

1 ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

1.1 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Экспертной системой называется вычислительная система, использующая знания и процедуры, позволяющие объяснить, обосновать и осуществить выбор наилучшего варианта решения задачи. В настоящее время выделяется несколько систем функциональных классов экспертных систем. Наиболее часто при классификации пользуются следующими двумя системами.

В первой системе различаются 4 функциональных класса:

- 1) Классифицирующие системы.
- 2) Доопределяющие системы.
- 3) Трансформирующие системы.
- 4) Многоагентные системы.

В первой системе при выделении функциональных классов учитывается характер постановки решаемых задач.

Во второй системе рассматривается 8 функциональных классов:

- 1) Интерпретирующие системы.
- 2) Системы прогнозирования.
- 3) Диагностические системы.
- 4) Системы мониторинга.
- 5) Системы ремонта.
- 6) Системы интеллектуального обучения.
- 7) Системы поддержки и принятия решений.
- 8) Системы ситуационного управления.

Во второй системе при различении функциональных классов учитывается характер предметной области.

Каждой из приведённых систем пользуются в жизненном цикле информационных инфраструктур.

В каждом функциональном классе различаются разомкнутые и замкнутые системы, статические и динамические (экспертные системы реального времени).

Наряду с различением функциональных классов экспертных систем, существуют и другие классификации.

1) По способу формирования решения системы разделяют на два класса: аналитические и синтетические. Аналитические предполагают выбор решения из множества известных альтернатив. Синтетические предполагают генерацию решений (формирование объекта).

2) По способу учета временного признака: статические и динамические. Статические решают задачи при неизменяемых в процессе решения знаниях. Динамические допускают подобные изменения. Статические системы допускают монотонное решение задачи от ввода исходных данных до конечного результата. Динамические предусматривают возможность пересмотра в процессе решения полученных ранее результатов.

3) По видам используемых данных и знаний: системы с детерминированными (четко определенными) знаниями и неопределенными знаниями. Под неопределенностью знаний понимается их неполнота или отсутствие, двусмысленность, нечеткость.

4) По числу используемых источников знаний: с использованием одного источника и множества; альтернативные и дополняющие друг друга.

Возможные классификационные признаки представляются в табл. 1.1.1.

Таблица 1.1.1

Признаки классификации

	Анализ	Синтез	
Детерминированная	Классифицирующие	Трансформирующие	Один источник знаний
Неопределенность	Доопределяющие	Многоагентные	Множество источников знаний
	Статика	Динамика	

Современные экспертные системы, как правило, являются интегрированными. В подобных системах применяется комплекс формализаций для представления многообразия знаний.

Классифицирующие экспертные системы

К аналитическим задачам относятся задачи распознавания различных ситуаций, когда по набору заданных функций выявляется сущность некоторой ситуации, в зависимости от которой определяется последовательность действий в соответствии с исходными условиями. Среди альтернативных решений выбирается одно решение, которое наилучшим образом удовлетворяет поставленным целям и ограничениям. Системы, решающие задачи распознавания ситуаций, определяют принадлежность анализируемой ситуации некоторому классу. Для формирования решений, чаще всего, используется метод логического дедуктивного вывода от общего к частному, когда путем подстановки исходных данных в некоторую совокупность взаимосвязанных общих утверждений получается частное заключение.

Доопределяющие экспертные системы

Более сложный тип аналитических задач представляют задачи, которые решаются на основе неопределенных исходных данных и знаний. В этом случае экспертная система должна доопределять недостающие знания, а в

пространстве решений может получаться несколько возможных решений с различной вероятностью или уверенностью в необходимости их выполнения. В качестве метода работы с неопределенностью могут использоваться вероятностный подход и нечеткая логика. Они могут использоваться для формирования нескольких источников знаний. В этом случае могут использоваться различные эвристические приемы выбора единицы знаний и их набора, например, на основе использования приоритетов. Для аналитических задач классифицирующего и доопределяющего типов характерны следующие проблемные области:

1) Интерпретация данных – выбор решения из фиксированного множества альтернатив на базе введенной информации о текущей ситуации. Основное назначение – определение сущности рассматриваемой ситуации, выбор гипотез исходя из фактов.

2) Диагностика – выявление причин, которые привели к возникновению ситуации. Требуется предварительная интерпретация ситуации с последующей проверкой дополнительных факторов. Например, выявление факторов снижения эффективности производства.

3) Коррекция – диагностика, дополненная возможностью оценки и реализации действий.

Трансформирующие экспертные системы

В отличие от аналитических, статических экспертных систем, синтезирующие динамические экспертные системы предполагают повторяющееся преобразование знаний в процессе решения задач, что связано с характеристикой результата, которую нельзя заранее предопределить, а также динамичностью самой проблемной области. В качестве методов решения задач трансформирующей системы используются системы гипотетического вывода:

1) генерация, тестирование, при которых из исходных данных осуществляется генерация гипотез, а затем проверка сформированных гипотез на подтверждение с использованием поступающих фактов;

2) предположение и умолчание, когда по исходным данным подбираются знания на аналогичных классах, которые в дальнейшем адаптируются к конкретной ситуации;

3) использование общих закономерностей в случае неизвестных ситуаций, которые позволяют генерировать недостающие знания.

Многоагентные системы

Для представленных динамических систем характерна интеграция в базе знаний нескольких разнородных источников знаний (ИЗ1, ИЗ2, ..., ИЗN), обменивающихся между собой полученными результатами на динамической основе. Например, через доску объявлений (рис. 1.1.1).

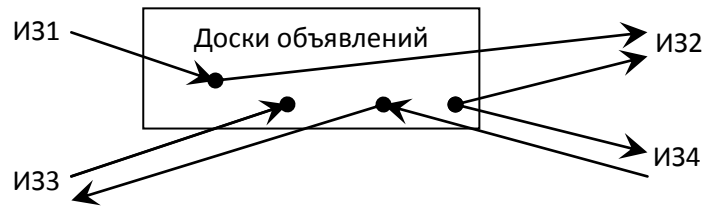


Рисунок 1.1.1 – Пример схемы многоагентной системы

Для многоагентных систем характерны следующие особенности:

- 1) проведение альтернативных рассуждений на основе использования различных источников знаний с механизмом устранения противоречий;
- 2) распределенное решение проблем, которые разбиваются на подпроблемы;
- 3) применение множества стратегий, работы механизма вывода заключений в зависимости от типа решаемой задачи;
- 4) обработка больших массивов данных, содержащихся в базе данных;
- 5) использование различных математических моделей и внешних процедур, хранимых в базе моделей, способность прерывания решений задач в связи с необходимостью получения дополнительных знаний и данных от пользователей модели параллельно решаемых подпроблем.

Для синтезирующих динамических систем наиболее применимы предметные области:

- 1) проектирование, определение конфигурации с точки зрения достижения заданных критериев эффективности и ограничений;
- 2) прогнозирование – предсказание последствий развития ситуации на основе моделирования;
- 3) диспетчирование – распределение работ во времени, составление расписаний, планирование;
- 4) планирование – выбор последовательности действий пользователя по достижению цели;
- 5) мониторинг – слежение за текущей ситуацией с возможной последующей коррекцией;
- 6) управление – мониторинг, дополненный реализацией действий в автоматической системе.

1.2 ИНТЕРПРЕТИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Рассматриваемые системы получили название от слова интерпретатор. Интерпретатор представляет собой программу или техническое средство выполняющее интерпретацию, вид транслятора, осуществляющего пооператорную (покомандную) обработку и выполнение исходной программы или запроса, в отличие от компилятора, транслирующего всю программу без её выполнения.

Различаются интерпретация от фактов и интерпретация от цели.

Интерпретация от фактов присуща логическому программированию и продукционным системам, когда выполняется процедурная интерпретация правила «если A то B », при которой добавление в базу знаний факта A вызывает добавление в неё факта B .

Интерпретация от цели характерна для логического программирования и продукционных систем, когда выполняется процедурная интерпретация правила «если A то B », при которой для достижения цели B делается попытка достичь цель A .

1.3 СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Системы прогнозирования предназначаются для предсказания будущего характера процессов на основе информации (знаний) об их протекании в прошлом и настоящем и последствий развития ситуации на основе моделирования.

Наиболее часто реализуются системы прогнозирования погоды и системы прогнозирования дефектов.

Прогнозирование выполняется на основе сбора и обработки статистической информации.

При создании систем прогнозирования используются формализации теории временных рядов, теории корреляционного анализа, теории регрессионного анализа, теории нейронных сетей, теории когнитивного анализа, теории экспертных оценок, теории имитационного моделирования.

При прогнозировании применяются методики формирования и анализа множества вариантов дерева целей (прогнозного графа).

1.4. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Диагностические системы предназначаются для контроля и прогнозирования состояния объектов. Цель работы диагностической системы заключается в обнаружении дефектов и выявлении элементов, ненормальное функционирование которых является причиной возникновения дефектов.

Создание диагностических систем базируется на применении методов диагностики, теории принятия решений, теории исследования операций, теории процессов, теории временных рядов, теории корреляционного анализа, теории регрессионного анализа, теории нейронных сетей, теории

когнитивного анализа, теории экспертных оценок, теории имитационного моделирования.

1.5 СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Системы мониторинга осуществляют непрерывное слежение за состоянием окружающей среды, управление им путем своевременного информирования о возможном наступлении неблагоприятных, критических или недопустимых ситуаций и оперативного реагирования посредством реализации мероприятий по их предотвращению и (или) нейтрализации.

В жизненном цикле систем мониторинга применяются формализации теории систем, теории исследования операций, теории вероятностей, теории графов, теории распределённых систем, теории игр, теории решений, теории информационной безопасности, теории нейронных сетей, теории нечётких множеств.

1.6 СИСТЕМЫ РЕМОНТА

Системы ремонта предназначаются для планирования и возможного проведения комплекса работ по восстановлению работоспособного состояния объектов. Работы проводятся на тех объектах, которые обладают ремонтпригодностью. Под ремонтпригодностью подразумевается степень приспособленности объекта к проведению технического обслуживания.

Системы ремонта создаются с применением формализаций теоретических основ диагностики, теории вероятностей, теории графов, теории решений.

1.7 СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

Системы интеллектуального обучения представляют собой интегрированный набор средств и мероприятий, предназначенных для реализации процесса овладения субъектами определёнными знаниями и навыками, необходимыми для приобретения профильных компетенций, посредством осуществления планируемых процедур выявления уровня подготовленности и индивидуальных особенностей личности обучающегося, получения информации от разных источников, выполнения и стороннего контроля разнообразной целевой деятельности.

Жизненный цикл систем интеллектуального обучения базируется на формализациях, развитых в философии, педагогике, психологии, медицине, и формализациях теории систем, теории вероятностей, теории исследования операций, теории решений, теории алгоритмов, теории планирования, теории распределённых систем, теории систем и сетей систем массового обслуживания, теории искусственного интеллекта, теории когнитивного анализа, теории нечётких множеств и теории нейронных сетей.

1.8 СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Система поддержки и принятия решений – это взаимосогласованная совокупность средств, включающая базу знаний с набором правил и механизмом вывода и обеспечивающая на основании правил и предоставляемых пользователем фактов распознавание ситуации, определение диагноза, формулировку решения или рекомендации для выбора воздействия из множества возможных при поставленной цели и заданных критериях.

При создании систем поддержки и принятия решений применяются формализации теории систем, теории вероятностей, теории исследования операций, теории решений, теории алгоритмов, теории планирования, теории распределённых систем, теории систем и сетей систем массового обслуживания, теории искусственного интеллекта, теории корреляционного анализа, теории регрессионного анализа, теории онтологий, теории когнитивного анализа, теории нечётких множеств и теории нейронных сетей.

1.9 СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы ситуационного (модельного) управления – это взаимосогласованная совокупность средств, образованная на основе идей теории искусственного интеллекта, предусматривающих представление знаний об объекте и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей и использование принципов обучения, обобщения и дедуктивных систем.

В указанную совокупность включаются средства описания, классификации, обучения и трансформации ситуаций в соответствии с принимаемыми решениями.

Представление знаний может осуществляться на основе продукционных моделей, моделей теорий логик, семантических моделей, фреймовых моделей, онтологических моделей, моделей нейронных сетей.

1.10 УНИФИЦИРОВАННЫЕ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Интеллектуальные экспертные системы основаны на знаниях. Назначение указанных систем сводится к решению достаточно трудных для экспертов задач на основе имеющихся баз знаний, отражающих опыт работы в данной области.

Достоинство данных систем заключается в возможности принятия решения в уникальных ситуациях, для которых алгоритм заранее известен и формируется по исходным данным в виде цепочки рассуждений (правил принятия решения) из базы знаний.

Решение задачи предполагает достижение цели в условиях неполноты, недостоверности, многозначности исходной информации и категорий оценок процессов.

Экспертная система является инструментом, которая усиливает интеллектуальные способности человека (эксперта) и может выполнять следующие роли:

1. Консультирование для неопытных пользователей.
2. Ассистент в связи с необходимостью анализа экспертом различных вариантов принятия решения.
3. Партнер эксперта по вопросам, относящимся к источнику знаний из сложной области деятельности.

Архитектура экспертных систем включает следующие компоненты – база знаний, программные инструменты и обработчики знаний, которые состоят из механизма вывода заключений, преобразования знаний, объяснения полученных результатов и интеллектуального интерфейса.

Основная ценность в базе знаний – совокупность единиц знаний, которые представляют собой формализованные представления, отражения объектов проблемной области и взаимодействий, действий над объектами и другие элементы. Пример структуры экспертной системы рассматривается на рис. 1.10.1.

На рис. 1.10.1 приняты следующие обозначения:

П – пользователь; Э – эксперт; ИИ – интеллектуальный интерфейс; МВ – машина вывода; МО – машина объяснения; БЗ – база знаний; МПЗ – механизм приобретения знаний; ИЗ – инженер знаний; ЭС – экспертная система.

Интеллектуальный интерфейс – программный интерфейс, который воспринимает сообщения пользователя и преобразует их в форму, которая может быть представлена в базе знаний и наоборот.

Машина вывода – программный инструмент, который получает от интеллектуального интерфейса запрос и реализует логический вывод (ответ на запрос).

Машина объяснения используется в процессе решения задачи для пояснения пользователю принятого решения (HOW? и WHY?).

База знаний отражает знания экспертов в проблемной области о действиях в различных ситуациях или процессах решения характерных задач. Выявлением этих знаний и последующим их представлением в базе знаний занимаются специалисты – инженеры знаний. В простейшем случае механизм приобретения знаний представляет собой интеллектуальный редактор, который позволяет вводить эти данные в базу и проводить их синтаксический и семантический контроль (например, на непротиворечивость).

1.11 ПРОЦЕДУРЫ ОБРАБОТКИ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Процедуры обработки ориентируются на манипулирование знаниями и на объяснения на знаниях.

При манипулировании знаниями предусматривается пополнение, классификация, обобщение знаний и вывод на знаниях.

При объяснении на знаниях обеспечивается формирование обоснования полученного вывода.

Процедуры обработки знаний находятся в прямой зависимости от моделей их представления.

Процесс логического вывода называется доказательством.

Цель логического вывода заключается в определении истинности некоторого высказывания.

Например, при представлении знаний на основе пропозициональной логики может применяться алгоритм логического вывода с помощью определения логического следствия. В алгоритме выполняется перебор всех моделей и проверка истинности высказывания в каждой модели, в которой база знаний является истинной. При определении логического следствия пользуются свойствами эквивалентности, допустимости и выполнимости.

Два высказывания являются эквивалентными, если они истинны в одном и том же множестве моделей.

Высказывание допустимо, если оно истинно во всех моделях. Допустимые высказывания называются тавтологиями.

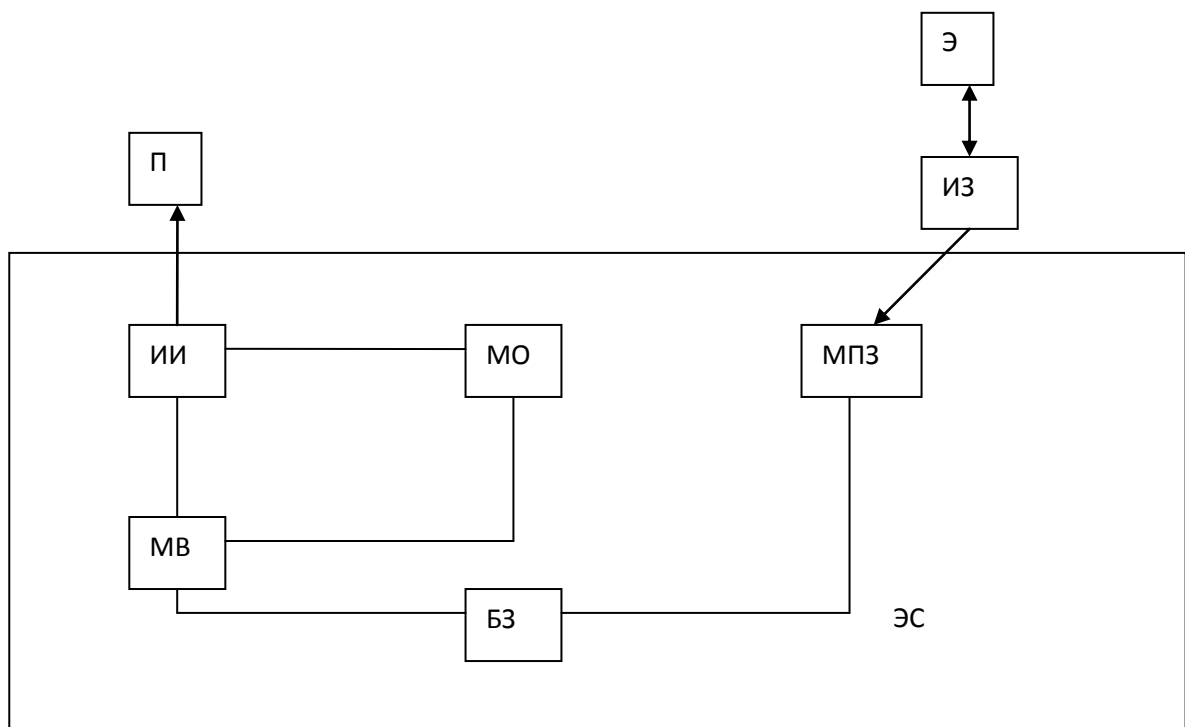


Рисунок 1.10.1 – Схема экспертной системы

Некоторое высказывание выполнимо тогда и только тогда, когда оно истинно в некоторой модели.

Другие варианты логического вывода могут базироваться на стандартных шаблонах. Эти шаблоны применяются для формирования цепочек заключений, ведущих к поставленной цели. Стандартные шаблоны называются правилами. Наиболее широко известны следующие правила:

правило отделения:

1) если даны любые высказывания в форме

$$\alpha \Rightarrow \beta \text{ и } \alpha$$

то из них можно вывести высказывание β .

правило удаления связки «И»:

2) из конъюнкции можно вывести любой из её конъюнктов.

правило удаления двухсторонней импликации;

правило резолюции.

Согласно правилу резолюции берутся два выражения и вырабатывается новое выражение, содержащее все литералы двух первоначальных выражений, за исключением двух взаимно обратных литералов.

Процедуры логического вывода, основанные на правиле резолюции, основаны на использовании принципа доказательства путём установления противоречия.

Логический вывод с использованием хорновских выражений может осуществляться с помощью алгоритма прямого логического вывода и алгоритма обратного логического вывода.

Другой характерный **пример** процедуры логического вывода связан с использованием правила Байеса. В таком случае все правила при представлении знаний в экспертной системе формируются по форме:

Если $\langle H \text{ является истиной} \rangle$ То $\langle E \text{ будет наблюдаться с вероятностью } p(E|H) \rangle$.

По формуле Байеса определяется апостериорная вероятность $p(H|E)$ того, что гипотеза H истинна, если наступило событие E :

$$p(H|E) = \frac{p(E|H)p(H)}{p(E|H)p(H) + p(E|\neg H)p(\neg H)},$$

где $p(H)$ – априорная вероятность того, что гипотеза истинна;

$p(\neg H)$ – априорная вероятность того, что гипотеза ложна;

$p(E|H)$ – условная вероятность наблюдения события E , если гипотеза H истинна;

$p(E|\neg H)$ – условная вероятность наблюдения события E , если гипотеза H ложна.

Априорные вероятности и условные вероятности заносятся в базы знаний. Их значения устанавливаются экспертами.

Если рассматривается несколько гипотез, при которых может наблюдаться событие E , то пользуются следующей формулой:

$$p(H_i|E) = \frac{p(E|H_i)p(H_i)}{\sum_{i=1}^I p(E|H_i)p(H_i)}.$$

В случае множества событий подтверждения применяется соотношение

$$p(H_i|E_1 E_2 \dots E_K) = \frac{p(E_1 E_2 \dots E_K | H_i) p(H_i)}{\sum_{i=1}^I p(E_1 E_2 \dots E_K | H_i) p(H_i)}.$$

При статистической независимости событий подтверждения последняя формула упрощается до вида

$$p(H_i|E_1 E_2 \dots E_K) = \frac{p(E_1|H_i)p(E_2|H_i)\dots p(E_K|H_i)p(H_i)}{\sum_{i=1}^I p(E_1|H_i)p(E_2|H_i)\dots p(E_K|H_i)p(H_i)}.$$

Логический вывод основывается на анализе апостериорных вероятностей. Результатом вывода является выбор гипотезы с наибольшей вероятностью.

Например, в Малой Экспертной Системе реализуется байесовская система логического вывода.

1.12 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

При создании экспертных систем выбирается один из возможных подходов к формированию инструментальных сред. Среди возможных подходов наиболее часто выделяются следующие:

- 1) определение сред, обеспечивающих поддержку тех языков программирования, которые поддерживают включение базы знаний в программы;
- 2) определение сред – оболочек, обладающих средствами представления знаний для определённых предметных областей;
- 3) определение генераторов экспертных систем.

Каждый из представленных подходов находит применение в жизненных циклах экспертных систем по причине объективных различий в условиях их реализации.

При первом подходе могут фигурировать как традиционные языки программирования, так и языки искусственного интеллекта. Например, язык программирования Prolog, относящийся к языкам искусственного интеллекта, поддерживается в средах Turbo Prolog, Visual Prolog, SWI Prolog. Первый подход, как правило, выбирается для создания экспертных систем, предназначенных для решения задач в конкретной предметной области.

При втором подходе выбирается среда – оболочка, соответствующая определённой предметной области. Средой – оболочкой поддерживаются средства формализации экспертных знаний.

Палитра сред – оболочек непрерывно расширяется по мере повышения степени использования систем искусственного интеллекта в наукоёмких отраслях экономики. Рассмотрим ключевые особенности сред – оболочек, наиболее характерных для определённых предметных областей.

В оболочке экспертной системы ACQUIRE знания представляются как объекты, продукционные правила и системы правил – в табличной форме. В ней реализуется обработка неопределённых качественных знаний и содержатся средства вывода и документация баз знаний в среде гипертекста.

В систему AION включается объектно-ориентированное представление знаний, прямой, обратный, двунаправленный поиск решения, правила сопоставления с образцом, графика, запросы из других языков, а также графический интерфейс пользователя.

Системой ANGOSS KNOWLEDGE SEEKER поддерживаются данные, которые могут использоваться для получения базы знаний, состоящей из правил, связанных с базой данных причинно-следственными связями.

В системе ARITY Expert Development Package интегрируется продукционное и фреймовое представления знаний с различного рода коэффициентами уверенности.

Системы реального времени COMDALE/C, COMDALE/X и ProcessVision, COMDALE/C, предназначаются для наблюдения и контроля над процессами в условиях производства.

В системе С - PRS осуществляется процедурное представление знаний и процедурно - ориентированная система рассуждений.

Система Exsys Developer может использоваться для разработки базы знаний в любой предметной области.

Системой FLEX поддерживается фреймовое, процедурное и продукционное представление знаний.

Системой G2 предлагается графическая среда для создания интеллектуальных прикладных программ, которые предназначены для контроля, диагностирования и управления динамическими событиями в сетевых и моделируемых средах.

Системой GBV поддерживаются: фреймовые рабочие области, высокоэффективный транслятор, фреймовые базы данных и библиотека многомерных алгоритмов поиска целей; KS языки представлений знаний; универсальные оболочки управления и утилиты администрирования порядком выполнения операторов; интерактивные, графические дисплеи для контроля и исследования; компоненты управления и рабочие области.

В оболочке GURU предлагается широкое разнообразие инструментальных средств обработки информации, объединенных с возможностями, основанными на знаниях, такими как: вывод решения от фактов к цели, вывод решения от цели к фактам, смешанное формирование цепочки вывода, многозначные переменные и нечеткие рассуждения.

Система HUGIN предназначена для конструирования моделей, основанных на множествах экспертных оценок в областях, характеризующихся существенной неопределенностью. В ней поддерживается дедуктивная система вывода, основанная на вероятностных оценках, которую можно применить к сложным сетям с причинно-следственными вероятностными связями между объектами.

В системе ILOG RULES реализуется механизм логического вывода, основанный на правилах.

При третьем подходе генераторы экспертных систем предназначены для образования оболочек, связанных с тем или иным представлением знаний в зависимости от предметной области.