

УДК 621.391.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА КОРЗИНЫ МАРКЕРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРАФИКОМ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ SOA



Т.Н. КОВАЛЕНКО

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Abstract – An overview of quality factors for modern infocommunication services is done. Methods of providing the required quality of service (QoS) level in distributed systems with Service Oriented Architecture (SOA) are discussed. A single rate three colour token bucket algorithm as one of the methods of traffic control at the input of the network infrastructure is described. A mathematical model of traffic shaping based on a discussed token bucket algorithm for a distributed infocommunication SOA system is developed on the basis of hierarchical coloured Petri Nets mathematical tool. Analysis of the SOA system performance and productivity when traffic control was performed is done. Intensity of the output flow of successfully served requests, probability of preventive request drop and loss probability as a result of inefficiency of studied algorithm and system overloading are analysed. Recommendations on selection of the optimal values of algorithm's parameters such as Committed Information Rate (CIR), Committed Burst Size (CBS) and Excess Burst Size (EBS) are given procedure for the different packet number in queue.

Анотація – Розроблено математичну модель профілювання трафіка в розподілених інфокомунікаційних системах із сервіс-орієнтованою архітектурою (SOA) на основі алгоритму «кошика маркерів». Проведено аналіз функціонування й продуктивності системи SOA при виконанні управління трафіком. Сформульовано рекомендації щодо вибору оптимальних значень параметрів алгоритму, таких як гарантована швидкість передачі CIR, погоджений та надлишковий розмір сплеску CBS і EBS.

Аннотация – Разработана математическая модель профилирования трафика в распределенных инфокоммуникационных системах с сервис-ориентированной архитектурой (SOA) на основе алгоритма «корзины маркеров». Проведен анализ функционирования и производительности системы SOA при выполнении управления трафиком. Сформулированы рекомендации по выбору оптимальных значений параметров алгоритма, таких как гарантированная скорость передачи CIR, согласованный и избыточный размер всплеска CBS и EBS.

Введение

В условиях стремительного роста популярности веб-сервисов, технологий виртуализации и распределенных облачных вычислений телекоммуникационная инфраструктура выполняет основополагающую роль, обеспечивая информационный обмен между территориально распределенными компонентами сложных инфокоммуникационных систем. Активное внедрение концепции "Все как услуга" (Everything as a service, EaaS) и применение сервис-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture, SOA) [1-8] при построении данных систем требует уделять еще большее внимание проблемам обеспечения требуемого качества обслуживания, по-

скольку качество комплексных инфокоммуникационных услуг может быть обеспечено лишь при условии заключения и строгого соблюдения соглашений об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA) всеми провайдерами, принимающими участие в предоставлении данных услуг [9-14]. Система показателей качества сервиса в SOA системах в соответствии с требованиями консорциума OASIS [14] представлена на рис. 1. Такие показатели качества как время отклика, производительность, готовность, доступность, надежность, количество отказов в значительной степени зависят от функционирования телекоммуникационной инфраструктуры. Таким образом, решение задач управления трафиком и ресурсами телекоммуникационных систем и сетей (ТКС) становится еще более актуальным.

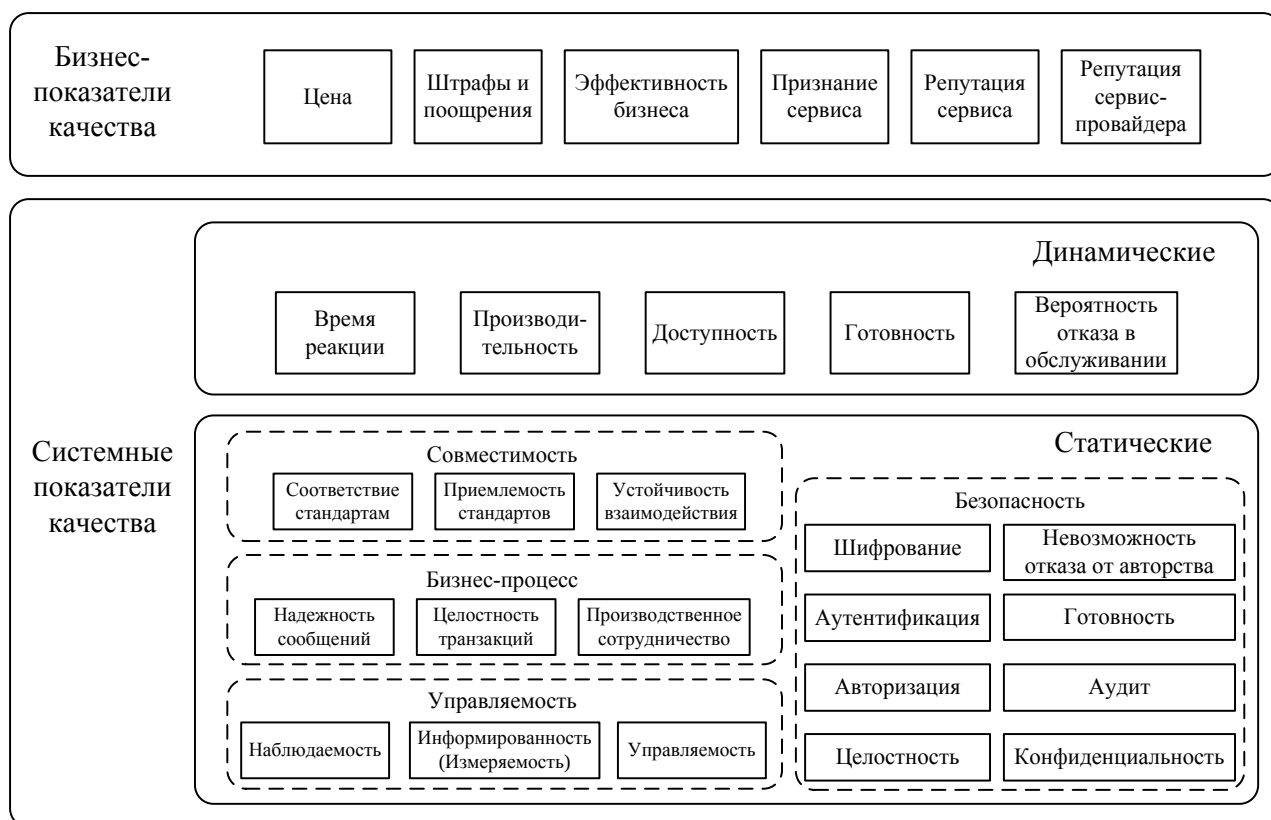


Рис. 1. Структура показателей качества сервисов в системах SOA

Особенности функционирования различных средств управления ресурсами и учет различных сетевых параметров позволяют в той или иной степени обеспечить требуемые показатели качества обслуживания QoS. При этом к основным из этих средств традиционно относят механизмы управления очередями (буферный ресурс), средства распределения пропускной способности трактов передачи (канальный ресурс), механизмы управления трафиком (информационный ресурс). Методы активного управления очередями [15-17], которые позволяют предотвратить перегрузки в сети за счет превентивного отбрасывания пакетов из очереди, уже были рассмотрены ранее в работе [18]. В работе [19] были рассмотрены особенности распределения

пропускной способности базовой ТКС в инфокоммуникационных системах SOA, а также предложен метод распределения сетевых канальных ресурсов данных систем. В данной работе рассмотрены методы управления трафиком в распределенных инфокоммуникационных системах SOA. Основное внимание при этом уделено алгоритму корзины маркеров, поскольку именно этот алгоритм применяется в сетях IP, на базе которых строятся исследуемые системы, однако эффективность данного алгоритма для управления трафиком в системах SOA до настоящего времени еще не была изучена.

I. Обеспечение QoS и управление трафиком в телекоммуникационной инфраструктуре систем SOA

Обеспечение сквозного QoS "из конца в конец" (end-to-end) в рамках гетерогенной ТКС предполагает использование целого комплекса средств управления (рис. 2) [15, 17, 20-22]. Формирование трафика реализуется с целью изменения параметров входного трафика в соответствии с заданным профилем, указанным в SLA. В случае нарушения параметров профиля (в частности, при превышении длительности доставки или средней скорости) происходит отбрасывание или маркировка пакетов этого потока (рис. 3).



Рис. 2. Базовая архитектура управления сетевыми ресурсами

Профилирование трафика на основе правил политики (policing) подразумевает в случае нарушения параметров профиля (например, превышения длительности пультации или средней скорости) отбрасывание пакета или его маркировку со сни-

жением приоритета. Отбрасывание отдельных пакетов снижает интенсивность потока и приводит его параметры в соответствие с указанными в профиле. Маркировка пакетов без отбрасывания необходима для того, чтобы пакеты все-таки были обслужены, но уже со сниженным качеством.

Функция выравнивания трафика (shaping) предназначена для придания трафику, прошедшему профилирование, необходимой «формы» во времени и реализуется путем буферизации пакетов. В основном с помощью этой функции стремятся сгладить пульсации трафика, и тем самым сократить очереди на узлах сети. Выравнивание целесообразно использовать для восстановления временных соотношений трафика приложений, работающих с равномерными потоками, например, речевых приложений.

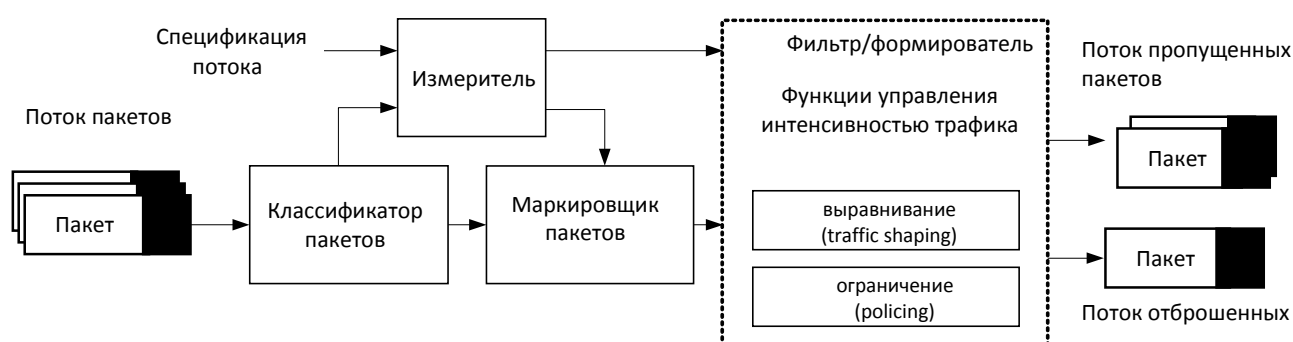


Рис. 3. Управление входным трафиком на приграничном узле

В основе задач выравнивания и ограничения трафика лежат алгоритмы «корзины маркеров» (token bucket) и «дырявого ведра» (leaky bucket), а также их разновидности. Алгоритм корзины маркеров был разработан для сетей IP и описан в документах RFC 2697 и RFC 2698 [23–24], представляющих две разновидности данного алгоритма – однокоростной и двухкоростной.

II. Математическая модель ограничения входного трафика в системе SOA на основе алгоритма «корзины маркеров»

В соответствии с однокоростным трехцветным алгоритмом корзины маркеров при маркировке пакетов используются три параметра профиля входного трафика: гарантированная скорость передачи (Committed Information Rate, CIR), согласованный размер всплеска (Committed Burst Size, CBS) и избыточный размер всплеска (Excess Burst Size, EBS). Пакеты маркируются в соответствии с тремя цветами: зеленый (входной поток соответствует указанному профилю), желтый (допустимые всплески) и красный (недопустимые всплески). Данная разновидность алгоритма может быть применена для трафика, когда требуемый уровень QoS определяется не пиковой скоростью, а только продолжительностью всплесков во входном потоке.

Параметры алгоритма CBS и EBS измеряются в байтах, CIR – в количестве байт IP пакета, передаваемых в секунду. Значения параметров CBS и EBS устанавливаются

таким образом, чтобы как минимум один из них был больше нуля. Рекомендуется также, чтобы при этом параметр CBS или EBS, установленный в значение больше нуля, был также не меньше максимально допустимой длины IP пакета в потоке. Работа алгоритма корзины маркеров представлена на рис. 4.

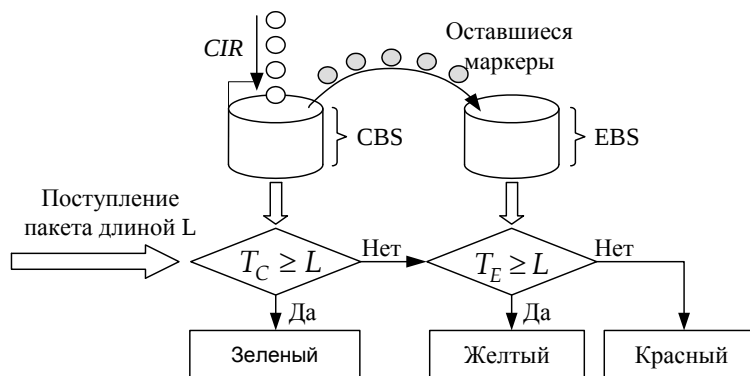


Рис. 4. Односкоростной трехцветный алгоритм корзины маркеров

Алгоритм использует две корзины маркеров: С и Е, максимальный размер которых равен значениям параметров CBS и EBS соответственно. В начальный момент времени ($t=0$) корзины С и Е заполнены маркерами, т.е. счетчики корзин равны соответственно $T_C(0) = CBS$, $T_E(0) = EBS$. Счетчики T_C и T_E обновляются CIR раз в секунду следующим образом: если $T_C < CBS$, значение T_C увеличивается на единицу, в противном случае, если $T_E < EBS$, значение T_E увеличивается на единицу, иначе значения счетчиков T_C и T_E не меняются.

При поступлении пакета длиной L байт в момент времени t происходит следующее:

- если $T_C(t) - L \geq 0$, пакет маркируется как зеленый, а значение счетчика T_C уменьшается на L байт, в противном случае
- если $T_E(t) - L \geq 0$, пакет маркируется как желтый, а значение счетчика T_E уменьшается на L байт, в противном случае
- пакет маркируется как красный, а значения счетчиков T_C и T_E не меняются.

Маркировка пакетов используется в дальнейшем для определения соответствующего способа его обработки. Например, все красные пакеты в системе отбрасываются, зеленые передаются с гарантированной доставкой, а желтые передаются без гарантии доставки и могут быть отброшены при необходимости.

Для оценки влияния устанавливаемых значений параметров алгоритма на эффективность управления входным потоком в распределенных системах SOA была разработана модель профилирования трафика на основе описанного алгоритма с использованием раскрашенных сетей Петри (Coloured Petri Nets, CPN) [25-28]. Графическое описание данной модели представлено на рис. 5.

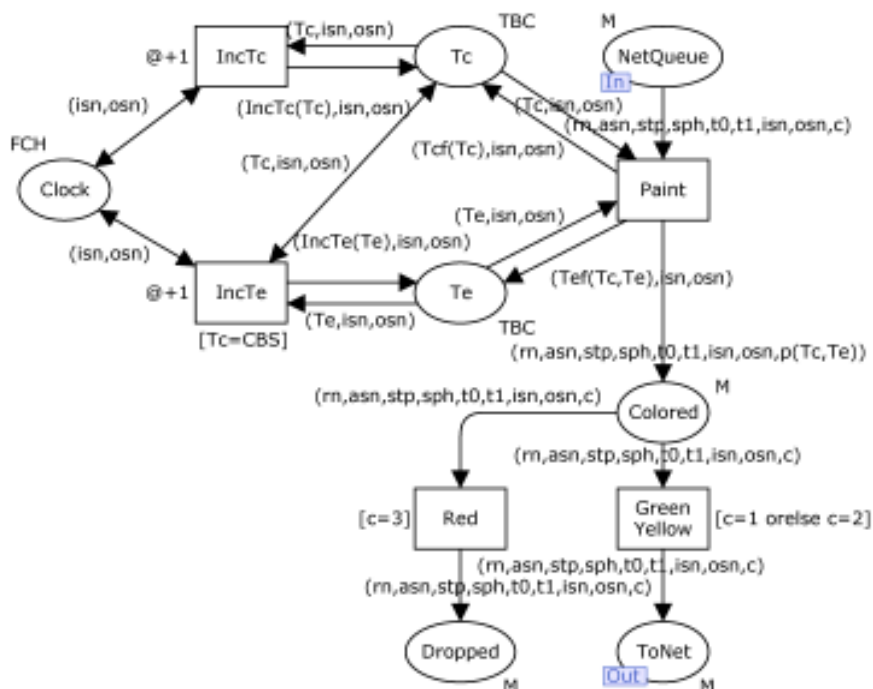


Рис. 5. CPN модель профилирования трафика на основе односкоростного трехцветного алгоритма корзины маркеров

Данная модель представляет собой CPN модуль, который был интегрирован в иерархическую CPN модель распределенной инфокоммуникационной системы с сервис-ориентированной архитектурой, описанную ранее в работе [29].

Содержимое корзины маркеров C и E описывается разметкой позиций "Tc" и "Te" соответственно, которая меняется после каждого увеличения (переходы "IncTc" и "IncTe") или уменьшения (переход "Paint") значения счетчиков корзины. Функционирование маркировщика пакетов моделирует переход "Paint", в результате срабатывания которого поступающим из его входной позиции "NetQueue" пакетам присваивается один из трех цветов: $c = 1$ – зеленый, $c = 2$ – желтый, $c = 3$ – красный. Пакеты, промаркированные как зеленые и желтые, передаются по сети (позиция "ToNet"), в то время как красные пакеты немедленно отбрасываются – помещаются на позиции "Dropped", используемой для сбора статистики о количестве отброшенных пакетов.

III. Анализ эффективности профилирования трафика на основе алгоритма «корзины маркеров» в распределенных системах SOA

При исследовании эффективности односкоростного трехцветного алгоритма корзины маркеров в распределенных инфокоммуникационных системах SOA была проведена серия экспериментов по имитационному моделированию представленной CPN модели профилирования трафика с использованием специализированного программного пакета "CPN Tools" [25]. Интенсивность входного потока запросов на

сервисы системы SOA была принята очень высокой (в два раза выше производительности системы). При этом производительность серверов сервис-провайдеров полагалась достаточно высокой, чтобы в качестве «узкого места» в исследуемой системе SOA выступала ее сетевая инфраструктура – один или несколько сегментов сети, обеспечивающих передачу данных между серверами. В ходе имитационного моделирования были проанализированы следующие характеристики распределенной инфокоммуникационной системы SOA: интенсивность выходного потока успешно обслуженных запросов на сервисы Th , вероятность превентивного отбрасывания запроса в результате работы алгоритма корзины маркеров Pd , вероятность потери запроса на сервис (отказ в обслуживании) в результате перегрузки системы Pl , а также вероятность успешного обслуживания запроса Ps . Зависимости данных характеристик от установленного значения параметра CIR представлены в виде графиков, полученных в результате моделирования, на рис. 6.

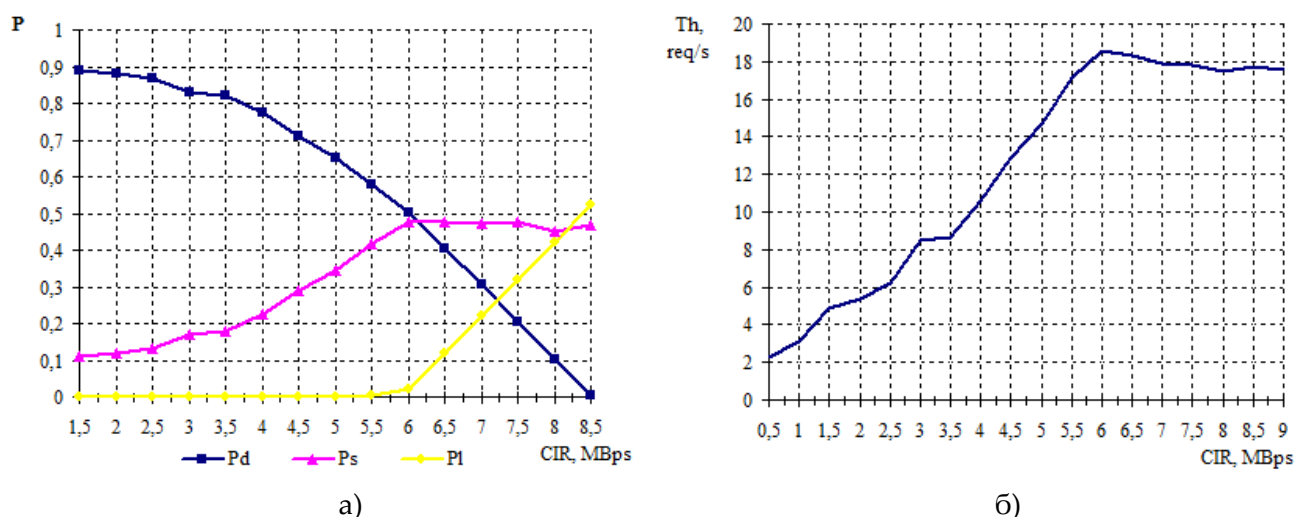


Рис. 6. Графики зависимостей вероятностей превентивного отбрасывания, потери и успешного обслуживания запросов (а) и интенсивности выходного потока обслуженных запросов (б) от параметра CIR

Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение значения параметра CIR приводит к снижению вероятности превентивного отбрасывания запросов на сервисы Pd и увеличению вероятности успешного обслуживания запроса в системе SOA Ps , однако при увеличении значения CIR более 6 Мбит/с, что соответствует пропускной способности сегмента телекоммуникационной сети между серверами поставщиков сервисов, резко возрастает вероятность потери запроса (отказа в обслуживании) Pl в результате появления перегрузки системы в ее «узком месте» - телекоммуникационной сети. Таким образом, несмотря на то, что вероятность превентивного отбрасывания запросов Pd продолжает снижаться, увеличить вероятность успешного обслуживания Ps не удастся – она даже несколько снижается в связи с недостаточно эффективной работой алгоритма корзины маркеров и появлением перегрузки в системе. Интенсивность выходного потока обслуженных запросов на

сервисы Th пропорциональна вероятности успешного обслуживания Ps и имеет максимальное значение при значении параметра $CIR = 6$ Мбит/с.

На рис. 7 представлены результаты анализа производительности (максимальной интенсивности выходного потока успешно обслуженных запросов) распределенной инфокоммуникационной системы SOA при различных значениях параметров CBS и EBS.

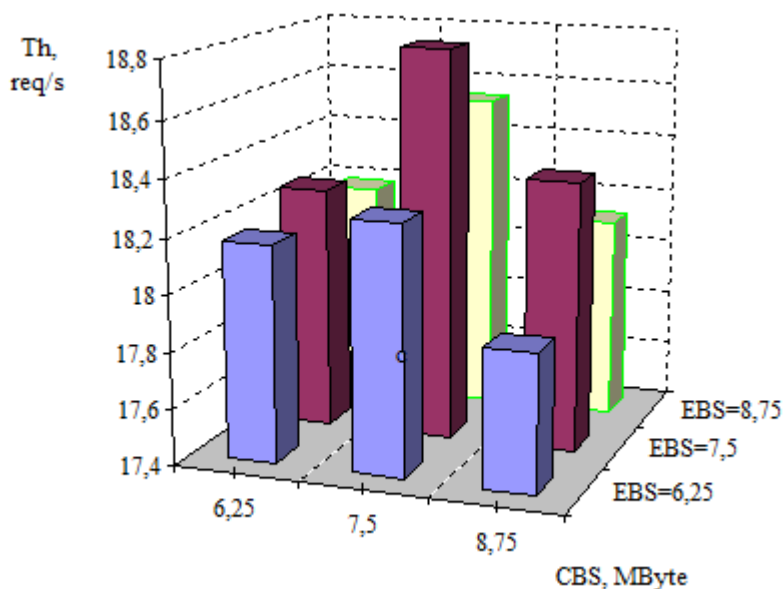


Рис. 7. Производительность распределенной инфокоммуникационной системы SOA при различных значениях параметров CBS и EBS

В ходе имитационного моделирования было установлено, что увеличение значений как CBS, так и EBS имеет тот же эффект, что и увеличение значения параметра CIR : вероятность превентивного отбрасывания запросов на сервисы Pd уменьшается, а вероятность успешного обслуживания Ps возрастает, пока не будет достигнуто предельное значение, превышение которого приводит к снижению эффективности профилирования трафика, появлению перегрузки в сети и, как следствие, возрастанию вероятности потери запросов Pl и снижению интенсивности выходного потока обслуженных запросов. При этом важны не отдельно взятые значения параметров CBS и EBS, а их сумма. Результаты моделирования показали, что предельное значение для исследованной системы составляет $(CBS + EBS) = 15$ Мбайт, которое превышает размер буфера на узлах ТКС примерно на 20%. Наибольшее значение производительности распределенной инфокоммуникационной системы SOA зафиксировано при значениях $CBS = EBS = 7,5$ Мбайт.

Выводы

В работе проведен анализ методов обеспечения требуемого QoS в распределенных инфокоммуникационных системах с сервис-ориентированной архитектурой пу-

тем управления сетевыми ресурсами в телекоммуникационной инфраструктуре системы. Основное внимание уделено методам управления и обеспечения QoS, осуществляемым в приграничных узлах сети – управлению трафиком на входе в сеть (профилирование и ограничение трафика), которое реализуется на основе алгоритма корзины маркеров.

Разработана модель профилирования трафика в распределенной инфокоммуникационной системе SOA на основе однокоростного трехцветного алгоритма корзины маркеров в виде раскрашенной сети Петри. Проведено исследование эффективности данного алгоритма для предотвращения перегрузок в системах SOA при различных значениях параметров алгоритма: гарантированной скорости передачи CIR, согласованной и избыточной величины всплеска CBS и EBS. Эффективность профилирования трафика в исследуемой системе оценивалась по следующим показателям: вероятность превентивного отбрасывания запроса в результате работы алгоритма корзины маркеров P_d , вероятность потери запроса на сервис (отказ в обслуживании) в результате перегрузки системы P_l , вероятность успешного обслуживания запроса P_s , интенсивность выходного потока обслуженных запросов на сервисы Th (производительность системы SOA).

Результаты имитационного моделирования с использованием разработанной модели показали, что оптимальным значением параметра CIR является значение пропускной способности сегмента ТКС, обеспечивающего передачу данных между серверами сервис-провайдеров, участвующих в предоставлении комплексного сервиса системы SOA. Что касается значений параметров CBS и EBS, их следует выбирать исходя из размера буферов L_B сетевых устройств рассматриваемого сегмента ТКС. При этом важны не отдельно взятые значения параметров CBS и EBS, а их сумма. Результаты моделирования показали, что предельное значение составляет около $(CBS + EBS) = 1,2 \cdot L_B$. Превышение данного порога приводит к резкому возрастанию вероятности потери запроса на сервис и снижению производительности системы SOA вследствие неэффективной работы алгоритма корзины маркеров и появления перегрузки в телекоммуникационной инфраструктуре. В то же время значения, намного ниже пороговых, будут приводить к неоправданно высокой вероятности превентивного отбрасывания запросов на сервисы, что также значительно снижает производительность системы SOA. Те же эффекты наблюдаются при отклонении значения параметра CIR от оптимального в большую или меньшую сторону. Максимальное значение производительности системы наблюдалось при значении параметров $CBS = EBS = 0,6 \cdot L_B$.

Направлением дальнейших исследований является сравнительный анализ эффективности других разновидностей алгоритма корзины маркеров, таких как двухкоростной трехцветный, а также разработка методов организации очередей на основе приоритетов в распределенных инфокоммуникационных системах с сервис-ориентированной архитектурой.

Список литературы:

1. Пузыня С., Пырлина И. Корпоративная архитектура и SOA [Электронный ресурс] // Открытые системы. – 2010, №2. – Режим доступа к статье: <http://www.osp.ru/os/2010/02/13001450/>.
2. Working smarter with a Smart SOA foundation [Электронный ресурс]. – режим доступа: ftp://public.dhe.ibm.com/software/solutions/pdfs/7946_Working_smarter_Brochure.pdf.
3. Ort E. Service-Oriented Architecture and Web Services: Concepts, Technologies, and Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: <http://java.sun.com/developer/technicalArticles/WebServices/soa2/SOATerms.html>
4. Reese G. Cloud Application Architectures. – Cambridge: O'Reilly, 2009. – 206 p.
5. HP SOA Systinet and JBoss Enterprise SOA Platform. Service-oriented architecture infrastructure and governance solution [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://h20195.www2.hp.com/V2/GetPDF.aspx/4AA2-6915ENW.pdf>
6. Oracle White Paper – Oracle SOA Suite 11g [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oracle.com/us/technologies/soa/soa-suite/oracle-soa-suite-11g-198758.pdf>
7. Microsoft and SOA Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: http://www.soa.com/solutions/microsoft/microsoft_and_soa_software/.
8. Josuttis N. M. SOA in Practice: The Art of Distributed System Design (Theory in Practice). – O'Reilly Media, 2007. – 352 p.
9. Хойссер М. Тестирование SOA: примеры [Электронный ресурс] // Директор информационной службы. – 2008, № 12. – Режим доступа к статье: <http://www.osp.ru/cio/2008/12/5585238/>.
10. Кузнецов С. SOA с гарантией качества [Электронный ресурс] // Открытые системы. – 2008, № 07. – режим доступа к статье: <http://www.osp.ru/os/2008/07/5479587/>.
11. Слипер Б. 5 проблем SOA [Электронный ресурс] // Computerworld Россия. – 2004, № 38. – режим доступа к статье: <http://www.osp.ru/cw/2004/38/81416/>.
12. Дубова Н. SOA: подходы к реализации [Электронный ресурс] // Открытые системы. – 2004, № 06. – режим доступа к статье: <http://www.osp.ru/os/2004/06/184450/#top>.
13. Cox W., Lee A., Changfeng. Open Standards Platform Software Alliance SOA-EERP Business Quality of Service Version 1.0 [Электронный ресурс] Committee Specification 01. – режим доступа: <http://docs.oasis-open.org/soa-eerp/bqos/v1.0/SOA-EERP-bQoS-Spec-cs01.pdf>.
14. Web Services Quality Factors Version 1.0. [Электронный ресурс] OASIS Committee Draft 02 / Public Review Draft 01, 01 July 2010. – 28 p. – Режим доступа: http://docs.oasis-open.org/wsrm/wsrf/v1.0/WS-Quality_Factors-cd02.pdf.
15. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP [Текст]: пер. с англ.- М. : Вильямс, 2003. – 368 с.
16. An active queue management scheme for Internet congestion control and its application to differentiated services [Текст] / L. Su and J.C. Hou, The Ohio State University, Columbus, OH, January 2000. – 25 p.
17. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет [Текст] / Е. А. Кучерявый. – СПб. : Наука и техника, 2004. – 336 с.
18. Kovalenko T.N. A Petri Net model of active queue management in distributed infocommunication systems [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. –

№ 2 (7). – С. 58 – 67. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/2/1/122_kovalenko_queue.pdf.

19. *Kovalenko T.* Optimization of network resources distribution in SOA systems [Текст] // Journal of EcoAgriTourism. – 2010. – № 2 (19). – pp. 164 – 167.

20. *Marchese M.* QoS over heterogeneous networks [Текст] / M. Marchese. – Wiley, 2007. – 328 p.

21. *Лемешко О.В.* Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології [Текст]: Підручник (Гриф МОН України №1/10-8465 від 10.09.2010)) У 2-х ч. Ч.1 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, В.В. Поповський та ін.; за заг. ред. проф. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2010. – 470 с.

22. Control and Adaptation in Telecommunication Systems: Mathematical Foundations [Текст] // by Vladimir Popovskij, Alexander Barkalov, Larysa Titarenko. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. – 564 p.

23. *Heinanen J., Guerin R.* RFC 2697 "A Single Rate Three Color Marker". September 1999. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2697>.

24. *Heinanen J., Guerin R.* RFC 2698 "A Two Rate Three Color Marker". September 1999. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2698>.

25. *Jensen K.* Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use [Текст] / K Jensen – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996. – 234 p.

26. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем [Текст] // В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.: За загальною редакцією В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

27. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Пер. с англ. М.В. Горбатова, В.Л. Торохов, В.Н. Четвериков; Под ред. В.А. Горбатова. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

28. *Лескин А.А.* Сети Петри в моделировании и управлении [Текст] / А.А. Лескин – Л.: Наука, 1989. – 135 с.

29. *Kovalenko T.N.* Analysis of productivity of distributed systems with service oriented architecture under conditions of limited link and buffer resources of telecommunication network [Електронний ресурс] // Проблеми телекомунікацій. – 2012. – № 1 (6). – С. 3 – 11. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_kovalenko_petri.pdf.