

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА ПРИ ОБРАБОТКЕ В СЕТИ MPLS

Букашкин Сергей Анатольевич

доктор технических наук, профессор, академик Академии криптографии Российской Федерации,
Генеральный Директор АО "Концерн "Автоматика".

E-mail: mail@ao-avtomatika.ru.

Адрес: 127106, г. Москва, ул. Ботаническая, 25.

Буранова Марина Анатольевна

к.т.н., доцент кафедры Мультисервисных сетей и информационной безопасности Поволжского
государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: mburanova@yandex.ru, buranova-ma@psuti.ru.

Сапрыкин Александр Вячеславович

соискатель кафедры ИИТ ФТР ПГУТИ Поволжского государственного университета
телекоммуникаций и информатики.

E-mail: msibs@psuti.ru.

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

Аннотация: Особенностью современных инфокоммуникационных сетей является необходимость обеспечения определенного уровня качества обслуживания для разнородного обрабатываемого трафика, существенную долю которого составляют мультимедийные потоки. В работе проведен анализ качества обработки мультимедийного трафика сети 4G и IPTV-трафика в сети MPLS. Проведено исследование статистической структуры мультимедийного трафика. Проанализирована математическая модель исследуемого трафика, получены законы распределений длительности пакетов и интервалов времени между пакетами. Проведен анализ корреляционных свойств последовательностей интервалов времени между пакетами и длин пакетов мультимедийного трафика сети 4G и трафика IPTV. Исследовано влияния свойств реального самоподобного трафика на показатели качества функционирования сети MPLS с использованием симулятора ns2. По реально наблюдаемому трафику определены вероятностные законы интервалов поступления пакетов на обслуживание и вероятностное распределение времени обслуживания пакетов в системе для обработки мультимедийного трафика сети 4G и IPTV-трафика на уровне доступа, получено, что данные распределения относятся к классу распределений с «тяжелым хвостом». Установлено, что для трафика сети 4G наблюдается долговременная корреляционная зависимость длин пакетов. В случае IPTV-трафика корреляционные связи практически отсутствуют. Определено, что в случае обработки в сети MPLS коррелированного и некоррелированного трафика параметры качества обслуживания остаются примерно одинаковыми. Это связано с тем, что при обработке коррелированных потоков возникающие негативные эффекты (например, высокая пачечность) нивелируются высокой вероятностью сброса пакетов в граничном узле.

Ключевые слова: мультимедийный трафик, MPLS, корреляционные свойства, законы распределений, имитационная модель, ns2.

Введение

Увеличение числа приложений и характера нагрузки в современных инфокоммуникационных сетях привело к тому, что обеспечение качества обслуживания (QoS – Quality of Service) стало одной из наиболее важных задач. При проектировании и обслуживании работы инфокоммуникационных сетей следует учитывать тот факт, что основную долю нагрузки

генерируют мультимедиа приложения [1]. При этом мультимедийная нагрузка занимает все большую долю и в трафике ведомственных сетей, в том числе сетей специального назначения (ССН), основное направление развития которых направлено на создание масштабируемых, мобильных, надежных и безопасных сетей с контекстно-зависимым представлением сервисов [3,4].

Как показано в [3,4, 5] сети ССН требуют серьезной модернизации и одной из наиболее предпочтительных технологий, в этой связи, является MPLS. Известно, что MPLS [11, 12] позволяет эффективно обеспечить требуемый уровень качества обслуживания в условиях обработки разнородного трафика, который является типичным для современных сетей. Кроме того, данная технология обладает гибкими и эффективными механизмами управления трафиком и ресурсами сети, что актуально для ССН [5,6].

Анализ статистики трафика

В работе проведен анализ качества обработки мультимедийного трафика в сети MPLS. При передаче мультимедийного трафика любого типа важным является удержание на должном уровне задержки и вариации задержки (джиттера), а также доли потерянных пакетов.

Для эффективного сетевого управления и возможности предотвращения перегрузок в сети важно понимать статистическую структуру обрабатываемых потоков и их корреляционные свойства. Традиционно для оценки эффективности функционирования телекоммуникационных систем используют математический аппарат ТМО (теории массового обслуживания), где для описания систем массового обслуживания (СМО) требуются законы распределения интервалов между пакетами и интервалов времени обслуживания пакетов (длин пакетов).

При этом классическая ТМО при анализе работы любой СМО предполагает, что упомянутые потоки интервалов времени образованы независимыми (в первом приближении некоррелированными) элементами.

В работе рассмотрены два варианта мультимедийного трафика:

- первый – мультимедийный трафик, зарегистрированный в условиях беспроводной передачи,
- второй – зарегистрированный на уровне доступа сети оператора связи трафик IPTV.

Ранее в [13, 14, 15] показано, что анализируемые последовательности обладают свойствами самоподобия, следовательно, не обладают свойствами простейших потоков, где распределения интервалов времени между заявками отличаются от экспоненциального и обладают ярко выраженными корреляционными свойствами. Системы обработки данного трафика лучше описываются моделями $G/G/1$ или $G/G/n$.

Для разработки корректных моделей самоподобного мультимедийного трафика необходим детальный анализ распределений, описывающих случайные значения интервалов времени между пакетами и интервалов обработки пакетов, а также анализ корреляционных свойств последовательностей данных интервалов.

Многочисленные исследования [2, 7] показывают, что для мультимедийного трафика характерны распределения с «тяжелыми хвостами». В качестве моделей такого трафика обычно предлагается применять модели на основе распределения Парето или Вейбулла. Наиболее часто применяют модели на основе on-off процесса. Кроме того, в качестве модели видеотрафика нередко используют модель трафика с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR).

Законы распределения случайных интервалов времени между пакетами и длин пакетов были определены согласно критерию Колмогорова-Смирнова, в программе EasyFit.

Для мультимедийного трафика сети 4G гистограммы распределений интервалов времени между пакетами и длин пакетов представлены на рисунке 1а и б соответственно.

На рис. 1а гистограмма аппроксимирована распределением Cauchy (Коши):

$$F(x) = \left(\pi \sigma \left(1 + \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right) \right)^{-1} \quad (1)$$

где σ - непрерывный параметр масштаба; μ - непрерывный параметр сдвига.

А гистограмма на рис. 1б может быть аппроксимирована распределением смеси в виде:

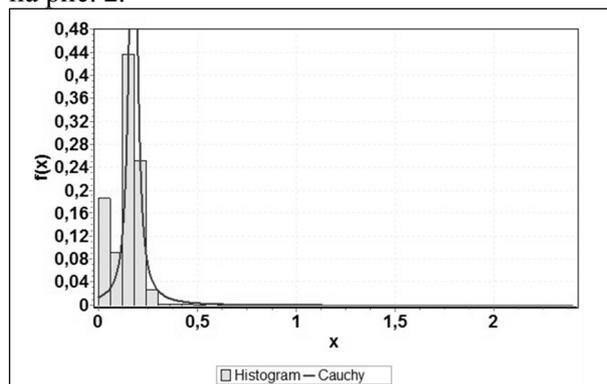
$$f(x) = P_1 \delta(x - x_0) + P_2 \delta(x - x_1), \quad (2)$$

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;

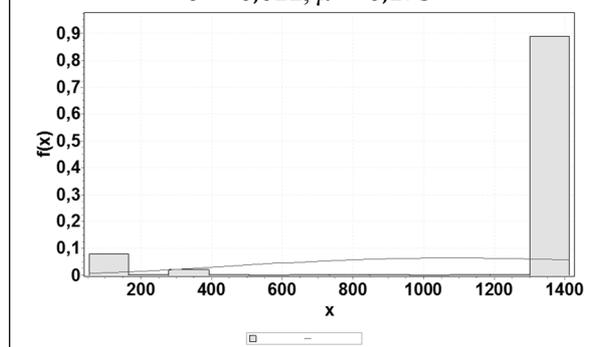
С учетом условия нормировки ($P_1 + P_2 = 1$) выражение (2) запишется в виде:

$$f(x) = 0,09\delta(x - x_0) + 0,91\delta(x - x_1). \quad (3)$$

Более детальный анализ гистограммы рис. 1б показывает, что основной вклад дают длины пакетов от 20 до 180 байт и от 1300 до 1400 байт. Проведя анализ исходной статистики без учета длин пакетов 1300 до 1400 байт (второй пик), получим гистограмму, представленную на рис. 2.



а) интервалов времени между пакетами, результат аппроксимации распределением Cauchy. Значение параметров распределения Cauchy: $\sigma = 0,022, \mu = 0,175$



б) распределение длин пакетов

Рис. 1. Гистограммы распределения случайных величин

Первый фрагмент гистограммы (без учета больших значений) рис. 1б может быть аппроксимирован распределением Weibull (Вейбулла) – значение параметров: $\alpha = 0,46, \beta = 127,3, \gamma = 54$, принадлежащим к классу распределений с «тяжелыми хвостами».

Распределение Weibull (Вейбулла) имеет вид:

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

где α – непрерывный параметр формы ($\alpha > 0$), β – непрерывный масштабный коэффициент ($\beta > 0$), γ – непрерывный параметр сдвига

В итоге используя полученные результаты и аппроксимации распределений длин пакетов, можем получить плотность функции распределения для гистограммы рисунке 1б, подставив в выражение (2) вместо первой δ - функции распределение Вейбулла:

$$f(x) = 0,09 \cdot \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) + 0,91 \cdot \delta(x - x_1), \quad (5)$$

где $x_1 = 1350$.

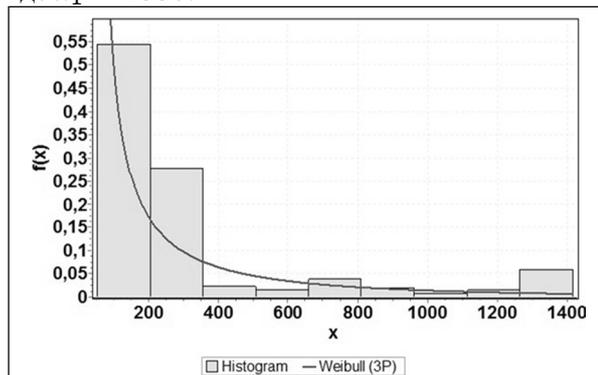


Рис. 2. Гистограммы распределения длин пакетов распределения Weibull (Вейбулла) без вклада больших значений длин пакетов

Аналогично исследуем статистическую структуру трафика IPTV. Гистограммы и их аппроксимации для интервалов времени между пакетами и длин пакетов представлены на рис. 3а и 3б соответственно.

Для распределения длин пакетов нетрудно заметить, что, как и в случае пакетов мультимедийного трафика сети 4G, имеем два выраженных пика. Рассуждая аналогично случаю анализа гистограммы рис. 1б аппроксимацию данной гистограммы представим распределением смеси вида:

$$F(x) = P_3\delta(x - x_3) + P_4\delta(x - x_4), \quad (6)$$

где $x_3 = 100$ байт; $x_4 = 1400$ байт.

С учетом нормировки, $P_3 = 0,18, P_4 = 0,82$.

Случайные процессы могут проявлять свойство долговременной зависимости между событиями через достаточно большие промежутки времени. Можно предположить, что долговременная зависимость между событиями может негативно сказаться на параметрах функционирования систем, обрабатывающих подобный трафик.

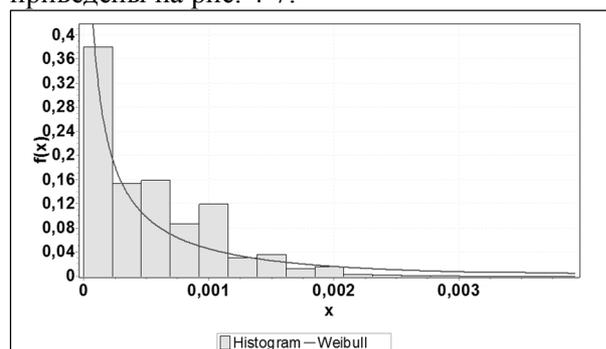
Телекоммуникационный трафик, являющийся случайным процессом, обладает долговременной зависимостью, если АКФ (автокорреляционная функция) не суммируема

($\sum_k R(k) = \infty$). Расчет АКФ выборочной реализации случайного процесса можно провести по формуле:

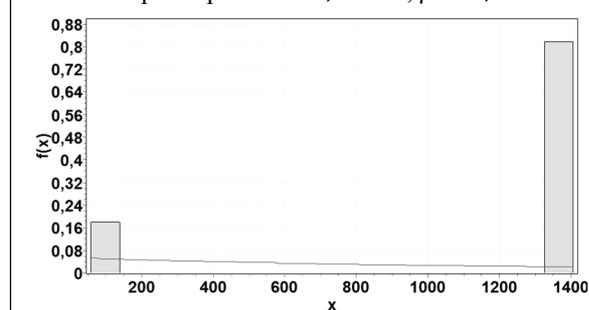
$$R(k) = \frac{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2},$$

где \bar{X} – выборочное среднее значение, N – объем выборки.

График зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ для последовательностей интервалов времени между пакетами и длин пакетов приведены на рис. 4-7.



а) интервалов времени между пакетами, результат аппроксимации распределения Weibull. Значение параметров: $\sigma = 0,57717$, $\mu = 0,000517$



б) распределение длин пакетов

Рис. 3. Гистограммы распределения случайных величин



Рис. 4. График зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ интервалов времени между пакетами мультимедийного трафика сети 4G

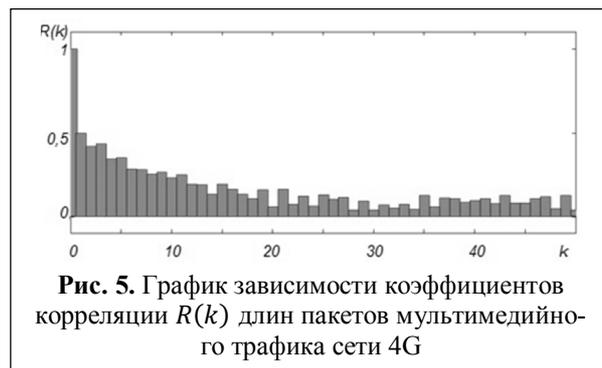


Рис. 5. График зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ длин пакетов мультимедийного трафика сети 4G

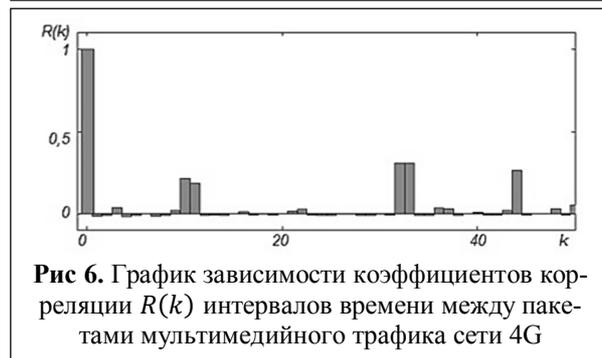


Рис. 6. График зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ интервалов времени между пакетами мультимедийного трафика сети 4G



Рис. 7. График зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ длин пакетов мультимедийного трафика IPTV

Анализируя графики зависимости коэффициентов корреляции $R(k)$ для последовательностей интервалов времени между пакетами мультимедийного трафика и трафика IPTV, а также для длин пакетов IPTV трафика можно заметить, что здесь корреляции практически отсутствуют. В случае же длин пакетов мультимедийного трафика сети 4G наблюдается явная долговременная корреляционная зависимость.

Моделирование сети MPLS в ns2

Анализ влияния свойств реального самоподобного трафика на показатели качества функционирования можно провести с использованием симулятора ns2 [8, 9]. Данный программный продукт дает возможность моделировать обра-

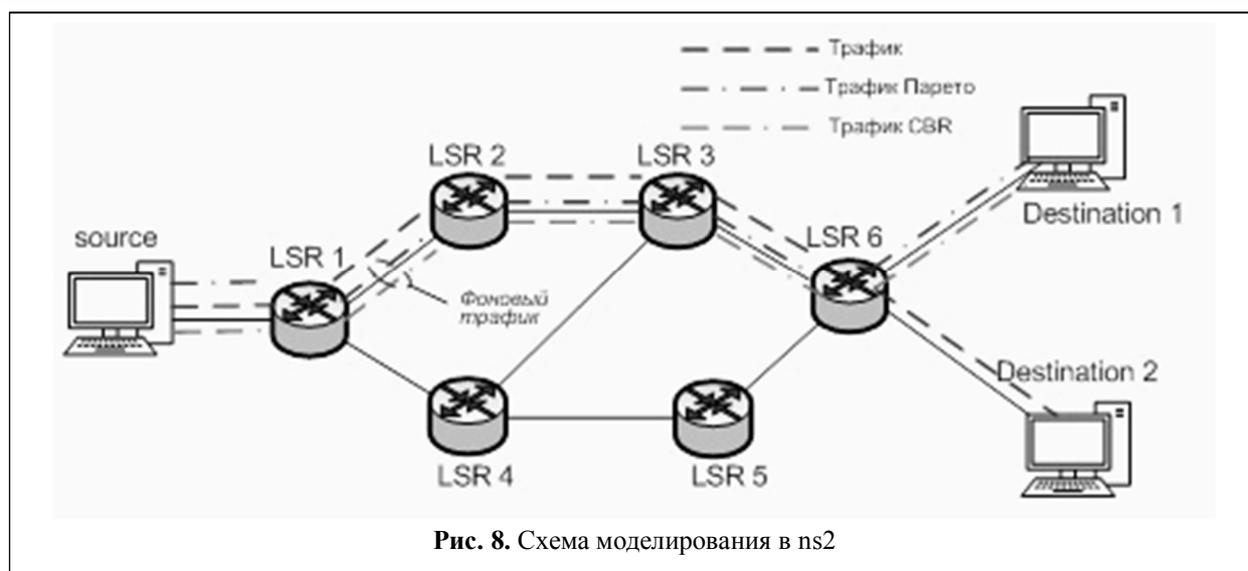


Рис. 8. Схема моделирования в ns2

ботку различных видов трафика, с различными законами распределения, в том числе зарегистрированного на реальной сети. В качестве фрагмента MPLS-сети, моделируемой в ns2, выбрана схема рис. 8 [8].

Для имитации ситуации в реальной сети наряду с обработкой исследуемого трафика обрабатывается фоновый трафик. Фоновым для основного является сочетание CBR и On-Off-трафика с распределением Парето On и Off периодов.

Исследуемый трафик передается между источником (Source) и получателем 1 (Destination1). Конкурирующий с данным потоком фоновый трафик передается от источника к получателю 2 (destination2) и реализуется генерацией CBR и on-off-трафика. В качестве основного потока в первом случае обрабатывается мультимедийный трафик сети 4G, во втором – трафик IPTV.

Представленная на рис. 8 схема позволяет

обслуживания: задержка, джиттер и доля потерянных пакетов.

Для мультимедиа-трафика изменение задержки пакетов во времени, а также изменения джиттера во времени приведены на рис. 9 и 10 соответственно.

Для трафика IPTV изменение задержки пакетов во времени и джиттера во времени приведены на рис. 11 и 12 соответственно.

Результаты моделирования представлены в таблице.

Анализ результатов моделирования показал, что в процессе обработки трафика в сети MPLS те параметры QoS, которые традиционно используются для оценки эффективности обработки потоков [10], мало отличаются для различных моделей трафика. Наиболее приближенные значения параметров QoS к реальному трафику получены для модели в виде On-off процесса с распределением Парето. При этом, такой параметр, как вероятность сброса

Таблица. Параметры QoS в сети MPLS при обработке различных типов трафика

Тип трафика	CBR	On-off с распределением Парето	IPTV	Мультимедийный трафик сети 4G
Параметры QoS				
Задержка, мс	80	91	82	91
Джиттер, мс	5	0,51	8	9
Вероятность потерь, %	0	5	0,3	0,5
Вероятность сброса, %	6,5	0,3	12	23

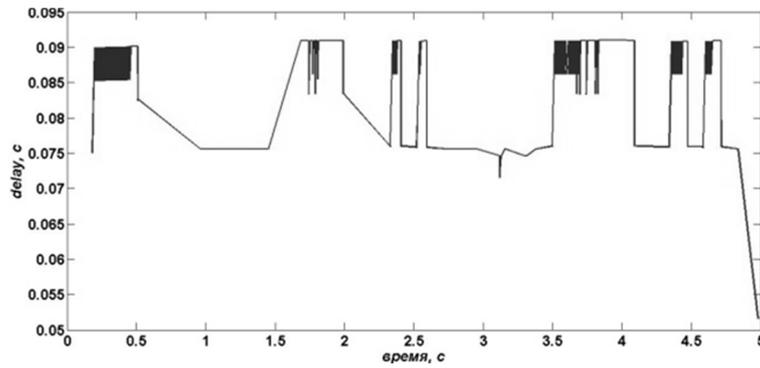


Рис. 9. Изменение задержки при моделировании в ns2 для мультимедийного трафика сети 4G

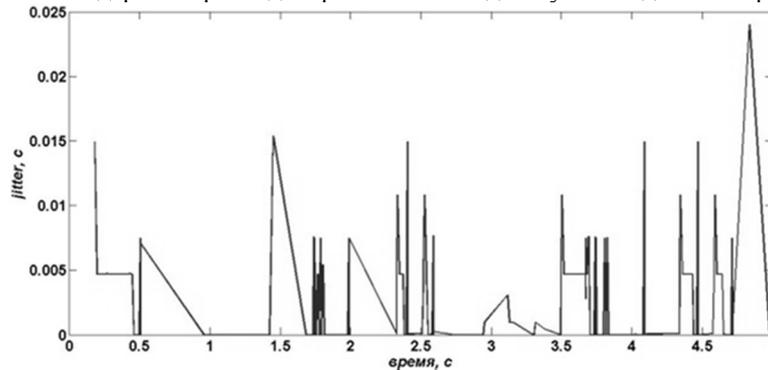


Рис. 10. Изменение джиттера при моделировании в ns2 для мультимедийного трафика сети 4G

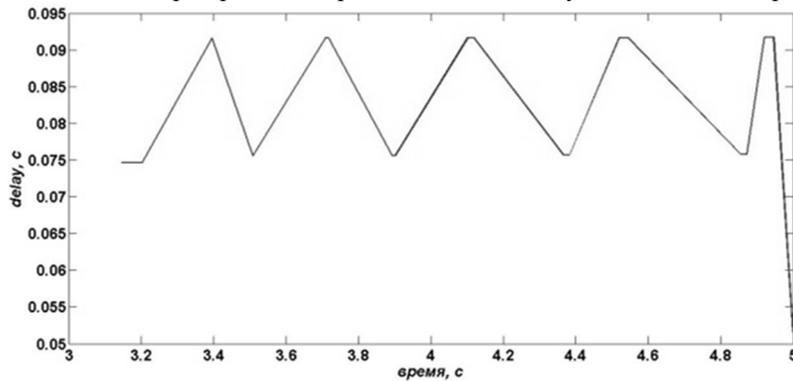


Рис. 11. Изменение задержки при моделировании в ns2 для трафика IPTV

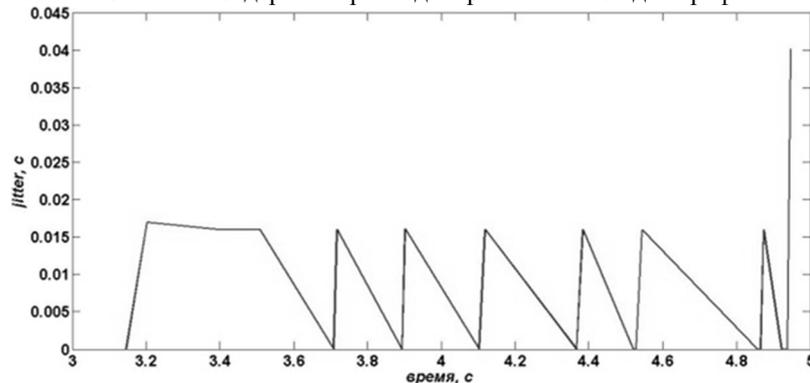


Рис. 12. Изменение джиттера при моделировании в ns2 для трафика IPTV

Статистические данные, полученные в результате моделирования, показывают, что узел,

отбрасывающий пакеты – это граничный узел сети. То есть, механизмы сетевого управления

в сети MPLS в процессе обработки трафика удерживают задержку, джиттер и вероятность потерь на определенном уровне. На граничном узле сети работают механизмы по классификации, мониторингу, маркировке, допуску и управлению нагрузкой (например, алгоритм Token Bucket), которые определяют и ограничивают нагрузку по гарантированной скорости потока (CIR—CommittedInformationRate) и гарантированному размеру пачки (CBS - Committed Bust Size). Уровень параметров качества обслуживания, который может предоставить оператор, определяется пропускной способностью (производительностью) сети. В случае перегрузки все пакеты, превышающие заданные значения по скорости поступления пакетов и пачечности трафика, сбрасываются в граничном узле сети. В случае коррелированного трафика вероятность сброса пакетов превышает допустимые значения по параметрам QoS.

Полученная имитационная модель обработки реального самоподобного мультимедийного трафика, позволяет оценить вероятностно-временные характеристики обслуживания потоков. Знание этих характеристик позволят улучшить параметры сетевого управления, уровень качества обслуживания по результатам моделирования различных режимов обработки в сети MPLS.

Выводы

По реально наблюдаемому трафику определены вероятностные законы интервалов поступления пакетов на обслуживание и вероятностное распределение времени обслуживания пакетов в системе для обработки мультимедийного трафика сети 4G и IPTV-трафика на уровне доступа.

Установлено, что для трафика сети 4G наблюдается долговременная корреляционная зависимость длин пакетов. В случае IPTV-трафика корреляционные связи практически отсутствуют.

Определено, что в случае обработки в сети MPLS коррелированного и некоррелированного трафика параметры качества обслуживания

остаются примерно одинаковыми из-за того, что при обработке коррелированных потоков возникает высокая вероятность сброса пакетов в граничном узле.

Результаты, полученные при моделировании различных режимов обработки трафика, можно использовать для улучшения характеристик сетевого управления и повышения качества обслуживания.

Литература

1. Аджемов А.С., Васильев А.Б., Кучерявый А.Е. Перспективные направления развития сетей связи общего пользования // Электросвязь. 2008. №10. С.6-7.
2. Тарасов Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Особенности видеотрафика для сетей связи следующего поколения//Электросвязь. 2010. №1. С.37-43.
3. Шнепс-Шнеппе М.А., Намиот Д.Е. Телекоммуникации для военных нужд: от сети GIG1к сети GIG2 // International Journal of Open Information Technologies. 2014, т. 2, №9. С. 9-17.
4. Шнепс-Шнеппе М.А. Телекоммуникации для экстренных и военных нужд: параллели / International Journal of Open Information Technologies. - 2014. – т. 2. - № 7 – С. 25-36.
5. Соколов, Н.А. Системные аспекты построения и развития сетей электросвязи специального назначения //International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 9. С. 25-36.
6. Легков К.Е., Ледянкин И.А. Основные технические и технологические решения по построению интегрированной транспортной сети инфокоммуникационной системы специального назначения // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2013. №6. С. 47-52.
7. Шелухин О.И., Тенякишев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Под ред. О.И. Шелухина. М.: Радиотехника, 2003.- 480 с.
8. Culley D., Fuchs C., Sharp. an investigation of MPLS traffic engineering capabilities using CR-LDP [Электронный ресурс]. URL: http://www2.ensc.sfu.ca/~ljlja/ENSC833/Spring01/Projects/culley_fuchs_sharp/mppls_report.pdf.
9. nsmanual [Электронный ресурс]. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>.
10. P Ferguson, G Huston Quality of service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks. Publication: Book, Quality of service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA 1998
11. Rosen, E., Viswanathan, A., Callon R. Multi-protocol Label Switching Architecture, RFC 3031, January 2001, p. 61.

12. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. — 304 с.

13. Буранова, М.А. Исследование статистических характеристик самоподобного телекоммуникационного трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2012. Т.10, № 4. С. 35-40.

14. Буранова М.А., Карташевский В.Г., Самойлов М.С. Анализ статистических характеристик

мультимедийного трафика узла агрегации в мультисервисной сети // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. №4(16). С. 63-69.

15. Буранова М.А., Карташевский В.Г., Самойлов М.С. Сравнительный анализ статистических характеристик видеотрафика в сетях пакетной передачи данных // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т.11, № 4. С. 33-39.

Поступила 01 августа 2016 г.

English

Statistical properties research of multimedia traffic in MPLS network processing

Sergey Anatolyevich Bukashkin – Doctor of Engineering, Professor, Academician Academy of cryptography of the Russian Federation, General Director of JSC “Avtomatika Concern”.

E-mail: belovla@gmail.com.

Address: 127106, Moscow, Botanicheskaya St., 25.

Marina Anatolyevna Buranova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Multiservice networks and information security Volga State University of Telecommunications and Information Science.

E-mail: semenov_nick@mail.ru.

Alexander Vyacheslavovich Saprykin – Aspirant Department MIT FTR VSUTIS Volga State University of Telecommunications and Information Science.

E-mail: semenov_nick@mail.ru.

Address: 443010, Samara, L. Tolstoy St., 23.

Abstract: Feature of modern infocommunication networks is need to provide a certain service quality level for the diverse processed traffic, the essential part of which consists of multimedia streams. One of the trends of infocommunication networks is implementation of new generation wireless technologies such as sensor networks, LTE networks, etc. The work analyzes multimedia traffic processing quality of 4G network and IPTV traffic processing quality of MPLS network. Multimedia traffic statistical structure is investigated. Mathematical model of the examined traffic is analyzed as today's traffic processing systems are better described by G/G/1 or G/G/n models (from the point of view of the queuing theory), laws of distributions of packets length and packets time intervals are obtained. Correlation properties in sequences of time intervals between packets and packet lengths in 4Gi network multimedia traffic of IPTV traffic are analyzed. Real self-similar traffic properties effect on quality performance of MPLS ns2 simulator-based network is examined. Analyzing simulation results showed that during traffic processing in MPLS network those QoS parameters, which are traditionally used for efficiency evaluation of streams processing, differ a little for various traffic patterns. Thus QoS parameter most approximate values for real traffic are obtained for model in the form of On-off process with Pareto distribution. Packet discard probability for the correlated traffic considerably exceeds admissible QoS values. As per examined traffic probability laws of packet arrival intervals for service and probabilistic distribution of packet service time in the system for processing 4Gi network multimedia traffic of IPTV traffic at access level are defined; it was found that these distributions belong to the class of distributions with “heavy tail”. It was established that there exist long-term correlation dependence of packet lengths for 4G network traffic which is characterized by tight correlated bonds of packets stream. Correlation bonds are practically missing in IPTV traffic case. It was defined that service quality parameters remain approximately identical when processing the correlated and uncorrelated traffic in MPLS network. It is due to the fact that the arising negative effects when processing the correlated streams (for example, high packet train) are leveled by packet discard high probability in the border node. The obtained simulation model for real self-similar multimedia traffic processing enables to evaluate probabilistic time characteristics of streams service. To know these characteristics enables to enhance network management parameters, service quality through the results of simulating various processing modes in MPLS network.

Key words: multimedia traffic, MPLS, correlation properties, distribution laws, simulation model, ns2.

References

1. Adzhemov A.S., Vasilyev A.B., Kucheryavy A.E. Public communication network development trends // *Elektrosvyaz*. 2008. No. 10. P. 6-7.
2. Tarasov D. V., Paramonov A.I., Kucheryavy A.E. Video traffic features for next generation communications networks // *Elektrosvyaz*. 2010. No. 1. P.37-43.
3. To Shneps-Shneppa M. A., D.E's Namiot. Telecommunications for military needs: from GIG1k network to GIG2//*International Journal of Open Information Technologies network*. 2014, v. 2, No. 9. P.9-17.
4. Shneps-Shneppa, M. A. Telecommunications for the emergency and military needs: parallels / *International Journal of Open Information Technologies*. - 2014. - v. 2. - No. 7 – P.25-36.
5. Sokolov, N. A. System aspects of creation and development of special-purpose electric communication networks//*International Journal of Open Information Technologies*. 2014. V. 2. No. 9. P. 25-36.
6. Legkov K.E., Ledyankin I.A. The basic engineering and technology solutions for developing integrated transport network of special-purpose infocommunication system//*T-Comm - Telekommunikatsii i Transport*. 2013. No. 6. P. 47-52.
7. Shelukhin O. I., Tenyakishev A.M., Osin A.V. Fractal processes in telecommunications. Ed. by O. I. Shelukhin. M.: Radiotekhnika, 2003. – 480 p.
8. Culley D., Fuchs C., Sharp. an investigation of MPLS traffic engineering capabilities using CR-LDP [Electronic resource]. URL: http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC833/Spring01/Projects/culley_fuchs_sharp/mpls_report.pdf.
9. nsmanual [Electronic resource]. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>.
10. P Ferguson, G Huston Quality of service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks. Publication: · Book, Quality of service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks. JohnWiley & Sons, Inc. New York, NY, USA 1998
11. Rosen, E., Viswanathan, A., Callon R. Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC 3031, January 2001, p. 61.
12. Goldstein A. B., Goldstein B. S. Technology and MPLS protocols. SPb.: BHV - St. Petersburg, 2005. - 304 p.
13. Buranova, M. A. Research of statistical characteristics of self-similar telecommunication traffic// *Infokommunikatsionnye tekhnologii*. 2012. T.10, No. 4. P. 35-40.
14. Buranova M. A., Kartashevsky V. G., Samoylov M. S. The analysis of statistical characteristics of multimedia traffic in aggregation node of multiservice network // *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*. 2014. No. 4(16). P. 63-69.
15. Buranova M. A., Kartashevsky V. G., Samoylov M. S. Statistical characteristics comparative analysis of video traffic in packet-based data networks // *Infokommunikatsionnye tekhnologii*. 2013. T.11, No. 4. Page 33-39.