

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОГНИТРОН****В. В. Михайлов, В. В. Тубольцева (Санкт-Петербург)**

Одной из важнейших проблем современности стала проблема взаимодействия человека и окружающей среды. Современный путь исследования и решения проблем такого масштаба и сложности предполагает использование математических методов и вычислительной техники для повышения оперативности и увеличения точности прогнозирования последствий антропогенного воздействия на природные объекты.

Идентификация модели, т. е. отождествление ее с реальным объектом или процессом, – неотъемлемая часть процедуры формирования модели. Под структурной идентификацией понимают выбор математической (алгоритмической, блочной) структуры модели, описывающей поведение некоторого класса объектов. Под параметрической идентификацией понимают выделение конкретного объекта из данного класса путем настройки его параметров. Уточнение параметров модели проводится с использованием поисковых методов оптимизации, а также путем решения обратной задачи методом обращения сетевых алгоритмических моделей.

Общим направлением современной информационной индустрии является переход к крупномасштабным сборкам программных средств с многократным использованием создаваемых компонент. В области создания моделей на основе алгоритмических сетей (АС) идея укрупнения была впервые представлена В.В.Иванищевым в работе [1]. В результате развития данного подхода в СПИИРАН была разработана технология множественного моделирования, реализованная в системе автоматизации моделирования КОГНИТРОН. Технология основана на формировании базы моделей некоторой предметной области и на построении новых моделей путем комплексирования фрагментарных моделей базы.

Достоинство алгоритмических сетей (АС) как формализма описания заключается в возможности реализации над сетями комплекса формальных операций (объединения, пересечения, частичного обращения, композиции и декомпозиции), образующих алгебру АС. Алгебра является основой для создания метаязыка описания всех возможных действий, проводимых с алгоритмическими сетями в процессе создания моделей [2].

Однако справедливость законов алгебры АС ограничивается подмножеством взаимно согласованных сетей, т. е. таких АС, любое объединение которых не нарушает однозначности вычисления переменных и не приводит к возникновению контуров, в составе операторов которых отсутствуют операторы задержки. Требование согласованности является весьма жестким. Модели разрабатываются специалистами для решения своих конкретных задач, в сферу их ответственности не входит проверка согласованности с другими моделями объектов предметной области, построенными другими разработчиками. Таким образом, решение проблемы структурной композиции и преобразования фрагментарных моделей предметной области с использованием алгебры АС должно начинаться с этапа взаимного согласования фрагментарных моделей [3].

Задача согласования может быть представлена следующим образом. Имеется множество фрагментарных моделей A_g объектов предметной области, представленных правильными алгоритмическими сетями AC_j . Назовем это множество «серой» базой моделей предметной области. Требуется обеспечить взаимное согласование сетей, т. е. устранить неоднозначность вычисления переменных и исключить образование контуров, не имеющих операторов задержки (не-контуров), при объединении любых $AC_j \in A_g$. Полученное в результате множество согласованных сетей A_w назовем «белой»

базой моделей предметной области, на которой могут быть реализованы все операции алгебры АС.

Наиболее просто задача согласования фрагментарных моделей решается при их парном переборе. Однако, для того чтобы не нарушить целостность базы, такому перебору должен предшествовать перебор фрагментарных моделей с присвоением всем одноименным переменным статуса критериальных. Это позволит сохранить связывающее базу множество переменных при выполнении операций над фрагментами.

Для определения каузальной ориентированности АС фрагментарных моделей используем граф причинно-следственных связей событий предметной области, накрываемых разрабатываемой комплексной моделью.

В результате взаимного согласования моделей формируется «белая» база фрагментарных моделей предметной области. Модели в ней представлены правильными АС, помимо этого модели удовлетворяют условиям взаимной однозначности вычисления переменных и полноты набора переменных состояния. Таким образом, на полученном множестве моделей могут быть реализованы все операции алгебры АС.

Подробный пример согласования четырех фрагментарных моделей при моделировании агроэкосистемы приведен в работе [4].

Поскольку концептуальная схема и соответствующая ей алгоритмическая сеть описывают класс объектов, обладающих общей потоковой структурой, то на втором этапе идентификации выполняется отождествление модели с конкретным объектом данного класса путем подбора значений параметров, включенных в перечень входных переменных модели.

К особенностям экологического моделирования относятся сложность и недостаточная изученность анализируемого объекта, неполнота и неточность исходной информации. Проведение экспериментов по определению параметров требует больших затрат времени и ограничено областью устойчивости и «выживания» исследуемого объекта. Данные натурных экспериментов часто отличаются относительно низкой точностью и наличием методических ошибок. В условиях дефицита и неточности исходных данных построение модели связано с трудоемкой процедурой селекции вариантов на основе косвенных показателей и признаков.

Наиболее эффективный способ уточнения параметров – метод обращения уравнений алгоритмической модели таким образом, чтобы получить значения уточняемых параметров в качестве решений системы обращенных уравнений. Однако множество моделей, допускающих такого рода обращение, весьма невелико. Поэтому для подбора значений настраиваемых параметров обычно используются методы, основанные на сведении данной задачи к задаче минимизации функции, которая строится как функция невязок реакций модели и объекта на одинаковые входные воздействия [5]. В общем случае функция невязок $Q(C)$ характеризует расстояние между экспериментальными (фактическими данными натурных измерений) и вычисленными на модели значениями выходных критериальных переменных.

Система автоматизации моделирования КОГНИТРОН состоит из трех частей:

- подсистема создания машинного представления модели,
- имитатор, выполняющий расчет модели,
- подсистема параметрической идентификации, реализующая формирование функции невязок и поиск ее экстремума.

Процесс параметрической идентификации выполняется в итерационном режиме. Подсистема формирует модельный сценарий, т. е. устанавливает значения уточняемых входных переменных для очередного модельного просчета, корректируя их в соответствии с работающим в данный момент алгоритмом оптимизации, и передает в имитатор для выполнения вычислений. Получив вычисленные значения выходных переменных и

используя фактические данные натуральных измерений, можно определить значение функции невязок (т.е. целевой функции). Алгоритм оптимизации работает до тех пор, пока не будет выполнена задача параметрической идентификации, т. е. будут найдены такие значения уточняемых входных переменных, при которых рассчитанный отклик модели будет приближен к фактическим значениям критериальных переменных в соответствии с данными ретроспективных натуральных измерений.

Решаемая задача идентификации моделей относится к классу динамических задач. Необходимо найти экстремум нелинейной функции нескольких переменных, аналитическое представление которой отсутствует. Для реализации целей, поставленных перед системой параметрической идентификации, необходимо выбрать метод, обеспечивающий отыскание глобального экстремума. При этом следует стремиться минимизировать количество итераций в работе алгоритма в связи с особенностями формирования целевой функции, требующими значительных затрат времени для вычисления ее значений, получаемых в ходе имитационных расчетов.

Отыскание экстремума функции невязок $Q(C)$ предлагается производить с помощью метода Ψ -преобразования, разработанного В. К. Чичинадзе [6]. Этот метод можно использовать для широкого класса линейных и нелинейных задач, как статических, так и динамических. Метод не накладывает жестких ограничений на вид целевой функции и гарантирует нахождение именно глобального экстремума, тогда как большинство из традиционно применяемых оптимизационных методов определяют лишь наименьший (наибольший) из найденных локальных экстремумов. Главная особенность этого метода заключается в том, что объектом исследования и анализа является не сама оптимизируемая функция, а некоторая функция $\Psi(\xi)$, получаемая в результате преобразования исходной оптимизируемой функции. Оказалось, что функция $\Psi(\xi)$, а также некоторые другие функции, образующиеся в процессе преобразования, обладают рядом замечательных свойств, благодаря которым они могут быть использованы не только в случае задач, хорошо решаемых традиционными методами, но и для задач, решение которых связано с большими трудностями.

Недостатком Ψ -преобразования является сравнительно низкая точность определения экстремума. Причем точность уменьшается при уменьшении количества проводимых статистических испытаний исследуемой функции. Если же не ставить задачу получения этим методом решения высокой степени точности, то можно, проведя относительно небольшое количество вычислений, получить точку, находящуюся в окрестности глобального экстремума. Дальнейшее уточнение решения может быть проведено градиентным методом, который имеет достаточно высокую скорость сходимости в случае, когда поиск начинается из точки, недалеко отстоящей от искомого экстремума.

В подсистеме реализована двухступенчатая процедура поиска и уточнения значения глобального экстремума целевой функции, сформированной из значений критериальных переменных, полученных расчетным и экспериментальным путями. Первоначально в диалоговом режиме пользователь формирует целевую функцию, т. е. определяет состав критериальных переменных и выбирает вид функции, а также задает диапазоны изменения уточняемых переменных. Затем методом Ψ -преобразования находится точка вблизи глобального экстремума. Затем, если требуется, решения уточняется градиентным методом.

Использование алгоритмического потокового подхода при формализации предметной области и автоматизированных процедур, реализованных в системе КОГНИТРОН, позволяет эффективно решать задачу идентификации имитационных моделей сложных динамических систем.

Литература

1. **Иванищев В. В.** Технология множественного моделирования на основе формализма алгоритмических сетей//Искусственный интеллект-96. Т. 3. Казань, 1996.
2. **Иванищев В. В., Марлей В. Е.** Введение в теорию алгоритмических сетей. СПб: Изд. СПбГТУ, 2000. 180 с.
3. **Иванищев В. В. Михайлов В. В.** Автоматизация моделирования экологических систем. СПб: СПбГТУ, 1988. 171 с.
4. **Михайлов В. В., Марлей В. Е.** Алгоритмические сети и их применение. СПб: ГОУ ВПО «СПбГУАП», 2003. 80 с.
5. **Иванищев В. В., Михайлов В. В., Тубольцева В. В.** Инженерная экология. М.: Наука, 1989. 145 с.
6. **Чичинадзе В. К.** Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации. М.: Наука, 1983. 315 с.