

УДК 519.21

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ И ПРИОРИТЕТНОЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТНЫМИ ПОТОКАМИ ТРЕБОВАНИЙ

© 2013 г.

Е.В. Пройдакова

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

rev_1@mail.ru

Поступила в редакцию 18.03.2013

С использованием метода имитационного моделирования проводится статистический анализ свойств выходных потоков, возникающих в циклической и приоритетной системах обслуживания, находятся численные оценки некоторых параметров функционирования данных систем, изучается продолжительность переходного процесса.

Ключевые слова: имитационная модель, циклическая система обслуживания, система обслуживания с преимуществом, конфликтные потоки, выходной поток, стационарный режим, статистические числовые характеристики.

Введение

Аналитические исследования систем обслуживания в некоторых случаях не могут дать конкретных результатов, поскольку сводятся к изучению сложных стохастических моделей. В таких случаях применяются статистические методы, в частности метод имитационного моделирования. Данный метод позволяет, эффективно используя возможности современной вычислительной техники, с заданной точностью оценивать значения тех характеристик, для которых аналитические расчеты пока недоступны.

Стоит отметить, что при моделировании конкретных систем обслуживания и управления конфликтными потоками заявок и при решении для них задач оптимизации необходимо, чтобы параметры входных потоков удовлетворяли условиям, при которых в системе существует стационарный режим функционирования. В этом режиме средняя длина очереди по каждому из входных потоков является ограниченной величиной.

Для большинства систем массового обслуживания с несколькими независимыми входными конфликтными потоками одним из основных показателей качества работы является время ожидания начала обслуживания произвольного требования. Решение задач оптимизации работы подобных систем ориентировано, прежде всего, на сокращение среднего времени пребывания заявки в системе. Например, для повышения безопасности движения на перекрестках устанавливают автоматическое регулирование конфликтных потоков машин (светофорное регулирование). Простейшие автоматы-светофоры меняют свои сигналы или фазы периодически, независимо от случайного движения

транспорта, реализуя циклическое обслуживание различных потоков машин на перекрестке. Естественно, в этом случае выгодно добиваться такого управления длительностью сигналов, при котором среднее время ожидания начала переезда перекрестка произвольной машиной будет минимальным. В связи с этим определение оптимальной продолжительности фаз светофора с фиксированным ритмом переключения является основной проблемой при обеспечении оптимального управления транспортными потоками.

Настоящая статья продолжает публикацию автором результатов исследования неклассических систем обслуживания двух типов – циклических и приоритетных [1–3]. Обозначения, используемые в данной работе, также соответствуют обозначениям, принятым в [1–3]. Все рассматриваемые в задаче случайные объекты задаются на некотором полном вероятностном пространстве $(\Omega, F, P(\cdot))$. Здесь Ω – множество описаний элементарных исходов системы, F – множество всех наблюдаемых исходов и $P(A)$ – вероятность исхода $A \in F$. Ниже кратко напомним постановки обеих задач на физическом уровне.

В работах [1–3] рассматриваются системы массового обслуживания, которые являются математическими моделями управления m конфликтными транспортными потоками на пересечении магистралей в классе циклических алгоритмов и алгоритмов с приоритетом. Конфликтность потоков означает, что их нельзя суммировать, и это не позволяет свести задачу к более простому случаю с одним потоком. Под обслуживанием машин понимается их переезд через перекресток. Входные потоки $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ считаем пуассоновскими соответственно с

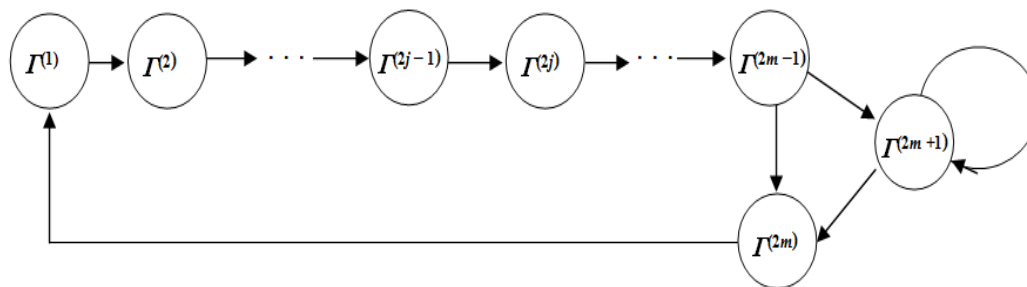


Рис. 1

интенсивностями $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$. Интенсивность $\lambda_j, j = \overline{1, m}$, определяет среднее число машин, поступивших к стоп-линии перекрестка за единицу времени. По каждому потоку разрешена очередь неограниченного объема.

В случае циклической системы все входные потоки равноправны. В случае приоритетной системы входные потоки можно разделить на три типа: Π_1 – поток малой интенсивности, заявки которого пользуются приоритетом при обслуживании, Π_2, \dots, Π_{m-1} – потоки средней интенсивности и без преимуществ по обслуживанию, Π_m – интенсивный поток без преимуществ по обслуживанию. Приоритет первого потока заключается в том, что если поступила хотя бы одна заявка по первому направлению, то она должна быть обслужена как можно быстрее, но не прерывая уже проводящееся обслуживание других требований.

Обслуживание машин (требований) из конфликтных потоков происходит в непересекающиеся промежутки времени. Кроме того, есть еще дополнительные промежутки времени – переналадки, во время которых продолжает обслуживаться тот же поток, что и на предыдущем основном этапе, но уже с большей интенсивностью.

Обслуживающее устройство в случае циклической системы имеет $2m$ состояний $\Gamma^{(1)}, \Gamma^{(2)}, \dots, \Gamma^{(2m)}$, причем физический смысл данных состояний состоит в следующем:

- $\Gamma^{(2j-1)}$ – состояние обслуживающего устройства, при котором пропускается поток Π_j с интенсивностью μ_j и не пропускаются остальные;
- $\Gamma^{(2j)}$ – состояние обслуживающего устройства, при котором пропускается поток Π_j с интенсивностью $\mu'_j \geq \mu_j$ и не пропускаются остальные.

В случае системы с приоритетом у обслуживающего устройства $2m + 1$ состояние, поскольку добавляется еще одно состояние $\Gamma^{(2m+1)}$, при котором продолжает обслуживаться поток Π_m с интенсивностью $\mu''_m > \mu'_m$.

Интенсивность μ_j (μ'_j) определяет число машин, пропускаемых в единицу времени в состоянии светофора $\Gamma^{(2j-1)}$ ($\Gamma^{(2j)}$) соответственно, а μ''_m определяет количество требований, обра-

батываемых в единицу времени в состоянии $\Gamma^{(2m+1)}$. Длительности состояний обслуживающего устройства $\Gamma^{(1)}, \Gamma^{(2)}, \dots, \Gamma^{(2m+1)}$ известны и равны $T_1, T_2, \dots, T_{2m+1}$ единиц времени.

В случае циклической системы работа обслуживающего устройства осуществляется по фиксированному алгоритму: $\Gamma^{(1)} \rightarrow \Gamma^{(2)} \rightarrow \dots \rightarrow \Gamma^{(2m-1)} \rightarrow \Gamma^{(2m)} \rightarrow \Gamma^{(1)} \rightarrow \dots$. Граф смены состояний обслуживающего устройства для приоритетной системы приведен на рисунке 1.

Обслуженные требования (машины) по каждому направлению образуют выходные потоки $\overline{\Pi}_1, \overline{\Pi}_2, \dots, \overline{\Pi}_m$.

В нашем случае для циклической и приоритетной систем обслуживания не удастся аналитически найти, например, стационарные законы распределения времени ожидания обслуживания заявки по потокам, длин очередей. Чтобы получить для изучаемых систем численные оценки этих и других характеристик, а также найти квазиоптимальные (близкие к оптимальным) параметры функционирования, была создана имитационная модель процесса обслуживания m конфликтных транспортных потоков.

1. Построение имитационной модели

В качестве примера рассмотрим для обеих систем ситуацию с обслуживанием двух потоков ($m = 2$).

При моделировании предполагалось, что машины обслуживаются последовательно по одной по мере поступления в систему. Вначале задавались следующие входные параметры:

- тип системы массового обслуживания (циклическая или приоритетная);
- длительности фаз обслуживающего устройства (светофора) (T_1, T_2, T_3, T_4 — для циклической системы и T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 — для приоритетной системы);
- длины $x_{1,0}, x_{2,0}$ очередей в начальный момент времени по первому и второму потокам;
- интенсивности λ_1 (λ_2) поступления машин на перекресток по первому (второму) потоку;

– интенсивности μ_1 (μ'_1) и μ_2 (μ'_2) обслуживания машин в зеленую (желтую) фазу светофора по первому и второму потокам соответственно, а также интенсивность μ''_2 обслуживания требований в дополнительном состоянии $\Gamma^{(5)}$ в случае приоритетной системы.

Моделирование включало в себя два описанных ниже этапа.

На первом этапе определялся момент перехода исследуемой системы в квазистационарный (близкий к стационарному) режим функционирования. Для определения начала квазистационарного режима при заданном наборе входных параметров одновременно наблюдались две системы заданного пользователем типа. В начальный момент времени очереди первой системы предполагались пустыми ($x_{1,0} = x_{2,0} = 0$), а длины очереди второй системы определялись по формулам:

$$x_{j,0} = [\lambda_j T], \quad j = 1, 2, \quad T = \sum_{r=1}^4 T_r.$$

Другими словами, начальные очереди второй системы $x_{1,0} > 0, x_{2,0} > 0$ задавались в предположении, что в течение одного цикла работы светофора ни по одному из потоков машины не пропускались. Далее все оценки, полученные для первой системы (с нулевыми начальными очередями), будем отмечать верхним индексом «0», а для второй системы (с положительными начальными очередями) — верхним индексом «+».

На i -м шаге ($i = 1, 2, 3, \dots$) функционирования обеих систем вычислялись значения $\tilde{M}\gamma_{j,i}^0$ и $\tilde{M}\gamma_{j,i}^+$, $j = 1, 2$, оценок среднего времени ожидания начала обслуживания машины по каждому потоку в первой и второй системах соответственно. Затем определялись значения γ_i^0 и γ_i^+ оценок среднего времени ожидания начала обслуживания произвольной машины в первой и второй системах соответственно, где

$$\gamma_i^0 = (\lambda_1 \tilde{M}\gamma_{1,i}^0 + \lambda_2 \tilde{M}\gamma_{2,i}^0) / (\lambda_1 + \lambda_2),$$

$$\gamma_i^+ = (\lambda_1 \tilde{M}\gamma_{1,i}^+ + \lambda_2 \tilde{M}\gamma_{2,i}^+) / (\lambda_1 + \lambda_2).$$

При выполнении условия $|\gamma_i^0 - \gamma_i^+| \geq \delta \gamma_i^0$ осуществлялся переход к $(i + 1)$ -му шагу. В противном случае, то есть когда выполнялось $|\gamma_i^0 - \gamma_i^+| < \delta \gamma_i^0$, предполагалось, что система достигла квазистационарного режима функционирования, и фиксировалось время наблюдения t_n , которое и являлось оценкой времени переходного процесса в системе. Постоянное число δ выбиралось из интервала $(0, 1)$, при моделировании использовалось $\delta = 0.05$. Стоит отме-

тить, что в квазистационарном режиме во всех обозначениях отсутствует индекс i , соответствующий времени.

На втором этапе моделировалась работа системы с нулевыми начальными очередями в квазистационарном режиме для нахождения следующих характеристик: а) значений $\tilde{M}\gamma_1$ и $\tilde{M}\gamma_2$ оценок среднего времени ожидания начала обслуживания машины по первому и второму потокам; б) значения γ^* оценки среднего времени ожидания начала обслуживания произвольной машины, где $\gamma^* = (\lambda_1 \tilde{M}\gamma_1 + \lambda_2 \tilde{M}\gamma_2) / (\lambda_1 + \lambda_2)$; в) значений $\tilde{M}k_1$ и $\tilde{M}k_2$ оценок средней длины очереди перед зеленым светом по первому и второму потокам, где случайная величина k_j , $j = 1, 2$, определяет очередь в квазистационарном режиме по j -му потоку непосредственно перед переходом обслуживающего устройства в состояние $\Gamma^{(2j-1)}$.

Для выходных потоков также находились статистические законы распределения и статистические числовые характеристики. В частности, для случайной величины θ_j , $j = 1, 2$, которая определяет в квазистационарном режиме число обслуженных машин за время, пока светофор находится в состоянии $\Gamma^{(2j-1)}$, вычислялись: статистический ряд распределения, выборочное математическое ожидание $\tilde{M}(\theta_j)$ и выборочная дисперсия $\tilde{D}(\theta_j)$. Все численные оценки были получены с точностью $\varepsilon = 0.01$ и надежностью $\alpha = 0.99$. При этом объем выборки n , например, для оценки γ^* составлял в среднем не менее 20000 наблюдений.

Моделирование производилось при значениях параметров, удовлетворяющих достаточным условиям существования стационарного движения в обеих системах, а именно при выполнении следующих неравенств:

$$\lambda_1 T - l_1 - l'_1 < 0,$$

$$\lambda_2 T - l_2 - l'_2 < 0, \quad T = \sum_{r=1}^4 T_r,$$

где l_j — максимально возможное число машин потока Π_j , которое может обслужиться системой за время работы фазы $\Gamma^{(2j-1)}$ светофора, а l'_j — это максимально возможное число машин потока Π_j , которое может обслужиться за время работы фазы $\Gamma^{(2j)}$ светофора, $j = 1, 2$.

Из теорем работ [1–3] следует, что условия существования стационарного режима при совпадении значений основных параметров систем не зависят от их алгоритмов управления, т.е. одинаковые как для циклической, так и для

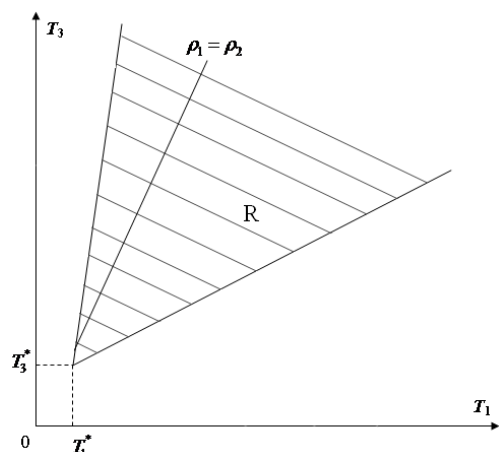


Рис. 2. Общий вид области допустимых значений параметров T_1 и T_3

приоритетной систем. Это нетипичный результат, поскольку в различных системах достаточные условия существования стационарного режима, как правило, отличаются [4].

Пусть $T_2 = T_4 = \tilde{c} = \text{const}$. Тогда из (1) с учетом того, что $l_j = [\mu_j T_{2j-1}]$ и $l'_j = [\mu'_j T_{2j}]$, $j = 1, 2$, нетрудно получить область допустимых значений для параметров T_1 и T_3 автомата-светофора:

$$R = \left\{ (T_1, T_3) : (\lambda_2 T_1 + \tilde{c}(2\lambda_2 - \mu'_2))(\mu_2 - \lambda_2)^{-1} < T_3 < ((\mu_1 - \lambda_1)T_1 + \mu'_1 \tilde{c})\lambda_1^{-1} - 2\tilde{c} \right\}$$

Стоит отметить, что данная область не является пустой в случае, когда система (1) не противоречива. Несложно видеть, что область представляет собой клиновидную часть плоскости, ограниченную прямыми $T_3 = (\lambda_2 T_1 + \tilde{c}(2\lambda_2 - \mu'_2))(\mu_2 - \lambda_2)^{-1}$ и $T_3 = ((\mu_1 - \lambda_1)T_1 + \mu'_1 \tilde{c})\lambda_1^{-1} - 2\tilde{c}$, пересекающимися в точке с координатами (T_1^*, T_3^*) , где

$$T_1^* = (\mu_1 \mu_2 - \lambda_1 \mu_2 - \mu_1 \lambda_2)^{-1} \times ((2\lambda_1 - \mu'_1)(\mu_2 - \lambda_2) - \mu'_2 \lambda_1) \tilde{c},$$

$$T_3^* = (\mu_1 \mu_2 - \lambda_1 \mu_2 - \mu_1 \lambda_2)^{-1} \times ((\mu_2 - \lambda_2)(2 - \lambda_1^{-1} \mu'_1) - \mu'_2) \times (\mu_1 - \lambda_1) \tilde{c} - (2 - \lambda_1^{-1} \mu'_1) \tilde{c}.$$

Загрузка ρ_j системы по j -му потоку находится следующим образом:

$$\rho_j = \lambda_j T (\mu_j T_{2j-1} + \mu'_j T_{2j})^{-1}, \quad j = 1, 2.$$

Общая загрузка системы определяется как $\rho = \max\{\rho_1, \rho_2\}$. При таком определении загрузки ограничения (1) на допустимые значения параметров могут быть представлены в виде неравенства $\rho < 1$. Общий вид области R представлен на рисунке 2. Каждая точка области R задает длительности T_1 и T_3 соответствующих фаз автомата-светофора.

2. Качественное исследование характеристик работы систем и возникающих в них выходных потоков

В ходе проведения эксперимента для систем обоих типов изучались различные ситуации в зависимости от значений параметров $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, \mu_1, \mu_2, \mu'_1, \mu'_2, \mu''_2, \lambda_1, \lambda_2$.

При получении значений численных оценок рассматривалось несколько вариантов длин периодов работы светофора. Из физических соображений значения величин T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 и T нельзя уменьшать ниже некоторых границ: $T_2 \geq 4, T_4 \geq 4, T_5 \geq 4, T_1 \geq T_2, T_3 \geq T_4$ и $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \geq 60$.

При существующих ограничениях и с учетом условия существования стационарного режима в обеих системах область поиска квазиоптимальных параметров T_1, T_3 сужается до области $R_c = \{(T_1, T_3) : T_1 \geq 4, T_3 \geq 4, T_1 + T_3 \geq 52, T_1 + T_3 \leq 112, \lambda_1(T_1 + T_3 + 8) - l_1 - l'_1 < 0, \lambda_2(T_1 + T_3 + 8) - l_2 - l'_2 < 0\}$. Выбирая точки в этой области, можно за конечное число шагов найти квазиоптимальные значения параметров T_1, T_3 и решить задачу оптимизации по критерию $\gamma^* \rightarrow \min$. Для квазиоптимальных параметров находились статистические законы распределения числа машин, обслуженных по первому и по второму направлениям, полигоны частот, соответствующие данным статистическим законам распределения, а также выборочное математическое ожидание и выборочная дисперсия.

В качестве примера рассмотрим функционирование систем обоих типов при некоторых фиксированных значениях входных параметров. В таблице 1 приведены значения оценок $\tilde{M}\gamma_1, \tilde{M}\gamma_2, \gamma^*, \tilde{M}k_1$ и $\tilde{M}k_2$ для различных длин периодов T в случае циклической системы при параметрах $T_2 = T_4 = 4, \mu_1 = \mu_2 = 1, \mu'_1 = \mu'_2 = 1.2, \lambda_1 = 0.7$ и $\lambda_2 = 0.1$.

Из таблицы 1 видно, что в случае циклической системы для интенсивностей входных потоков $\lambda_1 = 0.7$ и $\lambda_2 = 0.1$ минимальное значение оценки γ^* равно 9.202 и оно достигается при значениях $T = 60, T_1 = 46, T_3 = 6$, которые и являются квазиоптимальными.

При квазиоптимальных значениях параметров для первого выходного потока выборочное математическое ожидание $\tilde{M}(\theta_1) = 39.166$, а выборочная дисперсия $\tilde{D}(\theta_1) = 28.666$. Для второго потока соответственно $\tilde{M}(\theta_2) = 4.922$ и $\tilde{D}(\theta_2) = 1.904$.

Таблица 1

T	T_1	T_3	$\tilde{M}\gamma_1$	$\tilde{M}\gamma_2$	γ^*	$\tilde{M}\kappa_1$	$\tilde{M}\kappa_2$
100	86	6	4.533	83.168	14.363	8.325	12.811
	80	12	7.638	41.445	11.864	12.782	8.567
	70	22	17.511	30.995	19.197	22.561	7.604
	66	26	47.520	28.064	45.088	44.120	6.936
80	68	4	4.184	65.967	11.907	6.977	10.211
	64	8	6.409	35.056	10.002	10.011	7.046
	60	12	9.216	30.289	11.851	13.004	6.596
	56	16	13.356	25.492	14.873	17.567	6.134
60	48	4	5.761	40.054	10.108	8.432	6.028
	46	6	6.784	26.127	9.202	9.062	5.265
	44	8	8.204	23.326	10.095	10.558	4.868
	42	10	13.132	19.449	13.922	15.347	4.460

Таблица 2

y_1	0	...	22	23	24	25	26	27	28
p_1^*	0	...	0	0.001	0.003	0.004	0.005	0.007	0.001
y_1	29	30	31	32	33	34	35	36	37
p_1^*	0.013	0.022	0.023	0.029	0.040	0.044	0.054	0.050	0.065
y_1	38	39	40	41	42	43	44	45	46
p_1^*	0.066	0.055	0.065	0.056	0.057	0.061	0.052	0.043	0.174

В таблице 2 представлен статистический ряд распределения числа машин, обслуженных циклической системой при квазиоптимальных значениях параметров T_1, T_3 по первому потоку за время работы состояния $\Gamma^{(1)}$ светофора.

Здесь и далее через $y_j, j=1, 2$, обозначены значения случайной величины θ_j , а соответствующие им статистические вероятности – через p_j^* .

На рисунке 3 изображен полигон частот для статистического ряда распределения числа машин, обслуженных циклической системой при квазиоптимальных значениях параметров T, T_1, T_3 по второму потоку за время, пока светофор находился в состоянии $\Gamma^{(3)}$.

В таблице 3 приведены значения оценок $\tilde{M}\gamma_1, \tilde{M}\gamma_2, \gamma^*, \tilde{M}\kappa_1$ и $\tilde{M}\kappa_2$ для различных длин периодов T в случае приоритетной системы при фиксированных параметрах $T_5 = 5, T_2 = T_4 = 4, \mu_1 = \mu_2 = 1, \mu'_1 = \mu'_2 = 1.25, \mu''_2 = 1.4, \lambda_1 = 0.1$ и $\lambda_2 = 0.6$.

Из таблицы 3 следует, что в случае приоритетной системы при интенсивностях $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.6$ квазиоптимальными являются $T = 60, T_1 = 4, T_3 = 48$. При квазиоптимальных параметрах для выходного потока $\bar{\Pi}_1$ выборочное математическое ожидание $\tilde{M}(\theta_1) = 3.792$, выборочная дисперсия $\tilde{D}(\theta_1) = 0.325$. Для потока $\bar{\Pi}_2$ — $\tilde{M}(\theta_2) = 33.501$ и $\tilde{D}(\theta_2) = 31.076$.

На рисунке 4 изображен полигон частот для распределения числа машин, обслуженных приоритетной системой в случае квазиоптимальных значений параметров T, T_1, T_3 по первому потоку за время работы состояния $\Gamma^{(1)}$ светофора при интенсивностях $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.6$.

В таблице 4 приведен статистический ряд распределения числа машин, обслуженных приоритетной системой при квазиоптимальных значениях параметров T, T_1, T_3 по второму потоку за время, пока светофор находился в состоянии $\Gamma^{(3)}$.

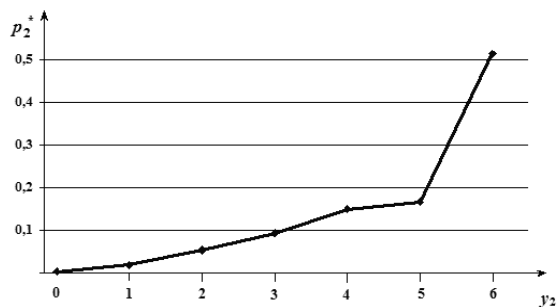


Рис. 3

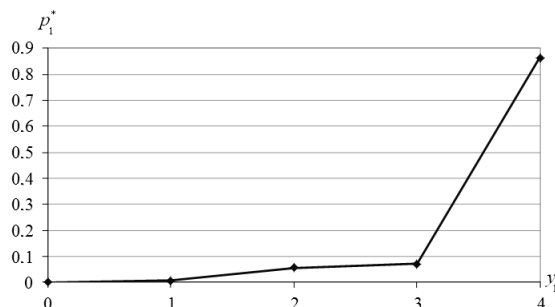


Рис. 4

Таблица 3

T	T_1	T_3	$\tilde{M}\gamma_1$	$\tilde{M}\gamma_2$	γ^*	$\tilde{M}\kappa_1$	$\tilde{M}\kappa_2$
100	6	86	80.0793	2.4328	13.5251	12.3912	6.9420
	12	80	70.4239	2.0754	11.8395	10.9421	5.6400
	22	70	31.1918	10.2983	13.2831	7.6060	16.5540
	32	60	23.6252	22.7197	22.8490	6.6580	25.3820
80	4	68	70.4239	2.0754	11.8395	10.9421	5.6400
	12	60	29.3273	5.5804	8.9728	6.4380	10.6880
	18	54	24.1045	9.7110	11.7672	5.9537	14.2797
	22	50	20.2058	13.2278	14.2246	5.3778	17.0202
60	4	48	28.3445	2.5093	6.2000	5.6600	5.5571
	8	44	22.2182	4.5887	7.1072	4.8748	8.0951
	12	40	18.3501	7.6819	9.2059	4.4583	11.0855
	16	36	15.5278	11.8975	12.4161	4.1174	14.1053

Таблица 4

y_2	0	...	18	19	20	21	22	23	24
p_2^*	0	...	0	0.004	0.010	0.012	0.008	0.022	0.050
y_2	25	26	27	28	29	30	31	32	33
p_2^*	0.046	0.068	0.078	0.058	0.062	0.082	0.088	0.094	0.068
y_2	34	35	36	37	38	39	40	41	42
p_2^*	0.048	0.056	0.040	0.040	0.016	0.016	0.014	0.006	0.002
y_2	43	44	45	46	47	48			
p_2^*	0.008	0.002	0.002	0	0.002	0			

Целесообразность применения алгоритма с упреждением обоснована в ряде работ, например в [5]. Как правило, данный алгоритм дает меньшее значение средней задержки произвольного требования, чем циклический алгоритм. Полученные результаты имитационного моделирования подтверждают тот факт, что приоритетная система в сравнении с циклической дает выигрыш по среднему времени ожидания начала обслуживания произвольной ма-

шины. Например, при одинаковых входных параметрах $T_2 = T_4 = 4$, $\mu_1 = \mu_2 = 1$, $\mu'_1 = \mu'_2 = 1.25$, $\lambda_1 = 0.1$, $\lambda_2 = 0.6$ в случае циклической системы наименьшее значение оценки γ^* равно 6.484, а в случае приоритетной — 6.200. Еще большего уменьшения оценки γ^* можно добиться, если увеличивать интенсивность обслуживания заявок приоритетного потока. Алгоритмы с упреждением широко используются

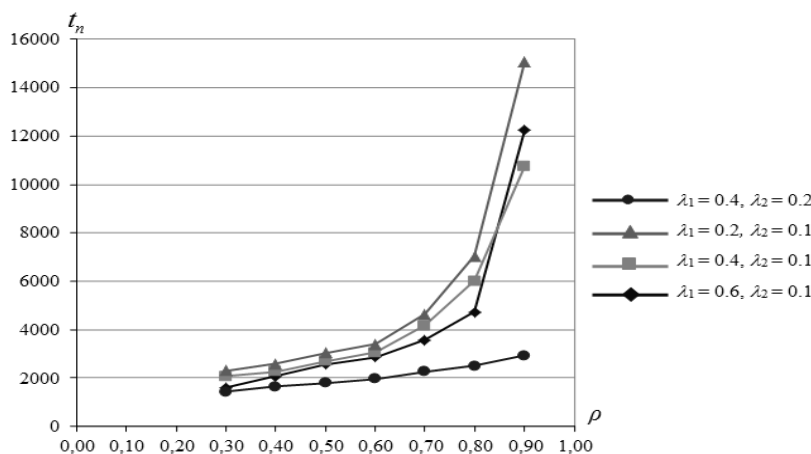


Рис. 5

для управления интенсивным потоком транспорта на основной магистрали и приоритетным малоинтенсивным потоком пешеходов, когда появление пешехода фиксируется установленной на перекрестке кнопкой вызова.

Данные численного эксперимента позволяют сделать вывод, что оценка γ^* среднего времени ожидания начала обслуживания произвольной заявки в системах обоих типов, как правило, уменьшается при сокращении периода работы обслуживающего устройства.

Также с помощью построенной имитационной модели изучался вопрос о продолжительности переходного процесса в системе после некоторого «стандартного» начального возмущения в виде задания размеров начальных очередей по каждому входному потоку. Методика оценивания длительности t_n переходного процесса изложена в разделе 1 данной статьи. С применением этой методики проведена серия экспериментов для двух изучаемых алгоритмов управления. Изменение оценки времени переходного процесса t_n в зависимости от загрузки ρ для случая циклической системы отражено на рисунке 5.

Анализ результатов с возможной поправкой на разброс оценок позволяет сделать вывод, что

с увеличением загрузки продолжительность переходного процесса в системе возрастает и наблюдается резкое его увеличение при больших загрузках системы.

Список литературы

1. Федоткин М.А., Пройдакова Е.В. Нелинейная модель процесса циклического обслуживания и выходные потоки // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2005. Т.13. № 3. С. 48–60.
2. Пройдакова Е.В., Федоткин М.А. Управление выходными потоками в системе с циклическим обслуживанием и переналадками // Автоматика и телемеханика. 2008. № 6. С. 96–107.
3. Пройдакова Е.В. Необходимые условия существования стационарного распределения выходных потоков в системе с приоритетным направлением // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 1. С. 167–172.
4. Зорин А.В. О достаточных условиях существования стационарного режима в одной системе обслуживания с разделением времени и ветвящимися вторичными потоками // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 2. С. 145–150.
5. Федоткин М.А. Процессы обслуживания и управляющие системы // Математические вопросы кибернетики. М.: Наука, 1996. Вып. 6. С. 51–70.

NUMERICAL STUDY OF CYCLIC AND PRIORITY QUEUING SYSTEMS WITH CONFLICTING FLOWS OF DEMANDS

E. V. Proydakova

The statistical analysis of output flows arising in the cyclic and priority queuing systems is carried out using the simulation method. Numerical estimates of some parameters of the performance of these systems are found. The duration of the transition process is studied.

Keywords: simulation model, cyclic queuing system, priority queuing system, conflict flows, output flow, steady-state regime, statistical numerical characteristics.