

УДК 004.7

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АБСТРАКТНОГО ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРИБОРА В СЕТЯХ TCP/IP

Монахов Юрий Михайлович

кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и защиты информации
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: unklefck@gmail.com.

Власова Анна Михайловна

магистрант, инженер кафедры информатики и защиты информации
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: lost_anita@mail.com.

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Аннотация: В данной научной статье предметом исследования является процесс обработки клиентской заявки, поступающей на абстрактный обслуживающий прибор телекоммуникационной сети (сервер или маршрутизатор). В процессе работы была описана рассматриваемая система в терминах стохастического управления и предложен метод определения величины задержки запроса абстрактным обслуживающим прибором (АОП) в сетях TCP/IP. По предложенному авторами методу был поставлен ряд экспериментов. Выходными данными экспериментов стали наборы величин времени, на которые абстрактный обслуживающий прибор задерживал клиентские заявки для их обработки. По полученным парам «входной-выходной поток» была определена усреднённая импульсная характеристика АОП, по свертке которой с реальным случайным входным потоком может быть восстановлен вид выходного сигнала в информационно-телекоммуникационных сетях.

Ключевые слова: доступность сети, обслуживающие приборы, задержка обработки данных, обработка запросов, системы G/G/1, исследование сетевого трафика.

Для многих ведущих организаций поиск различных путей обеспечения высокого и неизменного значения доступности сети, используемой в своих бизнес-процессах, уже давно является приоритетной задачей. Существует достаточно много абстрактных определений доступности технических систем, к которым в некоторой мере можно относить и сети передачи данных [1-4].

В рамках телекоммуникационных сетей, по мнению авторов, доступность сети может определяться как вероятность получения ответа (отклика) одного узла от другого за приемлемое время (меньшее или равное директивному) [5, 6]. Директивное время – максимальное время, за которое может быть получен отклик. Его величина определяется исходя из специфики задач, выполняемых в рамках сети. Из предложенного определения сетевой до-

ступности можно заключить, что время отклика является той величиной, которая обуславливает значение доступности сети.

При поиске путей обеспечения стабильно высокого значения доступности сети авторам видится необходимым исследовать влияние каждой функциональной части сети передачи данных (каналов связи [7, 8], клиентских узлов, узлов обработки данных) на значение доступности.

В сетях передачи данных время ответа между узлами можно представить, как время отклика между клиентским (иницирующим запрос) узлом и абстрактным обрабатывающим запрос прибором, в качестве которого может выступать маршрутизатор или сервер [9]. Время ответа клиенту на его запрос складывается из времени нахождения запроса на приборе и времени передачи ответа (сообще-

ния) по каналу связи. Нахождение запроса клиента на узле обслуживания зависит от загрузки прибора (наличия в нём очереди) и его скорости обслуживания.

Рассмотрим подсистему, отвечающую за обработку информации. В самом тривиальном случае она состоит из одного абстрактного обслуживающего прибора (АОП), который обрабатывает запросы с помощью служб, допустим, 7-ого уровня модели OSI/ISO, поступающие от клиентских узлов. Набор запросов идет в один поток. Под потоком запросов будем подразумевать последовательность сообщений формата уровня приложений и временных интервалов между ними. Процесс поступления заявок (формирование потока) является случайным и изменяется по неизвестному закону в соответствии с заданной интенсивностью. Этот процесс может быть представлен плотностью распределения моментов поступлений заявок в АОП – $f_{\text{вх}}(t)$.

Аналитическое определение функциональной связи между входящим и выходящим потоком позволит получить распределение плотности вероятности выходящего потока $f_{\text{вых}}(t)$, которое даст возможность оценивать задержку заявок службами прикладного уровня. Данная задержка будет складываться из времени пребывания заявки в очереди и времени её обработки. Распределение $f_{\text{вых}}(t)$ зависит не только от входящего потока, но и от работы самого обслуживающего прибора, а конкретнее - от способа организации на нём очереди заявок и процесса их обработки. В данной модели будет рассматриваться одна очередь со способом организации «FIFO».

Модель описанной системы довольно удобно представлять в терминах системы массового обслуживания (СМО). В зависимости от характеристик представленной модели будет выбираться и тип СМО. Традиционные СМО такие, как M/M/x, довольно простые, но предполагают вполне определённые виды распределений на входе и выходе системы, что для моделирования описанной телекоммуникационной сети не подходит. Это обусловлено тем,

что о видах входного и выходного распределения судить не представляется возможным, поскольку процесс инициирования заявок клиентами является дискретным случайным процессом с неопределённой зависимостью между его отдельными реализациями.

Существуют системы G/G/x, класс таких систем предполагает, что как распределение интервалов времени между поступлением входных заявок-требований, так и распределение времени обслуживания описываются произвольными функциями плотности вероятности. Для таких систем есть интегральное уравнение Линдли, которое позволяет установить стационарное распределение времени ожидания заявок в системе. Решение данного уравнения с помощью существующего метода Винера – Хопфа [10, с. 120—143] или других существующих способов [11, с. 299; 13] является довольно трудной задачей, или подразумевает знание скорости обслуживания АОП [13], что по исследуемой модели является не известной величиной.

Стоит отметить что, для стабильно-функционирующих систем не зависимо от вида входного распределения заявок и времени их обслуживания справедлива формула Литтла из [14, стр. 148] – среднее количество заявок равно произведению усредненной скорости прибытия заявок на среднее время, которое они проводят в системе. При этом система не обязательно должна иметь одну очередь. Основная проблема применимости данной формулы для поиска характеристик исследуемой системы заключается в том, что, средние значения величин не помогут найти закон изменения выходного потока во времени.

Авторам представляется возможным описать рассматриваемую систему в терминах стохастического управления. В таком случае будем рассматривать только сам обслуживающий прибор, представляющий собой линейную одномерную систему, на вход которой подается поток заявок (возмущение) – $X(t)$, а на выходе есть поток обработанных заявок (реакция) – $Y(t)$. Заявки (в терминах телекоммуника-

ционных сетей) – это входящий трафик, который поступает на обрабатывающий прибор через случайные интервалы времени. На трафик действует оператор A , который задаёт функциональную зависимость между входным и выходным потоком заявок. Это может быть представлено в виде формулы (1) из [15, с. 275], где оператор A_t осуществляет преобразование случайного процесса по аргументу времени t

$$Y(t) = A_t[X(t)] \quad (1)$$

Таким образом, задача исследования сводится к определению оператора A_t , который характеризует АОП и работу его сервисов, и, действуя на входное распределение неким образом, преобразовывает его, образуя выходное.

Опишем концепцию определения вида выходного потока клиентских запросов: с помощью эталонного генератора случайных чисел необходимо сформировать входящий поток. Сгенерированный поток будет пропущен через АОП (HTTP-сервер), и в результате экспериментов будет получен спектр выходного распределения. По взаимной корреляционной функции входного и выходного потока определяется импульсная характеристика АОП. Результат полученной импульсной характеристики используется для нахождения распределения выходящего потока заявок из реального обслуживающего прибора по свёртке двух функций: импульсной переходной функции АОП и реального потока заявок.

Для того чтобы входящий поток заявок представлял собой эталонное воздействие на линейную систему (АОП), необходимо сгенерировать с помощью эталонного генератора случайных чисел набор равномерно распределённых величин – задержек между входящими запросами. Это распределение будет являть собой «белый шум» для сети передачи данных.

Существуют различные решения для генерации случайных чисел. Но большинство из этих генераторов являются псевдослучайными. В ОС семейства «Linux» последовательность случайных чисел можно получить с помощью

/dev/random и /dev/urandom. Эти ГСЧ собирают окружающий шум с драйверов устройств и из других источников в пул энтропии. Основная разница между /dev/random и /dev/urandom заключается в скорости и теоретической величине энтропии в сгенерированной последовательности.

Сравнение работы двух устройств /dev/random и /dev/urandom при генерации 100 значений приведены на рис. 1 и 2, соответственно. Взаимное отклонение от нуля совокупности сгенерированной последовательности для /dev/random получилось равной 0,065416, а для /dev/urandom - 0,065644. Это позволило авторам выбрать в качестве ГСЧ более скоростное устройство – /dev/urandom.

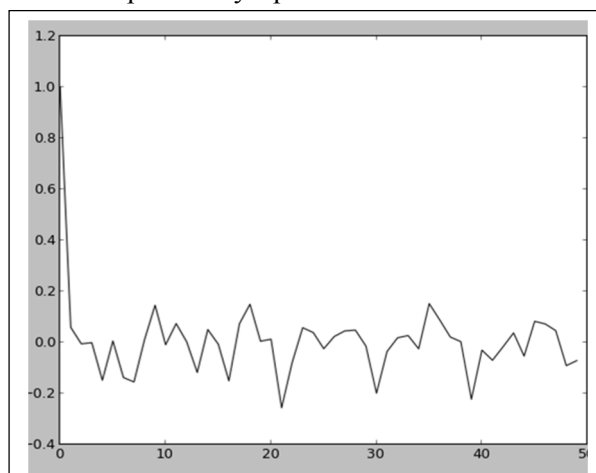


Рис. 1. АКФ сгенерированной последовательности dev/random

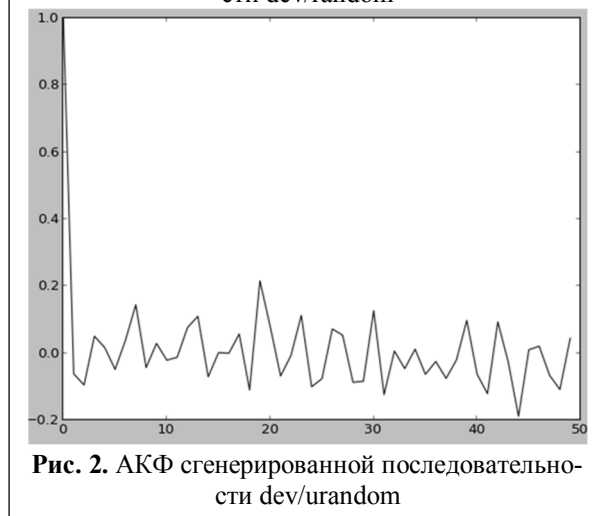


Рис. 2. АКФ сгенерированной последовательности dev/urandom

Определение функциональной взаимосвязи между входящим и выходящим потоком авто-



Рис. 3. Автокорреляционная функция первого входного потока

ры осуществляли путём эксперимента: кросс-кабелем было соединено две ЭВМ, одна из которых была выбрана в качестве клиента, другая – в качестве HTTP-сервера (АОП). На ЭВМ, эмулирующую сервер, был развёрнут HTTP-сервер и тестовый одностраничный сайт с помощью утилиты `lighttpd`. HTTP-запросы эмулировались в автоматическом режиме с помощью утилиты «`curl`», запущенной с ключом «`l`», которая позволяла получать клиентскому узлу заголовки веб-страницы с ЭВМ сервера. В процессе эксперимента было отправлено 5000 последовательных запросов через интервалы времени в миллисекундах, сгенерированные с использованием созданного ГСЧ.

Термин «белый шум» обычно применяется к сигналу, имеющему автокорреляционную функцию, математически описываемую дельта-функцией Дирака по всем измерениям многомерного пространства, в котором этот сигнал рассматривается. Данное статистическое свойство является основным для сигналов такого типа [16].

5000 сгенерированных запросов были разделены на 5 потоков, содержащих по 1000 величин соответственно. Автокорреляционные функции одного из пяти потоков приведена на рис. 3. Величина лага для построения всех АКФ была выбрана равной 20. Полученные графики АКФ входных распределений в некотором приближении похожи на дельта-функцию.

Авторами было проведено 5 экспериментов. По результатам каждого было получено два

файла. В первом содержится 5000 величин, каждая из которой представляет собой интервал времени в миллисекундах, через который инициировался новый клиентский запрос к серверу. Во втором файле также содержится 5000 величин – полученных времён задержек клиентских запросов абстрактным обслуживающим прибором. Для каждой из пяти пар «входной поток-выходной поток» была построена взаимная корреляционная функция, которая представляется собой импульсную характеристику АОП. По совокупности пяти ВКФ была определена усреднённая импульсная характеристика АОП.

Путём свертки входного сигнала и усреднённой импульсной характеристики был восстановлен выходной сигнал для первого эксперимента. Результаты приведены на рис. 4-7. Стоит отметить, что вид свёртки входного сигнала и импульсной переходной функции был масштабирован. Коэффициент масштабирования равен 7 (рис. 7).

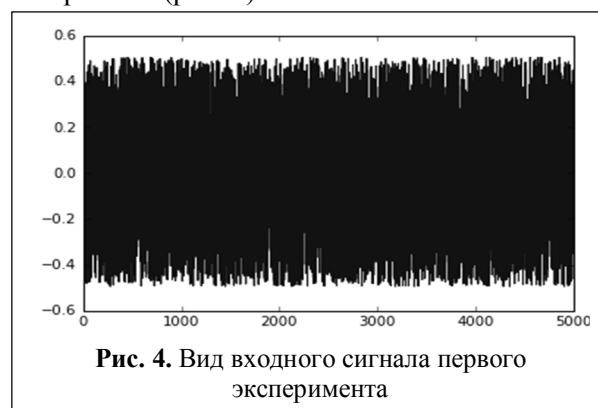


Рис. 4. Вид входного сигнала первого эксперимента

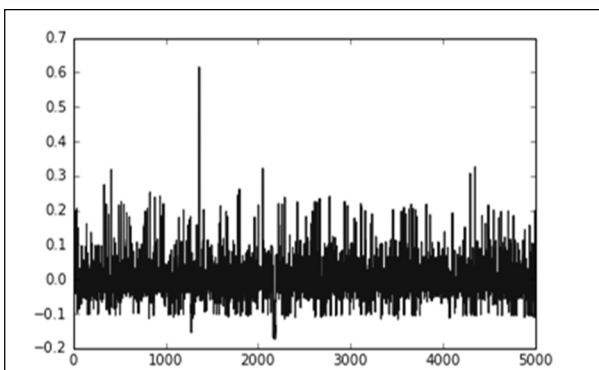


Рис. 5. Вид выходного сигнала первого эксперимента

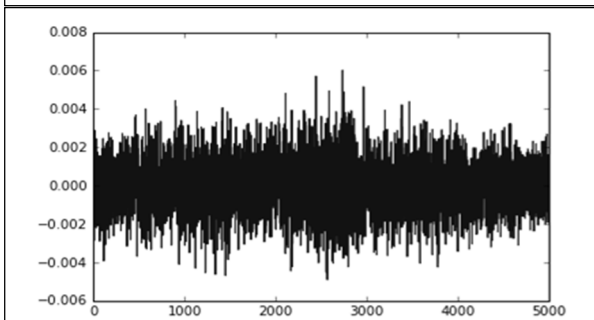


Рис. 6. Вид усреднённой импульсной характеристики АОП

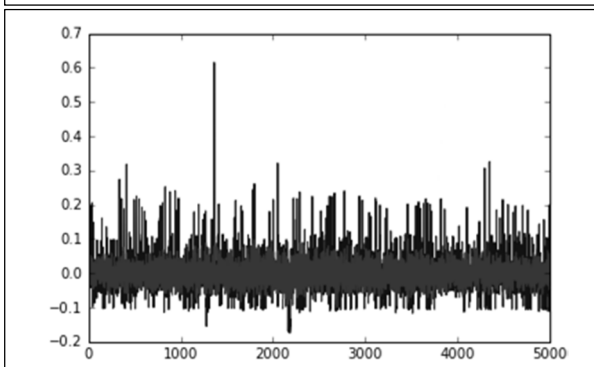


Рис. 7. Вид выходного сигнала, полученного при свёртке первого входного сигнала и усреднённой импульсной характеристики АОП

Потом усреднённая импульсная характеристика АОП определялась по совокупности из 24 выборок (5000 запросов и ответов делились на отрезки, равные 1000). Последний 25-ый отрезок использовался для проверки усреднённой импульсной характеристики АОП. Результаты приведены на рис. 8-11.

Полученные результаты позволяют сделать предположение о том, что АОП содержит в себе не только линейный фильтр, но и усилитель сигнала, т.к. восстановленный выходной поток довольно сильно приходится масштаби-

ровать, для того чтобы погрешность между ними была адекватной.

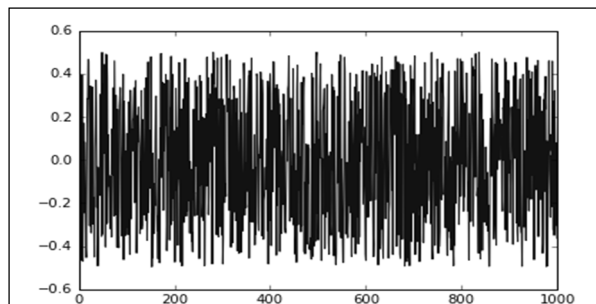


Рис. 8. Вид входного сигнала для 25-ого потока

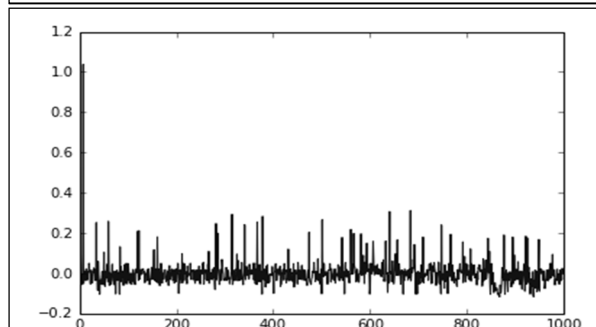


Рис. 9. Вид выходного сигнала для 25-ого потока

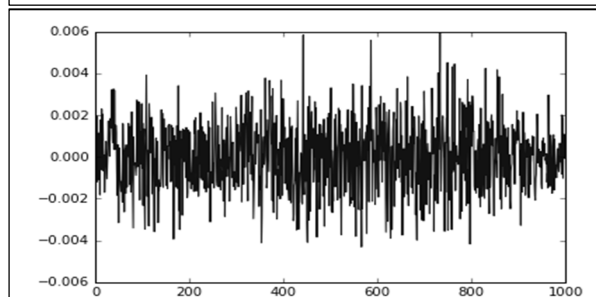


Рис. 10. Вид усреднённой импульсной характеристики АОП для 24 выборок

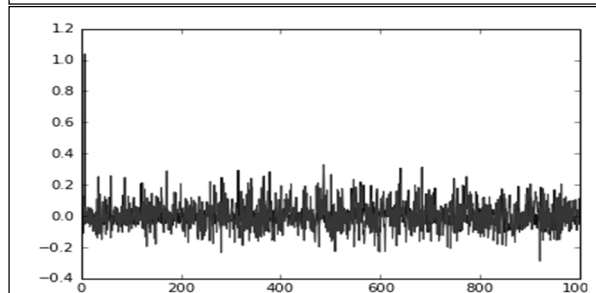


Рис. 11. Вид выходного сигнала, полученного при свёртке 25-ого входного потока и усреднённой импульсной характеристики АОП для 24 выборок

Литература

- 1 Peter S. Weygant (Hewlett-Packard Company). Chapter 1. Basic High Availability Concepts // Clusters

for High Availability: A Primer of HP Solutions. — Second Edition. — Prentice Hall, 2001. — ISBN 9780130893550.

2 Mathilde Durvy, Christophe Diot, Nina Taft, Patrick Thiran. Network Availability Based Service Differentiation // Quality of Service — IWQoS 2003. — 11th International Workshop Berkeley, CA, USA, June 2–4, 2003. P. 509.

3 Milan Cabarkapa, Djordje Mijatovic, Nenad Krajnovic. Network Topology Availability Analysis // Telfor Journal. — 2011, № 1(3). P. 23–27.

4 Калекина Т. Г., Коваленко Т.Н. Обоснование критерия структурно-информационной связности при анализе надёжности телекоммуникационных систем и сетей / Радиозлектроника, информатика, управление, 2010, № 1. С. 66–86.

5 Монахов Ю.М., Власова А.М. Методика определения доступности компонентов одноранговой сети со сложной случайной топологией / Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, Иваново: ИВГПУ, 2015, № 4 (358). С. 149–153.

6 Монахов Ю.М., Власова А.М. Методика расчёта нормированного критерия доступности телекоммуникационной сети / Динамика сложных систем - XXI век, М.: «Радиотехника», 2015, №3. С. 73–77.

7 Власова А.М., Монахов Ю.М. Модифицированный алгоритм Флойда-Уоршелла для определения максимального и минимального по доступности канала связи между узлами телекоммуникационной сети / Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы международной научно-практической конференции. Том 2 / редкол.: Ф.У. Еникеев и др. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2015. С. 210–215.

8 Монахов Ю.М., Власова А.М. Экспериментальное исследование адекватности критерия доступности виртуальных каналов в сетях TCP/IP / Проектирование и технология электронных средств, 2016. №2. С. 40–44.

Данная статья содержит результаты исследования, проведенного в рамках гранта РФФИ № 16-47-330055 «Проведение поисковых исследований по разработке моделей и алгоритмов контроля доступности в информационно-телекоммуникационных системах регионального масштаба».

Поступила 10 февраля 2017 г.

English

Pulse-response characteristic defining method of the abstract server in TCP/IP networks

Yury Mikhaylovich Monakhov – Candidate of Technical Sciences Associate professor Information systems and data security Department "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs". *E-mail*: unklefck@gmail.com.

Anna Mikhailovna Vlasova – Master's Degree Student, Engineer Information systems and data security Department "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs".

E-mail: lost_anita@mail.com. *Address*: 600000, Vladimir, Gorky St., 87.

Abstract: The article briefly describes the investigation of the period during which the TCP/IP network server is processing queries. This period depends on server "loading", that is the queries queue length and data pro-

9 Монахов Ю.М., Власова А.М. Постановка задачи нахождения частотной характеристики абстрактного обслуживающего прибора в сетях TCP/IP / Сборник трудов XXXV Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем».— Серпухов: Издательство Военной академии РВСН имени Петра Великого (Филиал в г. Серпухове Московской области), 2016. -Ч. 5. С. 195–198.

10 Винер Н. Я-математик. - М.: Наука, 1964. – 356 с.

11 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Перевод с англ. / Пер. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

12 John C.S. G/G/1 Queueing Systems. [Электронный ресурс]// cse.cuhk.edu.hk: The Chinese University of Hong Kong, Department of Computer Science & Engineering. / (CUHK) Computer Systems Performance Evaluation. URL: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~cslui/CSC5420/GG1.pdf> (дата обращения: 17.04.16).

13 Козырева Н.И. Разработка метода численного анализа характеристик узлов обработки трафика мультисервисной сети: Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Самара: ПГУТИ, 2013 – 16 с.

14 Бертсека Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. Перевод с англ. / Пер. Н.Б. Лиханова, В.А. Михайлова, С.П. Федорцова; ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

15 Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения, 2-е изд. М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.

16 Генератор (ЦАП). Шум [Электронный ресурс] // www.zetlab.ru: ZETLAB. – 1992–2016, URL: <http://www.zetlab.ru/support/articles/scada-sistema-zetview/generator-tsap-shum/> (дата обращения: 12.05.16)

cessing rate. That is why authors examine information processing subsystem model. This subsystem consists of one abstract server (AS) in the most trivial case which processes various client-based host queries using different ISO/OSI model layers. We will review only the queries of the layer 7 in the named model and at the same time we regard the query generation traffic process as accidental with the unknown distribution law and the set constant rate. The processing subsystem in terms of stochastic control is described during the investigation. The abstract server is considered as linear one-dimensional system where input is client queries traffic (disturbance), and the output is the processed queries traffic (reaction). Requests are elements of the incoming traffic from the point of view of telecommunications. They come into the server in irregular intervals. The traffic is affected by some operator A who defines functional dependence between an input and output traffic. A number of experiments were conducted taking into account the named model. Experimental output data are different sets of client queries time delays and time delays created by the abstract server. Using "input-output traffic" the authors define AS averaged pulse response, the convolution of which together with queries irregular traffic can recover characteristics of the server output traffic.

Key words: network availability, servers, data processing delay, queries processing, G/G/1 systems, network traffic examination.

References

1. Peter S. Weygant (Hewlett-Packard Company). Chapter 1. Basic High Availability Concepts. - Clusters for High Availability: A Primer of HP Solutions. - Second Edition. - Prentice Hall, 2001. - ISBN 9780130893550.
2. Mathilde Durvy, Christophe Diot, Nina Taft, Patrick Thiran. Network Availability Based Service Differentiation. - Quality of Service - IWQoS 2003. - 11th International Workshop Berkeley, CA, USA, June 2-4, 2003, S. 509.
3. Milan Cabarkapa, Djordje Mijatovic, Nenad Krajnovic. Network Topology Availability Analysis. - Telfor Journal. - 2011, No. 1(3), S. 23-27.
4. Kalekina T. G., Kovalenko T. N. Criterion argumentation for information-based coherence when analyzing telecommunication systems and networks reliability. - Radioelektronika, informatika, upravljeniedlye, 2010, No. 1, P. 66-86.
5. Monakhov Yu.M., Vlasova A. M. Defining methods of components availability in peer-to-peer network with complex incidental topology. - News of higher educational institutions. Technology of the textile industry, Ivanovo: IVSPU, 2015, No. 4 (358). P. 149-153.
6. Monakhov Yu.M., Vlasova A. M. Standardized criterion calculation methods of telecommunication network availability. - Dynamics of complex systems - XXI century, M.: "Radiotekhnika", 2015, No. 3 of P. 73-77.
7. Vlasova A. M., Monakhov Yu. M. The modified Floyd–Warshall algorithm to define the highest and the lowest communication availability channel between telecommunication network hosts. - Information technologies. Problems and solutions: materials of the international scientific and practical conference. Volume 2 / Edit.Board: F. U. Enikeev and others. - Ufa: publishing house Vostochnaya pechat, 2015, P. 210-215.
8. Monakhov Yu. M., Vlasova A. M. Criterion adequacy experimental research of virtual channels availability in TCP/IP networks. - Design and Technology of Electronic Devices, 2016, No. 2. P. 40-44.
9. Monakhov Yu. M., Vlasova A. M. Problem definition of finding abstract server frequency response characteristic in TCP/IP networks. - the Collection of works of XXXV of All-Russ. scient. & techn. confer. "Problems of efficiency and safety of functioning complex technical and information systems". -Serpukhov: Publishing house of Military Academy of SMF named after Peter the Great (Branch in Serpukhov of the Moscow region), 2016. - P. 5. Page 195-198.
10. Viner N. I am mathematician. - M.: Nauka, 1964. - 356 p.
11. Kleinrock L. Queuing theory. Transl. from Engl. - Transl I. I. Grushko ; Ed. by V. I. Neyman - M.: Mashinostroenie, 1979. - 432 p.
12. John C.S. G/G/1 Queueing Systems. [Electronic resource]//cse.cuhk.edu.hk: The Chinese University of Hong Kong, Department of Computer Science & Engineering. / (CUHK) of Computer Systems Performance Evaluation. URL: <<http://www.cse.cuhk.edu.hk/~cslui/CSC5420/GG1.pdf>> (access date: 17.04.16).
13. Kozyreva N. I. Development of numerical analysis method for host features of multiservice network traffic processing: The abstract for academic degree of Cand.Tech.Sci. - Samara: VSUTI, 2013 - 16 p.
14. D. Bertsekas and R.Gallager. Data networks. Transl. from Engl. - Transl. N. B. Likhanova , V. A. Mikhaylova, S. P. Fedortsova; Ed. by B. S. Tsybakov. M.: Mir, 1989. - 544 p.
15. Venttsel E.S., Ovcharov L.A. Theory of random processes and its engineering applications, 2nd ed. M.: Vysshaya shkola, 2000. - 383 p.
16. Oscillator (DAC). Noise [An electronic resource]//www.zetlab.ru: ZETLAB. - 1992-2016, URL: <http://www.zetlab.ru/support/articles/scada-sistema-zetview/generator-tsap-shum/>(access date: 12.05.16)