

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСТРОЙКИ ИМИТАЦИОННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ МРС-УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ***А. А. Мусаев (Санкт-Петербург)**

Современные системы поддержки принятия решений и связанные с ними аналитические информационные технологии (АИТ) [1–4] базируются на динамическом подходе к анализу ситуаций. Данное замечание требует осознания достаточно очевидного факта – любое управленческое решение носит прогностический характер (по отношению ко времени исполнения и получения результата соответствующего управления). Для того чтобы оценить качество принимаемого управленческого решения, необходимо построить некоторый прогностический виртуальный сценарий развития многопараметрической ситуации, базирующийся на адекватной математической модели (или системы моделей) управления.

Прикладная математика предоставляет разработчикам систем управления обширный арсенал эффективных имитационных математических моделей (ММ), используемых для решения задач оценивания, идентификации, распознавания, прогнозирования и т.п. В частности, широко применяются методы вероятностно-статистического моделирования и связанные с ними алгоритмы статистической обработки данных (параметрического оценивания, проверки гипотез, многомерного статистического анализа и т.п.). Среди современных средств компьютерной математики следует указать технологии искусственных нейронных сетей, генетические алгоритмы, эволюционные методы и др. Указанные подходы относятся к общей методологии *Data Mining* (DM, интеллектуальный анализ данных) и широко используются при решении задач поддержки принятия решения и оптимизации процессов управления [2, 3, 5].

Однако непосредственное применение существующих ММ и отвечающих им программных комплексов сопряжено с существенными трудностями. Проблема состоит в несоответствии статистической и динамической структур исходных данных (полученных в результате мониторинга состояния объекта управления и среды взаимодействия) совокупности ограничений, гарантирующих сохранение функциональной эффективности используемых ММ.

Как правило, результаты мониторинга образуют нестационарные нелинейные временные ряды, содержащие как систематические, так и случайные ошибки. При этом статистические характеристики погрешностей измерений заранее не известны и эволюционируют во времени. Возникает неадекватность между изменяющейся реальной ситуацией и описывающей ее имитационной моделью. В результате этого прямое применение априори заданных ММ в конкретных задачах управления часто приводит к существенному снижению точности оценки состояния объектов управления, достоверности прогноза и, в конечном счете, к существенным потерям эффективности формируемых решений.

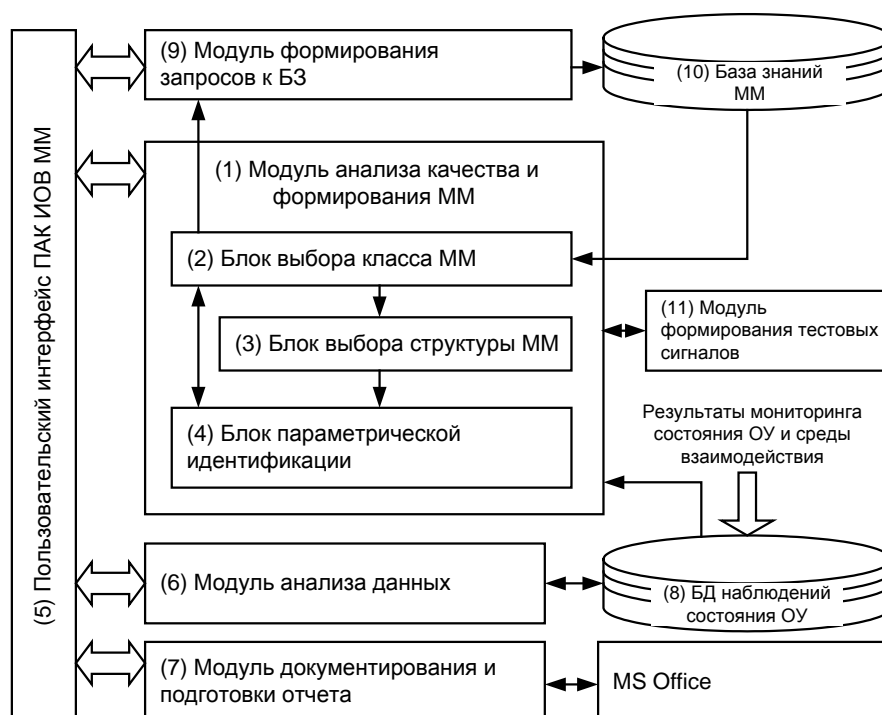
Естественным выходом из создавшегося положения является периодическая перенастройка и отладка алгоритмов управления и соответствующего программного обеспечения. При этом динамика изменения протекающих процессов может быть столь значительной, что требуется автоматическая настройка и адаптация используемых имитационных моделей. Таким образом, возникает проблема создания специализированного *программно-алгоритмического комплекса* (ПАК), ориентированного на про-

* Работа выполнена в ОАО «Специализированная инжиниринговая компания “Севзапмонтажавтоматика”» (ОАО СПИК СЗМА) и в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН.

цессы автоматизированных *испытаний, отладки и верификации* (ИОВ) ММ, используемых в качестве основы для разработки современных средств управления сложными динамическими системами.

Современные подходы к задачам данного класса допускают возможность не только параметрической и структурной адаптации модели, но и выбора класса используемых ММ. При этом предполагается, что разрабатываемый программно-алгоритмический комплекс будет содержать *базы знаний* (БЗ) ММ, используемых в задачах управления сложными динамическими объектами.

Прикладная (и демонстрационная) часть настоящей статьи посвящена частному вопросу совершенствования процессов управления – решению задач последовательной оптимизации управления технологическими процессами промышленного предприятия.



Функциональная структура ПАК ИОВ ММ

Центральным элементом программно-алгоритмического комплекса ИОВ ММ (рисунок) является модуль анализа качества и формирования ММ (1), включающий в себя блок выбора класса ММ (2), блок выбора структуры ММ (3) и блок параметрической идентификации (4). Исходными данными для функционирования модуля служат результаты анализа данных, полученные модулем (6), а также оперативные и ретроспективные данные, полученные в процессе мониторинга системы управления и хранящиеся в БД наблюдений (8). Функционирование ПАК ИОВ ММ происходит следующим образом. Результаты оперативного мониторинга состояния объекта управления и среды взаимодействия поступают в БД (8). Оперативная информация и заданный объем ретроспективных данных направляются в модуль анализа данных (6). В модуле (6) анализируются динамические и статистические свойства временных рядов наблюдений, используемые в качестве исходных сведений для предварительного выбора типа и структуры ММ, глубины ретроспективных данных, используемых для корректирующего обучения (параметрической и структурной идентификации ММ), выбора наиболее значимых предикторов (факторов влияния) и при решении других задач адаптации.

В частности, модуль анализа осуществляет дескриптивный статистический анализ, исследование динамических свойств, проверку гауссовости и независимости невязок наблюдений относительно аппроксимирующей имитационной модели, анализ корреляционных связей, обнаружение аномальных наблюдений, обнаружение мультиколлинеарности многомерных данных и т.п.

Непосредственно выбор и последовательная коррекция ММ выполняются в модуле анализа качества и формирования ММ (1). Качество ММ определяется ее адекватностью текущей ситуации. Для этого обучающую выборку ретроспективных данных целесообразно разделить на собственно обучающую, используемую в процессе структурной и параметрической идентификации, и тестовую, применяемую для оценки качества ММ.

Класс и структура ММ выбираются итерационно, систематически (например, перебором возможных вариантов) или методом случайного поиска. Основные классы ММ, их базовые структуры, описания, алгоритмы и программы формирования, а также ограничения на их применение составляют содержание базы знаний ММ (10). Обращение к БЗ ММ осуществляется модулем формирования запросов (9). Инициация и формирование параметров запросов к БЗ реализуются в блоке выбора класса ММ (2) модуля (1). Основные классы ММ, хранящиеся в БЗ, – это полиномиальные модели, представления функций в различных ортогональных базисах, модели с аддитивными стохастическими компонентами, временные ряды (авторегрессия, скользящее среднее, модель Бокса-Дженкинса), нейросетевые модели и т.п.

Параметрическая идентификация осуществляется на множестве обучающих (точнее, собственно обучающих) данных, обычно путем использования традиционных методов статистического оценивания (например, методом наименьших квадратов, методом максимального правдоподобия, методом наименьших модулей и т.п.).

Верификация модели производится путем ее применения при решении базовых функциональных задач на множестве тестовых ретроспективных данных. Например, используя ММ для формирования прогноза, можно сравнить полученные оценки с результатами реального управления и, тем самым, оценить точность прогнозирования. При этом точность формируемых оценок является естественным критерием качества ММ, позволяющим выбрать наиболее адекватную имитационную модель управления.

В случаях, когда отсутствуют ретроспективные данные (например, на этапе проектирования), качество ММ может быть оценено путем подачи на ее вход тестовых последовательностей и сравнения выхода модели с ожидаемым результатом. В качестве источника таких последовательностей используется модуль формирования тестовых сигналов (11), позволяющий получить реализации детерминированных и стохастических временных рядов с заданными свойствами.

Результаты испытаний, верификации и отладки ММ регистрируются в форме текстового файла средствами модуля документирования и подготовки отчета (7).

Программный комплекс ИОВ ММ является унифицированным изделием и пригоден для использования в любых предметных областях, связанных с разработкой и использованием имитационных математических моделей сложных динамических систем.

Элементы данного комплекса отработаны при построении математических моделей, используемых в задачах оптимизации управления технологическими процессами. Дальнейшее направление работ в рамках указанной проблемы связано с решением таких вопросов, как создание вариантов реализации ПАК ИОВ ММ, основанных на принципах самоорганизации и искусственного интеллекта.

Литература

1. **Карпов Е. А., Мусаев А. А., Шерстюк Ю. М.** Многоцелевая аналитическая информационная система. Методология создания и основные проектные решения. СПб.: МО РФ, 2000. 143с.
2. **Киселев М., Соломатин Е.** Средства добычи знаний в бизнесе и финансах//Открытые системы. 1997. №4. С. 41–44.
3. **Мусаев А. А.** Алгоритмы аналитического управления производственными процессами//«Автоматизация в промышленности». 2004. № 1. С. 30–35.
4. **Сахаров А. А.** Концепции построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных//Системы управление базами данных. 1996. № 4. С. 55–70.
5. **Дюк В., Самойленко А.** Data Mining: Учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 366 с.