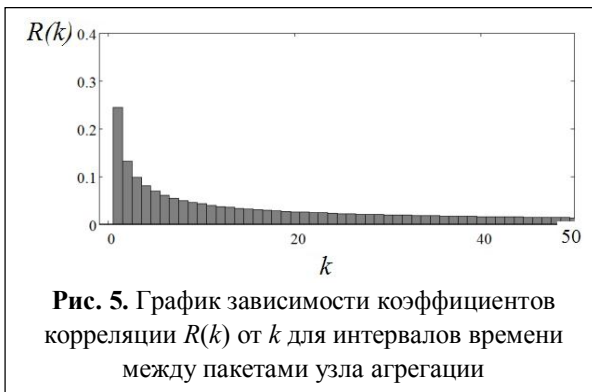
Самоподобные процессы характеризуются, в том числе, распределениями с тяжёлыми хвостам.



**Рис. 3.** График зависимости коэффициентов корреляции  $R(k)$  от  $k$ : а) интервалы времени между пакетами; б) длины пакетов выделенного IPTV трафика узла агрегации



**Рис. 4.** График зависимости коэффициентов корреляции  $R(k)$  от  $k$ : а) интервалы времени между пакетами; б) длины пакетов выделенного IPTV трафика узла доступа

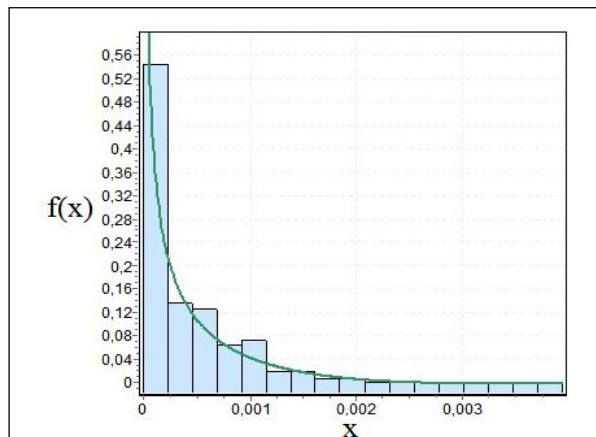


**Рис. 5.** График зависимости коэффициентов корреляции  $R(k)$  от  $k$  для интервалов времени между пакетами узла агрегации

### Исследование законов распределения параметров трафика

Проанализируем законы распределений, как случайных величин, исследуемых интервалов времени между поступлениями пакетов и длительностей пакетов с использованием программы EasyFit [11]. Аппроксимацию гистограмм проведём по критерию Колмогорова – Смирнова.

Полученные гистограммы и плотности вероятности  $f(x)$  интервалов времени между пакетами в потоках агрегированного трафика и выделенного из объединённого трафика IPTV уровня агрегации представлены на рис. 6, 7 соответственно.



**Рис. 6.** Плотность вероятности интервалов времени между пакетами агрегированного мультимедийного трафика узла агрегации мультисервиной сети

Для рис. 6 наиболее подходящим является Beta-распределение, записываемое в виде:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \cdot \frac{(x-\alpha)^{\alpha_1-1} \cdot (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – непрерывные параметры формы, ( $\alpha_1, \alpha_2 > 0$ );  $a, b$  – непрерывные параметры границ ( $a > b$ ), область определения функции:  $a < x < b$ , с параметрами  $\alpha_1 = 0,4378$ ,  $\alpha_2 = 0,2713$ ,  $a = 6,075 \cdot 10^{-15}$ ,  $b = 0,0039$ .

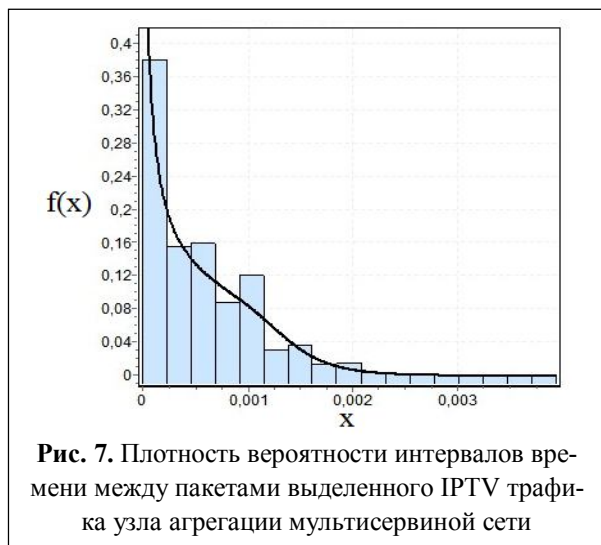


Рис. 7. Плотность вероятности интервалов времени между пакетами выделенного IPTV трафика узла агрегации мультисервисной сети

Распределение рис. 7 (Dagum - распределение) имеет вид:

$$f(x) = \frac{\alpha k \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^\alpha \right)^{k+1}}, \quad (4)$$

где  $k$  – непрерывный параметр формы ( $k > 0$ );  $\alpha$  – непрерывный параметр формы ( $\alpha > 0$ );  $\beta$  – непрерывный масштабный коэффициент ( $\beta > 0$ );  $\gamma$  – непрерывный параметр сдвига, область определения функции:  $\gamma \leq x < +\infty$ , с параметрами  $k = 0,08317$ ,  $\varepsilon = 5,9069$ ,  $\beta = 0,00144$ ,  $\gamma = 0$ .

Прослеживается сходство распределений интервалов времени между пакетами для рассматриваемых потоков. Это обусловлено преобладанием IPTV трафика в объединённом потоке на уровне агрегации.

На рис. 8 и 9 представлены гистограммы для длин пакетов агрегированного телекоммуникационного трафика и видеотрафика IPTV соответственно.

Гистограмму, представленную на рис. 8, можно аппроксимировать распределением смеси в виде:

$$f(x) = P_1 \cdot f_1(x) + P_2 \cdot f_2(x), \quad (5)$$

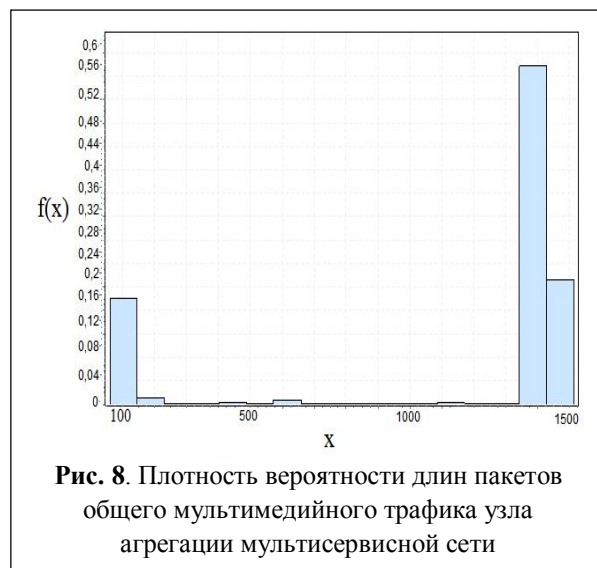


Рис. 8. Плотность вероятности длин пакетов общего мультимедийного трафика узла агрегации мультисервисной сети

где в качестве  $f_1(x)$  можно взять дельта-функцию  $\delta(x-x_1)$  в точке  $x_1$ , ( $x_1 = 100$  байт). Для второго фрагмента (1330-1500 байт) – двухпараметрическое распределение Chi-squared (Хи-квадрат), с исключением коротких пакетов (60-140 байт).

$$f_2(x) = \frac{(x-\gamma)^{\nu/2-1} \exp(-(x-\gamma)/2)}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)}, \quad (6)$$

где  $\nu$  – число степеней свободы (положительное целое число),  $\gamma$  – непрерывный параметр сдвига, область определения функции:  $\gamma \leq x < +\infty$ , с параметрами  $\nu = 1342$ ,  $\gamma = 48,862$ .

При этом значения «долей» используемых распределений с учётом нормировки равны:  $P_1 = 0,19$ ,  $P_2 = 0,81$ .

С учётом сделанного выбора, выражение для  $f(x)$  будет иметь вид:

$$f(x) = 0,19 \cdot \delta(x-x_1) + 0,81 \cdot \frac{(x-\gamma)^{\nu/2-1} \exp(-(x-\gamma)/2)}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)}. \quad (7)$$

Гистограмма длин пакетов выделенного IPTV трафика, представленная на рис. 9, имеет два явных пика, разнесённых к областям малых и больших длин пакетов, сосредоточенных в интервалах: 60-145, 1360-1406 байт.

Аналогично анализу длин пакетов для агрегированного трафика рис. 9 для упрощения аппроксимации можно предложить распределение смеси в следующем виде:

$$f(x) = P_1 \cdot \delta(x-x_1) + P_2 \cdot \delta(x-x_2), \quad (8)$$

где  $P_1=0,18$ ,  $P_2=0,82$ ,  $\delta(x-x_1)$  – дельта функция в точке  $x_1=100$ , соответствующей первому пику;  $\delta(x-x_2)$  – дельта функция в точке  $x_2=1370$ , соответствующей второму пику. В результате получим:

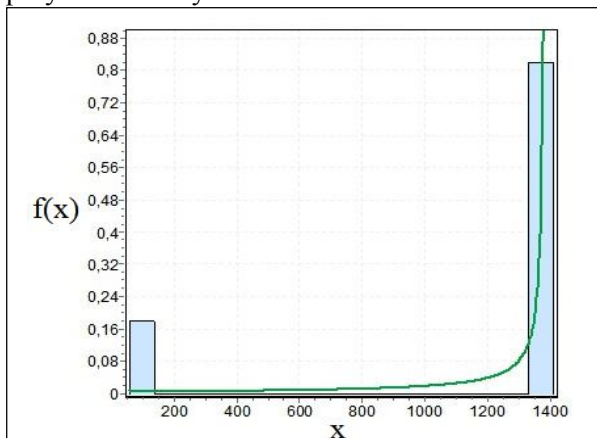


Рис. 9. Плотность вероятности длин пакетов выделенного IPTV трафика узла агрегации СПД

$$f(x) = 0,18 \cdot \delta(x - x_1) + 0,82 \cdot \delta(x - x_2). \quad (9)$$

Из анализа гистограмм исследуемого трафика и их аппроксимаций следует, что законы распределения интервалов времени между пакетами общего мультимедийного и выделенного IPTV трафика узла агрегации мультисервисной сети имеют значительные сходства и являются практически идентичными, что объясняется серьезным влиянием видеотрафика IPTV на агрегированный поток, поскольку доля IPTV-трафика является доминирующей в общем потоке.

Кроме того, длины пакетов общего мультимедийного и выделенного IPTV трафика узла агрегации имеют бимодальные распределения. Особенностью распределений длин пакетов агрегированного трафика является преобладание пакетов с длинами из диапазонов от 50 до 150 байт и от 1300 до 1500 байт.

### Выводы

Исследование показало, что трафик уровня агрегации (суммарный и выделенный IPTV) в меньшей степени обладает самоподобными свойствами (по численным оценкам параметра Херста и графикам АКФ), чем трафик уровня доступа. Схожесть законов распределений случайных интервалов времени между пакетами и длин пакетов трафика общего и IPTV, указывает на большое влияние телевизионного

трафика на трафик уровня агрегации. Это можно объяснить преобладанием видеотрафика IPTV в суммарном информационном потоке.

Для получения достоверных оценок параметров устройств, обрабатывающих самоподобный трафик, требуется развитие методов анализа, используемых в классической теории массового обслуживания, предполагающей независимость составляющих трафиковых потоков.

### Литература

1. Шелухин О.И. Мультифракталлы. Инфокоммуникационные приложения – Горячая Линия - Телеком, 2011. 578 с.
2. Тарасов Д.В., Пармонов А.И., Кучерявый А.Е. Особенности видеотрафика для сетей связи следующего поколения // Электросвязь. – 2010. – №1. – С.37-43.
3. Самойлов М.С. Анализ статистических характеристик интенсивности видеотрафика в сети IPTV// 68-ая Международная Конференция, «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий».
4. Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Анализ сетевого трафика методом агрегирования. [Электронный ресурс] 2010. – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/3247/1/Анализ%20сетевого%20трафика%20методом%20агрегирования.pdf>.
5. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview [Электронный ресурс] 2003. - Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>.
6. Самойлов М.С., Буранова М.А., Карташевский В.Г. Сравнительный анализ статистических характеристик видеотрафика в сетях пакетной передачи данных // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – №3. – Том 10. – С. 35-41.
7. Гуда А.Н., Бутакова М.А., Москат Н.А. Модели оценки параметров телекоммуникационного трафика в автоматизированных информационно-управляющих системах [Электронный ресурс] 2010. - Режим доступа: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2010/02/12.pdf>.
8. Анализ свойства самоподобия веб-ресурса. - Режим доступа: <http://morozov.krc.karelia.ru/articles/kp/indei.htm>
9. Фомин В.В. Статистический анализ IP и VoIP трафика // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – №1. – Том 7. – С. 40-44.
10. Венцлавович Э.Е., Казакевич В.С. R/S анализ временных рядов излучения импульсного электронизационного СО-лазера // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2007. – Т. 9, №3.
11. EasyFit: описание и функции: официальный сайт компании SOFTSALAD. [Электронный ре-

сурс] 2014. - РЕЖИМ доступа: <http://www.softsalad.ru/software/easyfit.html#1>.

Поступила 12 мая 2014 г.

English

## Analysis of statistical performances of multimedia traffic of aggregation node in the multiservice network

**Marina Anatolyevna Buranova** – Candidate of Engineering, Associate Professor Department of Multiservice Networks and Information Security Povolzhje state university of telecommunications and information science. *E-mail:* buranova@psati.ru.

**Vyacheslav Grigoryevich Kartashevsky** – Doctor in Engineering, Professor, Head of Department of Multiservice Networks and Information Security Povolzhje state university of telecommunications and information science. *E-mail:* kartash@psati.ru.

**Michail Sergejevich Samoïlov** – Department of Multiservice Networks and Information Security Povolzhje state university of telecommunications and information science.

*E-mail:* samoïlovms@mail.ru.

*Address:* 443010, Samara, ulitsa L.Tolstogo, 23.

**Abstract:** The article considers the traffic passing through aggregation node of modern telecommunication network: combined multimedia traffic and selected video traffic IPTV, the method of the traffic registration by means of special software and PC is described. The research technique of the registered traffic by means of the queuing theory is described. The results of statistical investigations of multimedia traffic and selected video traffic of IPTV of aggregation node is presented in the first part. The analysis of statistical performances of the registered traffic is conducted by two methods: Hurst parameter determination and autocorrelation function for the traffic of different kinds passing through the aggregation node. The calculations of autocorrelation function of video traffic IPTV of two levels: level of aggregation and access level were performed for the purpose of comparison. The second part of the article presents bar graphs of distribution of temporary traffic parameters by actual samplings and their approximations for the combined multimedia traffic and selected video traffic IPTV are suggested. The investigation proved that the traffic of aggregation level possesses less expressed self-similar properties contrary to the traffic of access level. Similarity of performances of distribution laws of random time intervals between packets and lengths of packets of the traffic in both events indicates great influence of television traffic on the joint traffic of aggregation. It can be explained by the prevailing video traffic IPTV in the total information stream.

**Key words:** IPTV, multimedia traffic, self-similarity, Hurst parameters, autocorrelation function, distribution laws.

## References

1. *Sheluhin O.I.* Multifractals. Infocommunication application. Gorjachaja Linija - Telekom, 2011, 578 p.
2. *Tarasov D.V., Paramonov A.I., Kucherjavu A.E.* Peculiarities of video traffic for communications networks of the next generation. *Jelektrosvjaz.* 2010. №1. P.37-43.
3. *Samoïlov M.S.* Analysis of statistic characteristics of video traffic intensity in IPTV network. the 68th International Conference, "Radio electronic devices and the systems for info communicative technologies".
4. *Belkov D.V., Edemskaïa E.N.* Analysis of net traffic method by aggregation method. [Electronic resource] <http://ea.donntu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/3247/1/Анализ%20сетевого%20трафика%20методом%20агрегирования.pdf>.
5. *Park K.* Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Electronic resource] 2003 URL: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>.
6. *Samoïlov M.S., Buranova M.A.* The comparative analysis of statistical performances of video traffic in packet networks. *Infokommunikacionnye tehnologii.* 2013. №3. Vol 10. P. 35-41.
7. *Guda A.N., Butakova M.A., Moskat N.A.* Model of parameter estimation of telecommunication traffic in computerized information - controlling systems. [Electronic resource] 2010 URL: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2010/02/12.pdf>.
8. <http://morozov.krc.karelia.ru/articles/kp/indei.htm>
9. *Fomin V.V.* Statistical analysis of IP and VoIP of the traffic// *Infokommunikacionnye tehnologii.* 2009. №1. Volume 7. P. 40-44.
10. *Venclavovich Je.E., Kazakevich V.S.* R/S time series analysis of irradiation of pulsing electroionization SO laser. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk.* 2007. Vol. 9, №3.
11. EasyFit: specification statement and functions: official site of the company of SOFTSALAD. [Electronic resource] 2014 URL: <http://www.softsalad.ru/software/easyfit.html#1>.