

*Анкуда С. Н., Хейфец И.М.* Белорусский  
государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь  
*Федоров В.П.* Брянский государственный  
технический университет, Брянск, Россия

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Интенсификация процессов создания новых конкурентоспособных изделий требует сокращения сроков и повышения качества проектно-конструкторских и производственно-технологических работ. Эти требования можно обеспечить только применяя новые технологии проектирования, основанные на использовании методов математического моделирования и вычислительной техники.

Модель – это объект (например: явление, процесс, система, установка и др.), находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту. Под *подобием* понимается взаимно однозначное соответствие между двумя объектами. Модели выделяются по своему назначению, а значит и по выполняемым функциям, структуре и т.д.

Информационные (описательные), используемые в качестве обучающих или советующих систем, для изучения взаимного влияния факторов на выходные параметры, установления границ, в пределах которых достигается рациональный режим работы системы и т.д.

Оптимизационные, используемые для поиска оптимальных условий протекания процесса в системе. В качестве оптимизационных могут применяться информационные модели, дополненные блоком оценки результата на основании целевой функции, с учетом налагаемых ограничений на изменение входных и выходных переменных.

Управления (регулирования) процессом, используемые для воздействия на систему в реальном масштабе времени с целью компенсации нежелательных случайных возмущений и смещения системы в направлении экстремального значения целевой функции. Модель является компонентом системы автоматического управления (САУ).

Эвристические, используемые для получения новых знаний и изучения механизма процессов на основе сопоставления результатов моделирования и натуральных измерений, выдвижения и проверки новых гипотез о структуре взаимосвязей между факторами, введения дополнительных факторов в модель и т.д.

Создание сложных технических объектов, включающее моделирование и управление, невозможно без привлечения методов *искусственного интеллекта*, направленных на решение определенного класса задач при их специфической алгоритмизации, составляющих класс *генетических алгоритмов*.

Привлечение методов искусственного интеллекта предполагает использование интеллектуальных систем управления (ИСУ), в основе которых лежит идея построения высокоорганизованных систем автоматического управления, основанных на использовании моделей переменной сложности и неопределенности, с выполнением таких интеллектуальных функций, присущих человеку, как принятие решений, планирование поведения, обучение и самообучение в условиях изменяющейся внешней среды.

Обучение – способность системы улучшать свое поведение в будущем, основываясь на прошлой экспериментальной информации о результатах взаимодействия с окружающей средой.

Самообучение – обучение системы без внешней корректировки, т.е. без указаний «учителя».

Интеллектуальная система управления такая система, в которой знания о неизвестных характеристиках управляемого объекта и окружающей среды формируются в процессе обучения и адаптации, а полученная при этом информация используется в процессе автоматического принятия решений для улучшения качества управления.

Необходимый признак ИСУ – наличие базы знаний, содержащей сведения, модели и правила, позволяющие уточнить поставленную задачу управления и выбрать рациональный способ ее решения.

Математические модели связывают входные (независимые) переменные процесса  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , называемые воздействиями, с выходными (зависимыми) характеристиками  $Y(y_1, y_2, \dots, y_m)$ , которые обычно именуют откликами, в виде уравнения связи.

$$Y=f(X) \quad (1)$$

Любому реальному процессу свойственны случайные колебания, вызываемые физической изменчивостью каких-либо факторов  $x_i \pm \Delta x_i(\tau)$  или внешними случайными воздействиями. В силу этого при равном среднем значении входных характеристик  $X(\tau)$  в моменты  $\tau_1$  и  $\tau_2$  выходные параметры  $Y(\tau)$ , будут неодинаковыми.

Поэтому для вероятностных процессов, где по сравнению с  $x_i(\tau)$  нельзя пренебречь случайными колебаниями  $\Delta x_i(\tau)$  и случайными внешними воздействиями  $\xi_j(\tau)$ , необходимо характеризовать систе-

му с учетом статистического закона распределения мгновенных значений  $Y(\tau)$  относительно средней величины  $Y_{cp}(\tau)$  уравнением

$$Y(\tau) = Y_{cp}(\tau) \pm \Delta Y(\tau) = f(X_{cp}) + \zeta(\Delta X, \xi) \quad (2)$$

Модели, отображающие случайный (стохастический) характер параметров и факторов системы, называются *статистическими* или *стохастическими* в отличие от *детерминированных*, не учитывающих вероятностных характеристик процессов.

По мере уменьшения величины параметров  $\Delta X$  и  $\xi$  уравнение (2) приближается по структуре к уравнению (1), описывающему детерминированные системы.

Обычно детерминированные модели, представляющие собой систему уравнений, удается составить только в тех случаях, когда о процессах в описываемой системе имеются ясные физические представления и эти представления можно формализовать. В таких случаях говорят, что система представляет собой «белый ящик» – объект с известной структурой и функциями. Однако получаемая таким образом модель может оказаться громоздкой, а ее информационное обеспечение весьма трудоемким. Поэтому часто используют статистические модели для описания детерминированных систем. В таких случаях рассматривают систему как «черный ящик» с неизвестной структурой, в котором доступны для изучения только контролируемые входные параметры  $X$  и измеримые выходные характеристики  $Y$ .

Детерминированные модели, могут также использоваться для описания стохастических систем, если объектом изучения являются их усредненные характеристики. Таким образом, статистические модели являются более широким классом моделей и включают детерминированные модели как предельный случай, в котором выходные параметры  $Y$  однозначно определяются входными переменными  $X$ .

В последнее время все более широко распространяется построение и исследование моделей поведения сложных технических объектов и способов управления ими на основе имитации реализованных природой механизмов в живых существах, т.е. происходит *биологизация* процессов моделирования и управления. Возможно и совместное применение различных моделей и методов при обработке информации об одном и том же объекте – в этом состоит сущность *гибридизации*.

Наибольшее распространение при проектировании ИСУ получили методы *интеллектуального управления* (ИУ), которые отно-

сятся: экспертные и нечеткие системы; нейронные сети и генетические алгоритмы.

Нейронные сети (НС) – раздел искусственного интеллекта, для обработки сигналов в котором используются явления, аналогичные явлениям, происходящим в нейронах живых организмов. Их важнейшей особенностью является возможность параллельной обработки информации всеми звеньями. Громадное количество межнейронных связей позволяет значительно ускорить процесс обработки информации и сделать возможным преобразование сигналов в реальном времени. Большое число межнейронных связей обеспечивает устойчивость НС к ошибкам: в этом случае функции поврежденных связей берут на себя исправные линии и деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Основу каждой нейросети составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, то есть ячейка нейросети. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом. Выход нейрона есть функция его состояния – «функция активации», или «передаточная функция» нейрона. Одним из важных факторов является способ ее обучения. Выделяют два подхода: обучение с учителем и обучение без учителя. При обучении с учителем предполагается, что, помимо входных сигналов, известны также и ожидаемые выходные сигналы нейрона. Если такой подход невозможен, следует выбрать стратегию обучения без учителя. Подбор весовых коэффициентов в этом случае проводится на основании либо конкуренции нейронов между собой, либо с учетом корреляции обучающих и выходных сигналов.

Одно из самых важных свойств НС состоит в способности к обучению и к обобщению полученных знаний. Сеть обладает чертами искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, она обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения.

Генетические алгоритмы (ГА) – большая группа методов адаптивного поиска и многопараметрической оптимизации, связанная принципами естественного отбора и генетики. Генетические алгоритмы – это методы случайного глобального поиска, копирующие

механизмы естественной биологической эволюции. ГА оперируют с популяцией оценок потенциальных решений (индивидуумов), генерируя по принципу "выживает наиболее приспособленный" все более близкие к оптимальному решения. Процесс такой последовательной генерации приводит к эволюции популяций индивидуумов, которые лучше соответствуют окружающей среде по сравнению с предыдущими.

ГА отличаются от обычных методов оптимизации рядом обстоятельств. В частности, они представляют собой метод параллельного поиска глобального экстремума, использующий в процессе поиска сразу несколько кандидатов на решения (закодированных точек), которые образуют развивающуюся по определенным случайным законам популяцию. Используемые при этом механизмы позволяют отсеять неподходящие варианты и выделить, а затем и усилить положительные качества вариантов, наиболее полно отвечающих поставленной цели. Целевыми функциями могут быть: ошибка идентификации и прогноза в текущий или будущий момент времени; один из показателей качества процесса (функционал); ошибка обучения НС – рассогласование между выходными объекта и эталонной модели системы.

Применение ГА охватывает не только класс традиционных задач оптимизации, но и быстро распространяется на задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности.

*Бажин А.Г., Погудин С.А. Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Ижевск, Россия*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННОЙ ДЕТАЛЬЮ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ**

Существует ряд соединений, требующих согласно своему функциональному назначению плотного прилегания сопрягаемых поверхностей и возможности их точного взаимного перемещения. Традиционным в таких случаях является метод пригонки, применяющийся для достижения высокой точности за счет дополнительной обработки со снятием стружки в процессе сборки. Однако этот метод отличается высокой трудоемкостью. Проблема усугубляется