

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ ГРУППЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

К.Л. Куликовский, В.Ф. Гайсин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vgaissin@mail.ru

При рассмотрении иерархии мультиагентной системы поддержки принятия решений группы предприятий базовым уровнем является нижний уровень активных элементов системы, функционирующих в гетерогенной рыночной среде. В данной статье исследуются особенности существующих моделей активных элементов и формулируются требования к активным элементам системы, ведущие к разработке новой формальной модели.

Ключевые слова: системный анализ, система поддержки принятия решений, активный элемент, формальная модель.

Мультиагентные системы поддержки принятия решений (СППР) по управлению финансовыми потоками предназначены для помощи лицам, принимающим решения (ЛПР), при планировании деятельности и управлении сложными объектами и процессами различной природы в условиях жестких временных ограничений и наличия различного рода неопределенностей (неполноты, нечеткости и противоречивости исходной информации и т. д.).

В большинстве современных подходов к построению мультиагентных систем [1, 2] недостаточно исследованы причинно-следственные отношения для многих кризисных ситуаций. В то же время в этих ситуациях необходимо в ограниченное время вырабатывать приемлемое решение. Это указывает на необходимость концентрации усилий на создании систем поддержки принятия эффективных решений при планировании распределения корпоративных финансов и разработки необходимых моделей и методов их реализации.

В любых крупных организационных системах (государство, группа предприятий (ГП) и т. д.) мы сталкиваемся с иерархическими структурами, то есть с наличием нескольких уровней управления. При проектировании мультиагентной системы поддержки принятия решений для ГП, состоящей из одного управляющего органа (центральной управляющей компании) на верхнем уровне иерархии и N управляемых субъектов – активных элементов (АЭ) на нижестоящих уровнях (управляющих компаний (УК), предприятий, проектов и т. д.). Базовым уровнем подобных систем является нижний уровень активных элементов системы, функционирующих в гетерогенной рыночной среде.

Рассмотрим модель АЭ, базирующуюся на одном из основных подходов при проектировании СППР – объектно-ориентированном подходе. В объектно-ориентированном подходе объектом является модель (например, предприятия), отвлеченная от всех свойств и связей предмета для выделения наиболее существенных и основных призна-

*Константин Лонгинович Куликовский – д.т.н., профессор.
Вадим Фаимович Гайсин – аспирант.*

ков. Объекты находят свое применение на каждом этапе жизненного цикла функционирования СППР [3, 4]. На этапе анализа предметная область разделяется на объекты, обладающие некоторыми свойствами, выполняющие определенные функции и, возможно, вступающие в некоторые отношения между собой. При проектировании СППР на основе объектно-ориентированного подхода объекты являются главными единицами декомпозиции. На стадии создания программного комплекса СППР объекты становятся основными элементами реализации.

Достоинства объектно-ориентированного проектирования заключаются в следующем:

- обеспечиваются основные свойства объектной ориентации – инкапсуляция и наследование;
- поддерживается модульная структура, содержащая множество автономных сущностей, взаимодействующих через обмен сообщениями;
- используется независимость реализации, т. е. внутренний механизм функционирования объекта может модифицироваться без влияния на остальные части системы.

Вместе с тем в данном подходе возникают сложные проблемы, которые не решаются средствами только лишь основных объектных механизмов.

Во-первых, чрезвычайно сложной оказывается проблема децентрализации, так как эффективность объектных приложений сильно зависит от стабильности и целостности иерархической структуры системы, в то время как ГП зачастую имеет территориально-распределенную структуру.

Во-вторых, возможность автономного функционирования объекта (при выходе из состава ГП) во многом ограничена, так как часто требуется знать более детальное устройство основных свойств, чем то, которое непосредственно предоставляется УК.

В соответствии с идеей построения СППР программные объекты представляют собой лишь программно-технический базис информационного уровня интеграции, над которым надстраиваются последующие уровни интеллектуальной иерархии агентно-ориентированных систем. Разработчики мультиагентных СППР должны оперировать абстракциями более высокого уровня, чем традиционные программные объекты.

Отсюда вытекают те требования, которым должна отвечать модель АЭ разрабатываемой СППР, а именно – она должна:

- иметь способность накапливать сенсорную информацию по всем параметрам, т. е. содержать собственную базу данных (БД);
- обладать предопределенной моделью поведения, т. е. действовать на основе предопределенного набора правил, которые могут при создании новых объектов формироваться или изменяться;
- обладать альтернативной моделью поведения, т. е. действовать на основе альтернативного набора правил, которые формируются при попадании системы в нештатные (кризисные) ситуации на основе сенсорной информации из БД;
- обеспечивать взаимодействие с существующими программными объектами путем обмена сообщениями и, возможно, обращения к методам, имеющимся в данных объектах;
- обеспечивать прием и передачу сообщений переменной структуры и содержания, соответствующих разным уровням иерархии.

Необходимым базисом для формализации мультиагентной СППР является модель АЭ. Анализ известных моделей [5, 6], сложившихся в объектно-ориентированном проектировании, показал, что данные модели не позволяют формализовать основ-

ные свойства активных элементов разрабатываемой СППР и не удовлетворяют всем предъявляемым требованиям. Разработка формальной модели АЭ, основанной на логике первого порядка, позволяет описывать активные элементы в рамках формальной объектной системы.

Поэтому в качестве математического аппарата для разработки формальной модели АЭ используется логика первого порядка, так как она обладает рядом следующих полезных свойств:

- полнота (обеспечивает более детальное представление свойств АЭ), позволяющая повысить возможность автономного функционирования элемента;
- непротиворечивость (ни одна рекомендация в принятии решения не может быть выведена одновременно со своим отрицанием);
- компактность (если некоторое решение невыполнимо или неприемлемо, то невыполнимо также некоторое конечное множество решений, его составляющих).

Таким образом, логика первого порядка становится очень привлекательной в качестве основного инструмента формализации модели АЭ.

Пусть α – множество функциональных, предикатных и константных символов, конечное или счетно-бесконечное (что оставляет возможность расширения языка α). Каждому функциональному символу $f \in \alpha$ можно поставить в соответствие целое положительное число $\#(f)$ такое, что если $n = \#(f)$, то f называется n -арным функциональным символом. Каждый предикатный символ $R \in \alpha$ можно связать с положительным целым числом $\#(R)$; если $n = \#(R)$, то R называется n -арным предикатным символом. Предикатные символы по своей сути являются символами отношений. В соответствии с [7] под алгебраической системой Φ будем понимать непустую совокупность M элементов, которая является областью действия кванторов, вместе с интерпретацией основных предикатных, функциональных и константных символов из α .

Определение 1. Алгебраическая система для языка α есть пара

$$\Phi = \langle M, F \rangle,$$

где M – непустое множество,

F – отображение с областью определения α такое, что:

- 1) если $R \in \alpha$ – n -арный предикатный символ, то $F(R) \subseteq M^n$;
- 2) если $f \in \alpha$ – n -арный функциональный символ, то $F(f): M^n \rightarrow M$;
- 3) если $c \in \alpha$ – константный символ, то $F(c) \in M$.

Основными синтаксическими понятиями логики 1-го порядка являются: логические связки $\&$, \vee , \rightarrow , \neg , $=$; кванторы общности и существования \forall и \exists ; символы логических переменных, обозначаемых x, y, z, \dots . Всякую конечную последовательность, элементами которой являются основные символы или элементы α , можно назвать выражением.

Определение 2. Термы языка α образуют наименьшее множество выражений, содержащее x, y, z, \dots , все константные символы α (если таковые имеются) и замкнутое относительно правила образования: если t_1, \dots, t_n – термы α и если $f \in \alpha$ – n -местный функциональный символ, то выражение $f(t_1, \dots, t_n)$ является термом языка α . Терм, не содержащий переменных, называется замкнутым.

Определение 3. Атомная формула языка α – это выражение одного из следующих видов:

$$(t_1 = t_2), R(t_1, \dots, t_n),$$

где t_1, t_2 – термы языка α ;

$R \in \alpha$ – произвольный n -местный предикатный символ.

Определение 4. Формулы первого порядка языка α образуют наименьшее множество выражений, содержащее атомные формулы и замкнутое относительно следующего правила образования:

1) если φ и Ψ – формулы, то выражения $\neg\varphi, (\varphi \& \Psi), (\varphi \vee \Psi), (\varphi \rightarrow \Psi)$ также являются формулами;

2) если φ – формула и v – переменная; то $(\exists v\varphi)$ и $(\forall v\varphi)$ также являются формулами.

Определение 5. Множество $FV(\varphi)$ свободных переменных формулы φ определяется следующим образом:

1) если φ – атомная формула, то $FV(\varphi)$ в точности множество переменных, встречающихся в φ ;

$$2) FV(\neg\varphi) = FV(\varphi);$$

$$3) FV(\varphi \& \Psi) = FV(\varphi \vee \Psi) = FV(\varphi \rightarrow \Psi) = FV(\varphi) \cup FV(\Psi);$$

$$4) FV(\exists v\varphi) = FV(\forall v\varphi) = FV(\varphi) - \{v\}.$$

Определение 6. Предложением (первого порядка) языка α называется формула, не содержащая свободных переменных.

Строим алгебраическую систему для языка логики 1-го порядка α над множеством M -активных элементов. Переменными обозначаются АЭ, далее вводятся предикатные и функциональные символы над множеством M .

Активный элемент определяется следующим образом:

$$\text{АЭ} := \langle \text{имя_элемента}, \{A\}, \{O\}, \text{модель_поведения} \rangle.$$

Введем более компактные обозначения: имя_элемента = ИЭ, модель_поведения = МП и получим:

$$\text{АЭ} := \langle \text{ИЭ}, \{A\}, \{O\}, \text{МП} \rangle,$$

где ИЭ – символьная строка, соответствующая принятому (условному) стандарту об именах;

$\{A\}$ – множество атрибутов элемента (A_0, A_1, \dots, A_n) , где A_i – i -тый атрибут АЭ;

$\{O\}$ – множество элементов, вложенных в данный элемент (в смысле структурного вложения) $(O_{ИЭ1}, O_{ИЭ2}, \dots, O_{ИЭi}, \dots, O_{ИЭm})$, где $O_{ИЭi}$ – i -вложенный элемент элемента с именем ИЭ.

Атрибут АЭ определим как

$$A = \langle \text{ИА}, \text{SA}, \text{VA} \rangle,$$

где ИА – имя атрибута (символьная строка, соответствующая соглашению об именах);

SA – множество, на котором определяется значение атрибута;

VA – значение атрибута, т. е. $a \in \text{SA}$ в данный момент времени t .

Примитивным АЭ можно назвать такой АЭ, что

$$AЭ = \langle ИЭ, \{A\}, 0, МП \rangle,$$

т. е. имеющий пустое множество вложенных АЭ. Можно ввести *структурный* АЭ (или пассивный), определяемый как $AЭ = \langle ИЭ, \{A\}, 0, 0 \rangle$, т. е. имеющий пустое множество вложенных АЭ и пустую модель поведения, а также ввести *однопараметрический* АЭ; $AЭ = \langle ИЭ, A, 0, 0 \rangle$, для сокращения записи обозначаемый как $\langle ИЭ, A \rangle$, имеющий только один атрибут. Такое определение АЭ позволяет рассматривать множество M алгебраической системы как актуальное и оставаться в рамках логики 1-го порядка при рассмотрении отношений между АЭ.

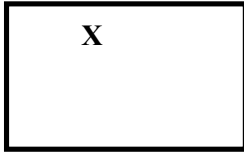
Начнем введение отношений в рассматриваемую модель Φ с отношения принадлежности элементов (иначе говоря, отношение структурной вложенности) Rs . Отношение Rs – антирефлексивно: $\forall x(\neg Rs(x,x))$. Это следует из содержательного понятия структурной вложенности (сам предмет не содержит самого себя как структурной части). Отношение Rs – транзитивно и несимметрично:

$$\forall x \forall y \forall z (Rs(x,y) \& Rs(y,z) \rightarrow Rs(x,z);$$

$$\forall x \forall y (Rs(x,y) \rightarrow \neg Rs(y,x)).$$

Рассматривая эти свойства как аксиомы в исчислении предикатов, покажем, что они являются общезначимыми формулами в языке α (или тавтологиями).

Для аксиомы $Rs(1): \forall x(\neg Rs(x,x))$. Воспользуемся очевидной геометрической интерпретацией:

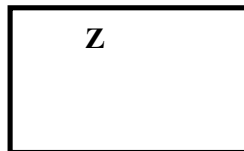
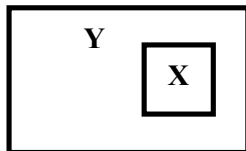


Для самого себя объект x не обеспечивает истинности Rs . Поэтому для всех x аксиома $Rs(1)$ является тавтологией.

Для аксиомы $Rs(2)$ рассмотрим следующие варианты структурных отношений.

Вариант 1. Объекты x , y и z независимы друг от друга.

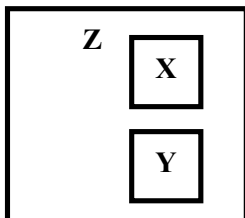
Формулу $Rs(x,y) \& Rs(y,z) \rightarrow Rs(x,z)$ раскрываем как дизъюнкцию в соответствии с правилами ИП, тогда получаем: $(\neg(Rs(x,y) \& Rs(y,z)) \vee \vee Rs(x,z))$. При данных отношениях элементов имеем истинностные оценки $Rs(x,y)=f, Rs(y,z)=f, Rs(x,z)=f$, следовательно, $\neg(f \& f) \vee f = \neg(f) \vee f = t \vee f = t$.



Вариант 2. Объект y включает x , z – независим.

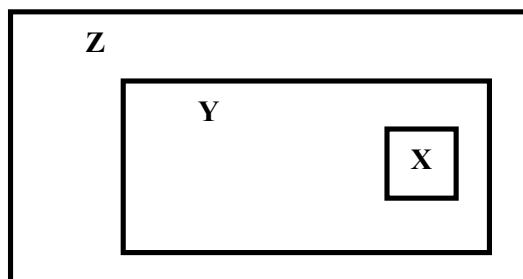
Тогда $Rs(x, y) = t, Rs(y, z) = f, Rs(x, z) = f$ и следовательно,

$\neg(t \& f) \vee f = \neg(f) \vee f = t \vee f = t$. Аналогичные результаты получаются для случаев включения одного объекта в другой и независимости третьего при любом их переименовании.



Вариант 3. Два объекта x и y входят в объект z .

В этом случае $Rs(x,y)=f$, $Rs(y,z) = t$, $Rs(x,z) = t$; $\neg(f \& t) \vee t = (f) \vee t = t \vee t = t$. С точностью до переименования переменных получим доказательства истинности формул аналогично варианту 2.



Вариант 4. Объект x входит в объект y , а y входит в z .

Имеем $Rs(x,y) = t$, $Rs(y, z) = t$, $Rs(x, z) = t$, тогда $\neg(t \& t) \vee t = (t) \vee t = f \vee t = t$.

Таким образом, при всевозможных интерпретациях x , y , z данное предложение является тавтологией, что и требовалось доказать.

Разработанная формальная модель АЭ, основанная на логике первого порядка, позволяет описывать активные элементы в рамках формальной объектной системы, что дает возможность создания и учета различных моделей поведения АЭ, а также применения данной модели в различных конкретных областях построения СППР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. – Wiley, 2009. – ISBN 0470519460.
2. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. – Cambridge University Press, 2008. – ISBN 0521899435.
3. Васильев С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов. – М.: Наука, 2000. – 352 с.
4. Элиенс А. Принципы разработки объектно-ориентированных моделей: Пер. с англ. / А. Элиенс. – М.: Вильямс, 2002. – 496 с.
5. Calvanese D. Finite Model Reasoning in Description Logics. Dipartimento di Informatika e Sistemistica Universita di Roma «La Sapienza». – <http://www.inf.unibz.it/~calvanese/papers/calv-KR-96.pdf>
6. Kifer M. Logical foundations of Object-Oriented and frame-based languages / M. Kifer, G. Lausen, J. Wu // Journal of the ACM. – 1995, 42(4). – P. 741-843.
7. Справочная книга по математической логике: Справочник. В 4 ч.: Ч.1. Теория моделей: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Барвайса. – М.: Наука, 1982. – 392 с.

Статья поступила в редакцию 24 февраля 2011 г.

UDC 681.3

**CONSTRUCTION OF FORMAL MODEL OF AN ACTIVE ELEMENT OF
THE MULTI-AGENT DECISION SUPPORT SYSTEM.**

K.L. Kukikovskiy, V.F. Gaisin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

By hierarchy consideration of multi-agent decision support system of the enterprises group a basic level is the bottom level of active elements of the system functioning in the heterogeneous market environment. In given article features of existing models of active elements are investigated and requirements to active elements the systems conducting to working out of new formal model are formulated.

Keywords: *system analysis, decision support systems, active element, formal model.*

*Konstantin L. Kukikovskiy – Doctor of Technical Sciences, Professor.
Vadim F. Gaisin – Postgraduate student.*