

УДК 004 942:519.876.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Кулинченко Г.В., к.т.н., доц., Щеголькова В.А., преп.

Шосткинский институт Сумского Государственного Университета

41100 Украина, Сумская область, г. Шостка, ул. Институтская 1.

E-mail: heorhy@rambler.ru

В данной статье выполняется поиск и анализ методов реализации интерфейса по обслуживанию запросов пользователей в распределенных информационных системах с целью оптимального формирования их структур по критерию отказоустойчивости. Особое внимание уделено моделированию в виде сетей Петри, что обеспечивает быструю и эффективную модификацию системы.

Ключевые слова: распределенная информационная система, СМО, отказоустойчивость, сеть Петри.

The search of methods of realization of interface on maintenance of queues of users in the distributed informative systems is executed in this paper. The analysis of the optimum forming of the interface structure on the criterion of failure resistance is provided. The special attention is spared to the design as the Petri networks, that provides a rapid and effective modification of the system.

Key words: the distributed informative system, queuing system, failure resistance, Petri networks.

Введение. Углубление тенденций развития Болонского процесса в Украине связано с расширением объемов материалов, изучаемых индивидуально и дистанционно. Одной из главных функций обучающего сервиса является предоставление информации, которая обычно формируется динамически на Web-сервере по http-запросу. Эффективность работы сервера зависит не только от количества и характера запросов, но и от структуры используемого интерфейса по обслуживанию запросов пользователей. Теоретические методы анализа на основе систем массового обслуживания (СМО) оперируют обобщенным параметром – уровнем загрузки канала [1, 2] и не учитывают характер запросов. Применение имитационного моделирования в чистом виде осложнено, так как требует создания асинхронной дискретно-временной модели [3, 4]. В связи с этим требуется разработка подхода, позволяющего изменять структуру системы в соответствии с характеристиками обрабатываемой информации. Аппаратурно-программная реализация структур на предварительных этапах разработки требует немалых затрат, поэтому на данном этапе целесообразно отработать методики и инструментарий по исследованию вариантов построения структур.

Анализ предыдущих исследований. Исследование функционирования сложных систем требует использования математического аппарата, учитывающего параллельный и асинхронный характер взаимодействия процессов в системе. Традиционным математическим средством являются математические модели СМО [1, 2, 5] и различные языки имитационного моделирования (Simula, GPSS, SMPL, Modula и т.д.) [6-8]

СМО не всегда позволяют отразить в модели особенности аппаратной и программной архитектуры моделируемых сложных объектов, не отражают иерархичность моделируемых систем, не обладают

достаточными свойствами модульности и расширяемости.

Возможности применения аналитических моделей ограничиваются тем, что существует ряд сложных дискретных систем, поведение которых трудно или вообще невозможно описать традиционными алгоритмическими средствами.

Понятно, что структуры, которые строятся для решения задач дистанционного обучения и тестового контроля, не могут быть изначально оптимальными. При этом критерии оптимальности выбрать сложно, так как в одних задачах главным является быстродействие, что влечет за собой аппаратную избыточность, а в других – отказоустойчивость, которая требует улучшения взаимодействия составляющих системы.

Время реакции (время ответа) в профессиональной среде дистанционного обучения не так критично, как, допустим, в системах реального времени, но при его увеличении у субъекта обучения складывается осознанное или неосознанное чувство неудовлетворенности системой.

Поэтому, рассматривая известные методы моделирования, проблематично без экспериментальных исследований определиться с критериями выбора этих методов.

Подходы, основанные на имитационном моделировании [9, 10], позволяют использовать экспертные оценки эффективности шагов по совершенствованию тех или иных параметров системы. На результаты имитационного моделирования зачастую накладывается субъективность оценок, поэтому на последующих этапах исследований приходится возвращаться к расчетам по аналитическим моделям. Уменьшить субъективность можно при использовании других методов моделирования [11], которые позволяют получить не только более наглядный результат, но подтвердить полученное ранее.

Цель работы. Подбор метода для моделирования структур, реализующих интерфейс пользователя в распределенных информационных системах, а также выбор инструмента для их анализа и эффективной оптимизации.

Материалы и результаты исследований. Рассмотрим один из распространенных вариантов организации распределенной системы обработки запросов пользователей [12,13]. В информационную систему поступают запросы в случайной последовательности. В течение некоторого времени поток запросов можно считать простейшим, распределенным по закону Пуассона [14]. Для упрощения предположим, что на вход системы подаются однотипные запросы, например, на формирование динамических страниц. Система состоит из центрального сервера, который принимает запросы и передает их по каналам связи на один из серверов-обработчиков. Допустим, что серверы-обработчики идентичны по выполняемым функциям.

Определим устройства, влияющие на производительность системы.

«Память» (П) объемом на N мест хранит инфор-

мацию о поступившем в запросе, пока не придет подтверждение о его обработке, находится на центральном сервере. Если свободного места в П нет, регистрируется отказ в выполнении запроса.

«Распределитель» (Р) передает запрос в один из свободных каналов связи, который находится на центральном сервере. Имеет ограниченную очередь типа «первый пришел – первый обслужен» (FCFS). В случае ее переполнения происходит отказ в выполнении запроса.

«Канал связи» передает запрос на сервер-обработчик, имеет ограниченную очередь типа FCFS. В случае ошибки прохождения запроса по каналу связи передача происходит повторно.

«Сервер» обрабатывает запрос, имеет ограниченную очередь типа FCFS. В зависимости от интенсивности нагрузки «Сервер» может отказать пользователю в обработке запроса. В любом случае информация о запросе, прошедшем по системе, направляется на центральный сервер, чтобы освободить место в устройстве «Память». Схема взаимодействия устройств представлена на рис. 1.

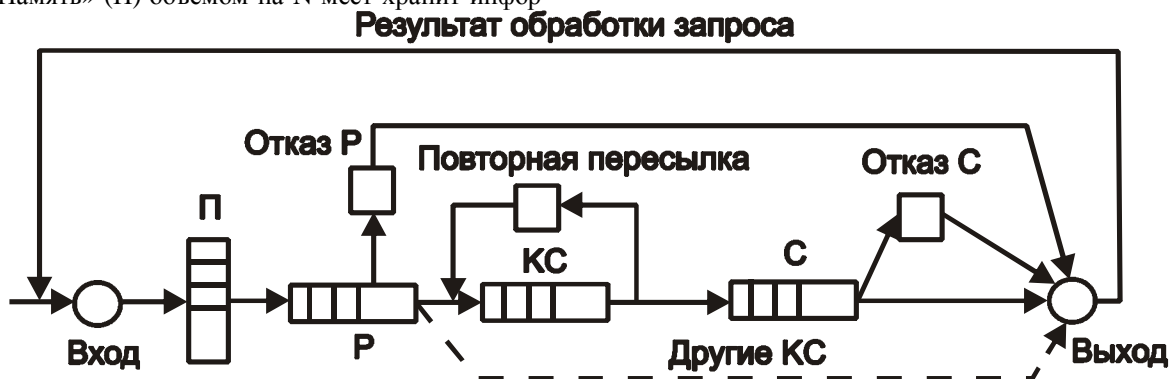


Рисунок 1 – Схема взаимодействия устройств

Данной задаче соответствует модель СМО с общим накопителем на N мест, отказами, блокировкой, пуассоновским потоком интенсивности m , с L каналами обработки заявок [5].

Определим вероятность отказа всей системы в зависимости от числа N мест накопителя. Состояние СМО на момент времени t определим по количеству заявок, находящихся в этот момент на каждом из устройств системы. Обозначим его в виде вектора $n = (k_0, m_0, l, l', r, r', r_0)$, где k_0 – количество заявок на Входе; m_0 – в Памяти; $l = (l_0, \dots, l_L)$ – в очередях и на обслуживании в Распределителе и Каналах связи; $l' = (l'_1, \dots, l'_L)$ – в очередях и на обслуживании на Серверах; $r = (r_0, \dots, r_L)$ – количество заявок, которым отказано в выполнении на Распределителе, а также, требующих повторной передачи по Каналам связи; $r' = (r'_1, \dots, r'_L)$ – количество заявок, которым отказано в выполнении на Серверах.

Обозначим также в виде вектора $m(n) = (m_{k_0}, m_{m_0}, m_l, m_{l'}, m_r, m_{r'}, m_{r_0})$ интенсивно-

сти обслуживания заявок на каждом из устройств соответственно. Зная вероятности P_{ji} попадания заявки с устройства с индексом j на устройство с индексом i , получим относительные интенсивности потоков $e(n) = (e_{k_0}, e_{m_0}, e_l, e_{l'}, e_r, e_{r'}, e_{r_0})$ на каждом устройстве, циркулирующих в стационарном режиме. Для этого решим систему линейных уравнений вида [5]:

$$e_i = P_{0i} + \sum_j e_j P_{ji}.$$

Далее рассчитаем стационарные вероятности нахождения системы в состояниях n , по формуле [5]:

$$P(n) = G(N) r_0^{k_0} \frac{b_0^{m_0} c_0^{r_0}}{m_0! r_0!} \prod_{i=0}^L a_i^{l_i} \prod_{i=1}^L a_i^{l'_i} \prod_{i=1}^L \frac{c_i^{r_i} c_i^{r'_i}}{r_i! r_i'},$$

которая определяется на основании вероятностей состояний устройств системы [5]:

$$r_0 = \frac{e_{k_0}}{m_{k_0}}, \quad b_0 = \frac{e_{m_0}}{m_{m_0}}, \quad c_0 = \frac{e_{r_0}}{m_{r_0}},$$

$$a_i = \frac{e_{l_i}}{m_{l_i}}, \quad a_i' = \frac{e_{l'_i}}{m_{l'_i}}, \quad c_i = \frac{e_{r_i}}{m_{r_i}}, \quad c_i' = \frac{e_{r'_i}}{m_{r'_i}}.$$

Константа $G(N)$ определяется из условия нормировки [5]:

$$G(N) = \sum_{k_0, m_0, l, l', r, r', r_0} P(k_0, m_0, l, l', r, r', r_0).$$

Следует отметить, что нахождение нормализующей константы требует $2NM(N+1)$ арифметических операций (N – количество мест в Памяти, M – количество устройств системы) [5]. Это говорит о значительном объеме вычислений для систем с большим количеством устройств.

Вероятность отказа в обслуживании принимаемого сообщения $P_{отк}(N)$ равна вероятности того, что на вход поступают заявки, а в устройстве П нет свободных мест. Исходя из этого, получим выражение для определения величины вероятности отказа как функции числа буферов памяти N [5]:

$$P_{отк}(N) = 1 - \frac{1}{m} \frac{G(N-1)}{G(N)}.$$

Для имитационного моделирования воспользуемся аппаратом высокоуровневых сетей Петри.

Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне. При этом определяются действия, которые происходят в системе, состоя-

ния, предшествовавшие этим действиям, а также состояния, которые будет принимать система после выполнения действий. Анализ результатов может сказать о том, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе не достижимы, выявить блокировки и конфликты.

Формально сеть Петри описывается набором [15]:

$$PN = \langle S, T, F, W, M_0 \rangle,$$

где $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ – конечное множество позиций; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное множество переходов; $F \subseteq S \times P \cup P \times S$ – множество ориентированных дуг; $W : F \rightarrow N$ – функция кратности дуг; $M_0 : S \rightarrow N$ – функция начальной разметки (наличие условий для запуска переходов).

С точки зрения наглядности восприятия особое место занимает представление сети Петри в виде графа. В данной работе оно выполнено с помощью визуального редактора Mрnet (<http://vv303.narod.ru/files/inst/mpnet.exe>) [16], который позволяет реализовывать временные сети. На рис.2 представлена функциональная схема одной линии обработки запросов пользователя.

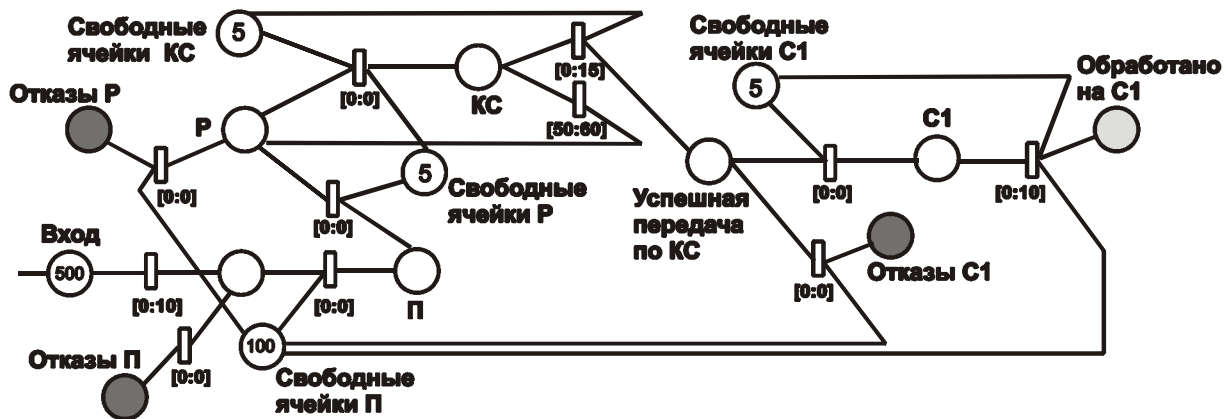


Рисунок 2 – Функциональная схема обработки запросов пользователя в сети Петри

Все единицы, указанные в сети Петри, – условные. Для переходов, длительность которых не учитывается, установлено время $\{0,0\}$. Для удобства будем считать, что все очереди имеют одинаковое количество мест, а серверы и каналы связи одинаковую производительность.

Построенная модель позволяет задавать следующие входные параметры: N – количество заявок, поступивших в систему за наблюдаемый период времени; N_p – количество ячеек П; $N_R, N_{КС}, N_C$ – количество мест в очередях Р, КС, С; t_{in} – время приема запроса на центральный сервер; $t_{КС}$ – среднее время передачи запроса по КС; t_C – среднее время обработки запроса на С.

В качестве выходных параметров можно получить количество отказов на каждом устройстве системы: $N_{отп}$ – отказы П, $N_{отр}$ – отказы Р, $N_{отс1}$ – от-

казы С, $N_{от}$ – отказы по всей системе, а также количество обработанных запросов: $N_{обс1}$ – запросы, обработанные каждым сервером; $N_{об}$ – запросы, обработанные системой в целом.

Используя выходные параметры, можно намного проще и быстрее, чем в вышеописанном аналитическом методе, получить вероятности отказов на любом устройстве системы. Так, вероятность отказа i -го устройства

$$P_{OT_i} = \frac{N_{oti}}{N},$$

где N_{oti} – количество отказов на i -ом устройстве системы за наблюдаемый период времени; N – количество запросов, поступивших на вход системы.

С помощью полученной модели проведем несколько экспериментов. Система ограничена четырьмя серверами: центральным сервером – распре-

делителем и тремя серверами-обработчиками. Пусть изменяемым параметром системы будет время приема запроса на центральный сервер, что характеризует его нагрузку. Остальные параметры зададим следующим образом:

$$N = 500, N_P = 100, N_R = 5, N_{KC} = 5, \\ N_C = 5, t_{KC} = 0.15, t_C = 0.10$$

Таблица 1 – Результаты экспериментальных данных при моделировании в сети Петри

№ п/п	t_{in}	N_{otP}	N_{otR}	N_{otC}	N_{OT}	N_{obC1}	N_{obC2}	N_{obC3}	N_{OB}
1	0..10	0	8	0	8	263	208	21	492
2	0..50	0	1	0	1	499	0	0	499

В первом эксперименте при времени поступления запроса на сервер $t_{in} = 0..10$ вероятность отказов по всей системе составляет $P_{OT} = \frac{8}{500} \approx 0,016$.

Причем можно заметить, что все отказы получены в очереди Распределителя, т.е. в данной конфигурации сети этот параметр является «узким местом». Также можно сделать выводы о загрузке Серверов. Первый Сервер обслуживает приблизительно 53% запросов, второй – 42%, а третий – 3% запросов.

Данные второго эксперимента показывают, что, если запросы поступают реже $t_{in} = 0..15$, вероятность отказов по всей системе составляет $P_{OT} = \frac{1}{500} \approx 0,002$. При этом со всем потоком заявок справляется первый сервер, что говорит об избыточности структуры.

Выводы. Проведенное исследование показывает, что моделирование интерфейса типа «Пользователь – распределенная система» с помощью сетей Петри не только возможно, но и обладает преимуществами по сравнению с другими методами.

Построение модели с помощью сетей Петри, во-первых, обладает свойством наглядности, что значительно облегчает восприятие и анализ сложных систем, позволяет визуально оценить критические состояния системы, такие как конфликты и блокировки.

Ко второму существенному преимуществу можно отнести то, что объем вычислений в сети Петри не увеличивается так быстро, как в других моделях при использовании аналитических методов.

Третьим неоспоримым «плюсом» использования сетей Петри по сравнению с аналитическими методами, является возможность быстрой модернизации системы, что позволяет использовать сеть для оптимизации структуры системы.

Следует также отметить, что сети Петри являются универсальным инструментом моделирования процессов в сложных системах, поэтому можно переносить полученные результаты на решение аналогичных технических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Whitt W. Performance of the queuing network analyzer, Bell Syst. Tech. J., vol. 62., pp. 2816-2843, July/Aug. 1980.
 2. Башарин Г. П., Бочаров П. П., Коган Я. А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и

методы расчета. – М.: Наука, 1989.

3. Исследование операций: Модели и применение: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмграби. – М.: Мир, 1981. – 712 с.

4. Марков А. А. Моделирование информационно-вычислительных процессов. – М.: Изд-во МГТУ им. Э. Баумана, 1999. – 360 с.

5. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988.

6. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World.-СПб.: БХВ - Петербург, 2004. – 368 с.

7. Киндлер Е. Языки моделирования: Пер. с чешск.-М.: Энергоатомиздат, 1985.

8. Попков Ю.С. Макросистемы и GRID-технологии: моделирование динамических стохастических сетей // Проблемы управления. — 2003. — № 8. — С. 10–20.

9. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. - М.: Наука, 1977.

10. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование.-СПб.: БХВ - Питер, 2004. – 848 с.

11. Бень А.П., Дмитриченко В.М., Литвиненко В.И. Сеть Петри в многоагентном адаптивном пользовательском интерфейсе //Труды Международной конференции Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ICIT'99) Переславль-Залесский, 6-9 декабря 1999 г.

12. Быков М.Ю. Модель процесса обработки запросов системой управления Web-сайтами // Вычислительные методы и программирование, – 2005, т.6.

13. Москвина С. М., Шабатура Ю. В., Штельмах I. М. Адаптивна система керування процесом обробки запитів у Web-системах // Матеріали XIII Міжнародної конференції „Автоматика – 2006”, Вінниця, 25-28 вересня 2006.

14. Зыбарев Ю.М., Чернев С.П. Спецификация функциональной модели информационного портала сетями Петри // Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ». – 2003, № 95.

15. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, – 1984.

16. Бескин А.П. Визуальная система имитационного моделирования на базе сетей Петри "MrNet" //Материалы конференции «ИММОД-2003», Санкт-Петербург, 23-24 октября 2003.

Статья поступила 20.03.2007 г.
 Рекомендовано к печати к.т.н., доц.
 Гученком Н.И.