

ра в блок обслуживания равна единице. Таким образом, справедливо равенство (2).

Система S остается в состоянии $(x, y) \in Z$, если не имеют места переходы, соответствующие описанным выше двум случаям, а также в случае, когда из системы S уходят y обслуженных требований, в бункер поступают y требований из источника и y ($y \leq x$) требований переходят из бункера на станции блока обслуживания. Вероятность соответствующего совместного события равна $Q_{y,y}P_{n,y}$. Тогда

$$P_{(x,y),(x,y)} = Q_{y,0}P_{n,0} + \mathbb{1}_{y \leq x}Q_{y,y}P_{n,y}.$$

Стационарное распределение $\pi = (\pi_{(x,y)})$, $(x, y) \in Z$, системы S можно вычислить, решая уравнение $\pi = \pi P$ с условием $\sum_{(x,y) \in Z} \pi_{(x,y)} = 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Daduna H. Queueing networks with discrete time scale. Berlin: Springer, 2008. 138 p.
2. Altman E., Kofman D., Yechiali U. Discrete time queues with delayed information // Queueing Systems. 1995. Vol. 19. P. 361 – 376.
3. Chaudhry M.L., Gupta U.C., Goswami V. Modeling and analysis of discrete-time multiserver queues with batch arrivals: $G^X/G/Geom/m$ // J. on Computing. 2001. Vol. 13, № 3. P. 172 – 180.

УПРАВЛЕНИЕ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ ТРЕБОВАНИЙ В ОТКРЫТЫХ СЕТЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И НЕНАДЕЖНЫМИ ПРИБОРАМИ

И.Е. Тананко, Н.П. Фокина

Рассматривается открытая сеть массового обслуживания Γ , содержащая две параллельные системы массового обслуживания S_1 и S_2 типа $M/M/1$ с интенсивностями обслуживания μ_1 и μ_2 соответственно, и управлением входящим потоком требований. Требования поступают в сеть из источника, согласно пуссоновскому процессу, с интенсивностью λ . Обозначим через θ_i , $i = 1, 2$, вероятность поступления требований из источника в систему обслуживания S_i . Система S_1 является абсолютно надежной, а система S_2 – ненадежной. Предполагается, что длительности периода наработка на отказ φ и периода восстановления τ прибора системы S_2 фиксированы. В момент отказа прибора системы S_2 все требования, находящиеся в S_2 , мгновенно перемещаются для обслуживания в конец очереди системы S_1 и на время восстановления системы S_2 поступле-

ние требований из источника в эти системы прекращается, т.е. $\lambda = 0$, в противном случае, $\lambda = \lambda_0 > 0$.

Предполагается, что действия по управлению входящим потоком требований и по перемещению требований из S_2 в S_1 осуществляются управляющим устройством. Также предполагается, что управляющему устройству мгновенно становится известно о выходе из строя и восстановлении ненадежной системы S_2 .

Пусть $s = (s_1, s_2)$ – вектор состояния сети Γ , где s_i – число требований в системе S_i , $i = 1, 2$; X – пространство состояний сети; $P_i(k, t)$ – вероятность пребывания в системе S_i в момент времени t k требований, $i = 1, 2$. Процесс эволюции сети Γ представляет собой последовательность фрагментов, называемых *тактами*. Различаются такты двух видов: такты первого вида соответствуют сети, когда в ней функционируют обе системы и имеют длительность φ , такты второго вида соответствуют сети, в которой функционирует только система S_1 . Процесс функционирования сети Γ представляет собой композицию чередующихся процессов ξ_1 и ξ_2 с длительностями φ и τ соответственно. Процесс ξ_1 является процессом размножения и гибели, он описывает эволюцию сети Γ в течение такта первого вида. Процесс ξ_2 является процессом чистой гибели, он определен на подмножестве состояний $Y \subset X$ вида $s = (s_1, 0)$ и описывает эволюцию сети Γ в течение тактов второго вида. Характеристики сети Γ полностью определяются параметрами и характеристиками процессов ξ_1 и ξ_2 . Предполагается, что значение φ такое, что процесс ξ_1 достигает своего стационарного режима. Пусть $\pi^{(i)}(s)$ – вероятность пребывания процесса ξ_i в состоянии s . Для процесса размножения и гибели ξ_1 известно [1], что

$$\pi^{(1)}(s) = p_0 \frac{\lambda_0^{s_1+s_2} \theta_1^{s_1} \theta_2^{s_2}}{\mu_1^{s_1} \mu_2^{s_2}},$$

где $p_0 = \left(1 - \frac{\lambda_0 \theta_1}{\mu_1}\right) \left(1 - \frac{\lambda_0 \theta_2}{\mu_2}\right)$, при условии, что $\lambda_0 \theta_1 < \mu_1$, $\lambda_0 \theta_2 < \mu_2$.

Вероятность пребывания процесса ξ_2 в состояниях $s \notin Y$ $\pi^{(2)}(s) = 0$, а в состояниях $s = (s_1, 0) \in Y$ в силу наличия переходного режима в течение длительности τ определяется как средняя вероятность по промежутку $[0, \tau]$ и имеет вид

$$\pi^{(2)}(s) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau P_1(s_1, t) dt,$$

где $P_1(s_1, t)$ является решением следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP_1(s_1, t)}{dt} = -\varepsilon(s_1)\mu_1 P_1(s_1, t) + \mu_1 P_1(s_1 + 1, t),$$

при начальном распределении

$$P_1(k, 0) = \sum_{n=0}^k \pi^{(1)}\{s_1 = n\} \pi^{(1)}\{s_2 = k - n\}, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где $\pi^{(1)}\{s_1 = m\}$ – вероятность пребывания процесса ξ_1 в состоянии $s = (m, s_2)$, вероятность $\pi^{(1)}\{s_2 = m\}$ определяется аналогично.

Для вычисления основных характеристик сети в течение такта i $i = 1, 2$, таких как математическое ожидание (м.о.) $\bar{s}_j^{(i)}$ числа требований в системе S_j , интенсивность потока требований $\lambda_j^{(i)}$ в систему S_j , используются следующие формулы [2]:

$$\bar{s}_j^{(i)} = \sum_{n=1}^{\infty} n P^{(i)}\{s_j = n\},$$

где

$$P^{(i)}\{s_j = n\} = \sum_{s=(s_1, s_2), s_j=n} \pi^{(i)}(s);$$

$$\lambda_j^{(1)} = \lambda_0 \theta_j, \quad j = 1, 2;$$

$$\lambda_1^{(2)} = \mu_1 (1 - \pi^{(1)}(0, 0));$$

$$\lambda_2^{(2)} = 0.$$

Тогда м.о. числа требований в системе S_j , интенсивность потока требований в S_j и м.о. длительности пребывания в системе S_j сети Г определяются соответственно выражениями:

$$s_j^* = \frac{\varphi}{\varphi + \tau} \bar{s}_j^{(1)} + \frac{\tau}{\varphi + \tau} \bar{s}_j^{(2)}, \quad j = 1, 2;$$

$$\lambda_j^* = \frac{\varphi}{\varphi + \tau} \lambda_j^{(1)} + \frac{\tau}{\varphi + \tau} \lambda_j^{(2)}, \quad j = 1, 2;$$

$$u_1^* = \frac{\varphi}{\varphi + \tau} \frac{\bar{s}_1^{(1)}}{\lambda_1^{(1)}} + \frac{\tau}{\varphi + \tau} \frac{\bar{s}_1^{(2)}}{\lambda_1^{(2)}}, \quad u_2^* = \frac{\varphi}{\varphi + \tau} \frac{\bar{s}_2^{(1)}}{\lambda_2^{(1)}}.$$

Методом численного моделирования было проведено исследование характеристик сети, определенной следующими параметрами: $\lambda_0 = 1$, $\mu_1 = \mu_2 = 1$, $\theta_1 = \theta_2 = 0,5$, $\varphi = 100$. Проведены эксперименты при различных значениях длительности восстановления ненадежного прибора системы S_2 $\tau = 2; 3; 4; 5; 7; 10$. Полученные характеристики приведены в таблице.

Характеристики сети массового обслуживания с ненадежной системой обслуживания и управлением входящим потоком требований

τ	s_1^*	s_2^*	u_1^*	u_2^*	λ_1^*	λ_2^*
2	1,007	0,98	2,012	2	0,5	0,49
3	1,005	0,97	2,015	2	0,498	0,485
4	1,000	0,961	2,016	2	0,496	0,48
5	0,994	0,952	2,017	2	0,492	0,476
7	0,978	0,934	2,018	2	0,484	0,467
10	0,953	0,909	2,019	2	0,472	0,454

Очевидно, что м.о. числа требований в системах сети обслуживания и интенсивности потоков требований, поступающих в системы при увеличении времени восстановления τ в рассматриваемом отрезке времени и данном способе управления входящим потоком нелинейно убывают. Математическое ожидание длительности пребывания в системе S_2 не зависит от параметра τ , поскольку определено только для первых тактов работы сети обслуживания. Математическое ожидание длительности пребывания в системе S_1 нелинейно растет, стремясь к своему предельному значению, определяемому средним временем завершения обслуживания всех требований в системе S_1 в период восстановления системы S_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1979.
- Митрофанов Ю.И., Рогачко Е.С. Модели и анализ сетей массового обслуживания с динамическим управлением распределением нагрузки // Автоматика и вычислительная техника. 2006. № 5. С. 69 – 77.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

А.С. Топилин, А.Н. Савин

В настоящее время преподавание ряда технических дисциплин, в частности «Программирование микропроцессорных систем» и «Интерфейсы периферийных устройств», на факультете КНИИТ Саратовского государственного университета осложнено отсутствием необходимой технической базы. Вместе с этим подготовка квалифицированных специалистов невозможна без соответствующих лабораторных комплексов и установок.

Авторами были разработаны программно-аппаратные средства для изучения и программирования микропроцессорных систем и организации удаленного доступа к вышеуказанным средствам.