

Системная динамика и агентное моделирование

Тема. Агентное моделирование

Дисциплина для магистрантов
специальности «Математика и компьютерные науки»
профилизации «Компьютерная математика системный анализ»

Лаврова О.А.

механико-математический факультет, БГУ, Минск

2021

Идея коннекционизма реализует системный принцип иерархии

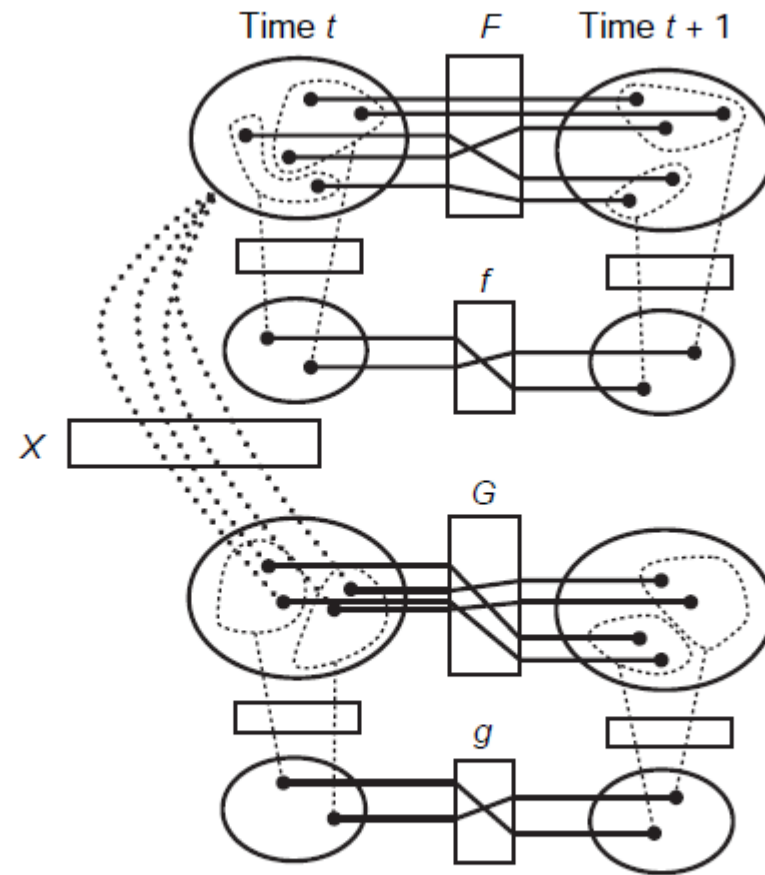


Figure 3.3. Modeling complex systems. The behavior of the entities at one level in the world (*upper panel*) might result in new entities emerging (via function X) that take on new types of behaviors that require a new class of models (*lower panel*).

J.H. Miller, S.E. Page, Complex adaptive systems, 2007

Агентное моделирование, agent-based modeling

- Первые публикации по агентному моделированию появились в 1980-х годах
- Агентное моделирование поначалу являлось преимущественно предметом теоретических дискуссий в академических кругах, а начиная с 2000-х годов разработчики имитационных моделей стали использовать его на практике.

И. Григорьев, AnyLogic

- Agent-based modeling is an experimental tool for theoretical research

M.W. Macy, R. Willer, 2001

- **Agent-based modeling** is useful when the emphasis is on the process that generates a given regularity, while **mathematics** is more concerned with the description of the system.

M. Fontana, 2005

Агентное моделирование – мотивация

- Агентное моделирование дает возможность моделирования эмерджентных (интегративных) свойств системы без прямой реализации этих свойств (в частности, при отсутствии знаний о глобальных правилах и законах), а как результата построения модели системы по ее локальной информации (идентификация агентов и их поведения (отношений)).
- ... “grow” the macroscopic phenomenon from the **bottom up**... It allows us to trace how individual (micro) rules generate macroscopic regularities.
- ... is relevant to the study of **non-equilibrium systems**

J.M. Epstein

Целью агентного моделирования является понимание (empirical understanding) процессов, которые появляются в различных приложениях

Аксельрод, 1997

Системный принцип холизма в основе агентного моделирования

A system has holistic properties possessed by none of its parts. Each of the system parts has properties not possessed by the system as a whole. More specific, it is very important to recognize that the whole is not something additional to the parts: it is the parts in a definite structural arrangement and with mutual activities that constitute the whole.

R.L. Ackoff, 1971

Агентная модель I

Агентная модель состоит из агентов, отношений и среды. Агент – центральная концепция агентного моделирования. Каждый агент явно определяется в модели

Агент I

- **Агент** – это элемент модели, который моделирует некоторую сущность (люди в различных ролях, продукт, транспортные средства, инвестиции, организации, страны), и обладает определенными свойствами
- Агент обладает свойством автономности (децентрализованности) (***Autonomy***)
- Агент взаимодействует (локально) с другими агентами в некоторой среде (***Sociality***) и/или со средой. Взаимодействие может определяться простым правилами принятия решений (if-then) или абстрактными моделями (нейронные сети или генетические алгоритмы)
- Агент имеет состояния, которые определяют поведение агента (***Conditionality***)
- Агент имеет границу (***Modularity***)
- Агент может обладать ресурсами и памятью
- Агент может быть целенаправленным (не глобальный оптимизатор), адаптироваться и обучаться

Агент II

На сегодняшний день нету единого соглашения об определении агента в контексте агентного моделирования, за исключением свойства автономности (**Autonomy**).

Системный принцип темноты (principle of darkness)

Концепция агента в агентной модели реализует **системный принцип темноты**

Each element in the system is ignorant of the behavior of the system as a whole, it responds only to information that is available to it locally. This point is vitally important. If each element 'knew' what was happening to the system as a whole, all of the complexity would have to be present in that element.

W.R. Ashby, An introduction to cybernetics, 1956

Агентная модель II

Состояние агента – это значения атрибутов агента в некоторый момент времени

Конфигурация агентной модели в момент времени t – это множество состояний всех агентов модели в момент времени t

Правила поведения агента могут зависеть от текущей конфигурации, могут зависеть от прошлых конфигураций, могут зависеть также от действий агентов, с которыми происходит взаимодействие

Агентная модель III

- **Отношения.** В каждый момент времени агент взаимодействует только с некоторыми агентами (соседями). В каждый момент времени агент взаимодействует только с локальной областью среды. (state-mediated contact structures, *de Marchi, Page, 2014*)
- Отношения описываются топологией связей между агентами: дискретная (двумерный массив, в одной ячейке не более одного агента), непрерывная (евклидово пространство), графы статические или динамические, ГИС (географическое пространство, заданное картой), soup (положение в пространстве является не существенным атрибутом агента)

Агентная модель IV

- **Среда** определяет условия существования, действий и взаимодействий агентов. В частности, обеспечивает информацию о пространственном положении агента. Среда обладает состояниями.
- Среда задается явно
- В среде должно быть определено понятие локальности.
Проблема поиска ближайших соседей

Разработка агентной модели

На данный момент не существует стандартного языка агентного моделирования.

Структура агентной модели может быть задана как графически (например, в AnyLogic), так и с помощью сценариев.

И. Григорьев, AnyLogic

Инструменты для агентного моделирования

- AnyLogic
- MESA in Python
- Repast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) in Java

Стандартная архитектура агентной модели

Создание стандартной агентной модели в AnyLogic заключается в задании двух типов агентов на основании базового типа **Agent**:

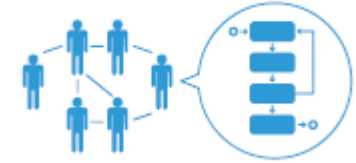
тип агента **Main** для описания ОДНОГО объекта высокого уровня, где содержатся все агенты. Агент типа Main играет роль среды для других агентов

тип **Person** для описания агента

Группа агентов, как объекты типа Person, включаются в Main.

Иерархии типов агентов могут быть различными. Например, агенты-компании, агенты-служащие, агенты-клиенты и т.д.

Описание поведения агента



Поведение агента может быть задано различными способами. Если у агента есть состояния, от которых зависят его действия, то его поведение задается с помощью диаграммы состояний. Иногда поведение агента задается действиями, выполняемыми при наступлении определенных событий.

И. Григорьев, AnyLogic

- Диаграмма состояний (карта состояний, стейтчарт), как расширение конечного автомата, соответствует стандарту UML. Диаграмма состояний является графическим изображением состояний объекта и переходов между ними. В заданный момент времени агент может находиться только в одном состоянии. Любой агент может иметь несколько параллельно работающих диаграмм.
- Поддерживаются следующие типы событий: таймаут, получение сообщения, выполнение логического условия

Описание агентной модели

- ODD(Overview, Design and Details)-протокол является одним из основных стандартов описания агентных моделей
- «The primary objectives of ODD are to make model descriptions more understandable and complete, thereby making ABMs less subject to criticism for being irreproducible»

Grimm, 2010

Агентное моделирование -- целесообразность

- Исследуемая система естественным образом состоит из агентов, решения которых и поведение поддаются определению
- Разработка агентной модели возможна в отсутствии знания о поведении системы на глобальном уровне
- Агентную модель проще поддерживать: уточнения обычно делаются на локальном уровне и не требуют глобальных изменений
- Важным является возможность адаптация агентов (изменение поведения)
- Важным является возможность самообучения агентов
- Поведение и взаимоотношения агентов зависит от их положения в пространстве

Недостатки агентного моделирования

- Собрать статистику по характеристикам индивидуальных объектов сложнее, чем по агрегированным показателям
- На сегодняшний день нету точного описания понятия агент в контексте агентного моделирования
- На данный момент не существует стандартного языка агентного моделирования.
- Тяжело проверить соответствие модели реальной системе (validation)

Демонстрационный пример – игра «Жизнь»

- Самый знаменитый клеточный автомат. Описывает популяцию неких вымышленных организмов, развивающихся во времени и пространстве в соответствии с заданными законами размножения и вымирания.
- Хотя эволюционные правила известны и их число невелико, предсказать заранее результат эволюции невозможно, пока последовательно не будут пройдены все поколения от начальной конфигурации до искомой.
- Курсовая работа Легушева Дмитрия (КМиСА, 2 курс, 2017), реализация AnyLogic и Python
- Муравей Лэнгтона – пример клеточного автомата, в котором один агент взаимодействует со средой. Курсовая работа Галушкина Дмитрия (КМиСА, 2 курс, 2019), реализация AnyLogic
- Моделирование биологических систем. Организмы рождаются, умирают, движутся, размножаются и питаются энергией. Курсовая работа Ключник Марины (КМиСА, 2 курс, 2020), реализация AnyLogic, Matlab, Mathematica

Демонстрационный пример – Boids Flocking

- Классический пример самоорганизации системы (стаи птиц)
- Агентом в системе является «птица», действие которой описывается тремя правилами (separation, alignment, cohesion)

C. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", 1987

- Курсовая работа Сторовойтой Виктории (КМиСА, 3 курс, 2018), реализация на Python, объектный подход
- Курсовая работа Галушкина Дмитрия (КМиСА, 2 курс, 2019), попытка выстроить птиц в цепочки (глобальное поведение) через определение локальных правил поведения
- Курсовая и дипломная работа Пашкевич Ангелины (КМиСА, 3 курс, 2019, 4 курс 2020) моделирование с учетом препятствий в среде, комбинирование агентного моделирования и численного моделирования на основе МКЭ

Демонстрационный пример – модель Шеллинга

- Процесс сегрегации – это процесс пространственного перераспределения социальной группы на подгруппы за счет миграции, основанной на локальном критерии комфортности каждого участника (агента) системы. Критерием комфортности является желание агента жить в соседстве с себе подобными
- Первая агентная модель процесса сегрегации предложена и исследована Т. Шеллингом для двумерной модели города в виде клеточного автомата

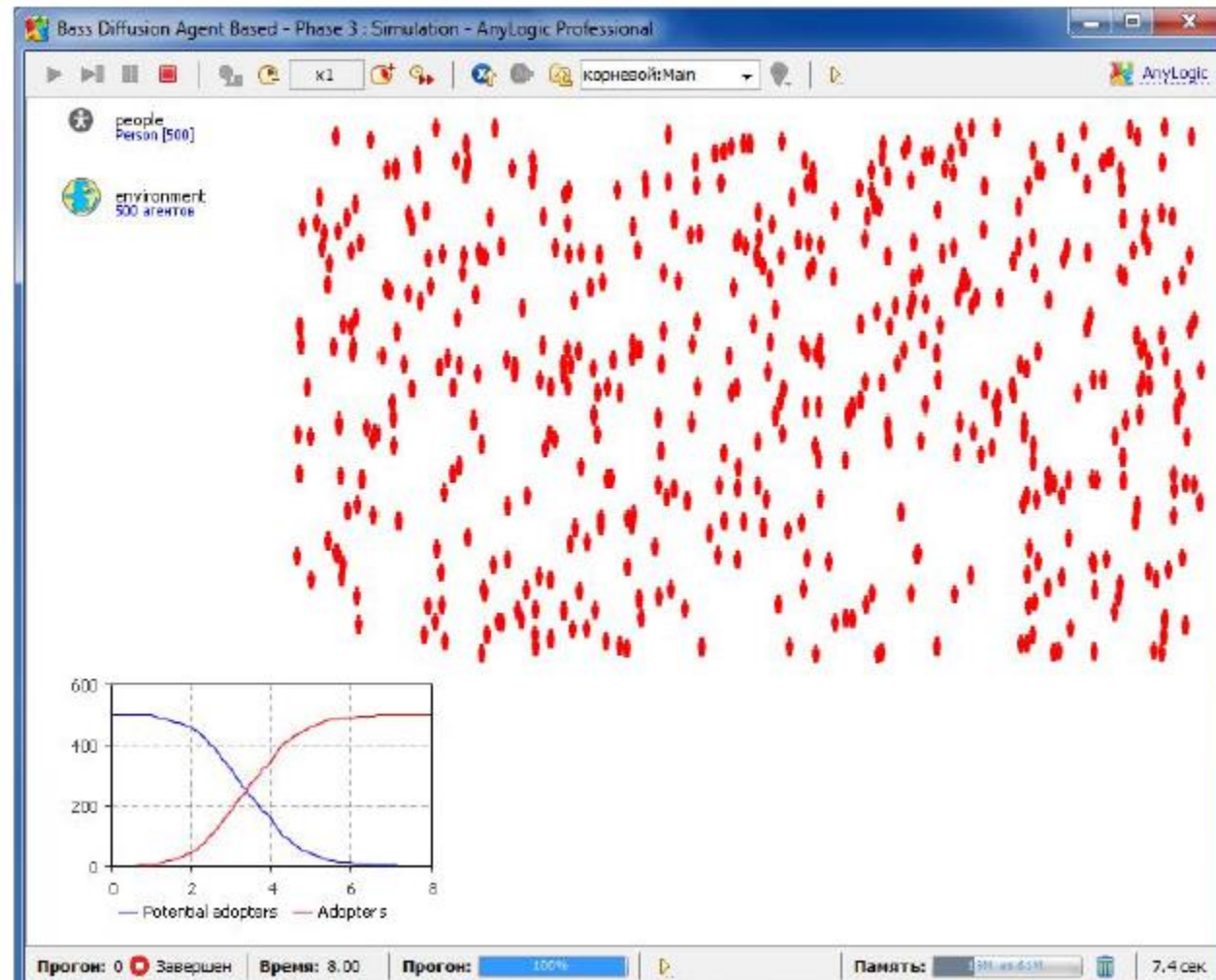
T. Schelling, Micromotives and Macrobehavior, 1978

- Курсовая работа Ананич Анастасии (КМиСА, 3 курс, 2019), реализация в AnyLogic, анализ чувствительности
- Дипломная работа Сторовойтой Виктории (КМиСА, 4 курс, 2019) реализация модели в дискретной и непрерывной среде

Модель Басса – реализация в AnyLogic

- С точки зрения агентной модели каждый потребитель будет являться агентом и находиться в одном из состояний: Adopters или PotentialAdopters. Переходы между состояниями осуществляются по событиям
- Подробная инструкция по реализации агентной модели в AnyLogic см.
 - [И. Григорьев. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию. 2017. Модель потребительского рынка, стр. 22—104.](#)
 - В.Н. Михайлов. Имитационное моделирование: Учебно-методическое пособие. 2015. Лабораторная работа 3. Агентное моделирование, стр. 101—128.
 - М.В. Киселева. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие. 2009. Лабораторная работа № 3, стр. 62—85.
 - К.Н. Мезенцев. Практикум «Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1», стр. 74—81.
- Дополнительно реализованы усовершенствования модели
 - Моделирование повторных покупок (продаж)
 - Учет времени доставки продукта
 - Моделирование отказов от покупки товара
 - Изучение распространения нескольких продуктов
 - Моделирование передвижения людей
- Курсовая работа Пашкевич Ангелины (КМиСА, 2 курс, 2018)

Модель Басса – базовая реализация



В. Н. Михайлов, 2015

ЛБ 2. Агентная модель Басса

- Осуществить базовую реализацию агентной модели Басса
- Сравнить поведение модели при различных значениях параметров, см. И. Григорьев, 2016, стр. 94
- Осуществить расширенную реализацию
 - Моделирование повторных покупок (Бритикова А., Миругин А)
 - Учет времени доставки продукта (Фоминова Ю.)
 - Моделирование отказов от покупки товара (Хохолко И.)
 - Изучение распространения нескольких продуктов (Масанин Р.)
 - Моделирование передвижения людей (Пашкевич А.)