

УДК 004.75

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛИЕНТА С СЕРВЕРОМ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

*Яковлев Алексей Вячеславович**ТГТУ, Институт автоматики и информационных технологий, кафедра Информационных систем и защиты информации, к.т.н., доцент.**Васюкова Екатерина Олеговна**ТГТУ, Институт автоматики и информационных технологий, студент**Пеливан Михаил Анатольевич**ТГТУ, Институт автоматики и информационных технологий, студент*

**Аннотация:** рассматриваются вопросы моделирования информационных систем, реализуемых в архитектуре «клиент-сервер», на основе сетей Петри. Построенная сеть Петри представляет собой модель информационного взаимодействия, обладающую строгим математическим описанием, которое позволяет проводить анализ взаимодействия между пользователем и клиентом, а также клиентом и сервером. Исследования динамической модели сетевцентрической системы позволяют определить основные статические и динамические свойства, на основе которых можно сделать выводы о функционировании системы.

**Abstract:** examines the modelling of information systems implemented in the architecture “client-server”, on the basis of Petri nets. Built a Petri net is a model of information interaction, with strict mathematical description that allows the analysis of the interaction between the user and the client, and the client and the server. Research of dynamic models of network-centric systems allow to determine the basic static and dynamic properties on the basis of which conclusions can be drawn about the functioning of the system.

**Ключевые слова:** сетевцентрическая информационная система, сеть Петри, граф достижимости, архитектура «клиент сервер».

**Keywords:** network-centric information system, Petri net, reachability graph, architecture client-server.

Основой разработки сетевцентрических информационных систем является методы и инструментарий информационной логистики, клиент-серверная и сервисно-ориентированная архитектуры, а также возможности глобальной сети, сетевых и Web-технологий.

Сетевцентрическими называют системы, программное обеспечение (ПО), методы управления и прочие сферы, функционирующие в сетевой среде. Реализация распределенных многопользовательских информационных систем основывается на базе сетевой инфраструктуры, которая дает возможность интегрировать различные проблемно-ориентированные информационные системы, сервисы и информационные ресурсы, а также организацию общей точки доступа к ним различных групп пользователей, при этом, учитывая их полномочия и решаемые задачи информационной безопасности.

Одной из основных проблем качественного построения и стабильного функционирования информационных систем на всех стадиях их жизненного цикла является сбалансированность компонентов с учетом архитектурных, технологических решений и ресурсных характеристик сетевой и серверной среды, а также возможностей масштабирования. Решение задач данного типа, без развитых средств моделирования, затруднительно. Использование имитационного моделирования позволяет решать задачи анализа эффективности функционирования и синтеза сложных динамических систем [1–3].

Математические модели являются основой для современных систем имитационного моделирования, из множества моделей широкое распространение получил аппарат сетей Петри [2–5]. Наличие различных классов сетей Петри по-

зволяет осуществить на их основе моделирования сложных систем, представляя их в математическом (формализованном) виде, дающем возможность производить качественный анализ данных систем. Анализ сетей Петри и их реализация в виде компьютерной имитационной модели помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и оценить возможные варианты организации системы с целью нахождения наиболее эффективных решений.

Рассматриваемый класс распределенных информационных систем и информационных сред реализуется на базе сетевых технологий и технологий Интернет в архитектуре «клиент-сервер».

Модель такой архитектуры описывает процессы функционирования и взаимодействия клиентской и серверной подсистем. В общем случае, моделируемая информационная среда содержит некоторое множество клиентов и «серверный кластер», при этом каждый клиент может обращаться с запросами к одному или более серверам, а каждый сервер серверного кластера взаимодействует с множеством клиентов и другими серверами.

### Базовая модель в виде сети Петри

На текущий момент моделей, реализующих системы, подобного типа рассмотрены в [1, 2], но они не учитывают ряд особенностей межсетевое взаимодействия. Данное обстоятельство влияет на характеристики и качество модели.

Базовая модель сетевцентрической информационной системы, реализованной на базе сетевых технологий и технологий Интернет в архитектуре «клиент-сервер», представлена в виде сети Петри на рис. 1.

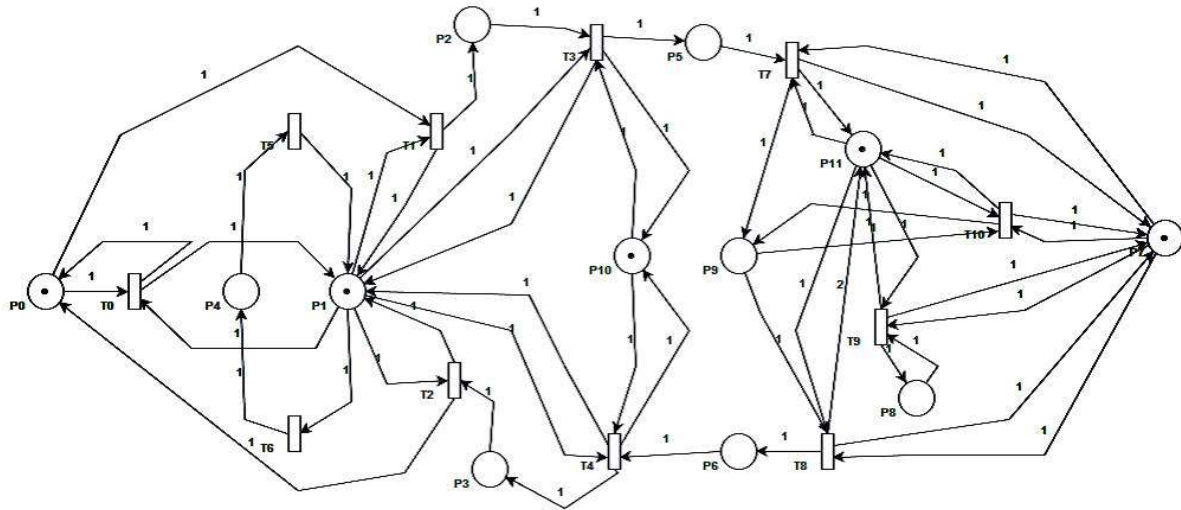


Рисунок 1. Взаимодействие компонентов сетевцентрической информационной системы

### Спецификация позиций сети Петри для модели информационной системы в архитектуре клиент-сервер.

Зададим сеть Петри в виде:

$$C = \{P, T, I, O, \mu\} \quad (1)$$

где  $P$  – множество позиций;  $T$  – множество переходов;  $I$  – входная функция;  $O$  – выходная функция;  $\mu_0$  – начальная маркировка.

конечное множество позиций:  $P = \{p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}\}$ .

конечное множество переходов:  $T = \{t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}\}$ .

множество входных позиций перехода:

$I = \{I(t_0), I(t_1), I(t_2), I(t_3), I(t_4), I(t_5), I(t_6), I(t_7), I(t_8), I(t_9), I(t_{10})\}$ .

$I(t_0) = \{p_0, p_1\}$ ,  $I(t_1) = \{p_0, p_1\}$ ,  $I(t_2) = \{p_1, p_3\}$ ,  $I(t_3) = \{p_1, p_2, p_{10}\}$ ,  $I(t_4) = \{p_1, p_6, p_{10}\}$ ,  $I(t_5) = \{p_4\}$ ,  $I(t_6) = \{p_1\}$ ,  $I(t_7) = \{p_5, p_7, p_{11}\}$ ,  $I(t_8) = \{p_7, p_9, p_{11}\}$ ,  $I(t_9) = \{p_7, p_8, p_{11}\}$ ,  $I(t_{10}) = \{p_7, p_9, p_{11}\}$ .

множество выходных позиций перехода:

$O = \{O(t_0), O(t_1), O(t_2), O(t_3), O(t_4), O(t_5), O(t_6), O(t_7), O(t_8), O(t_9), O(t_{10})\}$ .

$O(t_0) = \{p_0, p_1\}$ ,  $O(t_1) = \{p_1, p_2\}$ ,  $O(t_2) = \{p_0, p_1\}$ ,  $O(t_3) = \{p_1, p_5, p_{10}\}$ ,  $O(t_4) = \{p_1, p_3, p_{10}\}$ ,  $O(t_5) = \{p_1\}$ ,  $O(t_6) = \{p_4\}$ ,  $O(t_7) = \{p_7, p_9, p_{11}\}$ ,  $O(t_8) = \{p_6, p_7, p_{11}\}$ ,  $O(t_9) = \{p_7, p_8, p_{11}\}$ ,  $O(t_{10}) = \{p_7, p_9, p_{11}\}$ .

начальная маркировка:

$\mu_0 = \{1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1\}$

На основе приведенного описания состояний и переходов построена сеть Петри. Исходными данными для моделирования является начальная маркировка сети Петри. Формально, маркировка  $\mu$  сети Петри  $C = \{P, T, I, O, \mu\}$  – это функция, отображающая множество позиций  $P$  в множество неотрицательных чисел  $N$  [1-4]:

$$\mu: P \rightarrow N. \quad (2)$$

При начальной маркировке выполнены условия в позициях  $p_0, p_1, p_7, p_{10}$  и  $p_{11}$ , т.е. пользователь готов к началу сеанса, клиент и сервер находятся в режиме ожидания, а монитор безопасности готов открыть сессию для начала работы.

Полный анализ сети Петри проведем на основе рассмотрения ее динамических свойств, таких как достижимость, ограниченность, активность, обратимость, а также достижимость тупиковой разметки.

В данной сети Петри все маркеры характеризуются цветом (ID, Data). При этом ID определяет идентификатор клиента (целое число), Data – непосредственно полный набор данных передаваемой информации между «клиентом» и «сервером» в парах:

–  $Data = list\ of\ (ids, key, value)$ , где:  $ids$  – идентификатор набора данных в подсистеме клиента (целое число);  $key$  – название ключевого значения (строковый тип);  $value$  – значение поля (двоичный набор данных).

Время выполнения каждого перехода может быть определены фиксированными величинами, что фактически означает независимость продолжительности обработки запроса от сложности решаемой задачи, или рассматриваться в виде случайной величины. При этом наличие переходов  $t_9$  и  $t_{10}$  в модели позволяет учитывать загруженность сетевой инфраструктуры.

Достижимость. Маркировка  $\mu_n$  достижима из маркировки  $\mu_0$ , если существует последовательность запусков, приводящих от  $\mu_0$  к  $\mu_n$ . Построенная сеть Петри является достижимой. Дерево достижимости представляет все достижимые маркировки сети Петри, а также – все возможные последовательности запусков её переходов [2,5-7]. Граф достижимости разметок представлен на рисунке 2.

Таблица 1.

Спецификация элементов динамической модели

Обозн. элемента	Описание	Обозн. элемента	Описание
P <sub>0</sub>	Информация о каждом приложении «клиента». Наличие поля ID в цвете маркера позволяет отличать данные различных клиентов при моделировании, а ids в поле Data – наборы данных.	t <sub>0</sub>	Моделирует работу проблемной системы на стороне клиента, работа перехода определяется логикой «клиента». При срабатывании перехода происходит формирование набора записей Data, в зависимости от внешних условий или внутренних вычислений в переходе.
P <sub>1</sub>	Информация о программном модуле «клиента», реализующий активный клиентский процесс.	t <sub>1</sub>	Моделирует формирование запроса «клиента» к «серверу»
P <sub>2</sub>	Информационные сообщения сформированные «клиентом» для передачи серверной подсистеме. (при передаче маркер несет в себе информацию о «клиента», инициировавшего передачу, в поле ID и при необходимости, устанавливается ненулевое значение ids в Data.	t <sub>2</sub>	Моделирует процесс обработки «клиентом» сообщений, поступивших от «сервера»
P <sub>3</sub>	Сообщения, поступающие «клиенту» от «сервера»	t <sub>3</sub>	Реализует процесс передачи сообщений «клиента» серверной подсистеме
P <sub>4</sub>	Программный модуль из библиотеки «клиента»	t <sub>4</sub>	Реализует процесс передачи «клиентам» сообщений, сформированных «сервером»
P <sub>5</sub>	Сообщения, поступившие от «клиентов» к «серверу»	t <sub>5</sub>	Моделирует процесс смены состояния «клиента» из пассивного состояния в активное
P <sub>6</sub>	Информационные сообщения, сформированные «сервером» для «клиентов» (маркер содержит непустое поле ID, определяющее получателя данного сообщения)	t <sub>6</sub>	Моделирует процесс смены состояния «клиента» из активного состояния в пассивное
P <sub>7</sub>	Программный модуль из библиотеки «серверной подсистемы», соответствующий активному процессу	t <sub>7</sub>	Моделирует процесс приема сервером поступающих от «клиентов» сообщений и их первичной обработки
P <sub>8</sub>	Программные модули из библиотеки «серверной подсистемы»	t <sub>8</sub>	Выполнение процесса формирования «сервером» сообщений для «клиентов»
P <sub>9</sub>	Информация о каждом серверном приложении	t <sub>9</sub>	Моделирует работу внутрисистемных процессов серверной подсистемы по обработке запроса «клиента» с номером ID
P <sub>10</sub>	Ресурсные возможности сетевой инфраструктуры для работы с клиентом с номером ID (например, пропускная способность канала)	t <sub>10</sub>	Моделирует работу функциональной подсистемы проблемной системы, реализованной на серверном кластере
P <sub>11</sub>	Спецификации вычислительных ресурсов серверного кластера (характеристика архитектуры и производительности кластера)		

**Ограниченность.** Сеть Петри называется  $k$  – ограниченной, или просто ограниченной, если для любой маркировки, достижимой от маркировки  $\mu_0$ , количество фишек в любой позиции не превышает некоторого числа  $k$ , то есть  $\mu(p) \leq K$  для любого  $p$  и любой маркировки  $\mu$ , принадлежащей  $R(\mu_0)$ . Представленная сеть не накапливает маркеров больше 3 в позициях  $p_1$  и  $p_9$ .

**Активность.** Сеть Петри активна (маркировка  $\mu_0$  актив-

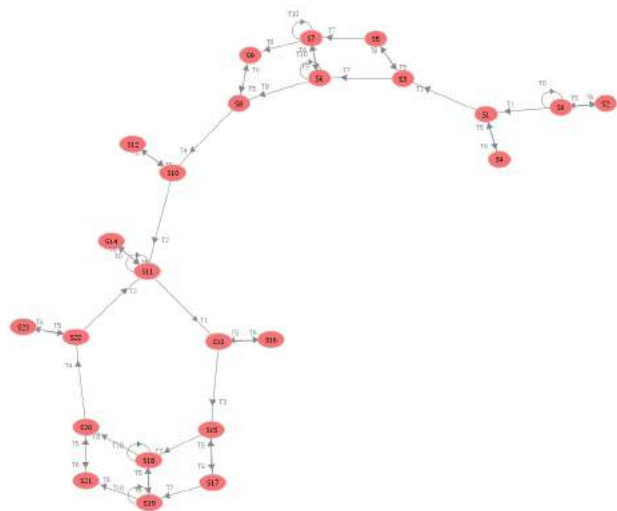


Рисунок 2. Граф достижимости разметок динамической модели сетцентрической информационной системы

В ходе исследования разработанной сети были выявлены основные статические и динамические свойства, на основании которых можно сделать вывод, что построенная сеть Петри является достижимой, ограниченной (со значением  $k = 3$ ) и активной. При этом она является необратимой и имеет тупиковую разметку.

Выполнением сети Петри управляют количество и распределение фишек в сети. Переход запускается удалением фишек из его входных позиций и образованием новых фишек, помещаемых в его выходные позиции.

Переход запускается только в том случае, когда он разрешен. Запуск перехода в целом заменяет маркировку  $\mu$  сети Петри на новую маркировку  $\mu'$ , определяемую следующим соотношением:

$$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j)). \quad (3)$$

Запуски осуществляются до тех пор, пока существует хотя бы один разрешенный переход. Когда не останется ни одного разрешенного перехода, выполнение прекращается [4].

На основе предложенной сети Петри для моделирования сетцентрических многопользовательских информационных систем в программной инструментальной системе Pipe 3.0 разработаны компьютерные модели, которые позволяют анализировать проектные решения с учетом параметров информационной среды (характеристик информационной системы, состава и архитектуры серверного кластера, емкости используемых каналов передачи данных и т.д.). Такой анализ позволяет дать оценку масштабированных вариантов проектных решений сбалансированных относительно основных компонент рассматриваемой информационной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зыбарев Ю.М., Чернев С.П. Спецификация функциональной модели информационного портала сетями Петри. Эл. журнал Исследовано в России, 2003.
2. Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой. М.: Научный Мир, 2004. 208 с.
3. Зыбарев Е.Ю., Зыбарев Ю.М. Сети Петри как язык спецификации дискретных систем. Сборник трудов «Теория вычислений и языки спецификаций». – Новосибирск: изд-во ИМ СО РАН, 1995. – С. 186-201.
4. Bernard P. Zeigler, Tag Gon Kim, Herbert, Theory of Modeling and Simulation. 2 edition, Academic Press, 2007.
5. Jensen K. Coloured Petri Nets – Berlin a. o.: Springer-Verlag, 1996.
6. Громов, Ю.Ю. Использование теории возможностей при оценке живучести сетевых информационных структур / Ю.Ю. Громов, А.А. Долгов, М.А. Хорохорин, Ю.В. Минин // Информация и безопасность. – Воронеж: Изд. ВГУ. – 2014. – № 1. Том 17. – С. 62-67. (65)
7. Елисеев, А.И. Исследование структур сетевых информационных систем на основе толерантности в отношении достижимости вершин графа / А.И. Елисеев, Ю.Ф. Мартенянов, В.Е. Подольский, В.Н. Шамкин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. – №3 – С. 60-62. (101)