

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*Рассматриваются принципы разработки новых подходов для анализа поведения систем взаимодействующих агентов, а также методов и средств для поддержки процессов принятия решений агентами в процессе взаимодействия и построения взаимодействующих агентов в мультиагентных системах. Рассмотрены особенности применяемого подхода к построению указанных систем, представлена структура разработанных алгоритмов для их реализации.*

© Н.Е. Ромец, 2004

УДК 681.3(031)

Н.Е. РОМЕЦ

## МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ АГЕНТАМИ

Современные тенденции перехода от жесткого массового к гибкому индивидуальному производству, расширения производственной интеграции и кооперации, сокращения всего жизненного цикла разработки изделий и т. п. делают задачи управления предприятиями все сложнее и динамичнее, что усложняет принятие качественных и эффективных решений, обеспечивающих успех на рынке. Возможности применения традиционных подходов к принятию решений, базирующихся на методах системного анализа, имитационного моделирования, исследования операций, теории игр и ряда других, ставшими уже классическими методов, оказываются ограничены [1].

Один из возможных путей создания указанных систем связывается с мультиагентными системами (МАС), которые активно развиваются в последнее время. Ключевой элемент этих систем – автономный программный агент, способный воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с другими агентами. Эти возможности радикально отличают МАС от существующих "жестко" организованных программных систем, обеспечивая им такое принципиально важное новое свойство, как способность к самоорганизации. При этом отдельные автономные "части" программы впервые получают возможность самостоятельно принимать решения и договариваться о том, как должна решаться задача, эти "части" приобретают собственную активность и могут вступать в различные отношения между собой, инициировать диалог с пользователем в заранее не предписанные моменты времени и т. д.

Вместе с тем, несмотря на перспективность подходов, связанных с созданием МАС с элементами самоорганизации, их практическое применение оказывается весьма сложной задачей. И не только потому, что простые МАС относятся к традиционно сложным сферам разработки программных систем, на стыке между системами искусственного интеллекта, параллельных вычислений, телекоммуникаций, реального времени. Главная причина в том, что научные и методические основы разработки самоорганизующихся и эволюционирующих систем еще недостаточно исследованы и разработаны, поэтому разработчики сталкиваются со значительными трудностями в подходах к проектированию как виртуальных сред для функционирования агентов и их сообществ, так и самих агентов в части разработки универсальных механизмов их памяти и мышления, языков представления знаний, сенсоров и исполняющих механизмов, способов и средств коммуникации [2].

Перечисленные обстоятельства делают актуальной и практически значимой задачу разработки новых подходов для анализа поведения систем взаимодействующих агентов, а также методов и средств для поддержки процессов принятия решений агентами в процессе взаимодействия. В дальнейшем подобные системы могут быть использованы при принятии решений не только в управлении предприятиями, но и в задачах научных исследований, проектирования сложных технических объектов, моделирования коллективного поведения интеллектуальных роботов и многих других применениях.

Виртуальная организация агентов в МАС представляется как виртуальный рынок, на котором взаимодействуют агенты, представляющие интересы и действующие от лица и по поручению не только людей (менеджеров и специалистов предприятия), но и любых других физических или абстрактных сущностей, от машин и механизмов, их узлов и деталей – до концепций и методов, формул и диаграмм, кластеров и других абстрактных объектов.

Имеются различные подходы к архитектуре и построению агентов. Обзор многих из этих подходов содержится в [3, 4]. Определение понятия агента используем, в основном следуя работе [3].

Рассмотрим поведение системы агентов, общающихся между собой с помощью сообщений. На каждом шаге работы каждый агент выполняет некоторое подмножество действий в зависимости от своего внутреннего состояния и полученных сообщений. В результате этих действий он изменяет свое внутреннее состояние и посылает сообщения другим агентам. Таким образом архитектура агента должна включать в себя:

- внутреннюю структуру данных (базу данных), определяющую внутреннее состояние агента;
- почтовый ящик, содержащий сообщения от других агентов;
- базу действий, которую агент может выполнять;
- программу, определяющую алгоритмы выполнения действий.

Выполнение действия состоит из изменения текущего состояния агента и посылки сообщений другим агентам. Текущее содержание почтового ящика состоит из сообщений, полученных агентом от других агентов на предыдущем шаге.

Варианты организации мультиагентного сообщества при решении задач по распределению ресурсов могут быть основаны на взаимодействии агентов-заказов и агентов-ресурсов, выполняющих поиск на виртуальном рынке. Эти агенты, в обобщенном виде представляющие собой некоторые "возможности" и "потребности", ищут себе подходящие пары.

Конкурируя и кооперируясь между собой при заключении "сделок" для совместного решения возникающих задач агенты могут использовать развитые экономические механизмы, в том числе и договора на взаимные услуги, постоянно приспосабливаясь к изменяющейся ситуации.

Одним из важных критериев функционирования агента такого класса является обеспечения снижения стоимости закупаемых комплектующих и материалов при сохранении приемлемого качества. Иначе производимые товары будут иметь соответствующее количество брака. Однако, как покупатели, так и продавцы крупных партий товаров обычно считают приемлемым допущение определенной доли брака в партии.

Производство любого достаточно крупного количества товара (например, партии телевизоров) без учета определенного процента брака чрезвычайно дорого. Чтобы выпускать продукцию без брака, производителю пришлось бы обеспечить 100% тестирование произведенной продукции, так как при любом другом подходе существует риск выявления в партии хотя бы одной бракованной единицы. Во-первых, подобное тестирование в крупносерийном производстве не представляется возможным. Во-вторых, даже нулевой результат тестирования не может гарантировать полного отсутствия брака, и, таким образом, производитель всегда будет нести невозвратимые издержки за продукцию с браком. Для покрытия издержек, понесенных для достижения полного отсутствия брака в произведенной продукции, несомненно придется повысить отпускную цену. При этом агент-покупатель, может решить закупать товары у другого агента-продавца. Однако, если он потребует от нового агента-продавца 100% гарантии качества товара, то продавцу для удовлетворения требований опять-таки придется поднять цены. Если агент-покупатель продукции, соглашается на наличие небольшого процента брака в закупаемой партии, то он вполне может договориться с агентом-поставщиком о снижении цены. Правило, выведенное Адамом Смитом (Adam Smith), как раз и заключается в том, что компромиссное решение достигается тогда, когда участники производственной деятельности действуют каждый в своих собственных интересах.

Теперь рассмотрим данную ситуацию с точки зрения агента, представляющего производителя. Предположим, что согласно сделке, заключаемой агентом производителя с агентом покупателя, производителю разрешается производить товары с неким процентом брака. В этом случае производитель может не тести-

ровать партию целиком, а проводить лишь выборочное тестирование. Естественно, что расходы, затрачиваемые на тестирование, значительно сократятся. Кроме того, если будет выпускаться продукция с процентом брака, согласно требованиям агента-покупателя, снизятся издержки, связанные с возвратом бракованного товара. Это позволит поставщику постепенно снизить отпускную цену на продукцию, что, в свою очередь, сохранит клиентов и приведет к росту дохода.

В основу взаимодействия агентов при заключении сделки о купле-продаже по критериям цена-качество положим функцию качества продукции, известную под названием кривой качества. С помощью этой кривой агенты определяют вероятность того, какая партия товара может быть принята покупателем при различных процентах брака. Чем меньше показатель фактического брака, тем больше вероятность того, что партия будет принята агентом покупателя. Вид кривой качества продукции определяется следующими параметрами:

- допустимый уровень качества (ДУК) (AQL – acceptable quality level) товаров поставщика ДУК представляет собой максимальный процент брака, который покупатель готов принять в качестве среднего показателя процесса;

- допустимый процент брака в партии товара (ДПБвПТ) (LTPD – lot tolerance percent defective) отражает минимальный уровень качества, который покупатель готов принять в данной партии продукции;

- степень риска поставщика заключается в том, что покупатель может отказаться принять небракованную партию товара вследствие ошибки, допущенной в ходе выборочного контроля;

- степень риска покупателя заключается в том, что в результате ошибки, допущенной в ходе выборочного контроля, им будет принята некачественная партия товара.

С помощью кривой качества продукции агенты могут определить взаимосвязь степени риска покупателя и продавца. Как агент-покупатель, так и агент-продавец могут получить различную информацию о товаре с помощью следующего:

- кривая качества продукции;
- размер выборки, необходимый для сдерживания риска продавца и покупателя на приемлемо низком уровне;

- максимальное количество брака в выборке, при котором партия не может быть отвергнута;

- фактический риск поставщика и фактический риск покупателя при конкретном размере выборки и конкретном показателе С.

Эти кривые и данные являются составляющими разработанного алгоритма проведения «переговоров» между агентом-продавцом и агентом-покупателем.

Алгоритм поведения агента-покупателя предоставляет возможность несколько увеличить показатель ДПБвПТ, чтобы сократить необходимый размер контрольной выборки. Это, в свою очередь, снизит издержки продавца на проведение тестирования, что в итоге приведет к снижению стоимости товара.

Алгоритм поведения агента-продавца позволяет принять более высокую степень риска, но при этом качественная партия товара может быть отвергнута вследствие допущения ошибки при проведении выборочного контроля. Приняв этот дополнительный риск, агент может сократить издержки на тестирование и проведение выборочного контроля.

Таким образом взаимодействующие агенты для принятия компромиссного решения имеют определенные возможности непротиворечивого воздействия на поведение друг друга и должны достигать удовлетворяющего обоим результата. Иначе говоря, имеются компоненты, позволяющие сформулировать задачу принятия решения. Причем заключение сделки между агентом-продавцом и агентом-покупателем требует оптимизации по нескольким критериям, в частности «цена-качество-себестоимость», что приводит к задаче многокритериальной оптимизации, которую рассмотрим в такой постановке:

$$y_i = f_i(x) \rightarrow \max; \quad i = \overline{1, n}; \quad x \in X \subseteq E^n,$$

где  $X$  – множество допустимых решений (альтернатив),  $f_i$  – целевые функции.

Вектор  $y(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  называется оценкой допустимого решения (альтернативы)  $x$ . Множество оценок, которое отвечает всем альтернативам, обозначим

$$Y = \{y \in E^m \mid y = y(x), x \in X\}$$

и назовем множеством допустимых оценок. Пространство  $n$ -мерных векторов  $x \in E^n$ , будем называть пространством решений (альтернатив, планов, параметров), пространство  $m$ -мерных векторов  $y \in E^m$ , назовем пространством критериев (оценок). Сравнения альтернатив будем проводить на основе сопоставления оценок, которые им отвечают:

- 1)  $x'$  равноценный  $x''$  ( $x' \sim x''$ ), если  $y' = y''$ , т. е.  $y'_i = y''_i, \forall i = \overline{1, n}$ ;
- 2)  $x'$  неравноценный  $x''$  ( $x' \not\sim x''$ ), если  $y' \neq y''$ , т. е.  $\exists i: y'_i \neq y''_i$ ;
- 3)  $x'$  преобладает (лучший)  $x''$  ( $x' \geq x''$ ), если  $y' \geq y''$ , т. е.  $y'_i \geq y''_i, \forall i = \overline{1, n}$ ;
- 4)  $x'$  строго преобладает  $x''$  ( $x' > x''$ ), если  $y' > y''$ , т. е.  $y'_i \geq y''_i, y'_j > y''_j$ .

Если для альтернатив  $x'$  и  $x''$  не выполняется ни одно с соотношений 1–4, то  $x'$  и  $x''$  называются несравнимыми альтернативами.

Проблема решения многокритериальной задачи состоит в задании некоторого правила выбора на множестве эффективных альтернатив (оценок).

Один из путей решения с использованием правила выбора состоит в том, что сначала определяется множество эффективных альтернатив (оценок), после чего

из этого полученного множества выбирается элемент, который отвечает правилу выбора.

Второй – не требует предыдущего определения всего множества эффективных альтернатив (оценок). Он состоит в определении сначала множества элементов, которые удовлетворяют правилу выбора, а потом в выделении из них эффективного элемента (элементов).

С учетом вышеописанной технологии поведения агентов и методов их взаимодействия для решения задачи многокритериальной оптимизации был использован метод последовательных уступок. Особенность метода в том, что целевые функции многокритериальной задачи должны быть предварительно упорядочены по уменьшению важности соответствующих критериев оптимальности, после чего выбор решения задачи выполняется путем многошаговой процедуры, в процессе которой на очередном  $i$ -м шаге отыскивается максимальное значение  $i$ -ой по важности целевой функции  $y_i = f_i(x)$  на множестве альтернатив, которые удовлетворяют требованиям агента, который принимает решение (АПР), относительно более важных критериев. После этого АПР определяет значения уступки  $\Delta f_i$ , которая показывает величину эффекта по  $i$ -му критерию, которой можно поступиться с целью улучшения показателей по менее важным критериям.

Диалоговая процедура последовательных уступок состоит из одного предыдущего и  $p-1$  основных шагов.

0-й шаг. Критерии упорядочиваются по уменьшению важности (будем считать, что  $f_1 \succ f_2 \succ \dots \succ f_p$ )...

1-й шаг. Решается однокритериальная задача

$y_1 = f_1(x) \rightarrow \max, x \in X \equiv G_1$  и определяется оптимальное значение  $y_1^*$  и оптимальное решение  $x^1 \in E(G_1)$ . Далее вычисляется оценка

$$y(x^1) = (f_1(x^1), \dots, f_p(x^1)).$$

В случае, когда АПР не удовлетворяет полученная оценка, он определяет величину уступки  $\Delta f_i$  по первому критерию, на которую может согласиться с целью улучшения показателей по другим критериям;

$i$ -й шаг. Определяется множество

$$G_i = \{x \in G_{i-1} | f_{i-1}(x) \geq f_{i-1}(x^{i-1}) - \Delta f_{i-1}\}.$$

Путем решения задачи  $y_i = f_i(x) \rightarrow \max, x \in G_i$ , определяется наилучшее значение очередной по важности  $i$ -й целевой функции  $y_i^*$ .

На множестве оптимальных планов этой задачи выбирается некоторая эффективная альтернатива  $x^i$  и вычисляется оценка

$$y(x^i) = (f_1(x^i), \dots, f_i(x^i), \dots, f_p(x^i)).$$

Если АПР не удовлетворяют значения целевых функций  $f_{i+1}, \dots, f_p$  (в противоположном случае альтернатива  $x^i$  выбирается как решение многокритериальной задачи), то определяется значение уступки, на которую согласен АПР по  $i$ -му критерию для улучшения показателей по менее важным критериям.

Таким образом разработан подход для анализа поведения систем взаимодействующих агентов, а также методы и средства поддержки процессов принятия решений агентами в процессе их взаимодействия. Подобные системы могут быть использованы не только в современных системах управления предприятиями, но и в задачах научных исследований, проектирования сложных технических объектов, моделирования коллективного поведения интеллектуальных роботов и других применениях.

1. Таран Т.А. Моделирование и поддержка принятия решений в когнитивных конфликтах // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2001, № 2. – С. 126–139.
2. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями // Известия Самарского научного центра РАН. – 2001. – 3. – № 1. – С. 81–88.
3. *Heterogeneous Agent Systems*, MIT Press / V.S. Subrahmanian, P. Bonatti, J. Dix et al. – 2000. – 410 p.
4. *On Formal Modeling of Agent Computations*. In NASA Workshop on Formal Approaches to Agent-Based Systems / T. Araragi, P. Attie, I. Keidar et al. – 2000, April. – P. 70–78.

Получено 01.02.2004