

DOI: 10.18721/JCSTCS.12103
УДК 621.396.2

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ ОЧЕРЕДИ И ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ В СЕТЕВОМ УЗЛЕ

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

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Самара, Российская Федерация

Рассмотрена задача исследования непуассоновского трафика, полученного при проведении процедуры снятия статистических характеристик при заданных интенсивностях поступления пакетов. Для исследования статистических характеристик мультимедийного потока изучена многоадресная передача данных, подразумевающая, что сервер формирует один поток данных и рассылает 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. Основываясь на гистограммах измерений, приближенных функций распределений интервалов времени между пакетами и длительности пакетов, получены их аппроксимирующие выражения в виде суммы затухающих экспонент, удовлетворяющих свойствам функции плотности распределения случайной величины. Расчеты производятся быстро и рационально. Метод аппроксимации имеет простой алгоритм. Применяя спектральный метод решения интегрального уравнения Линдли для системы массового обслуживания $G/G/1$, получены значения для среднего времени задержки пакета в сети и длины очереди. Точность полученного 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.

Ссылка при цитировании: Чупахина Л.Р., Караулова О.А., Киреева Н.В. Оценка средней длины очереди и задержки передачи в сетевом узле // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 1. С. 29–33. DOI: 10.18721/JCSTCS.12103.

ESTIMATE AVERAGE QUEUE LENGTH AND TRANSMISSION DELAY IN NETWORK NODE

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

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

We have considered the problem of non-Poissonian traffic obtained by recording statistical characteristics at given packet arrival rates was considered. To study the statistical characteristics of a multimedia stream, we have studied multicast data transmission where the server generates a data stream and sends it over the network to connected clients. The load intensity of the resulting packet flow at each time point depends on which applications service the sources of requests and on the ratio of their number for different

applications. The traffic patterns are also affected by the technological features of the service algorithms applied. Based on measurement histograms and approximate functions for the distribution of time intervals between packet arrival and the packet duration, we have obtained their approximating expressions as the sum of damped exponents satisfying the properties of the distribution function of a random variable. Calculations are performed quickly and efficiently. The approximation method has a simple algorithm. Using the spectral method for solving the Lindley integral equation for the G/G/1 queuing system, we obtained the values for the average packet delay time in the network and the queue length. The accuracy of the solution obtained depends on the accuracy of the approximation of the distributions with a «heavy» tail used.

Keywords: queuing system, approximation of the sum of decaying exponential, integral Lindley equation, distribution with a «heavy» tail, the average delay time, G/G/1, quality of service.

Citation: Chupakhina L.R., Karaulova O.A., Kireeva N.V. Estimate average queue length and transmission delay in network node. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2019, Vol. 12, No. 1, Pp. 29–33. DOI: 10.18721/JCSTCS.12103.

Нередко при построении и анализе телекоммуникационной сети неизвестными остаются такие параметры сети, как задержка пакетов, скорость передачи, пропускная способность каналов связи, что и обуславливает актуальность и практическую значимость изучения исследуемой задачи.

При анализе статистических параметров сетевого и мультимедийного трафика не достаточно применения пуассоновского распределения, т. к. современные потоки обладают более сложными характеристиками и зависимостями. Для описания указанного трафика в настоящее время применяется теория самоподобия [1–4].

К характеристикам трафика, который создается различными мультимедийными услугами, относятся следующие:

- значение трафика (мгновенное, максимальное, пиковое, среднее, минимальное);
- коэффициент пачечности трафика (пульсации);
- средняя длительность пикового трафика;
- средняя длительность сеанса связи;
- форматы элементов трафика;
- максимальный, средний, минимальный размер пакета;
- интенсивность трафика запросов.

Выбор математических моделей потоков, с применением имитационного моде-

лирования или аналитических моделей, для определения параметров информационных потоков при объединении потоков с эффектом самоподобия основан на применении распределения с весовыми («тяжелыми») хвостами [5]. Для гарантийного качества обслуживания мультимедийных услуг необходимы максимальная пропускная способность и минимальные значения средних задержек в системе. Поэтому модель системы массового обслуживания (СМО) должна учитывать все требования и свойства поступающего на обслуживание сетевого трафика.

В результате многочисленных исследований и анализа доказано [6–8], что характеристики передаваемого трафика в мультисервисных сетях отличаются от характеристик пуассоновского потока (сильная неравномерность интенсивности поступления пакетов), а наилучших результатов можно добиться, используя теорию аппроксимации функций распределения. Немаловажно, что результаты анализа позволяют определить среднее время задержки пакета в очереди аналитическим методом для частных и общих случаев, а затем сравнить с результатами моделирования [9, 10]. Рассмотрение частных случаев дает возможность исследовать определенные распределения, актуальные в среде передачи информации, в отличие от других

общих вариантов. Внимания частный случай заслуживает, т. к. показывает непуассоновское распределение трафика, что характерно для трафика реального времени, и возможность оценки характеристик данного трафика.

Проведение частного исследования поступления потоков трафика на обслуживание показало, что он является непуассоновским с различными интенсивностями поступления пакетов λ и произвольной длительностью обслуживания. Модель системы соответствует СМО типа P/W/1, где символы P и W означают соответственно распределения Парето и Вейбулла. Наиболее распространенным способом оценки степени самоподобия процессов является определение параметра Херста H. Чем ближе его значение к единице, тем больше вероятность того, что процесс имеет долговременную зависимость. Практически для всех современных приложений трассы (трафик) обладают самоподобными свойствами и описываются

законами распределений с «тяжелыми» хвостами.

Для данной СМО типа P/W/1 возможен спектральный метод решения интегрального уравнения Линдли. При этом, если плотностям распределения интервалов времени между поступающими пакетами и интервалов времени обработки пакетов соответствуют плотности распределения Парето и Вейбулла, то применим метод аппроксимации в виде суммы затухающих экспонент соответственно [11]. Аппроксимация плотностей распределения интервалов поступления и обслуживания – необходимое условие для получения их преобразований Лапласа. При анализе характеристик пропускная способность канала от абонентов изменялась от 0,6 до 0,8 Мбит/с.

Согласно данному методу была найдена результирующая функция времени ожидания пакета в очереди для рассматриваемой СМО (рис. 1), а также средние характеристики, такие как среднее время ожидания и длина очереди (рис. 2).

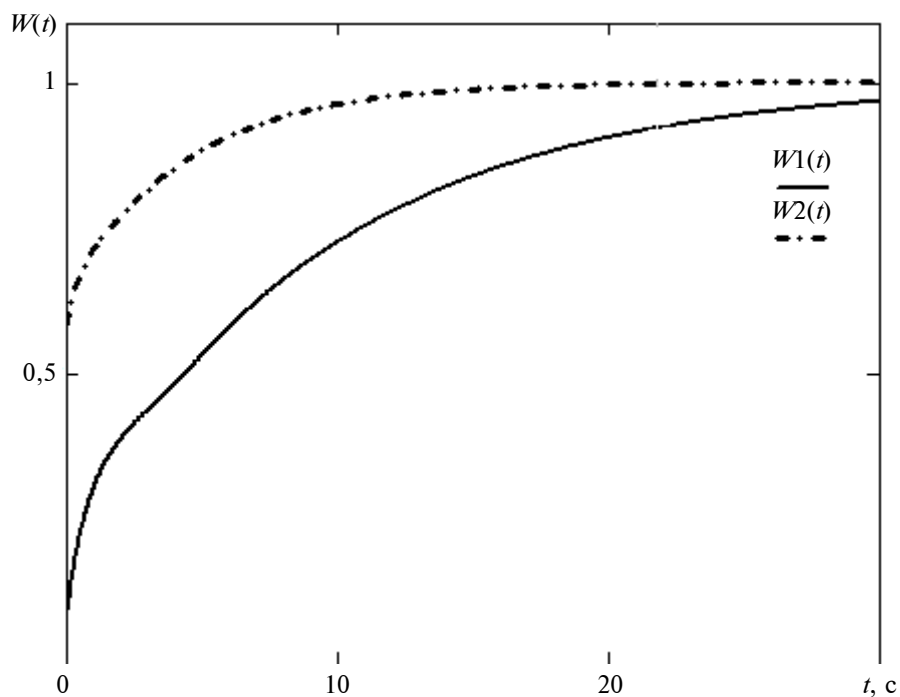


Рис. 1. Графики функций распределения времени ожидания в очереди $W(t)$ при интенсивности поступления пакетов $\lambda = 0,6$ и $\lambda = 0,8$

Fig. 1. Graphs of the waiting time distribution functions in the queue $W(t)$ when the intensity of the arrival of packages $\lambda = 0,6$ and $\lambda = 0,8$

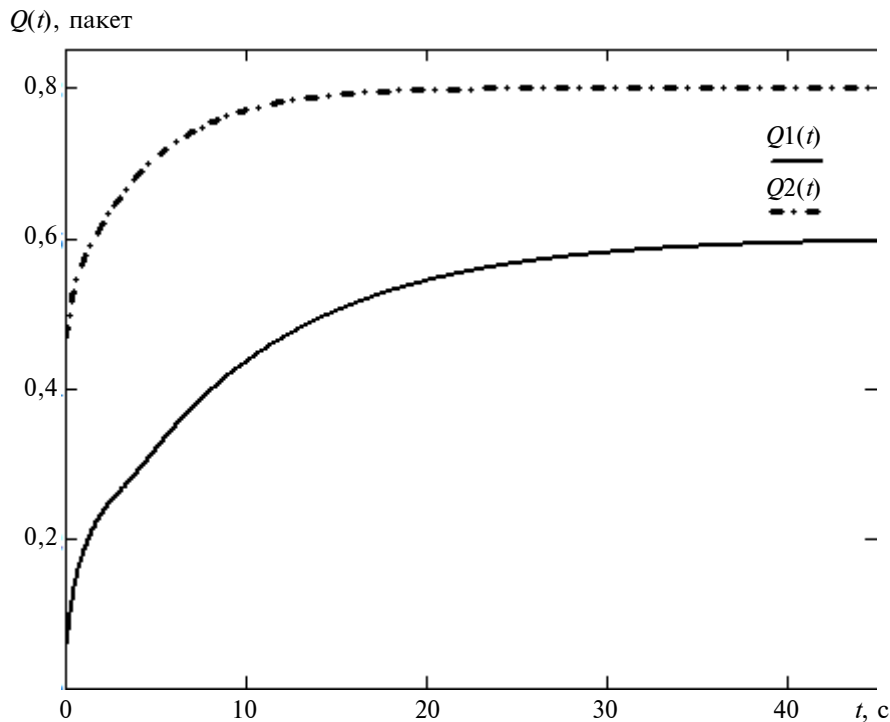


Рис. 2. График зависимости средней длины очереди Q в зависимости от загрузки системы ρ

Fig. 2. Graph of average queue length Q versus system load ρ

Заключение

Следует отметить, что для трафика реального времени, к которому относится трафик с аудио- и видеoinформацией, задержка постоянна и обычно не превышает 0,1 с, включая время на обработку на конечном узле сети. Для трафика данных допустима любая временная задержка, вплоть до нескольких секунд. Особенностью такого трафика является повышенная чувствительность к доступной пропускной способности сети, а не к временным задержкам, поэтому при увеличении пропускной

способности сети уменьшается время передачи данных. Приложения, требующие передачи больших объемов данных, обычно занимают всю доступную полосу пропускания сети.

Проведенное частное исследование показало, что оценки и анализ средней длины очереди и среднего времени задержки передачи – важные характеристики мультисервисных сетей, при этом необходимо учитывать свойства самоподобия, степень выраженности которых возрастает с ростом загруженности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leland W.E., Taqqu M.S., et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic // Proc. ACM SIG COMM'93. San Fransisco, CA, 1993. Pp. 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., Тенякишев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: Монография. 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. Треногин Н.Г., Соколов Д.Е. Фрактальные свойства сетевого трафика в клиентсервисной информационной системе // Вестник университетского комплекса. 2006. № 6. С. 163.
6. 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.

7. **Klymash M., Beshley M., Stryhaluk B.** System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks // 1st International Scientific-Practical Conference Problems of Information Communications Science and Technology, 2014. Pp. 63–66.

8. **Downey A.** Lognormal and Pareto distributions in the Internet // Computer Communications. 2005. Vol. 28. No. 7. Pp. 790–801.

9. **Агеев Д.В., Игнатенко А.А., Копылев А.Н.** Методика определения параметров потоков на

Статья поступила в редакцию 09.07.2018.

разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия // Проблемы телекоммуникаций. 2011. № 3. С.18–37.

10. **Тарасов В.Н.** Исследование систем массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями // Проблемы передачи информации. 2016. № 1. С. 16–26.

11. **Блатов И.А., Карташевский В.Г., Киреева Н.В., Чупахина Л.Р.** Решение уравнения Линдли спектральным методом для систем массового обслуживания общего вида // Электросвязь. 2014. № 11. С. 48–50.

REFERENCES

1. **Leland W.E., Taqqu M.S., et al.** On the self-similar nature of ethernet traffic. *Proc. ACM SIGCOMM '93*, San Fransisco, CA, 1993, Pp. 183–193.

2. **Neyman V.I.** Samopodobnyye protsessy i ikh primeneniye v teorii teletrafika. *Trudy Mezhdunarodnoy akademii svyazi [Proceedings of the International Academy of communications]*, 1999, No. 1, Pp. 11–15. (rus)

3. **Shelukhin O.I., Tenyakishev A.M., Osin A.V.** *Fraktalnyye protsessy v telekommunikatsiyakh [Fractal processes in telecommunications]*. Monografiya. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2003, 480 p. (rus)

4. **Shelukhin O.I., Osin A.V., Smolskiy S.M.** *Samopodobniye i fraktaly. Telekommunikatsionnyye prilozheniya [Self-similarity and fractals. Telecommunication application]*. Moscow: Fizmatlit Publ., 2008, 368 p. (rus)

5. **Trenogin N.G., Sokolov D.Ye.** Fractal properties of network traffic in the client service information system. *Bulletin of the University Complex*, 2006, No. 6, Pp. 163. (rus)

6. **Kartashevskiy I.V., Saprykin A.V.** Analysis of waiting time for the application in the queue for the General type of Queuing system. *T-Comm:*

Received 09.07.2018.

Telecommunications and Transport, 2018, Vol. 12, No. 2, Pp. 4–10. (rus)

7. **Klymash M., Beshley M., Stryhaluk B.** System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks. *1st International Scientific-Practical Conference Problems of Information Communications Science and Technology*, 2014, Pp. 63–66.

8. **Downey A.** Lognormal and Pareto distributions in the Internet. *Computer Communications*, 2005, Vol. 28, No. 7, Pp. 790–801.

9. **Ageyev D.V., Ignatenko A.A., Kopylev A.N.** Method of determining the flow parameters in different parts of a multiservice telecommunication network taking into account the effect of self-similarity. *Telecommunication Problems*, 2011, No. 3, Pp. 18–37. (rus)

10. **Tarasov V.N.** Study of Queuing systems with hyperexponential input distributions. *Problems of information transmission*, 2016, No. 1, Pp. 16–26. (rus)

11. **Blatov I.A., Kartashevskiy V.G., Kireyeva N.V., Chupakhina L.R.** The solution to the equation Lindley spectral method for Queuing systems of the General form. *Elektrosvyaz*, 2014, No. 11, Pp. 48–50. (rus)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ЧУПАХИНА Лилия Равилевна
CHUPAKHINA Liliya R.
E-mail: garip4ik555@mail.ru

КАРАУЛОВА Ольга Александровна
KARAULOVA Olga A.
E-mail: olya4369@yandex.ru

КИРЕЕВА Наталья Валерьевна
KIREEVA Natalia V.
E-mail: zepelinsn@yandex.ru