

«vESR» (Virtual Service Router). The vESR router was introduced on June 6, 2023 [1]. It is designed for configuring and debugging routing, as well as protecting corporate networks. vESR is installed via Oracle VirtualBox or VMware ESXi hypervisors on the Linux or Windows system.

Keywords: *information transfer, networks and packet switching systems, virtual machines, computer model of networks and devices, virtual service router, static and dynamic routing, network and device modeling packages, features of configuring routers and switches, configuration*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.02

Vasin Nicolay Nicolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Networks and Communication Systems Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 917 103-05-44. E-mail: vasin-nn@psuti.ru

Zakharov Vladislav Sergeevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Head of Laboratory Networks and Communication Systems Department. Tel. +7 917 152-96-92. E-mail: v.zaharov@psuti.ru

References

1. Vasin N.N. Packet Switching Technologies: Textbook. Saint Petersburg: Lan', 2019, 284 p. (In Russ.)
2. Vasin N.N. Packet Switching Technologies: Textbook. Moscow: INTUIT, 2017, 408 p. (In Russ.)
3. Vasin N.N. Fundamentals of configuring packet switching networks. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3645/887/info> (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)
4. VESR is the new software solution for routing and protecting corporate network. URL: https://eltex-co.ru/pressroom/news/vesr_-_novoe_programmnoe_reshenie_dlya_marshrutizatsii_i_zashchity_korporativnoy_seti/ (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)
5. VirtualBox. URL: <https://www.virtualbox.org/> (accessed: 02.05.2024).
6. ESR series service routers. User manual. Software version 1.20. URL: https://eltex-co.ru/upload/iblock/744/9dcccvmiotdt7hq3evxu1d3upp8sv83uu/ESR-Series_User_manual_1.20.pdf (accessed: 02.05.2024). (In Russ.)
7. ESR series routers. ESR-10, ESR-12. User Manual. URL: https://zscom.ru/image/data/2017_new_data/eltex/esr_10.pdf (accessed: 03.05.2024). (In Russ.)
8. ESR series service routers. User manual. Description of the function (02.04.2020). Software version 1.8.5. URL: https://eltexalatau.kz/upload/iblock/d99/esr_series_functionality_description_1.8.5.pdf (accessed: 04.05.2024). (In Russ.)
9. Samuilov K.E. et al. Networks and Data Transmission Systems: Telecommunication Networks: Textbook and Workshop. Moscow: YUrajt, 2016, 363 p. (In Russ.)
10. Vasin N.N. Routing and switching. URL: https://intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/20700/courses/888/info (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)

Received 08.05.2024

УДК 621.391.1

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЕКОРРЕЛЯЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Карташевский И.В., Осанов В.А., Малахов С.В., Якунов Д.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Статья посвящена разработке и исследованию алгоритма декорреляции сетевого трафика, позволяющего существенно снижать значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами. В основе предлагаемого алгоритма лежит нахождение коэффициентов вейвлет-преобразования Хаара. Проводится экспериментальный анализ, показывающий, что увеличение задержки и уровня потерь пакетов при передаче видео по сети тесно связано с повышением значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами на выходе источника трафика. Проверка работоспособности алгоритма осуществляется как на полученной в ре-

зультате эксперимента трассе, так и на сгенерированных интервалах времени с заданным коэффициентом корреляции, значение которого существенно превосходит значение экспериментального. Результатом работы предлагаемого алгоритма являются новые интервалы времени, обладающие существенно сниженной, практически отсутствующей, автокорреляцией.

Ключевые слова: сетевой трафик, декорреляция, автокорреляционная функция, сетевая задержка, вейвлеты Хаара

Введение

За 2022 год более 82 процентов Интернет-трафика составила передача видео [1], что существенно превысило показатели предыдущих годов, даже с учетом взрывного роста видео-трафика в период пандемии. Исследования видео-трафика в сетях передачи данных начались еще в 80-х годах прошлого века. Еще в [2] были обнаружены ярко выраженные корреляционные свойства трафика, порождаемого видео с отсутствием резкой смены кадров и динамичных сцен (запись интервью, диктор телепрограммы). В [3] было показано, что экспоненциальная автокорреляционная функция, как и коэффициент вариации и вид распределения интервалов времени, характеризующих видео-трафик, является одним из важнейших параметров для описания трафика VBR-видео (Variable bitrate).

Существует несколько основных видов моделей, описывающих видео-трафик, среди которых можно выделить [4–7]:

1. Авторегрессионные модели (AR).
2. Модели на основе марковских процессов.
3. Самоподобные или FARIMA (Fractal Auto-Regressive Integrated Moving Average).
4. Вейвлет-модели.
5. Остальные подходы, которые базируются на вероятностных распределениях, системе массового обслуживания $M/G/\infty$, процессах преобразования и расширения выборки TES (Transform-Expand-Sample) и т.д.

Исследованию вероятностно-временных характеристик видео-трафика на основе указанных моделей посвящено достаточно большое количество работ, например [8–10], анализ корреляции можно найти в [11–13]. В большинстве из указанных публикаций автокорреляция интервалов времени связана со снижением качества обслуживания и уровня пользовательского восприятия. В связи с этим задача снижения уровня автокорреляции в видео-трафике представляется достаточно актуальной. Данная статья посвящена одному из методов снижения автокорреляции, который может быть применим не только для видео-трафика.

Исследование уровня автокорреляции при передаче видео в локальной сети

Было поставлено два эксперимента. В первом эксперименте видео передавалось между сервером

и клиентом VLC (VLC ver. 3.0.21), при этом входящего и исходящего трафика хостов A1, A2, B1, B2, находящихся в подсетях сервера и клиента, не было. Во втором эксперименте при передаче того же видео на хостах в подсетях сервера и клиента были включены генераторы трафика HTTP Packet Sender, имитирующие работу взаимодействующих web-серверов. Трафик на сервере и клиенте фиксировался при помощи Wireshark 4.2.7. Схема сети представлена на рисунке 1.

В первом эксперименте средняя задержка при передаче видео составила 0,217 с, уровень потерь пакетов составил менее 0,001% пакетов, коэффициент автокорреляции интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера составил $\rho_1 = 0,0094$, что позволяет утверждать, что автокорреляция интервалов времени между пакетами практически отсутствует.

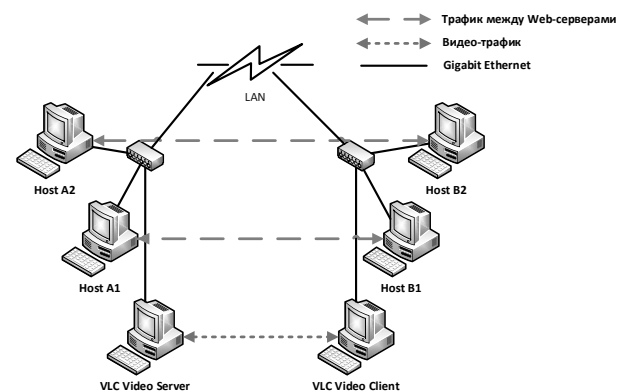


Рисунок 1. Схема сети

Во втором эксперименте средняя задержка возросла до 0,381 с, уровень потерь возрос до 0,09% пакетов, а автокорреляционная функция интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера представлена на рисунке 2.

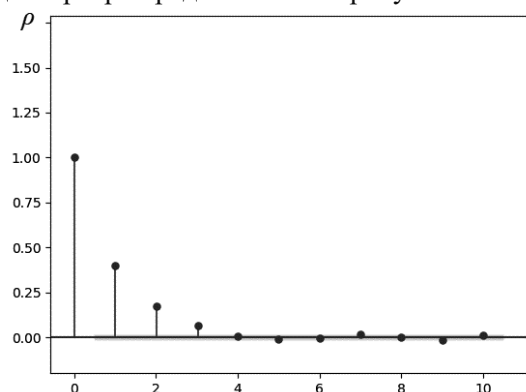


Рисунок 2. Автокорреляция интервалов времени на выходе видеосервера

На рисунке 3 изображена гистограмма интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера для второго эксперимента.

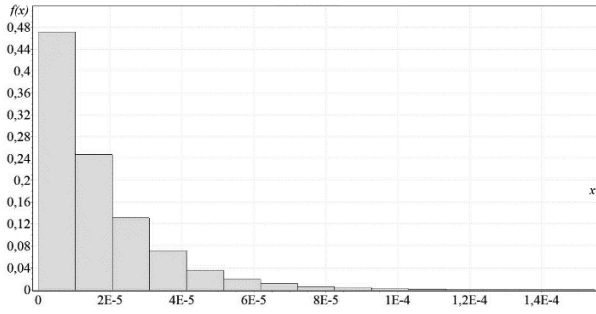


Рисунок 3. Гистограмма экспериментальной последовательности

На основе вышеизложенного можно утверждать, что увеличение задержки и повышение уровня потерь пакетов тесно связано с увеличением значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени.

Моделирование последовательности с заданным коэффициентом корреляции

Для исследования метода снижения автокорреляции в последовательности интервалов времени, характеризующих реальный трафик, сгенерируем такую последовательность, имеющую показательное распределение с заданным коэффициентом корреляции, что позволит нам проанализировать различные случаи, в том числе, когда коэффициенты корреляции значительно выше значений, полученных в результате эксперимента. Моделирование такой последовательности $\tau(n)$ осуществляется следующим образом:

$$\begin{aligned}\tau(n) &= \xi_1^2(n) + \xi_2^2(n) = \\ &= \sigma_0^2 \left[(\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2 + \right. \\ &\quad \left. + (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2 \right],\end{aligned}$$

где $x_1(n)$ и $x_2(n)$ – последовательности независимых нормальных случайных чисел с нулевым средним и единичной дисперсией:

$$\begin{aligned}\xi_1^2(n) &= \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2, \\ \xi_2^2(n) &= \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2, \\ r^2 &= \rho_1. [14].\end{aligned}$$

Гистограмма смоделированной последовательности представлена на рисунке 4.

Автокорреляционная функция смоделированной последовательности при $\rho_1 = 0,95$, что значительно превосходит $\rho_1 = 0,62$, полученные при проведении эксперимента, представлена на рисунке 5. Последовательные значения коэффициентов автокорреляции при этом равны

$\rho_1 = 0,9534, \rho_2 = 0,9102, \rho_3 = 0,8693, \rho_4 = 0,8288, \rho_1 = 0,7535$ и т.д. Представляется более актуальным исследовать именно эту последовательность, обладающую более значимыми коэффициентами автокорреляции.

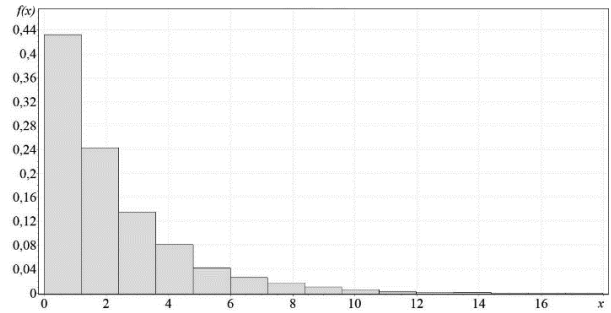


Рисунок 4. Гистограмма смоделированной последовательности

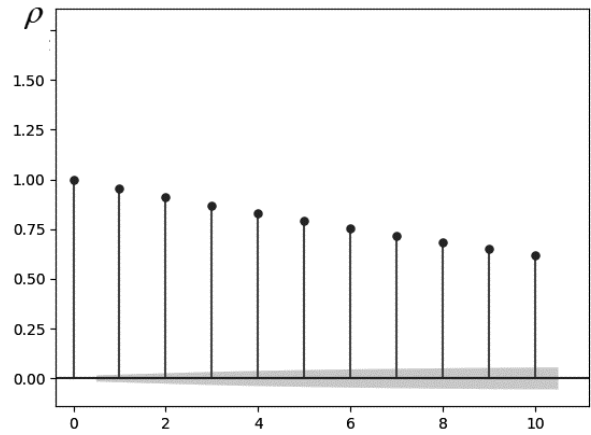


Рисунок 5. Автокорреляционная функция смоделированного распределения

Декорреляция интервалов времени

Воспользуемся способом, предложенным в [15]. Разобьем рассматриваемую последовательность отсчетов трафика на подгруппы, содержащие в каждой по 2^k элементов. Каждая такая группа будет являться кусочно-постоянной функцией, заданной на разбиении отрезка $[0,1]$ на 2^k отрезков длины 2^{-k} . Таким образом, получим функцию $f = \{f_s\}, 0 \leq s \leq 2^k - 1$. Представим ее как:

$$f = d + \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{2^i-1} c_{ij} \psi_{ji}(x),$$

где $\psi_{ji}(x)$ – вейвлет Хаара, который определяется как:

$$\psi_{00}(x) = \psi(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1/2) \\ -1, & x \in [1/2, 1) \end{cases},$$

при $i = 0$, а для других значений i, j $\psi_{ji}(x)$ получаются путем сдвига и сжатия:

$$\psi_{ji}(x) = 2^{\frac{i}{2}} \psi(2^i x - j), \quad j = 0, \dots, 2^i - 1.$$

Таким образом, для декорреляции исходной временной последовательности $f = \{f_s\}$, $0 \leq s \leq 2^k - 1$ необходимо найти значения коэффициентов d и c_{ij} , $0 \leq j \leq 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k-1$:

$$d = \int_0^1 f(x) dx = \frac{1}{2^k} \sum_{s=0}^{2^k-1} f_s, \quad (1)$$

$$c_{ij} = \int_0^1 f(x) \psi_{ji}(x) dx = \frac{1}{2^k} \sum_{s=0}^{2^k-1} f_s \psi_{ji}(x). \quad (2)$$

В результате значения новых интервалов времени, определяемые коэффициентами c_{ij} , $0 \leq j \leq 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k-1$, будут соответствовать де-

коррелированной последовательности интервалов времени. Причем в данном случае вместо коэффициента d , вычисляемого по соотношению (1), можно для ускорения вычислений выбрать значение d в виде числа, соответствующего условию $d > |c_{ij\min}|$.

Определение коэффициентов

Рассмотрим определение значений коэффициентов при $k = 3$. Выражение (2) при данном k примет вид:

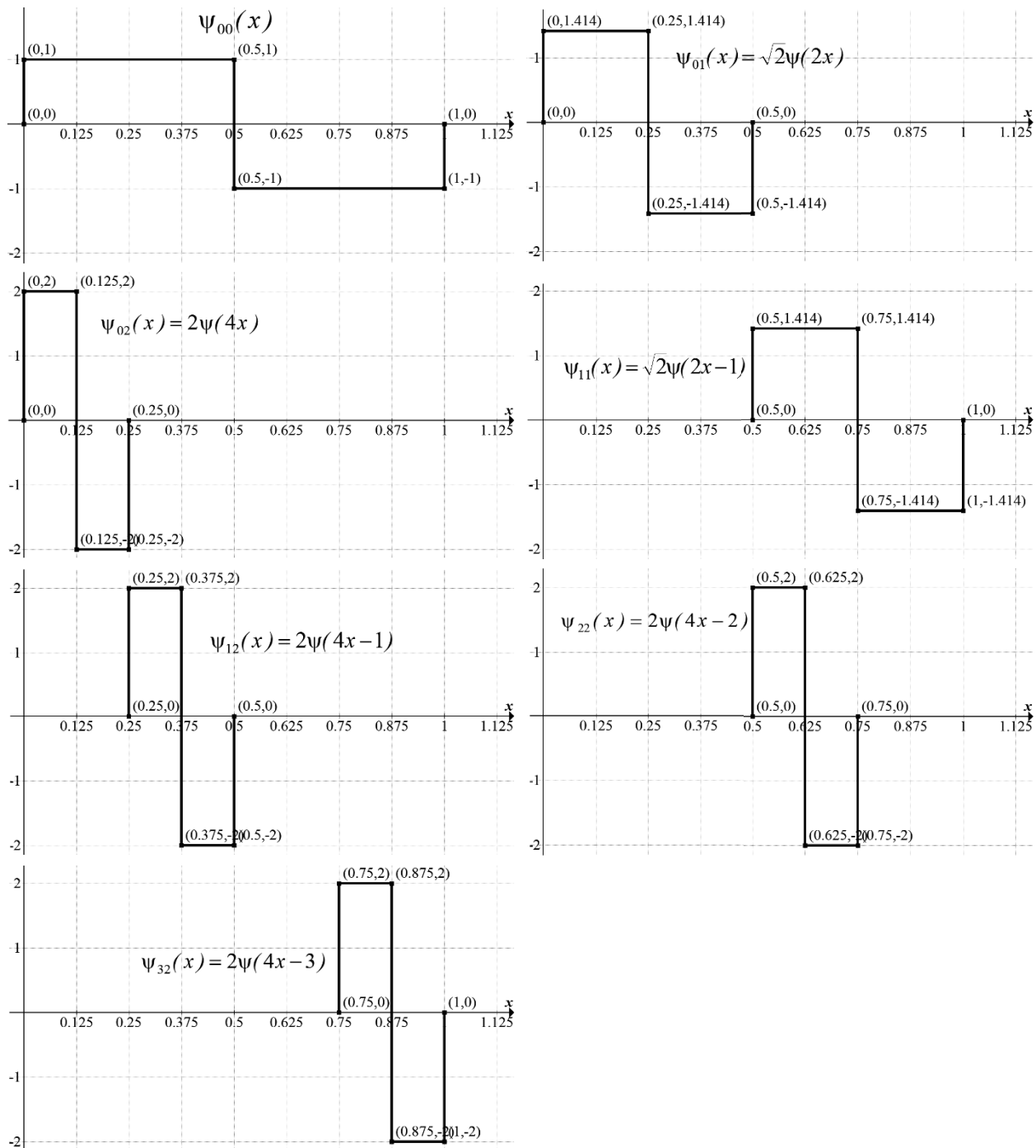


Рисунок 6. Вейвлеты Хаара

$$c_{ij} = \frac{1}{8} \left[f(0)\psi_{ji}(0) + f(1)\psi_{ji}\left(\frac{1}{8}\right) + \dots + f(7)\psi_{ji}\left(\frac{7}{8}\right) \right],$$

где $j = 0, \dots, 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k - 1$.

На рисунке 6 изображены вейвлеты, полученные для $k = 3$. Всего при $k = 3$ существует 7 функций на интервале $[0, 1]$. Выпишем далее каждую из них:

$$\begin{aligned}\psi_{00} &= [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1], \\ \psi_{01} &= [\sqrt{2}, \sqrt{2}, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{02} &= [2, -2, 0, 0, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{11} &= [0, 0, 0, 0, \sqrt{2}, \sqrt{2}, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}], \\ \psi_{12} &= [0, 0, 2, -2, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{22} &= [0, 0, 0, 0, 2, -2, 0, 0], \\ \psi_{32} &= [0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, -2].\end{aligned}$$

Поскольку в данном случае при $k = 3$ существует всего 7 вейвлет-функций $\psi_{ji}(x)$, коэффициентов $\tilde{n}_{ij}$ будет тоже 7. Если рассмотреть значения $\tilde{n}_{ij}$:

$$\begin{aligned}c_{10} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{01}(n) = \frac{1}{2\sqrt{2}} (f_0 + f_1 - f_2 - f_3), \\ c_{20} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{02}(n) = \frac{1}{4} (f_0 - f_1), \\ c_{11} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{11}(n) = \frac{1}{2\sqrt{2}} (f_4 + f_5 - f_6 - f_7),\end{aligned}$$

то можно прийти к выводу, что любое из них может оказаться отрицательным. Поэтому использование константы d , удовлетворяющей условию $d > |c_{ij\min}|$, необходимо во избежание получения отрицательных значений декоррелированной последовательности.

Поступая аналогичным образом, можно определить коэффициенты для любого значения $k > 3$.

На рисунке 7 представлен результат декорреляции смоделированной последовательности интервалов времени ($\rho_1 = 0,95$) при $k = 3$. Последовательные значения полученных коэффициентов автокорреляции при этом будут равны $\rho_1 = 0,0622$, $\rho_2 = 0,0615$, $\rho_3 = 0,0489$, $\rho_4 = 0,0419$, $\rho_5 = 0,0488$ и т.д.

Результат декорреляции той же последовательности при $k = 4$ представлен на рисунке 8. Последовательные значения полученных коэффициентов автокорреляции при этом будут равны $\rho_1 = -0,0067$, $\rho_2 = -0,00765718$, $\rho_3 = -0,0117$, $\rho_4 = -0,012$, $\rho_5 = -0,0127$ и т.д. и т.д.

Таким образом, предлагаемый алгоритм декорреляции существенно снижает автокорреля-

цию временных интервалов до значений меньше 0,02, что может говорить о полном ее отсутствии.

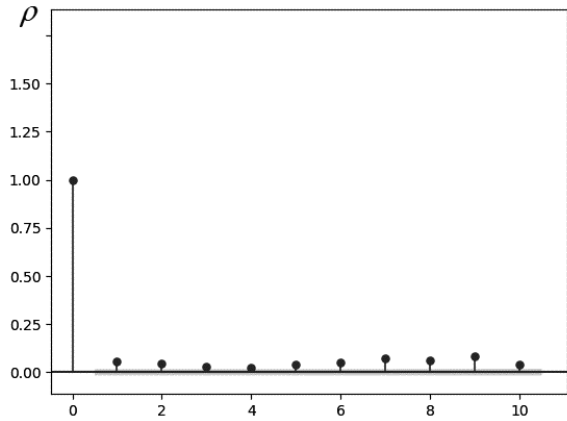


Рисунок 7. Автокорреляционная функция полученных интервалов времени при $k=3$

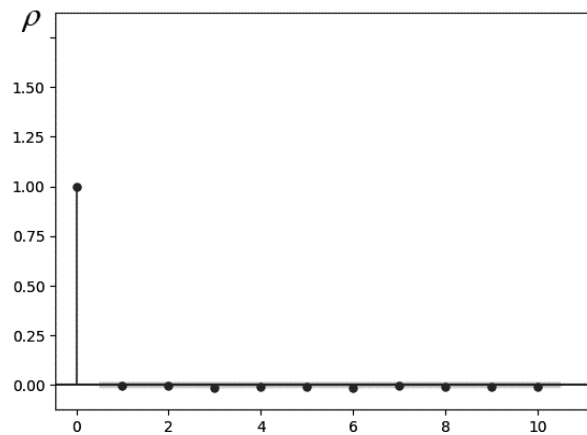


Рисунок 8. Автокорреляционная функция полученных интервалов времени при $k=4$

Заключение

Исследование показало, что интервалы времени между пакетами в сетевом трафике при передаче видео могут обладать автокорреляционными свойствами. Причем присутствие такой автокорреляции тесно связано с увеличением задержки пакетов и уровнем их потерь. Предлагаемый авторами алгоритм декорреляции может существенно снижать значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами в сетевом трафике. Дальнейшая работа по тематике статьи связана с программной реализацией предлагаемого способа непосредственно в драйвере сетевого устройства.

Литература

1. Cisco. VNI Complete Forecast Highlights. URL: https://www.cico.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf (дата обращения: 23.03.2024).

2. Performance models of statistical multiplexing in packet video communications / B.S. Maglaris [et al.] // IEEE Transactions on Communications. 1988. Vol. 36, no. 7. P. 834–844. DOI: 10.1109/26.2812
3. Nomura M., Fujii T., Ohta N. Basic characteristics of variable rate video coding in ATM environment // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1989. Vol. 7, no. 5. P. 752–760. DOI: 10.1109/49.32338
4. Tanwir S., Perros H.G. A survey of VBR video traffic models // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2013. Vol. 15, no. 4. P. 1778–1802. DOI: 10.1109/SURV.2013.010413.00071
5. Tanwir S., Perros H. VBR Video Traffic Models: monograph. New Jersey: Wiley & Sons, 2014. 148 p.
6. Mohamed A., Agamy A. A Survey on the common network traffic sources models // International Journal of Computer Networks. 2011. Vol. 3, no. 2. P. 103–115.
7. Chandrasekaran B. Survey of network traffic models // Computer Science, Engineering. 2006. P. 1–8. URL: https://www.cs.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3.pdf (дата обращения: 11.05.2024).
8. Biernacki A. Analysis of aggregated HTTP-based video traffic // Journal of Communications and Networks. 2016. Vol. 18, no. 5. P. 826–846. DOI: 10.1109/JCN.2016.000111
9. Biernacki A. Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video // Multimedia Tools and Applications. 2017. Vol. 76, no. 10. P. 12347–12368. DOI: 10.1007/s11042-016-3623-8
10. Бобрикова Е.В., Гайдамака Ю.В. Анализ времени распространения файла для одноранговой сети // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. 2018. Т. 26, №1. С. 84–92. DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-1-84-92
11. Markovich N., Krieger U. Statistical analysis and modeling of peer-to-peer multimedia traffic // Network Performance Engineering. Lecture Notes in Computer Science. 2011. Vol. 5233. P. 70–97. DOI: 10.1007/978-3-642-02742-0_4
12. Integrated measurement and analysis of peer-to-peer traffic / N. Markovich [et al.] // Proceedings of 8th International Conference Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010). Lulea, 2010. P. 302–314. DOI: 10.1007/978-3-642-13315-2_25
13. Eittenberger P., Krieger U., Markovich N. Teletraffic modeling of peer-to-peer traffic // Proceedings of 44th Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, 2012. P. 1–12. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465302
14. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике: монография. М.: Советское радио, 1971. 328 с.
15. Карташевский И.В. Обработка коррелированного трафика в сетях инфокоммуникаций: монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2023. 200 с.

Получено 01.08.2024

Карташевский Игорь Вячеславович, д.т.н., профессор кафедры программной инженерии (При) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Осанов Владимир Андреевич, старший преподаватель кафедры управления в технических системах (УТС) ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2281). E-mail: v.osanov@psuti.ru

Малахов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры УТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2281). E-mail: s.malakhov@psuti.ru

Якупов Денис Олегович, ассистент кафедры При ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: d.yakupov@psuti.ru

RESEARCH OF NETWORK TRAFFIC DECORRELATION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMATION

Kartashevskiy I.V., Osanov V.A., Malakhov S.V., Yakupov D.O.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

The article is devoted to the development of the network traffic decorrelation algorithm, allowing to significantly reduce the values of the autocorrelation coefficients of time intervals between packets. The proposed algorithm is based on finding the coefficients of the Haar wavelet transformation coefficient. An experimental analysis, presented demonstrates that an increase in the delay and the level of packet losses during video transmission over the network is closely related to an increase in the value of the autocorrelation coefficients of time intervals between packets at the traffic source output. The algorithm's performance is checked both on the resulting experimental trace and on the generated time intervals with the predetermined correlation coefficient, the value of which significantly exceeds the experimental value. The result of the proposed algorithm is new time intervals with a significantly reduced autocorrelation degree (almost equal zero).

Keywords: *network traffic, decorrelation, autocorrelation function, network latency, Haar wavelets*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.03

Kartashevskiy Igor Viacheslavovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Software Engineering Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Osanov Vladimir Andreevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Senior Teacher of Management in Technical Systems Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2281). E-mail: v.osanov@psuti.ru

Malakhov Sergey Valerievich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Management in Technical Systems Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2281). E-mail: s.malakhov@psuti.ru

Iakupov Denis Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Teacher of Software Engineering Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2341). E-mail: d.yakupov@psuti.ru

References

1. Cisco. VNI Complete Forecast Highlights. URL: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf (accessed: 23.03.2024).
2. Maglaris B.S. et al. Performance models of statistical multiplexing in packet video communications. *IEEE Transactions on Communications*, 1988, vol. 36, no. 7, pp. 834–844. DOI: 10.1109/26.2812
3. Nomura M., Fujii T., Ohta N. Basic characteristics of variable rate video coding in ATM environment. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1989, vol. 7, no. 5, pp. 752–760. DOI: 10.1109/49.32338
4. Tanwir S., Perros H.G. A survey of VBR video traffic models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 1778–1802. DOI: 10.1109/SURV.2013.010413.00071
5. Tanwir S., Perros H. *VBR Video Traffic Models*: Monograph. New Jersey: Wiley & Sons, 2014, 148 p.
6. Mohamed A., Agamy A. A Survey on the common network traffic sources models. *International Journal of Computer Networks*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 103–115.
7. Chandrasekaran B. Survey of network traffic models. *Computer Science, Engineering*, 2006, pp. 1–8. URL: https://www.cs.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3.pdf (accessed: 11.05.2024).

8. Biernacki A. Analysis of aggregated HTTP-based video traffic. *Journal of Communications and Networks*, 2016, vol. 18, no. 5, pp. 826–846. DOI: 10.1109/JCN.2016.000111
9. Biernacki A. Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video. *Multimedia Tools and Applications*, 2017, vol. 76, no. 10, pp. 12347–12368. DOI: 10.1007/s11042-016-3623-8
10. Bobrikova E.V., Gaidamaka Yu.V. Analysis of the file distribution time in Peer-to-Peer network. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Matematika, informatika, fizika*, 2018, vol. 26, no. 1, pp. 84–92. DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-1-84-92 (In Russ.)
11. Markovich N., Krieger U. Statistical analysis and modeling of peer-to-peer multimedia traffic. *Network Performance Engineering. Lecture Notes in Computer Science*, 2011, vol. 5233, pp. 70–97. DOI: 10.1007/978-3-642-02742-0_4
12. Markovich N. et al. Integrated measurement and analysis of peer-to-peer traffic. *Proceedings of 8th International Conference Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010)*. Lulea, 2010, pp. 302–314. DOI: 10.1007/978-3-642-13315-2_25
13. Eittenberger P., Krieger U., Markovich N. Teletraffic modeling of peer-to-peer traffic. *Proceedings of 44th Winter Simulation Conference (WSC 2012)*. Berlin, 2012, pp. 1–12. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465302
14. Bykov V.V. *Digital modeling in statistical radio engineering*: Monograph. Moscow: Sovetskoe radio, 1971, 328 p.
15. Kartashevskii I.V. *Processing of correlated traffic in infocommunication networks*: Monograph. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2023, 200 p.

Received 01.08.2024

СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.377

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ СЕАНСОВ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ МНОГОУРОВНЕВЫМИ ГРАФАМИ

Гладких А.А.¹, Мишин Д.В.², Дрягин С.А.³, Корсунский А.С.³

¹ Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, РФ

² Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

³ Научно-производственный центр «Марс», Ульяновск, РФ

E-mail: s_drg@mail.ru

В работе рассматривается модель многоточечного сеанса видеоконференцсвязи на основе многоуровневого графа. Предлагаемая модель позволяет задавать на сервисном уровне требования к качеству передаваемых видеопотоков между множеством терминалов и сервером многоточечной связи, а на уровнях защищенной и транспортной сети оценивать пропускную способность и задержки каналов передачи данных. Предложена модель многоуровневого графа системы видеоконференцсвязи, учитывающая особенности построения и организации защищенных сетей, в которых выделяется несколько уровней наложенных сетей поверх транспортной сети. В данной модели на сервисном уровне задается структура многоточечного сеанса, при котором терминалы видеоконференции взаимодействуют через сервер. Формируемые в ходе сеанса потоки трафика распределяются в соответствии с правилами маршрутизации на уровне защищенной сети. Учитывая множество альтернативных способов распределения трафика для каждой пары клиент-серверного взаимодействия, выбор наиболее оптимальной конфигурации маршрутов для сеанса в целом оказывается достаточно сложной задачей. В исследовании предложен алгоритм нахождения кратчайшего пути в графе защищенной наложенной сети с поэтапным проектированием каждого отдельного участка маршрута на нижележащий уровень транспортной сети для поиска кратчайшего пути в его пределах. Приведен пример решения задачи поиска маршрутов для каждого абонента с учетом правил наложенной сети и фактического продвижения трафика по транспортной сети. В качестве критерия оптимальности выбрана минимизация использования емкости арендуемых каналов. Проведены эксперименты для получения оценок качества сеанса на основе объективных методов при различных параметрах видеопотока и соответствующие им количественные оценки требуемой пропускной способности для организации сеанса.

Ключевые слова: многоуровневый граф, видеоконференцсвязь, многоточечные сеансы видеоконференцсвязи, оценка качества видеоконференцсвязи, сеть передачи данных, расчет загруженности каналов