

МОДЕЛИ АССОЦИАТИВНОГО ПОИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

В.А. Лотоцкий, Р.Т. Валиахметов, Н.Н. Бахтадзе (ИПУ РАН)

Представлен подход к разработке виртуальных анализаторов (ВА), основанный на использовании экспертных знаний операторов технологической установки и базы знаний производства.

Использование знаний при разработке виртуальных анализаторов

В целях поддержки принятия решений оператором технологической установки могут быть использованы виртуальные анализаторы – приложения к системам управления, формирующие прогноз показателей качества выпускаемой продукции в режиме реального функционирования ТП. Рекомендуемые управляющие воздействия предоставляются оператору либо непосредственно на мнемосхеме системы управления, либо посредством автономного интерфейса. Алгоритмы идентификации, используемые современными ВА, основаны на экспертных знаниях. ВА используют как экспертные знания самого лица, принимающего решение, так и базы знаний производства.

Во втором случае оператору предоставляется либо рекомендуемое управляющее воздействие, либо значения необходимых технологических показателей, получаемых посредством мониторинга производственной ситуации.

Различают два типа знаний: *декларативные* и *процедурные* или *процедуральные* [1]. К первым относят описание различных фактов, явлений, наблюдений, формулирование теорий. Вторую группу составляют различного рода умения и навыки. Эксперты (люди, овладевшие теорией и навыками в данной области) отличаются от новичков структурой и способом мышления, в частности, стратегией поиска решений [2]. Если человек не является экспертом, он использует так называемый "обратный вывод" (backward reasoning), когда на основе полученной информации о текущем состоянии процесса он перебирает варианты решений и ищет аргументы в пользу того или другого. Эксперту не требуется анализ текущей информации, он использует в процессе принятия решения так называемый "прямой вывод" (forward reasoning), при котором стратегия принятия решений по формированию экспертом управляющего воздействия создается на подсознательном уровне, является невербализуемой. Таким образом, в аспекте *информационного подхода* [3] эффективность системы в значительной степени будет определяться квалифицированностью эксперта и априорной информацией, которой он будет располагать. В рамках такого подхода *знание* определяется как определенный набор реально существующих элементов – символов, которые хранятся в памяти человека, обрабатываются в процессе мышления и определяют поведение. Символы, в свою очередь, могут быть определены структурой и характером межнейронных связей [4].

Человеческие знания так или иначе используются в любой системе управления [5]. Процесс обработки

знаний в интеллектуальной системе сводится к восстановлению (ассоциативному нечеткому поиску) знания по его фрагменту [6]. При этом знание можно интерпретировать как ассоциативную связь между *образами*. Ассоциативный поиск может происходить либо как процесс восстановления образа по частично заданным признакам (или восстановления фрагмента знания в условиях неполной информации; как правило, именно этот процесс имитируется в различных моделях ассоциативной памяти), либо как процесс поиска связанных ассоциативно с данным образом других образов, привязанных к другим моментам времени (эти образы могут иметь смысл причины или следствия данного образа).

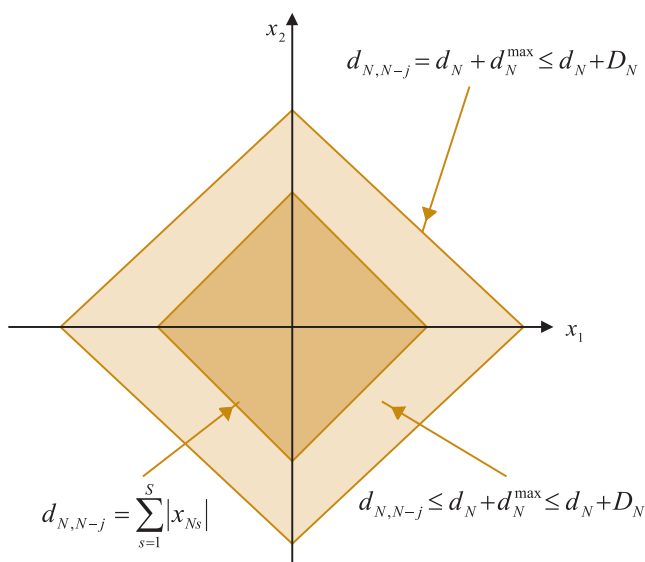
Известны различные схемы ассоциативного поиска [6]. Так, во фреймовых системах задача поиска реализуется в виде сопоставления (matching) фреймов. В семантических сетях поиск осуществляется путем сопоставления фрагментов сети и графа-запроса. Применительно к решению дискретных задач многокритериального выбора эффективным оказался подход, основанный на методе *вербального анализа решений* [7]. В рамках такого подхода производится декомпозиция описания объектов по многим критериям на их частичные описания меньшей размерности, которые предлагаются лицу, принимающему решения (ЛПР), для сравнения (в предположении попарно равных оценок по критериям, не вошедшим в такие описания).

В [6] предложена модель, описывающая ассоциативное мышление как последовательный процесс вспоминания на основе применения *ассоциаций* – пары образов, характеризующихся своим набором признаков. Такая модель представляется промежуточной генерацией между моделями нейронных сетей и логическими, используемыми в классических системах искусственного интеллекта.

В настоящей работе предложен подход к формированию поддержки принятия решения об управлении оператором, основанный на динамическом моделировании процедуры ассоциативного поиска.

Алгоритм нелинейного динамического прогнозирования и некоторые его модификации

Для идентификации сложных нелинейных динамических объектов, таких как ТП непрерывных и полунепрерывных производств, в [8] был предложен алгоритм идентификации с непрерывной самонастройкой в режиме РВ на основе построения *виртуальных моделей*. Алгоритм позволял в режиме советчика корректировать качество основных показателей выпускаемого продукта на основе статистической обработ-



ки данных приборных измерений и лабораторного контроля.

В каждый момент времени создается новая модель. Для построения модели формируется временная БД архивной и текущей технологической информации. После определения прогноза выхода по текущему состоянию объекта эта виртуальная база уничтожается без запоминания.

Динамический алгоритм состоит в построении в каждый момент времени аппроксимирующей гиперповерхности пространства входных векторов (виртуальной оболочки) и соответствующих им одномерных выходов. Для построения виртуальной модели, соответствующей некоторому моменту времени, выбираются векторы, в определенном смысле близкие к текущему входному вектору. Критерии отбора точек могут быть различными. Размерность этой гиперповерхности выбирается эвристически. Далее на основе классического (не рекуррентного) метода наименьших квадратов определяется значение выхода в следующий момент времени.

Существенно, что такой алгоритм не строит единственную аппроксимирующую модель реального процесса для всего диапазона наблюдения — он строит новую модель для каждого момента времени, являясь при этом эффективным алгоритмом идентификации, поскольку оценки параметров в любой момент времени являются наилучшими в смысле среднеквадратической ошибки. При этом каждая точка глобальной нелинейной поверхности регрессии получается в результате использования линейных "локальных" моделей.

Для широкого ряда ТП химического и нефтехимического профиля алгоритм продемонстрировал высокую точность прогнозирования. Однако ряд моментов требовал дополнительных исследований, в частности, возможные методы сортировки и отбора данных.

С целью увеличения быстродействия, в частности, можно применить следующий способ отбора входных векторов из технологического архива. Если в качестве расстояния между векторами входов размерности S

выбрать сумму модулей разностей их компонент, то текущий вектор входных параметров можно условно как бы окружить "виртуальной оболочкой", то есть выбрать из архива определенное число входных векторов, расстояния от каждого из которых до текущего входного вектора попадет в определенный диапазон.

$$d_N \leq d_{N,N-j} \leq d_N + D_N, \quad (1)$$

где для вектора входов x_N в текущий момент времени N

$$\sum |x_{Ns}| = d_N, \quad s = 1, \dots, S. \quad (2)$$

Для построения виртуальной оболочки для x_N отберем из архива входных данных такие векторы x_{N-j} , $j = 1, \dots, n$, что для некоторого заданного D_N будет выполнено условие:

$$d_{N,N-j} \leq d_N + \sum |x_{N-j,s}| \leq d_N + D_N, \quad j = 0, \dots, N, \quad (3)$$

всего выбирается n точек, $n \leq N$.

Если в выбранной области не наберется достаточного числа входных векторов для применения МНК, то есть соответствующая система линейных уравнений окажется неразрешимой, то выбранный критерий отбора точек в пространстве входов можно будет ослабить за счет увеличения порога D_N .

Иллюстрация для двумерного случая представлена на рисунке.

Интерпретация алгоритма с использованием виртуальных моделей как процедуры ассоциативного поиска

Вопрос быстродействия алгоритма на базе виртуальных моделей является весьма существенным для прогнозирования параметров ТП, и зачастую становится ключевым. Для решения этого вопроса применим подход, основанный на использовании для прогнозирования модели ассоциативного мышления оператора технологической установки.

Рассмотрим, например, следующий подход для моделирования процедуры ассоциативного поиска, имитирующего интуитивное прогнозирование производственной ситуации оператором. Пусть множества значений технологических параметров (которые являются компонентами вектора входов), а также значения выходов системы в предыдущие моменты времени вместе составляют множество признаков, формирующих образ выхода.

В процессе ассоциативного вспоминания используются образы, описываемые определенным набором признаков. Обозначим образ, инициирующий ассоциативный поиск, через P и соответственно образ-результат ассоциативного поиска через R . Пару образов (P, R) назовем ассоциацией A или $A(P, R)$. Множество всех ассоциаций на множестве образов составляет память или базу знаний интеллектуальной системы.

На этапе обучения системы формируется архив образов. В нашем случае в качестве образа будем рассматривать виртуальную оболочку, состоящую из n

входных векторов из технологического архива, построенную с помощью описанного выше алгоритма.

На этапе прогнозирования начальным образом P^a ассоциативного поиска будем считать входной вектор x_n . Конечным образом R^a будет являться аппроксимирующая оболочка, состоящая из входных векторов из технологического архива, построенная с помощью описанного выше алгоритма. Эта оболочка представляет собой как бы образ текущего входного вектора, посредством которого прогнозируем выход. Алгоритм реализует процесс восстановления образа R^a , исходя из P^a (то есть процесс ассоциативного поиска) и может быть описан предикатом $\Xi = \{ \Xi_i(P_i^a, R_i^a, T^a) \}$.

Ассоциативный поиск, принимающий значение *TRUE*, называется успешным, а принимающий значение *FALSE* – неудачным. Ассоциативный поиск $\Xi(P^a, R^a, T^a)$, использующий только одну ассоциацию, содержащуюся в памяти интеллектуальной системы (то есть на первом же шаге выбирающих из архива нужный набор векторов), называется *элементарным ассоциативным поиском* [6].

Для представленного алгоритма этот предикат является высказывательной функцией, утверждающей истинность либо ложность принадлежности текущего входного вектора определенной области в пространстве входов. Таким образом, процесс ассоциативного поиска сводится к выбору из архива образов подходящей гиперповерхности, то есть набора входных векторов, удовлетворяющего (3).

Если не найдется в архиве ни одного образа, удовлетворяющего (9), можно либо увеличивать уровень порога D_N , либо для определенного образа входного вектора производится замена одного из признаков на более подходящий. Формально это означает, что из набора архивных векторов входов исключается "самый плохой" (находящийся дальше всех остальных от текущего входа в смысле выбранного критерия) и вставляется другой, более подходящий, и т.д.

В общем случае процесс принятия решений оператором об управляющем воздействии в любой момент времени можно представить как ассоциативный поиск, раскладываемый в цепочку элементарных ассоциативных поисков. Можно выделить два вида цепочек [6]:

1) с забыванием, когда все образы, восстановленные в результате предыдущих ассоциативных поис-

ков, не учитываются в процессе выполнения текущего ассоциативного поиска. Именно такая цепочка возникает в процессе использования виртуальных моделей;

2) с запоминанием, когда начальным образом для текущего ассоциативного поиска является образ, формируемый с учетом истории поиска на предыдущих этапах. В случае алгоритма, описанного в первом разделе, в архиве сохраняются координаты используемых на предыдущих этапах виртуальных оболочек.

Заключение

Для формирования поддержки принятия решений об управлении оператором технологической установки можно использовать алгоритмы *ассоциативного поиска*. Они могут содержать цепочки ассоциаций без запоминания и с запоминанием любой возможной глубины. Во втором случае процесс успешного ассоциативного поиска заметно ускоряется за счет использования технологических знаний, которыми в процессе реального функционирования непрерывно пополняется база знаний производства.

Список литературы

1. Ларичев О.И., Нарыжный Е.В. Компьютерное обучение процедуральным знаниям // Психологический журнал. 1999. №6. 20.
2. Patel V.L., Ramoni M.F. Cognitive Models of Directional Inference in Expert Medical Reasoning // In: Feltovich P., Ford K., Hofman R. (Eds.) Expertise in Context: Human and Machine. AAAI Press, Menlo Parc, CA, 1997.
3. Hunt E. Cognitive Science: Definition, Status and Questions // Annual Review of Psychology, 1989, 40.
4. Newell A., Simon H.A. Human Problem Solving, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc., 1972.
5. Дозорцев В.М. О термине "интеллектуализация" в применении к средствам и системам управления // Автоматизация в промышленности. 2006. № 6.
6. Gavrilov A.V. The Model of Associative Memory of Intelligent System // The 6-th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Proceedings. Novosibirsk. 2002. Vol. 1. P.
7. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решения. М.: Физматгиз. 1996.
8. Чадаев В.М. Цифровая идентификация нелинейных динамических объектов // Автоматика и телемеханика. 2004. № 12.

Лотоцкий Владимир Алексеевич – д-р техн. наук, проф., зав. отделом идентификации и управления производственно-техническими системами, *Валиахметов Равиль Талгатович* – инженер, *Бахтадзе Наталья Николаевна* – д-р техн. наук, зав. лабораторией идентификации систем управления ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН.

Контактный телефон (495) 334-92-01.

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на второе полугодие 2007 г. Оформить подписку Вы можете:

В России – индекс в каталоге "Роспечать" **81874** и "Пресса России" **39206**

В Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Украине – индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **www.avtprom.ru**