5. Polschikov K.A. Metod neyro-nechetkogo upravleniya intensivnostyu povtornyh peredach v telekommunikacionnoy seti [Method of neuro-fuzzy control of the repeated transmissions intensity in telecommunication network]. *Informacionnye tehnologii i telekommunikacii,* 2013, no. 2, pp. 32-41.
6. Polshchykov K.O. Synthesis of neuro-fuzzy systems of data flows intensity control in mobile ad-hoc network. *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 23rd International Crimean Conference,* 2013, pp. 517-518.
7. Polschikov K.A. Metod neyro-nechetkogo upravleniya intensivnostyu otpravki dannyh uzlami-istochnikami v mobilnoy radioseti specialnogo naznacheniya [Method of neuro-fuzzy control of the intensity of sending data source nodes in a mobile radio network for special purposes]. *Nauka i tehnika povitryanih sil Zbroynih Sil Ukraïni.* 2012, no. 3, pp. 118-122.
8. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in Matlab and fuzzyTECH]. St. Peterburg, BHV-Peterburg Publ., 2003. 736 p.
9. Uskov A.A., Kuzmin A.V. *Intellektualnye tehnologii upravleniya. Iskusstvennye neyronnye seti i nechetkaya logika* [Intelligent control technologies. Artificial neural networks and fuzzy logic]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2004. 143 p.
10. Polschikov K.A. Obobschennye modeli neyro-nechetkih sistem upravleniya intensivnostyu potokov dannyh v mobilnoy radioseti [Generalized model of neuro-fuzzy systems of the intensity control of the data streams in a mobile radio network]. *Science and Education a New Dimension*, 2013, vol. 8, pp. 133-137.
11. Polschikov K.A., Zdorenko Yu.N. Usovershenstvovannyy metod neyro-nechetkogo upravleniya otbrasyvaniem paketov v tranzitnyh marshrutizatorah telekommunikacionnoy seti [Improved method for neuro-fuzzy dropping packets control in transit routers of telecommunications network]. *Problemy telekommunikaciy*, 2014, no. 2, pp. 76-90.
12. Polschikov K.A., Kubrakova E.N., Krasnobaev V.A. Model neyro-nechetkogo prognozirovaniya sredney intensivnosti postupleniya zaprosov na peredachu potokov realnogo vremeni po kanalu telekommunikacionnoy seti [Model of neuro-fuzzy prediction of medium intensity receipt of requests for streaming real-time via telecommunications networks]. *Sistemi obrobki informacii*. 2014, no. 2, pp. 193-197.
13. Polschikov K.A., Zdorenko Yu.N., Sokol G.V. Metodika neyro-nechetkogo prognozirovaniya poter paketov pri peregruzke kompyuternoy seti [Method of unclear neuron prognostication of packet losses at the computer network overload]. *Nauchnyy vestnik DGMA - Scientific Herald of the DSEA,* 2011, no. 2, pp. 77-86.
14. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1985, vol. 15, no. 1, pp. 116-132.
15. Rumelhart D. E., Hinton G. E., Williams R. J. Learning Internal Representations by Error Propagation. *Parallel Distributed Processing*, Cambridge, MIT Press, 1986, vol. 1, pp. 318-362.
16. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. *Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2006. 452 p.

Received 12.03.2015

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДЕРЖКИ В СИСТЕМЕ G/G/1

Тарасов В.Н., Карташевский И.В., Липилина Л.В.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: vt@ist.psati.ru

В статье представлены результаты исследования задержки для системы массового обслуживания (СМО) H2/H2/1 типа G/G/1 для широкого диапазона изменения параметров трафика. Известно, что распределенная по гиперэкспоненциальному закону H2 случайная величина имеет коэффициент вариации больше единицы. Поэтому гиперэкспоненциальный закон распределения может быть использован для аппроксимации распределения с тяжелыми хвостами. Учитывая тот факт, что распределение H2 является трехпараметрическим, в статье приведен механизм аппроксимации произвольных законов распределений с тяжелым хвостом гиперэкспоненциальным распределением. Это может быть выполнено как на уровне двух первых моментов, так и на уровне трех первых моментов. Система H2/H2/1 типа G/G/1 имеет то преимущество перед другими системами с входными распределениями с тяжелым хвостом, что для нее можно получить точное решение в аналитическом виде.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, среднее время ожидания в очереди, задержки, преобразование Лапласа.

Введение

Как известно из теории СМО [1], среднее время ожидания требований в очереди является составной частью задержки в сетях пакетной передачи данных. В классической СМО M/M/1 оно выражается равенством (здесь и далее используется классическое трехпозиционное обозначение Кендалла):

$$\overline{W} = \rho/\mu(1-\rho), \tag{1}$$

для системы M/G/1:

$$\overline{W} = \frac{\lambda \cdot \overline{X^2}/2}{1-\rho}. \tag{2}$$

Наконец, для системы G/G/1 это время равно

$$\overline{W} = \frac{D_\lambda + D_\mu + (1-\rho)^2/\lambda^2}{2(1-\rho)/\lambda} - \frac{\overline{I^2}}{2\overline{I}}. \tag{3}$$

В этих формулах использованы следующие обозначения: ρ – коэффициент загрузки системы ($0 < \rho = \lambda/\mu < 1$); λ – интенсивность входного потока, μ – интенсивность обслуживания; X^2 – второй начальный момент времени обслуживания; $D_\lambda; D_\mu$ – соответственно, дисперсии интервалов поступления и времени обслуживания, $\overline{I}$ и $\overline{I^2}$ – соответственно, среднее значение и второй начальный момент периода простоя.

Второе слагаемое в правой части (3) остается неизвестным, и вполне возможно, что оно может содержать моменты интервалов поступления и времени обслуживания более высокого порядка, чем первые два. Поэтому при анализе СМО G/G/1 (с произвольными законами поступления и обслуживания требований в системе) необходимо учитывать не только первые два момента случайных интервалов времен поступления и обслуживания, но и моменты более высокого порядка. И наконец, (1)-(3) убедительно демонстрируют зависимость основной характеристики СМО – среднего времени ожидания требований в очереди от вида входных распределений. Равенства (1)-(3) также можно интерпретировать как эволюцию СМО.

Анализ (3) показывает, что величина среднего времени ожидания требований в очереди связана с коэффициентами вариаций интервалов поступления и обслуживания квадратичной зависимостью, так как дисперсия случайной величины и коэффициент вариации связаны соотношением $c = \sqrt{D_\tau}/m_\tau$. Таким образом, среднее время ожидания в очереди в системе с входными распределениями, имеющими коэффициенты вариаций интервалов между требованиями входного потока $c_\lambda < 1$ и времени обслуживания $c_\mu < 1$, меньше, чем в системе M/M/1, и меньше, чем в системе M/G/1 при $c_\mu > 1$, и меньше, чем в системе G/G/1 при условии $(c_\lambda > 1, c_\mu > 1)$, при одинаковой нагрузке:

$$\begin{gathered}\overline{W} \mid (c_\lambda < 1, c_\mu < 1) < \overline{W} \mid (c_\lambda = 1, c_\mu = 1) < \overline{W} \mid; \\ (c_\lambda = 1, c_\mu > 1) < \overline{W} \mid (c_\lambda > 1, c_\mu > 1).\end{gathered} \tag{4}$$

Неравенства (4) также отражают непреложные факты из теории СМО.

Постановка и решение задачи

В статье ставится задача исследования времени ожидания (3) для СМО G/G/1 на примере системы $H_2/H_2/1$, а также построения механизма аппроксимации произвольных законов распределений (G) с тяжелыми хвостами гиперэкспоненциальным распределением.

В настоящее время не существует аналитических методов для точного определения характеристик СМО G/G/1 или G/G/m, и как следствие, это отражается на степени адекватности стохастических сетевых моделей реальным компьютерным и телекоммуникационным сетям и на качестве принимаемых проектных решений.

В связи с тем, что система $H_2/H_2/1$ принадлежит классу систем G/G/1, ее точный анализ представляет собой актуальную задачу. При этом СМО с гиперэкспоненциальными входными распределениями в отличие от систем с распределениями с тяжелыми хвостами позволяет получить решение задачи в аналитическом виде. Тот факт, что такие распределения имеют место на практике, подтвержден в работе [2], где приведены результаты анализа интервалов между пакетами входящего трафика на сервер вуза.

В [3] авторами найдено преобразование Лапласа для функции плотности времени ожидания для системы $H_2/H_2/1$:

$$W^*(s) = \frac{s_1 s_2 (s+\mu_1)(s+\mu_2)}{\mu_1 \mu_2 (s+s_1)(s+s_2)}, \quad (5)$$

где s_1 и s_2 – отрицательные вещественные части корней кубического уравнения

$$s^3 - c_2 s^2 - c_1 s - c_0 = 0. \quad (6)$$

$$c_0 = a_0 b_1 - a_1 b_0 - a_0(\mu_1+\mu_2) + b_0(\lambda_1+\lambda_2),$$

$$c_1 = -a_1 b_1 - a_0 - b_0 + (\lambda_1+\lambda_2)(\mu_1+\mu_2),$$

$$c_2 = \lambda_1 + \lambda_2 - \mu_1 - \mu_2,$$

а параметры: $a_0 = \lambda_1 \lambda_2$; $a_1 = p\lambda_1 + (1-p)\lambda_2$; $b_0 = \mu_1 \mu_2$; $b_1 = q\mu_1 + (1-q)\mu_2$.

Величины p; λ_1; λ_2; q; μ_1; μ_2 являются параметрами гиперэкспоненциальных распределений с функциями плотностей

$$a(t) = p\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-p)\lambda_2 e^{-\lambda_2 t}; \quad (7)$$

$$b(t) = q\mu_1 e^{-\mu_1 t} + (1-q)\mu_2 e^{-\mu_2 t} \quad (8)$$

соответственно для системы $H_2/H_2/1$.

Среднее время ожидания в очереди равно значению производной от функции преобразования Лапласа (5) со знаком минус в точке $s = 0$. Окончательно среднее время ожидания в очереди для СМО $H_2/H_2/1$:

$$\overline{W} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} - \frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}. \quad (9)$$

Выражение (5) на основе свойств преобразования Лапласа, позволяет также определить моменты высших порядков для времени ожидания. Например, начальный момент 2-го порядка времени ожидания равен значению второй производной от преобразования (5) в точке $s = 0$, и он будет иметь вид:

$$\overline{W^2} = \frac{d^2 W^*(s)}{ds^2} = \frac{2}{\mu_1\mu_2} - \frac{2}{s_1 s_2} - \frac{2(s_1+s_2)}{\mu_1\mu_2 s_1^2 s_2^2} \times$$

$$\times [s_1 s_2(\mu_1+\mu_2) - \mu_1\mu_2(s_1+s_2)]. \quad (10)$$

В свою очередь, начальный момент 2-го порядка позволяет определить дисперсию времени ожидания. Учитывая определение джиттера в телекоммуникациях как разброс времени ожидания от его среднего значения [4], тем самым получим возможность определения джиттера через дисперсию. Это является важным результатом для анализа трафика, чувствительного к задержкам.

Для практического применения результатов (9) и (10) необходимо определить входящие в них параметры. Определение этих неизвестных параметров рассматривается ниже.

Аппроксимация законов распределений на уровне двух первых моментов

Воспользуемся свойством преобразования Лапласа воспроизведения моментов и запишем начальные моменты до второго порядка для распределения (7):

$$\overline{\tau}_\lambda = \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2}, \quad (11)$$

$$\overline{\tau_\lambda^2} = \frac{2p}{\lambda_1^2} + \frac{2(1-p)}{\lambda_2^2}. \quad (12)$$

Рассматривая равенства (11) и (12) как уравнения метода моментов, найдем неизвестные параметры распределения (7) λ_1; λ_2; p. Для этого запишем связующее условие в виде выражения для квадрата коэффициента вариации

$$c^2 = \frac{\overline{\tau_\lambda^2} - (\overline{\tau}_\lambda)^2}{(\overline{\tau}_\lambda)^2}. \quad (13)$$

Заметим, что система уравнений (11) и (12) с тремя неизвестными является недоопределенной. Исходя из вида уравнения (10) положим

$$\lambda_1 = 2p/\overline{\tau}_\lambda, \lambda_2 = 2(1-p)/\overline{\tau}_\lambda \quad (14)$$

и потребуем выполнения условия (12). Подставив выражения (10)-(11) и (13) в (12) и решив квадратное уравнение относительно параметра p, получим для него два значения: $p = \frac{1}{2}\left(1 \pm \sqrt{\frac{c_\lambda^2 - 1}{c_\lambda^2 + 1}}\right)$. При этом можно воспользоваться любым из них [5].

Аналогично поступим с распределением (8). Следовательно, в [4] приведено частное решение недоопределенной системы уравнений (11)-(12), полученное методом подбора. Таким образом, гиперэкспоненциальный закон распределения может определяться полностью двумя первыми моментами и перекрывать весь диапазон изменения коэффициента вариации от 1 до ∞ [5].

Рассмотрим пример. Пусть коэффициент загрузки СМО $\rho = \overline{\tau}_\mu / \overline{\tau}_\lambda = 0{,}9$; где $\overline{\tau}_\lambda$ и $\overline{\tau}_\mu$ – средние значения интервалов между поступлениями и времени обслуживания. Рассмотрим случай нормированного обслуживания $\bar{\tau}_\mu = \mu^{-1} = 1$. Тогда средний интервал между поступлениями $\bar{\tau}_\lambda = 10/9$. Пусть коэффициенты вариаций случайных величин - интервалов между поступлениями и времени обслуживания $c_\lambda = c_\mu = 2$. Аппроксимация на уровне двух первых моментов дает: $p \approx 0{,}887$; $\lambda_1 \approx 1{,}597$; $\lambda_2 \approx 0{,}203$; $q \approx 0{,}887$; $\mu_1 \approx 1{,}775$; $\mu_2 \approx 0{,}225$. Таким образом, неизвестные параметры распределений (7) и (8) однозначно определены. Теперь воспользуемся результатом (8) для системы $H_2/H_2/1$, приведенным выше. Коэффициенты кубического уравнения (6) в этом примере равны: $c_0 \approx 0{,}014$; $c_1 \approx 0{,}572$; $c_2 = -0{,}20$. Найдем корни кубического уравнения (8) с помощью пакета Mathcad: $-s_1 \approx -0{,}852$; $-s_2 \approx -0{,}025$; $s_3 \approx 0{,}677$. Тогда среднее время ожидания равно $\overline{W} \approx 36{,}20$.

Аппроксимация на уровне трех моментов

Учитывая тот факт, что распределение H_2 является трехпараметрическим, аппроксимацию можно выполнить и на уровне трех первых моментов, что позволит сравнить полученные результаты. С точки зрения теории вероятностей три момента полнее характеризуют случайную величину, поэтому такая аппроксимация будет точнее. Для этого запишем выражения для моментов 3-го порядка, полученные через преобразование Лапласа:

- для интервалов входного потока:

$$\overline{\tau_\lambda^3} = \frac{6p}{\lambda_1^3} + \frac{6(1-p)}{\lambda_2^3},$$

- для времени обслуживания:

$$\overline{\tau_\mu^3} = \frac{6q}{\mu_1^3} + \frac{6(1-q)}{\mu_2^3}.$$

Рассмотрим еще один пример: в рассмотренный выше расчет введем в качестве третьего момента коэффициент асимметрии и для определенности положим $A_{S\lambda} = A_{S\mu} = 4$. Как известно, для пуассоновского потока параметр $A_{S_\lambda} = 2$. При тех же значениях входных параметров СМО начальные моменты 2-го и 3-го порядков для обоих распределений соответственно будут равны: $\overline{\tau_\lambda^2} = 5 \cdot (10/9)^2$; $\overline{\tau_\lambda^3} = 45 \cdot (10/9)^3$; $\overline{\tau_\mu^2} = 5$; $\overline{\tau_\mu^3} = 45$.

При таких исходных данных для определения неизвестных параметров входных распределений (7) и (8): $(\lambda_1, \lambda_2, p), (\mu_1, \mu_2, q)$ запишем следующие системы уравнений на основе известного метода моментов:

$$\begin{cases} \dfrac{p}{\lambda_1} + \dfrac{(1-p)}{\lambda_2} = 10/9 \\ \dfrac{2p}{\lambda_1^2} + \dfrac{2(1-p)}{\lambda_2^2} = 5 \cdot (10/9)^2 \\ \dfrac{6p}{\lambda_1^3} + \dfrac{6(1-p)}{\lambda_2^3} = 45 \cdot (10/9)^3 \end{cases}, \qquad (15)$$

решив которые, найдем искомые параметры. Решение системы (15) в пакете Mathcad после округления дает следующие результаты: $p \approx 0{,}739$, $\lambda_1 \approx 3{,}306$, $\lambda_2 \approx 0{,}294$.

$$\begin{cases} \dfrac{q}{\mu_1} + \dfrac{(1-q)}{\mu_2} = 1; \\ \dfrac{2q}{\mu_1^2} + \dfrac{2(1-q)}{\mu_2^2} = 5; \\ \dfrac{6q}{\mu_1^3} + \dfrac{6(1-q)}{\mu_2^3} = 45. \end{cases}. \qquad (16)$$

Решение системы (16): $q \approx 0{,}739$; $\mu_1 \approx 3{,}673$; $\mu_2 \approx 0{,}327$. Тогда коэффициенты кубического уравнения (6) будут равны: $c_0 \approx 0{,}130$; $c_1 \approx 5{,}172$; $c_2 \approx -0{,}40$, и его решение дает следующие корни: $-s_1 \approx -2{,}471$, $-s_2 \approx -0{,}025$, $s_3 \approx 2{,}096$. Воспользуемся результатом (9) и определим среднее время ожидания: $\overline{W} \approx 37{,}051$. Относительная погрешность в сравнении с результатом аппроксимации на уровне двух моментов составляет 2,35%. При тех же условиях, но при коэффициентах асимметрии $A_{S\lambda} = A_{S\mu} = 10$, получим среднее время ожидания $\overline{W} \approx 34{,}537$.

Относительная погрешность при этом составляет 4,8%. Таким образом, учет моментов третьего порядка интервалов поступления и обслуживания показывает зависимость конечного результата (3) от моментов высших порядков. С точки зрения практического применения результатов СМО $H_2/H_2/1$, все же аппроксимация закона распределения на уровне двух первых моментов удобнее. Кроме этого, область допустимых значений относительно моментов 2-го и 3-го порядков для систем (15) и (16) при аппроксимации с использованием трех первых моментов может оказаться достаточно ограниченной.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов и их анализ

С использованием выражений (9) и (10) проведены вычислительные эксперименты над временем ожидания (3).При этом использован достаточно широкий диапазон изменения параметров трафика, а именно: загрузки системы ρ от 0,1 до 0,9, а коэффициентов вариаций интервалов поступления и времени обслуживания c_λ, c_μ от 2 до 10. Это касается входных параметров. Выходными характеристиками являются: среднее время ожидания $\overline{W}$, определенное по выражению (9) на уровне двух первых моментов интервалов поступления и обслуживания, дисперсия времени ожидания, определенное через (9) и (10), и второе слагаемое в правой части выражения (3) $\overline{I^2}/(2\bar{I})$. Результаты экспериментов сведены в таблицу 1.

Анализ данных в таблице 1 подтверждает квадратичную зависимость времени ожидания (3) и (9) от коэффициентов вариаций интервалов поступления и времени обслуживания. Кроме того, время ожидания резко возрастает с ростом коэффициента загрузки ρ. Это говорит об адекватности полученного результата (9). Значения дисперсий времени ожидания D_W позволяют находить разброс времени ожидания от его среднего значения (джиттер), например с использованием правила «трех сигма» 3σ. И наконец, можно оценить поведение неизвестного второго слагаемого в выражении (3): оно также связано квадратичной зависимостью от коэффициентов вариаций интервалов поступления и времени обслуживания. Кроме этого, второе слагаемое убывает с ростом коэффициента загрузки ρ.

Таблица 1. Результаты экспериментов

Входные параметры		Выходные характеристики		
ρ	(c_λ, c_μ)	$\overline{W}$	D_W	$\overline{I^2}/(2\bar{I})$
0,1	(2,2)	0,45	3,7	26,50
	(4,4)	1,78	59,9	92,50
	(6,6)	4,0	303,7	202,50
	(8,8)	7,11	960,2	356,49
	(10,10)	11,11	2345	558,49
0,3	(2,2)	1,72	16,5	9,82
	(4,4)	6,88	265,4	35,81
	(6,6)	15,46	1346	79,14
	(8,8)	27,46	4258	139,80
	(10,10)	42,89	10400	233,23
0,5	(2,2)	4,04	47,69	6,46
	(4,4)	16,13	765,5	24,37
	(6,6)	36,16	3882	54,34
	(8,8)	64,18	12276	96,32
	(10,10)	100,19	29981	186,32
0,7	(2,2)	9,44	161,3	4,96
	(4,4)	37,72	2585	19,26
	(6,6)	84,53	13094	43,39
	(8,8)	149,95	41396	77,31
	(10,10)	233,99	101086	120,98
0,9	(2,2)	36,20	1583	4,08
	(4,4)	144,83	25340	16,11
	(6,6)	325,40	128294	36,66
	(8,8)	577.86	405483	65.75
	(10,10)	902.23	989966	103.38

Перейдем теперь к исследованию зависимости результатов (3) и (9) от моментов высших порядков. С учетом результатов п. 3 о зависимости конечного результата времени ожидания (3) для системы G/G/1 от моментов высших порядков проведем расчеты по установлению степени такой зависимости. В связи с тем, что время ожидания в данном случае будет зависеть от многих параметров трафика, отображение расчетных данных в одной таблице практически неосуществимо. Поэтому эти данные ниже будут представлены в текстовом виде.

Для этого рассмотрим случаи малой нагрузки (ρ = 0,1), средней нагрузки (ρ = 0,5) и высокой нагрузки (ρ = 0,9). Расчеты, проведенные по методике п. 3, дают следующие результаты.

Время ожидания при малой нагрузке ρ = 0,1, при коэффициентах вариаций (c_λ, c_μ) = 2 и изменении коэффициентов асимметрии $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 4 до 15 варьирует от 0,72 до 0,32. При (c_λ, c_μ) =4 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 7 до 15 варьирует от 4,82 до 1,50. При (c_λ, c_μ) = 6 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 10 до 15 варьирует от 13,48 до 4,98.

При средней нагрузке ρ = 0,5; (c_λ, c_μ) = 2 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 4 до 15 время ожидания варьирует от 4,85 до 3,02. При (c_λ, c_μ) = 4 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 7 до 15 варьирует от 21,79 до 14,33.

При высокой нагрузке ρ = 0,9; (c_λ, c_μ) = 2 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 4 до 15 время ожидания варьирует от 37,05 до 32,87. При (c_λ, c_μ) = 4 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 7 до 15 время ожидания варьирует от 150,36 до 141,68. При (c_λ, c_μ) = 6 и изменении $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$ от 10 до 15 время ожидания варьирует от 339,65 до 330,62.

Анализ последних данных показывает, что с ростом коэффициентов асимметрий при одной и той же нагрузке время ожидания уменьшается. Таким образом, влияние моментов высшего порядка на время ожидания в системе G/G/1 нельзя считать несущественным и им нельзя пренебрегать.

Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. Машиностроение, 1979. – 432 с.
2. Тарасов В.Н., Горелов Г.А., Ушаков Ю.А. Восстановление моментных характеристик распределения интервалов между пакетами входящего трафика // Инфокоммуникационные технологии. №2, 2014. – С.40-44.
3. Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Определение среднего времени ожидания требований в управляемой системе массового обслуживания H2/H2/1 // Системы управления и информационные технологии. №3(57), 2014. – С. 92-96.
4. RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) // https://tools.ietf.org/html/rfc3393 (26.02.2015).
5. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

Получено 24.03.2015

Тарасов Вениамин Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой программного обеспечения и управления в технических системах (ПОУТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13, 8-960-827-22-33. E-mail: vt@ist.psati.ru

Карташевский Игорь Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. 8-927-013-15-13. E-mail: kartashevsky-iv@psuti.ru

Липилина Людмила Владимировна, аспирант кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. 8-962-602-25-78. E-mail: mila199113@gmail.ru

RESEARCH OF THE DELAY IN G/G/1 SYSTEM

Tarasov V.N., Kartashevsky I.V., Lipilina L.V.
Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: vt@ist.psati.ru

We present results of delay research performed for queuing system H2/H1/1 type G/G/1 for a wide range varying of traffic parameters. It is known that distributed by hyperexponential law random variable H2 has covariance coefficient greater than unity. Therefore hyperexponential distribution law is available for approximation of heavy-tailed distributions. This work describes the approach for approximation of heavy-tailed arbitrary distributive law by hyperexponential law under taking into account that H2 is three-parameter distribution. It is available both for the level of two first moments and level of three first moments. System H2/H1/1 type G/G/1 has advantage of other systems with input heavy-tailed distributions because it provides ability to get exact analytical solution.

Keywords: queuing system, average waiting time in the queue, delay, Laplace trans-form.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.07.

Tarasov Veniamin Nikolaevich, Doctor of Technical Science, Professor, the Head of Department of Software and Management in Technical Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79626022578. E-mail: vt@ist.psati.ru.

Kartashevsky Igor Vyacheslavovich, PhD in Technical Science, Associated Professor of the Head of Department of Software and Management in Technical Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79270131513. E-mail: kartashevsky-iv@psuti.ru

Lipilina Lyudmila Vladimirovna, PhD-student Department of Software and Management in Technical Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79626022578. E-mail: mila199113@gmail.ru.

References

1. Kleinrock L. *Queueing Systems. Volume 1: Theory.* 1975, John Wiley & Sons (Russ. ed.: Kleinrock L. Teorija massovogo obsluzhivanija, Moscow, Mashinostroenie Publ. 1979. 432 p.).
2. Gorelov G.A., Tarasov V.N., Ushakov Y.A. Vosstanovlenie momentnyx harakteristik raspredelenya intervalov mezdu paketami vhodyashego trafika [Restoring torque characteristics of the distribution of intervals between packets of incoming traffic]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 2, pp.40-44.
3. Tarasov V.N., Kartashevsky I.V. Opredelenie srednego vremeni ozhidanya trebovanii v upravlyaemoi sisteme massovogo obsluzhivanya H2/H2/1 [Determination of the average waiting time requirements in a controlled queuing system H2/H2/1]. *Sistemy upravlenya i informazionnye tehnologii*, 2014, vol. 57, no. 3, pp.92-96.
4. *RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*. Available at: https://tools.ietf.org/html/rfc3393 (accessed 22.03.2015)
5. Vishnevsky V.M. *Teoretisheskie osnovy proektirovanya komputernyh setei* [Theoretical bases of designing computer networks]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2003. 512 p.

Received 24.03.2015

УДК 004.7

ЭМУЛЯЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Митекин Ю.А., Бахарева Н.Ф.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: bahareva-nf@psuti.ru

В статье представлены примеры эмуляции компьютерных сетей: локальная виртуальная сеть, построенная при помощи среды эмуляции операционных систем Virtual Box, и в среде GNS3 с интегрированной средой Virtual Box. Приводятся таблицы с результатами тестирования виртуальных сетей программой iperf.

Ключевые слова: эмуляция сети, виртуальные машины, виртуальные операционные системы, виртуальный канал, модель сети.

Введение

В общем случае эмуляция – это имитация программно-аппаратными (в некоторых случаях только программными или аппаратными) средствами какого-либо физического процесса, физического устройства. В данном случае под эмуляцией компьютерных сетей (КС) понимается организация взаимодействия виртуальных компьютеров, виртуальных маршрутизаторов, коммутаторов и иных сетевых устройств в различных топологиях, созданных программно-аппаратными средствами.

Эмуляция компьютерных сетей при использовании специального программного обеспечения позволяет проводить исследование виртуальных объектов в реально существующих сетях.

При эмуляции сети стоит задача оценки состояния каналов связи в виртуальной среде и влияния количества виртуальных объектов на состояние виртуальных каналов. Представляет интерес, также поведение потоков при мультиплексировании и демультиплексировании в виртуальных каналах.

Достоинства и недостатки эмуляции компьютерных сетей

Положительные стороны эмуляции компьютерных сетей:

- не надо приобретать дорогостоящее оборудование, так как создаются модели оборудования эмуляцией программно-аппаратными средствами;
- возможность подбирать различные конфигурации виртуального оборудования и программного обеспечения (ПО), тем самым получая оптимальную программно-аппаратную платформу;