

ИМИТАЦИОННЫЙ ПРОТОТИП МОДЕЛИ КОНКУРЕНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЪЕМОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

Евгений Олегович КРИНЕЦКИЙ. Аспирант МАИ. Основные научные интересы – в области имитационного моделирования сложных процессов и систем. Телефон: 8-926-169-35-42. E-mail: papakren5@mail.ru

Evgenie KRINETSKY. He is a Postgraduate Student at the MAI. His research interests are in imitating modeling of large problems and systems. E-mail: papakren5@mail.ru

Юрий Александрович ШЕБЕКО. Старший научный сотрудник Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН. Основные научные интересы – в области имитационного моделирования. E-mail: sheb@jssc.ru

Yury SHEBEKO. The senior scientific employee of the Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences. The basic scientific interests are in the computer simulation modeling techniques. E-mail: sheb@jssc.ru

Предлагается действующий прототип имитационной модели, которая может использоваться в исследованиях коллективного поведения социально-экономических систем. Прототип модели разработан в операционной среде многофункционального программного пакета AnyLogic, обеспечивающего, в частности, инструментальную поддержку проектирования и проведения имитационных экспериментов в рамках парадигмы мультиагентных модельных представлений.

The article offers the generalized approach towards software modeling which is based on interaction graph. The given approach allows to define notation and to represent a software system according to set notation. Notation can be extended to promote detailed description. Interaction graph provides the combined usage of different models without any restriction on technologies applied during software development. The explanation how this approach can be used to represent a software system in different notations is also described in the article.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, эмерджентность, агент.

Key words: imitating modelling, Agent-Based Simulation, emergence, the agent, the the finite automaton.

При исследованиях природы сложных социально-экономических процессов возникает проблематика объяснения и трактовки самых разнообразных и трудно формализуемых закономерностей их поведения и регулирования. Действительно, какие динамические эффекты регулярно проявляются и претендуют на устойчивость даже при отсутствии централизованного планирования и управления? Как меняются эти закономерности под воздействием факторов индивидуальных предпочтений? На какие особенности поведения следует обратить внимание с точки зрения выявления взаимоотношений между динамикой развития стихийного рынка и государственным пла-

нированием? Ответы на эти очень непростые вопросы порой связывают с феноменами так называемой эмерджентности, когда у сложной системы формируются свойства, отсутствующие у частей и проявляющиеся лишь в поведении и взаимодействии её агрегатов [1,4].

Оказалось, что применение аналитических методов моделирования поведения широкомасштабных социально-экономических процессов, к сожалению, возможно лишь в рамках существенных ограничений, формируемых такими экономическими теориями, как теория всеобщего экономического равновесия, теория ожидаемой полезности и т. д. Подобные подходы предполага-

ют, как правило, наличие факторов совершенных рынков, однородных посредников или долговременного равновесия. По мнению авторитетных экономистов [2], предположение о том, что экономика растёт равновесно в режиме сбалансированного роста (сохраняя структуру неизменной), начинает противоречить экономической практике.

Сегодня всё чаще в исследованиях поведения сложных технических, а также социально-экономических систем применяется имитационная методология Агентного Моделирования (АМ), когда система представляется совокупностью активных взаимодействующих агентов [4].

Поскольку агенты применяются в самых разных областях, в каждой из которых в это понятие вкладывается свой смысл, единого определения понятия «агент» не существует. Однако, независимо от области применения, агент всегда взаимодействует как с другими агентами, так и с децентрализованной средой своего окружения. Агентам присуща вполне индивидуальная логика поведения.

Согласно [3] агенты обладают нижеследующими свойствами:

- агент идентифицируем, его можно определить как индивидуум, состоящий из отдельных частей с определённым набором характеристик и правил, управляющих его поведением и отвечающих за принятие решений;
- агент имеет чётко видимый контур и может определить, какие свойства присущи лишь ему, а какие являются характеристикой агрегата агентов;
- агенты обладают протоколами для взаимодействия с другими агентами и способны реагировать на их активности;
- агент стремится к достижению вполне определённых целей исходя из логики своего поведения;
- агент автономен, то есть может функционировать и независимо от взаимоотношений с другими агентами;
- агент может обучаться и адаптировать своё поведение во времени, основываясь на собственном опыте;
- агенты разнообразны, разнородны и динамичны; они активны по отношению к своим атрибутам и правилам поведения, которые в состоянии варьироваться;
- поведение агента зависит от того, какое количество информации он учитывает в своих «рассуждениях»; от модели окружения, включающей других агентов; от размера памяти для хранения произошедших событий.

Все перечисленные факторы агент использует для формирования своего поведения. Факторы различаются по наборам своих атрибутов и по объемам накопленных ресурсов. С точки зрения объектно-ориентированного программирования (ООП), подобные свойства агентов напоминают характеристики объектов некоторого класса.

Несмотря на многообразную природу агентов и широту сфер применения АМ, наиболее привлекательные, с точки зрения авторов, задачи лежат в области агентного моделирования поведения участников социально-экономических процессов и явлений. Так, АМ успешно используется при моделировании поведения агентов на фондовых рынках, моделировании поставок, предсказании распространения эпидемий и т.д. В подобных системах агенты представляют участников или группы участников разнообразных процессов социально-экономических взаимодействий.

Первой социальной моделью, основанной на агентах, принято считать модель Томаса Шеллинга [5], где агенты представляли участников социально-экономических взаимодействий. Шеллинг использовал клеточный автомат для изучения закономерностей жилищной сегрегации территорий при наличии того или иного уровня расовых предрассудков населения. Модель Шеллинга продемонстрировала, что гетто могут развиваться спонтанно, а возникающие закономерности не обязательно следуют из стремлений и предпочтений отдельных индивидуумов. Выявление подобного фактора способствовало возникновению интереса к применению АМ в подобных задачах. Следует заметить, что первоначальные модели Шеллинга даже не были компьютерными: агенты представляли собой монеты, передвигаемые по шахматной доске. Эксперименты в области моделирования поведения индивидуумов в растущих искусственных сообществах с помощью агентных моделей были продолжены Эпштейном (Epstein) и Акстеллем (Axtell) [2].

В рассматриваемой работе предлагается динамическая модель, имитирующая размещение и перемещение торговых точек населённого пункта в зависимости от маршрутов и интенсивности продвижения покупателей. Действующий прототип модели реализован в операционной среде пакета имитационного моделирования AnyLogic с использованием парадигмы агентного подхода.

В модели исследуется поведение двух типов взаимодействующих экономических агентов. Первый тип задан конечным множеством $A \{A_i\}$ $i=1, \dots, n$, второй тип – конечным множеством B

$\{B_j\} j=1, \dots, m$. Агенты находятся в ограниченной среде, «живут» в ней и взаимодействуют друг с другом. Среда представлена связным ограниченным компактным множеством $P \in \mathbb{R}^2$. Агенты синхронно меняют свои состояния в течение продвижения модельного времени $t=1, 2, \dots$

Агенты A – агенты-продавцы, которые определенным образом распределены по территории населенного пункта. Каждый агент характеризуется координатами x_A, y_A своего размещения в P радиусом r_A , определяющим его физические размеры, и радиусом влияния r_V . Агенты-продавцы A_i в начальный момент времени обладают определенным запасом денежных ресурсов $ZA_i(0)$, который расходуется ими с определенной скоростью $d(ZA_i)/dt$. С агентом A_i связана критическая величина ZN объема ресурсов, по достижении которой агент A_i должен изменить свое положение в поисках источников возобновления ресурса. Если ресурс агента-продавца израсходован раньше, чем он смог его пополнить, он «погибает». Таким образом, агент-продавец представляет собой упорядоченный набор пяти параметров $\{x_A, y_A, r_A, r_V, ZA(0), d(ZA)/dt, ZN\}$.

Агенты-продавцы обладают определенными «генетическими» свойствами и правилами поведения (правилами изменения соответствующих параметров). Так, по правилам взаимодействия агентов между собой, они не должны приближаться друг к другу ближе указанного минимального расстояния $r_{kl} > r_{A_k} + r_{A_l}$. В соответствии с правилами перемещения агентов-продавцов, после того как ресурс агента-продавца станет меньше нижнего граничного значения $ZA_i(t) \leq ZN$, агент A_i начнет перемещаться в поисках источников пополнения ресурса

$$x(t+1) = x(t) + Rx,$$

$$y(t+1) = y(t) + Ry,$$

где x, y – координаты объекта; t – модельное время; Rx, Ry – случайные величины пуассоновского распределения на интервале $(-rV/2, rV/2)$.

Агенты B – это агенты-потребители. Они – исключительные владельцы ресурсов $ZB_i(t)$. Агенты-потребители характеризуются координатами x_B, y_B в P . Они целенаправленно перемещаются по определенным маршрутам с постоянной скоростью v_B . Маршруты формируют неориентированный граф G с узлами в точках $G_i \in P$ (точки компактного проживания агентов-потребителей, точки остановок общественного транспорта и т.п.).

Интенсивность потока агентов-потребителей определяется количеством агентов-потребителей, перемещающихся в единицу времени по некоторому маршруту. Перемещаясь по маршрутам, агенты-потребители B_j вступают во взаимодействие с агентами продавцами A_i , совершая покупку товара и передавая часть своего ресурса $S(j, i) \leq ZB_j$ агенту-продавцу. Величина $S(j, i)$ также является случайной величиной пуассоновского распределения на интервале $(0, ZB_j)$. Убывающий ресурс агентов-потребителей B_j возобновляется из внешнего источника либо циклично с заданным периодом $T > 0$, либо одновременно, либо комбинированно (циклично и одновременно). Ресурс агентов-потребителей ZB_j ограничен некоторой заданной величиной MB . Таким образом, агент-потребитель представляет собой упорядоченный набор пяти параметров $\{x_B, y_B, ZB, v_B, T\}$.

Простейший тип взаимодействия агентов-потребителей с агентами продавцами определяется актом продажи агентами-продавцами товара агентам-потребителям. Акт купли-продажи агентами-потребителями B_j товара у агентов-продавцов A_i осуществляется при попадании агента-потребителя в зону влияния агента-продавца $r_{ji} \leq r_{V_i}$ и далее с заданной вероятностью p_{ij} , где

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad \sum_{i=1}^m p_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n.$$

Множество $P \in \mathbb{R}^2$ может формироваться, например, с помощью спутникового снимка, где каждому пикселю соответствует пара координат.

Агенты реализуются объектами классов (в смысле ООП). Среда также реализуется классом, что позволяет использовать в модели механизмы циклических и единичных событий.

Модель позволяет проводить эксперименты, изменяя такие управляющие параметры, как:

- генетические свойства агентов-продавцов;
- их начальное размещение;
- правила взаимодействия;
- правила возобновления объемов ресурсов агентов-покупателей;
- интенсивность их перемещения по существующим маршрутам;
- характеристика величины сфер их влияния.

На рис. 1 представлен график возможного изменения численности агентов-продавцов во времени, на рис. 2 – график изменения во времени дохода агентов-продавцов, на рис. 3 – график изменения во времени среднего ресурса агентов-

Численность торговых агентов

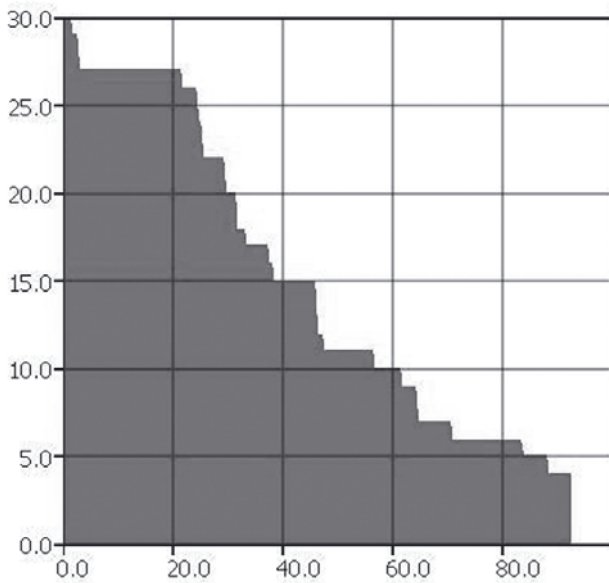


Рис 1. Зависимость численности агентов-продавцов

Благополучие торговых агентов

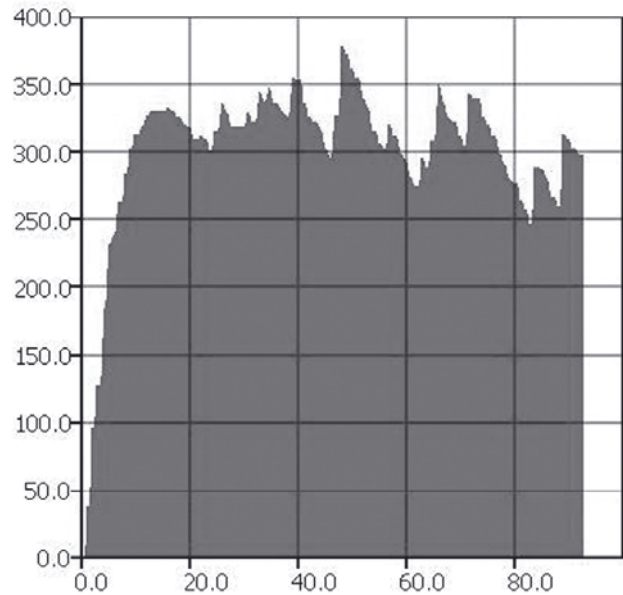


Рис. 2. Изменение дохода агентов-продавцов

потребителей при некоторой заданной экономической ситуации.

На рис. 4 приведена демонстрационная панель, характеризующая возможности настройки, варьирования и визуализации результатов проводимых имитационных экспериментов.

Для настройки интерфейса модели автоматически генерируется дерево объектов. Оно позволяет выводить на демонстрационную панель и отслеживать для выбранных объектов необходимые характеристики.

Предполагается использовать имитационную модель для решения задач эффективного размещения торговых точек в экономическом регионе при разнообразных сценариях поведения агентов-потребителей. Можно надеяться, что модель найдет своё применение при решении задач формирования торговой инфраструктуры новых микрорайонов.

Модель позволяет координировать действия участников и может использоваться как инструмент, демонстрирующий эффективную аналитическую поддержку решения подобных актуальных задач управления.

Среднее благополучие агентов-потребителей

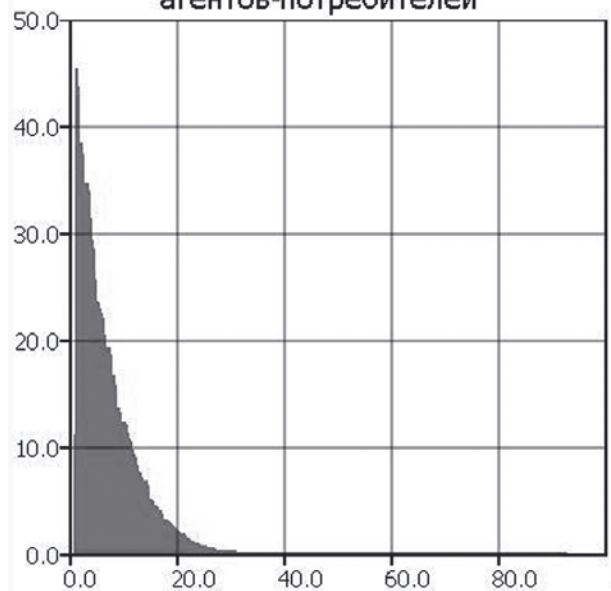


Рис.3. Изменение объема ресурса агентов-потребителей (усредненное значение)

Имитационный прототип модели

конкурентного поведения экономических агентов
в условиях использования ограниченных объемов возобновляемых ресурсов

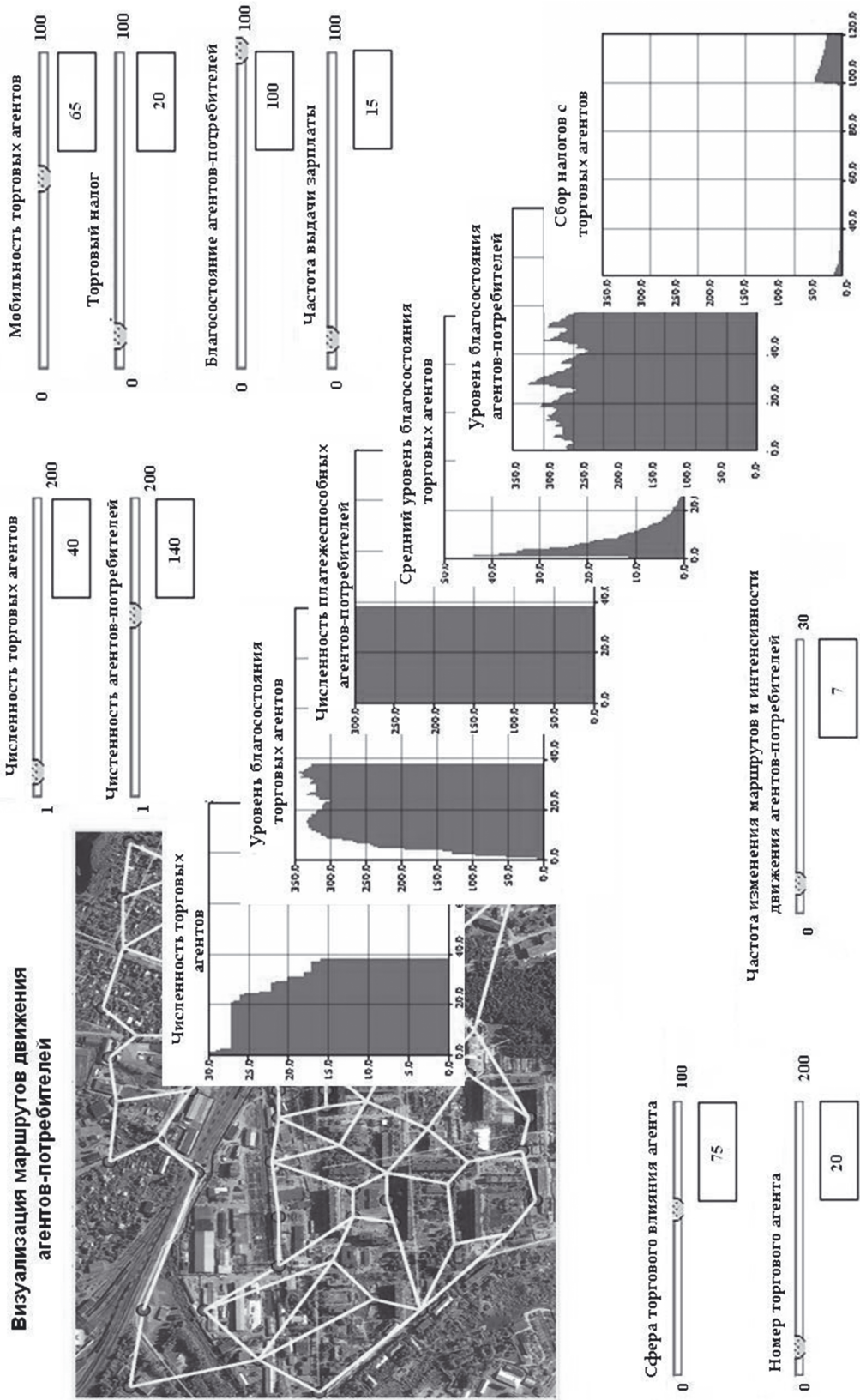


Рис. 4. Демонстрационная панель

Библиографический список

1. *Ю.Г. Карнов*. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

2. *David A. Kendrick, P. Ruben Mercado, Hans M. Amman*(2005). Computational Economics Modeling. University of Texas.

3. *Charles M. Macal, Michael J. North*. Tutorial On Agent-Based Modeling And Simulation. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.

4. *Казаков С.А., Шебеко Ю.А.* Введение в практику имитационного моделирования и анализа поведения сложных процессов и систем (пособие) / Под ред. Г.И. Савина – М.: МИЭТ, 2006.

5. *Schelling T.*, The Strategy of Conflict, copyright 1960, 1980, Harvard University Press, ISBN 0674840313.

Московский авиационный институт