

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ  
АКТИВНЫХ СИСТЕМ

Ю. А. Ивашкин (Москва)

Представляемый доклад посвящен рассмотрению концепции и возможностям мультиагентного имитационного моделирования больших активных систем любой физической природы: производственно – технологической, социальной, маркетинговой, биологической и т.п.

Динамика поведения такой системы в условиях неопределенности, риска, нечеткой или неполной информации в большинстве случаев непредсказуема и конечное ее состояние не может быть прогнозируемо аналитически или путем логического анализа, так как оно является результатом многошагового взаимодействия многих активных элементов системы и окружающей среды. Поэтому для идентификации и прогнозирования различных ситуаций в больших системах предлагается *агентно-ориентированная имитация* взаимодействия активных элементов – *интеллектуальных агентов*, изменяющих свои свойства и поведение в зависимости от состояния других элементов и среды.

Под интеллектуальным агентом понимается [1–3] активный элемент, моделирующий поведение человека в процессах сбора и обработки информации в зависимости от поведения других активных элементов и внешней среды.

Модели агентов, описывающие их индивидуальные характеристики состояния и поведения, объединяются в *мультиагентную имитационную модель активной производственной или маркетинговой системы*, воспроизводящую динамику взаимодействия агентов с возможностью идентификации и прогнозирования состояния всей системы.

**Поведение агента** описывается как некоторая итерационная процедура обработки данных, накопленных в ходе наблюдений, и представляется последовательностью операций в дискретные временные периоды (временные события).

**Динамика мультиагентной системы**  $Agents = \{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_n\}$  с множеством интеллектуальных агентов  $Ag_i \in Agents$  определяется [3, 4] априорно известным вектором состояния  $AgS_i$  каждого агента вида

$$AgS_i = \langle B_i, G_i, PL_i, Sn_i, Ev_i \rangle; i=1, n$$

где  $B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots\}$  – база знаний  $i$ -го агента;  $b_{ij}$  –  $j$ -я область знаний;  $G_i = \{g_{i1}, g_{i2}, \dots\}$  – множество целей  $g_{ik}$  ( $k$ -я цель  $i$ -го агента);  $PL_i = \{pt_{i11}, pt_{i12}, \dots\}$  – банк моделей (планов) поведения  $pt_{ikl}$  ( $l$ -й план достижения  $k$ -й цели  $i$ -го агента);  $Sn_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots\}$  – структура намерений (список планов поведения  $p_{ik}$ , выбираемых агентом  $Ag_i$  для достижения цели  $g_{ik} \in G_i$ );  $Ev_i = \{Ev_i(ag_1), Ev_i(ag_2), \dots, Ev_i(ag_j), \dots\}$  – описание внешних связей с агентами, взаимодействующими с  $Ag_i$ .

Банк моделей поведения представляет собой известные методы и процедуры достижения целей.

Структура намерений  $Sn_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots\}$  – это упорядоченная совокупность стандартизированных процедур поведения, принятых агентом  $Ag_i$ , для достижения цели  $g_{ik} \in G_i$ .

Внешние связи  $Ev_i = [Ev_i(ag_1), Ev_i(ag_2), \dots, Ev_i(ag_j), \dots]$  – это массив данных о состоянии, цели и намерениях взаимодействующих агентов.

На каждом этапе взаимодействия  $i$ -й агент  $Ag_i$  выбирает или корректирует цель  $g_{ik} \in G_i$  и план действий  $pt_{ikl}$  в виде  $L$ -й процедуры достижения  $k$ -й цели  $i$ -го агента  $Ag_i$  с формальными параметрами:

$$pt_{ikl} = \langle name_{ikl}, args_{ikl}, type_{ikl}, body_{ikl}, constrs_{ikl}, precodts_{ikl} \rangle,$$

где  $name_{ikl}$  – идентификатор (имя)  $l$ -й модели достижения  $k$ -й цели;  $args_{ikl}$  – список переменных состояния  $l$ -й модели;  $type_{ikl}$  – тип стратегии поведения (составная  $cpt_{ikl}$  или простая  $ppt_{ikl}$ );  $body_{ikl}$  – собственно процедура  $l$ -й стратегии достижения  $k$ -й цели;  $constrs_{ikl}$  – список факторов воздействия на элементы тела процедуры;  $preconds_{ikl}$  – список условий выполнения тела процедуры  $l$ -й стратегии достижения  $k$ -й цели.

**Программное описание моделей** интеллектуальных агентов и мультиагентных систем может быть осуществлено на объектно-ориентированных алгоритмических языках описания моделей [5, 6] в виде совокупности *базисных компонентов* со своим *именем-идентификатором*, *декларированием* переменных состояния и параметров связей с другими компонентами, *описанием динамики* временного поведения агента с помощью алгебраических и дифференциальных уравнений или последовательности событий.

Базисные компоненты, описывающие состояние и динамику поведения элементов системы, объединяются в общую мультиагентную модель активной системы с помощью *организационных компонентов верхнего уровня*, задающих структуру взаимосвязей между базисными компонентами.

Связь между базисными компонентами осуществляется с помощью *мобильных компонентов*, представляющих описания сообщений между агентами, или сенсорных переменных, изменение значения которых в одних агентах непосредственно передается другим и отражается в их состоянии.

Характерным примером является рыночная ситуация с конкурирующими фирмами, борющимися за максимальную прибыль и долю рынка. В этом случае *моделирование поведения каждого активного элемента* связано с выбором стратегии ценообразования в зависимости от состояния и стратегии всех участников рынка с определением компромиссных решений, направленных на захват, удержание и стабилизацию рынка в условиях конкурентной борьбы.

Несмотря на многообразие ситуаций различной социальной и физической природы, стратегии взаимодействия агентов сводятся к *прямому переговорному процессу*, *ситуационным стратегиям скрытой борьбы* с противодействующей стороной либо к *интеллектуальным стратегиям достижения цели* в условиях неопределенности и риска.

На рис. 1 представлена **мультиагентная ситуационная модель** олигопольного рынка [7], включающая функциональные блоки фирм-конкурентов, борющихся за максимальную прибыль и долю рынка, блока *Market* и коллективного блока  $N$  покупателей продукции *Buyer*.

Каждая фирма описывается в базисном компоненте, соответственно *Firm1*, *Firm2*, *Firm3*, с накопительными массивами параметров состояния (цена, объем предложений, скидки, реклама, качество, товарный ассортимент, кредит доверия, удаленность, доставка и т.п.) в массивах *par* [1..9] и в мобильном компоненте *Query*.

Моделируется процесс стабилизации рынка при двух олигополистах с последующим вхождением третьего. Для каждого покупателя в базисном компоненте *Buyer* генерируются его требования к продукту и фирме в элементах двумерного массива, строки которого соответствуют критериям, а столбцы – порядковым номерам покупателей. Для каждого олигополиста разыгрываются параметры предлагаемого продукта и сопутствующих услуг.

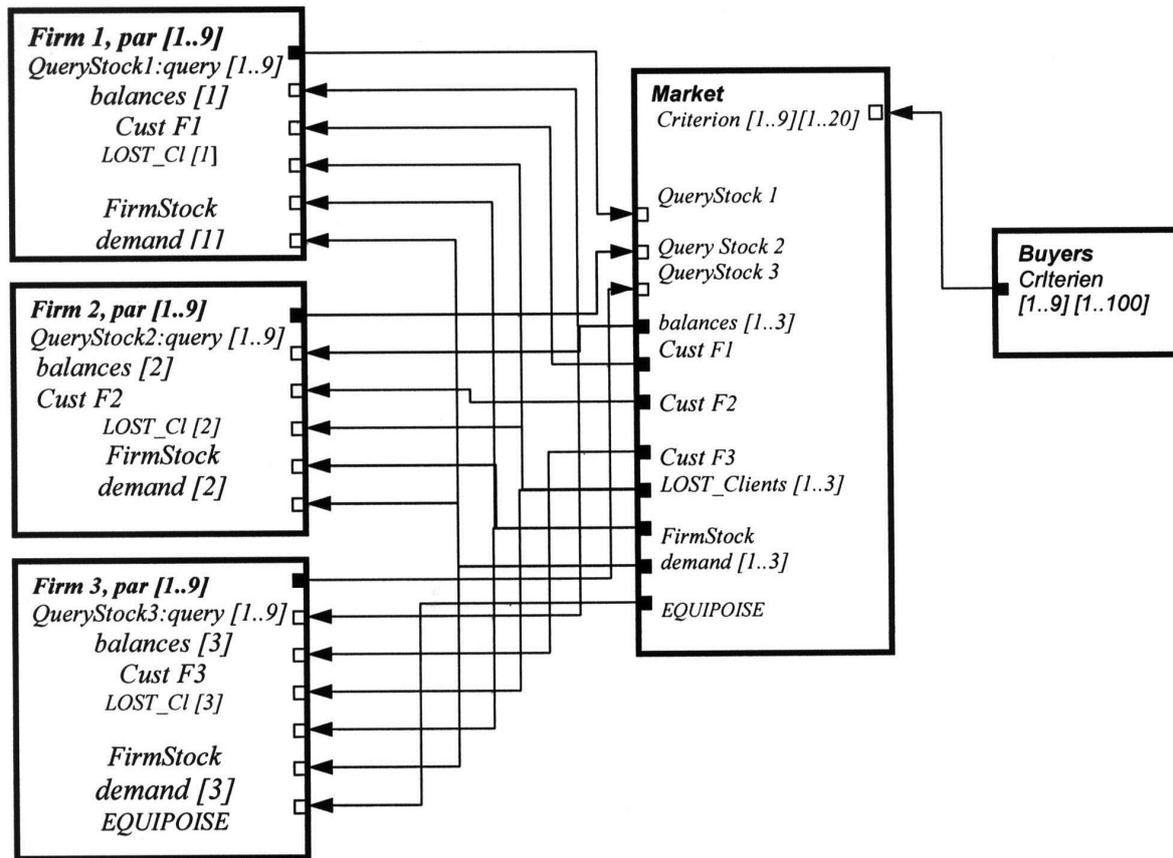


Рис. 1. Мультиагентная ситуационная модель рынка

*QueryStock 1-3, FirmStock* – накопители предложений по каждой фирме и в целом; *balances [1..3]* – массив остатков товара; *LOST\_Clients [1..3]* – массив необслуженных клиентов; *Cust F1-Cust F3* – число клиентов, соответственно, фирм 1–3; *Criterion [1..9] [1..100]* – массив критериев покупателей; *demand [1..3]* – массив объемов упущенных продаж; *EQUIPOISE* – логическая переменная, равная TRUE при равновесии цен на рынке.

Действия агентов-продавцов зависят от ряда последовательных условных событий, описываемых в базисных компонентах *Firm1, Firm2, Firm3* в разделах *Динамика поведения* по алгоритму *ситуационной стратегии*, связанной с выбором ценового и неценового воздействия каждой фирмы в зависимости от ситуации. Учитывая прошлый опыт (объемы продаж и спрос за предшествующие периоды), *i*-я фирма-олигополист выбирает одно из возможных решений на следующий период времени с варьированием цены, предложений и неценовых факторов в зависимости от условных событий:

- событие 1: ЕСЛИ Текущая цена товара *i*-й фирмы  $par[1] > average\_price$   
ТО Уменьшение цены на  $n\%$   
ИНАЧЕ Уменьшение цены на  $n\%$ ;
- событие 2: ЕСЛИ Есть упущенные клиенты  $LOST\_clients[i] = TRUE$   
ТО Увеличение поставок на недостающую величину  $par[2] + demand[i]$   
ИНАЧЕ Объем поставок  $par[2]$  не изменяется;
- событие 3: ЕСЛИ Остаток  $> 1/3$  от общего объема поставок  $balances[i] > par[2] / 3$   
ТО Увеличить (ввести) скидку  $par[3]$ ; уменьшить объем поставок на  $n\%$ ;
- событие 4: ЕСЛИ Число покупателей  $Cust F[i]$  больше, чем в прошлом периоде,  
ТО Увеличение объема поставок на  $N$  единиц  $par[2] + N$

ИНАЧЕ *Расширение товарного ассортимента* **par** [6] OR *Улучшение качества товара* **par** [5] OR *Повышение имиджа предложений* **par** [7] OR *Усиление рекламы* **par** [4] OR *Улучшение сервиса* **par**[9].

*Поведение агента-покупателя* описывается в базисном компоненте *Buyer*, который должен выбрать продавца и установить объем заказов по критериям выбора продавца и продукта. Каждый покупатель, приходя на рынок (базисный компонент *Market*), рассматривает предложение каждой фирмы и выбирает максимально соответствующее его требованиям. При этом ведется подсчет покупателей и количества купленного товара для каждой из фирм. В конце транзактивного периода подводятся итоги, и каждой фирме отправляется информация о количестве покупателей и об остатках товара на складах.

Описанная мультиагентная модель реализована в универсальной имитационной системе *Simplex3* [5], предоставляющей среду экспериментирования с обработкой результатов имитации, компонентно-ориентированный язык описания моделей *Model Description Language (Simplex-MDL)* и язык описания эксперимента *Experiment Description Language (Simplex-EDL)*.

Фрагмент *MDL*-описания структуры мультиагентной модели *организационным компонентом HIGH LEVEL COMPONENT Market\_HIGH* в соответствии со схемой соединений базисных компонентов (см. рис. 1) показан на рис. 2.

```

HIGH LEVEL COMPONENT Market_HIGH
SUBCOMPONENTS
Firm1, Firm2, Firm3, buyer, Market
COMPONENT CONNECTIONS
Firm 1.QueryStock1 --> Market.Qstock 1;
Firm 2.QueryStock2 --> Market.Qstock 2;
Firm 3.QueryStock3 --> Market.Qstock 3;
Buyer. criterion {i OF 1..9} {j OF 1..100} --> Market. Criterion [i][j] ;
Firm1.parameters1 {i OF 1..9} --> Firm3.parameters1 [i]
Firm2.parameters2 {i OF 1..9} --> Firm3.parameters2 [i]
Market. G --> Firm1. g , Firm2. g , Firm3. g
.....
END OF Market_HIGH

```

Рис. 2

Два автономных компонента объединяются линией связи, по которой поведение переменной из одного компонента учитывается в другом. При этом в разделе *COMPONENT CONNECTIONS* указывается имя компонента и его импортируемая сенсорная переменная, направляемая на сенсорный вход другого компонента. На рис. 3, 4 представлены результаты имитации ситуационных стратегий в системе *Simplex3* с участием двух фирм – конкурентов и последующим вхождением третьей фирмы.

На графиках можно видеть процессы эластичного ценообразования при большом различии исходных цен и стабилизации рынка при вхождении в него нового конкурента со своей ценовой стратегией (см. рис. 3), а также конкурентную борьбу, отражаемую в изменении долей рынка (числа покупателей) каждой фирмы и возможном распределении долей после вхождения в рынок нового олигополиста. До момента времени  $T = 40$  (см. рис. 4) покупательский спрос распределяется между двумя продавцами.

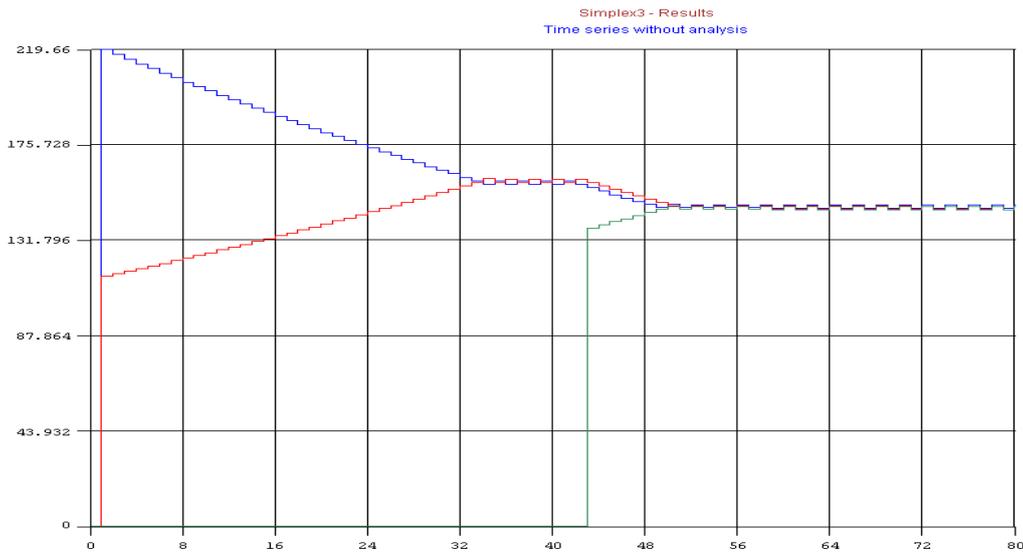


Рис. 3. Процесс стабилизации рынка при стратегии эластичного ценообразования

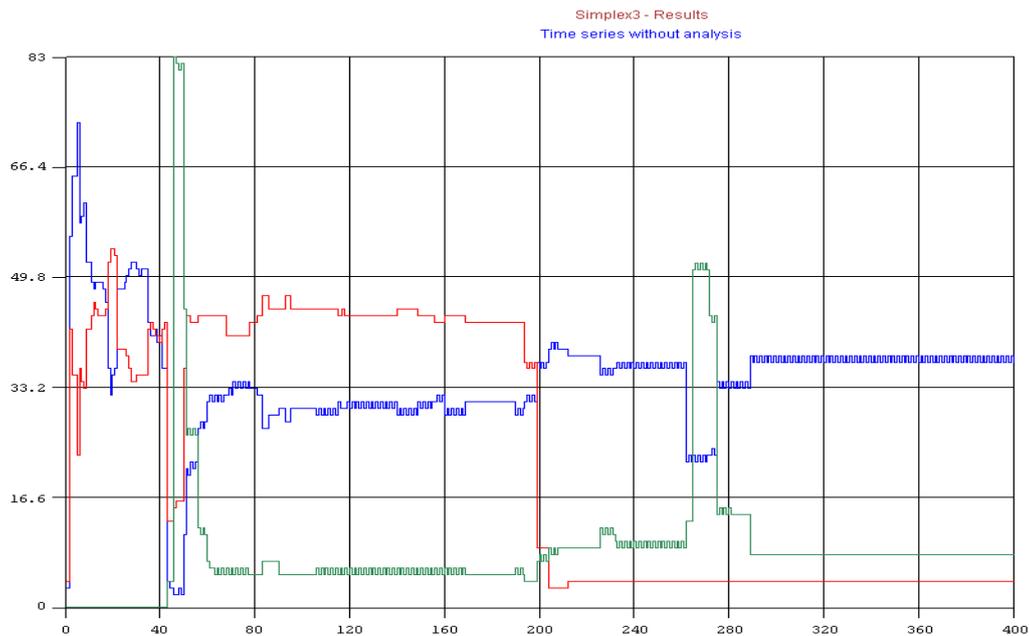


Рис. 4. Изменение доли рынка каждой фирмы

В этот момент на рынок входит третий продавец, изучивший предварительно предложения конкурентов и сформировавший свое собственное по цене ниже среднерыночной на 10%. Реакция потребителей на это появление отмечена переходом большей части спроса (83%) к «новичку» и соответствующим снижением долей первой и второй фирмы. Дальнейший процесс приводит к установившемуся состоянию с перераспределением долей рынка, при котором лидером становится вторая фирма с 50% рынка. В момент времени  $T = 270$  происходит резкое сокращение доли рынка второго агента-продавца, объясняемое изменением неценовых факторов.

Приведенные результаты мультиагентной имитации вскрывают и объясняют механизм стратегий ценообразования активных элементов в маркетинговой среде и позволяют прогнозировать процессы стабилизации рынка при различных экономических и социальных возмущениях [8] с выбором оптимальных маркетинговых стратегий в соответствии со спросом и предложениями в текущих условиях.

## Литература

1. **Поспелов Д. А.** От коллектива автоматов к мультиагентным системам // Proc. Of the International Workshop “Distributed Artificial Intelligence und Multi-Agent Systems”, DI-AMAS’ 97, St. Peterburg, 1997. P. 319–325.
2. **Schmidt В.** Die Modellierung menschlichen Verhaltens. SCS-Europe BVBA, Chent, Belgium, 2000. 105 p.
3. **Ивашкин Ю. А.** Структурно-параметрическое моделирование интеллектуальных агентов и систем// Информационные технологии и системы. Вып. 4, Воронежская государственная технологическая академия. Воронеж, 2001. С. 33–37.
4. **Lopes F., Mamede N., Novais A. Q. and Coelho H.** 2000. Towards a Generic Negotiation Model for Intentional Agents// In Proceedings of the IEEE Workshop on Agent-Based Information Systems (London, UK). IEEE Computer Society Press, CA, P. 433–439.
5. **Schmidt В.** The Art of Modelling and Simulation. SCS-Europe BVBA, Chent, Belgium, 2001. 480 p.
6. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
7. **Ивашкин Ю. А.** Агентные технологии моделирования рынка// Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 165–176.
8. **Ивашкин Ю. А.** Мультиагентное имитационное моделирование больших систем. Учебное пособие. М.: МГУПБ, 2008. С. 234.