

УДК 004.49.5

Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, Н.С. Якименко, С.А. Смирнов

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЗЛА КОММУТАЦИИ С ОБСЛУЖИВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАКЕТОВ РАЗЛИЧНОГО ПРИОРИТЕТА

Разработана математическая модель интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета, которая включается в метод управления доступом в интеллектуальных узлах коммутации и усовершенствованный алгоритм управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам. Отличительной особенностью данной модели является комплексное использование стандартных критериев управления информационными потоками в интеллектуальных узлах коммутации с дополнительными, учитывающими возможность обслуживания информационных пакетов, метаданными при их передаче в «облачные» антивирусные системы.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационные сети, облачные антивирусы, WFQ, CBWFQ.

Введение

Постановка проблемы исследования. В современных условиях динамичного развития различных подходов анализа и синтеза телекоммуникационных сетей, интегрирующихся в единую информационно-телекоммуникационную технологию [1 – 11] актуальными становятся вопросы разработки и применения общих методов обеспечения качества обслуживания на основе выделения отдельных классов качества и реализации для них унитарных алгоритмов управления, таких как приоритизация информационных пакетов, резервирование телекоммуникационных ресурсов, организация очередей в узлах коммутации и др.

На рис. 1. представлена классификация механизмов управления качеством обслуживания на основе рекомендаций международного союза электросвязи МСЭ-Т У.1291.



Рис. 1. Классификация механизмов управления качеством обслуживания

Общая постановка задачи описания процессов функционирования узла коммутации

В соответствии данными, указанными в [1 – 6], структурно-функциональное построение ИТС нового поколения (NGN-сетей) неоднородно. Данный фактор особенно ярко выражен на начальных этапах построения ИТС. Следует заметить, что при объединении только низкоскоростного трафика, создаются предпосылки для использования моделей простейших потоков [1-4]. Это обусловлено тем, что взаимное наложение большого числа малых независимых ординарных стационарных (нестационарных) потоков с различным последствием (теорема Хинчина) [1, 3], а также преобразование потоков в сети (суммирование, просеивание) [1-6] в пределе даёт поток близкий к простейшему:

$$a_r = a_r(t) = 1 - e^{(-\lambda_r \cdot t)}, \quad \lambda_r \geq 0, t \geq 0, \quad (1)$$

где λ_r – параметр потока, приведённый к параметрам передачи с помощью выражения:

$$\lambda_r = \lambda_c(r) \cdot q(r) \cdot \eta_r,$$

$\lambda_c(r)$ – интенсивности поступления сообщений;

$q(r) = (\mu_c(r) \cdot t_{\text{сегм}}(r))^{-1}$ – среднее число пакетов в сообщении r -го приоритета; $t_{\text{сегм}}(r) = \frac{L(r)}{v_{\text{прд}}(r)}$ –

среднее время сегментации пакетов r -го приоритета; $L(r)$ – длина информационной части пакета r -го приоритета; $v_{\text{прд}}(r)$ – скорость передачи (обработки) информации r -го приоритета; $\eta_r = \frac{L_{\text{пак}}(r)}{L(r)}$ –

накладные расходы на пакетное преобразование; $L_{\text{пак}}(r)$ – длина пакета r -го приоритета.

При поступлении в ИТС пакеты различных классов приоритетности разбиваются на пакеты различной длины $L(r)$, при ограничении их максимального размера. Данное предположение позволяет сделать вывод о возможности использования при проектировании таких сетей, в соответствующих расчетах, показательного закона распределения случайной величины длительности их обслуживания в узлах коммутации [1, 5]. В этом случае длительность обслуживания пакетов приоритетов $r = \overline{1, R}$ случайная величина с функцией распределения [1, 2]:

$$B(t) = 1 - e^{-t/b}, \quad t \geq 0, \quad b \geq 0, \quad (2)$$

и конечными первыми двумя моментами:

$$b = \int_0^{\infty} t dB(t) = \frac{1}{\mu_{cp}}; \quad (3)$$

$$b^{(2)} = \int_0^{\infty} t^2 dB(t) = \frac{2}{\mu_{cp}^2}; \quad (4)$$

$$\mu = \sum_{r=1}^R \frac{\lambda_r}{\Lambda_r} \times \frac{V_{прд}(r)}{L_{пак}(r)}, \quad (5)$$

где μ_{cp} – средняя интенсивность обслуживания пакетов.

В описанном выше примере в узле коммутации реализуется следующая дисциплина обслуживания.

а). Если в момент поступления пакета с любым приоритетом $r = \overline{1, R}$ имеются свободные каналы (состояние узла коммутации $0 \leq i \leq V - 1$), то он немедленно поступает на обслуживание.

б). В случае занятости всех каналов (состояние узла коммутации $V \leq i \leq V + K$) поступивший пакет ℓ -го приоритета становится в очередь и принимается на обслуживание раньше пакета j -го приоритета, если $\ell < j$. Если в момент поступления пакета ℓ -го приоритета в очереди имелось K -пакетов (буфер заполнен полностью), то поступивший пакет:

– принимается в очередь при условии, что в ней имеются пакеты с более низким j -м приоритетом, при этом последний пакет с низшим приоритетом вытесняется из системы и, в последующем, не оказывает на неё никакого влияния;

– теряется при условии, что в очереди имеются только пакеты с более высоким и/или равным приоритетом.

в). Для пакетов r -го (одинакового) приоритета, находящихся в очереди, реализуется система обслуживания FIFO.

В представленной дисциплине обслуживания в узле коммутации, при постановке пакетов в очередь и управлении очередью, действуют абсолютные, а при обслуживании – относительные приоритеты. Применение абсолютных приоритетов только для

управления очередью обеспечивает обслуживание пакетов без прерываний, но при этом минимизируются потери и среднее время ожидания приоритетных пакетов. В то же время описанная выше дисциплина обслуживания имеет и ряд недостатков, связанных в первую очередь с отсутствием учета факторов злоумышленных или иных внешних воздействий на ИТС.

Поэтому в условиях деструктивных внешних воздействий, а также частого выхода из строя телекоммуникационного оборудования использование данной модели при проектировании ИТС негативно влияет на процесс обеспечения таких показателей качества обслуживания как информационная и функциональная безопасность, надежность.

Проведенные исследования показали, что для устранения указанных недостатков целесообразно использовать математическую модель узла коммутации типа $\overline{M_r}/M/V_r/K_r$ с относительными приоритетами, резервированием ресурсов и учётом реальной надёжности обслуживающих приборов.

Модель узла коммутации с относительными приоритетами, резервированием ресурсов и учётом реальной надёжности обслуживающих приборов

При допущениях, приведенных выше (относительно: аппроксимации входящих потоков пакетов классов $r = \overline{1, R}$ данными с характеристиками пуассоновского закона распределения; обслуживания с относительными приоритетами $r = \overline{1, R}$ по классам качества услуг, с учетом категорий пользователей и подсистем; наличия V обслуживающих приборов, имеющих конечную надёжность; переменной длины пакетов, характеризуемой показательной функцией распределения (2) с параметром μ , определяемым выражением (5)), с целью эффективного управления трафиком и обеспечения заданных показателей качества обслуживания (в том числе информационной и функциональной безопасности), в условиях ограниченных ресурсов ИТС и возможных злоумышленных или иных воздействий, может применяться дисциплина обслуживания с относительными приоритетами $r = \overline{1, R}$, неполнодоступным включением каналов V_r , и совместным (раздельным) использованием накопителей K_r . Это позволит обеспечить резервирование коммуникационных ресурсов для высокоприоритетного трафика (в первую очередь метаданных в «облачные» антивирусные системы) [1 – 11].

Проведенный анализ основных алгоритмов управления очередями в коммуникационном обору-

довании ИТС показал, что в настоящее время существует несколько видов дисциплин (способов) обслуживания очередей, реализующих резервирование ресурсов (разделение процессора):

- справедливая организация очередей (Fair Queuing, FQ),
- очереди приоритетов (Priority Queuing, PQ),
- организация произвольных настраиваемых очередей (Custom Queuing, CQ),
- взвешенная справедливая организация очередей (Weighted Fair Queuing, WFQ),
- обслуживание очередей на основе классов (Class Based Weighted Fair Queuing, CBWFQ) и др.

Сравнительные исследования указанных алгоритмов показали, что наиболее эффективными, с точки зрения обеспечения качества обслуживания, являются алгоритмы WFQ и CBWFQ, являющиеся производными алгоритмов CQ. Поэтому дальнейшие исследования в большей степени будут основаны на положениях обслуживания очередей и управления WFQ и CBWFQ.

Представим телекоммуникационную систему, в которой предоставляемые услуги разбиты на несколько классов качества обслуживания (QoS), имеющих соответствующие приоритеты по задержке и потерям пакетов (например, передача информационно-измерительных данных мониторинга, телефония, передача почтовой информации, видеоконференцсвязь и др.). При этом общее число приоритетов для видов услуг, категорий пользователей и подсистем составляет R .

Предположим, что на вход интеллектуального узла коммутации поступают простейшие потоки пакетов r -х приоритетных классов $\{a_1, \dots, a_r, \dots, a_R\}$, которые занумерованы в порядке убывания их приоритета. Каждый приоритетный класс характеризуется интенсивностью поступления пакетов λ_r : $\lambda_r > 0$.

Пусть в частном случае приоритеты объединены в три группы $r_1 = 1$, $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$ соответствующие обслуживанию:

- $r_1 = 1$ – трафика метаданных для передачи в «облачные» антивирусные системы;
- $r_2 = \overline{2, J}$ – трафика реального времени, критичного к сетевым задержкам (телефония, видеоконференцсвязь, данные объективного контроля, и т.д.);
- $r_3 = \overline{J+1, R}$ – трафика данных, критичного к потерям и не критичного к сетевым задержкам, включая потоковый трафик (аудио-, видео по требованию и др.) и эластичный трафик (электронная почта, web-приложения и др.).

При этом самым высоким приоритетом пользуются метаданные для передачи в «облачные» ан-

тивирусные системы. В соответствии с этим в узлы коммутации информационно-телекоммуникационных систем, представляемые различными интеллектуальными устройствами (шлюзами, контроллерами шлюзов, коммутаторами, маршрутизаторами и др.) транспортной сети, от пользователей различных категорий и подсистем поступают потоки сообщений различных классов. Интенсивности поступления и обслуживания сообщений характеризуются параметрами $\lambda_c(r)$ и $\mu_c(r)$, $r = \overline{1, R}$ соответственно, скорость поступления (передачи) сообщений $v_{\text{прд}}(r)$. При этом поступающие в узлы коммутации сообщения преобразуются в пакетную форму и образуют R независимых потоков пакетов $\{a_1, \dots, a_r, \dots, a_R\}$ с интенсивностями $\{\lambda_1, \dots, \lambda_r, \dots, \lambda_R\}$.

Исследуемый интеллектуальный узел коммутации ИТС (рис. 2) состоит из $0 < V < \infty$ обслуживающих устройств, имеющих идентичные тактико-технические характеристики, определяющиеся возможностями производителей телекоммуникационного оборудования, и буфера памяти объёма $0 < K < \infty$.

В узле коммутации вводятся ограничения на ресурсы обслуживающих устройств $V_r \leq V$ и размер буфера памяти $K_r \leq K$ пакетами различных приоритетных классов. При этом для пакетов с приоритетом r_1 доступны все V обслуживающих устройств $V_r = V$ и выделена часть буфера $K_r \leq K$ из общего объёма буфера K , определяемая в соответствии с усовершенствованным алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам, описанным ниже.

Для пакетов приоритетов $r_2 = \overline{2, J}$ доступна часть $V_r \leq V$ обслуживающих устройств, неиспользуемая в данный момент времени пакетами метаданных приоритета r_1 , и определяемая усовершенствованным алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам, а также выделена часть буфера $K_r \leq K$ из общего объёма буфера K .

Для пакетов оставшихся приоритетов $r_3 = \overline{J+1, R}$ вводится ограничительный порог – доступна только часть общих обслуживающих устройств $V_r < V$ и выделена часть буфера $K_r < K$ из

общего объёма буфера K , так что $\sum_{r=1}^R K_r = K$. Внут-

ри каждого из приоритетных классов r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$ выделенный буфер используется совместно пакетами данных приоритетных классов.

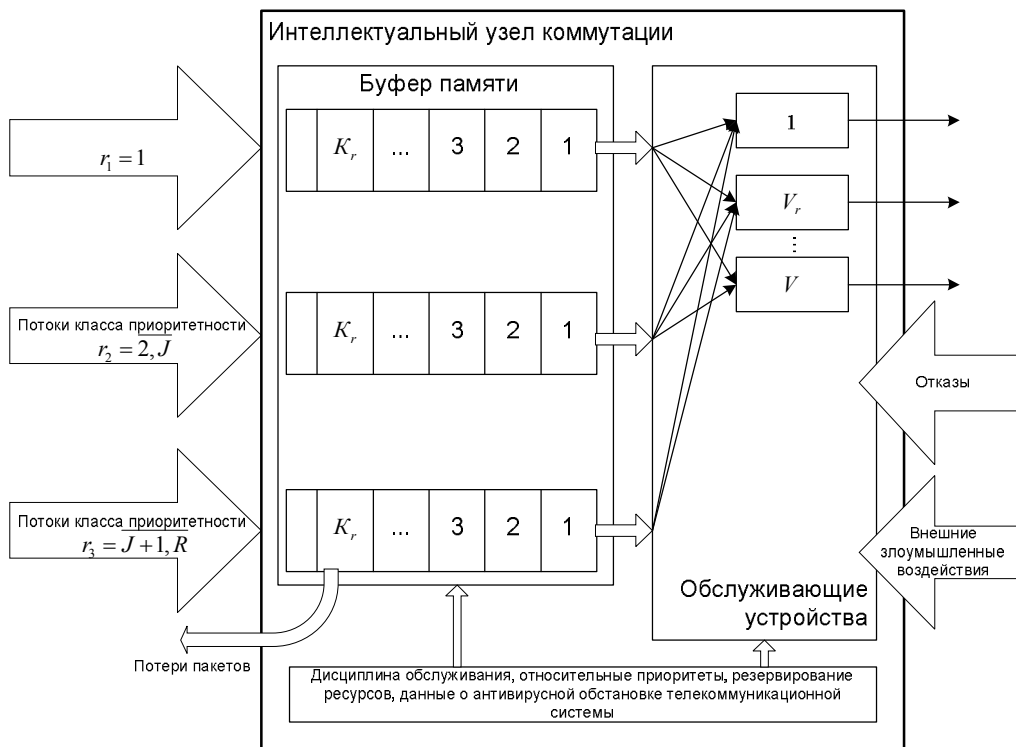


Рис. 2. Структура исследуемой модели интеллектуального узла коммутации ИТС с относительными приоритетами и резервированием ресурсов

Следует заметить, что при такой организации распределения ресурсов узлов коммутации вероятность потери P_{r_1} в буфере памяти информационных пакетов приоритета класса r_1 практически нулевая ($P_{r_1} = 0$). Аналогичная вероятность P_{r_2} потери информационных пакетов приоритета класса r_2 $P_{r_2} \approx 0$.

В исследуемом интеллектуальном узле коммутации ИТС обслуживание пакетов происходит в соответствии со следующей дисциплиной [1 – 6].

А. Если в момент поступления информационного пакета с приоритетом r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$ имеются свободные из доступных для данного приоритетного класса обслуживающих устройств, то он в соответствии с алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам поступает на обслуживание.

Б. В случае занятости всех доступных обслуживающих устройств (состояние интеллектуального узла коммутации $V_r \leq i \leq V_r + K_r$) организуются отдельные очереди для пакетов с приоритетами r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ и $r_3 = \overline{J+1, R}$ соответственно. При этом в каждой из них реализуется следующая дисциплина обслуживания: при постановке пакетов в очередь действуют абсолютные приоритеты, а при выборке пакетов на обслуживание – относительные приоритеты в соответствии с усовершенствованным алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам.

Применение абсолютных приоритетов при постановке в очередь уменьшает среднее время ожидания приоритетных пакетов из групп r_1 и $r_2 = \overline{2, J}$, что позволяет в конечном итоге повысить информационную безопасность ИТС (улучшить антивирусную защиту) и обеспечить заданные показатели качества (QoS) обслуживания данных. В результате в каждой очереди пакет λ -го приоритета принимается на обслуживание раньше пакета j -го приоритета, если $\lambda < j$. Кроме того, если в момент поступления пакета λ -го приоритета в очередях r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ или $r_3 = \overline{J+1, R}$ имелось K_r пакетов, то поступивший пакет обрабатывается следующим образом:

- или принимается в очередь при условии, что в ней имеются пакеты с более низким j -м приоритетом, при этом последний пакет с низшим приоритетом вытесняется из узла коммутации и в последующем не оказывает на него никакого влияния;
- или теряется при условии, что в очереди имеются только пакеты с более высоким и/или равным j -м приоритетом.

В. Пакеты r -го приоритета, находящиеся в очереди r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ или $r_3 = \overline{J+1, R}$, обслуживаются в соответствии с усовершенствованным алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам.

В целом представленная дисциплина обслуживания информационных пакетов в интеллектуаль-

ном узле коммутации реализует резервирование сетевых ресурсов на основе стратегии подвижной границы.

Выводы

Таким образом, разработана математическая модель интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета, которая включается в метод управления доступом в интеллектуальных узлах коммутации и усовершенствованный алгоритм управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам. Отличительной особенностью данной модели является комплексное использование стандартных критериев управления информационными потоками в интеллектуальных узлах коммутации с дополнительными, учитывающими возможность обслуживания информационных пакетов, метаданными при их передаче в «облачные» антивирусные системы. В дальнейшем необходимо провести исследования и анализ показателей качества функционирования интеллектуальных узлов коммутации. Для этого предлагается использовать модель многоканальной СМО $\bar{M}_r/M/V_r/K_r$.

Список литературы

1. Давыдов В.В. Сравнительный анализ моделей распространения компьютерных вирусов в автоматизированных системах управления технологическим процессом [Текст] / В.В. Давыдов // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 3(101), Том 2. – С. 147-151.
2. Семенов С.Г. Математическая модель распространения компьютерных вирусов в гетерогенных компьютерных сетях автоматизированных систем управления технологическим процессом [Текст] / С.Г. Семенов, В.В. Давыдов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Серія: Інформатика та моделювання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – Вып. 38. – С. 163-171.
3. Смирнов А.А. Математическая GERT-модель технологии передачи метаданных в облачные антивирусные системы / В.В. Босько, А.А. Смирнов, И.А. Березюк, Мохамад Абу Таам Гани // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 1(117). – С. 137-141.
4. Смирнов А.А. Структурно-логическая GERT-модель технологии распространения компьютерных вирусов / А.А. Смирнов, И.А. Березюк, Мохамад Абу Таам Гани // Системы управления, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2014. – Вып. 1(29). – С. 120-125.
5. Smirnov A.A. Experimental studies of the statistical properties of network traffic based on the BDS-statistics / A.A. Smirnov, D.A. Danilenko // International Journal of Computational Engineering Research (IJCER). – Volume 4, Issue 5. – India. Delhi. – 2014. – P. 41-51.
6. Смирнов А.А. Дисперсионный анализ сетевого трафика для обнаружения и предотвращения вторжений в телекоммуникационных системах и сетях / А.А. Кузнецов, А.А. Смирнов, Д.А. Даниленко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 2(118). – С. 124-133.
7. Matrosov A., Rodionov E., Harley D. "Stuxnet under microscope". [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://go.eset.com/us/resources/white-papers/Stuxnet_Under_the_Microscope.pdf.
8. S. Cobb «Stuxnet, Flamer, Flame, Whatever Name: There's just no good malware». [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://blog.eset.com/2012/06/03/stuxnet-flamer-flame-whatever-name-there-is-no-good-malware>.
9. Zesheng Chen, Lixin Gao, Kevin Kwiat. Modeling the spread of active worms. INFOCOM 2003. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.ieee-infocom.org/2003/papers/46_03.PDF.
10. Rohloff K., Basar T. Stochastic Behavior of Random Constant Scanning Worms [Text] / K. Rohloff, T. Basar // Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. Proceedings. 14th International Conference on 17-19 Oct. 2005, pp. 339-344.
11. M.M. Williamson, J. Leveille Epidemiological model of virus spread and cleanup. HPL-2003-39. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2003/HPL-2003-39.pdf>.

Поступила в редколлегию 10.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВУЗЛА КОМУТАЦІЇ З ОБСЛУГОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПАКЕТІВ РІЗНОГО ПРІОРИТЕТУ

Мохамад Абу Таам Гані, О.А. Смірнов, М.С. Якименко, С.А. Смірнов

Розроблено математичну модель інтелектуального вузла комутації з обслуговуванням інформаційних пакетів різного пріоритету, яка включається в метод управління доступом в інтелектуальних вузлах комутації та вдосконалений алгоритм управління доступом до «хмарних» телекомунікаційних ресурсів. Відмінною особливістю даної моделі є комплексне використання стандартних критеріїв управління інформаційними потоками в інтелектуальних вузлах комутації з додатковими, враховують можливість обслуговування інформаційних пакетів, метаданими при їх передачі в «хмарні» антивірусні системи.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційні мережі, хмарні антивіруси, WFQ, CBWFQ

MATHEMATICAL MODEL OF INTELLIGENT SWITCHING NODE SERVICING INFORMATION PACKETS DIFFERENT PRIORITIES

Mohamad Abou Taam, A.A. Smirnov, M.S. Yakimenko, S.A. Smirnov

The mathematical model of intelligent switching node with service information packets of different priorities, which include a method of access control in intelligent switching nodes and advanced algorithm to control access to the "cloud" telecommunication resources. A distinctive feature of this model is the integrated use of standard criteria for information management in intelligent switching nodes with additional information to consider the possibility of service packages, metadata on transfer in the "cloud" anti-virus system.

Keywords: information and communication networks, cloud antivirus, WFQ, CBWFQ.