

**ДИСКУССИОННАЯ ПАНЕЛЬ
ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООБЩЕСТВ**

Акиншин А.А., Кузнецова О.И., Хачатрян Н.К.

Москва, ЦЭМИ РАН

a.a.akinshin@yandex.ru, olgaku1992@bk.ru,
nerses-khachatryan@yandex.ru

**АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ
«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОССИЯ»**

*Исследование подготовлено при финансовой поддержке РФФИ,
проект № 20-010-00339.*

В погоне за достижением максимального результата и наиболее эффективного распределения ресурсов человечество создавало самые различные методы анализа и прогнозирования. Прогноз - окно в будущее, взгляд в которое может распознать возможные опасности, критические точки и, соответственно, дать возможность их предотвратить.

К формализованным методам прогнозирования относятся экстраполяция (перенос тенденций прошлых периодов на будущие, как правило, посредством изучения временных рядов) и моделирование (воспроизведение ряда свойств объекта или процесса в некоторой упрощенной форме).

Одним из самых активно развивающихся видов моделирования является агент-ориентированное моделирование (АОМ). В отличие от методов экстраполяции или аналитических видов моделирования (математические соотношения), оно обладает рядом преимуществ. Во-первых, не нужно обладать знаниями о взаимосвязях и закономерностях всей системы в целом, достаточно знать поведение одного элемента системы (при однотипных агентах) или нескольких типов элементов. Во-вторых, этот вид моделирования гибок: в отличие от чётких математических формул, которые дают ответ исходя исключительно из входных значений, АОМ позволяет создать систему, которая самостоятельно функционирует и может даже изменяться в зависимости от заложенных правил. Это свойство дает возможность получать «на выходе» самые неожиданные результаты при проведении множественных экспериментов, определять кризисные точки. В-третьих, процесс детализации АОМ практически ничем не ограничен. На любом этапе модель можно изменить или включить в нее дополнительные свойства и правила действий. С увеличением качества и количества собираемой

статистики точность АОМ, основанных на реальных данных, будет расти, а вместе с ней и востребованность таких моделей.

Внедрение такого рода моделей может быть эффективным во многих сферах, но особенно можно выделить сферу регулирования социально-экономических процессов. В рамках государственного регулирования нет места практическому эксперименту, а цена ошибки велика, так как отражается на реальных людях. В таком случае уместна апробация решений на искусственном обществе, которое можно сформировать с помощью АОМ.

В сфере моделирования социально-экономических систем в РФ можно выделить профильные работы сотрудников ЦЭМИ РАН (Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б., 2018, Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. и др., 2016; Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л. и др., 2019а, 2019б, 2019в; Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф., 2018; Хачатрян Н.К., Акиншин А.А., Кузнецова О.И., 2020; Хачатрян Н.К., Кузнецова О.И., 2020).

Авторы занимаются разработкой АОМ, которая используется для создания искусственной популяции жителей РФ, участвующих в социально-экономических процессах. Основной целью является прогнозирование состояния регионов в отраслевом разрезе. Построенная модель должна показывать состояние отраслей (по видам экономической деятельности) внутри каждого региона с точки зрения уровня трудового потенциала, включающего в себя возраст, стаж, уровень образования, уровень квалификации, а также уровень удовлетворенности агентов.

В модели каждый агент-человек представлен следующим набором характеристик: ID (уникальный идентификационный номер); пол; возраст; регион проживания; ID семьи (уникальный идентификационный номер «ячейки», к которой прикреплены все члены семьи); уровень образования (высшее, среднее профессиональное, среднее общее, основное общее, отсутствует); сфера деятельности/статус (ребёнок, студент, безработный, пенсионер или работник какой-то одной сферы деятельности); рабочий стаж, уровень квалификации; группа доходности; уровень оплаты труда.

Отрасли в регионах характеризуются усредненным по всем агентам показателем уровня трудового потенциала. По видам экономической деятельности выделены следующие четырнадцать отраслей: сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства; обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха; водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений; строительство; торговля оптовая и розничная, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; транспортировка и хранение; деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; деятельность в области информации и связи; деятельность по операциям с

недвижимым имуществом; образование; деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; наука и инновации; государственный сектор; другие виды деятельности.

Динамика в модели задается с помощью описания следующих процессов:

- демографические (рождение новых агентов, взросление, смерть);
- смена статуса (переход ребёнка в статус студента, а студента в статус занятого в одной из сфер деятельности и пр.);
- поведение агента в рамках одного статуса (переезд, смена сферы деятельности, повышение квалификации).

Особый интерес представляет поведение агента в рамках статуса «занятый в одной из сфер деятельности».

Основной характеристикой, определяющей такое поведение, является уровень удовлетворенности, который зависит от таких показателей региона проживания как:

- размер заработной платы агента по сравнению со средней по отрасли, в которой занят агент;
- качество здравоохранения;
- качество науки и образования;
- престиж;
- климат.

Таким образом, в модели параллельно формируется рейтинг регионов, основанный на указанных выше показателях. Отметим, что веса показателей, определяющих уровень удовлетворенности, отличаются для разных групп населения. Например, высококвалифицированный сотрудник с невысокой (в его сфере деятельности по сравнению с другими регионами) заработной платой, захочет в первую очередь переехать в тот регион, где активно развивается отрасль, в которой он занят (соответственно, растет и з/п).

В зависимости от уровня удовлетворенности агент принимает одно из следующих решений:

- переезд в другой регион (неприемлемый уровень удовлетворенности);
- смена деятельности в рамках своего региона (низкий уровень удовлетворенности);
- повышение квалификации (средний уровень удовлетворенности);
- не предпринимает никаких действий относительно смены деятельности и региона проживания (высокий уровень удовлетворенности).

Смена региона проживания различными агентами приводит как к изменению рейтинга регионов, так и состояния отраслей. Таким образом,

можно просчитать будущее развитие или упадок различных отраслей в регионах.

Программная реализация модели требует значительных вычислительных ресурсов – оперативной памяти и ресурсов процессора. В процессе разработки и тестирования модели были использованы два подхода, выбор которых определялся доступными программно-аппаратными средствами:

1) *Одно- или многопроцессорный сервер на базе процессоров с многоядерной архитектурой. Язык программирования C# 7.3.*

Используются средства распараллеливания вычислений, реализованные в библиотеке параллельных задач TPL (Task Parallel Library) в пространстве имен System.Threading.Tasks. Использовался класс Parallel, который является частью TPL и предназначен для упрощения параллельного выполнения кода. Parallel имеет ряд методов, которые позволяют распараллелить выполнение задачи. В проекте использовались методы Parallel.For (позволяет выполнять итерации цикла параллельно) и Parallel.ForEach (осуществляет итерацию по коллекции, реализующей интерфейс IEnumerable, подобно циклу foreach, но осуществляет параллельное выполнение перебора).

Использование этих средств на этапе начального создания популяции позволило значительно (в зависимости от количества доступных ядер, до десятков раз по сравнению с «линейной» программой) сократить время вычислений. Например, на 16-и ядерном сервере (2 x Intel Xeon E5-2640v2), при доступных программе 15 ядрах (30 потоках), время вычислений сократилось более чем в 20 раз по сравнению с «не параллельной» версией программы.

Эффективное распараллеливание на данном этапе возможно на уровне одновременного выполнения одинаковых задач назначения свойств для агентов различных регионов. Одновременно обрабатывается до N регионов (где N – количество доступных программе потоков). Т.к. количество агентов в различных регионах значительно отличается, то и время завершения соответствующих потоков различно. Это приводит к менее, чем линейной зависимости уменьшения времени работы программы от количества доступных ядер/потоков.

2) *Компьютер (суперкомпьютер), поддерживающий MPI (в частности, MPICH).*

Второй этап создания и использования модели связан с собственно моделированием поведения агентов с использованием агент-ориентированного подхода. На этом этапе на основе ранее созданной популяции моделируются возможные действия агентов. Возможная реализация – распараллеливание вычислений с использованием технологии MPI (Message Passing Interface). С программной точки зрения, каждый агент может быть представлен отдельным процессом (потоком),

взаимодействующим с другими агентами через механизм сообщений. Использование коммуникаторов (MPI_Comm) позволяет выделить группу агентов, например, в пределах одного региона.

Список использованной литературы:

1. Макаров, В. Л. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели) / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин. – Москва: Экономика, 2013. – 295 с.
2. Макаров, В. Л. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, Г. Б. Сушко // Вычислительные методы и программирование. – 2018. – Т. 19, № 4. – С. 368-378.
3. Макаров В. Л., Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агенториентированные демографические модели / А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, В. А. Васенин, В. А. Борисов, В. А. Роганов // Вестник Российской академии наук. – 2016. - Т. 86. - № 5. - С. 412–421.
4. Макаров В. Л., Имитационное моделирование системы умный город: концепция, методы и примеры / А. Р. Бахтизин, Г. Л. Бекларян, А. С. Акопов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. - 2019. - Т. 15. - № 2. - С. 200–224.
5. Макаров В. Л., Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем / А. Р. Бахтизин, Г. Л. Бекларян, А.С. Акопов // Программная инженерия. – 2019. - Т. 10. - № 4. - С. 167–177.
6. Макаров В. Л., Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза / А. Р. Бахтизин, Г. Л. Бекларя, А. С. Акопов, Е. А. Ровенская, Н. В. Стрелковский // Экономика и математические методы. – 2019. - Т. 55. - № 1. - С. 3–15.
7. Макаров В. Л., Агенториентированная модель Евразии и имитация реализации крупных инфраструктурных проектов / А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, А.Ф. Агеева // Экономика региона. – 2018. - Т. 14. - № 4. - С. 1102–1116.
8. Хачатрян, Н. К. Имитационная модель российского общества: создание и анализ виртуальной популяции / Н. К. Хачатрян, А. А. Акиншин, О. И. Кузнецова // Искусственные общества. – 2020. – Т. 15, № 4.
9. Хачатрян, Н. К. Компьютерное моделирование вариантов пространственного развития научно-технологической сферы в Российской Федерации / Н. К. Хачатрян, О. И. Кузнецова // Экономика и математические методы. – 2020. – Т. 56, №3. – С. 45-55.