Провели патентный поиск в результате, которого было выявлено 23 патента, среди них 14 отечественных, и 9 иностранных. Среди всех патентов было выявлено, что каждое следующее устройство повторяет функции предыдущего, но имеет улучшенные характеристики, например, повышенную точность измерения, надежность, помехоустойчивость на более высоком уровне, а улучшенные качества пилотирования, расширенные функциональные возможности, изменение в конструкции, а также с точки зрения экономики эффективнее.

Используем структуру с параллельными измерительными каналами [2]. Для таких информационно измерительных систем характерна высокая надежность, так как отказ или сбой одного из каналов не приводит к отказу системы, а также высокое быстродействие за счет возможности реализации параллельной обработки информации в нескольких вычислителях. Недостатками информационной измерительной системы параллельного действия являются большие аппаратные затраты и высокая стоимость, а также сложное управление.

Выводы.

Проанализировав способы измерения аэродинамического угла можно сделать вывод, что наиболее распространенными являются флюгерные и пневматические, которые не уступают по своей надежности, но наиболее перспективными являются меточные, в связи с наиболее точными измерениями, данная информация подтверждается патентами. Использовав схему с параллельными измерительными каналами, повышаем надежность и быстродействие, а также за счет увеличенного быстродействия, уменьшаем погрешность вычислений.

Литература

1. Солдаткин В. М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов / Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001 448 с.
2. Ганеев Ф.А., Порунов А.А., Солдаткин В.В, Солдаткин В.М. Систематическое проектирование измерительно вычислительных систем: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию / Под редакцией проф. В.М. Солдаткина. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011. 150 с.

В.Н. Тарасов

НОВЫЕ МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАФИКА С ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)

Аннотация. Статья посвящена исследованию систем массового обслуживания (СМО) G/G/1 с произвольными входными распределениями с коэффициентами вариаций интервала между поступлениями требований и времени обслуживания меньшими и большими 1, т.е. перекрывающими весь интервал (0,

∞). Для этого рассмотрены системы $M^-/M^-/1$ с запаздыванием во времени и $H_2/H_2/1$ с гиперэкспоненциальными входными распределениями с целью получения решения для среднего времени ожидания требований в очереди. Приведены также авторские результаты по системам $H_2/M/1$ и $M/H_2/1$. Для вывода решений использован классический метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли.

Ключевые слова. Системы массового обслуживания, сдвинутое экспоненциальное распределение, гиперэкспоненциальное распределение, среднее время ожидания в очереди.

Введение. В современной теории телетрафика актуальны исследования систем массового обслуживания (СМО) G/G/1 с произвольными входными распределениями с коэффициентами вариаций интервала между поступлениями требований c_λ и времени обслуживания c_μ меньшими и большими 1, т.е. перекрывающими весь интервал (0, ∞). Для обеспечения такого диапазона изменения коэффициентов вариаций рассмотрены системы $M^-/M^-/1$ с запаздыванием во времени [1] и $H_2/H_2/1$ с гиперэкспоненциальными входными распределениями [2] с целью получения решения для среднего времени ожидания требований в очереди. Для вывода решения в каждом случае использован метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли. Для практического применения полученных результатов использован известный метод моментов. В работе [1] показано, что коэффициент вариации случайной величины, распределенной по экспоненциальному закону с запаздыванием во времени, меньше 1. Известно, что распределенная по гиперэкспоненциальному закону H_2 случайная величина имеет коэффициент вариации c больше 1. Учитывая тот факт, что распределение H_2 является трехпараметрическим, в статье приведен механизм аппроксимации произвольных законов распределений гиперэкспоненциальным как на уровне двух первых моментов, так и на уровне трех первых моментов. Этот факт отражает отличительную особенность закона распределения H_2.

Решение для системы M/M/1 с запаздыванием (случай $\mathbf{c_\lambda < 1, c_\mu < 1}$). Рассмотрим систему массового обслуживания (СМО), на вход которой поступают требования, случайные интервалы между которыми распределены по закону [1]:

$$a(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda(t-t_0)}, & t \ge t_0 \\ 0, & 0 \le t < t_0 \end{cases} \tag{1}$$

Аналогично распределено и время обслуживания:

$$b(t) = \begin{cases} \mu e^{-\mu(t-t_0)}, & t \ge t_0 \\ 0, & 0 \le t < t_0 \end{cases}. \tag{2}$$

Функции плотности (1) и (2) являются сдвинутыми вправо от нулевой точки на величину t_0 экспоненциальными распределениями с двумя параметрами (λ, t_0) и (μ, t_0), причем $\lambda<\mu$. Таким образом, имеем СМО с запаздыванием во времени на величину [1].

В работе автора [1] приведены преобразование Лапласа функции плотности времени ожидания, полученное методом спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли: $W^*(s) = s\Phi_+(s) = \frac{(1-\lambda/\mu)(\mu+s)}{(s+\mu-\lambda)}$, и полученное через него среднее время ожидания

$$\overline{W} = \frac{\lambda/\mu}{\mu-\lambda}. \tag{3}$$

Для определения неизвестных параметров (3) получена система уравнений:

$$\begin{cases} \lambda^{-1} + t_0 = \bar{\tau}_\lambda \\ (1+\lambda t_0)^{-1} = c_\lambda \\ \mu^{-1} + t_0 = \bar{\tau}_\mu \\ (1+\mu t_0)^{-1} = c_\mu \end{cases}, \tag{4}$$

где числовые характеристики в правых частях системы: средние значения интервалов $\bar{\tau}_\lambda$ и $\bar{\tau}_\mu$, коэффициенты вариации c_λ и c_μ меньшие единицы при $t_0, \lambda, \mu > 0$, будут входными параметрами для определения неизвестных параметров. В связи с этим мы имеем немарковскую модель массового обслуживания. Среднее время ожидания требования в очереди в такой системе будет меньше, чем в классической системе M/M/1 при одинаковом коэффициенте загрузки. Кроме того, использование функций плотности (1) и (2) позволяет аппроксимировать исходные входные распределения на уровне двух первых моментов, в отличие от классической системы M/M/1.

В качестве примера рассмотрим случай высокой нагрузки при параметрах: $\bar{\tau}_\mu = 1$, $\bar{\tau}_\lambda = 10/9$ и $c_\mu = 0.5$. В этом случае получим загрузку системы $\rho = 0{,}9$, значение $c_\lambda = 0{,}55$, а из (4) значения $\lambda = 18/11$ и $\mu = 2$. Тогда среднее время ожидания по формуле (3) $\overline{W} = \frac{18/11/2}{2-18/11} = \frac{18\cdot 11}{4\cdot 22} = \frac{9}{4}$. Классическая система M/M/1 при той же нагрузке дает $\overline{W} = \frac{0.9/1}{1-0.9} = 9$, т.е. в 4 раза большую задержку.

Решение для системы H2/H2/1 (случай $\mathbf{c_\lambda \geq 1, c_\mu \geq 1}$). В работах [2,4] автором найдено преобразование Лапласа для функции плотности времени ожидания для системы H2/H2/1:

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

где $-s_1$ и $-s_2$ отрицательные вещественные части корней кубического уравнения

$$s^3 - c_2 s^2 - c_1 s - c_0 = 0\,. \tag{6}$$

Коэффициенты этого уравнения: $c_0 = a_0 b_1 - a_1 b_0 - a_0(\mu_1+\mu_2) + b_0(\lambda_1+\lambda_2)$, $c_1 = -a_1 b_1 - a_0 - b_0 + (\lambda_1+\lambda_2)(\mu_1+\mu_2)$, $c_2 = \lambda_1+\lambda_2-\mu_1-\mu_2$, 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 и 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 $H_2/H_2/1$:

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

Рассмотрим пример. Пусть коэффициент загрузки СМО $\rho = \bar{\tau}_\mu / \bar{\tau}_\lambda = 0{,}9$, где $\bar{\tau}_\lambda$ и $\bar{\tau}_\mu$ 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 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 $\overline{W} \approx 36{,}20$. Для сравнения классическая система M/G/1 с использованием начального момента 2-го порядка времени обслуживания $\overline{W} = \dfrac{\lambda \cdot \overline{\tau_\mu^2}/2}{1-\rho} = \dfrac{0{,}9 \cdot 5/2}{1-0{,}9} = 22{,}5$, что существенно занижает время ожидания.

Заключение

Полученные результаты приводят к следующим выводам.

1. В том случае, когда коэффициенты вариации интервалов поступления и времени обслуживания меньше 1, для анализа трафика можно использовать систему $M^-/M^-/1$ с запаздыванием во времени.

2. В случае, если коэффициенты вариации интервалов поступления и времени обслуживания больше 1, можно использовать систему $H_2/H_2/1$.

3. Рабочие формулы для расчета задержки в обоих случаях, приведены выше.

4. Комбинированием рассмотренных законов распределений можно перекрыть диапазон изменения коэффициентов вариаций случайных величин - интервалов между поступлениями c_λ и времени обслуживания c_μ от 0 до ∞.

5. Полученные результаты с успехом могут быть применены в современной теории телетрафика, где задержки пакетов входящего трафика играют пер-

востепенную роль. Для этого необходимо знать числовые характеристики распределения интервалов входящего трафика и времени обслуживания на уровне двух или трех первых моментов. Эти характеристики могут быть определены с помощью современных анализаторов трафика, например, Wireshark [2].

Литература

1. Tarasov, V.N. Analysis and calculation of queuing system with delay / V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva, , I.A. Blatov // Automation and Remote Control November 2015, Volume 76, Issue 11, pp 1945-1951. DOI: 10.1134/S0005117915110041.

2. Tarasov, V.N. Analysis of Queues with Hyperexponential Arrival Distributions / V.N. Tarasov // Problems of Information Transmission, 2016, Vol. 52, No. 1, pp. 14–23. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357256.

3. Тарасов, В.Н. Математическая модель трафика с тяжелохвостным распределением на основе системы массового обслуживания H2/M/1 / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, Г.А. Горелов // Инфокоммуникационные технологии. 2014. №3. С.36-41.

4. Тарасов, В.Н. Определение среднего времени ожидания требований в управляемой системе массового обслуживания H2/H2/1 / В.Н. Тарасов, И.В. Карташевский // Системы управления и информационные технологии. 2014. Т.57. №3. С.92-96.

5. Тарасов, В.Н. Анализ входящего трафика на уровне трех моментов распределений временных интервалов / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, Г.А. Горелов, С.В. Малахов // Информационные технологии. 2014. № 9. С.54-59.

6. Кругликов В.К., Тарасов В.Н. Анализ и расчет сетей массового обслуживания с использованием двумерной диффузионной аппроксимации // Автоматика и телемеханика. 1983. № 8. С. 74-83.

О.И. Христодуло, В.Е. Гвоздев, Э.Б. Фахретдинова

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО, ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В последние годы особое значение приобрели задачи эффективной природоохранной деятельности, связанные с антропогенным загрязнением окружающей среды, которые в условиях наращивания промышленного производства и увеличения численности населения приобретают угрожающие масштабы [1, 2].

Отходы можно рассматривать с двух точек зрения: как мощный фактор загрязнения, который может привести к экологической катастрофе и как вто-