

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВЫХ УЗЛОВ С ДИФФЕРЕНЦИАЦИЕЙ ТРАФИКА

Т. М. Татарникова^а, доктор техн. наук, профессор, *tm-tatarn@yandex.ru*

А. В. Вольский^а, магистрант, *volskiyav62@gmail.com*

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская ул., 67, Санкт-Петербург, 190000, РФ

Постановка проблемы: появление новых приложений реального времени, требовательных к качеству обслуживания, привело к необходимости классификации IP-трафика и соответствующих моделей его дифференцированной обработки на сетевых узлах. **Цель:** оценка влияния механизма дифференцированных услуг DiffServ на качество обслуживания сетевого трафика. **Результаты:** выполнено моделирование обслуживания трафика на сетевом узле, реализующем механизм DiffServ, с целью оценки характеристик, обеспечивающих качество обслуживания. Разработаны модели бесприоритетного, приоритетного и взвешенного справедливого обслуживания. Результаты моделирования показали, что применяемый механизм DiffServ может способствовать эффективной реализации качества обслуживания. **Практическая значимость:** разработанные модели являются инструментом управления очередями и планирования обработки пакетов на сетевом узле, реализующем механизм DiffServ.

Ключевые слова — сетевой трафик, механизм дифференциации трафика, качество обслуживания, приоритетное обслуживание, взвешенное справедливое обслуживание, настраиваемая очередь, маршрутизатор, IP-приложение.

Цитирование: Татарникова Т. М., Вольский А. В. Оценка вероятностно-временных характеристик сетевых узлов с дифференциацией трафика // Информационно-управляющие системы. 2018. № 3. С. 54–60. doi:10.15217/issn1684-8853.2018.3.54

Citation: Tatarnikova T. M., Volskiy A. V. Estimation of Probabilistic-Temporal Characteristics of Network Nodes with Traffic Differentiation. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2018, no. 3, pp. 54–60 (In Russian). doi:10.15217/issn1684-8853.2018.3.54

Введение

Растущий спрос на многоадресную рассылку в IP-сетях и появление новых приложений реального времени привели к расширению архитектуры и протоколов сети Интернет, поддерживающих интегрированные услуги [1, 2].

В настоящее время разработано два стандарта для обеспечения качества обслуживания (Quality of Services — QoS) трафика реального времени: так называемые интегрированные услуги (Integrated Services — IntServ) и дифференцированные услуги (Differentiated Services — DiffServ) [3].

Согласно концепции IntServ, приложения могут выбирать для своих потоков данных любой из контролируемых уровней QoS, применяя для этих целей механизм резервирования. Данный процесс предусматривает резервирование ресурсов для каждого потока во всех промежуточных маршрутизаторах на пути от отправителя к получателю с использованием сигнализации «из конца в конец» [4]. Реализация IntServ требует хранения состояний всех активных соединений, число которых может достигать нескольких тысяч в каждый момент времени, что, естественно, увеличивает нагрузку на маршрутизаторы. Более того, каждый раз при изменении топологии все зарезервированные маршруты необходимо устанавливать заново [5].

Механизм DiffServ преодолевает ограничения, присущие IntServ. DiffServ разделяет трафик на классы, вводя несколько уровней QoS. Таким образом механизм DiffServ реализует приоритизацию трафика, однако точные значения показателей качества или гарантии их обеспечения не входят в его функции. В действительности немногие приложения нуждаются в жестких гарантиях QoS. Классификация трафика в сочетании с адаптивной природой многих приложений оказываются достаточными условиями для обеспечения нормальной работы IP-сетей с дифференциацией услуг. К тому же отправитель и получатель не обмениваются информацией о требованиях к качеству обслуживания, что исключает временные затраты на прокладку маршрута, присущие IntServ [6].

Пока некоторые приложения, функционирующие на базе Интернета, не всегда правильно классифицируются. Так, например, с помощью программы-анализатора трафика WireShark у двух различных VoIP-утилит — skype и discord — были зафиксированы разные приоритеты. В skype трафик маркируется действительно как priority (приоритетный), в то время как в discord маркируется как routine (без приоритета), что не гарантирует обеспечение QoS.

Появление новых приложений, требовательных к качеству обслуживания, актуализирует

моделирование механизма DiffServ как инструмента управления очередями и планирования обработки пакетов на сетевых узлах.

Принципы работа механизма DiffServ

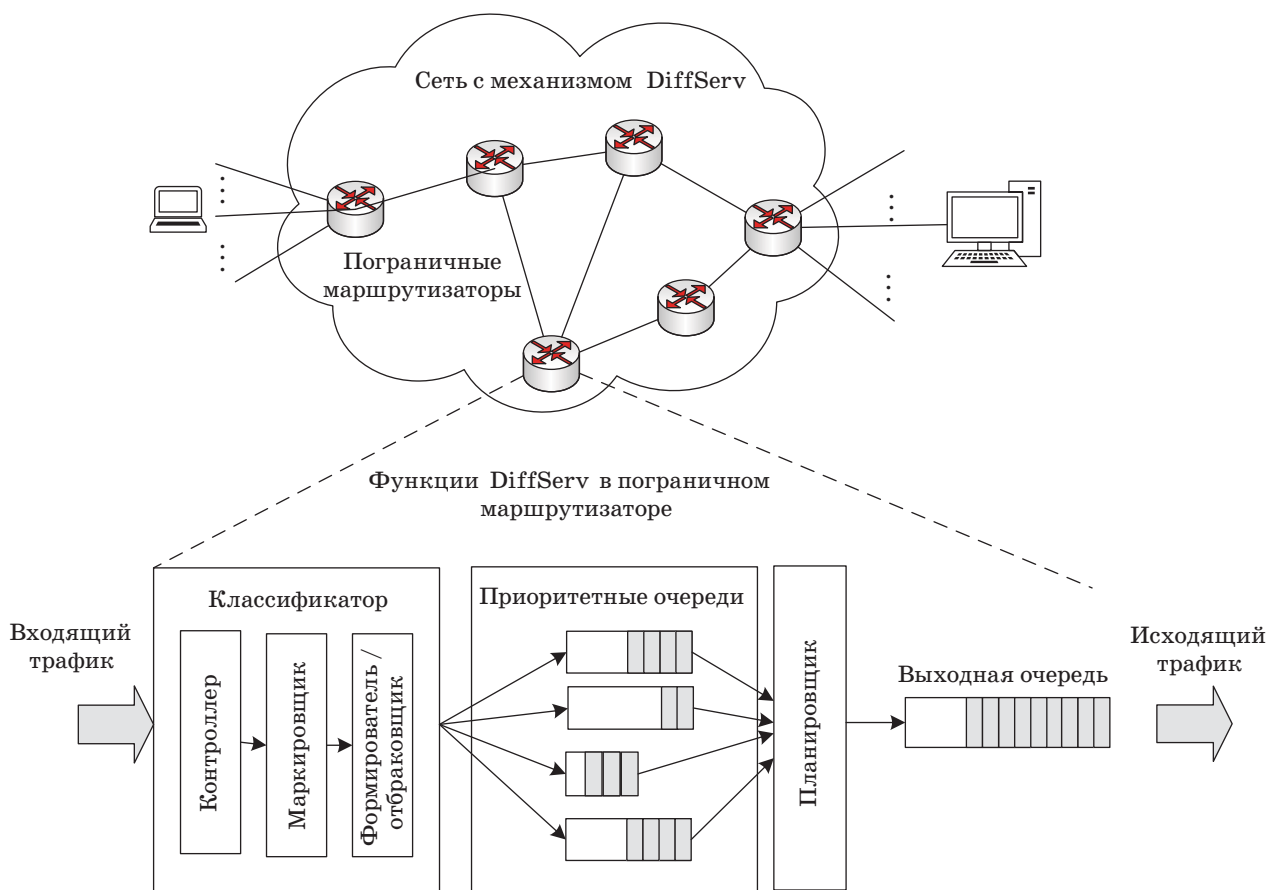
Архитектура DiffServ предполагает наличие классификаторов и формирователей трафика на границе сети с функциями дифференциации трафика (рис. 1) [7, 8].

Пакеты классифицируются и маркируются так, чтобы они могли получить определенный режим обработки в каждом маршрутизаторе на протяжении всего пути следования в соответствии с политикой пошаговой обработки (Per-Hop Behavior — PHB) [9].

Политика пошаговой обработки — это способ резервирования ресурсов маршрутизатора, об-

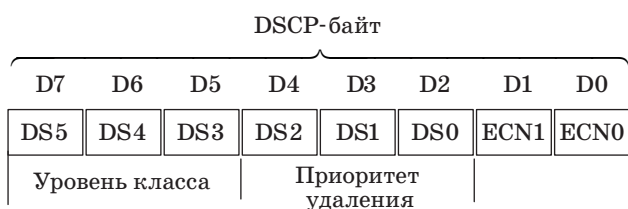
служивающего потоки трафика. Правила PHB реализуются с помощью нескольких механизмов управления буфером и планирования обработки пакетов [10].

Информация о классе трафика передается в IP-пакетах посредством маркировки поля DiffServ размером 1 байт, получившего название точки кода дифференцированных услуг (Differentiated Services Code Point — DSCP). Формат DSCP-байта приведен на рис. 2. Биты DS5...DS3 кодируют уровень класса обслуживания от 0 — минимального приоритета до 7 — максимального приоритета, биты DS2...DS0 кодируют приоритет удаления от 0, когда приоритет удаления максимальный, до 7, когда приоритет удаления минимальный. В итоге получается код приоритета — число от 0 до 63, где чем больше число, тем трафик важнее. Например, для VoIP-трафика применяется класс сервиса 5 (DSCP-байт равен 0xA0 или 10100000b),



Контроллер определяет соответствие потока трафика определенному классу.
 Маркировщик относит пакет к одному из потоков DiffServ.
 Формирователь задерживает пакеты для выравнивания потока в соответствии с классом.
 Отбраковщик удаляет пакеты для обеспечения соответствия потока классу.

■ **Рис. 1.** Архитектура метода DiffServ
 ■ **Fig. 1.** The architecture of the DiffServ method



■ **Рис. 2.** Формат DSCP-байта
 ■ **Fig. 2.** DSCP byte format

а для обычного трафика класс сервиса 0 (DSCP-байт равен 0x00 или 00000000b). Биты ECN1, ECN0 не определены [11, 12].

Алгоритмы обработки очередей

Известны несколько алгоритмов управления очередями, которые нашли практическое применение при обработке трафика в сетевых узлах. Их классификация приведена на рис. 3.

Принцип работы алгоритма FIFO («первым пришел — первым ушел», First In — First Out) состоит в следующем: в случае перегрузки пакеты помещаются в очередь, а если перегрузка устраняется, пакеты передаются на выход в том порядке, в котором поступили. Несмотря на простую реализацию и отсутствие потребности в конфигурировании, очереди FIFO не справляются с поддержкой дифференцированного качества обслуживания [13].

Приоритетное обслуживание обеспечивает безусловный приоритет одних пакетов над другими. Всего выделено четыре очереди с приоритетами: высоким, средним, нормальным и низким. Обработка ведется последовательно от высокого к низкому приоритету, начиная с высокоприоритетной очереди, и до ее полной очистки, затем переходит к менее приоритетным очередям. Очевидно, возможна монополизация канала высо-



■ **Рис. 3.** Классификация алгоритмов обработки очередей маршрутизатора
 ■ **Fig. 3.** Classification of router queue processing algorithms

коприоритетными очередями, что приводит к потере низкоприоритетного трафика при высокой интенсивности поступления высокоприоритетных данных. По умолчанию всем приоритетным очередям отводятся буферы одинакового размера, но возможно административное выделение размера буфера. Пакет, поступивший в то время, когда буфер заполнен, просто отбрасывается [14].

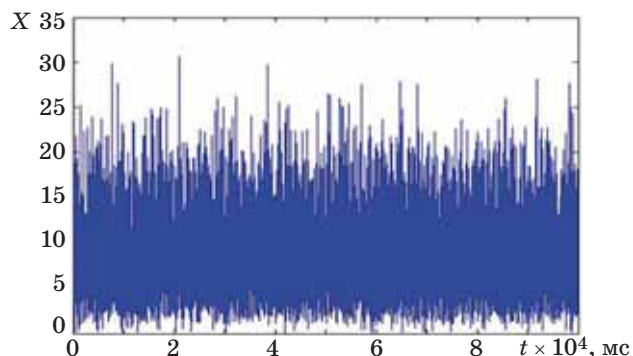
Алгоритм настраиваемых очередей предусматривает управление долей полосы пропускания канала для каждой очереди. Всего поддерживается 17 очередей, где нулевая очередь зарезервирована для управляющих высокоприоритетных пакетов и пользователю недоступна. Каждая очередь содержит счетчик байтов, который в начале обхода содержит заданное значение, уменьшающееся на размер пакета при его обслуживании. Очереди обходятся последовательно, начиная с первой. Очереди настраиваются администратором сети [15].

Алгоритм взвешенного справедливого обслуживания разработан для того, чтобы для всех классов трафика можно было предоставить определенный минимум пропускной способности или удовлетворить требования к задержкам. Под весом какого-либо класса понимается доля выделяемой данному виду трафика пропускной способности выходного интерфейса [16]. Вес класса трафика назначается автоматически в зависимости от:

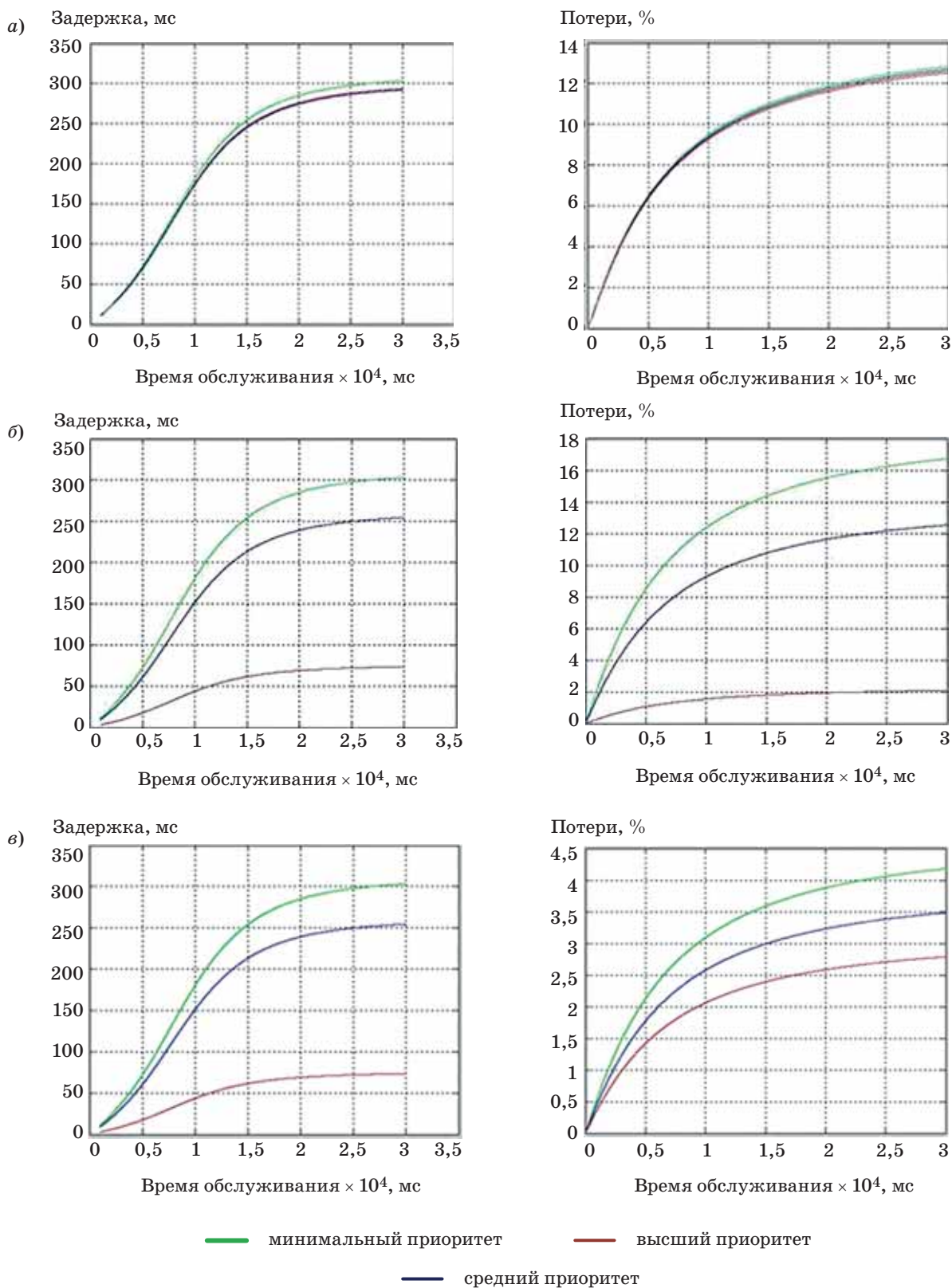
- обслуживания очередей на основе классов: пропускная способность распределяется по классам в абсолютном значении или в процентах относительно установленного значения на планировщике;
- вероятности отбрасывания пакетов.

Модель маршрутизатора, реализующего механизм DiffServ

Маршрутизатор представлен системой массового обслуживания. На его вход поступает сетевой трафик, требующий дифференцированно-



■ **Рис. 4.** Диаграмма сетевого трафика, AR-модель
 ■ **Fig. 4.** Network traffic diagram, AR-model



■ **Рис. 5.** Характеристики обслуживания трафика по алгоритму FIFO (a); по алгоритму приоритетного обслуживания (б); по алгоритму справедливой очереди (в)
 ■ **Fig. 5.** Characteristics of traffic servicing by FIFO algorithm (a); priority service algorithm (б); weighted fair queuing algorithm (в)

го обслуживания [17]. Модель трафика должна соответствовать современному представлению о трафике реально функционирующих сетей с коммутацией пакетов и агрегацией данных различных приложений.

Трафик проходит все элементы архитектуры DiffServ (см. рис. 1). Модели маршрутизатора отличаются механизмами управления буфером и планирования обработки пакетов. Реализованы модели обслуживания FIFO, приоритетное обслуживание, справедливая очередь.

Результаты статистического анализа измерений сетевого трафика, представленные в многочисленных публикациях, доказали, что модель сетевого трафика должна отображать фрактальность его характеристик [18].

К фрактальным свойствам характеристик трафика относят такие понятия, как медленно затухающие дисперсии, долговременная зависимость, самоподобность. Эти свойства, полученные опытным путем, существенно отличаются от свойств, наблюдаемых у трафика, сгенерированного традиционными моделями. Основной причиной этого различия является структура лежащей в основе зависимости. Особенностью самоподобного трафика является устойчивость кластеризации, в то время как традиционные модели пакетного трафика являются кратковременно зависимыми, т. е. имеют экспоненциально затухающие корреляции, а данные измеренного пакетного трафика проявляют долговременную зависимость, т. е. гиперболически затухающие корреляции [19].

На сегодня разработано множество моделей, предназначенных для имитации фрактального трафика. Анализ доступных публикаций по моделированию сетевого трафика позволил выделить авторегрессионные модели (Autoregressive Models — AR), получившие наибольшее распространение благодаря свойству длительной памяти ти самоподобных процессов [20].

AR-модель — это модель временных рядов, в которой значения временного ряда в данный момент линейно зависят от предыдущих значений этого же ряда. Как разновидности таких моделей используются модели «скользящего среднего», смысл которых заключается в том, что учитывается только ближайшее прошлое на за-

данное количество отсчетов по времени в глубину и следующая пачка трафика строится на основе только этих данных:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i X_{t-i} + \varepsilon_t,$$

где c — постоянная; p — размер пачки трафика; a — коэффициенты авторегрессии; ε_t — белый шум.

Диаграмма сетевого трафика, смоделированного по методу «скользящего среднего», показана на рис. 4.

Результаты моделирования с разными механизмами управления буфером приведены на рис. 5, а–в. Представленные зависимости демонстрируют, что введение механизмов дифференциации позволяет значительно улучшить характеристики трафика, чувствительного к задержкам и потерям. Так, например, введение приоритетов позволило снизить задержку почти в 5 раз и потери в 4–6 раз. Эта тенденция сохраняется и при других параметрах входного потока и времени обслуживания маршрутизатора.

Заключение

Появление новых приложений реального времени, требовательных к качеству обслуживания, привело к необходимости дифференциации IP-трафика.

В целях оценки характеристик, обеспечивающих качество обслуживания, выполнено моделирование механизма DiffServ как инструмента управления очередями и планирования обработки пакетов на сетевых узлах. Разработаны модели беспriorитетного, приоритетного и взвешенного справедливого обслуживания.

Как показывают результаты моделирования, применяемый механизм DiffServ может способствовать эффективной реализации QoS.

Настройка политики пошаговой обработки в сети с дифференциацией услуг позволит использовать Интернет как универсальную платформу глобальных коммуникаций, которая не только представляет инструмент для классификации трафика, но и гарантирует обеспечение показателей QoS.

Литература

1. Tanenbaum A., Wetherall D. Computer Networks. 5th ed. — Prentice Hall, 2010. — 960 p.
2. Kilkki K. Differentiated Services for the Internet. — Indianapolis: Macmillan Technical Published, 1999. — 400 p.

3. ITU-T Recommendation Y.1291. An Architectural Framework for Support of Quality of Service in Packet Networks. May 2004. https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewiqw6fQ49PaAhXFFywKHUp4ASwQFggrMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Frec%2Fdologin_pub.asp%3Flang%3

- De%26id%3DТ-REC-Y.1291-200405-I!!PDF-E%-26type%3Ditems&usg=AOvVaw03tHDrq48RVxkVnz0wpuLe (дата обращения: 12.03.2018).
4. Богатырев В. А., Кармановский Н. С., Попцова Н. А., Паршутин С. А., Воронина Д. А., Богатырев С. В. Имитационная модель поддержки проектирования инфокоммуникационных резервированных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5(105). С. 831–838. doi:10.17586/2226-1494-2016-16-5-831-838
 5. Evans J. W., Filsfils C. Deploying IP and MPLS QoS for Multiservice Networks: Theory & Practice. — Morgan Kaufmann Published, 2010. — 456 p.
 6. Vegesna S. R. IP Quality of Service. — Cisco Press Published, 2003. — 368 p.
 7. Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z., Weiss W. RFC 2475. An Architecture for Differentiated Services. December 1998. <http://www.rfc-base.org/rfc-2475.html> (дата обращения: 12.03.2018).
 8. Tonenbaum A., Austin T. Structured Computer Organization. 6th ed. — Prentice Hall, 2012. — 800 p.
 9. Jacobson V., Nichols K., Poduri K. RFC 2598. An Expedited Forwarding PHB. June 1999. <https://tools.ietf.org/html/rfc2598> (дата обращения: 12.03.2018).
 10. Heinanen J., Baker F., Weiss W., Wroclawski J. RFC 2597 Assured Forwarding PHB Group. June 1999. <https://tools.ietf.org/html/rfc2597> (дата обращения: 12.03.2018).
 11. Nichols K., Blake S., Baker F., Black D. RFC 2474. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers. December 1998. <https://tools.ietf.org/html/rfc2474> (дата обращения: 12.03.2018).
 12. Гольдштейн Б. С., Пинчук А. В., Суховицкий А. Л. IP-телефония. — М.: Радио и связь, 2006. — 336 с.
 13. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 4. С. 46–48.
 14. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.
 15. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 134 с.
 16. Кутузов О. И., Сергеев В. Г., Татарникова Т. М. Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет. — СПб.: Судостроение, 2003. — 170 с.
 17. Tatarnikova T., Kolbanov M. Statement of a Task Corporate Information Networks Interface Centers Structural Synthesis // IEEE EUROCON 2009, Saint-Petersburg, 2009. P. 1883–1887.
 18. Zwart A. P. Queueing Systems with Heavy Tails. — Eindhoven University of Technology, 2001. — 227 p.
 19. Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. — М.: Физматлит, 2008. — 368 с.
 20. Костромицкий А. И., Волотка В. С. Подходы к моделированию самоподобного трафика // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. № 46. С. 46–49.

UDC 004.7

doi:10.15217/issn1684-8853.2018.3.54

Estimation of Probabilistic-Temporal Characteristics of Network Nodes with Traffic DifferentiationTatarnikova T. M.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, tm-tatarn@yandex.ruVolskiy A. V.^a, Graduate Student, volskiyav62@gmail.com^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: The release of new real-time applications demanding of service quality led to the need to classify IP traffic and the corresponding models of its differentiated processing on network nodes. **Purpose:** Assessing the impact of DiffServ differentiated service on the quality of network traffic service. **Results:** Traffic on a DiffServ network node has been simulated in order to evaluate the performance characteristics which provide the quality of services. Models have been developed for routine, priority and weighted fair service. The simulation results showed that DiffServ can contribute to effective maintenance of QoS. **Practical relevance:** The developed models are a tool for managing queues and scheduling packet processing on a DiffServ network node.

Keywords — Network Traffic, Differentiated Services, Quality of Services, Priority Queuing, Weighted Fair Queuing, Custom Queuing, Router, IP Application.

Citation: Tatarnikova T. M., Volskiy A. V. Estimation of Probabilistic-Temporal Characteristics of Network Nodes with Traffic Differentiation. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2018, no. 3, pp. 54–60 (In Russian). doi:10.15217/issn1684-8853.2018.3.54

References

1. Tanenbaum A., Wetherall D. *Computer Networks*. 5th ed. Prentice Hall, 2010. 960 p.
2. Kilkki K. *Differentiated Services for the Internet*. Indianapolis, Macmillan Technical Published, 1999. 400 p.
3. *ITU-T Recommendation Y.1291. An Architectural Framework for Support of Quality of Service in Packet Networks*. May 2004. Available at: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiqw-6fQ49PaAhXFFywkHUp4ASwQFggrMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Frec%2Fdologin_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-Y.1291-200405-I!!PDF-E%-26type%3Ditem&usq=AOvVaw03tHDrq48RVxkVnz0wpuLe (accessed 12 March 2018).
4. Bogatyrev V. A., Karmanovsky N. S., Poptcova N. A., Parshutina S. A., Voronina D. A., Bogatyrev S. V. Simulation Model for Design Support of Infocomm Redundant Systems. *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnykh tehnologij, mehaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2016, vol. 16, no. 5, pp. 831–838 (In Russian) doi:10.17586/2226-1494-2016-16-5-831-838
5. Evans J. W., Filsfils C. *Deploying IP and MPLS QoS for Multiservice Networks: Theory & Practice*. Morgan Kaufmann Published, 2010. 456 p.
6. Vegesna S. R. *IP Quality of Service*. Cisco Press Published, 2003. 368 p.
7. Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z., Weiss W. *RFC 2475. An Architecture for Differentiated Services*. December 1998. Available at: <http://www.rfc-base.org/rfc-2475.html> (accessed 12 March 2018).
8. Tanenbaum A., Austin T. *Structured Computer Organization*. 6th ed. Prentice Hall, 2012. 800 p.
9. Jacobson V., Nichols K., Poduri K. *RFC 2598. An Expedited Forwarding PHB*. June 1999. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc2598> (accessed 12 March 2018).
10. Heinanen J., Baker F., Weiss W., Wroclawski J. *RFC 2597. Assured Forwarding PHB Group*. June 1999. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc2597> (accessed 12 March 2018).
11. Nichols K., Blake S., Baker F., Black D. *RFC 2474. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*. December 1998. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc2474> (accessed 12 March 2018).
12. Goldstein B. S., Pinchuk A. V., Suhovitsky A. L. *IP-telefoniia* [IP Telephony]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 2006. 336 p. (In Russian).
13. Bogatyrev V. A., Bogatyrev A. V., Bogatyrev S. V. Evaluation of Reliability Performance Cluster Real-Time Query. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2014, vol. 57, no. 4, pp. 46–48 (In Russian).
14. Oliner V., Oliner N. *Kompiuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2016. 992 p. (In Russian).
15. Kutuzov O. I., Tatarnikova T. M. *Modelirovanie sistem i setei telekommunikatsii* [Simulation of Systems and Telecommunications Networks]. Saint-Petersburg, RGGMU Publ., 2012. 134 p. (In Russian).
16. Kutuzov O. I., Sergeev V. G., Tatarnikova T. M. *Kommutatory v korporativnykh setiakh. Modelirovanie i raschet* [Switches in the Corporate Networks. Simulation and Calculation]. Saint-Petersburg, Sudostroenie Publ., 2003, 170 p. (In Russian).
17. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a Task Corporate Information Networks Interface Centers Structural Synthesis. *IEEE EUROCON 2009*, Saint-Petersburg, 2009, pp. 1883–1887.
18. Zwart A. P. *Queueing Systems with Heavy Tails*. Eindhoven University of Technology, 2001. 227 p.
19. Shelukhin O. I., Osin A. V., Smol'skij S. M. *Samopodobie i fraktaly. Telekommunikatsionnye prilozheniia* [Self-similarity and Fractals. Telecommunication Applications]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 368 p. (In Russian).
20. Kostromickij A. I., Volotka V. S. Approaches to Modeling Self-similar Traffic. *Vostochno-Evropeskii zhurnal perezodnykh tekhnologii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2010, no. 46, pp. 46–49 (In Russian).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.