

УДК 004.896

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, А.В. ПРОХОРОВ, К.В. ГОЛОВАНЬ, А.Р. ЕМАД

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

СИНТЕЗ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ БАЗЕ

Рассматриваются вопросы создания системы автоматизированного синтеза интегрированных экспертных систем, показаны перспективы использования гибридных моделей представления знаний. На основании структурной и функциональной моделей предметной области показана целесообразность применения продукционно-фреймовой модели в системе автоматизированного синтеза экспертных систем принятия решений.

интегрированные экспертные системы принятия решений, модели представления знаний, гибридные модели, продукционно-фреймовая модель, механизмы логического вывода

Введение

Развитие и широкое распространение интеллектуальных систем, в том числе интегрированных экспертных систем (ИЭС), обусловило потребность в совершенствовании методологии их создания и разработки инструментальных средств автоматизированного проектирования.

Основными проблемами современных технологий разработки интеллектуальных систем являются: отсутствие концептуальной целостности и согласованности между отдельными приемами и методами инженерии знаний; эмпиричность процедуры выбора программного инструментария и процесса тестирования (отсутствие критериев, разрозненные классификации); явная неполнота и недостаточность имеющихся методов структурирования знаний, отсутствие классификаций и рекомендаций по выбору подходящего метода; жесткость программных средств, их низкая адаптивность, отсутствие индивидуальной настройки на пользователя и предметную область. Несмотря на обилие программных средств из-за недостатка систем поддержки разработки интеллектуальных систем (зависимость от платформы, языка реализации, ограничений предметной области) и разрыва между языками представления знаний и языками, встроенными в обо-

лочки экспертных систем; пользователи вынуждены интерпретировать предметные знания сразу в терминах формализма представления.

В настоящее время в области инженерии знаний, целью которой является исследование и разработка прикладных программных систем, основанных на знаниях и моделирующих работу экспертов в трудно формализуемых предметных областях, существует множество методологий и инструментальных средств, ориентированных, в первую очередь, на повторное использование методов решения задач, где под повторным использованием методов понимается использование ранее разработанных методов при создании новых систем, основанных на знаниях.

Известными примерами таких методологий являются Task Structures, Role-Limiting Methods, Method-to-Task, Components of Expertise, KADS (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) [1]. На основе этих методологий разработаны такие инструментальные средства, как G2, CommonKADS, PROTEGE-II, Spark/Burn/Firefighter, MIKE, ART, KEE, Knowledge Craft и другие.

Характерной особенностью этих инструментальных средств, в отличие от универсальных средств разработки является наличие библиотеки различных методов решения задач. Практика разработки таких

библиотек основана на объектно-ориентированной технологии и повторном использовании так называемых "парадигм" решения задач [2], шаблонов проектирования, сформированных в результате анализа повторяющихся действий специалистов. Эти методы представляют собой описание общей схемы решения задачи на некотором неформальном языке с использованием предметно независимой терминологии. В процессе разработки системы, основанной на знаниях, экспертизу предметной области на основе общей методологии предстоит определить соответствие между терминами, в которых описан метод, и терминами предметной области, для которой создается экспертная система.

1. Концепция автоматизированного синтеза интегрированных экспертных систем

Основная причина актуальности проблемы создания инструментария автоматизированного синтеза экспертных систем заключена в трудности формального описания задач, решаемых в инженерии знаний, что, несомненно, является следствием сложности рассматриваемых предметных областей. Поскольку разрабатываемая экспертная система будет интегрирована в некоторый процесс человеко-машинной деятельности, то одним из результатов этого анализа является определение того, какую часть этого процесса, называемую задачей, будет выполнять система в анализируемой предметной области. Например, задачи диагностики, планирования, мониторинга, прогнозирования и управления в самых разных предметных областях. Ключевым понятием при этом является понятие метода решения задачи (описание стратегии ее решения на уровне знаний, абстрагированное от деталей, относящихся к реализации), которое присутствует во всех современных методологиях и инструментальных средствах. Хотя все они разрабатываются при помощи различных формализмов представления знаний

(продукционных правил, фреймов, логических моделей и др.) они обладают общим поведением в процессе решения задачи.

Авторами предлагается система автоматизированного синтеза (САС) ИЭС для решения определенного множества прикладных задач из некоторой предметной области, в которой выделяется ядро, решатель задач, реализующий механизм вывода, репозиторий (информационная база проекта по созданию ИЭС и библиотека методов решения задач), архив проектов, программные модули поддержки процесса разработки, отвечающие за организацию удобного интерфейса ядра и пользователя системы (рис. 1).

Одним из центральных звеньев САС ИЭС является интеллектуальный репозиторий, который предназначен для хранения моделей предметных областей, постановок задач и методов их решения, что дает возможность представления знаний, являющихся обобщением накопленного опыта о процессе проектирования ИЭС и предоставления доступа к этим знаниям при разработке ИЭС. Использование шаблонов проектирования в репозитории САС ИЭС способствует более быстрому и эффективному конструированию моделей знаний заданной предметной области, облегчает сопровождение и, как следствие, уменьшает стоимость разработки программного продукта оболочки ИЭС. Шаблоны указывают на наиболее существенные объекты, выделяют наиболее важные функции создаваемой системы. Шаблоны помогают конечным пользователям понять особенности системы, поскольку они образуют основной контекст системы. Компонентами интеллектуального репозитория являются база данных и знаний, интеллектуальная информационно-поисковая система при проектировании ИЭС и др. Предметная область, которая для рассматриваемого класса систем является сложноструктурированной и динамической, в процессе синтеза ИЭС представляется в базе знаний репозитория.

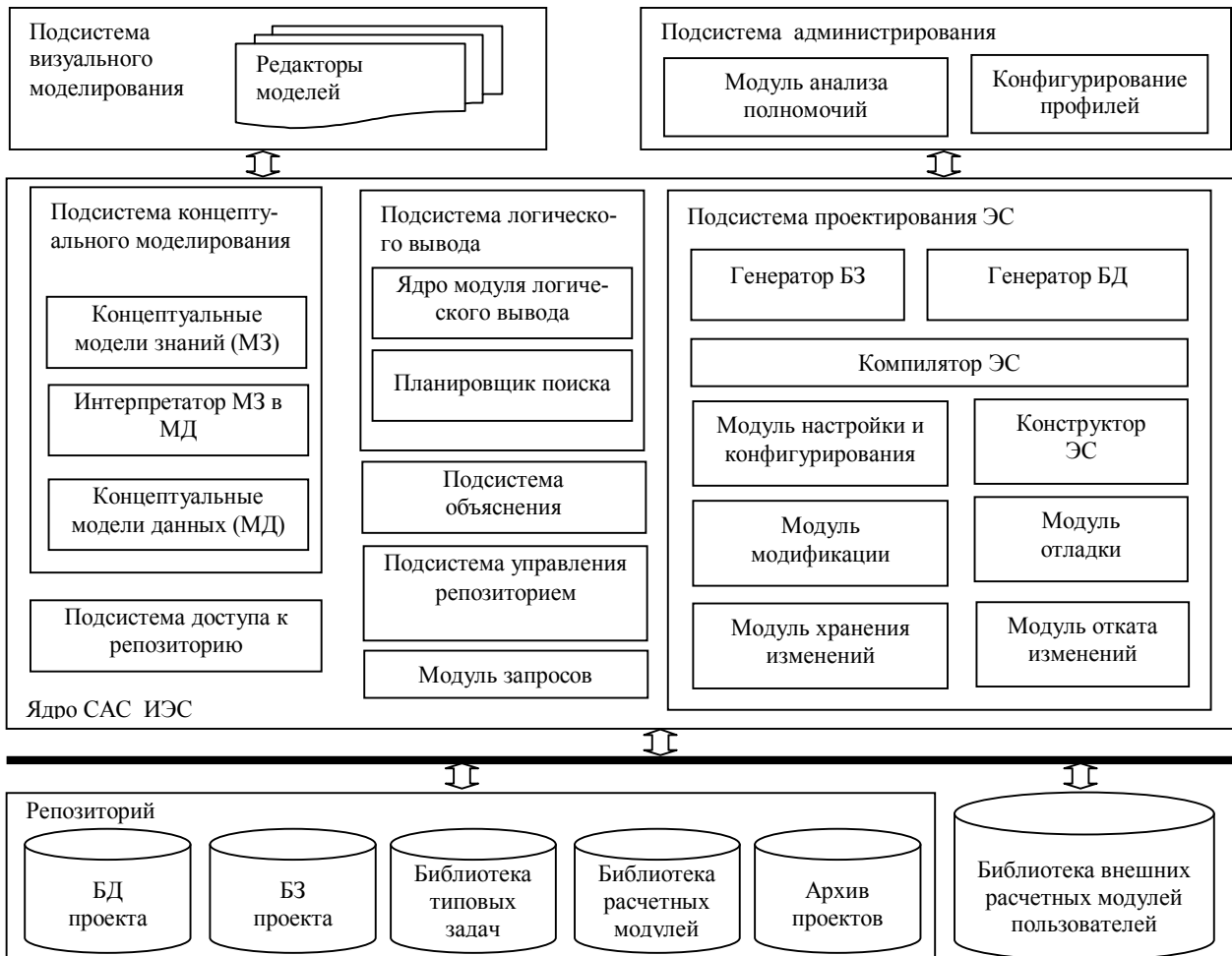


Рис. 1. Структурная схема САС ІЭС

Процесс разработки интегрированной экспертной системы является циклическим процессом. Это означает, что на некотором этапе процесса разработки может возникнуть необходимость в пересмотре результатов предыдущих этапов. Поэтому репозиторий вместе с архивом проектов являются средствами документирования и систематизации результатов выполнения этих этапов.

Набор программ поддержки процесса разработки предназначен для заполнения, редактирования и использования репозитория и архива проектов.

Ядро САС ІЭС обеспечивает настройку и компиляцию описания проекта в оболочку интегрированной экспертной системы, с включением в нее решателя задач, а также связывание ее с программным окружением, отвечающим за ввод исходных данных и объяснение результатов.

2. Представление знаний в САС ІЭС

В процессе проектирования ІЭС одними из наиболее важных вопросов, решаемых на этапе формализации, являются вопросы определения состава знаний, т.е. определение того, «что представлять» в экспертной системе и вопросы, связанные с тем, «как представлять» знания. Необходимо отметить, что эти две проблемы не являются независимыми и выбранный способ представления может оказаться непригодным в принципе либо неэффективным для выражения некоторых знаний [3].

При этом вопрос «как представлять» знания может быть разделен на две относительно независимых задачи: как организовать (структурировать) знания и как представить знания в выбранном формализме. Выделение организации знаний в само-

стоятельную задачу вызвано, в частности, тем, что такая задача возникает для любого языка представления, и при этом способы решения данной задачи являются практически одинаковыми вне зависимости от используемого формализма [3].

Таким образом, в круг вопросов, решаемых при представлении знаний, могут быть включены следующие: определение состава представляемых знаний; организация знаний; представление знаний, т.е. определение модели представления знаний [3].

Состав знаний ИЭС определяется следующими факторами: проблемной средой; архитектурой ИЭС; потребностями и целями пользователей; языком общения. Выбор рациональной модели представления знаний (МПЗ) во многом зависит от характера задач, подлежащих решению, ограничений, накладываемых на качество и количество результатов и на способы их получения, целей пользователя, а также от целого ряда других факторов.

В связи с этим, перспективным направлением при выборе рациональной МПЗ является использование так называемых гибридных моделей, сочетающих в себе достоинства основных МПЗ, в частности фреймовых и продукционных. Таким образом, во-первых, появляется возможность использования в интеллектуальной системе максимально широкого спектра экспертных знаний о предметной области [4], а, во-вторых, возможно организовать взаимодействие знаниями между различными модулями интеллектуальной системы, использующим различные парадигмы представления и получения экспертных знаний. Иерархическую фреймовую структуру удобно использовать при описании предметной области продукционной моделью представления знаний, которая применяется для отражения динамики изменения предметной области, когда для ее задания требуется большое количество (1 – 10 тыс.) продукционных правил.

Основным элементом знаний в продукционно-фреймовой МПЗ, используемой в САС ИЭС принятия решений, являются правила-продукции, которые

записываются в обобщенном виде как

$$Rnj : (P, Bc, A \Rightarrow B, Ac), \quad (1)$$

где Rnj – идентификатор j -продукции в n -наборе продукций; P – приоритет правила продукции; Bc – предусловие применимости ядра продукции, представляющее предикат, при выполнении которого активизируется ядро продукции; Ac – постусловия продукции, определяющие действия и процедуры, которые необходимо выполнить после выполнения ядра продукции. Использование правил-продукций в качестве основной структурной единицы знаний определяется следующими основными достоинствами: универсальностью, практически любая область знаний может быть представлена в продукционной форме; модульностью, каждая продукция представляет собой элемент знаний о предметной области, удаление одних и добавление других продукций выполняется независимо; декларативностью, продукции определяют ситуации предметной области, а не механизм управления; естественностью процесса вывода заключений, который во многом аналогичен процессу рассуждений эксперта.

Использование фреймовых структур в САС обуславливается: естественностью иерархического представления знаний; экономным размещением базы знаний в памяти; легкостью расширения и модификации знаний; возможностью преобразования знаний на естественный язык.

В процессе проектирования экспертной системы в САС на этапе концептуализации используется структурный подход к построению модели предметной области [5]. Основным конструктивным элементом является *концепт*, используемый для описания физических и информационных объектов рассматриваемой предметной области. При этом описываются объекты понятия, объекты процессы и действия, объекты цели и задачи. Различают объекты, в которых сбор первичных данных осуществляется ручным вводом (предусмотрены средства автоматической записи информации в базу данных) и объекты, имеющие собственные хранилища данных

(БД локальных информационных систем или датчиковых систем, файловая система и др.).

Все объекты в реальном мире имеют характеристики. Каждая отдельная характеристика, которая является общей для всех возможных экземпляров объекта, абстрагируется в отдельный атрибут.

Атрибут – это абстракция одной характеристики, которой обладают все абстрагированные как объект сущности. Каждый атрибут обеспечивается именем, уникальным в пределах объекта. Множество атрибутов может объединяться в группу атрибутов и иметь идентификатор группы атрибутов. Множество идентификаторов групп могут быть объединены в класс и иметь идентификатор. *Связь* – это абстракция набора отношений, которые систематически возникают между различными видами объектов в реальном мире. Для формализации связи к объекту добавляются вспомогательные атрибуты, имеющие ссылки на идентификаторы связей.

На любом этапе разработки ИЭС в системе имеется возможность добавления новых концептов, а также удаления и редактирования существующих. Кроме того концепты в системе принадлежат к одному из трех типов: первичные или базовые концепты (могут определять только начальные факты при выводе); концепты промежуточного уровня (являются результатом промежуточного вывода, которые могут служить как условием, так и заключением при осуществлении вывода); концепты результата (являются результатом работы вывода).

При описании знаний в САС ИЭС выделяются уровни: стратегий; структуры задачи; методов решения задач (уровень выводов) и уровень предметной области. Уровень предметной области содержит предметные семантические и частично прагматические знания: концепты или понятия предметной области, отношения между понятиями и сложные структуры знаний, такие, как модели процессов или устройств. На уровне выводов описывается, как использовать знания для решения задач. На этом уровне специфицируются методы решения задач

путем указания того, какие выводы могут быть сделаны. При этом не детализируется, когда и как именно они делаются – это зависит от структур предметных знаний.

На уровне выводов используются два понятия: источники знаний и метаклассы. Под источником знаний здесь понимается функция, осуществляющая отображение входных параметров в выходные. Какое именно отображение осуществляется – это зависит от типа вывода и выражается видом действия, например, "собирать", "сопоставлять", "классифицировать", "сортировать", "вычислять значение", "обобщать", "декомпозировать" и др. Охарактеризуем некоторые из базовых источников знаний.

Классифицировать (идентифицировать). Этот источник знаний на основании конкретных значений атрибутов и, возможно, с учетом ограничений на связи между атрибутами, определяет, к какому понятию относится данный пример.

Сравнить. Этот источник знаний имеет на входе два понятия и сравнивает их между собой по атрибутам или по значениям атрибутов.

Собрать. Этот источник знаний, имея на входе множество элементов, устанавливает отношения "часть - целое" между отдельными элементами.

Декомпозировать. Этот источник знаний, имея на входе некоторую сложную структуру, образованную отношением "часть – целое", порождает множество исходных элементов.

Подключение внешних источников знаний и фактов (данных) (базы данных различных информационных систем, информация из сети Интернет) осуществляется через специальные механизмы интеграции и взаимодействия между приложениями, например, ODBC, DDE, ActiveX. Входными и выходными параметрами источников знаний являются метаклассы или роли знаний об объектах предметной области в процессе решения задач. Хорошо известны такие примеры ролей: гипотезы, наблюдения, диагнозы, планы, ограничения, подтверждения и т.п. Различать роль понятия в некотором процессе

рассуждения и то, что это понятие означает (семантическое содержание понятия) очень важно, т.к. только таким образом использование знаний при решении задач может быть описано на необходимом уровне абстракции. Одно и то же понятие может играть разные роли в одном и том же процессе решения задачи. Например, понятие, играющее роль гипотезы, в определенный момент может начать играть роль диагноза.

Следующий уровень – это уровень структуры задачи. Под структурой задачи понимается фиксированная стратегия, которая управляет использованием источников знаний и взаимодействием со средой и пользователем. Описание такой стратегии осуществляется в терминах целевых утверждений и управляющих утверждений. Под целевыми утверждениями понимаются выражения вида (<действие> {<объект>}), например, "получить (данные)". Управляющие утверждения определяют последовательность обработки целевых утверждений. Управляющие утверждения бывают двух типов:

ЕСЛИ <состояние> ТО <целевое утверждение>;
ПОКА <состояние>
ВЫПОЛНЯТЬ <целевое утверждение>.

Последний уровень описания – уровень стратегий. На этом уровне описывается способность экспертов распознавать классы задач и выбирать или модифицировать соответствующую стратегию. Уровень стратегий специфицируется посредством правил, подобных, например, следующему: "если имеются задачи типа X и типа Y, то скомбинировать стратегии A и B". Фреймовая структура позволяет разбить продукционные правила на блоки в соответствии с принадлежностью к элементам структуры и использовать механизм их наследования, который позволяет сделать базу знаний более компактной.

В настоящее время данный подход составляет основную тенденцию в программировании вообще, поскольку он уменьшает избыточность и упрощает определение классов (определяется не весь класс, а только его отличия от суперкласса), позволяет ис-

пользовать общие правила, процедуры, формулы, уменьшает их число, да и является естественным для человека способом описания сущностей. При таком подходе структуры данных представляются в виде классов объектов (или определений объектов), имеющих определенные атрибуты. Классы наследуют атрибуты от суперклассов и передают свои атрибуты подклассам. Каждый класс, исключая корневой, может иметь конкретные экземпляры класса. Данный подход используется в наиболее мощной системе проектирования ИЭС реального времени – G2 (Gensym, США) [4].

Такое иерархическое представление объектов-понятий удобно описать при помощи фреймовой МПЗ. Таким образом, обобщенные элементы дерева объектов-понятий (классы и подклассы) представляются в виде фреймов-прототипов. Индивидуальные объекты предметной области (конкретные экземпляры класса) предлагается представлять в виде экземпляров фреймов или фреймов-примеров. Фрейм-прототип соответствует интенциональному описанию множества фреймов-примеров. При таком способе представления объектов понятий их свойства являются слотами соответствующего фрейма. При этом значение слота может быть определено посредством вызова некоторой процедуры (так называемые процедуры-слуги). В САС ИЭС такие процедуры называются расчетными модулями. Такие расчетные модули могут быть включены в систему из библиотеки типовых расчетных модулей.

Рассмотрим механизм наследования продукционных правил на примере. Пусть задана фреймовая структура, которая описывает некоторую абстрактную предметную область «Технологический процесс». Иерархическая структура состоит из 3-х уровней детализации: суперкласс, классы объектов, представители классов (конкретные объекты).

Управление технологическим процессом задается множеством продукционных правил, которые разбиваются на блоки в соответствии с уровнями во фреймовой структуре следующим образом: в блок

1-го уровня входят производственные правила, которые описывают принципы управления технологическим процессом в целом; в блоки 2-го уровня входят производственные правила, которые описывают управление классами объектов (агрегатов, станков и др.); число блоков 3-го уровня определяется количеством представителей классов объектов.

В каждый блок 3-го уровня входят производственные правила, которые задают специфические законы управления конкретным объектом. А остальные производственные правила, которые задают общие законы управления классами объектов, могут быть получены благодаря механизму наследования.

Заключение

В работе показана возможность создания системы автоматизированного синтеза ИЭС с использованием репозитория методов решения задач и моделей знаний предметной области в сочетании с современными объектно-ориентированными технологиями и универсальными средствами разработки программ. При этом решаются некоторые из основных проблем существующих средств разработки ИЭС, что в конечном счете ускоряет и удешевляет процесс разработки, наполнения и сопровождения ИЭС. В данной работе проводится анализ этапа формализации при проектировании ИЭС принятия решений. При этом выделяются основные вопросы и проблемы, которые необходимо решить на данном этапе: определение состава знаний и выбор рациональной МПЗ. В статье рассматриваются вопросы представления знаний о сложных процессах и объектах в САС ИЭС принятия решений на основе производственно-фреймной МПЗ, перспективность использования которой обусловлена ее основными преимуществами: модульностью, универсальностью и естественностью представления иерархических знаний для человека. При этом рассмотрены основные преимущества использования объектно-ориентированной технологии в САС ИЭС принятия

решений. Существенными особенностями применения производственно-фреймной МПЗ в САС ИЭС принятия решений является организация базы знаний по модульному принципу, где каждый модуль базы знаний представляет собой определенную модель знаний для решения конкретной задачи. Это позволяет повысить эффективность процесса вывода для большого числа изделий.

При этом генерация новых знаний (производственных правил и информационных структур фреймов) в базе знаний происходит автоматически непосредственно на стадии проектирования ИЭС, что существенно снижает длительность этапа реализации при разработке ИЭС и снижает вероятность возникновения противоречивых правил.

Автоматическая генерация информационных структур фреймов осуществляется с использованием технологии XML, которая позволяет эффективно описывать знания, имеющие иерархическую структуру, а также создавать сложные распределенные интеллектуальные системы.

Литература

1. Wielinga B.J., Schreiber A.T., Breuker J.A. KADS: A modeling approach to knowledge engineering // Knowledge Acquisition. – 1992. – V. 4 (1). – P. 5 – 53.
2. Aben M. Formally specifying re-usable knowledge model components // Knowledge Acquisition. – 1993. – V. 5. – P. 119 – 141.
3. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект // Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.
4. Попов Э.В. Экспертные системы реального времени // Открытые системы. – 1995. – № 2.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – С.-Пб.: ПИТЕР, 2000. – 384 с.

Поступила в редакцию 20.10.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.