

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/330361966>

Estimation of QoS characteristics of self-similar traffic for the WB/M/1/ ∞ queuing system

Article · May 2018

DOI: 10.33243/2518-7139-2018-1-1-27-33

CITATIONS

3

READS

33

4 authors:



Strelkovskaya Irina

Odessa National Academy of Telecommunications

40 PUBLICATIONS 184 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Eduard Siemens

Hochschule Anhalt

96 PUBLICATIONS 212 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Irina Solovskaya

International Humanitarian University

39 PUBLICATIONS 172 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Irina Zander

Hochschule Anhalt

14 PUBLICATIONS 51 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



SilaaCooling [View project](#)



VoIP at RRZN [View project](#)



ISSN 0131-8675

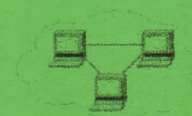
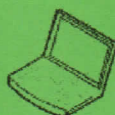
НАУКОВІ ПРАЦІ ОНАЗ ім. О.С. Попова

Proceedings of the O.S. Popov ONAT

Періодичний
науковий збірник
з радіотехніки та телекомунікацій,
електроніки, економіки
та управління підприємствами
(економіка зв'язку)

Periodical
magazine about
radio-engineering and
telecommunications, electronics,
economics and management
in the ICT

2018'1



Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова

Видається з 1933 р.

УДК 621. 37/39:33

2018'1

Збірник "Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова"

Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова: Періодичний науковий збірник з телекомунікаційних систем та мереж, антен та пристроїв мікрохвильової техніки, радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій, радіотехнічних та телевізійних систем, оптоелектронних систем, твердотільної електроніки, економіки та управління підприємствами (економіка зв'язку). – Одеса, 2018. – 168 с.

Головний редактор

П.П. Воробієнко д.т.н., проф., Україна

Заст. головного редактора, науковий редактор

О.В. Бондаренко д.т.н., проф., Україна

Науковий редактор

А.Г. Ложковський д.т.н., проф., Україна

Відповідальний

В.А. Кантур

секретар

к.т.н., с.н.с., Україна

Редакційна колегія:

В.О. Балашов д.т.н., проф., Україна
В.Л. Банкет д.т.н., проф., Україна
Ю.І. Буріменко д.т.н., проф., Україна
І.М. Вікулін д.ф.-м.н., проф., Україна
Анка Георгіу д.т.н., проф., Румунія
О.В. Гофайзен д.т.н., проф., Україна
В.М. Гранатуров д.е.н., проф., Україна
В.К. Джі докт., проф., Корея
М.Й. Естола к.т.н., доц., Фінляндія
Кавасумі Ясухіко д.т.н., проф., Японія
Завазава Космас доктор, Швейцарія
Д.А. Зайцев д.т.н., проф., Україна
М.В. Захарченко д.т.н., проф., Україна

А.О. Зневич д.т.н., проф., Белорусь
А.Ф. Кадацький д.т.н., проф., Україна
Ш.Д. Курмашев д.ф.-м.н., проф., Україна
І.П. Лісовий д.т.н., проф., Україна
Т.М. Мансуров д.т.н., проф., Азербайджан
В.М. Орлов д.е.н., проф., Україна
Є.М. Рудий д.т.н., проф., Україна
Ш.Ж. Сеїлов д.т.н., проф., Казахстан
Е. Сіменс докт., проф., Німеччина
Л.О. Стрій д.е.н., проф., Україна
Е.О. Сукачов д.т.н., проф., Україна
Т.А. Цалієв д.т.н., проф., Україна
Л.О. Яцук д.т.н., проф., Україна

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 13255-2139Р від 08.10.2007 р.

Матеріали збірника розглянуто та рекомендовано до друку
вченою радою ОНАЗ ім. О.С. Попова. Протокол № 9 від 31.05.2018 р.

Внесений до Переліку наукових фахових
видань України на підставі наказу Міністерства
освіти і науки України від 07.10.2015 р. № 1021

Електронна версія журналу <https://ojs.onat.edu.ua/>

Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка
наукова» та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ «Джерело» (вільний он-лайнний
доступ до ресурсів на Web-сервері <http://www.nbu.gov.ua>).

Proceedings of the O.S. Popov ONAT

Published since 1933

2018'1

Magazine "Proceedings of the O.S. Popov ONAT"

Proceedings of the O.S. Popov ONAT: The periodical scientific magazine about telecommunication systems and networks, antennas and microwave devices, appliances, wireless devices and means of telecommunication, radio and television systems, optoelectronic systems, solid-state electronics, economics and management in the ICT. - Odessa, 2018. - 168 p.

The Chief Editor

P.P. Vorobiyenko

Deputy Chief Editor, scientific editor

O.V. Bondarenko

Dr.Sc., Prof., Ukraine

Science Editor

A.H. Lozhkovskiy

Dr.Sc., Prof., Ukraine

Responsible Secretary

V.A. Kaptur

Ph.D., S.R., ONAT

Editorial board:

<i>V.O. Balashov</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>V.L. Banket</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>Yu.I. Burimenko</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>I.M. Vikulin</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>Anca Gheorghiu</i>	Dr.Sc., Prof., Romania
<i>O.V. Hofaizen</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>V.M. Hranaturov</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>W.K. Jee</i>	Ph.D., Prof., Republic of Korea
<i>M. Jo. Estola</i>	Ph.D., Docent, Finland
<i>Yasuhiko Kawasumi</i>	Ph.D., Prof., Japan
<i>Zavazava Cosmas</i>	Ph.D., Switzerland
<i>D.A. Zaitsev</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>M.V. Zakharchenko</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine

<i>A.O. Zenevich</i>	Dr.Sc., Prof., Belarus
<i>A.F. Kadatskiy</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>Sh.D. Kurmashev</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>I.P. Lisovyi</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>T.M. Mansurov</i>	Dr.Sc., Prof., Azerbaijan
<i>V.M. Orlov</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>Ye.M. Rudyi</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>Sh.Js. Seilov</i>	Dr.Sc., Prof., Kazakhstan
<i>E. Siemens</i>	Ph.D., Prof., Germany
<i>L.O. Strii</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>E.O. Sukachov</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>T.A. Tsaliiev</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine
<i>L.O. Yashchuk</i>	Dr.Sc., Prof., Ukraine

Certificate of registration
KV № 13255-2139P since 08.10.2007

Materials reviewed and recommended for publication by the
Academic Council of the O.S. Popov ONAT. Protocol number 9 on 31/05/2018

Listed for scientific professional
editions of Ukraine under the decree of Ministry
of Education and Science of Ukraine of 07.10.2015 № 1021
Web: <https://ojs.onat.edu.ua/>

Bibliographic information is stored in the national database "Ukrainika scientific" and published in relevant thematic series of Hourges "Dzherelo" (free online access to resources on the Web-server <http://www.nbu.gov.ua>).

ЗМІСТ

Радіотехніка, телекомунікація та електроніка

<i>Tsaliev T. A., Siden S.V.</i> Wideband planar spiral antenna with peripheral feeding.....	5
<i>Banket V.L., Manakov S. Yu.</i> Composite walsch-barker sequenses.....	12
<i>Lozhkovskiy A.G., Levenberg Ye.V.</i> Estimating the service waiting probability in a single-channel system with self-similar traffic.....	22
<i>Strelkovskaya I., Siemens E., Solovskaya I., Fedotova I.</i> Estimation of QoS characteristics of self-similar traffic for the $W_B/M/1/\infty$ queuing system	27
<i>Odegov N.A., Staren'kyy I.V., Kostjuk V.V.</i> Formation the picosecond optical pulses of the assigned structure using precision lines of delay.....	34
<i>Oreshkov V.I.</i> Efficiency evaluation of the «Vectoring» system application on the connecting lines during modernization of the rural telephone network.....	44
<i>Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Яневич О.К.</i> Дослідження впливу опору навантаження відгалуження на швидкість передавання даних мережами будинкової електропроводки	53
<i>Мазур А.Д., Педяш В.В.</i> Оценка параметров качества оптической системы передачи с поляризационным мультиплексированием	61
<i>Одегов Н.А., Грушенко А.А., Костюк В.В., Резник Р.С.</i> Методика синтеза моделей зависимостей дисперсионных характеристик от частоты и состава оптического волокна	68
<i>Захарченко Н.В., Гаджиев М.М., Голев Д.В., Седов К.С., Русаловская А.А.</i> Эффективность передачи информации двухсимвольными ансамблями в симплексных системах связи на базе ТСК.....	77
<i>Онацкий А.В., Жарова О.В.</i> Криптографический протокол доказательства с нулевым разглашением на эллиптических кривых с использованием односторонней хэш-функции	84
<i>Korchynskii V.V., Kildishev V.I., Osadchuk K.A.</i> The increase of transmission protection based on multiplexing of timer signal constructions	93
<i>Shmeleva T.R.</i> Performance evaluation of communication grids with cut-through switching nodes	98
<i>Babich Y.O., Shulakova K.S.</i> Long-term monitoring of routes unavailability for information and communication network	106
<i>Бубенцова Л.В.</i> Исследование состояния украинского сегмента сети Интернет	114
<i>Kadatskyu A.F., Rusu A.P.</i> Determination of the necessary inductor core dimensions for switching electrical energy converters	125
<i>Яцук Л.О.</i> Просторово-часова синхронізація процесів оброблення і перевезення письмової кореспонденції в мережі поштового зв'язку з автоматизованим сортувальним центром	135
<i>Торошанко О.С.</i> Метод вимірювань у безпроводних сенсорних мережах датчиками з повільним дрейфом параметрів	142
<i>Ирха В.И.</i> Радиационная деградация светоизлучающих диодов с переизлучением фотонов	152

Економіка та управління підприємствами (економіка зв'язку)

<i>Kaluhina N.A., Sakun A.A.</i> Problems of infrastructure functioning of the electronic digital signature in Ukraine.....	159
---	-----

TABLE OF CONTENTS

Radio, telecommunications and electronics

<i>Tsaliev T. A., Siden S.V.</i> Wideband planar spiral antenna with peripheral feeding	5
<i>Banket V.L., Manakov S. Yu.</i> Composite walsch-barker sequenses.....	12
<i>Lozhkovskiy A.G., Levenberg Ye.V.</i> Estimating the service waiting probability in a single-channel system with self-similar traffic	22
<i>Strelkovskaya I., Siemens E., Solovskaya I., Fedotova I.</i> Estimation of QoS characteristics of self-similar traffic for the $W_B/M/1/\infty$ queuing system	27
<i>Odegov N.A., Staren'kyy I.V., Kostjuk V.V.</i> Formation the picosecond optical pulses of the assigned structure using precision lines of delay.....	34
<i>Oreshkov V.I.</i> Efficiency evaluation of the «Vectoring» system application on the connecting lines during modernization of the rural telephone network.....	44
<i>Lashko A.G., Liakhovetskyi L.M., Yanevych O.K.</i> Research of branch load impedance influence on the data rate over the networks built on the house electrowiring.....	53
<i>Mazur A.D., Pedyash V.V.</i> Estimation of quality parameters of optical transmission system with polarization multiplexing.....	61
<i>Odegov N.A., Grushenko A.A., Kostjuk V.V., Reznik R.S.</i> Method of synthesis of models of dependent dispersion characteristics of frequency and composition of optical fiber.....	68
<i>Zakharchenko N.V., Gadzhiev M.M., Golev D.V., Sedov K.S., Rusalovskaya A.A.</i> Effectiveness of information transmission by two-symbols ensemble in simplex communication systems on the basis of TSC	77
<i>Onatskiy A.V., Garova O.V.</i> Cryptographic protocol zero-knowledge proof on elliptic curves using one-way hash-function.....	84
<i>Korchynskii V.V., Kildishev V.I., Osadchuk K.A.</i> The increase of transmission protection based on multiplexing of timer signal constructions	93
<i>Shmeleva T.R.</i> Performance evaluation of communication grids with cut-through switching nodes	98
<i>Babich Y.O., Shulakova K.S.</i> Long-term monitoring of routes unavailability for information and communication network	106
<i>Bubentsova L.V.</i> Research of the ukrainian segment state of the Internet	114
<i>Kadatskyy A.F., Rusu A.P.</i> Determination of the necessary inductor core dimensions for switching electrical energy converters.....	125
<i>Yashchuk L.O.</i> Spatio-temporal synchronization of processes of treatment and transportation of writing correspondence in postal communication network with the automated sorting center.....	135
<i>Toroshanko O.S.</i> Method for measurements in wireless sensor networks with sensors with slow drift of parameters	142
<i>Irkha V.I.</i> Radiation degradation of light-emission diodes with reradiation of photons	152

Economics and management in the ICT

<i>Kaluhina N.A., Sakun A.A.</i> Problems of infrastructure functioning of the electronic digital signature in Ukraine.....	159
--	-----

Підписано до друку 31.05.2018 р.
Формат 60 x 88/8
Обсяг друк. арк. 21,0.
Тираж 300 прим.
Зам. № 6222.

Редактор Кодрул Л.А.

Комп'ютерна верстка і макетування Кірдогло Т.В.

Віддруковано у друкарні видавничого центру Одеської національної академії зв'язку
ім. О.С. Попова з оригінал-макета.

Україна, 65029, м. Одеса, вул. Ковалевського, 5

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
вигоцівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 3633 від 27.11.2009 р.

© ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018

ESTIMATION OF QoS CHARACTERISTICS OF SELF-SIMILAR TRAFFIC FOR THE $W_B/M/1/\infty$ QUEUING SYSTEM

Strelkovskaya I.¹, Siemens E.², Solovskaya I.¹, Fedotova I.²

¹ O.S. Popov Odessa national academy of Telecommunications, 1 Kuznechnaya St., Odessa, 65029, Ukraine.

² Anhalt University of Applied Sciences, 57 Bernburger St., 06366, Koethen, Germany.

¹ i.strelkovskaya@onat.edu.ua, i.solovskaya@onat.edu.ua,

² eduard.siemens@hs-anhalt.de, irina.fedotova@hs-anhalt.de

ЗНАХОДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК QoS САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА ДЛЯ СМО $W_B/M/1/\infty$

Стрелковська І.В.¹, Сіменс Е.², Соловська І.М.¹, Федотова І.²

¹ Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, 65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1

² Анхальтський університет прикладних наук, 06366, Німеччина, м. Кьотен, 57 Bernburger St.

¹ i.strelkovskaya@onat.edu.ua, i.solovskaya@onat.edu.ua,

² eduard.siemens@hs-anhalt.de, irina.fedotova@hs-anhalt.de

НАХОЖДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК QoS САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА ДЛЯ СМО $W_B/M/1/\infty$

Стрелковская И.В.¹, Сименс Э.², Соловская И.Н.¹, Федотова И.²

¹ Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, 65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1

² Анхальтский университет прикладных наук, 06366, Германия, г. Кемтен, 57 Bernburger St.

¹ i.strelkovskaya@onat.edu.ua, i.solovskaya@onat.edu.ua,

² eduard.siemens@hs-anhalt.de, irina.fedotova@hs-anhalt.de

Abstract. The work considers the problem of Quality of Service (QoS) characteristics estimation for self-similar traffic serviced by a queuing system of the $W_B/M/1/\infty$ type using the Weibull distribution. To solve this problem, a transformation of Laplace-Stieltjes is applied. The values of service quality characteristics, such as the average time of packets delay and the length of packets queue, have been obtained for self-similar traffic serviced by the $W_B/M/1/\infty$ queuing systems (QS). We obtained graphs of the dependence average waiting time $W = W(\lambda, H)$ of a request in the system and average queue length $Q = Q(\rho, H)$ which allow us to provide practical guidance on the maximum value of the average waiting time W for queries that arrive at the $W_B/M/1/\infty$ QS. It can be stated when planning the sizes of the buffers for hardware and software facilities, it is necessary to plan them in the way that would guarantee the required QoS. The obtained results will allow the consideration of design features and structure of the network nodes at the stage of planning and during further operation of the NGN hardware and software facilities.

Key words: self-similar traffic, queuing system, quality-of-service characteristics, QoS, Weibull distribution, Laplace-Stieltjes transform.

Анотація. Сучасні телекомунікації розвиваються у напрямку до мереж наступного покоління NGN (Next Generation Network), функціонування яких базується на технологіях пакетної комутації. Пакетний трафік, який обслуговується в мережі NGN, є різномірним, адже формується за допомогою безлічі різних джерел послуг і мережних додатків для забезпечення надання послуг передачі мови, даних та відеозображень TPS (Triple Play Service). Він має особливу структуру, яка визначається пачечністю і наявністю значної кількості пульсацій. Це часто призводить до можливих перевантажень мережних вузлів і їх буферних пристроїв і, відповідно, до затримок і втрат пакетів. Тому при обслуговуванні пакетного трафіка особлива увага приділяється підтримці характеристик якості обслуговування QoS (Quality of Service). Розглянуто задачу знаходження характеристик якості QoS самоподібного трафіка для системи масового обслуговування виду $W_B/M/1/\infty$ з використанням розподілу Вейбулла. Для розв'язання цієї задачі використовується перетворення Лапласа-Стилтьєса. Отримані значення характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка для системи

масового обслуговування (СМО) $W_B/M/1/\infty$, а саме: середній час затримки пакетів, середня кількість вимог у СМО та довжина пакетної черги. Отримані графіки залежностей середнього часу очікування $W = W(\lambda, H)$ від інтенсивності надходження вимог на обслуговування та параметра Херста й середньої довжини пакетної черги $Q = Q(\rho, H)$ від коефіцієнта завантаженості та параметра Херста. Це дозволяє надати практичні рекомендації щодо максимального значення середнього часу очікування W для запитів, які надходять до СМО $W_B/M/1/\infty$. Тоді при прогнозуванні розмірів буферів апаратно-програмних засобів мережі можливо передбачити такий розмір буфера пристроїв, який дозволить обслуговування запитів у СМО з заданою якістю обслуговування QoS. Отримані результати дозволять на етапі проєктування та подальшої експлуатації апаратно-програмних засобів мережі NGN враховувати особливості побудови та структуру вузлів мережі в умовах реальних процесів їхнього функціонування.

Ключові слова: самоподібний трафік, система масового обслуговування, характеристики якості обслуговування, розподіл Вейбулла, перетворення Лапласа-Стилтьєса.

Аннотация. Рассматривается задача нахождения характеристик качества Quality of Service QoS самоподобного трафика для системы массового обслуживания вида $W_B/M/1/\infty$ с использованием распределения Вейбулла. Для решения этой задачи используется преобразование Лапласа-Стилтьєса. Получены значения характеристик качества обслуживания самоподобного трафика для системы массового обслуживания (СМО) $W_B/M/1/\infty$, такие как: среднее время задержки пакетов, среднее количество требований в СМО и длина пакетной очереди. Получены графики зависимости среднего времени ожидания $W = W(\lambda, H)$ заявки в СМО и средней длины пакетной очереди $Q = Q(\rho, H)$, которые позволяют дать практические рекомендации по максимальному значению среднего времени ожидания W для запросов, которые поступают в СМО $W_B/M/1/\infty$. Тогда при прогнозировании размеров буферов аппаратно-программных средств сети можно предусмотреть такой размер буфера устройств, который бы позволил обслуживание заявок в СМО с заданным качеством обслуживания QoS. Полученные результаты позволяют на этапе проектирования и дальнейшей эксплуатации аппаратно-программных средств сети NGN учитывать особенности построения и структуру узлов сети в условиях реальных процессов их функционирования.

Ключевые слова: самоподобный трафик, система массового обслуживания, характеристики качества обслуживания, распределение Вейбулла, преобразование Лапласа-Стилтьєса

Introduction. The development of modern telecommunications is connected with the active implementation of Next Generation Networks (NGN), which are multi-service, multiprotocol and invariant to switching technologies. By its nature, the traffic serviced in NGN is heterogeneous because it is formed by a variety of characteristics of different sources, such as services and network applications, involved in providing a range of Triple Play Service - voice, data, and video services. Self-similar traffic has a special structure which is characterized by burstiness and the presence of a significant number of pulsations. This often leads to possible overloads of network nodes and their buffer devices and, respectively, to packet delays and losses. Therefore, special attention must be paid to maintain Quality of Service (QoS) characteristics when servicing packet traffic in NGN [1-2].

Packet traffic of NGN has a self-similar (fractal) nature. According to [3-4], the real process $X(t)$, $t \in R$ is self-similar with exponent $H > 0$ if for all $a > 0$, finite-dimensional distributions for $\{X(at), t \in R\}$ are identical to finite-dimensional distributions $\{a^H X(t), t \in R\}$, i.e. if for any $k \geq 1$, $t_1, t_2, \dots, t_k \in R$, and any $a > 0$

$$(X(at_1), X(at_2), \dots, X(at_k)) \equiv (a^H X(t_1), a^H X(t_2), \dots, a^H X(t_k)), \quad (1)$$

or

$$\{X(at), t \in R\} \equiv \{a^H X(t), t \in R\}.$$

Proceeding from the expression (1), we can conclude that the process is repeated with the observance of statistical properties due to the fact that the statistical characteristics do not change when scaling. This paper considers traffic whose distribution tails can be described by Pareto distributions, Gamma distribution or Weibull distribution.

At the design stage of network hardware and software, when the network structure and performance of the network nodes are selected and during further NGN operation, it is necessary to use the calculation methods for QoS characteristics estimations to consider the self-similarity of

packet traffic. We employ the Weibull distribution, which is used for high bit rate data and voice traffic.

A significant number of works by various authors have been devoted to the QoS characteristics estimations for self-similar traffic [5-10]. Most of the works are based on experimental data or simulation results. However, analytical solutions have not yet been found for QoS characteristics of self-similar traffic in the case of various distributions. Only approximate solutions for some types of queuing systems (QS) were obtained for some cases of traffic described by the different distributions, e.g., by the gamma distribution [5]. The Pollachek-Khinchin formula applied to the M/G/1 QS, as well as the Norros's formula to the fBM/D/1/∞ QS, were used to estimate QoS characteristics in the works [3,5,7-8,10]. All the above allow us to conclude that there is an interest in the problem of finding quality characteristics of self-similar traffic described by distributions of different types. This is required at the stage of choosing the hardware and software resources for NGN, including the structure and size of the buffer devices of network nodes.

In the work [11], the method of finding image $F(p)$ is shown, as well as the root of the equation σ , when the solution is approximately obtained, discarding an infinite number of members. Additionally, the error of the obtained results is calculated. However, in addition to that work, it is important to obtain accurate root values of the equation σ , without approximations, which allow the discovery of the necessary quality characteristics of QoS exactly.

The purpose of this work is to find the QoS characteristics of self-similar traffic described by the Weibull distribution for a QS of the $W_B/M/1/\infty$ type. The characteristics include the average packet delay in the system and packets queue length.

Calculation of the QoS characteristics of self-similar traffic

Consider a QS of the $W_B/M/1/\infty$ type that services the incoming flow of requests with arrival moments having the Weibull distribution W , the service time has an exponential distribution M , while the QS has one server [3].

Taking into account that the examined QS is characterized by a Weibull distribution of arrivals, the problem of QoS characteristics calculation is considerably complicated. So far, this problem has been analytically solved for self-similar traffic with the gamma distribution [5]. With the help of simulations, approximate solutions with a certain error were obtained for self-similar traffic with the Weibull and Pareto distributions [10,12].

Consider a Weibull distribution, which is typical for high bit rate data and voice traffic. We use a different approach, namely, we find the Laplace-Stieltjes transform for the Weibull distribution in order to obtain QoS characteristics of self-similar traffic.

Consider a Weibull distribution described by the differential distribution function [3]:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta x^{\alpha-1} e^{-\beta x^\alpha}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

where α – distribution curve shape parameter, $0 < \alpha < 1$; $\alpha = 2 - 2H$, H – Hurst parameter,

$0.5 \leq H < 1$; $\beta = \left[\lambda \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]^\alpha$ – distribution parameter, $\beta > 0$; λ – intensity of arrivals to QS;

$\Gamma(k)$ – Euler gamma function of the form of $\Gamma(k) = \int_0^{+\infty} t^{k-1} e^{-t} dt$.

We use the Laplace-Stieltjes transform to find the QoS characteristics of self-similar traffic described by the Weibull distribution for a QS of the $W_B/M/1/\infty$ type. It is known from [13] that for the $W_B/M/1/\infty$ QS, the probability that a newly arrived request will find n requests in the QS is defined as:

$$r_n = (1 - \sigma) \sigma^n, \quad 0 \leq \sigma < 1, \quad (3)$$

where σ – the root of equation

$$\sigma = F(\mu - \mu\sigma), \quad 0 \leq \sigma < 1, \quad (4)$$

where μ – the requests service rate in the QS.

In this case, F is the Laplace-Stieltjes transform (LST) of the distribution function of the intervals between arrivals to QS, and has the form of

$$F(s) = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt, \quad (5)$$

where $f(t)$ – probability density of a random variable τ (τ – duration of the interval between adjacent arrivals).

Having found the roots of equation (4), it is possible to determine the following characteristics of the $W_B/M/1/\infty$ QS [13]:

– average waiting time W of a request in the system can be determined by the expression

$$W = \frac{\sigma}{\mu(1-\sigma)}, \quad (6)$$

– average queue length Q can be defined as follows:

$$Q = \frac{\rho\sigma}{1-\sigma}, \quad (7)$$

where ρ – coefficient of utilization of a QS.

Considering (5), the expression (4) will take the form of:

$$\sigma = \alpha\beta \int_0^{+\infty} e^{-(\mu-\mu\sigma)t} t^{\alpha-1} e^{-\beta t^\alpha} dt. \quad (8)$$

Using the expansion of the e^x function to the Maclaurin series [14] $e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!}$, where $x \in (-\infty, +\infty)$, it is easy to see that the probability density of the distribution of arrivals intervals durations will be:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n t^{n\alpha-1}. \quad (9)$$

For the original $f(t)$, defined by the expression (9), it is necessary to find the F image. It is known that the Laplace transform possesses the property of linearity for a finite number of terms, that is, if $f_1(t)$, $f_2(t)$, ..., $f_N(t)$ are originals, then for all the constants c_i , $i = \overline{1, N}$, the function

$f(t) = \sum_{k=1}^N c_k f_k(t)$ is also an original and the following equation is fair [15-16] we get

$$L[f(t)] = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n \frac{\Gamma(n\alpha)}{p^{n\alpha}}, \quad (10)$$

where $n\alpha > 0$ is in some ring with the center at the origin of coordinate systems.

Then, we obtain an image of $F(p)$:

$$F(p) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n \frac{\Gamma(n\alpha)}{p^{n\alpha}}, \quad n\alpha > 0. \quad (11)$$

Then, according to (11), equation (4) takes the form of [11]:

$$\sigma = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n \frac{\Gamma(n\alpha)}{(\mu - \mu\sigma)^{n\alpha}}, \quad n\alpha > 0. \quad (12)$$

Solving equation (12), we find the root of the σ equation. This will allow to determine the necessary quality characteristics for a QS of the $W_B/M/1/\infty$ type [13]. Using the expression (6) in order we find the average waiting time W for an intensity of arrivals in the QS and complete the graph of the dependence $W = W(\lambda, H)$ (Fig. 1).

According to Fig. 1, showing the graph of the dependence $W = W(\lambda, H)$, we can draw the following conclusions:

- the maximum value of the average waiting time W for a request within the $W_B/M/1/\infty$ QS corresponds to the $H \in [0,85; 0,90]$ range of the Hurst parameter and the range of intensity of arrivals $\lambda \in [0,75; 0,9]$ for the QS;

- the maximum value of average waiting time W for a request within the $W_B/M/1/\infty$ QS is 22,16 conventional time units (c.t.u.) for the given value $H = 0,9$ of the Hurst coefficient.

It can be stated that when planning sizes of the buffers for hardware and software facilities it is necessary to plan them in the way that would guarantee the required QoS.

Using the expression (7) we find the average queue length Q of the QS and plot the graph of the dependence $Q = Q(\rho, H)$ (Fig. 2).

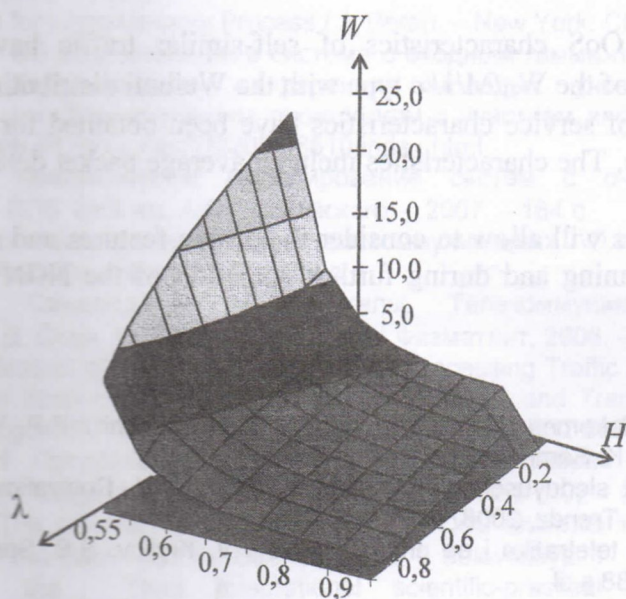


Figure 1 – The graph of the dependence $W = W(\lambda, H)$ of the average waiting time W on a load coefficient of the $W_B/M/1/\infty$ QS and the Hurst parameter value

According to Fig. 2, showing the graph of the dependence $Q = Q(\rho, H)$, we can make the following conclusions:

- the average queue length L of the $W_B/M/1/\infty$ QS depends on the load factor ρ and increases with the growth of the Hurst parameter values H ;

- the maximum value of the average queue length Q is 7,16 of the $W_B/M/1/\infty$ QS is reached in the range of $H \in [0,85; 0,9]$ of the Hurst parameter corresponding to the range of the coefficient of utilization values belonging to the interval of $\rho \in [0,8; 0,9]$.

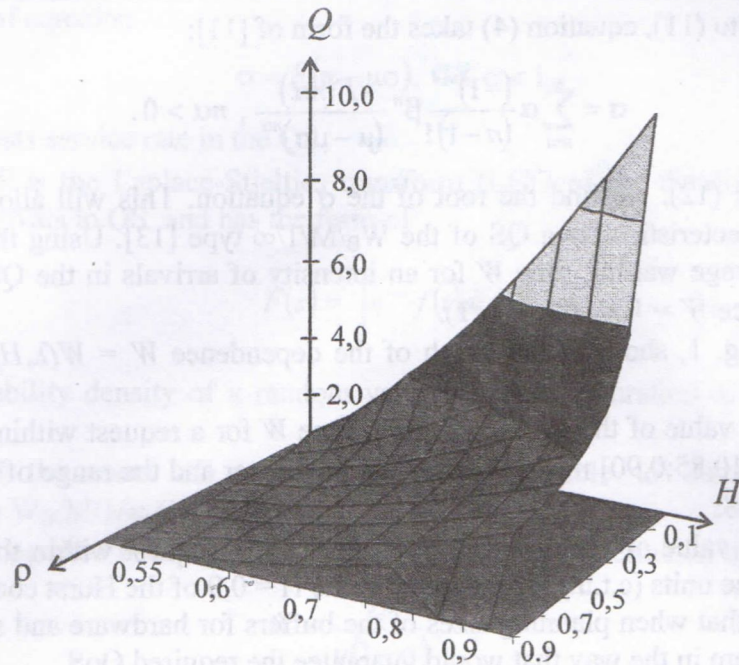


Figure 2 – The graph of the dependence $Q = Q(\rho, H)$ of the average queue length Q of the $W_B/M/1/\infty$ QS on the load coefficient and the Hurst parameter

Conclusion. The QoS characteristics of self-similar traffic have been found for the examined queuing system of the $W_B/M/1/\infty$ type with the Weibull distribution. The results include:

- values of quality of service characteristics have been obtained for the $W_B/M/1/\infty$ QS that services self-similar traffic. The characteristics include: average packet delay and an average queue length;
- the obtained results will allow to consider the design features and structure of the network nodes at the stage of planning and during further operation of the NGN hardware and software facilities.

REFERENCES:

1. Voroblenko P.P. Telekommunikatsiyni ta Informatsiyni merezhi / P.P. Vorobienko, L.A. Nikityuk, P.V. Reznichenko. – K: Sammit-kniga, 2010. – 640 s.:il.
2. Roslyakov A.V. Seti sleduyushchego pokoleniya NGN / A.V. Roslyakov, S.V. Vanyashin, M.Yu. Samsonov – M.: Eko-Trendz, 2008. – 424 s.:il.
3. Kryilov V.V. Teoriya teletrafika i ee prilozheniya / V.V. Kryilov, S.S. Samohvalova. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 288 s.:il.
4. Beran J. Statistics for Long-Memory Process / J. Beran. – New York: Chapman&Hall, 1994.
5. Ponomarev D.Yu. Ob obsluzhivani v sisteme s vhodnyim gamma potokom / D.Yu. Ponomarev // Materialy V Vserossiyskaya konferentsiya molodykh uchenykh po matema-ticheskomu modelirovaniyu i informatsionnyim tehnologiyam s uchastiem inostrannykh uchenykh. – Rezhim dostupa: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2004/8510/index.html>.
6. Ryizhikov Yu.I. Kompyuternoe modelirovanie sistem s ocheredyami: kurs lektsiy / Yu.I. Ryizhikov. – SPb: VKA im. A.F. Mozhayskogo. – 2007. – 164 s.
7. Sheluhin O.I. Fraktalnye protsessy v telekommunikatsiyah / O.I. Sheluhin, A.M. Tenyakshev, A.V. Osin. – M.: Radiotekhnika, 2003. – 480 s.
8. Sheluhin O.I. Samopodobie i fraktalyi. Telekommunikatsionnyie prilozheniya / O.I. Sheluhin, A.V. Osin, S.M. Smolskiy. – M.: Fizmatlit, 2008. – 368 s.
9. Yusheng Ci. Application of the Weibull Function on Processing Traffic Flow Data / Ci Yusheng, Lina Wu, Yulong Pei // Sixth International Conference of Traffic and Transportation Studies Congress (ICTTS-2008), (August 5-7, 2008), Nanning, China, 2008. – P. 862-869. doi:10.1061/40995(322)81.
10. Zadorozhnyi V.N. Predposylki sozdaniya fraktalnoy teorii massovogo obsluzhivaniya / V.N. Zadorozhnyi // Omskiy nauchnyi vestnik. – 2010. – № 2 (90).

11. Strelkovskaya I. The solution to the problem of the QoS characteristics definition for self-similar traffic serviced by the W/M/1 QS / I. Strelkovskaya, I. Solovskaya, T. Grygoryeva, S. Paskalenko // Proceedings of the Third International scientific-practical conference «Problems of Infocommunications science and technology (PICS&T 2016)», (October 4-6, 2016), Kharkiv, 2016. – P. 40-42. doi:10.1109/infocommst.2016.7905330.
12. Strelkovskaya I.V. Finding some QoS characteristics of self-similar traffic serviced by a mobile network / I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya, A.O. Makoganiuk // Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017, (AICT-2017), (July 4-7, 2017), Lviv, 2017. – P. 146-149. doi:10.1109/aiact.2017.8020086.
13. Kleynrok L. Teoriya massovogo obsluzhivaniya / Kleynrok L. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 432 s.
14. Strelkovska I.V. Vischa matematika dlya fahivtsiv v galuzi zv'yazku: Ch. IV: Integral po orientovanly oblastl. Vektorniy analiz. Ryadi. Diferentsialni rivnyannya / I.V. Strelkovska, V.M. Paskalenko. – Odesa: VMV, 2015. – 668 s.
15. Beytmen G. Tablitsyi integralnykh preobrazovaniy. T.1. Preobrazovaniya Fure, Laplasya, Mellina / G. Beytmen, A. Erdeyi. – M.: Nauka, 1969. – 343 s.
16. Fihtengolts G.M. Osnovy matematicheskogo analiza. T.2. / Fihtengolts G.M. – M.: Nauka, 1968. – 464 s.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.В. Резніченко. – К: Самміт-книга, 2010. – 640 с.:іл.
2. Росляков А.В. Сети следующего поколения NGN / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, М.Ю. Самсонов – М.: Эко-Трендз, 2008. – 424 с.:ил.
3. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
4. Beran J. Statistics for Long-Memory Process / J. Beran. – New York: Chapman&Hall, 1994.
5. Пономарев Д.Ю. Об обслуживании в системе с входным гамма потоком / Д.Ю. Пономарев // Материалы V Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям с участием иностранных ученых. – Режим доступа: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2004/8510/index.html>.
6. Рыжиков Ю.И. Компьютерное моделирование систем с очередями: курс лекций / Ю.И. Рыжиков. – СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского. – 2007. – 164 с.
7. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
8. Шелухин О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
9. Yusheng Ci. Application of the Weibull Function on Processing Traffic Flow Data / Ci Yusheng, Lina Wu, Yulong Pei // Sixth International Conference of Traffic and Transportation Studies Congress (ICTTS-2008), (August 5-7, 2008), Nanning, China, 2008. – P. 862-869. doi:10.1061/40995(322)81.
10. Задорожный В.Н. Предпосылки создания фрактальной теории массового обслуживания / В.Н. Задорожный // Омский научный вестник. – 2010. – № 2 (90). – С. 182-187.
11. Strelkovskaya I. The solution to the problem of the QoS characteristics definition for self-similar traffic serviced by the W/M/1 QS / I. Strelkovskaya, I. Solovskaya, T. Grygoryeva, S. Paskalenko // Proceedings of the Third International scientific-practical conference «Problems of Infocommunications science and technology (PICS&T 2016)», (October 4-6, 2016), Kharkiv, 2016. – P. 40-42. doi:10.1109/infocommst.2016.7905330.
12. Strelkovskaya I.V. Finding some QoS characteristics of self-similar traffic serviced by a mobile network / I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya, A.O. Makoganiuk // Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017, (AICT-2017), (July 4-7, 2017), Lviv, 2017. – P. 146-149. doi:10.1109/aiact.2017.8020086.
13. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Клейнрок Л. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
14. Стрелковська І.В. Вища математика для фахівців в галузі зв'язку: Ч. IV: Інтеграл по орієнтованій області. Векторний аналіз. Ряди. Диференціальні рівняння / І.В. Стрелковська, В.М. Паскаленко. – Одеса: ВМВ, 2015. – 668 с.
15. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Т.1. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1969. – 343 с.
16. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа. Т.2. / Фихтенгольц Г.М. – М.: Наука, 1968. – 464 с.