

Дискретно-событийное и агентное моделирование как прикладной инструмент управления

В. С. Данилов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University
vs-danilov@mail.ru

Аннотация. Дискретно-событийное и агентное моделирование обладает рядом важных и полезных преимуществ: безрисковая среда, экономия времени и денег, визуализация, понимание динамики, повышенная точность, управление неопределенностью. В различных областях науки, бизнеса, политики, экономики подходы имитационного моделирования помогают найти оптимальное решение и дают четкое представление о сложных системах.

Ключевые слова: агентное моделирование; дискретность; событие; моделирование; квалиметрия; объекты; комплекс

Моделирование – самое эффективное средство поддержки принятия решений, а, по мнению известного английского ученого Ричарда Докинза – «один из самых интересных способов предсказывать будущее». Теоретические предпосылки данного утверждения формировались на протяжении веков. В основу математического моделирования легли: математический анализ, теория вероятностей, теория подобия, численные методы. В XX в. появилась база практического приложения моделей: математическое программирование; теория массового обслуживания; теория алгоритмов; теория систем; кибернетика. Еще одной основой моделирования стал стремительно растущий потенциал знаний фундаментальных и прикладных наук. Все это в сочетании с современными технологиями позволило ученым строить модели, ограниченные лишь смелостью исследователя. Самые злободневные и глобальные темы, такие как экономика, политика и экология проходят постоянную и непрерывную проверку моделированием. Моделирование выступает как один из общенаучных методов наряду с наблюдением, измерением, экспериментом и сравнением. Основное отличие моделирования от других научных методов заключается в том, что можно экспериментировать не с самой системой, а с ее аналогом – моделью.

Мировая практика современных научных исследований показывает, что около 70 % в общем объеме исследовательского инструментария занимают методы имитационного моделирования. Имитационное моделирование представляет собой построение компьютерных моделей и проведение экспериментов над ними. Имитационный подход применяют, когда параметров много, зависимости не линейны, система имеет качественно различные состояния, траекторию во времени (объект эволюционирует), обладает

вероятностным поведением и обратными связями. В настоящее время в имитационном моделировании выделяют три подхода: системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентно-ориентированное моделирование.

I. ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Дискретно-событийное моделирование (далее ДСМ) предназначено для моделирования систем, поведение которых возможно описать как некоторую последовательность действий, следующих друг за другом. Его концепцию предложил в 1960 г. сотрудник IBM Джеффри Гордон, разработав популярное и сегодня программное средство GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения). В своей работе Гордон предложил использовать концепции заявок, ресурсов и потоковых диаграмм – схем, описывающих изучаемый процесс. Заявки – это пассивные объекты, которые могут представлять собой людей, детали, документы, задачи, сообщения и т.п. Они путешествуют через потоковые диаграммы, стоят в очередях, обрабатываются, захватывая и освобождая ресурсы, разделяясь, соединяясь и т.д. Таким образом, ДСМ можно рассматривать как глобальную схему обработки заявок, где каждому событию соответствует определенный дискретный момент времени. Характерной чертой данного метода является «обезличенность» заявок, их персональные характеристики не конкретизируются. Считается, что все заявки обладают универсальной логикой поведения и обрабатываются по единому, заранее известному алгоритму. Основа модели отвечает за генерацию, обработку и уничтожение заявок.

Существует достаточно много программных продуктов, помогающих качественно проводить ДСМ. Это объясняется большой популярностью дискретно-событийного моделирования в таких областях как бизнес-процессы, системы массового обслуживания, производство, медицина, логистика, транспорт и других. Часть программных продуктов являются достаточно универсальными (Arena, Extend, GPSS, Witness), другие решают более узкий класс задач (AutoMod – транспорт, логистика, производство; MedModel – моделирование и оптимизация систем в здравоохранении; Comnet – телекоммуникации). Типовыми характеристиками большинства программных продуктов ДСМ являются: возможность создания модели в графическом режиме;

интерфейсы для соединения с базами данных, средства для обработки статистики на входе и выходе модели, для ее оптимизации, для создания анимации в ходе имитационных экспериментов.

Далее предлагается остановиться на примерах применения дискретно-событийного моделирования в реальной жизни. Это наглядный способ продемонстрировать важность и полезность ДСМ в реальной жизни. В качестве примера я возьму введение нового сервиса в крупном торгово-развлекательном комплексе в Нижнем Новгороде.

Всем известно: в настоящее время в крупных городах строится много торговых центров, что приводит к росту конкуренции между ними. Для привлечения большего количества клиентов каждой торговой точке необходимо улучшить систему обслуживания. Так, один торговый центр Новгорода решил ввести следующий сервис. Покупатель имеет возможность оставить свои покупки в особых пунктах приёма или в одном из магазинов ТРЦ при наличии специального мобильного приложения. Оставив покупку, клиент, не обременённый ношей, имеет возможность посещать иные магазины торгового комплекса. Имея желание покинуть ТРЦ, покупатель самостоятельно забирает покупки в точках приёма или использует мобильное приложение для того, чтобы курьер в течение десяти минут доставил ему покупки в то место, где он находится. Пробный эксперимент показал положительную реакцию клиентов ТРЦ на введение выше сказанного сервиса. При этом встал вопрос о необходимости знать точное количество курьеров, количество персонала и пунктов выдачи, а также иные аспекты, связанные, например, со временем задержки выдачи покупки и т.д. Для анализа сложной системы было применено ДСМ.

Исходными данными для моделирования являлись данные опроса, проводимого среди посетителей ТРЦ, результаты натурного эксперимента, а также почасовое изменение интенсивности покупателей в течение года. На основе чертежей и схем ТРЦ было составлено дискретное пространство модели.

Основная сложность данного проекта была связана с моделированием работы курьера. Курьер имеет две основные задачи – это комплектация покупки, а так же доставка её покупателю. Это условие вместе с наличием большого количества магазинов в ТРЦ формируют сложную логику курьера и системы, выбирающей курьера для выполнения того или иного задания. Во время обхода маршрута могут появиться новые клиенты или покупки, поэтому главная задача системы управления – эффективно распределять новые задания. Иначе могут возникнуть неопределённые коллизии, связанные, например, с задержкой выдачи покупки клиенту, с увеличением времени обслуживания покупателя.

Составленная модель помогает определить пропускную способность сервиса, определить количество и вероятность задержек в обслуживании больше заданного времени, степень загрузки и занятости персонала и так далее. Комбинируя полученную модель с

реально работающей системой, можно получить удобный инструмент для проверки эффективности системы и проверки возможных вносимых изменений. По результатам моделирования были даны рекомендации по количеству пунктов приёма-выдачи покупок, количеству курьеров в разные временные отрезки, ёмкости склада, были рассчитаны экономические показатели проекта. Нужно отметить, что данный сервис пользуется популярностью среди покупателей и набирает обороты.

II. АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Агентное моделирование (АМ) сконцентрировано на индивидуальных участниках системы. В этом заключается его отличие от более абстрактного дискретно-событийного метода, ориентированного на процессы.

АМ имеет следующие отличительные характеристики

- объекты моделируемой системы рассматриваются как агенты – некоторые атомарные сущности,
- агенты обладают активностью, автономным поведением, адаптивностью (способностью обучаться), аппаратом принятия решений,
- агенты имеют определенную цель и ищут способы ее достижения,
- при агентном подходе к моделированию общий алгоритм поведения системы неизвестен, он является следствием взаимодействия агентов между собой и с окружающей их средой.

Агенты энергичны по отношению к правилам поведения. Правила поведения зависят от количества информации, которую агент учитывает в своих рассуждениях; от строения модели внешнего мира, включающей других агентов; от величины памяти для хранения прошедших событий. Все перечисленные факторы агент использует для достижения поставленных целей и решения задач. В виде агентов может быть изображено, что угодно: люди, домохозяйства, оборудование, автомобили, различные товары и компании. Затем устанавливаются взаимосвязи между агентами, определяется окружающая среда и запускается процесс моделирования. Индивидуальное поведение каждого агента образует глобальное поведение моделируемой системы, т.е. процесс моделирования происходит «снизу вверх». Разнообразная природа агентов делает агентное моделирование особенно увлекательным! Некоторые ученые называют агентное моделирование индивидуальным моделированием.

АМ уходит корнями к робототехнике в сфере искусственного интеллекта. Но АМ не ограничивается проектированием искусственных агентов. Его основные задачи состоят в моделировании общественного поведения людей и принятии решений индивидуумами. Вместе с этим приходится представлять взаимодействие в обществе, сотрудничество индивидуумов, их групповое поведение и появление высокоорганизованных социальных групп.

Агентный подход берет свое начало в 90-х годах прошлого века из университетской среды США. Одной из наиболее популярных разработок такого типа является среда Swarm – коллекция библиотек под язык C, созданная в институте Санта-Фе. Наиболее популярными коммерческими инструментами являются среды Ascape, RePast, AnyLogic.

Агентное моделирование находит все большее и большее применение в различных сферах нашего многогранного мира. Системы, которые нам нужно изучать и моделировать становятся более сложными из-за сложных взаимозависимостей их компонентов. Таким образом, традиционные подходы к моделированию (системная динамика, дискретное моделирование) не могут удовлетворить исследователей.

Агентное моделирование нашло свое применение в социальных науках, в экономических процессах, в политологии, в биологии и физике, в когнитологии – науки о мышлении.

Предлагается рассмотреть агентно–ориентированное моделирование на примере составления модели динамики употребления алкоголя. В данной модели разработчики исследуют отношение людей к алкоголю, продолжительность жизни, а также связанные с этим расходы на здравоохранение. Всего различают четыре типа человека: те, кто не употребляет алкоголь вообще (Never User); те, кто употребляет время от времени (Recreational User); алкоголики (Addict); бросившие (Quitter)

Переходы между состояниями – это стохастические таймауты. Распределение по возрасту, когда человек начинает пить, называется Initiation Time Distribution и построено на базе имеющихся статистических данных, а именно вероятностей инициации для различного возраста. Распределение по продолжительности жизни (Death Time Distribution) изменяется в зависимости от отношения человека с алкоголем.

В модели рассматриваются две группы людей: Normal (обычная группа, то есть с «естественной» алкогольной динамикой) и Intervened (группа, подвергшаяся вмешательству). Под вмешательством понимаются изменения в законодательстве, трансляция социальной рекламы и так далее. Вмешательство моделируется как изменения в вероятностях инициации и отказа от алкоголя.

Результаты моделирования представлены в виде стековых графиков. Вторая группа, которая подвергалась вмешательству, имеет вероятность инициации в два раза ниже, а вероятность бросить употребление алкоголя в два раза выше, чем обычная группа. Так же представители второй группы живут дольше, а количество средств, выделяемых на их медицинское обслуживание, уходит меньше. Такого рода модели достаточно распространены, потому что используются для поддержки принятия решений при разработке федеральных, муниципальных или корпоративных политик.

III. СООТНОШЕНИЕ ДСМ И АМ

Дискретно-событийный метод моделирования рассматривает служащих компании, продукты, клиентов, производственные объекты и оборудование как однородные группы, пассивные объекты или как ресурсы в бизнес-процессе. При этом ДС моделирование содержит много предположений, таких как «мы имеем 120 служащих, которые проектируют примерно 20 новых покупок в год» или «у нас в распоряжении 130 грузовых машин, которые перевозят определённое количество товара в месяц, и 10% из них ежегодно списывается и заменяется новыми». В данном типе моделирования организация рассматривается как набор процессов, таких как «клиент звонит в колл-центр, звонок обрабатывает оператор В, он тратит на него в среднем 2 минуты, после чего 20 % запросов переадресовываются на...»

Одним из преимуществ дискретно-событийного метода является отражение динамики работы предприятия и нелинейности процесса. Однако существует и большой недостаток, выраженный в том, что указанный метод моделирования не учитывает уникальные свойства и отношения отдельных объектов. Например, что клиент советуется с семьёй перед тем, как совершить покупку, что самолёты доступны по индивидуальному расписанию, которое регулируется графиком техобслуживания. Особенностью агентного моделирования является отсутствие данных ограничений – метод предлагает сосредоточиться, сконцентрироваться на отдельных объектах, их поведении и взаимодействии друг с другом. Получается, что агентная модель – это совокупность взаимодействующих объектов, отражающих собой связи в реальном мире. Таким образом, агентное моделирование – это шаг вперёд в понимании принципов работы сложных социальных и бизнес-процессов.

Однако сделать вывод о том, что агентное моделирование может заменить собой дискретно-событийное, нельзя. Для большинства случаев дискретно-событийное моделирование эффективно строит адекватные модели, благодаря которым можно получить достоверные знания. Агентные модели сложнее строить, и их использование эффективно только при наличии большого количества входящих в них активных объектов.

IV. МНОГОПОДХОДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (КОМБИНИРОВАНИЕ ДСМ И АМ)

Выбор метода имитационного моделирования очень часто зависит от характера решаемой задачи. Однако не все задачи решаются с помощью одного подхода, для этого необходимо комбинировать подходы для достижения поставленных целей.

Под многоподходным моделированием понимается метод описания системы, при котором применяется несколько парадигм имитационного моделирования. Например, при решении задачи, связанной с моделированием производства, достаточно использование дискретно-событийного подхода. Однако если производство зависит от спроса, то необходимо моделировать уже сам рынок. Дискретно-событийный

способ, используемый при моделировании отдельного производства, недопустим в этой задаче. Здесь уместно употребить агентное моделирование. Фактически многоподходное моделирование снимает рамки, накладываемые тем или иным методом.

Актуальным остаётся вопрос, когда стоит комбинировать различные подходы моделирования. Известно, что применение того или иного метода зависит от конкретной области применения. Например, для моделирования производства и бизнес-процессов обычно используется дискретно-событийное моделирование. Для моделирования цепочек поставок, перевозок, пешеходной динамики – агентное. Многоподходное моделирование применимо только в следующих случаях:

1. Система, которую необходимо моделировать, состоит по сути из разных объектов, для каждого из которых применим свой подход. Пример про производство и спрос, представленный выше, показывает, что если рассматривать два объекта по отдельности, то можно применить один подход. Но два объекта влияют друг на друга, и это влияние должно учитываться при составлении модели. Поэтому здесь необходимо комбинирование нескольких подходов моделирования.
2. В рамках одной модели необходимо варьировать уровень абстракции. Например, составление модели динамики населения страны, с конкретным моделированием одного из субъектов с учётом национальностей, семей, уровня здравоохранения и т.д. Глобальную динамику можно моделировать с использованием одного подхода, но чтобы «опуститься» до уровня семей, социальной среды, климатических условий – необходимо использование другого подхода.
3. Намного проще описывать различные части модели, используя разные подходы.

Можно сделать небольшой вывод о том, что необходимость в многоподходности появляется при решении не локальной задачи, а тогда, когда на проблему нужно посмотреть шире, комплексно.

Примером комбинирования агентного и дискретно-событийного моделирования является составление модели пассажирского автобусного маршрута в Нижнем Новгороде. Городской пассажирский транспорт является сложной социально-экономической системой, потому что состоит из большого количества взаимосвязанных между собой компонентов. При исследовании данной системы необходимо применить два подхода: дискретно-событийное моделирование, положенное в основу исследования, и агентно-ориентированное моделирование.

В Нижнем Новгороде важен вопрос оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта в связи с введением в эксплуатацию новой станции метро, которая соединит две части города: верхнюю и нижнюю. В связи с большим пассажиропотоком в метро, что

предполагают разработчики данного проекта, пассажиропоток в маршрутных такси уменьшится. Поэтому многие автобусные маршруты, соединяющие две части Нижнего Новгорода, придётся закрыть. В то же время появляется много вопросов. Какие маршруты закрыть? Какие маршруты оставить? Нужно ли создать новый маршрут с остановкой у станции метро? Какое количество пассажиров не перестанет пользоваться наземным транспортом, а какое количество горожан предпочтёт использовать метро? При этом эксперименты с реальными объектами не возможны, потому что станция метро ещё не пущена в эксплуатацию. Ответить на поставленные вопросы поможет имитационное моделирование.

Есть три парадигмы имитационного моделирования, среди которых я исследовала только две: агентное моделирование и дискретно-событийное моделирование. Мы поняли, что выбор подхода моделирования зависит от предметной области моделирования. Так же сравнивались два представленных подхода с целью понять, какую парадигму лучше использовать. Данный вопрос оказался неуместным, потому что, несмотря на все свои положительные стороны, агентные модели сложны в построении и чаще всего применяются при наличии большого количества активных объектов. Поэтому выводы о том, что лучше использовать АМ, неверны, так как этот вопрос разрешим, когда будут понятны условия задачи.

Два подхода в моделировании могут отдельно решать поставленные перед ними задачи, а могут быть скомбинированы. Комбинирование АМ и ДСМ говорит о многоподходном моделировании, которое в последнее время получило распространение. Было уделено место исследованию программы AnyLogic, потому что это мощный инструмент, создающий три вида имитационных моделей и комбинирующий все известные нам подходы имитационного моделирования.

Научный руководитель статьи от Финансового университета при Правительстве РФ доц. каф. «Системный анализ в экономике» *Звягин Л.С.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Звягин Л.С. Комплексная оценка безопасности функционирования моделей экономических систем// Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 4. № 1. С. 18-25.
- [2] Звягин Л.С. Инновационные математические и системно-аналитические исследования: наука и практика в XXI веке// Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 4. № 3. С. 89-95.
- [3] Попков Т.В. «Многоподходное моделирование: практика использования» // 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.
- [4] «Моделирование пассажирского автобусного маршрута в AnyLogic» / А.В. Липенков, О.А. Маслова, М.Е. Елисеев (Нижний Новгород), ИММОД-2011, Санкт-Петербург, 19-21 октября 2011г.
- [5] «О практическом опыте моделирования нового сервиса в крупном торгово-развлекательном центре» / Липенков А.В., Усов С.П., Масыгин С.В., Толстогузов М.В., ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург