

*СТЕНИН А.А.,  
ТИМОШИН Ю.А.,  
ШЕМСЕДИНОВ Т.Г.,  
КУРБАНОВ В.В.*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (КИС) СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ (SOA)**

В настоящей статье предложен подход к решению задачи моделирования процессов в компьютерных информационных системах с помощью нескольких, дополняющих друг друга моделей работы веб-сервера для анализа в системах с сервисно-ориентированной архитектурой (SOA). Для моделирования применены аппараты марковских цепей, теории массового обслуживания и раскрашенных сетей Петри.

A complex approach to the Computer Information Systems (CIS) modeling problem is presented in this article using multiple complementary models of the web-server for the systems analysis in Service-Oriented Architecture (SOA). An apparatus of Markov Chains, Queuing Theory and colored Petri nets (place/transition nets) are applied for modeling and analysis in mentioned problem.

### **1. Введение**

Эффективность работы современных компаний во многом зависит от организации КИС. Для того, чтобы определить, насколько информационная система соответствует требованиям ведения основных бизнес-процессов компании, необходимо провести анализ КИС.

Для анализа и моделирования компьютерных информационных систем класса «клиент – сервер» наибольшее распространение получили сети Петри и системы массового обслуживания [1].

Известно [2], что сети Петри предназначены для моделирования систем, которые состоят из множества взаимодействующих компонентов. Отсюда сети Петри делают возможным моделирование компьютерных информационных систем математическим представлением на основе теории комплектов, которая представляет собой простое расширение теории множеств. Целью представления компьютерных информационных систем в виде сети Петри для последующего анализа является получение информации о структуре и динамическом поведении компьютерной информационной системы [3].

Использование теории массового обслуживания [1,4] для анализа и моделирования информационных систем с сервисно-ориентированной архитектурой (SOA) [5], позволяет, помимо инструмента имитационного моделирования, использовать для исследования аппарат марковских цепей.

### **2. Постановка задачи**

Известно, что при моделировании и анализе КИС нельзя ограничиться созданием одной модели. Это связано с тем, что сервисно-ориентированные информационные системы имеют сложную конфигурацию взаимодействующих компонентов [6], учет и анализ характеристик которых в рамках одной модели весьма сложен и подчас нецелесообразен [7]. В связи с этим, актуальной является задача построения нескольких дополняющих друг друга моделей работы КИС для ее базовых компонентов, в частности двух моделей работы такого компонента КИС как Web-сервера, построенных на основе сетей Петри и систем массового обслуживания.

При разработке сложных корпоративных КИС для задач, относящихся к большим потокам обрабатываемых данных и высоконагруженным системам, часто используются только лишь статистические данные для расчетов параметров нагрузки и вычислительных ресурсов, таких, как количество потоков обработки запросов, объем оперативной памяти, длина очереди, ожидание и таймауты. Если речь идет о системах, не критичных к задержкам и отказам, то такие подходы приемлемы, но для задач, приближенных к реальному времени, производственных, транспортных и информационно-управляющих систем, связанных с финансовыми, медицинскими и другими критическими по времени и надежности задачами, требуется применение надежных моделей еще до введения систем в реальную

эксплуатацию [3,5]. Такие расчеты желательно проводить еще на этапе проектирования аппаратных и программных средств КИС, чтобы предусмотреть ожидаемые нагрузки, соответствующие расчетным характеристикам и метрикам компонентов ИС на архитектурном уровне. Это позволит применить горизонтальное и вертикальное масштабирование, подготовить соответствующие резервные мощности и перераспределить нагрузку в узких местах, внедрить альтернативные компоненты ИС (например, бездисковые СУБД класса ключ-значение, решить проблему блокирующих операций ввода/вывода, расширить вычислительные ресурсы или применить виртуализацию).

### 3. Решение задачи

Для разнородных заявок в рамках теории раскрашенных сетей Петри рассмотрим следующий частный случай модели Web-сервера, обслуживающего поток заявок от оконных приложений, АРМов (автоматизированных рабочих мест), веб-интерфейсов пользователей (HTML5, JavaScript) и других прикладных компонентов в корпоративной КИС, построенной в сервисно-ориентированной архитектуре SOA.

Модель содержит три источника заявок, формируемых пользователями клиентских терминалов, сервер приложений и сервер баз данных. Каждый источник генерирует поток заявок одного типа, включая заявки на получение статического содержимого сайта (изображения, статические HTML-страницы, стилиевые таблицы); заявки на получение информации из баз данных; заявки сохранения информации в базе данных. Имитационная модель информационной системы в виде раскрашенной стохастической сети Петри приведена на рис 1. Для моделирования обработки сервером заявок разного типа в модель введена раскраска в виде маркеров различной формы  $\langle \blacktriangledown \blacklozenge \blacksquare \bullet \rangle$ . Типы заявок воответствуют разным типам запрашиваемых URL, указывающих на статические ресурсы (файлы), динамические ресурсы (генерируемые сценариями) и программные обработчики AJAX/JSON (асинхронных вызовов JavaScript, объектной нотации и форматов сериализации объектов XML и JSON).

Маркеры, обозначенные кружком, отражают состояние занятости ресурса сервера при-

ложений – обработки запросов каналами сервера приложений.

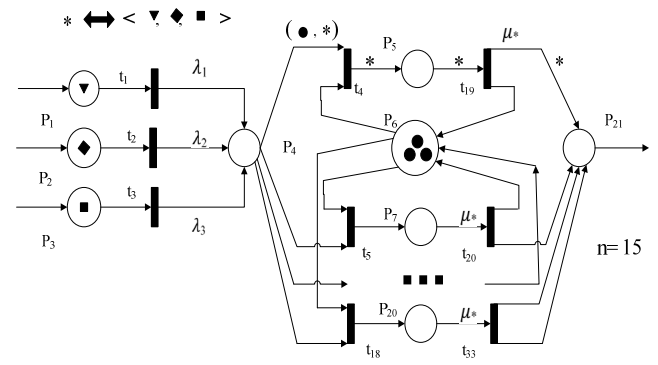


Рис.1. Модель Web- сервера в виде сети Петри

Переходы сети Петри  $t_1, t_2, t_3$ , ассоциированы с источником заявок, интенсивность поступления которых на входы сервера приложений  $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$  соответственно. Множество  $M$  каналов сервера разбито на подмножество загруженных каналов  $M_1$  и подмножество свободных каналов  $M_2$ . При этом  $M_1 \cap M_2 = \emptyset$  и  $M = (M_1 \cup M_2)$ . Моменты инициирования обработки заявок сервером приложений имитируются переходами  $t_4, t_5, \dots, t_{18}$ . При поступлении очередной заявки в момент времени  $\tau_j$  запускается канал обслуживания  $K_q \in M_2$  с наименьшим номером. Время запуска канала  $K_q$  определяется временем  $\tau_k^q = \tau_j$ . Окончание обслуживания заявок имитируется переходом  $t_{19}, \dots, t_{20}, t_{33}$ . Время окончания обслуживания с раскраской  $i$  каналом  $K_q$  задается выражением (1):

$$t_k^q = \tau_k^q + 1/\mu_i; \quad i=1,2,3, \quad (1)$$

где  $\mu_i$  – интенсивность обслуживания заявки с раскраской  $i$ .

В общем случае моделирование и анализ компьютерных информационных систем на базе сетей Петри очень сложен и трудоемок, потому требует использования специализированных программных продуктов. В частности, для этих целей часто используют специализированный пакет CPN TOOLS [8].

Как уже указывалось ранее, в отличие от сетей Петри, теория массового обслуживания позволяет помимо имитационного моделирования при определенных допущениях относительно входящих потоков запросов и обслуживания получить конечные формулы показателей функционирования компьютерных

информационных систем в аналитическом виде. Так, для простейших потоков запросов и обслуживания анализ компьютерных информационных систем можно выполнить на основе дискретных и непрерывных цепей Маркова [9]. В этом случае работу Web-сервера можно представить следующим графом состояний (рис.2), который соответствует однородности потока запросов и отсутствию раскраски в модели сети Петри, представленной на рис 1. Другими словами в модели циркулирует ординарный поток запросов с экспоненциальным распределением.

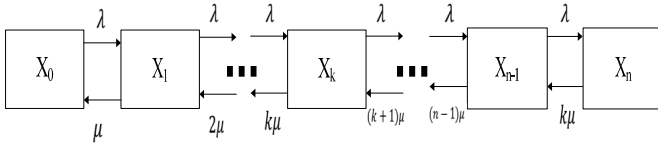


Рис. 2. Граф состояний Web-сервера

Работа такой системы сточки зрения теории массового обслуживания заключается в следующем.

На вход n-канальной системы массового обслуживания подается простейший поток заявок с интенсивностью  $\lambda$ . Интенсивность простейшего потока обслуживания каждого канала  $\mu$ . Если заявка застала все n каналов занятыми, то она получает отказ (покидает систему не обслуженной). Если заявка застала свободным хотя бы один канал, то она принимается к обслуживанию любым из свободных каналов и обслуживается до конца («терпеливая» заявка).

Согласно рис. 2 в системе возможно следующее множество состояний:

$x_0$  – все каналы свободны, на одна заявка не обслуживается;

$x_1$  – занят ровно один канал (какой именно – не важно), обслуживается одна заявка;

$x_k$  – занято ровно k каналов (какой именно – не важно), обслуживается k заявка;

$x_n$  – все n каналов заняты, обслуживается n заявок.

В рассмотренном ранее частном случае было принято, что  $n=15$ . Это означает, что Web-сервер настроен для работы с 15-тью одно-временными соединениями (каналами).

Для графа состояний Web- сервера (рис. 2) в соответствии с мнемоническим правилом составления системы дифференциальных уравнений для вероятностей состояний [4] получим:

чим:

$$\begin{cases} \dot{p}_0(t) = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ \dot{p}_k(t) = -[\lambda + k\mu]p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t) \\ \dot{p}_n(t) = -n\mu p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t), \end{cases} \quad (2)$$

где:  $k=1, n-1$ .

Система (2.2) обычно интегрируется при начальных условиях:

$$\begin{cases} p_0(0) = 1; \\ p_k(0) = 0; p_n(0) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы (2) при начальных условиях (3) удовлетворяет нормировочному условию:

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1, \quad (t \geq 0). \quad (4)$$

Уравнения (2) являются уравнениями Эрланга [4].

Заметим, что выражения (2) – (4) справедливы и для случая, когда потоки событий не являются простейшими, а представляют собой нестационарные пуассоновские потоки. В этом случае параметры  $\lambda=\lambda(t)$  и  $\mu=\mu(t)$  являются некоторыми функциями времени (например, сезонная распродажа).

Для нас представляет интерес стационарный режим работы такой системы, когда  $\lambda(t) = \text{const}$ ,  $\mu(t) = \text{const}$  при  $t \rightarrow \infty$ . В реальной жизни установившиеся поток запросов на достаточно длинном интервале времени. В математическом плане такой режим существует, т.к. наша система эргодична, и ему отвечает алгебраическая система уравнений:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda p_0 + \mu p_1; \\ 0 = -[\lambda + k\mu]p_k + \lambda p_{k-1} + (k+1)\mu p_{k+1}; \\ 0 = -n\mu p_n + \lambda p_{n-1}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $k = 1, \overline{n-1}$ .

Решая систему (5) совместно с (4) получаем формулу для вероятностей состояния рассматриваемой системы массового обслуживания:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{\sum_{k=0}^n \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k!}}, \quad (k = \overline{0, n}) \quad (6)$$

Введем обозначение:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu}$ ,

где  $\bar{\lambda}$  – равна среднему числу запросов, поступающих в систему за среднее время обслуживания одного запроса в одном канале. Учитывая выражения для  $\bar{\lambda}$  и умножая числитель и знаменатель (6) на  $e^{-\bar{\lambda}}$  получим:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda^k}{k!}\right) e^{-\lambda}}{\sum_{k=0}^n \left(\frac{\lambda^k}{k!}\right) e^{-\lambda}} = \frac{p(k_1 \bar{\lambda})}{R(n_1 \bar{\lambda})} \quad (7)$$

где  $p(k_1 \bar{\lambda})$  и  $R(n_1 \bar{\lambda})$  табличные функции пуассоновского распределения [4].

На основании формулы (7) можно получить целый ряд показателей работы компьютерной информационной системы: вероятность проста, вероятность отказа, среднее число занятости каналов и т. д.

В частности для анализа КИС актуальные следующие показатели:

1. Вероятность обслуживания запроса:

$$P_{\text{обсл.}} = \frac{R(n - 1, \bar{\lambda})}{R(n, \bar{\lambda})}$$

2. Среднее время полной загрузки системы:

$$t_{\text{н.з.}} = \frac{1}{n\bar{\lambda}}$$

3. Вероятность занятости хотя бы одного канала:

$$P_{\text{з.к.}} = \frac{P(n, \bar{\lambda})}{R(n, \bar{\lambda})}$$

4. Вероятность отказа:

$$P_{\text{отк.}} = 1 - P_{\text{обсл.}}$$

#### 4. Выводы

Предложенные в работе модели являются достаточно универсальными с точки зрения характеристик потоков заявок и обслуживания в КИС с SOA архитектурой. В некоторых случаях можно получить аналогические выражения для основных показателей работы высоконагруженных КИС.

Приведенные подходы можно применять в широком круге задач разработки и развертывания прикладных компьютерных информационных систем корпоративного уровня (внутренних КИС предприятий и организаций), в которых интенсивность потока заявок зависит от заранее известных параметров, таких, как количество пользователей, объем обрабатываемых данных и вычислительная мощность, необходимая для обслуживания элементарных операций в информационных процессах предприятия.

Для систем общего пользования и открытого доступа, таких, как коммуникационные службы и доступ к информационным ресурсам, возможны другие, более простые подходы, позволяющие найти линейные рабочие участки зависимости вычислительных мощностей от потока заявок. Такие задачи характеризуются малым количеством динамических параметров, влияющих на сервер и незначительными отклонениями в использовании ресурсов. Такие задачи не требуют применения архитектурного подхода к разработке ПО для соответствующих КИС, а позволяют решать вопросы устойчивости под нагрузками с применением шаблонов. Однако, сама интенсивность нагрузок в системах с открытым доступом может быть слабо предсказуема. И мы видим проблему в методах оценки и прогнозирования потока заявок в таких системах, как и в системах межкорпоративного взаимодействия.

В любом случае, аналитическое определение параметров ИС в задачах их проектирования, может во многих случаях дополнить или заменить эмпирические и статистические методы, широко использующиеся сейчас в отсутствии достаточно разработанных новых подходов, что показано на примере, рассмотренном в данной статье.

#### Список литературы

1. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. / Шелухин О.И. М.:Радиотехника.2005.–368с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Питерсон Дж. – М.: Мир. 1984
3. Звіт про НДР Тема № 2415-п Розробка принципів та засобів інтеграції розподілених інформаційних систем з динамічною інтерпретацією метамоделей обробки та управління на міжкорпоративному рівні. / О. Стенін Ю. Тимошин, В. Галаган, М. Ткач, В. Ярченко, Т. Шемседінов та інші, 2012. – 309с.
4. Исайченко Д. Измерение процессов управления ИТ / Дмитрий Исайченко – в журн. «Открытые системы», № 07, 2011, Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2011/07/13010493/>

5. Шемсєдинов Т. Слої ІС с динамической інтерпретацією метаданих. / Шемсєдинов Т.Г. Режим доступу: [http://blog.meta-systems.com.ua/2011/01/blog-post\\_28.html](http://blog.meta-systems.com.ua/2011/01/blog-post_28.html)
6. Стєнін О.А. Розробка фізичних і логічних метрик в задачі багатокритеріальної оптимізації інформаційного навантаження при структуризації корпоративного центру даних. / О.А.Стєнін, Ю.А.Тимошин, Т.Г.Шемсєдинов, С.О.Шуст. Адаптивні системи автоматичного управління – Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2009-Вип.12(32).-С.86-91
7. Питєр Брукс. Метрики для управління ІТ-услугами / Питєр Брукс; Пер. С англ. – М.: Альпина Бизнес Брукс, 2008. – 283с.
8. van der Aalst and. Modeling Business Processes – A Petri Net-Oriented Approach (using CPNTOOLS) / W.M.P. van der Aalst and C. Stahl, The MIT Press, 2011 (ISBN-13: 978-0-262-01538-7). Режим доступу: <http://cpntools.org/books/modeling>
9. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания / Овчаров Л.А.– М.: Машиностроение.1969.-324с