

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

Bikmullin A.,
Doctor of Economic Sciences,
Professor of Economics Department
And management at the enterprise, Kazan

Бикмуллин А., УДК 338.001.36
докт. экон. наук, профессор кафедры
экономики и управления на предприятии
КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Аннотация: в рамках данной работы проанализированы основные особенности применения имитационного моделирования производственных процессов с использованием нейронных сетей, этапы и современные тенденции развития имитационного моделирования с использованием нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, имитационная модель, аппроксимация.

Потребность в моделировании возникает при модернизации производства, то есть при необходимости оценить и сравнить еще не реализованные варианты, а также при желании оптимизировать текущие производственные процессы. В научной практике модель объекта описывают математической моделью.

Традиционно математические модели разделяют на аналитические и имитационные модели. Аналитические модели представляют собой уравнения или системы уравнений, записанные в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и иных соотношений и логических условий. Они записаны и решены в буквенном виде. Аналитическая модель, как правило, статическая. Аналитическое представление подходит лишь для очень простых и сильно идеализированных задач и объектов, которые, как правило, имеют мало общего с реальной (сложной) действительностью, но обладают высокой общностью. Данный тип моделей обычно применяют для описания фундаментальных свойств объектов, так как фундамент прост по своей сути.

Сложные объекты редко удаётся описать аналитически.

Альтернативной аналитическим моделям являются имитационные модели (динамические). В связи с бурным развитием ИТ используют компьютерное имитационное моделирование. Основное отличие компьютерных имитационных моделей от аналитических состоит в том, что вместо аналитического описания взаимосвязей между входами и выходами исследуемой системы строят алгоритм, отображающий последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта, а затем «проигрывается» поведение объекта на компьютере. К имитационным моделям прибегают тогда, когда объект моделирования настолько сложен, что адекватно описать его поведение математическим уравнениями невозможно или затруднительно. Имитационное моделирование позволяет разлагать большую модель на части (объекты), которыми можно оперировать по отдельности, создавая другие, более простые или, наоборот, более сложные модели. Особенностью имитационного моделирования является то,

что оно позволяет воспроизводить моделированные объекты с сохранением их логической структуры и их поведенческих свойств, т.е. динамики взаимодействия, а также возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы.

Создателем метода имитационного моделирования можно считать Forrester J.W., который в своей работе 1958 года сформулировал основные принципы моделирования в рамках системного подхода (системной динамики). Его разработки позволили моделировать сложные системы, описываемые десятками и даже сотнями нелинейных уравнений. Главной особенностью подхода является то, что система характеризуется абстрактными обобщёнными правилами, которые описывают связи между элементами системы. Им же был разработан первый язык моделирования методом системной динамики SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations). Примечательно, что системный подход в первую очередь стал применяться для анализа экономических систем.

Альтернативный подход к имитационному моделированию был разработан в 1961 году Gordon G.A., которым также был разработан наиболее широко применяющийся язык для написания программ имитационного моделирования – GPSS (General Purpose Simulation System). Подход, использованный Gordon, заключается в поэтапном моделировании процессов, когда рассматриваются только основные события, такие как ожидание, выполнение работы, открытие, закрытие и т.п. В данном случае моделируемая система определяется как транзакции, которые входят в систему и передаются от одного «блока» к другому. Данный подход очень эффективно подходит к моделированию производствен-

ных процессов. Метод имитационного моделирования, разработанный Gordon, называют дискретно-событийным.

В отечественной науке развитие имитационных методов моделирования началось с работы Калашникова. Впоследствии им было написано несколько десятков статей, развивающих методы имитационного моделирования.

К настоящему времени теория, методы и технологии создания (использования) различных классов моделей развиты достаточно хорошо. Исследования в этой отрасли научных знаний продолжают с неослабевающей интенсивностью, охватывая всё новые и новые классы моделей и предметные области.

Появление имитационных моделей (ИМ) и имитационного моделирования, а также и превращение его в эффективное средство анализа сложных и больших систем было, с одной стороны, обусловлено потребностями практики, а с другой – развитием метода статистических испытаний, открывшего возможность моделировать случайные факторы, которые существенно влияют на процесс функционирования систем. Кроме того, была создана материальная (аппаратно-программная) среда для реализации ИМл — мощные вычислительные средства второго и третьего поколения.

В период 1960–1990 гг.: созданы многочисленные научные школы; получен ряд важнейших фундаментальных и практических результатов, к числу которых можно в первую очередь отнести разработку методологических основ ИМ, создание и широкое использование в различных предметных областях таких языков автоматизации моделирования как СЛЭНГ, НЕДИС, СТАМ и др., система агрегативного моделирования Н.П. Бусленко. Семейство GPSS, SIMULA, GASP, CSL и другие языки моделирования были адаптированы к

применявшейся в стране вычислительной технике. Все они широко использовались в реальном секторе экономики.

Мировая наука и экономика последние десятилетия не стояли на месте и интенсивно развивались. За рубежом регулярно проводились конференции по теории и практическим аспектам имитационного моделирования; оно все шире внедрялось в практику проектирования производственных (в самом широком смысле слова) процессов и оперативного управления ими.

Имитационные модели считаются одним из наиболее перспективных при решении задач управления экономическими объектами. В общем случае, для сложных проблем, где время и динамика важны, имитационные модели считаются одним из самых популярных и полезных методов количественного анализа.

К достоинству имитационного моделирования по сравнению с аналитическими моделями можно отнести:

- 1) возможность многократного измерения интересующих нас параметров модели;
- 2) возможность исследования сложных сценариев поведения системы.

Имитационная модель в общем, «абстрактном», смысле можно представить в следующем виде.

Внешние случайные или детерминированные процессы формируются блоком имитации внешних воздействий. Для получения информативных характеристик объекта предназначен блок обработки результатов, а необходимая для этого информация из блока математической модели объекта. Исследование имитационной модели реализуется блоком управления, благодаря которому и происходит автоматизация процесса проведения экспериментов на модели. Сам процесс разбивается на некоторые

элементарные явления с сохранением их структуры и взаимодействующих компонентов.

В целом процесс имитационного моделирования можно условно разделить на следующие 6 этапов:

- содержательное описание и структуризация объекта моделирования; построение концептуальной модели сложной систем;
- постановка задачи имитационного моделирования, формирование предварительной структуры объекта, целей, критериев и их достижения; разработка моделирующего алгоритма и построение имитационной модели;
- формализация и описание поставленной задачи;
- отладка и корректировка модели;
- проведение имитационных экспериментов, анализ результатов и выбор наилучшей схемы функционирования объекта по имитационным моделям;
- внедрение полученных результатов в практику деятельности объекта.

В обзорных докладах на прошедших конференциях отмечались типичные недостатки разработанных систем моделирования:

- трудоемкость моделирования;
- сложность проведения экспериментов;
- слабость средств моделирования конфликтов за общие ресурсы;
- отсутствие поддержки русского языка.

Существующие ограничения имитационного моделирования вынуждают комбинировать его с аналитическими математическими моделями, а также с логико-алгебраическими, логико-лингвистическими моделями с использованием технологий комплексного моделирования.

Невозможность моделирования в

реальном времени и невозможность оптимизации ПОс учетом различных факторов - это серьезный сдерживающий момент для применения его в системах автоматического управления сложными и быстро протекающими производственными процессами.

Одна из центральных проблем современной теории моделирования сложных организационно-технических систем (СОТС) в целом и ИМ указанных систем в частности заключается в обеспечении требуемой степени адекватности (в широком смысле) и точности, достоверности, корректности и полезности (в узком смысле) рассматриваемого класса моделей по отношению к моделируемым объектам-оригиналам.

Однако, к сожалению, общий объем проводимых теоретических и практических работ и полученных конструктивных результатов по данному направлению исследований еще недостаточен. Были и остаются открытыми вопросы полноты, замкнутости и непротиворечивости получаемых в рамках имитационного и комплексного моделирования научных и практических результатов, вопросы валидации и верификации комбинированных моделей, когда в их состав входят имитационные, аналитические модели, нейронные сети.

Анализ перечисленных ранее особенностей формального описания и исследования сложных объектов и систем, постоянно проводимый в ходе ИММОД, показал, что при моделировании и управлении данными объектами и системами следует базироваться на концепциях и принципах, положенных в основу современных технологий системного (комплексного) моделирования. Более того, как показывает анализ, при решении актуальных в современных условиях проблем структурно-функционального синтеза облика гибридных ин-

теллектуальных системы управления (ГИСУ) СОТО целесообразно рассматриваемые технологии системного моделирования, традиционно связанные с количественными вычислениями, дополнить интеллектуальными информационными технологиями (ИИТ), ориентированными на символьную обработку информации. Таких как технологии искусственных нейронных сетей (Artificial Neural Networks).

Более того, появление и широкое внедрение на практике в последнее десятилетие интеллектуальных информационных технологий (нейросети, мультиагентные системы, нечеткая логика, технологии эволюционного моделирования и т. п.) привели к появлению еще одного вида моделирования – гибридного. Появилась необходимость рассматривать вопросы взаимодействия имитационного моделирования с другими видами и технологиями моделирования (например, аналитического, логико-алгебраического, логико-лингвистического моделирования и их комбинаций) в рамках концепции комплексного (системного) моделирования исследуемых сложных объектов и процессов.

Важная роль в рамках указанных технологий отводится нейронным сетям.

Нейронная сеть (НС) есть набор связанных между собой нелинейных элементов – нейронов. Работа нейросети состоит в преобразовании входного вектора в выходной. Возможности сети возрастают с увеличением числа нейронов, количества связей между ними и числа внутренних слоев (каскадов). Настройка сети производится изменением интенсивностей связей между нейронами. Этот процесс называется обучением НС и выполняется по определенным правилам, определяемым исходной информацией относительно объекта управления. При отсутствии эталона обучение про-

водится «без учителя» – с помощью генетических алгоритмов, в ходе реализации которых меняются упомянутые интенсивности.

Преимуществами искусственной нейронной сети ИНС являются: существенное сокращение затраты времени, распределенная обработка информации, хорошая способность аппроксимации сложных зависимостей и простота выбора, а также способность самообучаться, т.е. создавать обобщения.

Исследование российских и зарубежных ученых по имитационному моделированию с использованием нейронных сетей пока еще слабо представлены на международной арене.

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются удобным и естественным базисом для представления информационных моделей.

Нейросеть может быть достаточно формально определена, как совокупность простых процессорных элементов (часто называемых нейронами), обладающих полностью локальным функционированием, и объединенных однонаправленными связями (называемыми синапсами). Сеть принимает некоторый входной сигнал из внешнего мира и пропускает его сквозь себя с преобразованиями в каждом процессорном элементе. Таким образом, в процессе прохождения сигнала по связям сети происходит его обработка, результатом которой является определенный выходной сигнал. В укрупненном виде ИНС выполняет функциональное соответствие между входом и выходом и может служить информационной моделью. Определяемая нейросетью функция может быть произвольной при легко выполнимых требованиях к структурной сложности сети и наличии нелинейности в переходных функциях нейронов. Возможность

представления любой системной функции F с наперед заданной точностью определяет нейросеть, как компьютер общего назначения. Этот компьютер, в отличие от машины фон Неймана, имеет принципиально другой способ организации вычислительного процесса – он не программируется с использованием явных правил и кодов в соответствии с заданным алгоритмом, а обучается посредством целевой адаптации синаптических связей (и, реже, их структурной модификацией и изменением переходных функций нейронов) для представления требуемой функции.

Несмотря на то, что элементы, из которых строится нейросетевая модельная среда, однородны и чрезвычайно просты, с их помощью можно имитировать процессы любой сложности.

Нейронная сеть позволяет аппроксимировать отображения между исходными и целевыми показателями. При этом аппроксимируемые отображения могут иметь нелинейный характер. Двухслойный персептрон позволяет аппроксимировать любую булеву функцию булевых переменных. Двухуровневая нейронная сеть способна аппроксимировать в равномерной метрике с любой заданной погрешностью $\varepsilon > 0$ любую непрерывную функцию $f(x_1, \dots, x_n)$, а в среднеквадратической метрике – любую измеримую функцию, определенную на ограниченном множестве.

Для восстановлений закономерностей между параметрами используется специальный алгоритм обучения нейронной сети: алгоритм обратного распространения ошибки. Этот алгоритм с математической точки зрения представляет собой градиентный метод оптимизации.

Суть данного метода заключается в том, что для выявления закономерностей

между параметрами используется математическая модель нейронной сети с линейной передаточной функцией. Значения переменных определяется равным значениям выходных сигналов нейронов скрытого слоя нейронной сети. Тем самым нейронная сеть осуществляет классический анализ, т.е. строит линейные комбинации исходных параметров.

Математическая модель нейрона описывается набором переменных:

весами входных сигналов $w_1, w_2, \dots, w_m$, где m – количество входных сигналов x_i ;

свободным членом w_0 в вычислении выходного сигнала. Сигнал на выходе нейрона вычисляется по формуле: $z = \sigma(v)$, где $v = \sum_i w_i x_i + w_0$ – взвешенная сумма сигналов на входах нейрона,

σ – передаточная функция нейрона, например сигмоидальная функция
$$\sigma(v) = \frac{1}{1 + \exp(-v)}.$$

Отдельные нейроны объединяются в слои. Выходные сигналы нейронов из одного слоя поступают на вход нейронам следующего слоя, модель так называемого многослойного персептрона.

Технология имитационной модели с использованием нейронной сети включает ряд аспектов:

- методологический аспект, связанный с изучением методологических основ, использованием нейронных сетей в имитационном моделировании;

- математический аспект, связанный с широким использованием в имитационном моделировании на базе нейронных сетей математических методов и методов искусственного интеллекта;

- технологический аспект, имитационное моделирование базируется на искусственном интеллекте и обладает сверхвысоким быстродействием за счет

массового параллелизма обработки информации и способности самообучения.

Анализ исходных данных и подготовка к моделированию включают следующие фрагменты:

- классификацию решаемой задачи;
- предварительный выбор модели нейронной сети;
- предварительное определение структуры сети;
- выбор алгоритма обучения ИНС;
- выбор пакета ИНС;
- на основе выбранного пакета формулируются минимальные требования к информационной и программной совместимости, а также к составу и параметрам технических средств ПК, на которой осуществляется моделирование.

Обучение нейронной сети

На данном этапе моделирования, основываясь на результатах первого этапа и эмпирических данных, осуществляется:

- формирование и редактирование исходных данных для режима обучения;
- окончательный выбор структуры ИНС, модели и пакета;
- выбор и реализация режима «дообучения» нейронной сети.

Этап обучения является наиболее трудоемким и ответственным в процессе моделирования. На этом этапе обычно отсутствуют формализованные процедуры, и решение принимается на основе эмпирики и эвристики. Как правило, процесс является итерационным и требует неоднократного возвращения к сформулированному на данном этапе вопросам.

Анализ качества обучения ИНС предполагает:

- анализ значений параметров и вида характеристик, определяющих отклонение результатов, полученных ИНС, от эталонных;
- определение границ области, в пределах которой ИНС обучилась с за-

данной степенью точности;

- принятия решения о завершении процесса обучения. Если положительное решение не принято, то следует возврат ко второму или даже к первому этапам моделирования.

Применение обученной нейронной сети

Этот этап моделирования по времени, как правило, может быть разнесен от первых трех этапов. Требует меньшей квалификации от пользователя. Этап содержит следующие вопросы:

- формирование на основе шаблона исходных данных;
- обращение к обученной нейронной сети.

Важной особенностью моделирования процессов методом искусственных нейронных сетей (ИНС) является:

нейронные сети – это исключительно мощный метод имитации процессов и явлений, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Нейронные сети по своей природе являются нелинейными, в то время как на протяжении многих лет для построения моделей использовался линейный подход.

Другая особенность нейронных сетей связана с тем, что они используют механизм обучения. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически настраивает параметры сети. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитек-

туру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем, например, при использовании традиционных методов.

Искусственные интеллектуальные системы имеют также характерные особенности:

во-первых, развитые коммуникативные способности, которые характеризуют способ взаимодействия между компьютером пользователя с системой. Не исключена возможность обращения к системе с произвольным запросом в диалоге с интеллектуальной системой. При этом язык интеллектуальной системы должен быть максимально приближен к естественному языку.

Во-вторых, решение плохоформализуемых задач, т.е. таких задач, которые не имеют конкретного решения, а требуют нестандартного подхода, в зависимости от ситуации, существующих данных и конечного результата. Плохоформализуемые задачи эффективно решаются при помощи искусственных нейронных сетей.

В-третьих, способность к самообучению, т.е. возможности извлечения знаний интеллектуальной системой из накопленного опыта конкретных ситуаций. Для предварительного обучения системы необходимы обработанные начальные данные.

Процесс построения искусственных интеллектуальных систем условно делится на пять этапов (рис. 1):



Рис. 1. Этапы проектирования ИИС

1. Идентификация определения задач и идентификация их характеристик. Разрабатывается техническое задание на проектируемую систему, ограничивается круг пользователей системы.

2. Выделение главных концепций предметной области, которые отражают знания круга экспертов. Инженер знаний определяет формальные средства представления знаний и процедуры получения решений. Выявляются и формулируются понятия, определяющие выбор характерной схемы представления знаний эксперта о предметной области. Основным источником знаний о проблемной области является человек-эксперт, книги, технологические описания, инструкции, документы, методы «мозгового штурма», методы автоматизированного заполнения баз данных. Другим важным источником знаний является Интернет (традиционный поиск необходимой информации и знаний, а также интеллектуальные агенты (программные роботы)).

3. Выбор формализма представления знаний и определение механизма вывода решений. Разработанная структура для представления знаний является основой для реализации следующего этапа – непосредственного построения базы знаний системы.

4. Выбор или разработка языка представления знаний. После того как

правила сформулированы и представлены на выбранном языке представления, они заносятся инженером знаний в БЗ.

5. Тестирование системы путем решения конкретных проверочных задач.

Этапы создания интеллектуальных систем не являются строго регламентированными. Между некоторыми из них трудно провести временную и содержательную границу. Они в какой-то степени приблизительно описывают процесс проектирования интеллектуальных систем.

Заключение

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются перспективной областью для применения в широком спектре областей: экономика; робототехника и др. При этом в ряде задач нейросети оказываются эффективнее других математических алгоритмов. Важное значение в этом успехе нейросетей играет их способность к обучению, что позволяет выявлять сложные зависимости в поступающей на вход информации, производить обобщение. При этом нейронные сети нечувствительны к незначительным изменениям входных образов, шумам и искажениям входной информации, что позволяет им легко адаптироваться в условиях изменяющейся внешней среды, а также существенно повысить производительность вычислений при моделировании производственных процессов на

региональном уровне. Искусственные нейронные сети дают многообещающие перспективы в развитии, а программное обеспечение имеет огромное преимущество от их использования.

Наиболее важными свойствами и преимуществами нейросетевого подхода является:

- параллелизм обработки информации;
- единый и эффективный принцип обучения;
- надежность функционирования;

- способность решать неформализованные задачи.

С целью дальнейшего совершенствования применения искусственных нейронных сетей предусматривается использование сверточных и капсульных нейронных сетей, которые обеспечивают перспективную архитектуру нейронных сетей, способствующую новым подходам к организации нейронных сетей, заключающихся в обработке входа различными методами и конкатенации результатов этой обработки.

Литература

1. Бахвалов Л.А. Компьютерное моделирование: долгий путь к сияющим вершинам // Компьютерра. – 1997. – № 40. – С.26–36.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. 40с.
3. Варжапетян А.Г. Имитационное моделирование на GPSS/H. – М.: Вузовская книга, 2004.
4. Имитационное моделирование производственных систем / под общ. ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. – 416с.
5. Калашиников В.В. Организация моделирования сложных систем. – М.: Знание, 1982. – 62 с.
6. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование AnyLogic 5. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 400с.:ил.
7. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. – М.: Дело, 2003.
8. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 502с.
9. Balci O.(1994)Validation, Verification and Testing Techniques Throughout the Life Cycle of Simulation Study, Annals of Operation Research.
10. W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Nancy Swets Simulation with Arena – WCB/McGraw-Hill, 1998.
11. K. Warren Strategic Management Dynamics John Wiley & Sons Ltd 2008.
12. Лоу А. Имитационное моделирование: пер. с англ. – 3-е изд. / А. Лоу, Д. Кельтон. – СПб.: BHV, 2004.
13. Афонин П.В. Алгоритмы оптимизации на основе имитационного моделирования и нейросетевых метамоделей // Труды междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» и «Интеллектуальные САПР» / П.В. Афонин, О.Ю. Ламскова. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 3. – С. 30–36.
14. Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2011: труды 5-й всероссийской науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – 2005. – №5. – С. 63–65.