

В.Е. Мухин, В.В. Стешин, А.Н. Иванова

Механизм интеллектуальных агентов для системы автоматизации управления бизнес-процессами

Рассмотрены принципы реализации систем автоматизации управления бизнес-процессами предприятия на основе мультиагентной децентрализованной архитектуры. Предложен подход к управлению обеспечивающим бизнес-процессом на основе механизма интеллектуальных агентов для системы поддержки принятия решений.

The main principles for the computerized system based on multi agent decentralized architecture for the business processes management are described. An approach to the business process management based on the intelligent agents for the decision support system is suggested.

Розглянуто принципи реалізації систем автоматизації управління бізнес-процесами підприємства на основі мультиагентної децентралізованої архітектури. Запропоновано підхід до управління забезпечує бізнес-процесом на основі механізму інтелектуальних агентів для системи підтримки прийняття рішень.

Введение. Функционирование любого предприятия или организации представляет собой производственный процесс, где совокупность взаимосвязанных технологических и административно-организационных циклов направлены на преобразование ресурсов предприятия в определенный продукт или услуги [1].

Определение производственного процесса и основных связанных с ним понятий описаны в стандарте *ISO 8402:1994* [2].

Постановка проблемы

Автоматизация и контроль за выполнением бизнес-процессов – одна из важнейших задач по управлению и правильному функционированию организации. Именно с целью повышения эффективности и непрерывного цикла производства или предоставления услуг предприятием применяется механизм автоматизации бизнес-процессов на основе интеллектуальных агентов как составляющих систем принятия правильного решения.

Процесс – это совокупность взаимосвязанных ресурсов и функционирования организации, реализующей преобразование исходных элементов в результат. Результатом выполнения процессов есть продукция *либо услуга*, которая содержит определенную материальную или нематериальную ценность для внешней стороны.

Ресурс – это материальные, информационные, кадровые, системные и другие средства для получения требуемого результата. В качестве ресурсов выступают, в частности персонал, аппаратура, технология, методология.

Бизнес-процесс (БП) определяется как последовательность ряда технологических и организационно-обеспечивающих процессов по преобразованию исходных элементов в результат, независимости от типа обрабатываемых элементов.

Выделяют несколько видов БП [1]:

- основные – определяют основное направление функционирования предприятия или организации;
- поддерживающие – выполняют внутренние задачи предприятия и осуществляют выполнение центральных процессов, пример поддерживающего БП: в частности, документооборот;
- сетевые – определяют поставщиков, клиентов и партнеров предприятия;
- управляющие – выполняют планирование функций предприятия, организацию производства и контроль его функционирования.

БП состоит из определенной последовательности *операций*, выполняемых на одном рабочем месте.

Модель БП – формализованное описание в графической или текстовой форме процессов и функций, связанных с данными, документами и другими объектами, соответствующими особенностям функционирования предприятия или организации. Модель БП поддерживает анализ процессов производственного цикла в применении к реализации компьютеризированных систем управления БП [3].

Выделим специальный подкласс поддерживающих БП – обеспечивающие БП (ОБП), которые функционально поддерживают следующие технологические процессы: снабжение ресурсами, основные службы предприятия, планирование его функционирования и т.д.

ОБП определяется кортежем: $\langle I, O, S, f, s_0 \rangle$, где I – множество управляющих входных воздействий на процесс; O – выходная реакция процесса; S – множество состояний процесса; f – функция перехода между состояниями процесса $f: (S_i, I) \rightarrow S_{i+1}$; s_0 – начальное состояние процесса.

На рис. 1 представлена обобщенная структура механизма автоматизации управления бизнес-процессом предприятия.



Рис. 1. Механизм автоматизации бизнес-процессов предприятия

Данная структура включает в себя следующие компоненты: обрабатывающая и управляющая компьютерная система, реализующая финансовые, плановые и другие задачи и средства поддержки ОБП, выполняющие обобщение оперативных данных и согласование взаимодействия со смежными предприятиями. Общая база данных хранит оперативные данные для работы с объектами управления, фактически она представляет собой базу данных реального времени, а также архивы информации и т.д.

Мультиагентная среда для поддержки механизмов автоматизации управления БП

Одним из вариантов реализации механизма автоматизации ОБП есть мультиагентная система с децентрализованной архитектурой, обеспечивающая асинхронный характер взаимодействия агентов и поддерживающая их функционирование в условиях гетерогенных коммуникаций (рис. 2) [4].

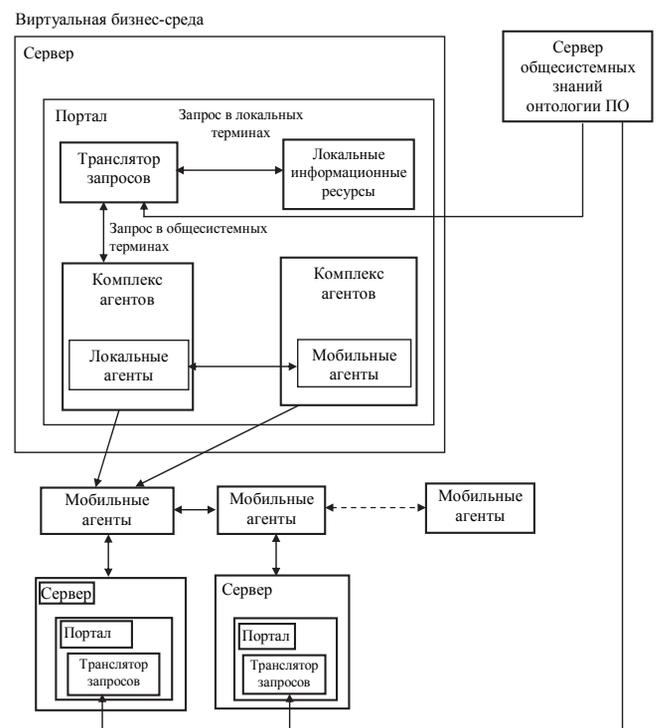


Рис. 2. Архитектура распределенной мультиагентной системы автоматизации управления бизнес-процессами (САУБП)

Данная мультиагентная система включает в себя гетерогенные по типу агенты в виде набора взаимосвязанных программных компонентов, реализующих общие функции поддержки субъектов БП, а также общесистемные сервисы: онтологий, сертификатов, а также специализированных системных служб, обеспечивающих интеграцию используемых в БП различных информационных ресурсов предприятия в единую систему. Программные агенты, по сути, обрабатывают формализованные описания отдельных операций БП.

Основные функции агентов – поиск бизнес-партнеров по реализации БП, формирование и оценка эффективности бизнес-структур, объединяющих разработчиков, менеджеров, исследователей

дователей и других субъектов, задействованных в реализации проекта [4]. Важной характеристикой рассматриваемой системы автоматизации принято считать ее масштабируемость: новые агенты могут свободно добавляться или отключаться от системы, что обеспечивается механизмами равноправного взаимодействия узлов и функциональных компонентов. Данная система относится к гибридным одноранговым системам, когда взаимодействие между агентами происходит по принципу *равный к равному*, но при этом часть сервисов реализуется централизованно. Полностью децентрализованными механизмами в системе являются: поддержка адресных баз агентов, анализ уровня доверия к субъектам для оценки их надежности и для предоставления им доступа к определенным ресурсам.

Каждый субъект БП представляется одним или несколькими программными агентами, при этом тип агента соответствует бизнес-роли субъекта – руководитель, исследователь, менеджер и др. В процессе функционирования системы выделяются три основных этапа [5]:

- создание и предварительное группирование агентов по бизнес-приложениям;
- автоматическое формирование виртуальных бизнес-площадок (самоорганизация агентов);
- анализ эффективности созданных бизнес-структур.

В рассматриваемой бизнес-среде каждый программный агент выполняет функции определенного компонента БП, зарегистрированного на одном из *Web*-порталов. Основная задача агента на программном уровне – обмен данными для поддержки БП. Для уменьшения объемов данных, передаваемых агентами по сети, в процессе их взаимодействия используются два типа агентов:

- мобильные агенты – обладают возможностью мигрировать между узлами системы и выполнять локальный поиск данных в пределах портала,
- локальные агенты – реализуют функции на том портале, в котором зарегистрировано соответствующее бизнес-приложение.

Локальные агенты не активны в межузловом поиске бизнес-партнеров, но при этом поддерживают взаимодействие с другими агентами как локальными, так и мобильными.

В целом система автоматизации управления БП включает в себя следующие основные функциональные модули (рис. 2):

- *комплекс агентов*, загружаемый на стороне серверной платформы САУБП, разделяется на локальные и мобильно-ориентированные агенты. Первые реализуют функции генерации агентов и обеспечивают выполнение программного кода локальных агентов, а вторые – поддерживают среду выполнения для мобильных агентов, переходящих с других узлов системы;
- *мобильный программный код* – реализует функции мобильных агентов в виде перемещаемого кода, что обеспечивает функциональную гибкость системы;
- *сервер онтологий* – для поддержки единой базы определений и терминов для общесистемных и локальных запросов на поиск объектов и бизнес-приложений;
- *транслятор запросов* – для формирования поисковых запросов к локальным информационным базам портала на основе поступившего запроса в общесистемных терминах, при этом в процессе трансляции используются онтологии предметных областей, хранящиеся на выделенном сервере онтологий;
- *программные компоненты*, реализующие внутреннюю логику функционирования агентов и протоколы межагентных взаимодействий.

Механизм принятия решений агентами по управлению операционными компонентами БП

Одна из важных функций агентов – принятие решений по управлению операционными компонентами БП. В качестве механизма принятия решений по управлению операционными компонентами БП предлагается семиотическая система поддержки принятия решений (СППР) агентного типа. Данная СППР является системой распределенного искусственного интеллекта и сочетает строгие, формальные методы и модели поиска решений с нестрогими,

эвристическими методами и моделями, базирующимися на знаниях специалистов-экспертов, моделях человеческих рассуждений, имитационных моделях, неклассической логике и накопленном опыте [6, 7].

Основные компоненты семиотической СППР агентного типа:

- *база данных* для хранения исходных и оперативных промежуточных данных о параметрах и операциях БП;

- *база знаний (БЗ)* СППР предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих принципы управления операционными компонентами БП и правил, описывающих целесообразные преобразования данных в рамках этой задачи;

- *компонент приобретения знаний* автоматизирует процесс наполнения СППР знаниями, осуществляемый экспертами;

- *объяснительный компонент* показывает, каким образом получено решение задачи или причину отказа в решении и какие знания при этом были использованы, что облегчает тестирование и повышает доверие к полученному результату;

- *диалоговый компонент* ориентирован на организацию эффективного интерфейса с экспертом в ходе решения задачи, в процессе приобретения знаний и объяснения принятого решения;

- *блок выработки решений*, используя исходные данные из базы данных и знания из БЗ, формирует такую последовательность правил, которые приводят к эффективному решению задачи управления операционными компонентами БП.

СППР поддерживает функции вывода (поиска) решений на основе моделей и методов представления и оперирования динамическими знаниями. Для имитации проблемной ситуации (состояния управляемого БП) используются математические модели в сочетании с экспертными оценками. Для повышения качества принимаемых решений необходимо учитывать информацию о их последствиях, получаемую из БЗ или от средств прогнозирования [8].

Интеллектуальный агент СППР

Для выработки решений в СППР агентного типа используется интеллектуальный агент (или система интеллектуальных агентов), который направленно обрабатывает данные, представленные в его БЗ на основе модели предметной области и накопленного в процессе обучения *опыта*, и способен сгенерировать решение в соответствии с заданной целевой функцией.

Интеллектуальный агент интегрируется в блок выработки решений СППР и обладает следующими свойствами [9, 10]:

- автономность – функционирует без внешнего управляющего воздействия;

- реактивность – воспринимает систему и реагирует на ее изменения;

- активность – ставит цели и действует для достижения поставленной цели;

- коммуникативность – взаимодействует с другими агентами;

- обучаемость – поддерживает процесс обучения и адаптации накопленного *опыта* при изменениях в системе.

Архитектура предлагаемого интеллектуального агента СППР для управления автоматизацией БП представлена на рис. 3.

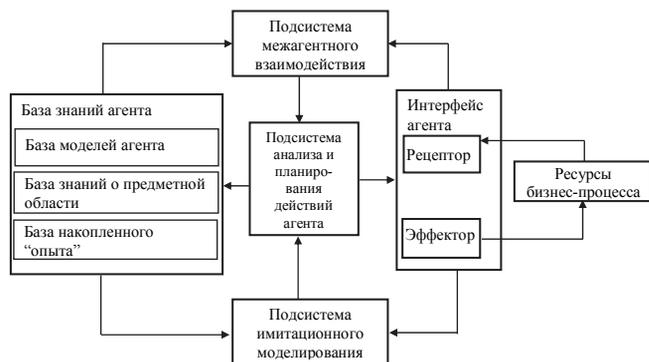


Рис. 3. Структура интеллектуального агента СППР для системы управления автоматизацией бизнес-процессов

Интерфейс агента включает функциональные блоки, отвечающие за взаимодействие с ресурсами БП. Сенсор обеспечивает получение агентом сообщений от ресурсов БП и других аналогичных агентов, а эффектор служит средством передачи сообщений данного агента ресурсам БП и другим агентам.

Подсистема межагентного взаимодействия необходима для принятия эффективных решений по управлению БП. Взаимодействие организовано с помощью языка коммуникации агентов *KQML (Knowledge Query and Manipulation Language)*. Данная подсистема также включает в себя механизм разрешения конфликтов в процессе межагентного взаимодействия, обеспечивающий принятие решений в случае получения противоречивых данных от других агентов.

БЗ агента содержит базу моделей агентов, базу знаний о предметной области и базу знаний накопленного *опыта*. Вся информация, приобретенная в процессе работы агента, хранится в его базе знаний.

В *базе моделей агентов* хранится информация об интерфейсах вызовов и структуре других агентов, необходимой для организации взаимодействия в мультиагентной системе. В процессе коммуникации и взаимодействия с другими агентами в базу добавляются новые знания.

БЗ о предметной области содержит формализацию данной задачи, а также знания, приобретенные в процессе работы агента. Также в *БЗ* хранятся промежуточные результаты решения подзадач, знания о методах решения задач и выборе нужных способов.

БЗ накопленного опыта вмещает в себя знания агента о решениях предыдущих задач по управлению и остальные различные дополнительные знания, не относящиеся к предыдущим категориям.

Подсистема анализа и планирования действий агента обеспечивает генерацию, выполнение и изменение планов действий агента. Работа агента с помощью данной подсистемы должна балансировать между планированием решения задачи и непосредственной реализацией сгенерированных планов.

Подсистема имитационного моделирования позволяет прогнозировать возникновение критичных, тупиковых ситуаций или случаев взаимного блокирования операций БП. Этот элемент архитектуры агента может быть представлен в виде полной или упрощенной модели управляемой среды БП. Он моделирует ре-

ализацию операций ОБП и соответствующих агентов. Результаты моделирования используются для прогнозирования будущих событий.

Моделирование поведения графа операций ОБП с использованием имитационного аппарата прогнозирования ситуаций на основе сети Петри

Исследование параметров ОБП, в частности, для выявления критичных, тупиковых ситуаций или случаев взаимного блокирования операций БП проводится на основе анализа выполнения графа операций ОБП. Один из наиболее эффективных механизмов для этой цели – аппарат сетей Петри.

Представим описание фрагмента модели операций ОБП на верхнем уровне на примере взаимодействия трех субъектов при последовательном выполнении операций ОБП. Допустим, выделены три субъекта *A, B, C*, обрабатывающие определенные потоки событий и передающие результаты субъектам *D* и *E*. Фрагмент графа, описывающий данное взаимодействие, представлен на рис. 4.

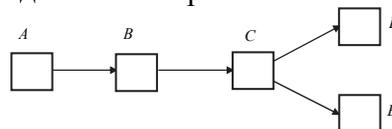


Рис. 4. Фрагмент графа последовательности взаимодействия субъектов в процессе операций ОБП

Для отображения данного фрагмента модели в модель сети Петри сопоставим ее вершинам состояния активности субъектов, а его дугам – передачу данных между субъектами в процессе их взаимодействия.

Тогда, с учетом последовательности взаимодействия всех участвующих в ОБП субъектов, представим соответствующий вариант сети Петри (рис. 5).

В процессе выполнения представленной сети Петри формируется однозначная последовательность выполнения операций ОБП по цепочке $A - B - C - D (E)$ (рис. 4). Так, если изначально в вершине P_1 присутствует хотя бы одна метка, то соответствующий субъект *A* становится активным и последовательно активизирует субъекты *B* и *C* (вершины P_2 и P_3) через временные переходы t_1 и t_2 . Далее, ре-

зультаты выполнения операций субъектами A и B синхронизируются через временной переход t_4 , и данные субъектам D и E (вершины P_8 и P_9) передаются только после срабатывания временного перехода t_5 , соответствующего активности субъекта C (вершина P_3) и временно-го перехода t_5 , фактически отражающего окончание обработки данных по цепочке $A - B - C$.

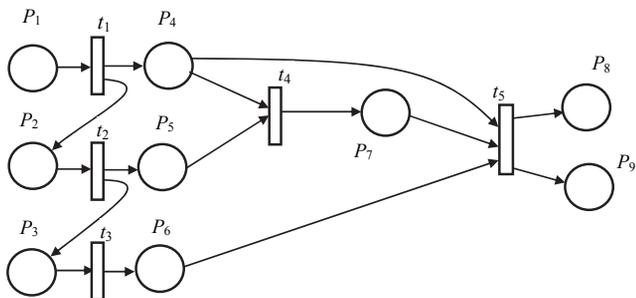


Рис. 5. Сеть Петри, моделирующая взаимодействия субъектов в процессе операций ОБП

В том случае если, например, субъект A неактивен (отсутствуют метки в вершине P_1), то даже при наличии меток в вершинах P_2 и P_3 переходы t_4 и t_5 не сработают, и, следовательно, ОБП запущен не будет, и субъекты D и E не получат соответствующие данные. Этот пример отражает, в частности, необходимость безусловно последовательного выполнения операций ОБП, начиная с активации операций субъектом A .

Таким образом, применение механизма сетей Петри для анализа событий при реализации операций ОБП позволяет выявлять критичные или тупиковые ситуации, в том числе прогнозировать их появление в режиме упреждающего моделирования.

Заключение. Управление обеспечивающим БП относится к ключевым вопросам гарантирования эффективного функционирования предприятия или организации. Предложен подход к управлению обеспечивающим БП на основе механизма СППР с интеллектуальными агентами. Предложенный подход позволяет выполнить на основе имитационного моделирования

с помощью аппарата сетей Петри прогностический анализ появления потенциально возможных критичных состояний, тупиковых ситуаций или случаев взаимного блокирования операций БП, которые могут приводить к снижению его эффективности или к нарушению жизненного цикла, что особенно важно в практических приложениях.

1. Шеев А.-В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. – СПб.: Весть-Метатехнология, 2000. – 340 с.
2. Стандарт ISO 8402:1994. – http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=20115
3. Шеев А.-В. Моделирование бизнес-процессов. – СПб.: Весть-Метатехнология, 2000. – 242 с.
4. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Функциональная структура и особенности реализации распределенной мультиагентной системы информационной поддержки инноваций // Информационные ресурсы России. – 2008. – № 5(105) – С. 23–27.
5. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4(92) – С. 30–32.
6. Добрецов С.В., Шестаков С.М. Планирование действий в искусственном интеллекте // Вестн. Академии техн. творчества «ДЕМИУРГ», 1998 – № 1. – С. 32–46.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 273 с.
8. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 142 с.
9. Хорошевский В.Ф. Методы и средства проектирования и реализации мультиагентных систем // Проблемы искусственного интеллекта: Материалы сем., Москва 2 июня 1999 г., ИПУ РАН. – 15 с.
10. Muller J.P. A Cooperation Model for Autonomous Agents // Proc. of the Third Inter. Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL96), Budapest, Hungary, 1996. – P. 135–147.

Поступила 29.11.2013

Тел. для справок: +38 044 454-9050, +38 067 508-7684,
+38 050 149-2444 (Киев)

E-mail: v_mukhin@mail.ru, mail@webmarker.com.ua

© В.Е. Мухин, В.В. Стешин, А.Н. Иванова, 2014