

УДК 004.49.5

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

Кировоградський національний технічний університет, Кировоград

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УЗЛОВ КОММУТАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

На основе GERT-сети разработана математическая модель интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета, отличающаяся от известных учетом максимальной приоритезации информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» анти-вирусные системы. Это позволило определить эквивалентную W -функцию, функцию распределения и плотность распределения времени обслуживания информационных пакетов метаданных в интеллектуальных узлах коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы. В результате проведенных исследований отмечено, что максимум плотности распределения времени обработки информационных пакетов метаданных в интеллектуальных узлах коммутации приходится на малый промежуток от 1 до 2 мс.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационные сети, облачные антивирусы, GERT-модель.

Постановка проблемы исследования

Современное развитие телекоммуникационных систем и сетей, а также информационно-телекоммуникационных сетей (ИТС) и применяемых компьютерных технологий привело к появлению качественно новых услуг и сервисов в информационной сфере, внедрению передовых технологий обработки и передачи данных и их доступности широкой пользовательской аудитории [1 – 11]. В тоже время интенсивное развитие современных компьютерных технологий привело к появлению новых угроз безопасности информации, возникновению новых форм и способов несанкционированного доступа к вычислительным ресурсам ИТС [1 – 11].

Одной из актуальных угроз в информационно-телекоммуникационных сетях, является распространение компьютерных вирусов. Одним из путей противодействия компьютерным вирусам является использование облачных антивирусов как в телекоммуникационных системах и сетях, так и в информационно-телекоммуникационных сетях. Для этого предлагается подход с использованием интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета

Таким образом, актуальной научной задачей является исследования и анализ показателей качества функционирования ИТС, на основе модели многоканальной СМО $\bar{M}_r/M/V_r/K_r$ а также разработанной GERT-модели интеллектуального узла коммутации. При этом необходимо определить эквивалентную W -функцию, функцию распределения и плотность распределения времени обслуживания информационных пакетов метаданных в интеллектуальных узлах коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы.

Исследования показателей качества функционирования интеллектуальных узлов коммутации

Для исследования показателей качества функционирования интеллектуальных узлов коммутации типа $\bar{M}_r/M/V_r/K_r$ воспользуемся методикой структурно-логического GERT-моделирования. Рассмотрим её отличительные особенности.

В соответствии с моделью технологии функционирования интеллектуального узла коммутации ИТС с относительными приоритетами и резервированием ресурсов [1 – 6] изменение состояний данного узла представим GERT-сетью (рис. 1). Каждая ветвь r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$ данной сети условно описывает отдельную многопоточную систему обслуживания с выделенными (V_r, K_r) и совместно используемыми (V_R) ресурсами. Эта модель может быть описана следующим образом.

Узел 1 отражает состояние системы в первоначальный момент получения информационных пакетов (ИП) любого из возможных классов приоритетов r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$. Узел 2 фиксирует состояние системы, при которой поступившие ИП обрабатываются в соответствии с алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам в режиме совместно используемых (V_R) ресурсов. Узел 3 интерпретирует состояние системы в момент, когда на интеллектуальный узел коммутации поступает пакет r_1 класса приоритетности, и при этом в соответствии с алгоритмом управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам существует необходимость фиксации и выделения отдельных вычислительных ресурсов.

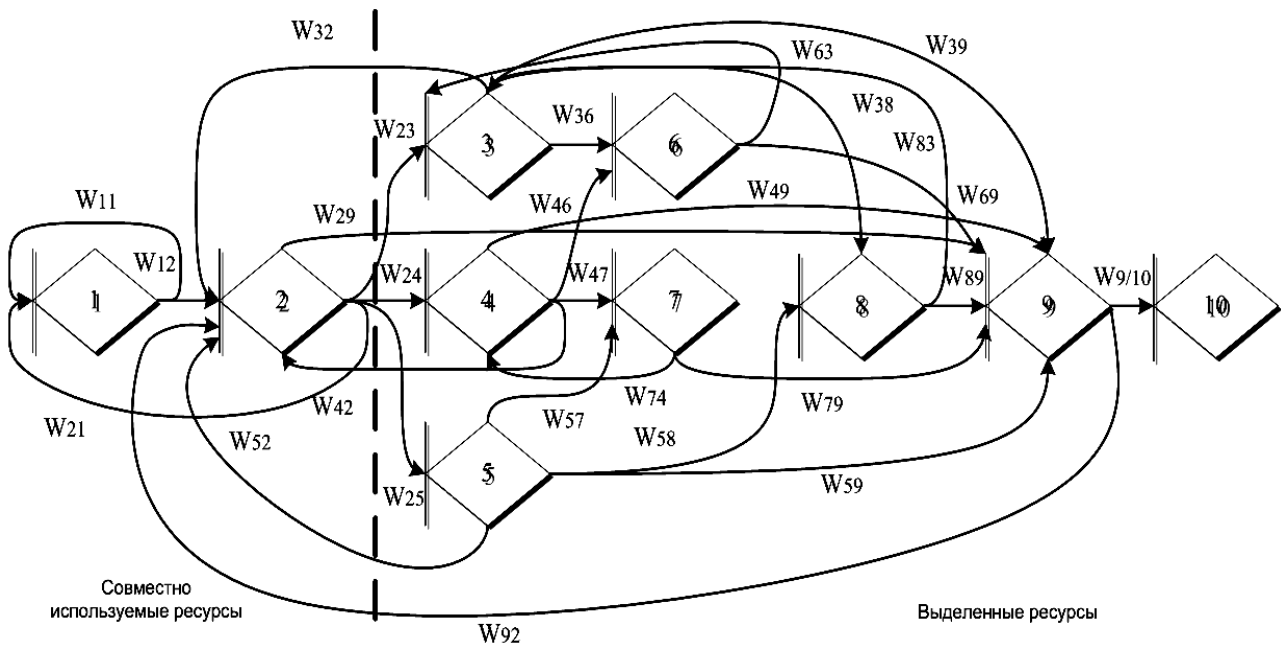


Рис. 1. Структурно-логическая GERT-модель технологии функционирования интеллектуального узла коммутации ИТС с относительными приоритетами и резервированием ресурсов

Узлы 4 и 5 описывают состояние системы в момент, когда на интеллектуальный узел коммутации поступают пакеты $r_2 = \overline{2, J}$ и $r_3 = \overline{J+1, R}$ класса приоритетности соответственно и, аналогично узлу 3, существует необходимость фиксации и выделения отдельных вычислительных ресурсов. Узел 6 отражает состояние исследуемого объекта, когда в интеллектуальном узле коммутации обрабатываются одновременно информационные пакеты r_1 и $r_2 = \overline{2, J}$ классов приоритетности. Аналогично, узлы 7 и 8 фиксируют моменты обработки интеллектуальным узлом коммутации информационных пакетов $r_2 = \overline{2, J}$, $r_3 = \overline{J+1, R}$ и r_1 , $r_3 = \overline{J+1, R}$ классов приоритетности соответственно. Узел 9 описывает состояние системы в момент, когда интеллектуальный узел имеет возможность обеспечивать выделенные ресурсы для поступивших информационных пакетов всех классов приоритетности. Узел 10 отражает момент состояния системы, когда для обработки поступивших информационных пакетов задействованы все $(V_r + K_r)$ коммуникационные ресурсы.

Ветви (1, 2), (2, 3), (2, 4), (2, 5), ..., (9, 10) и соответствующие им W-функции (W_{12} , W_{23} , W_{24} , W_{25} , ..., $W_{9/10}$) описывают параметры (время обработки информационных пакетов r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ и $r_3 = \overline{J+1, R}$ классов приоритетности, джиттер задержки обработки информационных пакетов r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ и $r_3 = \overline{J+1, R}$ классов приоритетности, время восстановления отдельных элементов узла коммутации в случае их выхода из строя и др.) характе-

ризующие переходы интеллектуальных узлов коммутации из одного состояния в другое в процессе его функционирования в описанных выше режимах (например, ветвь W_{12} отражает время обработки поступивших информационных пакетов r_1 , $r_2 = \overline{2, J}$ и $r_3 = \overline{J+1, R}$ классов приоритетности в V_{r-1} обслуживающих устройствах, и т.д.).

Следует заметить, что представленная на рис. структурно-логическая GERT-модель учитывает факторы внешних воздействий (соответственного возможной потери информационных пакетов) и реальной надежности (возможных отказов оборудования) путем введения ветвей обратных связей с соответствующими им характеристиками (например W_{42} , W_{52} , W_{74} , и т.д.).

Представленная на рис. 1. структурно-логическая GERT-модель, а также анализ ряда работ [5, 7, 8], посвященных исследованию процессов превентивного и конечного управления информационных потоков в интеллектуальном коммутационном оборудовании позволили сформировать характеристики ветвей и параметры распределения в виде, представленном в табл. 1.

Проведенные исследования позволили выявить ряд закономерностей в процессе функционирования интеллектуальных узлов коммутации ИТС, связанных с практически идентичностью показателей и соответственно производящих функций моментов на отдельных этапах и в ряде режимов функционирования. Это в конечном итоге вылилось в уменьшение производящих функций моментов (табл. 1). Так ветви (1, 1) и (2, 1) характеризуются произво-

дащей функцией моментов $\lambda_1 / (\lambda_1 - s)$, ветви (2,9), (3,6), (3,9), (5,7), (5,8) и (5,9) производящей функцией моментов $\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$, ветви (3,2), (4,2), (5,2) и (9,2) производящей функцией моментов $\lambda_7 / (\lambda_7 - s)$, а ветви (6,3), (7,4) и (8,3) производящей функцией моментов $\lambda_{12} / (\lambda_{12} - s)$.

Таблица 1

Характеристики ветвей GERT-модели технологии функционирования интеллектуального узла коммутации ИТС

№ п/п	Ветвь	W-функция	Вероятность	Производящая функция моментов
1	2	3	4	5
1.	(1,1)	W_{11}	$1-p_1$	$\lambda_1 / (\lambda_1 - s)$
2.	(1,2)	W_{12}	p_1	$\lambda_2 / (\lambda_2 - s)$
3.	(2,1)	W_{21}	$1-p_2-p_3-p_4-p_5$	$\lambda_1 / (\lambda_1 - s)$
4.	(2,3)	W_{23}	p_2	$\lambda_3 / (\lambda_3 - s)$
5.	(2,4)	W_{24}	p_3	$\lambda_4 / (\lambda_4 - s)$
6.	(2,5)	W_{25}	p_4	$\lambda_5 / (\lambda_5 - s)$
7.	(2,9)	W_{29}	p_5	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
8.	(3,2)	W_{32}	$1-p_6-p_7-p_8$	$\lambda_7 / (\lambda_7 - s)$
9.	(3,6)	W_{36}	p_6	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
10.	(3,8)	W_{38}	p_7	$\lambda_8 / (\lambda_8 - s)$
11.	(3,9)	W_{39}	p_8	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
12.	(4,2)	W_{42}	$1-p_9-p_{10}-p_{11}$	$\lambda_7 / (\lambda_7 - s)$
13.	(4,6)	W_{46}	p_9	$\lambda_9 / (\lambda_9 - s)$
14.	(4,7)	W_{47}	p_{10}	$\lambda_{10} / (\lambda_{10} - s)$
15.	(4,9)	W_{49}	p_{11}	$\lambda_{11} / (\lambda_{11} - s)$
16.	(5,2)	W_{52}	$1-p_{12}-p_{13}-p_{14}$	$\lambda_7 / (\lambda_7 - s)$
17.	(5,7)	W_{57}	p_{12}	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
18.	(5,8)	W_{58}	p_{13}	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
19.	(5,9)	W_{59}	p_{14}	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$
20.	(6,3)	W_{63}	$1-p_{15}$	$\lambda_{12} / (\lambda_{12} - s)$
21.	(6,9)	W_{69}	p_{15}	$\lambda_{13} / (\lambda_{13} - s)$
22.	(7,4)	W_{74}	$1-p_{16}$	$\lambda_{12} / (\lambda_{12} - s)$
23.	(7,9)	W_{79}	p_{16}	$\lambda_{14} / (\lambda_{14} - s)$
24.	(8,3)	W_{83}	$1-p_{17}$	$\lambda_{12} / (\lambda_{12} - s)$
25.	(8,9)	W_{89}	p_{17}	$\lambda_{15} / (\lambda_{15} - s)$
26.	(9,2)	W_{92}	$1-p_{18}$	$\lambda_7 / (\lambda_7 - s)$
27.	(9,10)	$W_{9/10}$	p_{18}	$\lambda_{16} / (\lambda_{16} - s)$

В соответствии с характеристиками ветвей GERT-сети определим эквивалентную W-функцию времени обработки информационного пакета в интеллектуальном узле коммутации как:

$$W_E(s) = \frac{W_{12} W_{9,10}}{1 - W_{11} - W_{12}} \times$$

$$= \frac{\left[\begin{aligned} &W_{29} + W_{23} (W_{36} W_{69} + W_{38} W_{89} + W_{39}) + \\ &+ W_{24} (W_{47} W_{79} + W_{46} W_{69}) + \\ &+ W_{25} (W_{59} + W_{57} W_{79} + W_{58} W_{89}) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &W_{21} - W_{23} \times \\ &\times \left(\begin{aligned} &W_{32} - W_{36} W_{63} - W_{38} W_{83} - \\ &- W_{92} (W_{36} W_{69} - W_{38} W_{89} - W_{39}) \end{aligned} \right) - \\ &- W_{24} \left(\begin{aligned} &W_{42} - W_{47} (W_{74} - W_{79} W_{92}) - \\ &- W_{46} (W_{63} - W_{69} W_{92}) - W_{49} W_{92} \end{aligned} \right) - \\ &- W_{25} \left(\begin{aligned} &W_{52} - W_{58} (W_{83} - W_{89} W_{92}) - \\ &- W_{57} (W_{74} - W_{79} W_{92}) - W_{59} W_{92} \end{aligned} \right) - \\ &- W_{29} W_{92} \end{aligned} \right]}$$

Таким образом, разработанная математическая GERT-модель отличается от известных учетом таких факторов:

- использования «облачных» антивирусных ресурсов в случае возможных злоумышленных вирусных вторжений, что характеризуется ветвями (2, 3, 6, 9), (2, 3, 8, 9), (2, 4, 6, 9), (2, 5, 8, 9);
- выхода из строя отдельных элементов интеллектуального узла коммутации (фактора реальной надежности технического изделия), что характеризуется ветвями (3, 2), (4, 2), (5, 2), (9, 2).

Анализ данных, представленных в табл. 1, показал многоуровневость и высокую структурную сложность разрабатываемой GERT-модели.

Особенно остро данная проблема фиксируется на участках, сформированных узлами 2-3-4-5-5-6-7-8-9 (ветвей (2, 3, 6, 9), (2, 3, 8, 9), (2, 4, 7, 9), (2, 5, 8, 9)). Поэтому в дальнейшем в работе, используя метод декомпозиции, исследуем наиболее важные параметры, характерные режимам работы интеллектуальных узлов коммутации ИТС в условиях злоумышленных воздействий компьютерных вирусов.

Фактор внешних злоумышленных воздействий особенно четко зафиксирован в той части GERT-сети, которая характеризуется узлами (1, 2, 3, 6, 8, 9, 10).

Именной поэтому преобразуем общую GERT-модель технологии функционирования интеллектуального узла коммутации ИТС (рис. 1) в упрощенную GERT-сеть узла коммутации в режиме обработки метаданных для «облачных» антивирусных систем (рис. 2) (в скобках номера узлов из рис. 1). В соответствии с характеристиками ветвей GERT-сети (табл. 1.), а также с учетом того, что функции

$$W_{36}^* = \frac{p_6 \lambda_6}{\lambda_6 - s} + \frac{p_9 \lambda_9}{\lambda_9 - s} \quad \text{и} \quad W_{38}^* = \frac{p_7 \lambda_8}{\lambda_8 - s} + \frac{p_{13} \lambda_6}{\lambda_6 - s}$$

вычислялись в соответствии с методикой эквивалентных упрощающих преобразований, определим эквивалентную W-функцию времени обработки информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы как:

$$W_E(s) = \frac{W_{36}W_{69} + W_{38}W_{89} + W_{39}}{1 - W_{36}W_{63} - W_{38}W_{83}} =$$

$$\left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13}(\lambda_8 - s)(\lambda_9 - s)(\lambda_{15} - s) + \\ &+ P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13}(\lambda_6 - s)(\lambda_8 - s)(\lambda_{15} - s) + \\ &P_8\lambda_6(\lambda_8 - s)(\lambda_9 - s)(\lambda_{13} - s)(\lambda_{15} - s) + \\ &+ P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15}(\lambda_6 - s)(\lambda_9 - s)(\lambda_{13} - s) + \\ &+ P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15}(\lambda_8 - s)(\lambda_9 - s)(\lambda_{13} - s) \end{aligned} \right] \times$$

$$\frac{(\lambda_{12} - s)}{(\lambda_9 - s)(\lambda_{13} - s)(\lambda_{15} - s) \times$$

$$\left(\begin{aligned} &(\lambda_6 - s)(\lambda_{12} - s)(\lambda_8 - s) - \\ &- P_6Q_1\lambda_6\lambda_{12}(\lambda_8 - s) - P_7Q_2\lambda_8\lambda_{12}(\lambda_6 - s) \end{aligned} \right)$$

где $q_1 = 1 - p_{15}$, $q_2 = 1 - p_{17}$.

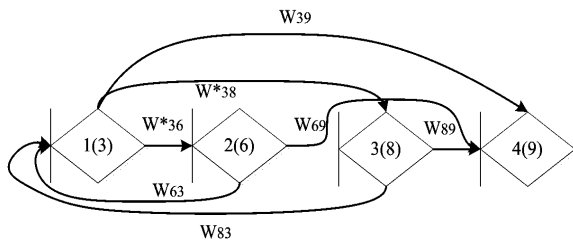


Рис. 2. Упрощенная GERT-сеть интеллектуального узла коммутации ИТС в режиме обработки метаданных для «облачных» антивирусных систем

Исходя из того, что в сложных GERT-сетях с возможными циклами отсутствуют простые методы нахождения особых точек функции $\Phi_E(z)$ замены действительных переменных ($z = -i\varsigma$), где ς – действительная переменная, выполняя комплексное преобразование, в ходе моделирования получим:

$$\Phi(z) = \frac{lz^5 + \rho z^4 + uz^3 + kz^2 + wz + h}{(\lambda_9 + z)(\lambda_{13} + z)(\lambda_{15} + z)(z^3 + vz^2 + rz + c)}, \quad (1)$$

где

$$\lambda = p_8\lambda_6,$$

$$\rho = \left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13} + P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13} + \\ &+ P_8\lambda_6(\lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{13} + \lambda_{15}) + \\ &+ P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15} + P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15} \end{aligned} \right],$$

$$u = \left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13}(\lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{12} + \lambda_{15}) + \\ &+ P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13}(\lambda_6 + \lambda_8 + \lambda_{12} + \lambda_{15}) + \\ &+ P_8\lambda_6 \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_{12} + \lambda_9\lambda_{12} + \lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_9 + \lambda_8\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_9\lambda_{13} + \lambda_8\lambda_{15} + \lambda_9\lambda_{15} + \lambda_{13}\lambda_{15} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15}(\lambda_6 + \lambda_9 + \lambda_{12} + \lambda_{13}) + \\ &+ P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15}(\lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{12} + \lambda_{13}) \end{aligned} \right] +,$$

$$v = \lambda_8 + \lambda_6\lambda_{12} + \lambda_6 + \lambda_{12},$$

$$r = \lambda_6\lambda_8 + \lambda_8\lambda_{12} - \lambda_6\lambda_{12} - P_7Q_2\lambda_8\lambda_{12},$$

$$c = \lambda_6\lambda_8\lambda_{12} - P_6Q_1\lambda_6\lambda_{12} - P_7Q_2\lambda_6\lambda_8\lambda_{12}.$$

k =

$$\left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13} \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_9 + \lambda_8\lambda_{12} + \lambda_9\lambda_{12} + \\ &+ \lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{15} + \lambda_9\lambda_{15} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13} \left(\begin{aligned} &\lambda_6\lambda_{12} + \lambda_8\lambda_{12} + \lambda_{12}\lambda_{15} + \\ &+ \lambda_6\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{15} + \lambda_6\lambda_8 \end{aligned} \right) + P_8\lambda_6 \times \\ &\times \left(\begin{aligned} &\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{15} + \\ &+ \lambda_8\lambda_{12}\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{12} + \\ &+ \lambda_8\lambda_{13}\lambda_{15} + \lambda_9\lambda_{13}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{13} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15} \left(\begin{aligned} &\lambda_6\lambda_{12} + \lambda_9\lambda_{12} + \lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_6\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{13} + \lambda_6\lambda_9 \end{aligned} \right) + \\ &+ P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15} \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_{12} + \lambda_9\lambda_{12} + \lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_8\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{13} + \lambda_8\lambda_9 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] +,$$

w =

$$\left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13} \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_9\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{12}\lambda_{15} + \\ &+ \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{12} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13} \left(\begin{aligned} &\lambda_6\lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{12}\lambda_{15} + \\ &+ \lambda_6\lambda_8\lambda_{15} + \lambda_6\lambda_8\lambda_{12} \end{aligned} \right) + P_8\lambda_6 \times \\ &\times \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_9\lambda_{13}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{15} + \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{15} + \\ &+ \lambda_8\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{15} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15} \left(\begin{aligned} &\lambda_6\lambda_{12}\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_6\lambda_9\lambda_{12} + \lambda_6\lambda_9\lambda_{13} \end{aligned} \right) + \\ &+ P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15} \left(\begin{aligned} &\lambda_8\lambda_{12}\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ \lambda_8\lambda_9\lambda_{12} + \lambda_8\lambda_9\lambda_{13} \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] +,$$

h =

$$\left[\begin{aligned} &P_6P_{15}\lambda_6\lambda_{13}\lambda_8\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{15} + P_9P_{15}\lambda_9\lambda_{13}\lambda_6\lambda_8\lambda_{12}\lambda_{15} + \\ &+ P_8\lambda_6\lambda_8\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{15} + P_7P_{17}\lambda_8\lambda_{15}\lambda_6\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} + \\ &+ P_{13}P_{17}\lambda_6\lambda_{15}\lambda_8\lambda_9\lambda_{12}\lambda_{13} \end{aligned} \right],$$

Плотность распределения вероятностей времени обработки информационных пакетов метаданных:

$$\phi(x) = \frac{1}{2\pi i} \times \int_{-i\infty}^{i\infty} e^{zx} \frac{lz^5 + \rho z^4 + uz^3 + kz^2 + wz + h}{\left((\lambda_9 + z)(\lambda_{13} + z)(\lambda_{15} + z) \times (z^3 + vz^2 + rz + c) \right)} dz, \quad (2)$$

где интегрирование выполняется по контуру Бромвича.

Способ интегрирования зависит от того, имеет ли функция $\Phi(z)$, только простые полюсы, или полюсы некоторого порядка. В том случае, когда функция $\Phi(z)$ имеет только простые полюсы, выражение $e^{zx}\Phi(z)$ можно представить в виде:

$$e^{zx}\Phi(z) = \frac{e^{zx}(lz^5 + \rho z^4 + uz^3 + kz^2 + wz + h)}{z^6 + z^5g_5 + z^4g_4 + z^3g_3 + z^2g_2 + zg_1 + g_0}, \quad (3)$$

где:

$$\begin{aligned} g_5 &= v + y_1, \\ g_4 &= r + v(y_1 + y_2), \\ g_3 &= c + ry_1 + vy_2 + y_3, \\ g_2 &= c(y_1 + ry_2 + vy_3), \\ g_1 &= cy_2 + ry_3, \\ g_0 &= cy_3, \\ y_1 &= \lambda_9 + \lambda_{13} + \lambda_{15}, \\ y_2 &= \lambda_9\lambda_{13} + \lambda_9\lambda_{15} + \lambda_{13}\lambda_{15}, \\ y_3 &= \lambda_9\lambda_{13}\lambda_{15}. \end{aligned}$$

Тогда плотность распределения времени передачи файла:

$$\begin{aligned} \Phi(z) &= \sum_{k=1}^6 \operatorname{Res}_{z=z_k} [e^{zx}\Phi(z)] = \\ &= \sum_{k=1}^6 \frac{e^{z_k x} (lz_k^5 + \rho z_k^4 + uz_k^3 + kz_k^2 + wz_k + h)}{6z_k^5 + 5z_k^4g_5 + 4z_k^3g_4 + 3z_k^2g_3 + 2z_k g_2 + g_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Функция $\Phi(z)$ кроме простых полюсов, определяемых корнями уравнения $z^3 + vz^2 + rz + c = 0$, может иметь и полюсы второго или третьего порядка. Это возможно в тех случаях, когда значения λ_9 , λ_{13} и λ_{15} или совпадают между собой, или равны значениям корней z_4, z_5, z_6 .

В этих случаях плотность распределения времени обработки информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы $\phi_b(x)$ находится по формуле нахождения вычетов t_{-1} от полюсов z_k порядка n :

$$t_{-1} = \frac{1}{(n-1)!} \lim_{z \rightarrow z_k} \frac{d^{n-1} [(z - z_k)^n e^{zx} \Phi(z)]}{dz^{n-1}}.$$

Выражение (1) представляет собой дробно-рациональную функцию относительно z со степенью знаменателя большей, чем степень числителя, поэтому для него выполняются условия леммы Жордана. Функция $\Phi(z)$ имеет полюсы в точках $z_1 = -\lambda_9, z_2 = -\lambda_{13}, z_3 = -\lambda_{15}$. Многочлен $z^3 + vz^2 + rz + c$ формирует еще три полюса.

Решение уравнения

$$z^3 + vz^2 + rz + c = 0 \quad (5)$$

может быть найдено любым численным методом. В итоге получим еще три особые точки (z_4, z_5, z_6).

Используя специализированный математический пакет Mathcad, определим простые полюсы z функции $\Phi(z)$ и найдем плотность распределения вероятностей $\phi(x)$ времени обработки информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы. При этом в качестве начальных данных определим следующие параметры ветвей GERT-сети:

$$\begin{aligned} p_6 &= 0,9995, & p_7 &= 0,9995, \\ p_8 &= 0,9, & p_9 &= 0,9995, \\ p_{13} &= 0,9995, & p_{15} &= 0,9, \\ p_{17} &= 0,9; & \lambda_6 &= \{0,47, 0,57, \dots, 0,97\}, \\ \lambda_8 &= 0,37, & \lambda_{12} &= 0,6, \\ \lambda_{13} &= 0,6, & \lambda_{15} &= 0,87. \end{aligned}$$

На рис. 3 и 4 представлены графики кривых функции распределения $\Phi(x)$ и плотности распределения $\phi(x)$ вероятностей времени обработки информационных пакетов метаданных в интеллектуальном узле коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы для приведенных выше условий. Внешний вид кривых графиков рис. 3 и 4 дает основания предположить, что случайная величина времени обработки информационных пакетов метаданных в интеллектуальном узле коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы имеет гамма-распределение.

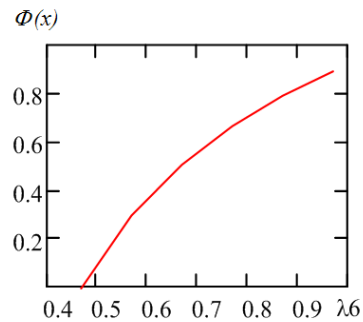


Рис. 3. График функции распределения $\Phi(x)$

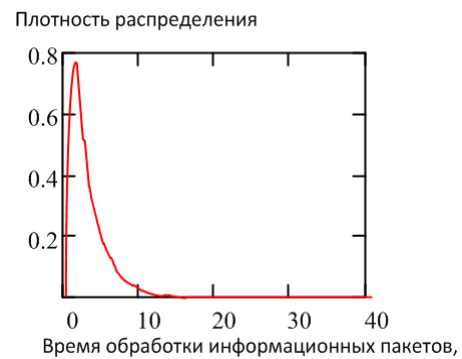


Рис. 4. Плотность распределения времени обработки информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы

Кроме того, как видно из рис. 3, максимальное значение произвольной функции распределения $\Phi(x)$ для заданных условий достигает единицы. При этом рис. 6 фиксирует, что максимум плотности распределения времени обработки информационных пакетов метаданных приходится на малый промежуток от 1 до 2 мс.

Таким образом, на основе GERT-сети разработана математическая модель интеллектуального уз-

ла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета, которая отличается от известных учетом максимальной приоритезации информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы.

Выводы

Таким образом, на основе GERT-сети разработана математическая модель интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета, отличающаяся от известных учетом максимальной приоритезации информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы. Это позволило определить эквивалентную W -функцию, функцию распределения и плотность распределения времени обслуживания информационных пакетов метаданных в интеллектуальных узлах коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы. В результате проведенных исследований отмечено, что максимум плотности распределения времени обработки информационных пакетов метаданных в интеллектуальных узлах коммутации приходится на малый промежуток от 1 до 2 мс.

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), т. 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». Збірник Серія: Інформатика та моделювання. – . НТУ «ХПІ», 2012. – Вып. 38. – С. 163-171.
3. 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. – Вып. 1(117). – Х.: ХУПС, 2014. – 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 управління, навігації та зв'язку. – Вып. 1(29). – П.: ПНТУ, 2014. – 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 // Int. Journal of Comp. Eng. Research. – Vol. 4, Is. 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. – Вып. 2(118). – Х.: ХУПС, 2014. – С. 124-133.
7. Matrosov A. Stuxnet under microscope [Electronic resource] / A. Matrosov, E. Rodionov, D. Harley. – Attached to: http://go.eset.com/us/resources/white-papers/Stuxnet_Under_the_Microscope.pdf.
8. Cobb S. Stuxnet, Flamer, Flame, Whatever Name: There's just no good malware [Electronic resource] / S. Cobb. – Attached to: <http://blog.eset.com/2012/06/03/stuxnet-flamer-flame-whatever-name-there-is-no-good-malware>.
9. Zesheng Chen. Modeling the spread of active worms [Electronic resource] / Zesheng Chen, Lixin Gao, Kevin Kwiat. – INFOCOM 2003. – Attached to: http://www.ieee-infocom.org/2003/papers/46_03.PDF.
10. Rohloff K. Stochastic Behavior of Random Constant Scanning Worms [Text] / K. Rohloff, T. Basar // Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. Proc. 14th Int. Conf. on 17-19 Oct. 2005. – P. 339-344.
11. Williamson M.M. Epidemiological model of virus spread and cleanup [Electronic resource] / M.M. Williamson, J. Leveille HPL-2003-39. Attached to: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2003/HPL-2003-39.pdf>.

Поступила в редколлегию 4.09.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. А.А. Можаяев, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВУЗЛІВ КОМУТАЦІЇ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ І МЕРЕЖАХ

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

На основі GERT-мережі розроблено математичну модель інтелектуального вузла комутації з обслуговуванням інформаційних пакетів різного пріоритету, що відрізняється від відомих урахуванням максимальної приоритезації інформаційних пакетів метаданих при їх передачі в «хмарні» антивирусні системи. Це дозволило визначити еквівалентну W -функцію, функцію розподілу і щільність розподілу часу обслуговування інформаційних пакетів метаданих в інтелектуальних вузлах комутації при їх передачі в «хмарні» антивирусні системи. У результаті проведених досліджень відзначено, що максимум щільності розподілу часу обробки інформаційних пакетів метаданих в інтелектуальних вузлах комутації припадає на малий проміжок від 1 до 2 мс.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційні мережі, хмарні антивируси, GERT-модель.

RESEARCH INDICATORS PERFORMANCE OF THE INTELLIGENT SWITCHING NODES IN THE TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS

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

Based on GERT-network developed a mathematical model of intelligent switching node with service information packets different priorities, different from the known into account the maximum prioritizing data packets during transmission of metadata in the "cloud" anti-virus system. It is possible to determine the equivalent W -function, distribution function and the density of the service time distribution of information packages metadata in intelligent switching nodes when they are transferred to the "cloud" anti-virus system. These studies indicated that the maximum distribution density of the processing time information in metadata packets intelligent switching nodes accounts for a small interval of 1 to 2 ms.

Keywords: information and communication networks, cloud antivirus, GERT-model.