ЖУРНАЛ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ №4/2010

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Н. А. Бегунов, Б. И. Клебанов, Е. В. Попов

В статье рассматривается применение мультиагентного подхода к моделированию социально-экономических процессов городов. Предложен новый подход к построению моделей агентов на основе аналитических зависимостей, продукционных систем и решения задач оптимизации.

Системная динамика (СД) применяется для моделирования социальных и урбанистических систем на протяжении более 40 лет (J. Forrester, H. Donella, Н. П. Бусленко, А. И. Шендрик, В. А. Цыбатов, Д. Л. Андрианов и др.), однако существует ряд моментов, которые накладывают существенные ограничения на работу и результаты экспериментов, получаемых с помощью модели:

а) поскольку модель оперирует только количествами, агрегатами, объекты, находящиеся в одном накопителе, неразличимы, лишены индивидуальности;

б) аналитику предлагается рассуждать в терминах глобальных структурных зависимостей и, следовательно, ему необходимы соответствующие данные.

Все это делает невозможным учет большого количества данных, характеризующих социально-экономические процессы города, а также получение различных разрезов аналитики на основании результатов работы имитационной модели.

В качестве альтернативы СД в данной статье рассматривается возможность применения для моделировании социально-экономического развития города агентного подхода, а также совместное использование СД и мультиагентного моделирования. При агентном подходе появляется возможность представить в виде агента единичного представителя сообщества или предприятие, отразить индивидуальные особенности агента, отследить весь жизненный цикл агента и оценить влияние принимаемых решений на объект, а следовательно, и на различные группы, в которые входит агент. В отличие от системной динамики, здесь нет такого места, где централизованно определялось бы поведение (динамика) системы в целом. Вместо этого определяется поведение на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности многих (десятков, сотен, тысяч, миллионов) агентов, каждый из которых следует своим собственным правилам, живет в общей среде и взаимодействует со средой и с другими агентами.

В случае моделирования систем, содержащих большие количества активных объектов (людей, животных, машин, предприятий или даже проектов, активов, товаров и т. п.), которые объединяет наличие элементов индивидуального поведения, от сложных (цели, стратегии) до самых простых (временные ограничения, события, взаимодействия), агентное моделирование является подходом более универсальным и мощным, так как оно позволяет учесть любые сложные структуры и поведения.

Другое важное преимущество агентного моделирования в том, что разработка модели возможна в отсутствии знания о глобальных зависимостях: вы можете знать очень немного о том, как вещи влияют друг не друга на глобальном уровне или какова глобальная последовательность операций, и т. п., но, понимая индивидуальную логику поведения участников процесса, можно построить агентную модель и вывести из нее глобальное поведение. Таким образом, иногда, даже если в принципе и существует, скажем, системно-динамическая модель системы, построить агентную модель может быть проще. И, наконец, агентную модель проще поддерживать: уточнения обычно делаются на локальном уровне и не требуют глобальных изменений. В таком случае введение новых объектов (предприятий, объектов социальной инфраструктуры, планов стратегического развития) в агентной имитационной модели не изменяет ее структуры, что может потребоваться при использовании моделей системной динамики.

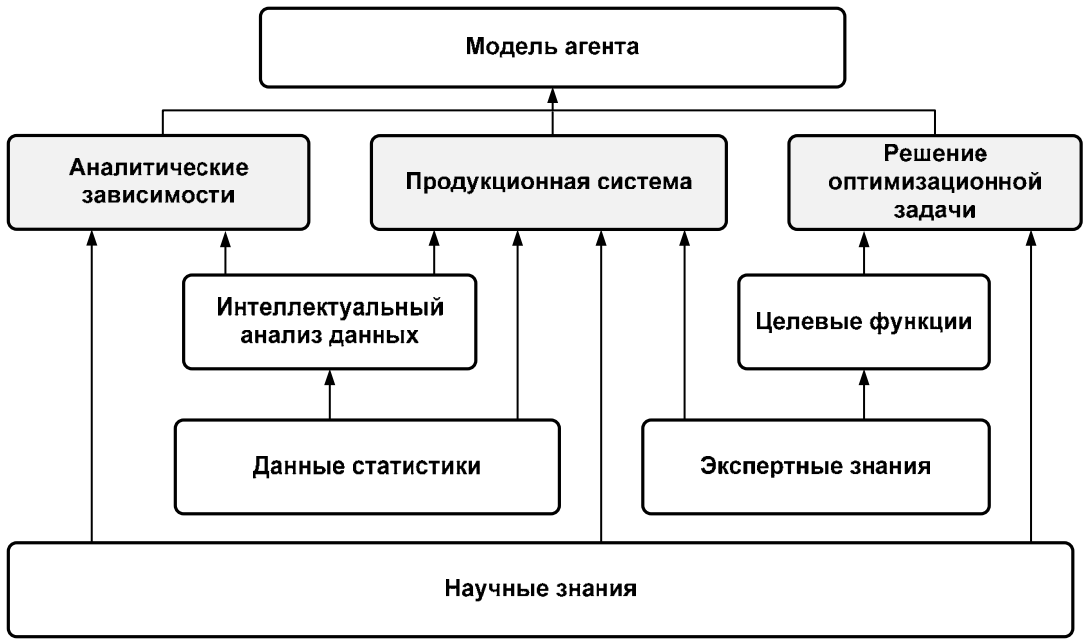


Рис. *Подходы к определению моделей агентов*

В основу разработанной имитационной модели города положена модель открытой экономики. В модели рассматриваются следующие типы агентов муниципального образования (МО) и его окружения: промышленные предприятия, предприятия сферы услуг, население города (домашние хозяйства), рынок товаров и услуг, рынок рабочей силы, жилой фонд города, бюджет МО, федеральный (и региональный) бюджет.

Так как возможности, потребности и жизненные установки агентов могут меняться в различных периодах их жизни, в основу описания поведения положена модель жизненного цикла (ЖЦ). При этом каждый интеллектуальный агент в мультиагентной модели развивается в соответствии с собственной моделью поведения, которая может изменяться в рамках его индивидуального жизненного цикла. На каждой стадии (состоянии) ЖЦ агент реализует один или множество параллельных процессов (например, потребление товаров и услуг и производство продукции). В дальнейшем модель такой стадии будем называть режимом функционирования агента.

Таким образом, модель поведения экономического агента состоит из:

1) модели жизненного цикла;

2) модели поведения на конкретных этапах развития

$$U = \begin{cases} u_i(t) \\ p_i(u_i(t),t) \end{cases},$$

где $u_i(t)$ — модель жизненного цикла агента, $p_i(u_i(t), t)$ — модель поведения на определенном этапе жизненного цикла. Режим функционирования включает в себя набор моделей, выполняемых на определенном этапе.

Математические модели поведения агентов в таком случае строятся из теоретических источников по микро- и макроэкономике, с использованием математического программирования и интеллектуального анализа данных (регрессионные зависимости, продукционные системы), а также знания экспертов (рис.).

В связи с различными объемами знаний и данных о функционировании агентов совместно использовались модели двух типов:

Тип 1. Локальная модель: значение параметра агента на следующем шаге моделирования определяется на основе внутренних параметров и законов поведения каждого конкретного агента.

Тип 2. Глобальная модель: значение параметра агента на следующем шаге моделирования определяется либо на основе статистики по этому параметру всего множества агентов на предшествующих шагах, либо аналитически на основе регрессионной зависимости с использованием текущей статистики по другим параметрам, при этом учитываются внутренние параметры агента.

Примером локальной модели является модель потребления конкретного агента, она строится исходя из потребностей и существующих возможностей конкретного агента (наличия де-

нежных средств и требуемых ресурсов на рынке). Потребление всех агентов дает общий объем спроса, что соответствует типичному для агентного подхода моделированию «снизу вверх».

Другим примером такого подхода может служить моделирование принятия решения об эмиграции (поступление в вуз, смена места работы и т. п.), когда принятие решения осуществляется на уровне агента-человека, при этом учитываются все особенности конкретного агента. Для построения такого «решателя» необходимо определить полный перечень факторов, оказывающих влияние на принятие решения, и установить вероятность принятия положительного решения для каждой из комбинаций факторов влияния на основании статистической информации, то есть заполнить базу знаний агентов (продукционную систему) по определенному вопросу.

Глобальные модели могут быть получены на основе моделей макроэкономики либо на основе регрессионных зависимостей выявленных методами анализа статистической информации. То есть при принятии решения по какому-либо вопросу на уровне агента вероятность принятия решения зависит как от характеристик самого агента, так и от статистических характеристик всего множества агентов. Такие модели используются, например, при прогнозировании: рождаемости, смертности, заболеваемости населения и ряда других показателей. Эти модели применяются в тех случаях, когда невозможно учесть все множество внешних факторов, влияющих на поведение группы людей, при моделировании каждого человека в отдельности.

Существенным недостатком такого подхода является невозможность точно соотнести выполняемое действие с конкретным агентом. Например, в данном случае неясно, в какой семье родится ребенок (к какому агенту вида «семья» отнести ребенка, кто его родители). В случае прогнозирования количества эмигрантов, таким образом, можно получить только общее их количество, но нельзя определить характеристики этих мигрантов: пол, возраст, уровень образования, доход и т. п.

К плюсам такого подхода можно отнести меньшие требования к статистике по сравнению с локальными моделями. Выбор подхода к построению моделей развития определяется исходя из объемов, структуры и качества имеющейся в наличии статистической информации.

Сочетание локальных и глобальных моделей позволяет адаптировать имитационную модель к использованию статистических данных с различным уровнем детализации.

Таблица

Варианты использования мультиагентной имитационной модели города

Варианты использования	Особенности
Ситуационное моделирование	Прогнозирование социально-экономического развития города в условиях «что будет, если …»
Оценка стратегических проектов	Определение возможностей и последствий реализации стратегических проектов
Проведение оптимизационных экспериментов	Поиск параметров эффективного управления на основе целевых функций
Деловые имитационные игры, коллективная работа по поиску решения	Объединение знаний экспертов и модели, коллективный поиск решений

Два описанных выше подхода могут быть использованы при наличии теоретических знаний или достаточного объема статистики и возможности выделить устойчивые зависимости между факторами влияния и конечными результатами.

Были выделены еще 2 класса моделей: модели определения решения на основании данных статистики (например, учет эластичности спроса) и модели, осуществляющие поиск эффективных решений (например, на основе заданной целевой функции).

Модели первого класса могут оказаться неадекватными при моделировании условий, с которыми прежде не приходилось сталкиваться (например, кризисные ситуации). В этом случае становится целесообразным использование моделей второго класса для определения логики поведения агентов целевых функций и алгоритмов поиска эффективных решений, задающих поведение объектов модели в различных ситуациях. Такой подход предлагается использовать при определении логики производственных агентов, в различных условиях функционирования.

Целью создания имитационной модели была разработка системы поддержки принятия решений (СППР) при разработке стратегических планов развития города. Варианты применения описанной мультиагентной имитационной модели приведены в таблице.

В качестве средства для реализации модели была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic 6.2 как специализированный

инструмент, объединяющий возможности разработки с использованием различных подходов, и обеспечивающий одновременную работу до 4 млн агентов.

Список источников

1. *Бегунов Н. А., Клебанов Б. И., Москалёв И. М.* Технология прогнозирования развития муниципального образования с использованием имитационной модели. Автоматизация и современные технологии // Машиностроение. 2009. № 4.

2. Мультиагентная имитационная модель муниципального образования / Клебанов Б. И., Москалев И. М., Бегунов Н. А., Крицкий А. В. // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2007) : сборник докладов третьей Всероссийской научно-практической конференции. Т. 2. Санкт-Петербург, 17-19 октября 2007. СПб.: ЦНИИТС, 2007.

3. Принципы построения стратегического ситуационно-аналитического центра администрации крупного муниципального образования / Клебанов Б. И., Крицкий А. В., Немтинов А. В., Бегунов Н. А. // Автоматизация и современные технологии. 2007. №12. С. 35-38.

4. Технологии Data Mining при разработке мультиагентных имитационных моделей / Клебанов Б. И., Бегунов Н. А., Москалев И. М., Рапопорт И. А. // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. №2.

5. *Цыбатов В. А.* Моделирование экономического роста / [науч. редактор Г. Р. Хасаев]. Самара: Самарский гос. экон. ун-т, 2006. 385 с.

УДК 004.942
ключевые слова: моделирование, имитационные модели, агломерационная экономика