

УДК 519.816

СРЕДСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

© 2007 г.

П.Д. Басалин, С.Е. Власов

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

basalinS@rambler.ru

Поступила в редакцию 27.12.2006

Предлагаются инструментальные средства интеллектуальной поддержки процесса проектирования сложных объектов, организованные в виде оболочки системы, основанной на знаниях продукционного типа. Продукционное правило рассматривается как конструкция, выражающая через антецедент условия активации определенного проектного действия, указанного в консеквенте. При этом прямая цепочка рассуждений интерпретируется как рабочий сценарий проектирования, отражающий последовательность выполнения проектных операций в реальных условиях. Инструментальные средства успешно использованы в качестве экспертной системы для поддержки процесса размещения программно-технических средств автоматизированных систем управления технологическими процессами в пунктах управления атомных электростанций.

Согласно *принципу обратной связи*, сформулированному Норбертом Винером, любая искусственная система, претендующая на разумность (интеллектуальность), как и все живое, должна обладать способностью преследовать определенные цели и приспосабливаться, т.е. обучаться. Данный принцип является основополагающим при создании систем, целевое назначение которых во многом связано с кругом задач (проблем), алгоритмы (сценарии) решения которых заранее не известны. Это проблемы творческого (интеллектуального) плана, с которыми приходится иметь дело практически на всех этапах проектирования сложных объектов.

Вышесказанное тесно связано с понятиями *интеллектуальной системы* и *экспертной системы*.

Под *интеллектуальной системой* (ИС) понимается [1] программно-техническая система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти интеллектуальной системы.

Экспертная система (ЭС) (по определению, принятому Комитетом группы специалистов по экспертным системам Британского компьютерного общества) — это система, объединяющая возможности компьютера со знаниями и опытом эксперта в такой форме, что система может предложить «разумный» совет или осуществить «разумное» решение поставленной задачи. При этом она способна пояснить ход своих «рассуждений» в понятной для пользователя форме.

Согласно данным определениям, понятия ЭС и ИС можно рассматривать как синонимы в определенном смысле. Они отражают лишь функциональное назначение систем, не акцентируя внимания на способах их организации. Принципиально отличным в этом плане является понятие *системы, основанной на знаниях* (СОЗ).

По определению Эдварда Фейгенбаума, СОЗ — это интеллектуальная компьютерная программа, использующая знания и процедуру вывода для решения проблем, которые настолько сложны, что требуют привлечения эксперта.

С точки зрения функционального назначения понятия СОЗ, ИС и ЭС можно рассматривать как синонимы. Однако в определении СОЗ явно прослеживается базовый принцип организации системы *декларативного* (не предписывающего) типа. Именно этот принцип, предполагающий четкое отделение друг от друга базы знаний и механизма вывода, максимально обеспечивает модульный принцип построения, открытость системы, возможность создания оболочек, настраиваемых через формализм базы знаний на различные предметные области. Во всем остальном СОЗ присущи все особенности, характерные для ИС (ЭС):

- ограниченность определенной областью экспертизы;
- качественный характер выходных результатов;
- способность рассуждать при сомнительных, неполных данных;

— способность объяснить ход своих рассуждений понятным пользователю способом;

— способность обучаться и адаптироваться к конкретным условиям применения и многое другое.

Таким образом, инструментальные средства интеллектуальной поддержки процесса проектирования в САПР предпочтительно организовывать в виде оболочки СОЗ, реализующей определенные формы представления знаний о процессе проектирования и механизмы их интерпретации с использованием процедурального анализа и метапроцедур, лежащих в основе интеллектуальной деятельности человека: *дедукции, индукции и абдукции* [2, 3]. Последние можно рассматривать как три, взаимно дополняющие друг друга, формы *рассуждения* (формы логического вывода), т.е. построения последовательности аргументов, приводящих к некоторому утверждению – цели рассуждения.

Указанные механизмы призваны обеспечить аналитический (дедуктивный) логический вывод, направленный на решение задач, и синтетический (абдуктивный и индуктивный) вывод, поддерживающий развитие базы знаний и расширение возможностей дедуктивного метода за счет отказа от четко фиксированного множества аргументов в цепочках рассуждений, использования стратегий и правил правдоподобного вывода, применения металогических средств управления выводом.

В составе СОЗ будем выделять пять основных компонентов: база знаний, механизм вывода (интерпретации знаний), подсистема объяснения, подсистема приобретения знаний и интеллектуальный интерфейс.

База знаний обычно включает две составляющие. Одна из них объединяет в себе *долговременные знания* о предметной области, которые могут быть представлены в виде набора *продукционных правил*, иерархических структур *фреймов*, *семантических сетей* или других информационных структур, комбинирующих упомянутые и, возможно, иные формы представления знаний. Другая составляющая базы знаний представляет ее динамическую часть, в которой хранятся факты (оперативные данные), описывающие текущую ситуацию (например, состояние процесса проектирования). В системах продукционного типа эту составляющую называют *рабочей памятью*, а долговременные знания — *базой правил*.

Механизм интерпретации знаний в общем случае объединяет в себе *концептуальный анализатор* и *интерпретатор рабочего сценария*. Концептуальный анализатор по оперативным данным прогнозирует действия, востребованные текущей ситуацией, планируя шаг за шагом рабочий сценарий проектирования. Интерпретатор реализует выполнение действий и внесение, в зависимости от их результатов, изменений в информационные структуры, характеризующие состояние процесса проектирования.

Подсистема объяснения призвана показать, в случае необходимости, в понятной для пользователя форме ход «рассуждений» механизма вывода для обоснования принятого им решения.

Подсистема приобретения знаний предназначена для выявления долговременных знаний из возможных источников (у эксперта, из накапливаемого опыта решения конкретных задач, фоновых рассуждений системы на уровне знаний общего плана и т.п.) и приведения их к формату, воспринимаемому механизмом вывода. Одно из основных требований, предъявляемых к этой подсистеме, состоит в обеспечении открытости базы знаний и максимальной комфортности в плане возможности ее модификации (замены, удаления или добавления новых фрагментов знаний) в оперативном режиме без глобальных преобразований ее структуры.

Интеллектуальный интерфейс объединяет в себе все лингвистические, информационные и программные средства взаимодействия пользователя, инженера по знаниям и эксперта с соответствующими компонентами инструментария. Они должны быть ориентированы на неподготовленного пользователя, обладать способностью настраиваться на его терминологию и создавать, по возможности, комфортные условия для работы в системе.

Анализ действий экспертов, связанных с диагностикой состояний сложных объектов и систем, показывает, что профессионал проводит экспертизу вполне целенаправленно, придерживаясь определенной стратегии. При этом он руководствуется множеством правил (эвристик), которые могут быть представлены в форме

ЕСЛИ <посылка> ТО <заключение> ,
называемой *продукционным правилом*.

Первая часть правила (<посылка>) называется *антецедентом*, вторая (<заключение>) — *консеквентом*. Антецедент состоит из элементарных предложений (высказываний), соединенных логическими связками И и выражающих условия срабатывания правила. Консеквент включает одно или несколько предложений, описывающих выдаваемое правилом решение или ссылку на некоторое действие.

Правило может быть задано с *коэффициентом уверенности*, определяющим положительным значением меньше единицы степень адекватности (достоверности) вывода (консеквента) правила условиям его срабатывания (антецеденту). Другими словами, коэффициент уверенности правила определяет степень близости его к точной логической конструкции, для которой его значение

— модульность;
— единообразие структуры СОЗ (возможность построения и использования оболочек);
— естественность (имитация рассуждений эксперта);
— гибкость иерархии понятий с точки зрения внесения изменений.

Отмеченные преимущества продукционных правил неоспоримы, хотя создавать и настраивать на конкретные предметные области можно и оболочки СОЗ, использующие фреймовые структуры [6, 7] или семантические сети. Но это оказывается сложнее с точки зрения программной реализации, а главное, затрудняет процесс формализации конкретных знаний на инфологическом уровне. В продукционной системе для этого удобно используется дерево решений [1], которое, к

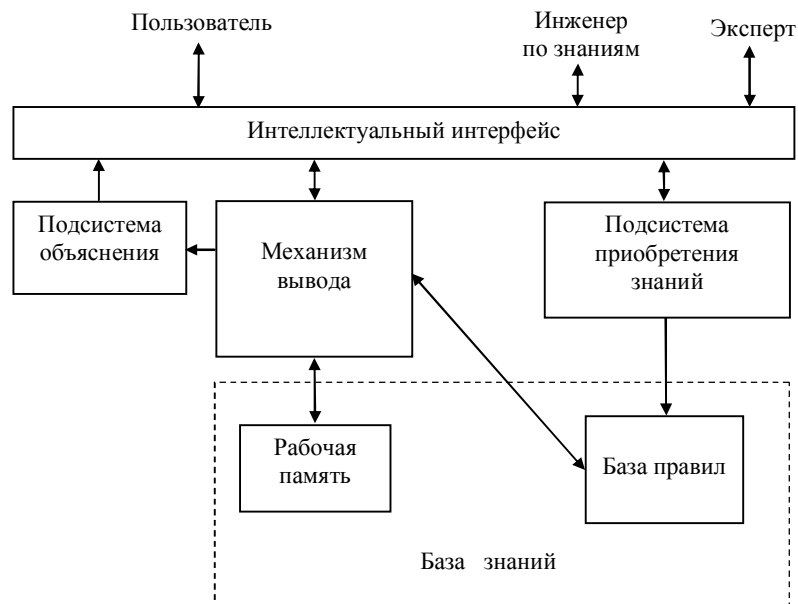


Рис. 1. Структура экспертной системы продукционного типа

принимается равным единице.

С коэффициентами уверенности могут задаваться конкретные факты со стороны пользователя при описании текущей ситуации, в достоверности которых существует определенная доля сомнения [4].

При организации базы знаний антецеденты и консеквенты продукционных правил могут представляться совокупностью пар <атрибут, значение> или троек <атрибут, объект, значение> [5]. Это приводит к экономии числа задействованных переменных.

Представление знаний продукционными правилами обладает следующими преимуществами:

тому же, существенно компенсирует недостаток продукционных правил, связанный с отсутствием наглядности представления иерархии понятий.

В системе интеллектуальной поддержки продукционного типа, предпочтение которой отдано в данной разработке, процесс поиска решений реализуется как логический вывод, основанный на сопоставлении по образцу. При этом состояние процесса вывода (процесса проектирования) определяется содержимым рабочей памяти базы знаний, а роль операторов, переводящих систему из одного состояния в другое, выполняют продукционные правила.

Структура экспертной системы продукционного типа представлена на рис. 1.

Рабочая память хранит множество фактов (атрибутов и их значений), описывающих текущую ситуацию. До начала процесса вывода она содержит только исходные факты для решения задачи. Затем, по мере срабатывания правил, в нее добавляются новые факты — результаты промежуточных выводов. Объем рабочей памяти не обязательно монотонно растет. Он может и уменьшаться, если действие очередного правила состоит в удалении каких-либо фактов. В системах с *монотонным выводом* факты, хранимые в рабочей памяти, не изменяются в процессе решения задачи. Системы с *немонотонным выводом* допускают изменение или удаление фактов из рабочей памяти. Это должно сопровождаться пересмотром решений, полученных на основе подвергшихся изменению фактов.

Механизм вывода осуществляет:

- просмотр и сопоставление фактов из рабочей памяти и правил базы знаний;
- срабатывание правила;
- добавление в рабочую память новых получаемых фактов;
- определение порядка просмотра и применения правил;
- разрешение конфликта в случае применимости нескольких правил;
- запрос у пользователя дополнительной информации, необходимой для срабатывания очередного правила;
- обращение к процедуральным действиям, связанным с заключением правила.

Таким образом, в механизме вывода можно выделить две составляющие:

- *компонент вывода*, реализующий собственно вывод;
- *компонент управления выводом*, определяющий порядок применения правил и регламентирующий действия, связанные со срабатыванием правил.

Подсистема приобретения знаний выполняет функции формирования базы правил на начальном этапе настройки оболочки экспертной системы на конкретную предметную область, а также пополнения базы правил новыми правилами или модификации уже имеющихся правил в ходе эксплуатации системы. При этом новые правила должны проверяться на непротиворечивость уже имеющимися с помощью предусмотренных для этого специальных программных средств.

Подсистема объяснения предназначена для формирования в наглядном для пользователя виде и выдачи по его требованию информации, поясняющей логику «рассуждений» механизма вывода при получении того или иного заключения или обращении к тому или иному действию.

Интеллектуальный интерфейс объединяет в себе лингвистические, информационные и программные средства, обеспечивающие доступ пользователя, инженера по знаниям и эксперта к соответствующим компонентам инструментария: пользователя — к механизму вывода и подсистеме объяснения в процессе проектирования, инженера по знаниям и эксперта — к подсистеме приобретения знаний при формировании и модификации базы правил.

Более подробно о механизме вывода, представляющем собой ядро оболочки экспертной системы. Это «универсальный решатель», от организации которого, стратегий и алгоритмов, заложенных в нем, существенно зависит эффективность и гибкость использования инструментария в целом.

В зависимости от преследуемых целей может применяться *прямой* или *обратный* вывод.

В случае *прямого вывода* по известным фактам отыскивается заключение, следующее из этих фактов. Найденное заключение заносится в рабочую память, и если оно представляет собой некоторый промежуточный (не окончательный) вывод, то процесс продолжается. Такой вывод называют *управляемым данными (управляемым antecedentesми)*.

При *обратном выводе* выдвигается некоторая гипотеза, и среди фактов ищутся те, которые ее подтверждают. Если гипотеза правильная, то может быть выдвинута следующая гипотеза, детализирующая первую, и т.д. Такой вывод называется *управляемым целями (управляемым consequentsми)*. Он применяется, когда цели известны и их немного.

Как при прямом, так и при обратном выводе возможны две стратегии поиска решений:

- стратегия *поиска в ширину*;
- стратегия *поиска в глубину*.

При *поиске в ширину* сначала просматриваются все узлы очередного уровня (уровня отстояния от исходных узлов) пространства состояний, и только затем осуществляется переход к узлам следующего

уровня. Таким образом, отслеживаются все возможные заключения, которые могут быть получены в условиях возникшей ситуации.

Стратегия *поиска в глубину* при выборе очередного узла в пространстве состояний ориентируется на узел, соответствующий следующему уровню описания задачи. Этот узел определяется конкретным сработавшим правилом, выбранным в соответствии с заданным критерием из конфликтного множества правил, условия активации для которых выполнены в текущей ситуации.

Не акцентируя внимания на той или иной стратегии поиска, цикл функционирования механизма вывода можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 2.

Важно обратить внимание на то, что действие, вызванное срабатыванием правила, может быть связано не только с переходом процесса проектирования в следующее состояние (обращением к процедуральным проектным действиям), фиксируемое содержимым рабочей памяти. Оно может состоять в модификации (изменении, удалении или добавлении новых правил) базы знаний или замене критерия выбора активизируемого правила при разрешении конфликтных ситуаций.

Рассматривая продукционное правило как конструкцию, выражающую через antecedent условия активации определенного проектного действия, указанного в консеквенте, прямую

Сопоставляя antecedents продукционных правил с содержимым рабочей памяти и идентифицируя правила, претендующие на срабатывание, механизм вывода шаг за шагом не только планирует рабочий сценарий проектирования, но и активизирует процедуры его реализации. При этом консеквенты правил связывают логику проектирования с процедуральными проектными действиями и фиксируют переход процесса проектирования в следующее состояние путем изменения, удаления или добавления новых фактов в рабочую память.

Прямой вывод, использующий стратегию поиска в ширину, реализует фундаментальный подход к проблеме, предполагающий анализ на каждом шаге всех возможных альтернатив развития процесса проектирования, предусмотренных базой знаний. Это обеспечивает максимальную свободу поиска и возможность получения оптимальных в определенном смысле проектных решений.

Прямой вывод в глубину порождает один из жестких (типовых) сценариев, требующих малых затрат на проектирование, но не гарантирующих получение приемлемого проектного решения. Однако такой вывод можно повторять, меняя исходные факты, критерии разрешения конфликтных ситуаций и режимы использования процедуральных средств.

Если прямой вывод порождает шаг за шагом

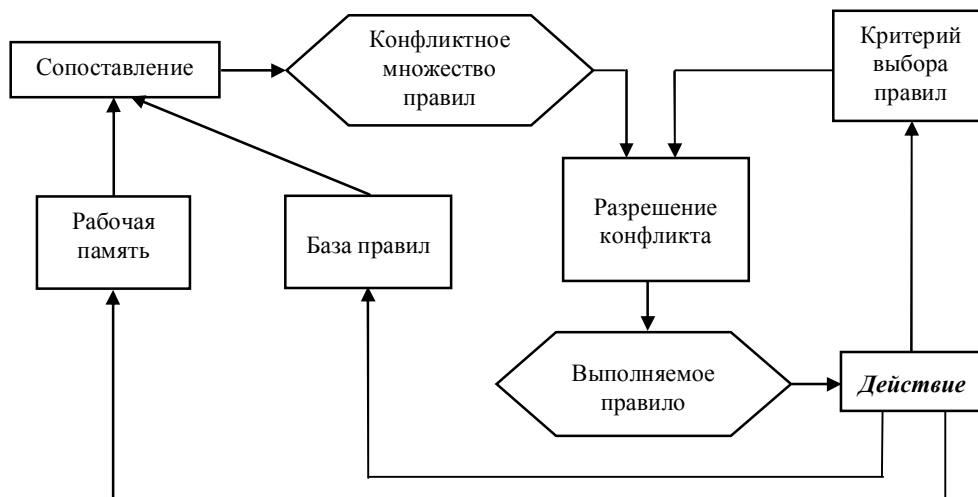


Рис. 2. Цикл работы механизма вывода

цепочку рассуждений можно интерпретировать как сценарий проектирования, отражающий последовательность выполнения проектных операций в реальных условиях (рабочий сценарий проектирования).

рабочий сценарий проектирования, то обратный вывод (от гипотез к фактам, подтверждающим или опровергающим их) позволяет проектировщику (пользователю) проверить свое видение состояния процесса проектирования и возможность предполагаемого направления его

развития. При этом в качестве исходных для вывода выступают переменные, отмечающие в рабочей памяти исполнение тех или иных этапов (шагов) проектирования. Вывод управляется консеквентами, из содержимого которых во внимание принимаются только переменные, характеризующие состояние процесса проектирования, с их значениями. Обращения к проектным процедурам игнорируются.

Таким образом, в архитектуре инструментальных средств интеллектуальной поддержки процесса проектирования задействованы следующие составляющие:

- скелетная форма базы правил, конкретное заполнение которой настраивает инструментарий на тот или иной этап проектирования (размещение программно-технических средств, проектирование монтажной схемы соединений, функционально-логическое проектирование цифровых устройств и т.д.);

- рабочая память как информационная структура, отслеживающая состояние процесса проектирования;

- механизм логического вывода, позволяющий строить прямую и обратную цепочки рассуждений с использованием стратегий поиска в ширину и в глубину;

- подсистема объяснения, представляющая по требованию пользователя в понятном для него виде цепочку рассуждений, приведшую к тому или иному результату;

- подсистема приобретения знаний, поддерживающая два способа формирования базы правил: на основе символьного описания предметной области в виде дерева решений и задание правил в явном виде с использованием оконного интерфейса.

На основе описанной архитектуры разработаны инструментальные средства экспертной системы, основанной на знаниях продукционного типа, для поддержки процесса размещения программно-технических средств автоматизированных систем управления технологическими процессами в пунктах управления атомных электростанций.

Список литературы

1. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. / Предисл. Г.С. Осипова. М.: Финансы и статистика, 1990. 320 с.

2. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах: Том А. Фундаментальные исследования в области

представления знаний. М.: ВЦ АН СССР, ВИНТИ, 1984. 261 с.

3. Вагин В.Н., Головина Е.Ю. Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. М.: Физматлит, 2004. 704 с.

4. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991. 136 с.

5. Леви Р., Дранг Д., Эдельсон Б. Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике. М.: Финансы и статистика, 1990. 239 с.

6. Басалин П.Д. Модель представления знаний интеллектуальной САПР цифровой аппаратуры // Труды Всероссийской конференции «Интеллектуальные информационные системы». Ч. 1. Воронеж, 2001. С. 121–122.

We propose an intellectual support tool for designing complex objects, which is organized as an empty rule-based system. The rule is considered as a form expressing, by virtue of the antecedent, conditions for activation of certain design action, specified by the rule consequent. Thus the direct reasoning chain is interpreted as the working designing script reflecting the sequence of design operations in real conditions. The tool was successfully used as an expert system for supporting the accommodation of software and hardware tools for automated process-control systems in control centers of nuclear power stations.

7. Басалин П.Д., Мисевич П.В., Макаров В.Г. Скриптовая модель знаний концептуального анализатора сценариев функционирования автоматизированной системы // Системы обработки информации и управления: Юбилейный межвузовский сборник научных трудов — 80 лет НГТУ. Н. Новгород, 1997. С. 88–92.