

ке-планировщике вычислений. Также, в этом блоке происходит контроль за корректностью ввода. В случае обнаружения какой-либо ошибки появляется сообщение о ее характере и управление передается блоку ввода для исправления этой ошибки. Если ошибок не обнаружено, управление передается третьему блоку генератора — блоку решения систем ОДУ. При этом на экран монитора выводятся значения всех неизвестных и график любой из них по выбору пользователя.

Разработанная программная система ГМП содержит около 900 операторов на языке Бэйсик, т. е. является достаточно компактной.

Эксперименты, выполненные с генератором, подтвердили удобство его использования и эффективность.

В заключение отметим, что разработка системы проблемно-ориентированных генераторов прикладных программ может рассматриваться как одно из направлений создания высокоавтоматизированных технологий программирования для ЭВМ массового применения. Однако при этом должны учитываться особенности взаимодействия различных ГПП, используемых при реализации сложных программных комплексов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Martin J.* Application Development Without Programmers. Prentice-Hall, Inc., 1982.
2. *Ильин В. Д.* Система порождения программ. М., Наука, 1989.
3. *E. Subrahmanian and R. I. Cannon.* A generator program for models of discrete-event systems. Simulation, 1981, p. 93—101.
4. *P. A. Luker and J. Stephenson.* Program generation for continuous System Simulation. In Simulation of Systems, edited Dekker, Amsterdam, North-Holland, 1979.
5. *Golden B. L.* Nonlinear programming on a microcomputer. Comput. and Oper. Res., 1986, 13, № 2—3, p. 149—166.

Л. Я. Поспелова

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ЭКСПОРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИГНОСТИКИ, КЛАССИФИКАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ

В работе обсуждается опыт разработки, эксплуатации и эволюция инструментальной экспертной системы (ЭС) ЭКРАН (ЭКспертиза, Редактирование знаний, Анализ Непротиворечивости). Для начинающих разработчиков ЭКРАН — исключительно легкое в изучении и использовании средство создания и тестирования баз знаний и ЭС. Для программиста ЭКРАН — удобный, компактный, многофункциональный инструмент с широкими возможностями подключения прикладных программ и баз данных для создания интегрированных ЭС.

Система ЭКРАН существует более трех лет и за это время успешно использовалась в задачах технической диагностики ЭВМ, проектирования технологических установок, автоматизированного обучения, классификации почв.

Базовая версия системы ЭКРАН имеет следующие характеристики.

— База знаний (БЗ) содержит набор фактов  $A_1, A_2, \dots, A_n$  и набор правил продукций, выводящих некоторый факт из совокупности других.

$P$ : IF  $A_1$  &  $A_2$  &  $A_3 \dots$  & AN THEN AM

— Факты — это элементарные утверждения типа <Атрибут> <Значение>, где <Значение> может быть строковой константой, именем процедуры-функции, написанной на Си, и двуместным предикатом вида  $L$

$p, R$ , где  $p$  — предикаты {  $<$ ,  $\leq$ ,  $>$ ,  $=$ ,  $(a, b)$ ,  $(a, b]$ ,  $[a, b)$ ,  $[a, b]$ ,  $a, b$  — действительные числа}; левая часть  $L$  — либо конкретное числовое значение атрибута, вводимое пользователем во время сеанса экспертизы, либо результат некоторого расчета, запрограммированного в виде Си-функции, либо результат запроса к реляционной БД; правая часть  $R$  — либо константа, либо результат вычисления, запрограммированного также Си-функцией. С помощью этих процедур осуществляется связь прикладной экспертной системы с вычислительным процессом данной проблемной области.

— Правила и факты являются детерминированными, т. е. не содержат коэффициентов уверенности, шансов и пр.

— Каждое правило содержит не более 9 условий-фактов, соединенных логической связкой «И».

— Действие правила содержит 1 факт.

— В оперативной памяти размещается одна БЗ, содержащая не более 1000 правил продукций.

— Реализована возможность организации сети БЗ (т. е. такого их числа, которое ограничивается лишь суммарным объемом памяти на внешних носителях — твердом диске и наборе гибких дисков).

— Созданы уникальные возможности тестирования баз знаний.

— Реализована возможность накопления и использования статистики экспертных выводов.

— Реализована возможность работы ЭС с СУБД ЭКРАН. Основные характеристики СУБД ЭКРАН: реляционный тип, возможность организации словарей с целью компактного хранения фактографических данных, мощный язык запросов, включающий операции арифметики и логические связки OR, AND, NOT, CALL-интерфейс с прикладными программами пользователя. Объем БД ограничен 64 К.

Примеры фактов: «Тип агрегата — детандер», «Состояние триггера TWSE — Нет Установки», «Радиус кривизны  $\leq 45$ », «Скорость в интервале {60; 80}», «Диаметр  $\leq$  &DMAX». (Здесь  $\langle$ Значение $\rangle$  — предикат, в левой части — числовое значение атрибута, введенное с клавиатуры или взятое из базы данных (БД) или вычисленное программой пользователя, а в правой — константа, две константы — интервал значений или результат расчета программы).

Примеры правил: «ЕСЛИ (34-35 разряды PSW — равны [01]) И (BCU — равен 02) И (BUC — равен 1) И (Сбой — на всех терминальных дисплеях) И (Байт Состояния Терминал —  $\langle$ НЕ ГОТОВ $\rangle$ ), ТО (Неисправный Терминальный Дисплей — TC 7063.01)».

«ЕСЛИ (Расход (в мольных долях)  $> 0.5$ ) И (Относительная летучесть компонента  $> 1.3$ ) И (Результат вычисления агрегированной характеристики  $s = \&MAX$ ), ТО (Номер точки деления смеси — ris7).

Система строит цепочку правил, которая выводит значение целевого атрибута из описания исходной ситуации. Это описание в виде набора фактов задает пользователь. Например, в задаче диагностики система дает заключение о типе поломки компьютера по результатам определенных тестов или, в задачах проектирования, предлагает схему устройства, которая удовлетворяет техническому заданию.

Базовая версия системы состоит из трех частей.

— Многооконный редактор базы знаний и данных (для организации, модификации и поддрежания в рабочем состоянии БЗ и БД);

— Машина вывода, осуществляющая прямой, обратный и смешанный вывод. С машиной вывода связаны также диалоговый монитор, подсистема выдачи подсказок, а также подсистема объяснения и выдачи ответа в виде текстов, рисунков или результатов работы вычислительных процедур.

— Подсистема поиска противоречий. Поскольку этот блок составляет основную особенность системы ЭКРАН, остановимся на нем подробнее.

Достоинство продукционных систем как средства создания экс-

пертных систем состоит в декларативности представлений знаний и модульной организации данных. Поскольку продукция не зависит друг от друга, их легко описывать, модифицировать и заменять в базе знаний. Однако последовательный ввод в компьютер знаний в форме наборов правил, не связанных друг с другом, приводит к невозможности проверить корректность выводов экспертной системы даже с помощью объяснителя.

Знания, которые мы хотим представить в ЭС, скорее всего содержат различные ошибки и противоречия. Источником этой некорректности могут быть как ошибки ввода, так и неправильное представление эксперта о границах применимости правил и склонность человека излишне упрощать правила при частом их использовании. Нельзя забывать и о том, что в некоторых предметных областях могут сосуществовать несовместимые системы взглядов.

Человеку часто удается преодолеть противоречия в своих представлениях с помощью внешней проверки выводов. Благодаря многообразным связям с внешним миром он может привлекать трудноуловимую информацию о конкретной ситуации, использовать дополнительные аргументы «здравого смысла» или «физической интуиции». Компьютерные системы лишены этих возможностей, поэтому для них гораздо большее значение приобретают системы проверки внутренней непротиворечивости знаний, не меньшее, чем, скажем, объяснитель. Для этой проверки можно и нужно использовать основное преимущество искусственного интеллекта перед естественным — возможность быстро строить и проверять огромное количество длинных логических цепочек.

Если все факты, которыми оперирует система могут быть выполнены одновременно, то внутренний анализ не сможет выявить никаких ошибок. Некорректность системы (если система вообще работает) проявляется в том, что различные цепочки вывода из одних и тех же посылок приводят к несовместимым между собой ответам. Например, в одной и той же исходной ситуации система при разных способах применения правил приписывает одному и тому же признаку различные значения. («Диагноз — истощение» и «Диагноз — ожирение»).

Информация о совместности или несовместности тех или иных фактов не содержится в правилах, представляемых экспертов. Такую информацию вообще вряд ли можно разумно описать продукциями, поскольку этот аппарат мало пригоден для выражения общеотрицательных суждений. По этой причине противоречия в продукционных системах мы рассматриваем не так, как в обычной пропозиционной логике.

Предположим, что мы можем независимо от правил продукций установить совместимы или несовместимы между собой факты из любого заданного набора. Если несовместимость состоит в том, что признак одновременно имеет два значения, то возможность распознать ее очевидна.

Систему продукций следует считать противоречивой, если из некоторого допустимого (совместного) набора фактов применением правил можно получить запрещенный (несовместный) набор. Рассматриваемый подход позволяет дать следующую естественную классификацию типов противоречивости.

Может случиться, что выводы несовместимых фактов в противоречивой системе опираются на непересекающиеся группы исходных условий. Такие противоречия мы называем внешними. Их можно устранить, не трогая правил, если исключить исходные наборы фактов, приводящие к противоречию. Внешние противоречия нельзя считать фатальным недостатком используемых знаний. Можно предположить, что наборы условий, приводящие к противоречию, на практике одновременно не выполняются и эксперт, составлявший правила, не учитывал чисто формальную возможность их совмещения. Рассмотрим например

следующие «правила диагностики» холодильника:

P1: ЕСЛИ «мотор гудит», ТО «работает»

P2: ЕСЛИ «лампа не горит», ТО «не работает».

Если лампа перегорела, а холодильник цел, то такие правила приведут к противоречию. Но если лампа надежна, то ими вполне можно пользоваться.

Бывает, однако, что сужения множества исходных ситуаций недостаточно — противоречие можно устранить, лишь исключив из системы некоторые правила. Такие противоречия между правилами мы называем внутренними. Наличие внутренних противоречий ведет к тому, что ответ системы будет существенно зависеть от выбранного программистом (а не экспертом!) способа разрешения коллизии правил. Это явный порок системы. Он свидетельствует о том, что при описании или вводе значений была допущена ошибка.

Формальный анализ внешних и внутренних противоречий удобно проводить с помощью динамического описания системы продукций [1]. При таком описании система продукций рассматривается как управляемая дискретная динамическая система. Набор фактов, установленных на некотором этапе вывода представляет собой состояние этой системы, а продукции трактуются как операторы, изменяющие это состояние.

Можно показать, что для поиска внутренних противоречий достаточно просмотреть лишь простейшие цепочки вывода — составные продукции. Этот факт позволяет построить эффективный алгоритм нахождения внутренних противоречий [1]. Для этого алгоритма несущественно, что именно в данном конкретном приложении считается запрещенным набором фактов. Указанный алгоритм реализован в блоке анализа непротиворечивости базовой версии системы ЭКРАН [2]. Одновременно этот блок отыскивает и некоторые другие дефекты в системе продукций. Например, правила, которые невозможно применять, поскольку некоторые из их условий нельзя ни вывести другими правилами, ни запросить у пользователя. Конечно, такие правила в системе могут появиться лишь вследствие ошибки.

Обсудим опыт использования инструментальной ЭС с точки зрения программиста и инженера по знаниям.

Наш опыт говорит, что каждая новая предметная область требует не столько расширения базовой версии, сколько существенной реорганизации взаимодействия основных блоков. Анализ естественной последовательности действий по техобслуживанию и технической диагностике СВТ привел к необходимости организации древовидной совокупности продукционных баз знаний и потребовал от машины вывода умения работать в иерархических пространствах. В задаче синтеза химико-технологических установок в систему потребовалось включить вычислительные модели и процедуры агрегирования результатов вычислений в логические суждения с последующим дезагрегированием суждений обратно в числовую информацию. Необходимость «запуска» в вычислительных моделях машины вывода, работающей с базой знаний, содержащей агрегированные характеристики, обусловила создание рекурсивной схемы управления логическим выводом. В задачах автоматизированного обучения [3] взаимодействуют как минимум две ЭС (Педагог и Решатель задач), а также вводятся специальные графические многооконные средства общения с обучаемым, мониторинг модели обучаемого. Попытки объединить все эти специфические средства в некой универсальной суперсистеме не имеют смысла.

На основании этого опыта мы делаем вывод, что инструментальная экспертная система не может и не должна быть универсальным средством решения всех сразу известных задач экспертизы, предоставляемых пользователю. Инструментальная система — это скорее метод решения задач экспертизы, подкрепленный набором основных блоков. Использовать его должен инженер по знаниям, глубоко владеющий

этим методом и опытом его применения, а также способный вместе с экспертом разобраться в специфике задач и знаний в данной предметной области.

Сказанное выше непосредственно относится, например, к такому важному вопросу как описание неопределенности фактов и правил в экспертной системе. Существует три основных способа описания неопределенности, каждый со своей специфической областью применения.

— Теория вероятности для описания статистической неопределенности, связанной, видимо, главным образом с неустойчивостью динамических систем.

— Теория игр для описания стратегической неопределенности, связанной с конфликтом рационально действующих индивидумов.

— Теория нечетких множеств, наиболее пригодная, возможно, для описания «психологической» неопределенности, связанной с образным характером человеческого мышления.

Вопрос о том как сочетаются эти типы неопределенности в данной предметной области и не скрывается ли за неопределенностью простое незнание существенных свойств этой предметной области требует в каждом случае тщательного исследования. Решать его, предоставляя пользователю выбирать из меню тот способ описания неопределенности, который ему понравится, по нашему мнению, несколько безответственно. По этой причине в системе ЭКРАН мы пока ограничиваемся детерминированными правилами и сбором статистики о результатах экспертизы и применения правил.

Рассмотрим пример организации работ с неполным знанием. Уже первые эксперименты с ЭС по диагностике конкретной ЭВМ показали, что получаемый диагноз (конкретная неисправность) может подтвердиться, а может и не подтвердиться. Такая ситуация означает, что набор экспериментальных характеристик, получаемых при тестировании устройства, не указывает однозначно на конкретную неисправность, т. е. знание эксперта, выраженное набором продукций, не является полным. В процессе консультации ЭС собирает полную статистику подтвержденных и неподтвержденных неисправностей элементов узлов устройств. Отношение количества подтвержденных отказов узла к сумме количеств подтвержденных и неподтвержденных отказов интерпретируется системой как вероятность отказа этого узла при условии выполнения выбранной гипотезы, или, другими словами, это — шанс выполнения правил, или, найденная эмпирически, достоверность цепочки правил.

Неполнота экспертного знания, здесь, как правило, определяется недостатками конструкторского решения систем тестирования. Накопленная статистика подтвержденных и неподтвержденных неисправностей служит оценкой этих систем, указанием наиболее уязвимых по отказам, но недостаточно четко диагностируемых элементов узлов, позволяет сопоставить стандартные оценки надежности с фактической надежностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Поспелов И. Г., Поспелова Л. Я.* Динамическое описание систем продукций и проверка непротиворечивости продукционных экспертных систем.— Изв. АН СССР // Техническая кибернетика, 1987, № 1.
2. *Поспелова Л. Я.* ЭКРАН — инструментальная экспертная система для ПЭВМ // Методы и системы технической диагностики. Научно-техническое направление «Искусственный интеллект и экспертные системы». Изд-во Саратов. ун-та, 1988. Вып. 10. С. 72—77.
3. *Анацкий Н. И., Левин Н. А., Поспелова Л. Я.* Опыт разработки ЭЭС ИПИЛОГ обучения студентов методам математической логики // Методы и системы технической диагностики. Ч. 1. Экспертные обучающие системы. Изд-во Саратов. ун-та, 1989. Вып. 12. С. 104—108.