

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Караулова О.А., Киреева Н.В., Чупахина Л.Р.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: olya4369@yandex.ru, zeppelinsn@ya.ru, garip4ik555@mail.ru

Рассмотрена задача исследования непуассоновского трафика, который получен при проведении процедуры снятия статистических характеристик при заданных интенсивностях поступления пакетов. Для исследования статистических характеристик мультимедийного потока рассмотрена многоадресная передача данных, которая подразумевает, что сервер формирует один поток данных и рассыпает их по сети к подключенными клиентам. Оценка интенсивности нагрузки суммарного потока передаваемых пакетов в любой момент времени определяется теми программными продуктами, которые будут обслуживать исходящие запросы, а также соотношением количества запросов с учетом данных программных продуктов. Основываясь на гистограммах измерений, приближенных функциях распределений интервалов времени между пакетами и длительности пакетов, получены их аппроксимирующие выражения в виде суммы затухающих экспонент, удовлетворяющих свойствам функции плотности распределения случайной величины. Спектральным методом решения интегрального уравнения Линдли для системы массового обслуживания $G/G/1$ получены значения для среднего времени задержки пакета в сети и длины очереди. Точность решения определяется точностью аппроксимации используемых распределений с «тяжелым» хвостом.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, аппроксимация суммой затухающих экспонент, интегральное уравнение Линдли, распределение с «тяжелым» хвостом, среднее время задержки, $G/G/1$, качество обслуживания

Введение

Современные исследования трафика, передаваемого в телекоммуникационных сетях, показывают, что его статистические свойства и характеристики отличаются от тех, которые приняты в классической теории систем массового обслуживания (СМО). Существующие мультисервисные сети задают ряд вопросов на влияние статистической структуры трафика мультимедийных приложений сети Internet, на характеристики качества обслуживания работы сетевых устройств. Анализируя телекоммуникационную сеть, есть возможность столкнуться с неизвестностью различных сетевых параметров, например задержкой пакетов, скоростью передачи, пропускной способностью используемых каналов связи. Все это определяет актуальность, новизну и значимость задачи, рассматриваемой в настоящей статье.

Результативность взаимодействия современных компьютерных сетей можно оценить, применяя математические модели разных СМО. Современные системы, обрабатывающие непуассоновский трафик, описываются моделями СМО $G/G/1$ из группы $G/G/n$. Особенность исследования телекоммуникационного трафика, обладающего свойством самоподобия, заключается в практическом отсутствии исследования сетевых параметров. К таким параметрам относятся длительность пакетов, интервалы времени между пакетами. Эта особенность важна, так как пере-

численные параметры применяются для исследования сетевого трафика с использованием СМО.

В статье произведен анализ статистических параметров сетевого трафика, базируясь на известных ранее исследованиях самоподобных потоков; проведен выбор математических моделей потоков и предложены методики определения параметров потоков (среднего времени ожидания в очереди и длины очереди СМО $G/G/1$), используя аппроксимацию в виде суммы затухающих экспонент для поиска решения интегрального уравнения Линдли спектральным методом. Чтобы повысить качество обслуживания сетевого трафика и представить прогноз его поведения, целесообразным представляется оценить среднее время ожидания сетевого пакета с учетом статистического анализа данных.

Анализ средних параметров трафика, обладающего свойствами фрактальных процессов, самоподобия, относительно изучен в современных телекоммуникационных сетях [1–9]. Научные публикации, посвященные исследованию степени влияния самоподобных информационных потоков на качество обслуживания в узлах сети [10–13], их статистических характеристик, приводят к обоснованности выбора математических моделей потоков с применением имитационного моделирования или аналитических моделей [14–16]. Метод параметрического синтеза для определения параметров информационных сетевых

потоков при их объединении с учетом свойств самоподобия является достоверным, что подтверждено результатами имитационного моделирования [17]. В основном при моделировании используются интервалы поступления пакетов и интервалы времени между пакетами в буфер сервера, размеры передаваемых файлов [10].

В [7; 15; 17] утверждается, что наиболее приближены к реальным распределениям в узле обработки поступающих пакетов и наиболее часто применимы для исследования сетевых параметров распределения с «тяжелым» хвостом (PTX) [17–21].

Особенность PTX в том, что они проявляют высокую степень изменчивости [27], а в трафике мультисервисных сетей объясняют причины его самоподобия. Степень самоподобия определяется параметром Херста H . Оценка параметра Херста зависит от ряда факторов, таких как методика оценки, размер выборки, масштаб времени, корреляционная структура. Известны методы оценки параметра Херста во временных рядах, однако более простым и информативным является анализ R/S-статистики. Исследование изменчивости различных статистических явлений привело к разработке нормированной безразмерной величины, способной описать изменчивость. Эта величина названа нормированным размахом R/S.

Результатом анализа публикаций, связанных с исследованием сетевого трафика в сетях с применением IP-технологий [17; 22; 23], является представленная классификация сетевого трафика с сопоставлением законов распределения для каждого вида трафика. Для оценки необходимого объема буфера устройства, которое обеспечивает определенное заранее необходимое качество обслуживания с использованием значений вероятностей потерь, было записано выражение с учетом необходимых дополнительных упрощений.

В [21], используя модель СМО $G / D / 1$, рассматривается метод определения среднего времени ожидания заявки в очереди в случае, когда неизвестный параметр относится к гамма-распределению, которое характеризует случайные интервалы времени между поступлениями заявок на вход узла. В [24] для модели Парето $P_a / M / 1$ и гиперэкспоненциальной модели $H_2 / M / 1$ получены оценки качества обслуживания по показателю времени задержки заявки в системе; оценки уровня снижения своевременности обслуживания по показателю времени задержки заявки в системе в зависимости от показателей загрузки и коэффициента вариации. Применяя подходы, представленные в [10], используемые

для образования обновленного потока посредством связанныности с индексом дисперсии исследуемой последовательности с учетом корреляции случайных интервалов (а именно эрланговские распределения, гиперэкспоненциальные распределения, распределения Дагума), и решение известного интегрального уравнения Линдли, было получено необходимое значение среднего времени ожидания заявки, находящейся в очереди.

По результатам анализа публикаций [9; 11; 16; 18; 24; 25], посвященных исследованию статистических характеристик сетевого трафика мультисервисных телекоммуникационных сетей, в рамках задач, решаемых в данной статье, можно отметить следующее – при аппроксимации параметров потока трафика можно добиться результатов, позволяющих определить среднее время задержки пакета в очереди аналитическим методом для частных и общих случаев, а затем сравнить с результатами моделирования.

Постановка задачи

Для исследования статистических характеристик мультимедийного потока рассмотрена многоадресная передача данных, которая подразумевает, что сервер формирует один поток данных и рассыпает их по сети к подключенным клиентам.

Интенсивность нагрузки результирующего потока пакетов в каждый момент времени зависит от того, какими приложениями обслуживаются источники запросов и каково соотношение их численности для различных приложений. На структуру трафика также оказывают влияние и технологические особенности применяемых алгоритмов обслуживания.

Регистрация трафика осуществлялась следующим образом. Через коммутатор, который имеет uplink в глобальную сеть, пользователи получали и отправляли данные. Пропускная способность канала от абонентов изменялась от 0,6 до 0,8 Мбит/с при помощи программного обеспечения коммутатора. Пограничный порт коммутатора имеет функцию зеркалирования, которая позволяет осуществить захват всего трафика, который проходит в глобальную сеть.

Посредством программы-снiffeр Wireshark в течение 60 мин был проанализирован (измерен) сетевой трафик. Программа Wireshark (Ethereal) – программа-анализатор трафика для компьютерных сетей. Данная программа служит для анализа сетевых пакетов различных сетей и позволяет просматривать весь проходящий по сети трафик в режиме реального времени, переводя сетевую карту в широковещательный режим. Функции-

нальность у Wireshark схожа по возможностям с утилитой Tcpdump, но Wireshark имеет графический пользовательский интерфейс, что значительно упрощает исследование трафика.

Основная задача Wireshark – перехват сетевого трафика и отображение его в детальном виде. Wireshark работает на основе библиотеки Pcap (Packet Capture) и делает возможным создавать программы анализа сетевых данных, поступающих на сетевую карту компьютера. Данное программное решение дает возможность, применяя режим реального времени, пользователю визуально полностью просканировать проходящий сетевой трафик, а также отсортировать его при необходимости и провести фильтрацию данных.

По результатам измерений параметров трафика созданной мультисервисной сети исследована зависимость числа пакетов протокола MPEG в единицу времени на интервале времени 60 мин. Результаты, полученные в ходе исследования, показывают достаточно сильную неравномерность интенсивности при поступлении пакетов мультисервисного трафика. Все пакеты показывают различное рассредоточение по интервалам времени, которое не имеет плавного характера. В одни временные интервалы пакеты предстают в виде групп, так называемых «пачек», в другие – представлены в небольшом количестве. Такое неравномерное распределение при относительно малом среднем значении интенсивности поступления пакетов дает возможность появлению в сетевом пачечном трафике мощных выбросов, причем число этих выбросов достаточно велико.

Говоря о случайном характере всех процедур формирования, обработки и передачи сетевых данных, нужно помнить об обязательности использования стохастических моделей, представленных моделями СМО, в виде различных сетей и систем массового обслуживания нескольких классов. Исследование СМО с произвольным временем, необходимым для обслуживания, является сложным процессом, который практически невозможно описать в аналитическом виде через распределения вероятностей. Аналитическое решение данной задачи можно получить в частном случае, когда возможно использование статистических параметров трафика, условно поделенных на группы: значения потока заявок, характеризуемые распределением интервалов времени между заявками; значения систем обслуживания, характеризуемые набором вероятностей различных типов поступающих заявок; наборы распределений времени обслуживания заявок для каждого их вида.

Чтобы получить распределение и проанализировать плотности вероятностей исходных последовательностей, необходимо построить их гистограммы. В работе аппроксимация гистограмм произведена с помощью программного обеспечения (ПО) EasyFit, которое предназначено для автоматической аппроксимации различных распределений с помощью метода максимального правдоподобия МЛЕ. Для полученных гистограмм по критериям согласия Колмогорова – Смирнова подобраны аппроксимирующие распределения из библиотеки EasyFit. Выбор данного ПО определяется следующими причинами.

1. При помощи ПО EasyFit можно построить гистограммы и выбрать возможное распределение по наилучшему соответствуию экспериментальным данным, что уменьшает время анализа на 70–95 % в отличие от ручных методов.

2. ПО EasyFit имеет большое количество дополнительных функций, которые разработаны для предотвращения ошибок при анализе и помощи в принятии решений.

3. ПО EasyFit имеет интегрированную инфраструктуру для управления данными и анализа функций отчетности [26].

Использование рассмотренного ПО дает возможность автоматического выбора класса статистических распределений. В результате проведенных исследований трафика [17] были определены все нужные законы распределения: например, трафик сети Internet на канальном уровне характеризует интервалы между пакетами распределением Парето, длины пакетов – распределением Вейбулла, при этом IP-трафику только на сетевом уровне соответствуют аналогичные законы распределения.

Текстовые файлы, содержащие необходимые статистические данные трафика, получены при исследовании сетевого трафика программой-снифером Wireshark. Статистические данные реального сетевого трафика, поступающего на входной сетевой буфер, которые были сняты в реальном времени, представлены в виде гистограмм интервалов времени поступления сетевых пакетов, длин пакетов и проведения аппроксимации данных функций плотности распределения.

Решения, которые были получены с использованием данной аналитической модели, позволяют анализировать характеристики существующих объектов, относящихся к различным предметным областям. Одним из таких применений является функциональная оптимизация существующих вычислительных и телекоммуникационных систем.

Методология исследования

Необходимо отметить, что существуют случаи, когда применение решения интегрального уравнения Линдли (ИУ) спектральным методом достаточно легко реализовать для экспоненциальных и гиперэкспоненциальных распределений [16]. Основываясь на имеющихся исследованиях трафика и его распределений с интенсивностью поступления пакетов $\lambda = 0,6$ и $0,8$, были рассмотрены два частных случая СМО: системы $P1/W1/1$ и $P2/W1/1$, где символы P и W соответствуют распределениям Парето $f_1(x)$ и Вейбулла $f_2(x)$, которые имеют вид

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}; \quad (1)$$

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

где α – параметр формы; β – масштабный параметр. Известно, что для СМО G/G/1 возможен спектральный метод решения ИУ Линдли, если для произвольных распределений интервалов времени между поступающими пакетами и интервалов времени обработки пакетов $f_1(x)$ и $f_2(x)$ использовать аппроксимацию в виде суммы затухающих экспонент:

$$f_{\text{exp1}}(x) = \sum_{k=1}^n a_k e^{-\zeta_k x}, \quad n=5, \quad (3)$$

$$f_{\text{exp2}}(x) = \sum_{k=1}^l b_k e^{-\zeta_k x}, \quad l=5, \quad (4)$$

где a_k , ζ_k , b_k , ζ_k – коэффициенты аппроксимации, определяемые соответствующими вычислительными процедурами [16].

Предложенный метод позволил найти результирующую функцию времени ожидания сетевого пакета в очереди на обслуживание для каждой из рассмотренных СМО (см. рисунок). Кроме того, при помощи данного метода была произведена оценка средних характеристик среднего времени ожидания и длины очереди на обслуживание.

Для системы $P1/W1/1$ в качестве интервалов времени между пакетами $P1$ были установлены параметры: $\alpha = 0,39$ и $\beta = 7,07 \cdot 10^{-7}$; а для длин пакетов W – параметры: $\alpha = 0,78$ и $\beta = 1500$. После проведения вычислений для варианта с интенсивностью поступления пакетов $\lambda = 0,6$ получено:

- среднее время ожидания заявки в очереди $\bar{t} = 7,437$ мс;

- длина очереди $\bar{Q} = 4,46$ пакетов.

Для системы $P2/W1/1$, интервалы времени между пакетами $P2$ были определены параме-

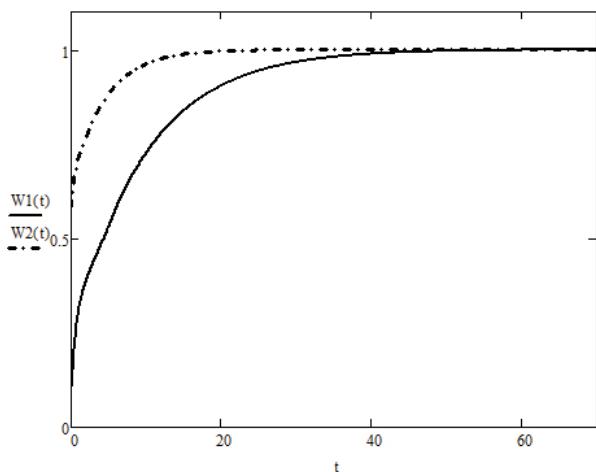


Рисунок. Графики функций распределения времени ожидания в очереди $W_{1,2}(t)$ при интенсивности поступления пакетов $\lambda = 0,6$ и $0,8$

трами: $\alpha = 0,42$ и $\beta = 4,8 \cdot 10^{-7}$; а длины пакетов W – параметрами: $\alpha = 0,78$ и $\beta = 1500$. После проведения вычислений с интенсивностью поступления пакетов $\lambda = 0,8$ получено:

- среднее время ожидания заявки в очереди $\bar{t} = 1,612$ мс;
- длина очереди $\bar{Q} = 1,29$ пакетов.

Заключение

Оценки параметров трафика, передаваемого по каналам в период наибольшей нагрузки, которые зачастую невозможно определить, представляют большой практический интерес. Поэтому, зная законы распределения, которым подчиняется реальный трафик, и используя спектральный метод решения ИУ Линдли, возможно определение среднего времени задержки пакета в сети. Следовательно, постоянно меняющийся характер трафика не дает возможности адекватно оценить его с помощью имитационного моделирования, которое не имеет возможности постоянно видоизменяться. Поэтому для исследования и анализа сетевого трафика необходимо применять средства аналитического анализа, а также методы и алгоритмы на его основе, применение которых позволит максимально точно оценить характеристики исследуемой сети.

Литература

1. Leland W.E., Taqqu M.S. On the self-similar nature of ethernet traffic // Proc. ACM SIG COMM'93. San Francisco, CA. 1993. P. 183–193.
2. Нейман В.И. Самоподобные процессы и их применение в теории телетрафика // Труды Международной академии связи. 1999. № 1. С. 11–15.

3. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. 480 с.
4. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: Физматлит, 2008. 368 с.
5. Ложковский А.Г. Расчет характеристик качества обслуживания самоподобного трафика на основе аппроксимирующей функции // Научные труды ОНAC им. А.С. Попова. 2016. № 1. С. 46–50.
6. Self-similar traffic prediction scheme based on wavelet transform for satellite internet services / Y. Han [et al.] // Machine Learning and Intelligent Communications. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. 2017. Vol. 183. P. 189–197. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-52730-7_19.
7. Kirichek R., Kulik V. Long-Range data transmission on flying ubiquitous sensor networks (FUSN) by using LPWAN protocols // Distributed Computer and Communication Networks. Communications in Computer and Information Science – DCCN. 2016. Vol. 678. P. 97–100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51917-3_39.
8. Millán G., Chait M., Lefranc G. The locality phenomenon in the analysis of self-similar network traffic flows // 2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA). 2016. P. 197–199.
9. Тарасов В.Н. Исследование систем массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями // Проблемы передачи информации. 2016. № 1. С. 16–26.
10. Карташевский И.В., Сапрыкин А.В. Анализ времени ожидания заявки в очереди для системы массового обслуживания общего вида // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 2. С. 4–10.
11. Определение характеристик качества QoS обслуживания самоподобного трафика для СМО W/M/1 / И.В. Стрелковская [и др.]. СПб.: СПбГПУ, 2016. С. 31–33.
12. Карташевский И.В., Буранова М.А. Влияние механизмов управления QoS на показатели качества обслуживания мультимедийного трафика сети Internet // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 8. С. 54–60.
13. Analysis of self-similar traffic models in computer networks / J.S. Al-Azzeh [et al.] // International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.). 2017. Vol. 10. № 5. P. 328–336.
14. Klymash M., Beshley M., Stryhaluk B.M. System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks // First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology. 2014. P. 63–66.
15. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Преобразование структуры трафика с учетом требований по качеству его обслуживания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 2. С. 74–84.
16. Решение уравнения Линдли спектральным методом для систем массового обслуживания общего вида / В.Г. Карташевский [и др.] // Электросвязь. 2014. № 11. С. 48–50.
17. Агеев Д.В., Игнатенко А.А., Копылев А.Н. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия // Проблемы телекоммуникаций. 2011. № 3. С. 18–37.
18. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А. Математическая модель трафика с тяжелогвостным распределением на основе системы массового обслуживания H2/M/1 // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 3. С. 36–41.
19. Downey A. Lognormal and Pareto distributions in the Internet // Computer Communications. 2005. Vol. 28. № 7. P. 790–801.
20. Dang T.D., Sonkoly B., Molnar S. Fractal analysis and modeling of VoIP traffic // 11th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, NETWORKS 2004. 2004. P. 217–222.
21. Буранова М.А., Карташевский В.Г. Анализ времени ожидания для узла сети типа G/D/1 при неточном знании параметров трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2017. Т. 5. № 1. С. 24–33.
22. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic / M. Beshley [et al.] // Smart Computing Review. 2015. Vol. 5. № 2. P. 1–13.
23. Голубинцев А.В., Мясникова А.И., Легков К.Е. Архитектурные принципы организации автоматизированных систем управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 4. С. 16–23.
24. Ушанев К.В. Имитационные модели системы массового обслуживания Pa/M/1, H2/M/1 и

- исследование на их основе качества обслуживания со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 217–251.
25. Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Способы аппроксимации входных распределений для системы G/G/1 и анализ полученных результатов // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 3.1. С. 182–185.
26. Критерии согласия. URL: http://sernam.ru/book_tp.php?id=34 (дата обращения: 26.06.2018).
27. Crovella M., Lipsky L. Long-lasting transient, conditions in simulations with heavytailed workloads // Proc 1997 Winter Simulation Conference. 1997.

Получено 06.02.2020

Караулова Ольга Александровна, аспирант кафедры информационной безопасности (ИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 339-11-28. E-mail: olya4369@yandex.ru

Киреева Наталья Валерьевна, к.т.н., доцент, декан факультета телекоммуникаций и радиотехники ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 333-13-13. E-mail: zeppelinsn@yandex.ru

Чупахина Лилия Равилевна, к.т.н., доцент кафедры ИБ ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 339-11-62. E-mail: garip4ik555@mail.ru

SPECIAL CASE OF DETERMINING FLOW PARAMETERS OF MULTI-SERVICE TELECOMMUNICATION NETWORK

Karaulova O.A., Kireeva N.V., Chupakhina L.R.

*Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: olya4369@yandex.ru, zeppelinsn@ya.ru, garip4ik555@mail.ru*

The task of research of non-Poisson traffic obtained during the procedure of statistical characterization at the specified rates of packets arrival is considered. In order to investigate the statistical characteristics of multimedia stream, multicast data transmission is considered, which implies that the server generates one data stream and sends it over the network to connected clients. The load rate of the total packet flow at each point in time depends on the software products serving the outgoing requests and the requests number ratio by taking into account these software products. Based on histograms of measurements, approximate functions of time interval distributions between packets and duration of packets, their approximating expressions are obtained in the form of sum of damped exponents satisfying the properties of distribution density function of random quantity. Values for the average packet delay time in the network and queue length are obtained using the spectral method of solving the Lindley integral equation for G/G/1 queuing system. The solution accuracy is determined by the approximation accuracy of the «heavy» tail distributions used.

Keywords: queuing systems, approximation by the sum of damped exponents, Lindley integral equation, distribution with a «heavy» tail, average delay time, G/G/1, quality of service

DOI: 10.18469/ikt.2020.18.3.03

Karaulova Olga Aleksandrovna, Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; PhD Student of Information Security Department. Tel. +7 846 339-11-28. E-mail: olya4369@yandex.ru

Kireeva Natalia Valerievna, Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Dean of Telecommunications and Radio Engineering Faculty, PhD in Technical Science, Associate Professor. Tel. +7 846 333-13-13. E-mail: zeppelinsn@yandex.ru

Chupakhina Liliya Ravilevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of Information Security Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 339-11-62. E-mail: garip4ik555@mail.ru

References

1. Leland W.E., Taqqu M.S. On the self-similar nature of Ethernet traffic. *Proc. ACM SIG COMM'93*. San Fransisco, CA, 1993, pp. 183–193.
2. Nejman V.I. Self-similar processes and their application in teletraffic theory. *Trudy Mezhdunarodnoj akademii svjazi*, 1999, no. 1, pp. 11–15. (In Russian.)
3. Sheluhin O.I., Tenjakshev A.M., Osin A.V. *Fractal Processes in Telecommunications*. Moscow: Radiotekhnika, 2003, 480 p. (In Russian.)
4. Sheluhin O.I., Osin A.V., Smol'skij S.M. *Self-Similarity and Fractals. Telecommunication Applications*. Moscow: Fizmatlit, 2008, 368 p. (In Russian.)
5. Lozhkovskij A.G. Calculation of the quality of service characteristics of self-similar traffic based on the approximating function. *Nauchnye trudy ONAS im. A.S. Popova*, 2016, no. 1, pp. 46–50. (In Russian.)
6. Han Y. et al. Self-similar traffic prediction scheme based on wavelet transform for satellite internet services. *Machine Learning and Intelligent Communications. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 2017, vol. 183, pp. 189–197. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-52730-7_19.
7. Kirichek R., Kulik V. Long-Range data transmission on flying ubiquitous sensor networks (FUSN) by using LPWAN protocols. *Distributed Computer and Communication Networks. Communications in Computer and Information Science – DCCN*, 2016, vol. 678, pp. 97–100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51917-3_39.
8. Millán G., Chait M., Lefranc G. The locality phenomenon in the analysis of self-similar network traffic flows. *2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*, 2016, pp. 197–199.
9. Tarasov V.N. Investigation of queuing systems with hyperexponential input distributions. *Problemy peredachi informatsii*, 2016, no. 1, pp. 16–26. (In Russian.)
10. Kartashevskij I.V., Saprykin A.V. Analysis of the waiting time of a claim in the queue for a general queuing system. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 4–10. (In Russian.)
11. Strelkovskaja I.V. et al. *Determination of QoS Quality Characteristics of Self-Similar Traffic for SMO W/M/1*. St. Petersburg: SPbGPU, 2016, pp. 31–33. (In Russian.)
12. Kartashevskij I.V., Buranova M.A. Impact of QoS Control Mechanisms on the Quality of Service of Internet Multimedia Traffic. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2013, no. 8, pp. 54–60. (In Russian.)
13. Al-Azzeh J.S. et al. Analysis of self-similar traffic models in computer networks. *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*, 2017, vol. 10, no. 5, pp. 328–336.
14. Klymash M., Beshley M., Stryhaluk B.M. System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks. *First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology*, 2014, pp. 63–66.
15. Ushanev K.V., Makarenko S.I. Transformation of the traffic structure taking into account the requirements for the quality of its service. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2015, no. 2, pp. 74–84. (In Russian.)
16. Kartashevskij V.G. et al. Solving the Lindley equation by the spectral method for general queuing systems. *Elektrosvjaz'*, 2014, no. 11, pp. 48–50. (In Russian.)
17. Ageev D.V., Kopylev A.N. Methodology for determining flow parameters in different parts of a multiservice telecommunication network, taking into account the effect of self-similarity. *Problemy telekommunikatsij*, 2011, no. 3, pp. 18–37. (In Russian.)

18. Tarasov V.N., Bahareva N., Gorelov G.A. Mathematical model of heavy-tailed traffic distribution based on the H2/M/1 queuing system. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 36–41. (In Russian.)
19. Downey A. Lognormal and Pareto distributions in the Internet. *Computer Communications*, 2005, vol. 28, no. 7, pp. 790–801.
20. Dang T.D., Sonkoly B., Molnar S. Fractal analysis and modeling of VoIP traffic. *11th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, NETWORKS 2004*, 2004, pp. 217–222.
21. Buranova M.A., Kartashevskij V.G. Analysis of the latency for a G/D/1 host with imprecise knowledge of traffic parameters. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 24–33. (In Russian.)
22. Beshley M. et al. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic. *Smart Computing Review*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 1–13.
23. Golubintsev A.V., Mjasnikova A.I., Legkov K.E. Architectural principles of organizing automated control systems for infocommunication networks for special purposes. *Naukoemkie tehnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 16–23. (In Russian.)
24. Ushanov K.V. Simulation models of the queuing system Pa/M/1, H2/M/1 and the study on their basis of the quality of service with a complex structure. *Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti*, 2015, no. 4, pp. 217–251. (In Russian.)
25. Tarasov V.N., Kartashevskij I.V. Approximation methods for input distributions for the G/G/1 system and analysis of the results. *Sistemy upravlenija i informatsionnye tehnologii*, 2015, no. 3.1, pp. 182–185. (In Russian.)
26. Consent criteria. URL: http://sernam.ru/book_tp.php?id=34 (accessed 26.06.2018). (In Russian.)
27. Crovella M., Lipsky L. Long-lasting transient conditions in simulations with heavytailed workloads. *Proc 1997 Winter Simulation Conference*, 1997.

Received 06.02.2020

**ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ
ТРУДЫ УЧЕНЫХ КАФЕДРЫ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

УДК 004.724.4

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ
ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЗАВИСИМОСТИ РАЗМЕРА
ОЧЕРЕДИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ
САМОПОДОБНОГО ВХОДНОГО ПОТОКА ПАКЕТОВ В ПОТОК,
ИМЕЮЩИЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ**

Линец Г.И., Воронкин Р.А., Говорова С.В., Мочалов В.П., Палканов И.С.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, РФ

E-mail: kbytw@mail.ru

С использованием методов машинного обучения получена модель для предсказания размера очереди входного самоподобного потока пакетов, распределенного по закону Парето при его преобразовании в поток, имеющий экспоненциальное распределение. Поскольку величина потерь в общем случае не дает никаких сведений об эффективности использования буферного пространства в процессе преобразования самоподобного потока пакетов, для оценки качества исследуемых моделей введена метрика качества (штраф), являющаяся комплексным показателем. Данный критерий учитывает как потери пакетов в процессе функциональных преобразований, так и неэффективное использование буферного пространства узлов коммутации. Показано, что лучшими по исследуемому критерию являются модели, использующие методы изотонической регрессии и опорных векторов.