

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6>ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ, КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ H₂/M/1

Научная статья

Кеся М.С.^{1,*}, Малахов С.В.², Крицкова Е.С.³, Орехва А.⁴¹ORCID : 0000-0001-6196-8611;^{1, 2, 3, 4} Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kesams2002[at]gmail.com)

Аннотация

В данной статье исследуется производительность оптического канала с использованием СМО (Система Массового Обслуживания) H₂/M/1 и сравнивается с СМО M/M/1. Для моделирования оптического канала связи выбрана система массового обслуживания H₂/M/1. СМО с гиперэкспоненциальными входными распределениями в отличие от систем с более сложными с распределениями, позволяет получить решение задачи в аналитическом виде. Такие распределения имеют место на практике. Поставленная задача - рассчитать такие показатели, как: задержку в сети, моменты распределения интервалов времени между пакетами трафика, загрузка канала и интенсивность входящего потока. В системе моделирования Riverbed Modeler для оптического канала связи определены следующие статистики в виде графиков: задержки Ethernet, пропускная способность и загрузка канала. Затем находится интенсивность входного потока, обслуживания в канале и задержка согласно системе массового обслуживания H₂/M/1. Полученные результаты сравниваются с результатами имитации Riverbed Modeler. Учитывая тот факт, что академическая версия системы моделирования Riverbed Modeler может генерировать только пуассоновский входной трафик, в конечном счете получаем задержку как в системе M/M/1. Отсюда можно сделать вывод: классическая система M/M/1 дает слишком оптимистичные оценки задержки. Данное исследование имеет практическое применение в сфере оптимизации и модернизации оптического канала связи, с целью уменьшения времени ожидания в очереди.

Ключевые слова: система массового обслуживания, сети с коммутацией пакетов, характеристика волокна.THEORETICAL STUDY OF OPTICAL LINK PERFORMANCE AS A H₂/M/1 MASS SERVICE SYSTEM

Research article

Kesyа M.S.^{1,*}, Malakhov S.V.², Kritskova Y.S.³, Orekhva A.⁴¹ORCID : 0000-0001-6196-8611;^{1, 2, 3, 4} Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (kesams2002[at]gmail.com)

Abstract

In this article, the performance of an optical channel using H₂/M/1 MSS (Mass Service System) is studied and compared with M/M/1 MSS. The H₂/M/1 MSS is chosen to simulate the optical communication channel. The MSS with hyperexponential input distributions, in contrast to systems with more complex distributions, allows to obtain the solution of the problem in analytical form. Such distributions occur in practice. The task is to calculate such parameters as: network delay, moments of time interval distributions between traffic packets, channel load and intensity of incoming stream. In Riverbed Modeler the following statistics are plotted for the optical link: Ethernet delay, bandwidth and bandwidth utilization. Then the intensity of input flow, channel service and delay according to H₂/M/1 mass service system are found. The obtained results are compared with the results of the Riverbed Modeler simulation. Taking into account the fact that the academic version of the Riverbed Modeler simulation system can only generate Poisson's input traffic, which leads to the delay as in the M/M/1 system. From this, it can be concluded that the classical M/M/1 system gives too optimistic estimations of delay. This study has practical applications in the optimization and modernization of the optical link, in order to reduce the waiting time in the queue.

Keywords: mass service system, packet-switched networks, fiber characteristic.**Введение**

В процессе развития технологического прогресса люди безостановочно разрабатывали средства обработки информации. Апогеем данного процесса стало изобретение первого персонального компьютера, позволившего быстро обрабатывать огромные объемы данных. Вследствие этого встал вопрос о том, как сэкономить ресурс времени не только на обработке информации, но также на её передаче. Эта проблема была решена после появления первых оптических линий связи (ВОЛС). Именно поэтому исследование производительности оптического канала связи является актуальной задачей.

Цель работы заключается в исследовании производительности оптического канала с использованием СМО H₂/M/1 и сравнивается с СМО M/M/1.

Выполнение работы состоит из следующих задач: определить задержку в сети, моменты распределения интервалов времени между пакетами трафика, загрузку канала и интенсивность входящего потока; смоделировать исследуемую сеть в специализированном ПО и сравнить полученные результаты.

Моделирование сетевого трафика является важным этапом в процессе оценки эффективности сетевых коммуникаций. Для этого используется класс показательных распределений, у которых при определённых значениях параметров, относительные стандартные отклонения случайных величин больше 1 ($C_T > 1$). Если коэффициент вариации больше единицы, то хвост такого распределения будет находиться правее хвоста классического показательного распределения. Это связано с тем, что есть вероятность появления больших значений случайной величины. Однако, в случае гиперэкспоненциально распределённой случайной величины с коэффициентом вариации больше 1, вероятность появления больших значений случайной величины значительно выше, чем у показательного распределения.

Период ожидания требований в очереди является составной частью задержки в сетях пакетной передачи данных. Поэтому выбрана СМО $M_2/M/1$.

Оптический кабель является важной и неотъемлемой частью телекоммуникационной сети предприятий. Его используют для соединения вычислительных узлов, в магистральных линиях, т.е. везде, где требуется высокая пропускная способность. Исходя из этого, для исследования был выбран оптический кабель. Изучение свойств и «поведения» оптического кабеля от разного типа трафика и СМО является весьма значимым в телекоммуникационных сетях.

Методы и принципы исследования

Для проведения опыта избран сегмент сети предприятия. На рис.1 представлена схема данного сегмента сети. Через исследуемый оптический канал связи (1000 Base-LX) проходит трафик между структурными подразделениями и серверной, а также внешний трафик.

К зеркалированному порту коммутатора (Cisco SGE2000 24 Port) подключается специально разработанный анализатор трафика сети. С помощью него определяются исходные данные для сегмента сети (рис. 1). Полученные данные вносятся в систему имитационного моделирования Riverbed Modeler.

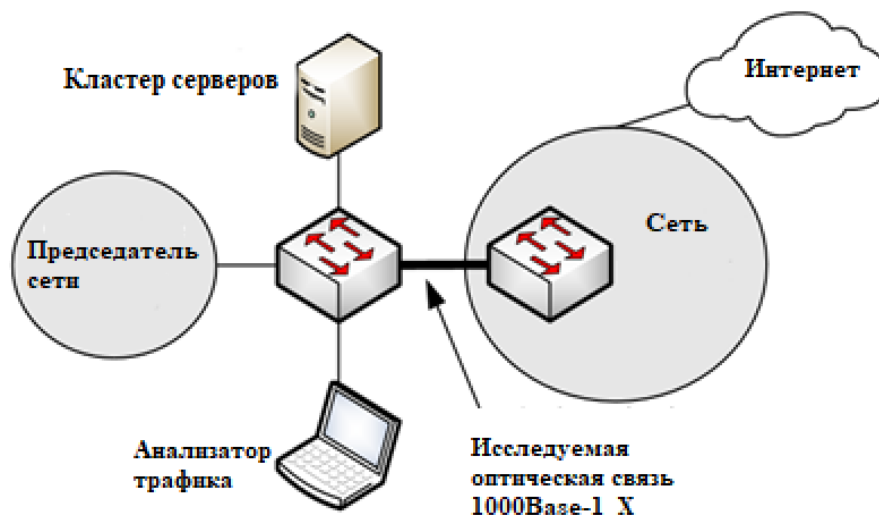


Рисунок 1 - Сегмент сети предприятия
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.1>

За 20 минут работы фиксируется: количество пакетов (8 567 пак/с) и объем данных (12 850 500 бит/с). Данный трафик, является «естественным» в сети предприятия, без дополнительной нагрузки на сеть.

Моделирование в Riverbed Modeler

Технология - IT Guru - это комплекс действий по созданию сетевой модели и проведению на ней имитационных экспериментов. В работе [1] подробно описывается механизм действия данной технологии, а также её перспективы развития. Результатом работы имитационного моделирования являются собранные в ходе прогона модели статистические данные о наиболее важных характеристиках сети: времени реакции и задержках, экспонентах, использования ресурсов сети, вероятности потерь пакетов и т.п. Riverbed Modeler позволяет ускорить процесс моделирования коммуникационных сетей, устройств, протоколов и приложений. Затем можно проанализировать результаты моделирования для сопоставления влияния различных конфигураций на вероятностно-временные характеристики функционирования сети. Riverbed Modeler включает в себя широкий набор протоколов и технологий, а также среду разработки, позволяющую проводить моделирование всех типов сетей и технологий.

По исходным данным о трафике строится модель сети в Riverbed Modeler (рис. 2).

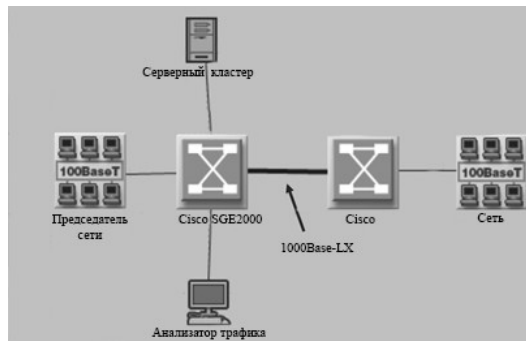


Рисунок 2 - Сегмент сети предприятия в Riverbed Modeler
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.2>

В системе Riverbed Modeler можно определить не только задержку сети, но и следующие показатели функционирования для канала связи: Queuing delay (задержка в очереди), Throughput (пропускная способность) и Utilization (нагрузка).

Теоретическое исследование характеристик входных данных

Для исследуемого трафика определяются числовые характеристики (моменты) временных интервалов, а также выборочная дисперсия. Для теоретического расчета задержки потребуются 1-й, 2-й и 3-й начальные моменты распределения временных интервалов между пакетами трафика. В работах [2], [3] показан расчет на экспериментальном сегменте ПКС.

Среднее значение интервала между соседними пакетами можно рассчитать по следующей формуле:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k)^2 \quad (1)$$

где t_k – моменты времени поступления пакетов; N – количество анализируемых интервалов.

Выборочная дисперсия вычисляется следующим образом:

$$D_{\beta} = \bar{t^2} - \tau^2 \quad (2)$$

где $\bar{t^2}$ – второй начальный момент:

$$\bar{t^2} = \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k)^2 \quad (3)$$

Коэффициент вариации интервала между пакетами $c = \frac{\sigma_{\beta}}{\tau}$, где $\sigma_{\beta} = \sqrt{D_{\beta}}$.

Асимметрия находится по формуле:

$$A_s = \frac{\bar{t^3} - 3\bar{t^2} \times \tau + 2\bar{\tau}}{\sigma_{\beta}^3} \quad (4)$$

где $\bar{t^3}$ – третий начальный момент:

$$\bar{t^3} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k)^3 \quad (5)$$

Из полученных данных при захвате трафика получаем следующие числовые характеристики интервала времени между пакетами.

Таблица 1 - Числовые характеристики оптического кабеля

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.3>

$1,15 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-6}$	$4,11 \cdot 10^{-7}$	$2,35 \cdot 10^{-6}$	11,37	105,5

Значение асимметрии $A_s > 2$ показывает, что распределение интервалов времени между пакетами трафика относится к распределениям вероятностей и соответствует системе массового обслуживания (СМО) $H_2/M/1$. В работе [5] описано программное обеспечение для захвата сетевого трафика. Оно включает предварительный анализ полученных данных и предоставляет возможность перехвата пакетов, выделения из них необходимых параметров, таких как время, длина пакета, флаги и прочее. Для теоретического расчета задержек в этом случае потребуются: первый, второй, третий начальные моменты, интенсивности входного потока и обслуживания в канале.

Воспользуемся результатами работ [6], [7], в которых изложены результаты для системы $H_2/M/1$. В статье [8] представлена программа-дополнение к анализатору трафика Wireshark для расчета моментных характеристик распределения интервалов между пакетами. Приведено аналитическое решение для среднего времени ожидания для

СМО типа $H_2/M/1$ с гиперэкспоненциальным распределением 2-го порядка интервалов времени входного потока путем решения интегрального уравнения Линдли методом спектрального разложения. В статьях [9], [10] представлен анализ «тяжелохвостных» распределений и получено решение по среднему времени ожидания для СМО $H_2/M/1$.

Среднее время задержки (7) пакетов в сегменте сети находится по методике, полностью изложенной в работах [2], [4] можно вывести из рациональной функции $\psi_+(s)$, которая позволяет найти преобразование Лапласа для ФРВ (фонд рабочего времени) времени ожидания $W(y)$:

$$\Phi_+(s) = \frac{K}{\psi_+(s)} = \frac{s_1(s+\mu)}{\mu s(s+s_1)}$$

Заметив, что $s\Phi_+(s) = W * (s)$ есть преобразование Лапласа для функции плотности времени ожидания, получим:

$$W * (s) = \frac{s_1(s+\mu)}{\mu(s+s_1)} \quad (6)$$

$$\text{Отсюда } \frac{dW*(s)}{ds} = \frac{s_1\mu(s_1+s) - s_1(s+\mu)\mu}{\mu^2(s+s_1)^2}.$$

Учитывая свойство преобразования Лапласа, найдем среднее время задержки:

$$\overline{W} = -\left. \frac{dW*(s)}{ds} \right|_{s=0} = \frac{-s_1^2\mu + \mu^2 s_1}{\mu^2 s_1^2} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{\mu}$$

$$\overline{W} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

где μ - интенсивность обслуживания в канале; параметр

$$s_1 = \sqrt{\frac{c_2^2}{4} + c_1} - \frac{c_2}{2} \quad (8)$$

где $c_1 = \mu[\lambda_1(1-p) + \lambda_2 p] - \lambda_1 \lambda_2$, $c_2 = \lambda_1 + \lambda_2 - \mu$.

Здесь в свою очередь p , λ_1 и λ_2 параметры гиперэкспоненциального распределения с функцией плотности $a(t) = p\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-p)\lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$, μ - параметр экспоненциального распределения с функцией плотности $b(t) = \mu e^{-\mu t}$ для системы $H_2/M/1$.

Для определения неизвестных параметров входного распределения: p , λ_1 , и λ_2 подставляем в систему (9) по известному методу моментов полученные в экспериментальной части значения начальных моментов интервала между пакетами:

$$\begin{cases} \overline{\tau}_\lambda = \frac{p}{\lambda_1} + \frac{1-p}{\lambda_2} \\ \overline{\tau}_\lambda^2 = \frac{2p}{\lambda_1^2} + \frac{2(1-p)}{\lambda_2^2} \\ \overline{\tau}_\lambda^3 = \frac{6p}{\lambda_1^3} + \frac{6(1-p)}{\lambda_2^3} \end{cases} \quad (9)$$

Решение системы (5) получены в интегрированной системе программирования Mathcad:
 $p \approx 0,099$, $\lambda_1 \approx 1,044 \times 10^4$, $\lambda_2 \approx 17,494$

Промежуточные
 параметры: $c_1 \approx 1,59 \times 10^6$, $c_2 \approx 1,046 \times 10^4$, $s_1 \approx 150,622$, $\bar{W} \approx 0,66 \times 10^{-4} c$.

Результаты исследования

Результаты моделирования, представленные в графическом виде, сравниваются с теоретическими результатами.

Из графика задержки (delay) (рис. 3), полученного после моделирования видно, что общая задержка экспериментального сегмента сети составляет $0,5 \cdot 10^{-5}$ сек.

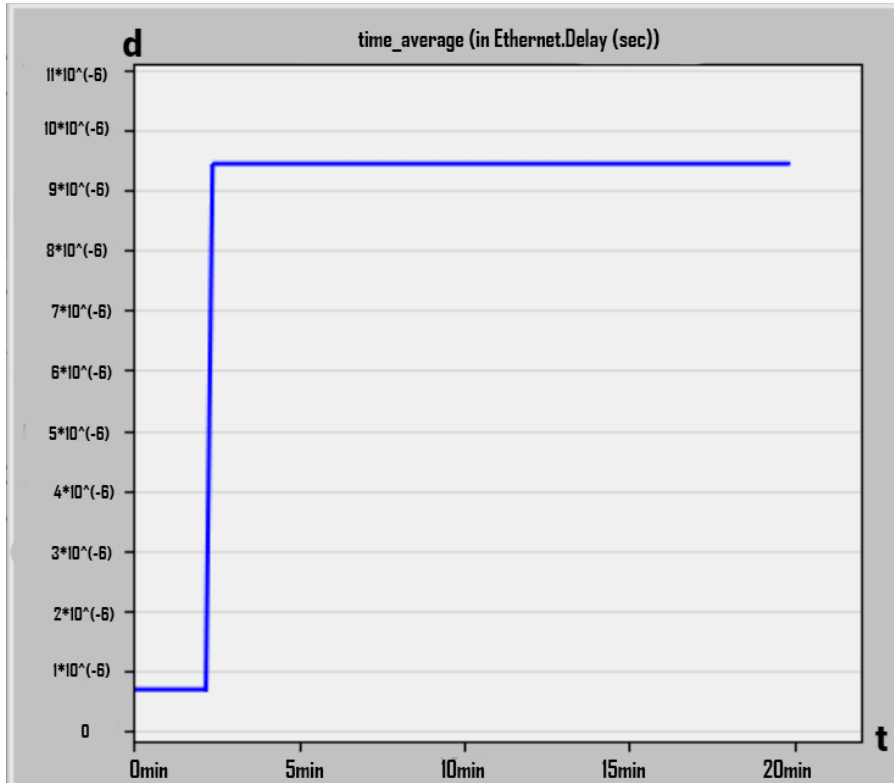


Рисунок 3 - Задержка

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.4>

Queuing delay (sec) – это экспонента времени ожидания пакетов в очереди от передающего устройства (рис. 4). Составляет $0,58 \cdot 10^{-6}$ сек.

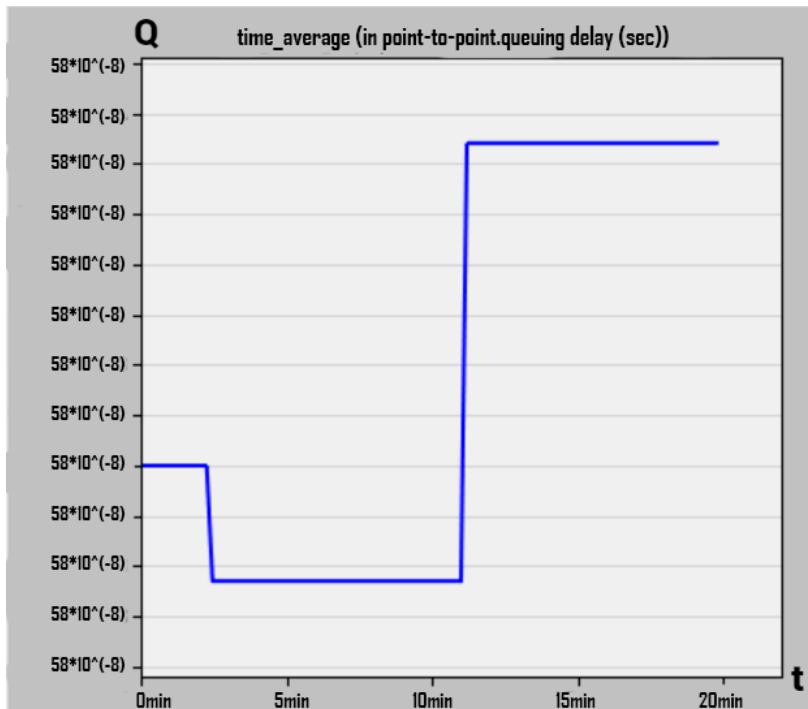


Рисунок 4 - Задержка в очереди
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.5>

Пропускная способность (бит (пакет)/секунда) – это показатель среднего числа бит (пакетов), успешно принятых/переданных получателем/отправителем на канале в единицу времени (рис. 5). Составляет порядка 100 Мбит/сек прошедшей информации по оптическому каналу связи [3], [5].

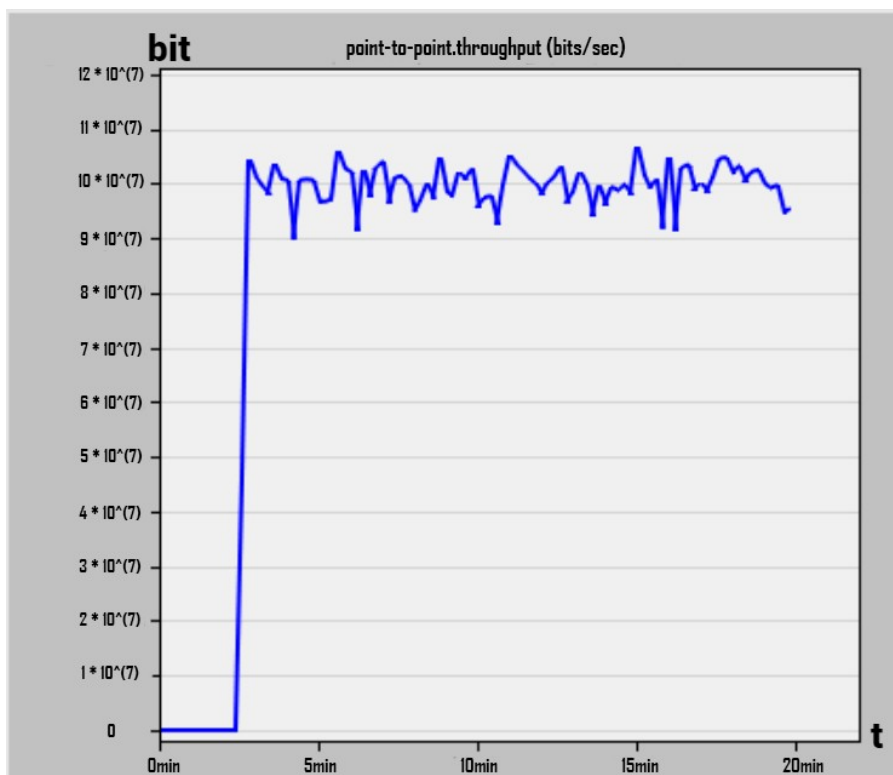


Рисунок 5 - Пропускная способность
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.6>

Нагрузка (%) – это показатель процента потребления доступной пропускной способности канала, где значение 100 указывает на полное использование (рис. 6).

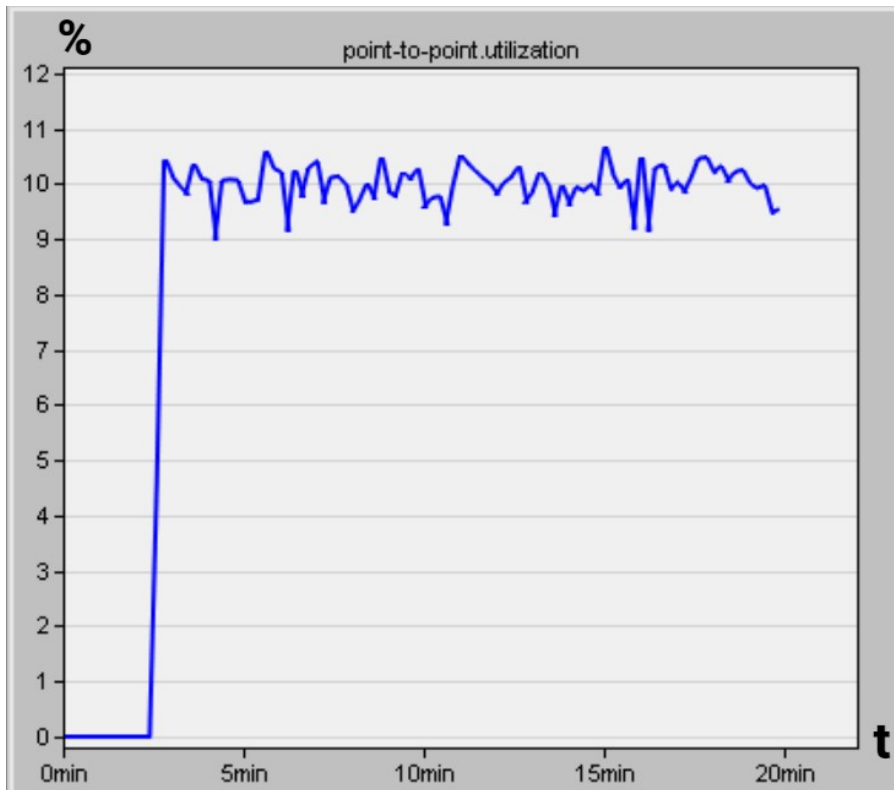


Рисунок 6 - Нагрузка
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.6.7>

Заключение

В результате проведённой работы были получены числовые характеристики интервалов между пакетами трафика. Для теоретического расчёта была использована система $M_2/M/1$, а также получены основные характеристики в системе моделирования сетей Riverbed Modeler. По результатам расчётов, для системы массового обслуживания $M_2/M/1$ время ожидания в очереди составило $0,66 \cdot 10^{-4}$ с., а система Riverbed Modeler показала результат $0,9 \cdot 10^{-5}$ с., что на порядок меньше. Этот результат получен при собственной «рабочей» нагрузке на канал и равен 10%. Так как, задача заключалась в исследовании оптического канала связи, то данного значения достаточно. Принимая тот факт, что академическая версия системы для моделирования Riverbed Modeler может генерировать только входной трафик однородных событий, мы в конечном счёте получаем задержку как в системе $M/M/1$. Отсюда можем сделать такой вывод: классическая система $M/M/1$ даёт слишком оптимистичные результаты задержки для оценки реальных сетей.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Тарасов В.Н. Проектирование и моделирование сетей связи в системе Riverbed Modeler. Лабораторный практикум / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, С.В. Ушаков и др. – Самара, 2016. – 260 с.
2. Широков И.Б. Исследования характеристик каналов связи / И.Б. Широков, Ю.Б. Гимпилевич, И.В. Сердюк. - Инфа-М : Научная мысль, 2021. - 247 с.
3. Тарасов В.Н. Анализ и оптимизация локальных сетей и сетей связи с помощью программной системы OPNET MODELER / В.Н. Тарасов, А.Л. Коннов, Ю.А. Ушаков // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2006. - № 6-2 (56). - С. 197-204.
4. Тарасов В.Н. Компьютерное моделирование вычислительных систем теория алгоритмы программы / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева.
5. Бахарева Н.Ф. Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания. Исследование компьютерных сетей / Н.Ф. Бахарева, В.Н. Тарасов. - Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2017. - 327 с.

6. Тарасов В.Н. Анализ входящего трафика на уровне трех моментов распределений временных интервалов / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, Г.А. Горелов и др. // Информационные технологии. - 2014. - № 9. - С. 54-59.
7. Романенко В.А. Системы и сети массового обслуживания / В.А. Романенко. - Самара : Издательство Самарского университета, 2021.
8. Тарасов В.Н. Математическая модель трафика с тяжело-хвостным распределением на основе системы массового обслуживания H2/M/1 / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, Г.А. Горелов и др. // ИКТ. - 2014. - № 3. - С. 36-41.
9. Malakhov S.V. Analysis of intervals between traffic packets on the SDN networks depending on the TCP window size / S.V. Malakhov, V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva et al. // 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T 2016). Conference Proceedings. - 2016. - P. 15-17. - DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2016.7905322
10. S.V. Malakhov. Queueing system H2/M/1 for calculation of the characteristics of network traffic / S.V. Malakhov, E.M. Mezenceva // T-Comm Telecommunications and Transportation. - 2019. - Vol. 1. - № 1. - P. 56-59

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tarasov V.N. Proektirovanie i modelirovanie setej svyazi v sisteme Riverbed Modeler. Laboratornyj praktikum [Designing and Modeling Communications Networks in Riverbed Modeler. Laboratory workshop] / V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva, S.V. Ushakov et al. - Samara, 2016. - 260 p. [in Russian]
2. Shirokov I.B. Issledovaniya harakteristik kanalov svyazi [Studies of the characteristics of communication channels] / I.B. Shirokov, Yu.B. Gimpilevich, I.V. Serdyuk. - Info-M : Scientific thought, 2021. - 247 p. [in Russian]
3. Tarasov V.N. Analiz i optimizaciya lokal'nyh setej i setej svyazi s pomoshch'yu programmnoj sistemy OPNET MODELER [Analysis and optimization of local networks and communication networks with the software system OPNET MODELER] / V.N. Tarasov, A.L. Konnov, Yu.A. Ushakov // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Orenburg State University]. - 2006. - № 6-2 (56). - P. 197-204 [in Russian]
4. Tarasov V.N. Komp'yuternoe modelirovanie vychislitel'nyh sistem teoriya algoritmy programmy [Computer modeling of computer systems theory algorithms program] / V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva [in Russian]
5. Bakhareva N.F. Approksimativnye metody i modeli massovogo obsluzhivaniya. Issledovanie komp'yuternyh setej [Approximative methods and mass service models. Investigation of computer networks] / N.F. Bakhareva, V.N. Tarasov. - Samara : Publishing house of the SSC RAS, 2017. - 327 p. [in Russian]
6. Tarasov V.N. Analiz vkhodyashchego trafika na urovne trekh momentov raspredelenij vremennyh intervalov [Analysis of incoming traffic at the level of three moments of time interval distributions] / V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva, G.A. Gorelov et al. // Informacionnye tekhnologii [Information Technologies]. - 2014. - № 9. - P. 54-59. [in Russian]
7. Romanenko V.A. Sistemy i seti massovogo obsluzhivaniya [Systems and networks of mass service] / V.A. Romanenko. - Samara : Samara University Press, 2021 [in Russian]
8. Tarasov V.N. Matematicheskaya model' trafika s tyazhelo-hvostnym raspredeleniem na osnove sistemy massovogo obsluzhivaniya N2/M/1 [Mathematical model of traffic with heavy-tailed distribution based on H2/M/1 mass service system] / V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva, G.A. Gorelov et al. // ICT. - 2014. - № 3. - P. 36-41. [in Russian]
9. Malakhov S.V. Analysis of intervals between traffic packets on the SDN networks depending on the TCP window size / S.V. Malakhov, V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva et al. // 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T 2016). Conference Proceedings. - 2016. - P. 15-17. - DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2016.7905322
10. S.V. Malakhov. Queueing system H2/M/1 for calculation of the characteristics of network traffic / S.V. Malakhov, E.M. Mezenceva // T-Comm Telecommunications and Transportation. - 2019. - Vol. 1. - № 1. - P. 56-59