

На правах рукописи

Горбунов Олег Евгеньевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
WORKFLOW-ПРОЦЕССОВ**

Специальности:

01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика;
05.13.17 – теоретические основы информатики

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ярославль – 2006

Работа выполнена на кафедре теоретической информатики Ярославского государственного университета им. П.Г.Демидова.

Научные руководители: кандидат физико-математических наук,
профессор
Соколов Валерий Анатольевич

доктор физико-математических наук,
профессор
Тимофеев Евгений Александрович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Ломазова Ирина Александровна

доктор физико-математических наук,
профессор
Угланов Алексей Владимирович

Ведущая организация – Ивановский государственный химико-технологический университет

Защита диссертации состоится «__» декабря 2006 г. в __ часов на заседании диссертационного совета Д 212.002.03 при Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова по адресу: 150008, г. Ярославль, ул. Союзная, 144.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова

Автореферат разослан «__» ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Яблокова С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования и актуальность темы.

Современные подходы к решению задач повышения эффективности систем управления в значительной мере основаны на новых информационных технологиях, важнейшей из которых является технология управления и оптимизации бизнес-процессов.

В настоящее время благодаря появлению мощной вычислительной техники, распространению сетевых технологий и развитию новых концепций в сфере ведения бизнеса (ERP - Enterprise Resource Planning, CRP - Capacity Requirements Planning, ...) растет интерес к электронным средствам поддержки ведения бизнеса. Об этом свидетельствует, в частности, появление нескольких стандартов на языки описания бизнес-процессов и на автоматическое взаимодействие приложений через Web-сервисы от таких компаний, как SAP AG, Sun Microsystems, IBM, Microsoft.

До недавнего времени не существовало специального средства поддержки управления workflow-процессами. Поэтому отдельные части бизнес-процесса реализовывались в разных прикладных программах и были относительно разрозненны. Взаимосвязь этих частей осуществлялась в самих программах, что нежелательно, так как при изменении бизнес-процесса приходится изменять программное обеспечение. Это трудоемко и негибко. Более того, похожие программные блоки необходимо реализовывать в нескольких программах и невозможно осуществлять мониторинг и контроль всего workflow-процесса как единого целого. Управление workflow-процессами предлагает новый подход к контролю, мониторингу, оптимизации и сопровождению бизнес-процессов. В настоящее время, с развитием вычислительных средств и коммуникаций, возникла возможность охватить всю систему целиком, рассмотрев составляющие ее процессы как единое целое, и выводя контур исполнительного управления на передний план.

Появились электронные системы управления бизнес-процессами. Многочисленные примеры внедрения подобных систем и значительного улучшения экономических показателей на предприятиях за рубежом говорят об очередном прорыве в сфере ведения бизнеса. Выделение бизнес-

процессов, их анализ, совершенствование и управление ими - колоссальный резерв для повышения конкурентоспособности компаний и эффективности их работы.

Идея представления организации в виде набора бизнес-процессов, а управления ее деятельностью - как управление бизнес-процессами стала распространяться в конце 80-х годов. Лучшие компании мира на практике доказали важность, эффективность, экономичность и прогрессивность перехода на клиентно-ориентированное производство и процессно-ориентированную структуру управления производством. Тогда же начали появляться стандарты ИСО серии 900х на деятельность организации, которые предполагают как минимум определение и документирование бизнес-процессов.

Сегодня система управления большинства российских предприятий имеет ярко выраженную функциональную направленность. В основе подобной организации управления лежит принцип разделения и специализации труда, описанный в работе А. Смита «Достояние народа», опубликованной еще в конце XVIII века. Однако в нынешних условиях этот подход к управлению оказывается неэффективным. Реальная деятельность не осуществляется в соответствии с линейно-функциональной иерархией - она пронизывает предприятие в виде набора бизнес-процессов, которые в большинстве своем никем не управляются, не описаны и не документированы. Пятьдесят лет назад и ранее, когда вычислительные средства поддержки информационной деятельности не были доступны, существование функционально-ориентированного подхода к управлению было не только оправданным, но и единственно возможным решением в управлении сложными объектами.

В настоящее время компании мирового уровня используют методы управления процессами в рамках реализации стратегии всеобщего управления качеством (TQM, Total Quality Management).

Переход на процессную ориентацию - та неизбежность, с которой придется столкнуться практически каждому среднему и крупному российскому предприятию, если оно хочет не только выжить, но и успешно развиваться. Для обеспечения конкурентоспособности российских

предприятий необходимо учитывать не только технологии вчерашнего дня, но и развивающиеся в текущий момент, разрабатывать новые.

В диссертации для управления бизнес-процессами предлагается применять различные классы сетей Петри. Такой подход позволяет использовать наглядные и математически строгие модели в качестве языка описания workflow-процессов. С другой стороны, теория сетей Петри предоставляет мощные средства анализа. Они позволяют проверить корректность моделей workflow-процессов во избежание негативных ситуаций (блокировок, бесконечно повторяющихся циклов и т.п.).

Для оценки производительности и оптимизации работы workflow-процессов в диссертации введен новый подкласс сетей Петри - $SRCWF^e$ -сети.

В диссертации для моделирования workflow-процессов используется несколько подклассов сетей Петри, позволяющих учитывать различные аспекты процесса.

Цели и задачи диссертационной работы.

Цель работы заключается в разработке методов моделирования workflow-процессов с учетом времени, их анализа и оптимизации.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить разные классы сетей Петри для моделирования workflow-процессов.
2. Определить и исследовать новый класс сетей Петри, позволяющий моделировать workflow-процессы с учетом ресурсов и времени.
3. Исследовать взаимосвязь моделей workflow-процессов с моделями теории массового обслуживания.
4. Разработать методы анализа и оптимизации моделей на основе теории массового обслуживания.
5. Провести эксперименты с тестовыми моделями workflow-процессов.
6. Проанализировать результаты экспериментов и проверить результаты анализа и эффективность оптимизации.

Методы исследования и формальный аппарат.

Методы исследования основаны на использовании аппарата сетей Петри, теории массового обслуживания, стохастических процессов. Исследование моделей workflow-процессов в программе ExSpect опирается на специфический язык программы с одноименным названием.

Научная новизна.

Научная новизна работы обуславливается тем, что теория бизнес-процессов только развивается. В связи с этим, отсутствует единая универсальная методология по моделированию и анализу бизнес-процессов, а существующие отдельные коммерческие продукты, использующие разные методологические базы наряду с достоинствами обладают и недостатками. В диссертации разработаны новые методы моделирования, анализа и оптимизации workflow-процессов с учетом ресурсов и времени. Получены результаты симуляции некоторых моделей workflow-процессов в программе ExSpect.

Практическая значимость работы.

Работа содержит описания новых формализмов сетей Петри для моделирования workflow-процессов. Проведены исследования по анализу и оптимизации таких моделей. Теоретические выводы подтверждены результатами численных экспериментов. Полученные результаты могут быть использованы для решения прикладных задач при разработке моделей workflow-процессов, а также для разработки блоков распределения ресурсов в системах управления workflow-процессами.

Апробация работы.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях:

Междисциплинарной (медицина, биология, физика, радиоэлектроника, химия, математика, информатика, педагогика ...) конференции с международным участием «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века для диагностики и лечения заболеваний человека» («НБИТТ-21»), г. Петрозаводск, 23-25 июня 2003 года.

Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития экономики», Иваново, 2003.

6-ой всероссийской научно-практической конференции «Стратегия бизнеса и социально-экономическое развитие региона», г.Ярославль, 27 ноября 2003 года.

III научно-практической конференции студентов и аспирантов (с международным участием) «Экономика и бизнес: позиция молодых ученых», г.Барнаул, 28-29 апреля 2004.

Полученные результаты обсуждались на научном семинаре «Моделирование и анализ информационных систем» факультета информатики и вычислительной техники Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова.

Публикация результатов работы.

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ. Из них 3 статьи в местных изданиях, 4 доклада на конференциях.

Личный вклад автора.

Выносимые на защиту результаты получены соискателем лично.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения и приложений. Работа изложена на 153 страницах и иллюстрирована 25 рисунками. Список литературы содержит 113 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение.

Во введении обосновывается актуальность выбранной тематики исследований, формулируется цель и поставленные задачи, характеризуются научная новизна и практическая ценность работы, дается краткий обзор диссертации.

Глава 1. Моделирование workflow-процессов специальными классами сетей Петри.

Глава посвящена моделированию workflow-процессов сетями Петри, широко используемым средством моделирования и анализа процессов.

В этой главе для того, чтобы учитывать время, необходимое для выполнения задач workflow-процесса, и вероятности различных альтернатив, введен новый подкласс сетей Петри - $SRCWF^e$ -сети. Он обобщает WF - и $RCWF$ -сети. Для введенных $SRCWF^e$ -сетей предлагаются методы оценки производительности и оптимизации их работы.

В главе вводятся различные специальные классы сетей Петри и рассматриваются вопросы моделирования и анализа workflow-процессов с их помощью.

Эти специальные классы сетей Петри опираются на более общие, использующиеся для моделирования широкого круга систем. Поэтому в **разделе 1.1** приводятся необходимые определения, обозначения и результаты для общих классов сетей Петри.

В **пункте 1.1.1** содержатся необходимые определения, связанные с обычными сетями Петри (с единичной кратностью дуг), так как все классы сетей Петри так или иначе опираются на них. Определяются свойства обычных сетей Петри, которые будут использоваться в диссертации. Приведенные свойства касаются как структуры сети (структурные свойства), так и ее поведения (поведенческие свойства).

В **пункте 1.1.2** описываются сети Петри с приоритетами и исследуются их свойства. Доказывается следующая теорема.

Теорема 1.1.

Если в некоторой PN_{pr} -сети N_{pr} со свободным выбором переходы из некоторого класса SC_i имеют разные приоритеты, то в этом классе существуют мертвые переходы.

В **пункте 1.1.3** приводятся основные направления расширения обычных сетей и определяются сети Петри высокого уровня.

В **пункте 1.1.4** описываются вложенные сети Петри.

В пункте 1.1.5 вводится класс стохастических сетей Петри с приоритетами SPN^e , сочетающий особенности $GSPN$ -сетей и интервальных сетей Петри.

В разделе 1.2 рассматриваются вопросы моделирования workflow-процессов специальным классом сетей Петри - WF -сетями. Этот класс позволяет моделировать структуру workflow-процесса и проверять его свойства и будет необходим в следующих разделах диссертации в качестве основы для построения более сложных классов сетей.

В пункте 1.2.1 приводятся все основные типы связи задач, используемые при описании структуры workflow-процесса.

В пункте 1.2.2 вводится подкласс сетей Петри, WF -сети, использующийся специально для моделирования workflow-процессов. Описывается метод моделирования и соответствие между WF -сетью и workflow-процессом. Определяется свойство надежности WF -сети, важнейшее свойство, предъявляемое к подобным моделям, и результаты по его доказательству. Перечисляются достоинства подхода к моделированию workflow-процессов на основе сетей Петри.

В пункте 1.2.3 описан пример workflow-процесса в виде WF -сети N_1 . Во многом этот пример является ключевым, так как далее в диссертации на его основе будут строиться другие модели и проводиться симуляция.

В разделе 1.3 рассматривается метод моделирования workflow-процессов с учетом ресурсов организации (машины, персонал и так далее), необходимых для выполнения задач процесса. Для этого в работе используются $RCWF$ -сети.

В пункте 1.3.2 приводятся пример модели workflow-процесса в виде $RCWF$ -сети N_2 .

В разделе 1.4 рассматривается метод моделирования workflow-процессов вложенными сетями Петри. Такие сети позволяют компактно представлять workflow-процессы со сложной многоуровневой структурой, где объекты, участвующие в процессе, имеют некоторую структуру, могут проявлять активность и изменять свои состояния.

Приводится характерный пример, когда такой подход целесообразен.

Раздел 1.5 посвящен новым методам моделирования workflow-процессов, позволяющим делать оценки производительности моделей и проводить их оптимизацию.

В пункте **1.5.1** вводится новый формализм - SWF^e -сети. Сочетая возможности WF -сетей, SWF^e -сети позволяют учитывать время, необходимое для выполнения задач workflow-процесса, и вероятности различных альтернатив.

Рассматривается свойство надежности SWF^e -сетей и доказывается следующая теорема.

Теорема 1.3

Если некоторая WF -сеть со свободным выбором $N = (P, T, F^+, F^-)$ надежна, то сеть с приоритетами $N' = (P', T', F^{+'}, F^{-'}, Pr')$: $P' = P, T' = T, F^{+'} = F^+, F^{-'} = F^-, \forall t_i', t_j' \in T': t_i' SC t_j' \Rightarrow Pr(t_i') = Pr(t_j')$ с той же начальной разметкой $m_i' = m_i$ надежна.

В пункте **1.5.2** вводится еще один новый формализм - $SRCWF^e$ -сети. В нем сочетаются возможности SWF^e - и $RCWF$ -сетей. $SRCWF^e$ -сети могут использоваться для моделирования, анализа и оптимизации workflow-процессов.

Таким образом, направление моделирования и анализа workflow-процессов получает в этой главе дальнейшее развитие.

Глава 2. Анализ и оптимизация моделей workflow-процессов в виде $SRCWF^e$ -сетей.

В этой главе изучаются различные подклассы $SRCWF^e$ -сетей для моделирования, анализа и оптимизации workflow-процессов.

Приводятся методы анализа и оптимизации этих сетей на основе теории массового обслуживания. Даются соответствующие алгоритмы. Для иллюстрации разбираются несколько моделей workflow-процессов.

Приводятся результаты симуляции этих моделей в пакете ExSpect.

Раздел 2.1 посвящен анализу $SRCWF^{e1}$ -сетей.

В пункте 2.1.1 вводятся $SRCWF^{el}$ - и $SRCWF_s^{el}$ - сети - подклассы $SRCWF^e$ - сетей. Приводятся необходимые определения и обозначения, используемые на протяжении всей главы.

В пункте 2.1.2 ставится задача оптимизации $SRCWF_s^{el}$ -сети, заключающаяся в минимизации суммы штрафов от простоя выполнения задач workflow-процесса из-за занятости ресурсов:

$$F = \sum_{t \in Tr} E(WT_t)PF(t) \rightarrow \min .$$

Здесь $E(WT_t)$ - математическое ожидание времени простоя перехода t из-за занятости необходимого ресурса, $PF(t)$ - функция штрафа, сопоставляющая каждому переходу штраф за простой в единицу времени.

В пункте 2.1.3 приводится пример $SRCWF_s^{el}$ -сети - сеть N_3 . В последующих разделах будут приведены результаты экспериментов с сетью N_3 .

В пункте 2.1.4 отмечается, что в силу несложной структуры $SRCWF_s^{el}$ -сетей, лежащая в их основе $RCWF$ -сеть надежна.

В разделе 2.2 приводятся методы анализа и оптимизации $SRCWF_p^{el}$ -сетей на основе теории массового обслуживания. В начале раздела проводится соответствие между $SRCWF_s^{el}$ -сетями и сетями массового обслуживания. Существующего математического аппарата теории массового обслуживания недостаточно для анализа подобных сетей в общем виде. Поэтому в диссертации предлагается определенным образом модифицировать структуру и изменить приоритеты переходов $SRCWF_s^{el}$ -сети, получив $SRCWF_p^{el}$ - сеть. Соответствующее преобразование приведено в пункте 2.2.1 и проиллюстрировано примером в пункте 2.2.2.

В пункте 2.2.3 приводятся некоторые дополнительные предположения, касающиеся $SRCWF_p^{el}$ -сетей, позволяющие в пункте 2.2.5 от сети массового обслуживания перейти к нескольким хорошо известным системам типа $M_n | M | 1$ и $M | M | \infty$.

В пункте 2.2.4 приводится алгоритм определения интенсивностей входящего потока заявок в каждой из систем исходя из структуры $SRCWF_p^{el}$ -сети. Приведем этот алгоритм.

Алгоритм определения интенсивностей поступления фишек в позиции из множества P_p $SRCWF_p^{el}$ -сети.

Через Q будем обозначать список позиций. Через k_p обозначается последний присвоенный позиции номер, через k_t - последний присвоенный переходу номер, v - текущая просматриваемая позиция, i - начальная позиция, c_t - текущий просматриваемый переход.

ВХОД: $SRCWF_p^{el}$ - сеть $N = (P_p \cup P_r \cup p_g, T \cup \{t_i, t_f\}, F_p^+ \cup F_r^+ \cup \{(t_i, i)(t_i, p_g)\}, F_p^- \cup F_r^- \cup \{(p_g, t_i)(f, t_f)\}, W, Pr)$.

ВЫХОД:

Список $I_p()$: $I_p(c_p)$ - интенсивность поступления фишек в позицию $c_p \in P_p$;

список $I_t()$: $I_t(c_t)$ - интенсивность потребления фишек переходом $c_t \in T \cup \{t_i\}$;

список $N_p()$: $N_p(c_p)$: - номер позиции c_p ;

список $N_t()$: $N_t(c_t)$: - номер перехода c_t .

ШАГ 1. Инициализация.

Из исходной $SRCWF_p^{el}$ - сети N выделим сеть $N' = (P_p, T \cup \{t_i\}, F_p^+ \cup \{(t_i, i)\}, F_p^-, W, Pr)$. Все шаги алгоритма будут выполняться на N' .

$k_t := 1; k_p := 1; N_t(t_i) := k_t; I_t(t_i) = W(t_i); N_p(i) := k_p; I_p(i) = W(t_i)$; поместить в Q позицию i .

ШАГ 2. Выбор очередной вершины.

Если список Q не пуст, присвоить v очередной элемент из Q , такой, что все его входные переходы помечены, и выполнить ШАГ 3. Если список пуст, то КОНЕЦ.

ШАГ 3. Обработка смежных позиций.

Обозначим $S_v = \sum_{t \in v} W(t)$.

Для всех позиций w , таких, что $vSCCw$, выполнить следующие действия.

- Введем вспомогательную переменную $C_{vw} := 0$. Для каждого $t \in (v \bullet \cap \bullet w) : k_t := k_t + 1; N_t(t) := k_t; C_{vw} := C_{vw} + W(t); I_t(t) := I_p(v) \frac{W(t)}{S_v};$
 - $k_p := k_p + 1; N_p(w) := k_p; I_p(w) := I_p(v) \frac{C_{vw}}{S_v};$ поместить w в Q , если w не помечена;
 - $I_p(w) := I_p(w) + I_p(v) \frac{C_{vw}}{S_v}$, если w помечена.

ШАГ 4. Переход к следующей вершине.

Удалить очередную позицию из Q и вернуться к ШАГУ 2.

КОНЕЦ.

В пункте 2.2.6 дается алгоритм вычисления суммы штрафов от простоя выполнения задач workflow-процесса из-за занятости ресурсов и среднего времени прохождения через сеть. В этом алгоритме используются результаты работы алгоритма

В этом алгоритме используются результаты работы алгоритма определения интенсивностей поступления фишек в позиции сети, а именно, списки $N_t()$ и $I_t()$. Заметим, что все переходы из $T \cup \{t_i\}$ будут помечены числами, которые будут занесены в список $N_t()$:

$N_t(t)$ - номер перехода t . Размер списка $N_t()$ равен $|T \cup \{t_i\}| = n + 1$.

$I_t(t)$ - интенсивность потребления фишек переходом t .

Алгоритм определения значений $E(WT_i)$, F и H $SRCWF_p^{el}$ - сети.

ВХОД:

$SRCWF_p^{el}$ - сеть $N = (P_p \cup P_r \cup p_g, T \cup \{t_i, t_f\})$,

$F_p^+ \cup F_r^+ \cup \{(t_i, i)(t_i, p_g)\}, F_p^- \cup F_r^- \cup \{(p_g, t_i)(f, t_f)\}, W, Pr$.

ВЫХОД:

$E(WT_t), t \in T_r$, - среднее время ожидания срабатывания перехода t из-за занятости ресурса;

F - значение функции штрафа;

H - среднее время прохождения фишек через сеть.

ШАГ 1. Инициализация.

Из исходной $SRCWF_p^{el}$ -сети N выделим сеть $N' = (P_p, T \cup \{t_i\}, F_p^+ \cup \{(t_i, i)\}, F_p^-, W, Pr)$. Все шаги алгоритма будут выполняться на N' .

Обозначим $\lambda = W(t_i)$ - интенсивность поступления фишек в позицию i .

Применим алгоритм определения интенсивностей поступления фишек в позиции для сети N' .

ШАГ 2. Перебор всех переходов из T .

Для j от 2 до $n+1$

Начало

Пусть $N_t(t) = j$.

- если $t \in T_r$, то вычислить $E(WT_t)$ по формуле (1).

Пусть $t \in T_{ry}$ и имеет обозначение $t_{(y)(x)}$. Тогда в (1):

- значение приоритетного класса k равно приоритету перехода $Pr(t_{(y)(x)})$;

- число типов заявок n равно $|T_{ry}| = n_y$;

- $\lambda_{(i)}$ равна $I_t(t_z)$, где t_z - переход из T_{ry} с приоритетом i ;

$\overline{x_{(i)}^2}$ равен $\frac{2}{W^2(t_z)} = \frac{2}{W^2(t_{(y)(x)})}$, где t_z - переход из T_{ry}

с приоритетом i .

$$F := F + PF(t_{(y)(x)})E(WT_{t_{(y)(x)}});$$

$$H := H + \frac{I_t(t_{(y)(x)})}{\lambda} E(WT_{t_{(y)(x)}});$$

- если $t \in T/T_r$ и $Pr(t) = 0$, то

$$H := H + \frac{I_t(t_{(y)(x)})}{\lambda} \frac{1}{W(t_{(y)(x)})};$$

Конец.

КОНЕЦ.

Здесь формула (1) – это формула для средних времен ожидания заявок из приоритетного класса k системы $M_n | G_n | 1$ с относительными приоритетами. Она приведена в приложении В.

Алгоритм определения приоритетов у переходов из множества T_r SRCWF $_p^{el}$ - сети для минимизации суммы штрафа $F = \sum_{t \in T_r} E(WT_t)PF(t) \rightarrow \min$

приводится в пункте 2.2.7.

Алгоритм оптимизации функции F SRCWF $_p^{el}$ - сети.

ВХОД:

SRCWF $_p^{el}$ - сеть $N = (P_p \cup P_r \cup p_g, T \cup \{t_i, t_f\})$,

$F_p^+ \cup F_r^+ \cup \{(t_i, i)(t_i, p_g)\}, F_p^- \cup F_r^- \cup \{(p_g, t_i)(f, t_f)\}, W, Pr$).

ВЫХОД:

SRCWF $_p^{el}$ - сеть N с модифицированными приоритетами у переходов из T_r .

ШАГ 1. Инициализация.

Применим алгоритм определения интенсивностей поступления фишек в позиции сети N . В результате будет построен список $I_t()$: $I_t(t)$ - интенсивность потребления фишек переходом $t \in T \cup \{t_i\}$;

Найдем множества $T_{r_1}, \dots, T_{r_s}; |T_{r_1}| = n_1, \dots, |T_{r_s}| = n_s$, и соответствующие системы массового обслуживания $\varphi_1, \dots, \varphi_s$ типа $M_{n_i} | M | 1$ с дисциплинами обслуживания в порядке приоритета.

ШАГ 2.

Для каждой системы φ_j выполнить следующее.

Упорядочим все переходы $t_{(j)(1)}, \dots, t_{(j)(n_j)}$ в порядке убывания значения $\frac{PF(t_{(j)(i)})}{I_t(t_{(j)(i)})/W(t_{(j)(i)})}$. В результате каждый переход получит некоторый номер $V(t_{(j)(i)})$.

Присвоим переходу $t_{(j)(i)}$ приоритет равный $V(t_{(j)(i)})$: $Pr(t_{(j)(i)})V(t_{(j)(i)})$.

КОНЕЦ.

В разделе 2.3 приведены результаты экспериментов с моделями workflow-процессов в виде $SRCWF_s^{el}$ - и $SRCWF_p^{el}$ - сетей в пакете ExSpect. Для этого в пакете была разработана библиотека для удобного моделирования задач workflow-процесса.

Эксперименты проводились с тремя моделями: $SRCWF_s^{el}$ - сетью N_3 , полученной из нее $SRCWF_p^{el}$ - сетью N_4 со случайно выбранными приоритетами из T_r и сетью N_5 с приоритетами, полученными с помощью алгоритма из пункта 2.2.7.

Выполнялось 1000 серий экспериментов. Длительность каждой серии - 480 временных единиц. Если в качестве временной единицы считать минуту, то длительность эксперимента соответствует около 3,9 годам, если продолжительность рабочего дня считать равной 480 минутам, а количество рабочих дней в году равным 255.

Сеть N_5 в пакете ExSpect изображена на Рис.1.

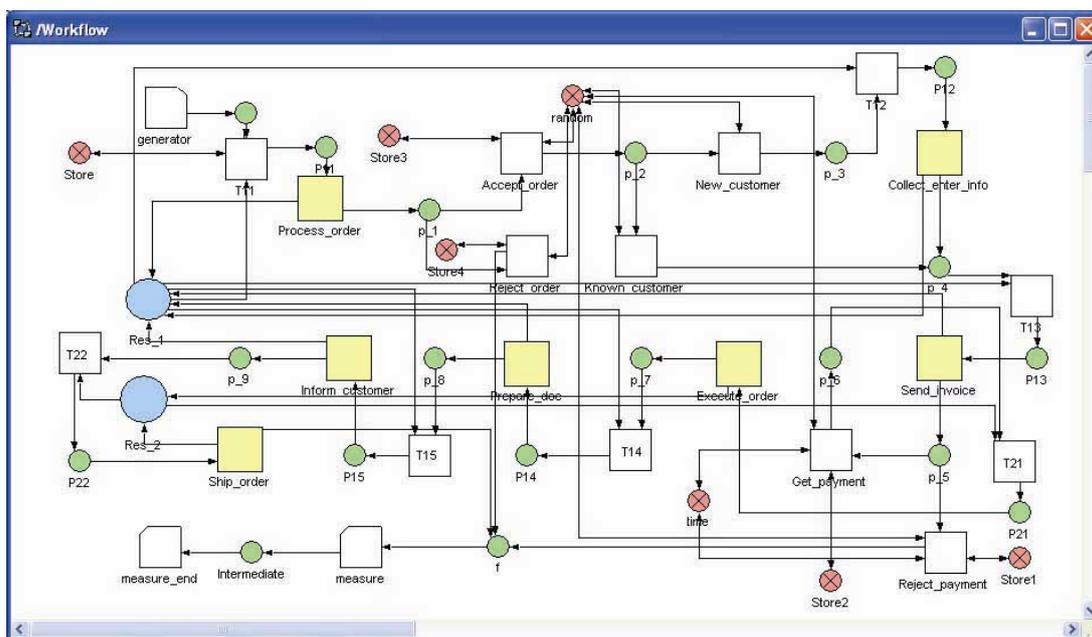


Рис.1 Сеть N_5 в пакете ExSpect.

Результаты экспериментов с сетью N_5 показали, что среднее время прохождения фишек через сеть примерно на 0,1333 временных единиц (порядка 1,3 %) меньше значения, полученного с помощью алгоритма из

раздела 2.2.6. Средний штраф примерно на 0,5023 (порядка 1,1 %) больше значения, полученного с помощью этого алгоритма.

Использование приоритетов, полученных с помощью алгоритма минимизации штрафов из пункта 2.2.7, дает сокращение среднего штрафа примерно на 8,7562 (порядка 15,6 %) по сравнению с аналогичной сетью N_3 без приоритетов. Среднее время прохождения фишек через сеть N_5 сократилось примерно на 0,7141 временных единиц (порядка 6,6 %).

На рис. 2 приведены значения среднего времени прохождения через сеть N_5 по сериям экспериментов.

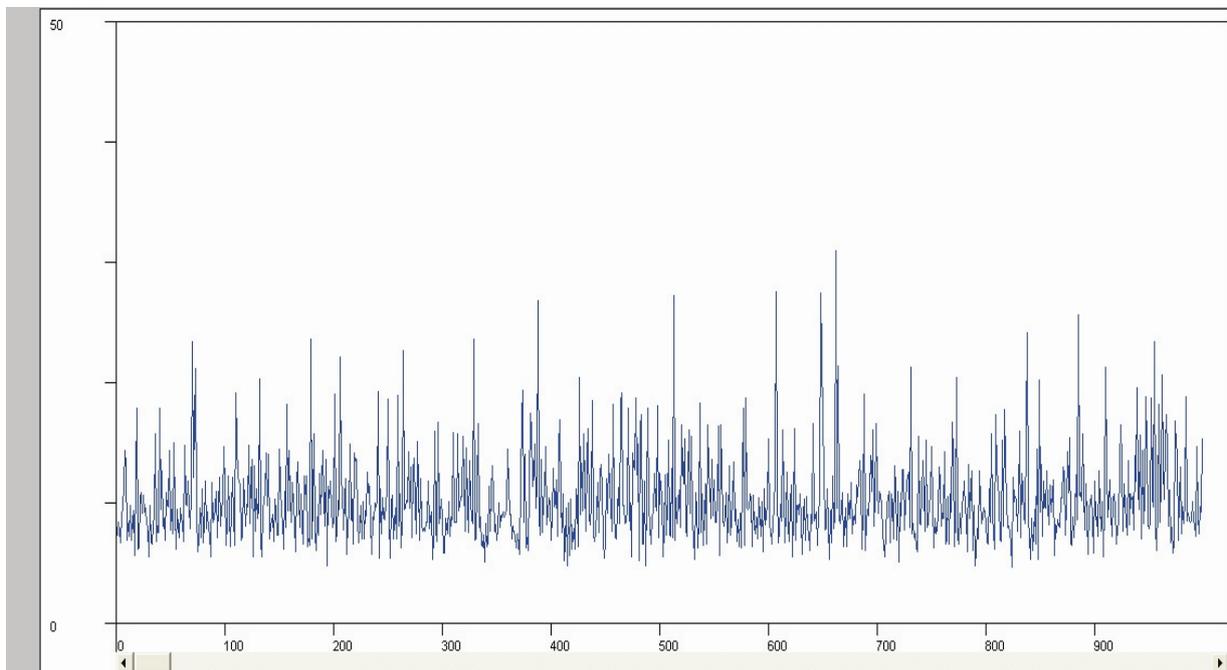


Рис. 2. Среднее время прохождения через сеть N_5 по сериям экспериментов.

Использование приоритетов, полученных с помощью алгоритма минимизации штрафов из раздела 2.2.7, дает сокращение среднего штрафа примерно на 26,2195 (порядка 35,7 %) по сравнению с сетью N_4 с приоритетами, выбранными случайным образом. Среднее время прохождения фишек через сеть N_5 сократилось примерно на 0,8357 временных единиц (порядка 7,6 %).

На рис. 3 приведены значения среднего времени прохождения через N_4 по сериям экспериментов.

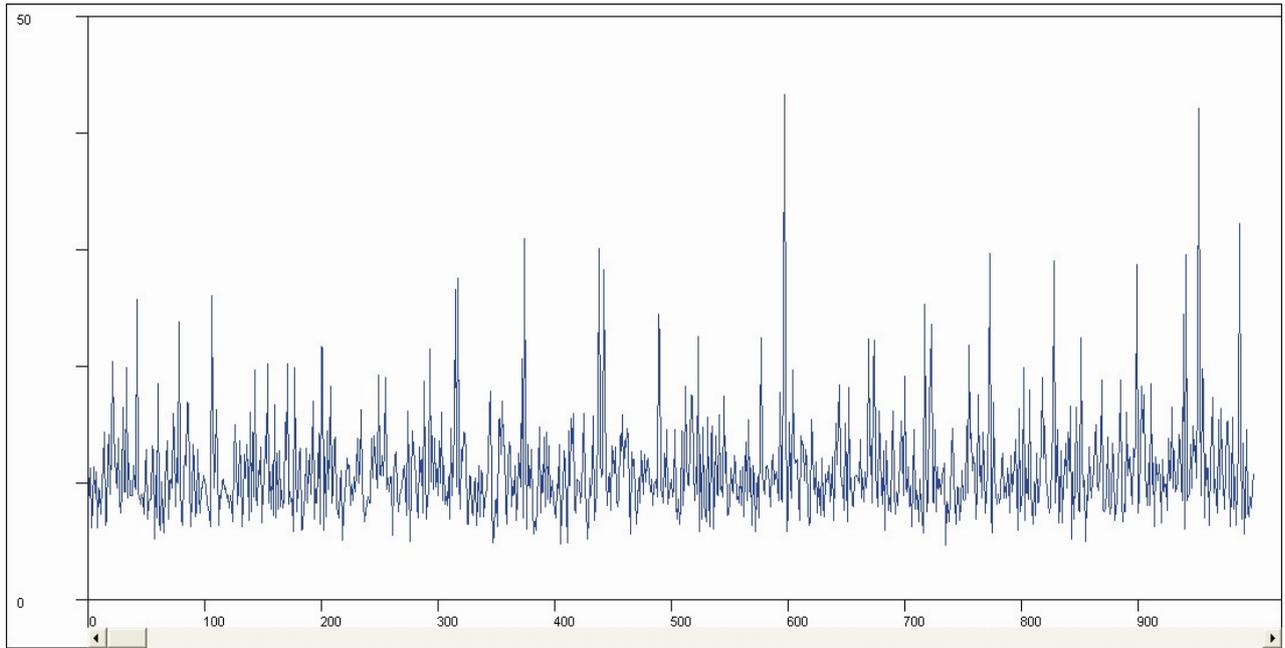


Рис. 3. Среднее время прохождения через сеть N_4 по сериям экспериментов.

На рис. 4 приведены значения среднего времени прохождения через сеть N_3 по сериям экспериментов.

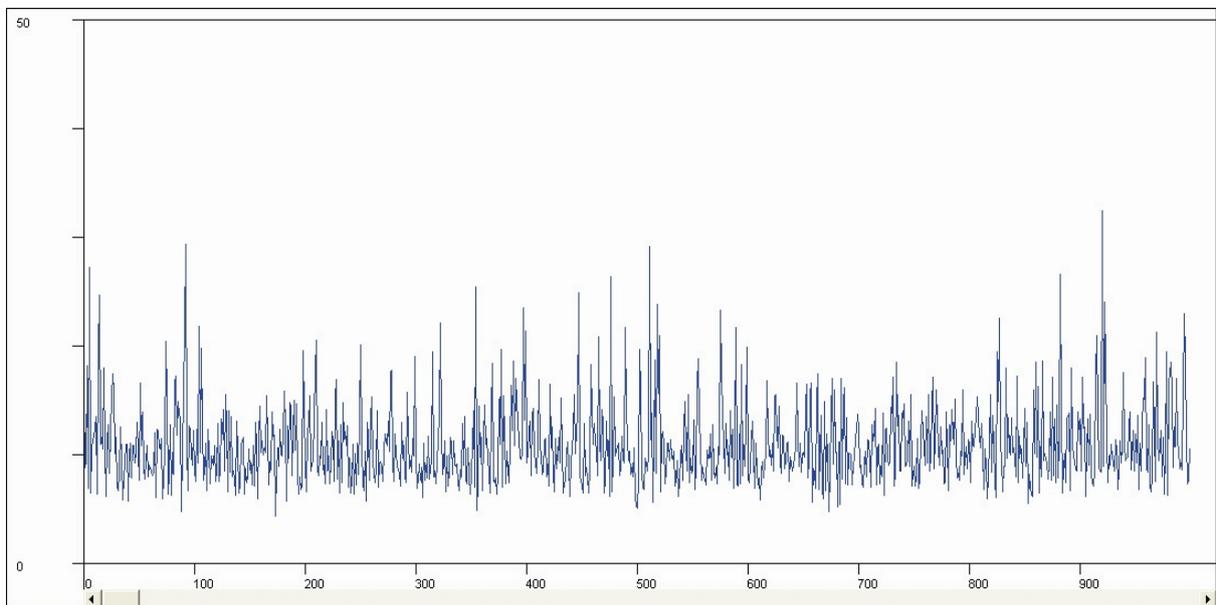


Рис. 4. Среднее время прохождения через сеть N_3 по сериям экспериментов.

Приложения

В **приложении А** приводятся основные понятия и определения в области управления workflow-процессами.

Описывается концепция архитектуры интегрированных информационных систем (АРИС) как базовой инфраструктуры для методов моделирования информационных систем. Указывается место управления workflow-процессами в этой архитектуре. Определяется понятие workflow-процесса, приводятся характеристики его производительности. Указываются пути улучшения этих характеристик.

В **приложении В** даются все необходимые сведения из теории массового обслуживания. Определяется общая модель, используемая в теории массового обслуживания, и параметры, необходимые для ее спецификации. Описываются некоторые частные системы, вероятностно-разделительная дисциплина обслуживания заявок нескольких типов.

В **приложении С** приведены некоторые окна пакета ExSpect с моделями $SRCWF_s^{el}$ - и $SRCWF_p^{el}$ -сетей, на которых проводилась симуляционные эксперименты.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Изучены разные классы сетей Петри для моделирования workflow-процессов.
2. Определен и исследован новый класс стохастических сетей Петри ($SRCWF^e$ -сети), позволяющий моделировать workflow-процессы с учетом ресурсов и времени. $SRCWF^e$ -сети позволяют в рамках одной модели использовать методы анализа обычных сетей Петри (например, исследование дерева достижимости) и вычислять производительность на основе статистических методов и проводить оптимизацию.
3. Исследована взаимосвязь $SRCWF^{e1}$ -сетей с моделями теории массового обслуживания.
4. Предложены методы анализа $SRCWF^{e1}$ -сетей на основе теории массового обслуживания.
5. Разработан алгоритм нахождения параметров $SRCWF^{e1}$ -сети для оптимизации ее работы.
6. Построены модели и выполнена симуляция workflow-процессов в виде $SRCWF^{e1}$ -сетей в программе ExSpect.
7. Исследованы результаты симуляции моделей workflow-процессов в программе ExSpect, подтверждающие теоретические выводы.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Горбунов О.Е. Моделирование бизнес-процессов многоуровневыми сетями Петри // Междисциплинарная (медицина, биология, физика, радиоэлектроника, химия, математика, информатика, педагогика ...) конференция с международным участием «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века для диагностики и лечения заболеваний человека» (НБИТТ-21). – Петрозаводск, 2003. – С. 83.
2. Соколов В.А., Горбунов О.Е. Новые информационные технологии управления бизнес-процессами // 6-я всероссийская научно-практическая конференция «Стратегия бизнеса и социально-экономическое развитие региона». – Ярославль, 2003. – С. 23-26.
3. Горбунов О.Е., Соколов В.А. Об использовании вложенных сетей Петри для моделирования бизнес-процессов // Проблемы экономики, финансов и управления производством. – Иваново: Ивановский гос. хим.-тех. университет, 2003. – № 14. – С. 253-263.
4. Горбунов О.Е., Соколов В.А. Использование вложенных сетей Петри для моделирования бизнес-процессов // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы развития экономики». – Иваново, 2003. – С. 112-114.
5. Горбунов О.Е. Моделирование и анализ бизнес-процессов с помощью сетей Петри // III научно-практическая конференция студентов и аспирантов (с международным участием) «Экономика и бизнес: позиция молодых ученых». – Барнаул, 2004. – С. 331-333.
6. Горбунов О.Е. Моделирование и оптимизация workflow-процессов // Актуальные проблемы математики и информатики. – Сборник статей к 20-летию факультета ИВТ ЯрГУ им. П.Г. Демидова. – 2006.
7. Горбунов О.Е. Оптимизация выполнения workflow-процессов. // Моделирование и анализ информационных систем. – Ярославль: ЯрГУ, 2005. – Т.12, № 1. – С. 45-51.