

УДК 007.5

С.Ф. Чалый, И.А. Макрушан, А.И. Доможилкина

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗАТРАТ НА РЕАЛИЗАЦИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

*Предлагается логический подход представления бизнес-процессов, позволяющий описать действия и взаимосвязи между агентами мультиагентной системы с применением математического аппарата темпоральной логики. Представлена логическая модель функционирования знание-ориентированной мультиагентной системы.*

**Ключевые слова:** агент, темпоральная логика, интеллектуальная система, бизнес-процесс.

### Введение

**Постановка проблемы.** Процессный подход к управлению предприятием требует применения знаний, необходимых для непосредственного управления и оптимизации бизнес-процессов с изменяющейся структурой (БПИС). Реализация цели БПИС выполняется в условиях временных и материальных ограничений на основе знаний, которые составляют верхний уровень многокомпонентной модели представления БП [1 – 3]. Знания, представленные в виде логических правил, отражают представления экспертов о взаимосвязях между агентами предметной области. Для решения указанной задачи представляется целесообразным использование мультиагентной системы (МАС) оценивания затрат ресурсов компьютерной сети при обработке Б БПИС, которая выполняет сбор и предварительную обработку данных о затратах ресурсов КС [4, 5]. В соответствии с изложенным, возникает проблема описания поведения агентов и функционирования МАС с применением подходов, позволяющих формально представить последовательность действий и взаимосвязи между агентами МАС, что дает возможность оценивания поведения агентов и дальнейшего усовершенствования МАС на основе оценивания.

**Постановка задачи.** Исходными данными задачи являются: многокомпонентное представление БПИС и общая формальная модель МАС [4].

Требуется получить логическую модель функционирования МАС, которая отражает динамику поведения системы и удовлетворяет следующим требованиям: представляет временные последовательности событий, связанные с поведением и взаимодействием агентов; описывает действия агентов с учетом событий, связанных с поступлением БО на обработку, завершением обработки БО, поступлением запроса, изменением интервала опроса клиентских станций; функционирует на основе знаний, представленных в виде набора правил.

Выполнение указанных особенностей требует использования логического подхода, а с учетом времени возникает потребность в применении темпоральной логики, которая ориентирована на логическое представление последовательности действий, разворачивающихся во времени.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ темпоральных логик (CTL, LTL, ATL, LCR) показал, что вышеуказанные темпоральные логики позволяют описать как поведение одного агента в системе, так и взаимодействие агентов в мультиагентных системах [6 – 8]. Однако, не позволяют достаточно точно и полно описать поведение МАС, предназначенной для оценивания затрат на обработку объектов бизнес-процессов в распределенной компьютерной сети, в виду отсутствия возможности наблюдать за событиями, связанными с обработкой БО в КС, а также описывать взаимодействие агентов после наступления этих событий.

Вышеуказанным требованиям в наибольшей степени соответствует логика LCR, которая является выразительной логикой для описания взаимодействий агентов в мультиагентных системах.

Целесообразным является расширение аппарата LCR с учетом вышеизложенных особенностей за счет введения новых операторов (наблюдения за событиями и взаимодействия агентов), определяющих действия агентов после наступления события.

### Результаты исследований

**1. Усовершенствование логики представления бизнес-процессов.** Дальнейшее развитие логики представления бизнес-процессов предполагает использование подхода, основанного на цепочках событий. В частности, этот подход представлен в одной из современных методологий бизнес-моделирования ARIS [9, 10].

В методологии ARIS используются логические связи между работами, которые позволяют отобразить логическую последовательность выполнения работ. В качестве одного из вариантов логической последовательности может выступать временная последовательность выполнения работ, что характерно для БПИС. С помощью событий изображается факт, время или событие, инициирующие начало выполнения работ процесса, а также факт или время их завершения. В результате образуется цепочка процессов, управляемая событиями.

В рамках данной работы, развивающей логический подход, для отслеживания происходящих собы-

тий и выполнения соответствующих действий предлагается использовать механизм триггеров [11, 12]. В соответствии с предложенным подходом программа мониторинга следит за состоянием ресурсов КС, автоматически активизируя и деактивизируя триггеры, а также анализирует сообщения о срабатывании триггеров и выполняет дополнительные действия (например, рассылает письма или смс-сообщения).

Триггер реагирует на событие, возникающее, когда параметры ресурсов КС совпадают с условиями, заданными пользователем: пользователь или группа пользователей, процесс, IP-адрес и др. Условия записываются в виде правил. В рамках логического подхода для формализации механизма триггера, прежде всего, предлагается описать события и ввести оператор учета событий.

Для описания событий, на которые реагирует триггер, введем следующие обозначения:

– выражение  $(BO)_\tau$ , обозначающее событие, связанное с запуском бизнес-объекта (например, электронного документа) на выполнение в некоторый момент времени  $\tau$ . Если БО запущен на обработку или обработка выполняется, то выражение  $(BO)_\tau$  – истинно, т.е.  $(BO)_\tau$ . Если БО не запущен на обработку или обработка БО закончена, то выражение  $(BO)_\tau$  – ложно, т.е.  $\neg(BO)_\tau$ ;

– выражение  $(Q_r)_\tau$ , обозначающее событие, связанное с поступлением запроса в некоторый момент времени  $\tau$ . Если запрос поступил, то выражение  $(Q_r)_\tau$  – истинно, т.е.  $(Q_r)_\tau$ , если не поступил, то выражение  $(Q_r)_\tau$  – ложно, т.е.  $\neg(Q_r)_\tau$ .

Далее введем оператор наблюдения за событиями  $W_{a_i} \delta_\tau$ , который обозначает то, что агент  $a_i$  наблюдает за наступлением события  $\delta$  в некоторый момент времени  $\tau$ . При событийном подходе процесс функционирования системы представляет собой набор реакций системы на возможные события. Следовательно, процесс функционирования системы следует рассматривать как совокупность взаимодействующих подпроцессов, возникающих вследствие реакции на заданные события. Ранее был рассмотрен подпроцесс наблюдения за событиями, а сейчас рассмотрим подпроцесс взаимодействия агентов при наступлении определенного события. Для этого следует ввести событийные правила поведения агентов, а также оператор взаимодействия агентов.

**2. Формализация знаний о поведении агентов знание-ориентированной МАС.** С целью дальнейшего развития логики представления бизнес-процессов с использованием событийного подхода введем следующие дополнения:

– оператор взаимодействия агентов  $Exe_{a_i}(a_j, \rho > \delta)$ , где  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ;

– событийные правила поведения агентов, основанные на механизме триггеров.

Оператор взаимодействия агентов обозначает, что агент  $a_i$  выполняет действие (функцию)  $\rho$  при

взаимодействии с агентом  $a_j$  после того, как произойдет событие  $\delta$ .

Выделим три группы событийных правил, описывающие поведение агентов в наиболее типичных ситуациях функционирования МАС.

1. Правила, описывающие поведение агентов при запуске бизнес-объекта ВО на обработку или завершении его обработки в момент времени  $\tau$ .

Рассмотрим возможные варианты развития событий: (P1) агент  $a_i$  наблюдает за изменением состояния БО, т.е. наступлением события “БО запущен” или “БО остановлен”:  $W_{a_i}(BO)_\tau \vee W_{a_i}\neg(BO)_\tau$ . (P2) если бизнес-объект ВО запущен на обработку, то агент  $a_i$  запускает агент  $a_j$ :

$$(W_{a_i}(BO)_\tau \wedge (BO)_\tau) \rightarrow Exe_{a_i}(a_j, Run > (BO)_\tau);$$

(P3) если обработка бизнес-объекта ВО завершена, то агент  $a_i$  останавливает агент  $a_j$ :

$$(W_{a_i}\neg(BO)_\tau \wedge \neg(BO)_\tau) \rightarrow Exe_{a_i}(a_j, Stop > \neg(BO)_\tau).$$

2. Правила, описывающее поведение агентов при поступлении или отсутствии запроса  $Q_r$  в момент времени  $\tau$ .

Рассмотрим возможные варианты развития событий: (P1) если запрос  $Q_r$  поступил, то агент  $a_j$  выполняет запрос  $Q_r$ . (P2) если запрос не поступил, то агент  $a_i$  осуществляет контроль за поступлением запроса, т.е. наблюдает за наступлением события “запрос поступил”. (P3) если запрос выполнен, то агент  $a_i$  контролирует поступление запроса  $Q_r$ , т.е. наблюдает за наступлением события “запрос поступил”:

$$(P1) (W_{a_i}(Q_r)_\tau \wedge (Q_r)_\tau) \rightarrow Exe_{a_j}(Fun^{Q_r} > (Q_r)_\tau)$$

$$(P2) (W_{a_i}(Q_r)_\tau \wedge \neg(Q_r)_\tau) \rightarrow W_{a_i}(Q_r)_\tau$$

$$(P3) Exe_{a_j}(Fun^{Q_r})_\tau \rightarrow W_{a_i}(Q_r)_\tau.$$

Предложенные правила могут быть непосредственно формализованы в базе знаний интеллектуальных систем, ориентированных на поддержку принятия решений при реализации БПИС.

**3. Модель функционирования знаниеориентированной МАС.** Выполним формализацию МАС оценивания затрат на обработку объектов бизнес-процессов в компьютерной сети посредством ЛППП с учетом сформулированных правил поведения агентов.

Логическая модель функционирования знаниеориентированной МАС в общем виде может быть описана следующим кортежем:

$$MAC = \langle MOD, BR, Pr, Vpr, C, M_A^{exe}, M_A^{inter}, T_{MAC} \rangle,$$

где MOD – иерархическая модель БПИС; BR – бизнес-правила; Pr – структура ролей; Vpr – логические правила; C – сценарий работы системы;  $M_A^{exe}$  – модель агента;  $M_A^{inter}$  – модель взаимодействия агентов;  $T_{MAC}$  – общий путь МАС.

Общий путь МАС отображает динамический аспект логической модели функционирования системы и представляет собой последовательность событий и связь состояний в структуре ветвящегося

временного процесса соответственно выбору и возможностям агентов в некоторый момент времени.

Общий путь МАС, который отображает поведение системы во времени и может быть непосредственно преобразован в алгоритм функционирования МАС, можно представить таким выражением:

$$T_{\text{МАС}} = MO \wedge LO \wedge W \wedge E \wedge R,$$

где MO – модальные операторы (A,S,X,U); LO – логические операторы ( $\vee$ ,  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\rightarrow$ ,  $\leftrightarrow$ ); W – оператор наблюдения за событиями ( $W_{a_i} \delta_\tau$ ); E – оператор взаимодействия агентов ( $E_{x_{a_i}}(a_j, \rho > \delta)$ ); R – событийные правила.

Для конкретного набора агентов, выполняющих мониторинг ресурсов КС в рамках МАС оценивания затрат на обработку объектов в процессе реализации БПИС, общий путь МАС представляет собой совокупность путей всех входящих в состав МАС агентов. Введем следующие обозначения:  $a_1$  – агент контроля,  $a_2$  – агент сбора,  $a_3$  – агент фильтрации,  $a_4$  – агент обработки данных;  $\varphi_1$  – агент запущен;  $\varphi_2$  – агент зарегистрировался;  $\varphi_3$  – бизнес-объект запущен на обработку (или обрабатывается);  $\varphi_4$  – обработка бизнес-объекта завершена (или бизнес-объект не запущен на обработку);  $\varphi_5$  – агент остановлен;  $\varphi_6$  – сбор данных о состоянии ресурсов КС;  $\varphi_7$  – поступление запроса на обработку;  $\varphi_8$  – выполнение запроса;  $\varphi_9$  – выполнение первичной обработки данных. Тогда логическая модель общего пути знание-ориентированной МАС, отображающая динамику поведения агентов указанной предметной области, может быть представлена выражением:

$$T_{\text{МАС}} = E_{x_A}(a_1, \varphi_1) \times E_{x_{a_1}} \varphi_2 \times E_{x_{a_1}} ((a_2, a_3, a_4), \varphi_1 > \varphi_3) \times (W_{a_1} \varphi_4 \wedge E_{x_{a_2}} \varphi_6 \wedge ((W_{a_3} \varphi_7 \times E_{x_{a_3}} \varphi_8) \times X(E_{x_{a_1}}(a_3, \varphi_5 > \varphi_4) \vee (W_{a_3} \varphi_7 \times E_{x_{a_3}} \varphi_8)) \wedge \wedge E_{x_{a_4}} \varphi_9) \times E_{x_{a_1}} ((a_2, a_4), \varphi_5 > \varphi_4) \times E_{x_A}(a_1, \varphi_5)$$

### Выводы

Предлагается логический подход к формализованной оценке затрат КС на основе мультиагентной технологии, позволяющий описать действия и взаимосвязи между агентами МАС с применением математического аппарата темпоральной логики.

Впервые получена логическая модель функционирования знание-ориентированной МАС оценивания затрат на обработку объектов бизнес-

процессов в распределенной компьютерной сети, которая может быть непосредственно преобразована в алгоритм функционирования МАС. Предложенная модель отражает динамическое поведения агентов, что создает возможность для дальнейшей верификации и интерпретации поведения агентов МАС.

### Список литературы

1. Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В.Г. Елиферов, В.В. Репин. – М.: Стандарты и качество, 2009. – 408 с.
2. Левыкин В.М. Формализованное описание бизнес-процессов в АИС / В.М. Левыкин, С.Ф. Чалый // Штучний інтелект. – 2003. – № 2. – С. 28-34.
3. Левыкин В.М. Модели представления знаний для бизнес-процессов с изменяемой структурой / В.М. Левыкин, С.Ф. Чалый // Бионика интеллекта. – 2008. – №1(68). – С. 40-44.
4. Чалый С.Ф. Модель мультиагентной системы оценивания затрат на обработку объектов бизнес-процессов в распределенной компьютерной сети / С.Ф. Чалый, И.А. Макрушан // Весник Національного університета "Львівська Політехніка": "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – 2009. – № 650. – С. 141-150.
5. Jennings N.R. Agent-Based Business Process Management / N.R. Jennings, P. Faratin, M.J. Johnson, T.J. Norman, P. O'Brien, M.E. Wiegand // Int Journal of Cooperative Information Systems 5 (2&3) 105-130 – 1996.
6. Emerson E.A. Temporal and modal logic / E.A. Emerson. // J. van Leeuwen, editor, Handbook of Theoretical Computer Science, volume B: Formal Models and Semantics, chapter 14, P. 996-1072. Elsevier Science, 1990.
7. Clarke E.M. Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications / E.M. Clarke, E.A. Emerson, A.P. Sistla // ACM Transactions on Programming Languages and Systems 8 (2): 244-263.
8. Alur R. Alternating-time temporal logic / R. Alur, T.A. Henzinger, O. Kupferman // Journal of the ACM, 49: 672-713, 2002.
9. Каменнова М. Моделирование бизнеса. Методология ARIS / М. Каменнова, А. Громов, М. Ферантонтов, А. Шматлюк. – М.: Весть-МетаТехнология, 2001. – 327 с.
10. Шеер Август-Вильгельм. Моделирование бизнес-процессов / Август-Вильгельм Шеер. – 2000. – 175 с.
11. Зельдин Е.А. Триггеры / Е.А. Зельдин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.
12. Васюкевич В.О. Аналитика триггерных функций / В.О. Васюкевич // Автоматика и вычислительная техника. – 2009. – № 4. – С. 21-29. –ISSN 0132-4160.

Поступила в редколлегию 21.03.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.А. Хажмурадов, Харьковский физико-технический институт, Харьков.

### ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ВИТРАТ НА РЕАЛІЗАЦІЮ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

С.Ф. Чалый, І.А. Макрушан, А.І. Доможилкіна

Пропонується логічний підхід зображення бізнес-процесів, що дозволяє описати дії та взаємозв'язок між агентами мультиагентної системи із застосуванням математичного апарату темпоральної логіки. Запропонована логічна модель функціонування мультиагентної системи, що орієнтована на знання.

**Ключові слова:** агент, темпоральна логіка, інтелектуальна система, бізнес-процес.

### LOGICAL MODEL OF MULTI-AGENT SYSTEM OF COSTS ESTIMATION FOR BUSINESS PROCESSES REALIZATION

S.F. Chalayi, I.A. Makrushan, A.I. Domozhilkina

The logical approach to business-processes representation that allows to describe actions and interrelations between the agents of a multi-agent system with the application of the mathematical apparatus of temporal logic is proposed. The logical model of knowledge-oriented multi-agent system functioning is also represented.

**Keywords:** agent, temporal logic, intelligence system, business-process.