

Компьютерное моделирование искусственных миров

Мотивы поведения человека в социально-экономической среде занимали умы величайших философов и ученых на протяжении всей истории человечества.

Согласно классической теории поведения потребителя, принимаемые им решения исходят из соображений полной рациональности. Предполагается, что человек всегда выбирает наилучшее действие с целью максимизации полезности от приобретаемых им благ или его поведение в плане поиска работы оптимально с точки зрения будущего дохода. При этом также предполагается, что человек знает все возможности выбора и осведомлен о последствиях каждой альтернативы.

Нобелевский лауреат Герберт Саймон (Саймон (2000)) подверг резкой критике данный подход с его «абсурдно всеведущей рациональностью» и показал, что такая модель поведения человека далека от реальности. Основным аргумент Г. Саймона заключается в том, что в основе поведения человека как работника лежит не только желание получить максимальный денежный доход, но еще и моральные факторы, связанные с удовлетворением его социальных потребностей или с реализацией творческих возможностей.

Несмотря на то, что такое понятие как «моральное удовлетворение» не рассматривается в классической экономической теории, в психологии оно имеет первостепенное значение. В большинстве психологических теорий, основным мотивом человека, побуждающим его к действиям, является неудовлетворенность стремлений. Причем уровень стремлений непостоянен, а зависит от жизненного опыта, в связи с чем, достижение удовлетворенности является итерационным и непрекращающимся процессом.

По мнению Г. Саймона в человеческом поведении много иррационального, а границы рациональности для каждого индивидуума не статичны и могут изменяться в зависимости от окружения. Например если ситуация хорошо знакома, а реакция внешней среды предсказуема, то принимаемое решение может быть оптимальным, однако в случае изменения какого-нибудь параметра внешней среды, с одной стороны могут поменяться границы рациональности, а с другой – не факт, что принимаемое решение будет оптимальным.

Традиционное принятие решений на основе рационального поведения было раскритиковано Г. Саймоном в разработанной им концепции ограниченной рациональности (bounded rationality), согласно которой «способности человеческого мышления формулировать и решать комплексные проблемы в очень малой степени сравнимы с масштабом проблем, решение которых требуется для объективного рационального поведения в реальном мире или даже для приемлемой аппроксимации к такой объективной рациональности» (Пью, Хиксон (1999)).

Также необходимо отметить, что множество рассматриваемых человеком альтернатив гораздо меньше их реального числа, и поэтому невозможно точно предсказать последствия любой из них. Кроме того, цели, достигаемые человеком, являются неоднозначными и поэтому их нельзя измерить количественно.

В нашей работе мы решили отказаться от традиционного моделирования поведения человека посредством максимизации функции полезности в пользу нестандартного моделирования ограниченной рациональности, посредством применения технологий искусственного интеллекта.

Существует пять основных направлений моделирования ИИ: 1) нейронные сети, 2) эволюционные вычисления; 3) экспертные системы; 4) нечеткая логика; 5) генетические алгоритмы.

Среди них, для моделирования поведения человека в социально-экономической среде больше других подходят нейронные сети, экспертные системы и аппарат нечеткой логики. Эволюционные вычисления применяются для других целей (для самовосстановления и самоконфигурирования сложных систем, состоящих из одновременно функционирующих модулей), а генетические алгоритмы в основном используются для задач оптимизации. Поскольку в своей работе мы исходим из теории ограниченной рациональности, то решение оптимизационных задач здесь неуместно. Что касается оставшихся трех направлений ИИ, то для разрабатываемой нами модели они равнозначны, но есть отдельные тонкие моменты, исходя из которых, мы отдали предпочтение нейронным сетям.

В модели мы имитируем поведение множества людей, которые воплощены в модели в виде «виртуальных обществ». Для их обучения с последующим встраиванием в модель, использовались данные реально проводимых опросов нескольких тысяч респондентов. Результаты работы нейронных сетей, обученных на большом количестве наблюдений, на наш взгляд будут больше соответствовать действительности, чем экспертные системы (исчисляющие предикаты из базы знаний, полученной путем опроса нескольких экспертов) и системы нечеткой логики (использующих правила, также закладываемые несколькими людьми).

Перечисленные выше системы ИИ нашли свое применение в самых различных областях – бизнесе, медицине, физике и, в том числе, экономике. Однако эти системы в большинстве случаев используются автономно, а не в составе имитационных моделей. К примеру, те же нейронные сети используют для прогноза макроэкономических показателей, так же как и одиночные регрессионные уравнения (Beltratti, Margarita, Terna (1996)).

Лишь за последние несколько лет стали появляться публикации, авторы которых делятся опытом использования систем ИИ в составе сложных моделей для более адекватного представления деятельности экономических агентов. В то же время моделей, использующих в качестве ИИ нейронные сети, совсем немного.

Г. Саймон еще в 1970-ых годах отметил, что «за последние 20 лет, благодаря исследованиям в области искусственного интеллекта и когнитивной психологии, наше понимание процедурной рациональности заметно продвинулось. Использование этих достижений в экономической теории могло бы существенно углубить наши представления о динамической рациональности и воздействии на процессы выбора институциональных структур, в рамках которых осуществляется выбор» (Simon (1978)). Такое отставание во времени связано в первую очередь с неспособностью вычислительных машин тех лет численно разрешать модели большой размерности. Теперь современные компьютеры позволяют проводить такие вычисления.

В этой связи необходимо упомянуть про новое направление в прикладной экономике – «Вычислимой экономике агентов» (Agent-based Computational Economics, ACE), основой

которого является моделирование виртуального мира, «населенного» автономными агентами (экономическими, биологическими и т.д.). В проект по созданию подобных миров вовлечено много исследователей, разработки которых выложены на сайте <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>. Управление созданным виртуальным миром, в соответствии с методологией ACE, осуществляется без вмешательства извне, т.е. только посредством взаимодействия агентов (Tesfatsion (2002)). При этом агенты должны обладать способностью к обучению.

Наиболее популярным прикладным пакетом для моделирования параллельно распределенного виртуального мира является универсальный пакет SWARM, разработанный в Институте Санта Фе (Santa Fe Institute). По своей сути SWARM является набором библиотек, написанных на языке Objective-C, служащих основой для разработок сложных мульти-агентных систем. Этот пакет в свободном доступе выложен в сети по адресу <http://wiki.swarm.org>.

Разработка виртуального мира в SWARM осуществляется за два основных этапа:

- 1) Создание среды виртуального мира, в которой будут сосуществовать агенты, определяемые на следующем этапе.
- 2) Создание агентов – объектов виртуального мира (к примеру, людей), с описанием их атрибутов и правил взаимодействий. В процессе своего существования, созданные агенты будут анализировать получаемые от окружающей среды данные, реагировать на них и пополнять свой опыт (обучаться). Этот этап разработки модели наиболее важен, поскольку агенты, корректно отражающие черты своего реального прообраза – залог адекватно построенного виртуального мира.

В то же время, необходимо отметить, что практически все наиболее известные работы, моделирующие поведение человека в социально-экономической среде, используя при этом технологии ИИ (к примеру (Zizzo, Sgroi (2000)), (Grothmann (2002)), (Kooths (1999)), (Tesfatsion (2002))) являются теоретическими, т.е. используют абстрактные данные, а цель их разработки в большинстве случаев заключается в проверке возможности применения такого инструментария. В отличие от подобного рода разработок, наша модель использует реальные данные и способна выдавать адекватные результаты.

Помимо вышесказанного, большинство экономических моделей, в которых используются технологии ИИ, являются итерационными, но количество итераций ограничивается самими разработчиками, которые «на глазок» определяют точку останова, а в нашей модели итеративный пересчет продолжается до логического завершения, определяемого особенностями моделирования экономической системы – среды функционирования «виртуальных обществ».

В качестве такой экономической системы, в которую мы встроили совокупность нейронных сетей, было решено использовать вычислимую модель общего экономического равновесия (Computable General Equilibrium Model, CGE модель). Модели этого класса сами по себе являются новым направлением в прикладной экономике, получившим широкое распространение во всем мире.

CGE моделям посвящено большое количество иностранной литературы, однако в нашей стране этому инструменту не уделялось должного внимания. Тем не менее, в ряде работ ЦЭМИ РАН были описаны недавно созданные CGE модели России и ее регионов, а также был проведен большой обзор зарубежных аналогов.

CGE модели можно определить в трех ключевых аспектах. Во-первых, они включают в себя экономических агентов, результаты деятельности которых, находят отражения во всей экономической системе. Именно поэтому CGE модели называются *общими*. Обычно в число агентов входят домашние хозяйства, фирмы и правительства. Во-вторых, CGE модели включают в себя систему нелинейных уравнений, посредством решения которой, достигается равновесие на рынке каждого товара, услуги и фактора производства. Благодаря этому модели становятся *равновесными*. В-третьих, модели выдают количественные результаты, что позволяет называть их *вычислимыми*.

Соединяя CGE модель и совокупность нейронных сетей, мы получили *симбиоз экономической системы и эмулятора мозга людей из рассматриваемых нами «виртуальных обществ»*.

Из-за экономии места мы приведем лишь краткую техническую характеристику модели с указанием основных агентов – действующих лиц социально-экономической системы. Более подробно про саму модель, системы искусственного интеллекта, применяемых для решения экономических задач можно прочитать в книге (Макаров, Бахтизин, Бахтизина (2005)). Итак, модель представлена семью экономическими агентами. Первые три из них являются агентами- производителями.

- *Экономический агент №1* – государственный сектор экономики. Сюда входят предприятия, доля государственной собственности в которых более 50 процентов.
- *Экономический агент №2* – рыночный сектор, состоящий из легально существующих предприятий и организаций с частной и смешанной формами собственности.
- *Экономический агент №3* – теневой сектор. Понимание теневого сектора в данной модели двоякое. С одной стороны к теневому сектору относятся нерегистрируемые в статистической отчетности экономические единицы, производящие товары и услуги, а с другой – легально существующие предприятия. В последнем случае в теневом секторе учитывается только их скрытая деятельность.
- *Экономический агент №4* – совокупный потребитель, объединяющий в себе домашние хозяйства России. Этот экономический агент представлен в модели совокупностью «виртуальных обществ», которые принимают различные решения исходя из сложившейся экономической ситуации. К таким решениям относятся 1) смена работы; 2) изменение потребительских предпочтений. Технически, в модели, на каждой итерации три нейронные сети вычисляют параметры трудовой мобильности, а еще две находят доли бюджета домашних хозяйств, идущие на покупку конечных товаров, на сбережения и на покупку валюты.
- *Экономический агент №5* – правительство, представленное совокупностью федерального, региональных и местных правительств, а также внебюджетными фондами. Кроме того, в этот сектор входят некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства (политические партии, профсоюзы, общественные объединения и т.д.).
- *Экономический агент №6* – банковский сектор, включающий в себя Центральный банк России и коммерческие банки.
- *Экономический агент №7* – внешний мир.

Производственные возможности первых трех агентов задаются с помощью производственной функции Кобба-Дугласа. Входными факторами являются труд и капитал. Значение производственной функции показывает добавленную стоимость (конечный продукт), произведенную соответствующим сектором.

В процессе итеративного пересчета модели, на рынке каждого товара и услуги уравнивается совокупный спрос и предложение в соответствии с различными механизмами (в случае регулируемой государством цены на товар или услугу равновесие достигается посредством изменения доли бюджета, а в случае рыночной и теневой цены – за счет изменения самой цены).

Для заполнения CGE модели данными, прежде всего, использовались статистические сборники Госкомстата РФ. Однако больший интерес представляют данные, необходимые для обучения нейронных сетей, представляющих домашние хозяйства. В качестве таких данных были использованы социологические базы данных RLMS (Russian Longitudinal Monitoring Survey или Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения (РМЭЗ)), представляющие собой серию проводившихся в Российской Федерации в 1992 – 2001 гг. репрезентативных общенациональных опросов, реализованных в два этапа (две различные выборки). Второй этап мониторинга включает в себя шесть волн обследований, каждое из которых представляет собой ответы на более чем 3 тысячи вопросов, сгруппированных по трем вопросам (взрослый, детский и семейный), включающих в себя информацию по нескольким разделам. В среднем, в каждой волне опрашивалось около 10000 взрослых, 2000 детей и 4000 домохозяйств.

В модели мы решили использовать пять нейронных сетей, три из которых определяют поведение человека в плане смены работы, а остальные две определяют способ распределения бюджета домохозяйства. Отобранные вопросы представляют собой слишком большой массив и поэтому не могут быть приведены здесь, однако в общих чертах мы опишем примерный круг вопросов.

Для обучения первых трех сетей отбирались вопросы относительно заработной платы работника, формы-собственности предприятия-работодателя, а также вопросы, касающиеся неофициальной трудовой деятельности.

Для обучения двух других сетей отбирались вопросы, конкретизирующие расходы домашних хозяйств на покупку конечных товаров (всего рассматривались 92 товарные группы), а также вопросы относительно дохода домохозяйства и части средств, отложенных в виде сбережений.

После построения модели, с ее помощью был проведен вычислительный эксперимент, определяющий реакцию экономической системы на снижение ставки единого социального налога.

Литература:

- 1. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. (2005): CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. – М.: ЦЭМИ РАН.
- 2. Пью Д.С., Хиксон Д. Дж. (1999): Исследователи об организациях. Хрестоматия. М.: ЛИНК.
- 3. Саймон Г. (2000): Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении. М.: Теория фирмы.
- 4. Beltratti A., Margarita S. and Terna P. (1996): Neural Networks for Economic and Financial Modelling. London: International Thomson Computer Press.
- 5. Grothmann R. (2002): Multi-Agent Market Modeling based on Neural Networks.

- 6. Kooths S. (1999): Modelling Rule- and Experience-Based Expectations Using Neuro-Fuzzy Systems. University of Muenster. Germany. <http://www-wiwi.uni-muenster.de/~09/makromat/cef99/cef99-kooths.pdf>.
 - 7. Simon H.A. (1978): Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T.Ely Lecture // American Economic Review. V. 68, no.2, p.1–16.
 - 8. Tesfatsion L. (2002): Agent-Based Computational Economics: Modelling Economies as Complex Adaptive Systems. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi>.
 - 9. Zizzo D.J., Sgroi D. (2000): Bounded-Rational Behavior by Neural Networks in Normal Form Games. Nuffield College Oxford Economics Discussion Paper. No. 2000-W30.
-