

Ю.Н.Филиппович, А.Ю.Филиппович

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Рекомендовано УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220200 — «Автоматизированные системы обработки информации и управления» направления подготовки дипломированных специалистов 654600 — «Информатика и вычислительная техника».

ФРАГМЕНТ МАТЕРИАЛОВ РУКОПИСИ

Москва, 2003

Содержание

| | |
|---|---------------------------------|
| Введение | Ошибка! Закладка не определена. |
| Глава 1. Теоретические основы и инструментальные средства создания экспертных систем | Ошибка! Закладка не определена. |
| 1.1. Определения экспертной системы | 4 |
| 1.2. Структура ЭС | 8 |
| 1.3. Классификация ЭС | 16 |
| Глава 2. Примеры экспертных систем | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.1. Список экспертных систем | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.2. Медицина, биология | Ошибка! Закладка не определена. |
| CADUCEUS | Ошибка! Закладка не определена. |
| CASNET | Ошибка! Закладка не определена. |
| INTERNIST | Ошибка! Закладка не определена. |
| MOLGEN | Ошибка! Закладка не определена. |
| MYCIN | Ошибка! Закладка не определена. |
| PUFF | Ошибка! Закладка не определена. |
| АССИСТЕНТ | Ошибка! Закладка не определена. |
| CARDIOLOG | Ошибка! Закладка не определена. |
| АС РЕФЛЕКСОДИАГНОСТИКИ | Ошибка! Закладка не определена. |
| KORDEX-2 | Ошибка! Закладка не определена. |
| АРМ УЗИ СЕРДЦА | Ошибка! Закладка не определена. |
| MEDEXSYS | Ошибка! Закладка не определена. |
| ДИАГЕН | Ошибка! Закладка не определена. |
| ДУПЛЕКС СОСУДОВ | Ошибка! Закладка не определена. |
| СЕМЕЙНЫЙ ВРАЧ | Ошибка! Закладка не определена. |
| СКРИНИНГОВАЯ СИСТЕМА | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.3. Техника | Ошибка! Закладка не определена. |
| R1 | Ошибка! Закладка не определена. |
| XXX | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.4. Геология | Ошибка! Закладка не определена. |
| PROSPECTOR | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.5. Химия | Ошибка! Закладка не определена. |
| DENDRAL | Ошибка! Закладка не определена. |
| Heuristic DENDRAL | Ошибка! Закладка не определена. |
| MetaDENDRAL | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.6. Обучение | Ошибка! Закладка не определена. |
| SOPHIE | Ошибка! Закладка не определена. |
| ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ОБУЧЕНИЯ | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.7. Экономика, финансы | Ошибка! Закладка не определена. |
| ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ | Ошибка! Закладка не определена. |
| ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА В ОБЛАСТИ ТОРГОВЛИ | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.8. Разное | Ошибка! Закладка не определена. |
| MACSYMA | Ошибка! Закладка не определена. |
| HEARSAY-II | Ошибка! Закладка не определена. |
| Глава 3. Инструментальные средства создания экспертных систем | Ошибка! Закладка не определена. |
| 3.1. Языки программирования | Ошибка! Закладка не определена. |
| ЛИСП | Ошибка! Закладка не определена. |
| ПРОЛОГ | Ошибка! Закладка не определена. |
| 3.2. Оболочки ЭС | Ошибка! Закладка не определена. |
| EMYCIN | Ошибка! Закладка не определена. |
| KAS | Ошибка! Закладка не определена. |
| МикроЭксперт | Ошибка! Закладка не определена. |
| ЭКО | Ошибка! Закладка не определена. |
| Expert-Ease, | Ошибка! Закладка не определена. |
| Insight 2+, | Ошибка! Закладка не определена. |
| VP EXPERT | Ошибка! Закладка не определена. |
| 3.3. Системы автоматизации создания ЭС | Ошибка! Закладка не определена. |
| AGE | Ошибка! Закладка не определена. |
| EXPERT | Ошибка! Закладка не определена. |
| HEARSAY-III | Ошибка! Закладка не определена. |

| | |
|---|---------------------------------|
| OPS5..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| RLL | Ошибка! Закладка не определена. |
| ROSIE | Ошибка! Закладка не определена. |
| Глава 4. Библиотека "Экспертные системы" | Ошибка! Закладка не определена. |
| Гаврилова, 1992 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Герман, 1995 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Левин, 1990 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Марселлус, 1994 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Нейлор, 1991 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Сойер, 1990 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Таунсенд, 1990 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Форсайт, 1987 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Хейес-Рот, 1987..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| Элти и Кумбс, 1991 | Ошибка! Закладка не определена. |
| Заключение..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| Литература | 19 |

Глава 1

Теоретические основы и инструментальные средства создания экспертных систем

1.1. Определения экспертной системы

Самое общее определение, которое дают экспертным системам имеет следующий вид: *экспертная система это — система способная заменить эксперта-человека при решении некоторых задач.* Естественным выглядит дополнение, связанное с ориентацией задач на определенную предметную область.

Не следует быть весьма искушенным, чтобы заметить две крайности в таком определении: во-первых, очевидно, что нет систем, которые смогли бы заменить человека-эксперта, если таковой есть и в нем есть нужда; во-вторых, если речь идет о какой-то функции человека, пусть даже ограниченной, но интеллектуальной, то любая программная система будучи использованной при решении задач может после некоторых рассуждений быть отнесена к экспертным системам.

По поводу дополнения об ориентации ЭС на определенную предметную область, следует отметить, что это не просто ограничение, а в большей степени принцип их построения, учитывающий уникальность знаний каждого эксперта, эмпирический способ поиска решений задач и высокое их качество.

В литературе приведено прямо или косвенно много определений ЭС. Более привлекательными и конструктивными выглядят определения ЭС через этапы эволюции решаемых задач, или через набор функций, которые она реализует, или через состав основных компонент. В связи с этим можно выделить три подхода к разработке ЭС и технологии их использования при решении задач.

Первый подход

Определим разрабатываемую ЭС через функции, которые она будет выполнять. Для этого определим ЭС как автоматизированную систему сбора и обработки информации экспертизы. С точки зрения методологии, вопрос об автоматизации обработки информации где-либо (чего-либо) не нов, а содержание экспертизы может быть раскрыто на различных уровнях, в различных аспектах, с произвольной глубиной детализации.

Экспертиза (от французского — expertise, латинского — expertus — опытный) — исследование специалистом (экспертом) каких-либо вопросов, решение которых требует специальных познаний в области науки, техники, искусства и т.д.

Исходя из такого определения экспертизы, следует, что при решении задач организационного управления, должен быть эксперт или исследователь, который будет исследовать некоторый набор вопросов с использованием автоматизированной системы обрабатывающей специальные знания. Схема, иллюстрирующая такой вывод, представлена на рис. 1.

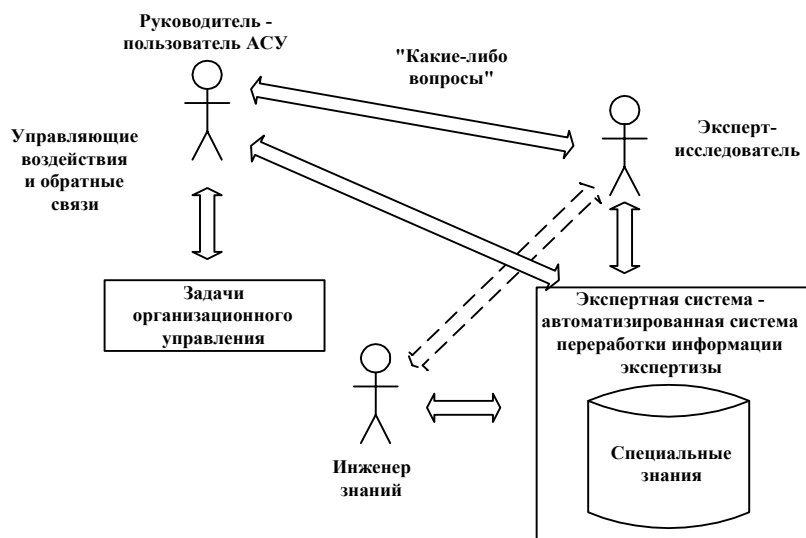


Рис. 7.6. Взаимодействие пользователей с экспертами.

Основной функцией ЭС является экспертиза, которое рассматривается как исследование. Рассуждения, которые дальше потребуются, сводятся к определению содержания, объекта, метода исследования и т.д.

Важно отметить, что ЭС во всех известных приложениях, если их рассматривать с позиций предлагаемого подхода, являются пассивными «исследователя-заменителями». Именно в связи с этим, следует трактовать ЭС решения каких-либо задач как некоторую справочную систему. Другими словами,

экспертиза как ограниченное или «пассивное» исследование есть не что иное, как справочная функция некоторой автоматизированной системы.

Обычно справочная функция реализуется как технология информационного поиска в базе данных некоторого факта или их группы. Методическая сторона построения справочных систем или включение справочной функции в систему обработки информации хорошо проработана. Из основных методических положений следует выделить разделение справочной функции на две разновидности: справочная функция на множестве фактов и на множестве документов.

Содержание исследования во многом определяется спецификой объекта, которая выражается в его связях с другими объектами. Рассмотрим в качестве примера задачи управления проектированием в АСОИУ. Если объектом исследования (экспертизы) является факт, действие, процедура или операция из сферы управления проектированием, то необходимо, прежде всего, определить ее границы, компоненты, вообще суть и структуру. Если объектом экспертизы является само проектирование, то в этом случае, определенное как некоторый процесс, реально существующий или воображаемый, проектирование может быть представлено как последовательность некоторых действий, в том числе и логических, и расчетно-вычислительных. В связи с этим экспертизу можно *определить как некоторую расчетно-логическую функцию, а ЭС — как расчетно-логическую систему.* Специфика объекта исследования состоит в том, что проектирование не отделимо от управления проектированием. Выбор проектного решения, как одна из задач управления, если он обоснован техническими соображениями и расчетами, а не есть волевой акт, является элементом проектирования, реализация которого немыслима без предварительного анализа альтернатив, их исследования. И если существует некоторая система автоматизации проектирования, то она может рассматриваться как экспертная система, так как реализует как минимум две функции, которые отмечаются как необходимые в составе «официально» названных экспертных систем. Этими функциями являются: функция справки и «решательная» функция.

Другими функциями, определяющими экспертные системы, являются: обучение, объяснение и планирование действий.

Для функции обучения характерно несколько режимов реализации, основными из которых являются:

- «аудиторный» — ЭС выступает в роли «учителя», передающего пользователям имеющиеся знания в соответствии с некоторой методикой;
- «подсказки» — ЭС сообщает пользователю возможные последующие действия, тем самым оказывает ему помощь в возникших затруднениях;
- «контроля (тестирования)» — ЭС фиксирует состояние знаний пользователя.

В связи с этим правомерно определить ЭС как некоторую обучающую систему, отвечающую на вопросы пользователя, или задающую их.

Функция объяснения менее очевидна для раскрытия содержания экспертизы. Вместе с тем, исследование в той своей части, которая касается получения результатов или выводов по результатам, непременно содержит их обоснование или объяснение. Возможно это и не основная функция ЭС, но безусловно важная.

Функция планирования действий является необходимой, так как само чередование или единение уже перечисленных функций требует некоторой организации, причем заранее определенной.

Подводя итог рассмотрению первого подхода, отметим, что ЭС *может быть определена как система автоматизации экспертизы — автоматизированная система сбора и обработки экспертной информации, реализующая независимо следующие основные функции: справки, расчета, обучения, планирования или самоорганизации.*

Второй подход

Он состоит в определении ЭС через набор имеющихся или необходимых компонентов — информационно программных изделий. При этом речь не идет о бесцельном объединении, во всех случаях системность является важнейшим принципом, а цель объединения определяется через множество целей ее составных компонентов. Каждый из компонентов реализует некоторые функции или их набор. Объединение должно быть таким, чтобы наибольшее количество функций оказалось полезными. Если посмотреть на состав компонент, входящих в различные ЭС, то можно отметить среди них те, которые составляют их основу, являются как бы «ядром» ЭС. Такими компонентами являются: *программные средства, реализующие какие-либо расчетно-логические функции; пакеты программ поддержки принятия решений; системы управления данными; диалоговые системы различного назначения.* Созданные для пользователей в различное время и с определенными целями, они могут быть использованы для решения новых задач, в частности для проведения экспертиз. Такая компиляция систем различного назначения может быть обоснована следующими соображениями: во-первых, разнородной в определениях ЭС есть результат поиска нового использования уже имеющихся идей и реализующих их информационно-программных изделий в новой области приложения; во-вторых, разработка от «начала до конца» сложной системы не всем под силу и в большинстве случаев не оправдана экономическими и другими соображениями; в-третьих, если уже есть одна или даже несколько систем, которые реализуют некоторые функции ЭС, то почему бы не получить новые функции за счет объединения компонентов, хотя бы временно.

Возможны и другие соображения. Во всяком случае, в тех литературных источниках, которые описывают назначение, структуру и состав ЭС, перечисленные выше компоненты есть и занимают важное место.

Таким образом, под ЭС *будем понимать объединение имеющихся систем (в данном случае компонент) для решения задач экспертизы в АСОИУ.*

Как и в случае первого подхода, необходимо объяснить содержание экспертизы. Здесь под экспертизой понимается полный набор задач, возможных для решения, как с помощью отдельных компонент, так и с помощью их набора.

Наиболее сложной при таком подходе является задача построения *интерфейса компонент*. Данная функция будет являться основной для управляющего компонента, который должен обеспечить организацию системы.

Третий подход

Он состоит в определении ЭС как средства эмпирического поиска высококачественных решений задач на базе формализованных уникальных знаний экспертов.

Так как для достижения высокого качества решения задач необходимо экспериментировать, то ЭС развивается постепенно в течение всего времени своего существования. Такой эволюционный подход к созданию ЭС является доминирующим в специальных разработках, а также в теоретических исследованиях их возможностей.

При таком методе создания ЭС, она уже существует после того, как создан инструмент формализации знаний, и готова к практическому использованию после того, как в нее введена первая «порция» знаний эксперта, позволяющая найти какое-либо эмпирическое решение задачи пользователя. В дальнейшем ЭС начинает развиваться путем накопления все новых и новых формализованных знаний экспертов, а также знаний об удачных и неудачных попытках решения задач пользователями. Эволюция ЭС выглядит как чередование процедур двух типов: извлечения знаний и их предъявление. Эти две процедуры совмещены во времени, то есть предъявление своих знаний ЭС осуществляет в процессе извлечения знаний экспертов и пользователей.

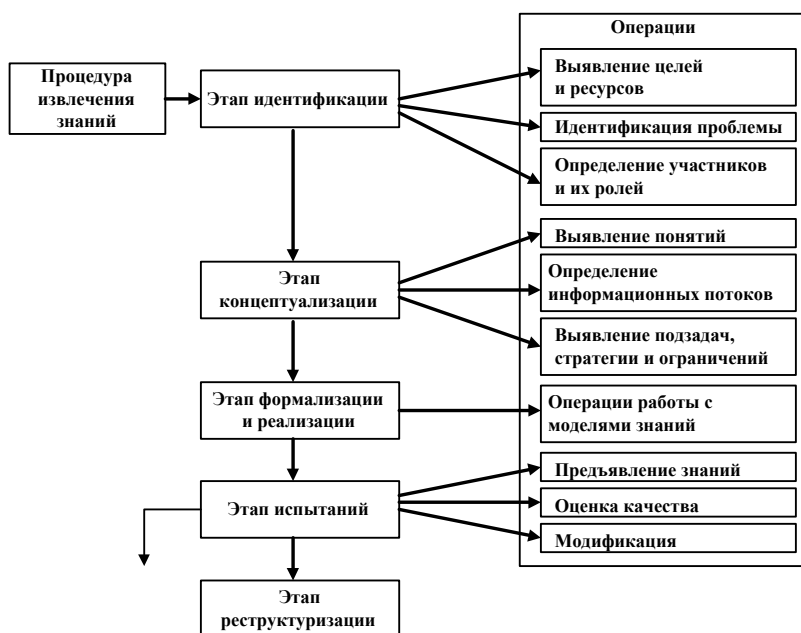


Рис. 7.7. Процедура извлечения знаний.

Процедура извлечения знаний понимается как процесс передачи опыта решения задачи от человека к ЭС. В процессе передачи опыта осуществляется выявление знаний экспертов и их формализация. Вся нагрузка по реализации этого процесса ложится на плечи инженера знаний. Взаимодействуя в течение продолжительного отрезка времени, группа инженера знаний (инженеры знаний и эксперты) определяют задачу, которую надо решить, выявляют основные существенные для нее понятия, вырабатывают правила, выражающие отношения между понятиями. Трудоемкость данной работы весьма значительна и хотя ведутся разработки по автоматизации процессов создания баз знаний ЭС, основной труд инженеров знаний базируется на их опыте и интуиции.

Процедуру извлечения знаний разделяют на ряд этапов: идентификации, концептуализации, формализации, реализации, испытаний и реструктуризации. Эти этапы не являются четко очерченными и детально проработанными. Они лишь приблизительно описывают процесс извлечения знаний, который в каждом из конкретных примеров может иметь различный вид.

На этапе *идентификации* определяются характеристики задач путем выполнения следующих операций: выявление целей и ресурсов, идентификация проблемы, определение участников и их ролей.

В ходе *концептуализации* специалисты по предмету и инженер знаний выявляют основные понятия, отношения и характер информационных потоков для описания процесса решения задач в определенной предметной области. Происходит выявление подзадач, стратегий и ограничений.

При *формализации* происходит отображение множества понятий и отношений в абстрактные элементы формальных моделей знаний. При этом используются, как правило, искусственные языковые средства.

В ходе *реализации* инженер знаний комбинирует и реорганизует формализованные знания, добиваясь их совместимости с характером информационных потоков задачи. Множество результирующих правил и соответствующих управляющих структур определяют формализованные знания, которые можно предъявить для контрольных испытаний.

В ходе *испытаний* производится оценка предъявленных знаний и их просмотр с целью приведения в соответствие с принятым стандартом высокого качества функционирования, который определяется специалистами, работающими в данной предметной области. По результатам оценки качества знаний возможна их модификация.

Реструктуризация знаний производится: в связи с появлением новых задач и соответствующих предметных областей; новых экспертов, обладающих другими специфическими знаниями; новых тестовых примеров, позволяющих выявить несоответствие знаний требованиям качества решения задач; и другие. Реструктуризация знаний практически всегда приводит к увеличению объема базы знаний, что приводит к изменениям в худшую сторону характеристик процессов взаимодействия пользователей с ЭС, которые становятся «многословны» и «медлительны». Это требует переосмысления всей группой инженеров знаний накопленного в системе опыта. Возможно, что новый взгляд на знания ЭС потребует ее фактического «перерождения» а в процессе этого могут быть удалены неактуальные знания, факты и рассуждения, не приводящие к положительному решению задач, а также добавлены новые факты или правильные рассуждения.

Процедура предъявления знаний в ЭС выполняется при взаимодействии с пользователями, не являющимися экспертами, но решающими реальные задачи. В процессе взаимодействия пользователь инициирует предъявление недостающих ему знаний, но имеющихся в базе знаний ЭС. Выступая в роли интеллектуального партнера, ЭС воспринимает сообщения и требования пользователей как знание о возможных путях решения его задачи, формализует их и накапливает, хотя возможно, что решение, которые будут найдены, явятся в будущем неудачными.

Процедуру предъявления знаний можно декомпозировать на несколько операций: приема и анализа сообщений пользователя, формализация знаний пользователя, выдача «порции» знаний.

При выполнении *операции приема и анализа сообщений* и требований пользователей определяются характеристики задачи и соответствие их характеристикам задач, по которым в системе накоплены знания. Кроме этого определяются возможности выполнения требований пользователя.

Операция выдачи «порции» знаний связаны с реализацией поиска в базе знаний, оказании помощи при затруднениях во взаимодействии, объяснении, выводом и расчетами. Данные операции заканчиваются визуализацией хранимых знаний.

Операция формализации знаний пользователя состоит в описании процесса решения задачи в виде последовательности шагов обмена информацией между пользователем и ЭС и запоминанием ее, при этом возможно протоколирование. Описанный таким образом процесс решения задачи пользователя следует считать знаниями системы об опыте применения хранящихся в ней знаний.

1.2. Структура ЭС.

Анализ хода работ в области систем ИИ показывает, что в 80-е годы XX века произошел широкий переход от исследований к созданию коммерческих изделий этого класса. В этот период широко рекламировались возможности систем ИИ для оказания помощи в принятии решений в конкретных областях знаний, и наиболее быстрый рост коммерческих систем ИИ ожидался в секторе экспертных систем. Ведь именно ЭС позволяют снизить трудоемкость многих технологических процессов, повысив тем самым производительность труда. Кроме того, экспертные системы — это программы ЭВМ, использующие знания и технику рассуждений человека-эксперта. Они позволяют быстро и эффективно решать задачи определенного класса, которые оказались бы под силу лишь человеку, потратившему годы на общее образование и профессиональное обучение и имеющему большой опыт работы. Кроме этого ЭС являются ценным средством обучения и позволяют сохранять накопленный опыт.

В состав типичной ЭС входят следующие компоненты:

- база знаний;
- решатель;
- компонента приобретения знаний;
- объяснительная компонента;
- диалоговая компонента.

База знаний предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих рассматриваемую область (а не текущих данных), и правил, описывающих целесообразные преобразования данных в этой области.

Решатель, используя исходные данные из БД и знания из БЗ, формирует такие последовательности правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи.

Компонента приобретения знаний автоматизирует процесс наполнения ЭС знаниями, осуществляемый пользователем-экспертом, а также формирует знания на основе анализа прикладных ситуаций. Важной составляющей компонента приобретения знаний является интеллектуальный редактор базы знаний.

Объяснительная компонента объясняет, как система получила решение задачи (или почему она не получила решения) и какие знания она при этом использовала, что облегчает эксперту тестирование системы и повышает доверие пользователя к полученному результату.

Интерфейсная (диалоговая) компонента ориентирована на организацию дружественного взаимодействия со всеми категориями пользователей в ходе решения задач экспертизы.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ

Приобретением знаний называется процесс выявления знаний из источников и преобразование их в нужную форму, перенос в базу знаний ЭС. Источниками знаний могут быть книги, архивные документы, содержимое других баз знаний и т.п., т.е. некоторые объективированные знания, переведенные в форму, которая делает их доступными для потребителя. Другим типом знаний являются экспертные знания, которые имеются у специалистов, но не зафиксированные во внешних по отношению к нему хранилищах.

Экспертные знания являются субъективными и эмпирическими. Такие знания могут добываться ЭС путем наблюдения за окружающей средой.

Для разработки методологии приобретения знаний необходимо различать две формы репрезентации знаний. Одна форма отражает то, как и в каких моделях хранятся эти знания у человека — эксперта. При этом эксперт не осознает полностью, как организована его модель знаний. Другая форма связана с тем, как инженер по знаниям собирает эти знания представлять и описывать в рамках проектируемой ЭС. От степени адекватности и согласованности этих двух моделей и зависит эффективность процесса приобретения знаний.

Кроме понятий представляются и отношения между ними. Как правило, отношения между понятиями определяются процедурным способом, а отношения между составляющими понятиями (определяющими структуру понятий) — декларативным. Наличие двух моделей заставляет в моделях представления знаний иметь одновременно оба компонента, например семантическую сеть и продукционную систему.

Процесс приобретения знаний — наиболее сложный этап разработки ЭС, поскольку на этом этапе необходимо решать не только технические и специальные вопросы, а также рассматривать психологические, лингвистические и гносеологические аспекты проблемы. В общем случае процесс приобретения знаний можно разделить на следующие этапы:

1. Определение необходимости модификации (расширения) знаний.
2. Извлечение новых знаний.
3. Преобразование новых знаний в форму представления ЭС.
4. Модификация знаний.

На ранних этапах развития представлений о механизмах хранения и применения знаний сами знания не отделялись от механизма вывода. При таком подходе программист, занимающийся созданием ИС, вынужден был детально изучать предметную область, подбирать или проектировать подходящую модель

данных, реализовывать ее и самому наполнять знаниями. Ясно, что подняться до уровня эксперта созданная таким образом система не могла.

По мере развития представлений о знаниях появилась идея об отделении базы знаний от механизмов вывода знаний. Для создателей баз знаний этот подход существенно упростил модификацию знаний и поиск и устранение противоречий. При таком подходе задачи 1 и 2 решались уже совместно экспертом и инженером по знаниям, задача 3 — инженером по знаниям, и 4 — самой ИС. Определим такую систему как систему извлечения знаний.

С появлением интеллектуальных редакторов баз знаний и введения в интеллектуальные системы средств формирования и использования метазнаний (или, иначе говоря, метамоделей данных), эксперту был дан мощный диалоговый инструмент управления базой знаний, в результате чего нагрузки на создателей ИС перераспределились следующим образом: 1 и 2 задачи решаются экспертом (самостоятельно или с помощью инженера по знаниям), 3 и 4 задачи решаются интеллектуальной системой.

Заманчивой представляется перспектива при наполнении ИС знаниями о предметной области смоделировать процесс обучения мыслящего существа. Это можно сделать по следующей схеме.

Фактические данные из предметной области (включающие выводы экспертов об имевших место ситуациях) поступают на вход ИС и там соответствующим образом интерпретируются. Эту задачу может выполнять, например, индуктивная программа. Она и будет осуществлять получение глубинных знаний из примеров ситуаций и анализа сценариев и загружать их в базу знаний интеллектуальной системы. Развивая эту идею, можно предложить в качестве входной информации для обработки тексты на естественном языке (словари, инструкции, учебные пособия, научные труды и т.п.). Для успешного решения этой проблемы необходимо спроектировать интегрированную базу знаний, включающую как знания о предметной области потенциальной ЭС, так и метазнания, и что особенно важно, знания о языке, которые будут использоваться на этапе анализа входных текстов для извлечения прикладных знаний. Такую систему можно назвать системой формирования (приобретения) знаний.

Методы извлечения знаний

Рассмотрим три режима взаимодействия инженера по знаниям с экспертом-специалистом: протокольный анализ, интервью и игровая имитация профессиональной деятельности.

Протокольный анализ заключается в фиксации “мыслей вслух” эксперта во время решения проблемы и в последующем анализе полученной информации. В режиме *интервью* инженер по знаниям ведет с экспертом активный диалог, направляя его в нужную сторону. При *игровой имитации* эксперт помещается в ситуации, похожие на те, в которых протекает его профессиональная деятельность. Наблюдая за его действиями, инженер по знаниям формирует свои соображения об экспертных знаниях, которые впоследствии могут быть уточнены экспертом в режиме интервью.

Все эти способы имеют свои положительные и отрицательные стороны. При анализе протоколов инженеру по знаниям бывает сложно отделить важные, ключевые понятия от тех, которые упоминаются и высказываются экспертом случайно, по ассоциации. Рассуждения могут опускать важные этапы цепочки выводов, т.к. эксперт может считать это для себя само собой разумеющимся. Таким образом, этап интервью является необходимым при любой схеме.

Наиболее распространены три стратегии интервьюирования: разбиение на ступени, репертуарная решетка и подтверждение сходства.

При *разбиении на ступени* эксперту предлагается назвать наиболее важные, по его мнению, понятия предметной области и указать между ними отношения структуризации. Эти понятия фиксируются как базовые. Стратегия направлена на создание иерархии понятий предметной области, выделение в понятиях тесно связанных между собой групп — кластеров.

Стратегия репертуарной решетки направлена на выявление характеристических свойств понятий, позволяющих отделять одни понятия от других. Методика состоит в предъявлении эксперту троек понятий с предложением назвать признаки для каждого двух понятий, которые отделяли бы их от третьего. Так как каждое понятие входит в несколько троек, то на основании такой процедуры происходит уточнение объемов понятий и формируются комплексы понятий, с помощью которых эти понятия могут идентифицироваться в базе знаний.

Стратегия подтверждения сходства состоит в том, что эксперту предлагается установить принадлежность каждой пары понятий к некоторому отношению сходства (толерантности). Для этого эксперту задается последовательность достаточно простых вопросов, цель которых заключается в уточнении того понимания сходства, которое вкладывает эксперт в утверждение о сходстве двух понятий предметной области. Процесс взаимодействия инженера по знаниям (аналитика) с экспертом-специалистом включает три основных этапа:

1. *Подготовительный этап.* Здесь необходимо достичь должного уровня заинтересованности эксперта и аналитика в результатах своих совместных усилий. Аналитика необходимо глубоко познакомиться со специальной литературой по предметной области. Необходимо также достичь согласованности психических и личностных качеств эксперта и аналитика.
2. *Установление лингвистического альянса.* Вырабатывается словарная основа базы знаний, определяется уровень детализации и взаимосвязи понятий.

3. *Гносеологический этап.* Выясняются закономерности, присущие предметной области, условия достоверности и истинности утверждений, структурирование за счет введения отношений. Это основной этап взаимодействия.

Процесс извлечения знаний начинается с получения от эксперта поверхностных знаний (таких, например, как представление признаков), и постепенно направляется аналитиком на формирование глубинных структур и более абстрактных понятий (таких, как прототипы).

Машинно-ориентированное получение знаний

Этот вид приобретения знаний интеллектуальной системой называют также обучением интеллектуальной системы. При этом активно используются модели обучения, известные в физиологии и психологии. Первые модели опирались на чисто физиологические методы обучения, позже появились более гибкие ассоциативные, согласно которым всякое обучение есть установление ассоциативных связей в нейроноподобных сетях.

На смену ассоциативной модели пришла лабиринтная модель, опирающаяся на идеи когнитивной психологии. Модель предполагает, что процесс обучения состоит в эвристическом поиске в лабиринте возможных альтернатив и оценивании движения по лабиринту на основе локальных критериев. Наиболее исследованными на сегодняшний день являются модели, относящиеся к обучению по примерам. Обучение как математическая задача может быть отнесено к классу оптимизационных проблем поиска описаний.

Индивидуальная оптимизационная задача L есть пятерка:

$L = \langle X, Y, p, F, J \rangle$, где

X и Y — множество входных и выходных записей;

p — функция $X \rightarrow Y$;

F — множество отношений ($f = X \times Y$ для всех f из F);

J — оператор качества для F , показывающий для каждого f из F степень его близости к p .

Задача состоит в отыскании оптимального по J описания f из F .

Спецификация задачи часто оказывается неполной. Например, оператор качества J может быть плохо формализуемым, информация об отношении p может задаваться только примерами пар $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, для которых выполняется функция p . Для задач, относящихся к обучению, характерна неполнота рассматриваемой спецификации.

Для решения задачи обучения можно применить следующие методы:

- теория статистических гипотез;
- теория параметрической адаптации;
- теория индуктивного вывода.

Человек или машина могут получать знания многими способами.

Можно вывести нужную информацию как логическое следствие имеющихся знаний, получить ее путем модификации существующих знаний, рассчитывая на аналогичность ситуации, попытаться вывести общий закон из имеющихся примеров. Некоторые задачи, относятся к задачам получения знаний по примерам:

1. Простейшее прогнозирование (линейные зависимости выходных значений от входного воздействия).
2. Идентификация (синтез) функций. В этом методе исследуется “черный ящик” и синтезируется общая функция.
3. Расшифровка языков. Поиск правил синтеза текстов некоторого языка на основе анализа конкретных текстов на этом языке (расшифровки кодов, систем письменности и т.д.). Задачей такого же типа является обучение распознаванию образов.
4. Индуктивный вывод. В широком смысле это направление охватывает все вышеописанные, а в узком понимании это проблема расшифровки языков.
5. Синтез с дополнительной информацией. В качестве дополнительной информации может рассматриваться структура примеров, их родовидовая принадлежность, контрпримеры и т.п.

Корректными способами генерации гипотез считаются такие, которые в пределе (при исчерпании всех примеров) приводят к решению задачи.

Предположение о предельной стабилизации гипотез является основой дедуктивного подхода, согласно которому решение задачи формирования знаний включает 4 этапа:

- *наблюдение*: сбор и накопление исходных данных (примеров);
- *обобщение*: выдвижение «разумной» гипотезы H об искомом описании;
- *дедукцию*: выдвижение различных следствий из H или прогнозов на основе ее;
- *подтверждение*: проверка прогнозов на совместимость с результатами новых наблюдений — оценка гипотезы H ; если H подтверждается, остается в качестве текущей гипотезы и весь процесс повторяется сначала, в противном случае гипотеза H заменяется новой.

Считается, что процесс находит искомое описание, если оно было выдвинуто в качестве гипотезы при каком-либо прохождении второго этапа и при следующих прохождениях этого этапа не менялась. В процессе выдвижения гипотез выясняются «разумные» способы выдвижения и критерии подтверждения гипотез.

Предъявление знаний

Интерфейсная компонента ЭС

ЭС относятся к классу интеллектуальных систем, ориентированных на знания. Такого рода системы отличаются тем, что в них упор делается не на данные в их классическом фактуальном представлении, а на знания — т.е. метаданные о характере и связях объектов и явлений какой-либо предметной области. Каждая конкретная реализация достаточно мощной ИС содержит как признаки первого, так и второго рода. Однако описанное деление оказывается весьма значимым при проектировании систем вследствие того, что оказывает определяющее воздействие на выбор метода реализации отдельных компонент — от способа организации данных/знаний до реализации подсистемы пользовательского интерфейса.

Для систем, ориентированных на знания, характерен значительный по объёму данных перевес компоненты, отвечающей за хранение правил и соотношений общего порядка. Фактуальная информация (как она представлена в базах данных), в явном виде в таких системах отсутствует. Она представлена неявно в виде уже сформулированных выводов и правил. И хотя практически задача накопления и анализа фактуального материала не выходит за рамки архитектуры этого класса систем, целесообразность такого механизма можно поставить под сомнение в силу следующих обстоятельств. Интеллектуальные системы, содержащие знания специалистов высокого уровня в обслуживаемых предметных областях, в большинстве своём задействуются для анализа нетривиальных ситуаций, имеющих место в данной предметной области. Естественно, что для решения простой или типичной задачи специалист не будет прибегать к услугам ИС. Таким образом, если и наделить рассматриваемую нами систему аппаратом сбора фактов об обработанных ситуациях и статистического анализа, результатом которого будет являться генерация правил и выводов, то можно с достаточной степенью уверенности предположить, что построенные таким образом модели будут отличаться от моделей, построены экспертом, ибо он умозрительно включает в рассмотрение все ситуации предметной области, причём в нужных соотношениях частот их повторения.

В течение последних двадцати лет в литературе господствует мнение о том, что оптимальным способом взаимодействия пользователя с интеллектуальными системами является естественный язык (ЕЯ), а ограничения, накладываемые на язык взаимодействия человека и компьютерных систем путем введения ограниченных естественных языков (ОЕЯ) в некоторых реализациях подобного подхода, воспринимаются как вынужденная мера. Регламентированные языки (языки меню, запросов, форм и шаблонов) трактуются как ещё более узкие и изначально ограниченные средства общения. При этом подразумевается, что в любой ситуации общения пользователя с системой на ЕЯ обладает преимуществами на том основании, что он является наиболее привычным средством общения для человека.

Два способа организации взаимодействия ЭС с пользователем отражают два подхода к разрабатываемым системам. Первый — подход от баз данных, когда основу системы составляет фактуальная информация, организованная и структурированная классическими методами СУБД, а «знаниями» нагружается информационно-поисковая система (ИПС), обеспечивающая доступ к БД. Второй — когда основное содержание системы составляют заложенные в неё концептуальные знания, а не чисто информационный набор фактов. В первом случае естественный язык наиболее приемлем как способ общения с системой, поскольку к системе (как к информационно-поисковой) предъявляется требование обработки запросов достаточно большой степени сложности (по совокупности нескольких параметров, с использованием условных конструкций и т.д.), кроме того, как правило, пользователи такого рода систем не обладают достаточным уровнем профессиональной подготовки. К системам другого рода, пользователями которых являются подготовленные специалисты (очевидно не только в своей предметной области, но также имеющие развитые навыки общения с компьютерными информационными системами), предъявляются несколько иные требования. В рассматриваемом классе ориентированных на знания систем (это в большинстве своём ЭС диагностики, анализа ситуации, поддержки принятия решения, мониторинга) на первый план выдвигается удобство и скорость обмена информацией между участниками общения. Достаточный объём умолчаний, заранее определённая задача, которая известна участникам до начала процесса коммуникации, делают естественный язык преградой на пути повышения эффективности общения. В данном случае целесообразно использование регламентированных языков, использующих умолчания и соглашения, оперирующих специализированными понятиями, очевидными участникам общения в контексте решаемой ими задачи.

Помимо диалога с ЭС в процессе решения задачи, реализация объяснительной компоненты на регламентированном языке также способна в значительной мере повысить эффективность этой подсистемы. С одной стороны, в настоящее время, очевидно, что даже простейшая гипертекстовая организация информации (в данном случае поясняющей компоненты) повышает удобство и значительно увеличивает скорость доступа к информации по сравнению с методом общения на естественном языке. С другой стороны, взаимодействие эксперта с системой в режиме отладки модели на естественном языке будет, мягко говоря, не вполне адекватно, ибо в процессе создания модели уже пройден этап формулирования промежуточных понятий и абстракций, раскрытие которых естественно-языковым представлением повлечёт за собой только усложнение (и по всей видимости, существенное замедление) процесса понимания со стороны эксперта. Хорошо спроектированная интерфейсная компонента, реализованная с помощью регламентированного языка описания объектов и явлений предметной области, способна, на наш взгляд, вывести эксперта за рамки вербального способа представления информации, что во многих случаях повысит эффективность как и общения пользователя в режиме консультации (эксплуатации) интеллектуальной системы, так и в режиме наполнения баз знаний и отладки моделей знаний. Удачно подобранные графические образы способны вызывать реакцию пользователя быстрее, чем подробные словесные описания. Кроме того, компактность графического представления позволяет отобразить большее количество сущностей и видов связей между ними на единице экранного пространства, видеоряд активизирует большее количество ассоциативных связей, звуковой вывод позволяет акцентировать внимание на внештатных, аварийных ситуациях, в этих же случаях звуковой канал может служить наиболее приемлемым способом передачи односложной информации в систему.

Однако перечисленные способы представления информации существенно отличаются как по своей физической природе, так и по способам представления и обработки в компьютерных системах. Очевидно, что для разработчика интеллектуальной системы взаимодействия и для пользователя, был бы приемлем в достаточной степени прозрачный аппарат описания и манипулирования образами объектов реального мира, представленными в текстовой, графической, динамической, звуковой форме.

Выделим два основных аспекта поставленной таким образом проблемы. Интересной, с одной стороны, представляется задача конструирования и описания интерфейса проектируемых интеллектуальных систем. С другой стороны, рассмотрим методику создания и наполнения такого рода систем и необходимые для этого инструментальные средства для поддержки процессов подготовки и обработки данных различных типов.

Так в области экспертных систем к этому классу с определенной степенью приближения можно отнести системы:

- диагностики,
- анализа ситуации,
- поддержки принятия решения,
- мониторинга.

Рассмотрим основные требования к системам представления знаний и к интерфейсу взаимодействия человека с системой:

1. Для систематизированного управления сложными знаниями большого объёма желательно организовать все знания на основе концептуальных объектов.
2. В целях увеличения гибкости системы следует сделать возможным представление в виде комбинации декларативных и процедурных знаний для описания связанных с ними концептуальных объектов.
3. Поскольку концепт обычно имеет иерархическую структуру, связанную с некоторой степенью абстракции, то и для представления знаний следует применять иерархическую структуру.
4. При решении сложных проблем считается, что различные состояния вывода применяются в комбинациях в соответствии с ситуацией. Поэтому и в представлении знаний необходимы функции, учитывающие это обстоятельство.
5. Создание сложных систем, основанных на знаниях, есть во многом эмпирический процесс. Это выражается в том, что удельный вес процессов отладки и доведения системы до нужного уровня достоверности выводов превышает затраты на описание и ввод модели (по крайней мере в той их части, которая протекает во взаимодействии со средой разработки). Отладка моделей сложных моделей есть путь проб и ошибок, поэтому способ организации знаний должен предоставлять возможность свободного проектирования, заключающийся в применении и испытании различных способов управления выводом на едином пространстве понятий и решений предметной области.
6. Дальнейшим развитием принципа свободного проектирования служит возможность дополнения системы различными функциями.

Определим требования к средствам проектирования интерфейса взаимодействия человека с выделенным классом интеллектуальных систем:

1. Возможность генерации кадров диалога, включающих разнотипные интерфейсные элементы.
2. Реализация запросов на ввод текстовой информации.
3. Реализация меню-ориентированных запросов текстового и графического типа.

4. Наличие средств поддержки создания динамических сценариев отображения графической и вывода звуковой информации с возможностью взаимной синхронизации.
5. Наличие удобных средств компоновки и редактирования кадров диалога.
6. Наличие системы архивирования и навигации в среде хранилища интерфейсных объектов (кадров диалога).
- 7.

Формализация задачи проектирования интерфейсной модели

На каждом шаге взаимодействия у пользователя запрашивается очередной блок информации о рассматриваемой ситуации, при этом ему предъявляется некоторое количество поясняющих или определяющих характер ответа материалов, которые в свою очередь обладают широким спектром форм представления. С одной стороны это разные структурные формы — тексты, изображения, звуковые фрагменты, с другой стороны, они имеют качественную характеристику, определяющую их роль и значимость в контексте рассматриваемого кадра диалога. Так, схематическое изображение, на котором необходимо пометить какие-либо участки для ответа на вопрос, по результатам чего будет сформирован вектор выходных параметров кадра диалога, является необходимым и определяющим для правильного ответа, в то время как поясняющая картинка, предназначенная для вызова ассоциаций, способствующих более быстрому включению пользователя в контекст задаваемого вопроса и предотвращающего неверное понимание вопроса, и, как следствие, неверную интерпретацию ответа, очевидно обладает меньшей информативной ценностью и следовательно менее значима в контексте рассматриваемой модели взаимодействия.



Рис.1. Проектирование интерфейсной компоненты.

Можно выделить по крайней мере два способа выделения подмножества объектов для организации кадра диалога:

1. Описание некоторого явления (события или ситуации в узком смысле этого слова), когда необходимо означить некоторую совокупность признаков объектов, объединенных временными или пространственными рамками.
2. Определение комплексного объекта, когда необходимо для означивания предъявить составляющие его объекты или показатели.

Кадр состоит из определяемых признаков (которые нужно ввести) и предъявляемых фактов. Эти факты могут быть как простыми фактами предметной области, которые оказались означены к данному моменту

диалога, так и сообщениями предупредительного характера, привлекающим внимание пользователя к особым характеристикам ситуации, которые необходимо либо подтвердить, либо на них нужна быстрая реакция, так как наличие факторов, означивших именно эту ситуацию, может привести к серьезным последствиям. Это может быть поясняющая или наводящая информация. К особому классу относятся кадры, описывающие факт, являющийся подмножеством пространства решений. К сопроводительным и поясняющим относятся динамические кадры, где демонстрируется какой-либо процесс, протекающий во времени.

В процессе консультации, т.е. таком взаимодействии пользователя с интеллектуальной системой, когда диалог строится по сценарию, определённом на этапе конструирования системы, активным модулем выступает компонента логического вывода, она запрашивает кадры для означивания параметров. В режиме пояснения, когда пользователь сам проявляет инициативу для доступа к информации, определяющей состояние внутренних переменных системы логического вывода (для пользователя же это степень понимания интеллектуальной системы рассматриваемой проблемы на данном шаге диалога), то интерфейсная компонента по запросам пользователя извлекает из модели шаблоны, содержащие фактическую информацию из описания ситуации, наполняя их сведениями из модуля логического вывода. При работе в режиме поддержке справочной компоненты, интерфейсный модуль выступает как в роли инициатора, так и в роли исполнителя запросов участника диалога. Обращений к логической компоненте в данном режиме не производится, поскольку вся необходимая информация для поиска шаблона и его заполнения расположена в пределах модели интерфейса.

Обозначим множество объектов, используемых для получения информации о ситуации, через X , объекты означиваемые в процессе анализа ситуации, через F .

Процесс взаимодействия пользователя с интеллектуальной системой носит дискретный характер. Каждый этап взаимодействия описывается структурой данных, которыми обмениваются система и пользователь. Определим эту структуру как кадр диалога:

$$K_i = \{ x, f, s \}, x \in X, f \in F, s \in S,$$

где: S — множество шаблонов, описывающих структуру кадров диалога.

Система поддержки диалога D может быть представлена парой:

$$D = \{ h, v \},$$
 где

$h \in H$ — процедуры организации ввода значений параметров объектов,

$v \in V$ — процедуры поддержки вывода фактуальной информации.

Вывод фактуальной информации может быть реализован различными способами:

$$M = \{ V_t, V_i, V_a \},$$
 где

V_t — вывод текстовых сообщений. Необходимо отметить, что эту возможность можно реализовать несколькими способами, в зависимости от важности выводимой информации. Различные по содержанию текстовые сообщения в простейшем случае могут являться параметром для типового шаблона, при этом качество восприятия будет ниже, чем у специально созданных для данного вида сообщения шаблонов с использованием выделения различными шрифтами и цветом;

V_i — выбор изображения, заданного в качестве параметра или описанного в шаблоне;

V_a — выбор звукового сообщения.

В свою очередь процедура означивания признака может быть организована несколькими различными способами:

$$N = \{ N_m, N_l, N_i, N_t, N_n, N_d, N_b, N_s \},$$
 где

N_m — выбор значений из текстового меню, представляющего собой статический (т.е. определённый в шаблоне s) список текстовых альтернатив;

N_l — выбор атрибута из динамически формируемого списка значений;

N_i — ввод параметров путём указания на условном или схематическом изображении, хранимого в шаблоне s , состояния определённых фрагментов;

N_t — ввод произвольной текстовой строки;

N_n — ввод числового значения из заданного диапазона с клавиатуры;

N_d — означивание параметра путём опроса датчиков;

N_b — считывание значения параметра из базы данных;

N_s — получения значения посредством вызова внешней процедуры.

Предлагаемая структура интерфейсной компоненты интеллектуальных систем позволяет определять на множестве введенных объектов широкий набор функционалов, качественно и количественно характеризующих определённую реализацию модели общения. Тогда задача построения оптимальной с точки зрения продуктивности общения интерфейсной компоненты сводится к оптимизационной задаче нахождения экстремума функции, построенной на базе введённых функционалов.

Рассмотрим одну из возможных постановок задачи оптимизации на базе следующих функционалов. Введём показатели, оценивающие процесс означивания произвольного параметра x посредством процедуры h .

Быстрота восприятия кадра k есть функционал:

$$P = \text{FUNC}(s, n, b, m), \text{ где } n \in N, m \in M.$$

Скорость восприятия информации может быть значительно повышена за счёт задействования ассоциативных связей у человека путём правильного подбора фоновых объектов и элементов оформления при выводе определенного кадра. Определяющее воздействие в некоторых случаях может оказать правильно подобранное звуковое сопровождение кадра (например, в случае внештатной ситуации).

Скорость ввода G есть функционал:
 $G = \text{FUNC}(\mathbf{n}, \mathbf{b})$, где

Аналогично определяются показатели достоверности восприятия $E = \text{FUNC}(\mathbf{s}, \mathbf{n}, \mathbf{b}, \mathbf{m})$ и достоверности ввода $Q = \text{FUNC}(\mathbf{n}, \mathbf{b})$. Не вызывает сомнений, например, что при выборе из меню, число ошибок будет меньшим по сравнению со способом ввода значения с клавиатуры.

При такой постановке оптимальной можно считать систему, построенную на наборе интерфейсных объектов, интегрированных в кадровую среду, обеспечивающую максимум функции:

$$S_{\text{Int}} = \max_{s,n,b,m} W,$$

$$\text{где } W = \frac{P(s,n,b,m) \times G(n,b)}{P(s,n,b,m) \times G(n,b)}$$

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭС.

Экспертные системы как любой сложный объект характеризуются совокупностью признаков. Рассмотрим классификацию ЭС по следующим признакам [Хайес-Рот, 1987; Гаврилова, 1992; 2001]:

1. По решаемой задаче:

- *ЭС интерпретации данных* — предназначены для определения смысла данных. Результаты должны быть согласованными и корректными. В рамках таких систем предусматривается многовариантный анализ данных.

Интерпретирующие системы выводят описания ситуаций из наблюдаемых данных. К этой категории относятся распознавание, понимание речи, анализ изображений, определение химической структуры, интерпретация сигналов и многие виды анализа информации. Интерпретирующие системы объясняют наблюдаемые данные, приписывая им символичный смысл, описывающий ситуацию или состояние системы, обуславливающие эти данные.

- *ЭС диагностики* — выполняют процессы отнесения объекта к некоторому классу и обнаружения неисправностей в некоторых системах. Неисправностью в данном случае считается любое отклонение от нормы. Такая трактовка позволяет с единых теоретических позиций рассматривать и неисправности оборудования в технических системах, и заболевания живых организмов, и природные аномалии.

Системы диагностики судят о нарушениях в работе системы по наблюдениям. К этой категории относится среди прочего диагностика в медицине, электронных схемах, механических устройствах и в системах программного обеспечения. Обычно системы диагностики соотносят наблюдаемые нарушения поведения систем с обусловившими их причинами, опираясь на один из двух следующих методов. В первом, по существу, используется какая-то таблица ассоциативных связей между типами поведения и диагнозами. Во втором методе совместное использование знаний о том, как устроена система, и знаний о слабых местах конструкции или реализации устройства или используемых деталей позволяет строить предположения о неисправностях, совместимых с наблюдаемыми данными

- *ЭС мониторинга* — ориентированы на непрерывную интерпретацию данных в реальном масштабе времени и сигнализацию о выходе параметров за допустимые пределы.

Системы мониторинга (предупредительные системы) сопоставляют результаты наблюдений за поведением системы с характеристиками, которые представляются важными для успешного выполнения плана. Эти критические свойства, или опасные места, соответствуют возможным слабостям плана. В общем случае системы мониторинга определяют опасные места следующими двумя способами. Один тип опасности соответствует такому предполагаемому условию, нарушение которого сведет на нет целесообразность этого плана. Другой тип опасности возникает, когда некоторый потенциальный эффект, вытекающий из плана, нарушает одно из ограничений, учитываемых планом. Последний случай соответствует нарушению работы системы в прогнозируемых состояниях. Существует множество систем мониторинга с использованием вычислительной машины для атомных электростанций, воздушного движения, для задач, связанных с заболеваниями, с регулированием и управлением финансами, хотя ни одна из экспертных систем, нацеленных на решение этих задач, не вышла за пределы лаборатории.

- *ЭС проектирования* — готовят спецификации на создание предметов (например, информационно-программных изделий) с заранее заданными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых технических графических и текстовых документов.

Системы проектирования строят конфигурации объектов, которые удовлетворяют ограничениям, присущим данной задаче проектирования. К таким задачам относятся синтез и компоновка электронных схем, проектирование зданий и составление бюджета. В системах проектирования строятся различные сочетания описаний объектов друг с другом и проверяется, удовлетворяют ли подобные конфигурации сформулированным ограничениям [62, 75, 82, 90]. Кроме того, во многих системах проектирования делается попытка минимизировать некоторую целевую функцию, учитывающую взгляд на систему проектирования, что позволяет включить сюда задачу о целенаправленном поведении, в которой целевая функция служит мерой приближения к цели.

- *ЭС отладки* — дают рекомендации относительно ликвидации плохого функционирования. В этих системах для создания спецификаций или рекомендаций для исправления обнаруженных затруднений используются средства планирования, проектирования и прогнозирования. Существуют машинные системы отладки программ для вычислительных машин в виде интеллектуальной базы знаний и редакторов текста, но ни одну из них не принято считать экспертной системой.

- *ЭС ремонта* — строят и выполняют планы организации исправления некоторого обнаруженного дефекта. В таких системах используются средства отладки, планирования и выполнения. Машинные системы такого сорта встречаются в автомобильной промышленности при эксплуатации инженерных сетей, в авиации и для обеспечения работы компьютеров, как и во многих других, но экспертные системы здесь делают лишь первые шаги.

- *ЭС планирования* — находят планы действий, относящиеся к объектам, способным выполнять некоторые функции. В таких ЭС используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.

Системы планирования специализируются на проблемах проектирования, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции. Сюда относятся автоматическое программирование и задачи планирования поведения робота, планирование при проектировании, составление маршрута, планирование коммуникаций, планирование эксперимента и планирование в военной области [195, 196, 95, 179, 181].

- *ЭС прогнозирования* — логически выводят вероятные следствия из заданных ситуаций. К этой категории относятся системы предсказания погоды, демографические прогнозы, прогнозирование дорожной обстановки, оценки будущего урожая и прогнозы в военной области. В прогнозирующей системе обычно используется параметрическая динамическая модель, в которой значения параметров подгоняются под данную ситуацию. Выводимые из этой модели следствия составляют основу для прогнозов. Если не делать вероятностных оценок, то прогнозирующие системы могут порождать большое число возможных сценариев будущих событий.

- *ЭС обучения* — диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения.

Системы обучения диагностируют и отлаживают «поведение студента» [24, 23, 38, 39, 188]. В них используются подсистемы диагностики и отладки, специально ориентированные на студента. Как правило, работа таких систем начинается с создания гипотетического описания знаний студента, позволяющего интерпретировать его поведение. Затем они диагностируют слабости в познаниях студента и находят соответствующие средства для их ликвидации. Наконец, они планируют акт общения со студентом, целью которого является передача студенту необходимых сведений.

- * *ЭС управления* — обеспечивают адаптивное управление поведением некоторой системы. Чтобы сделать это, управляющая система должна постоянно интерпретировать текущую ситуацию, прогнозировать будущее, диагностировать причины возникающих проблем, формулировать план их ликвидации и контролировать его выполнение, обеспечивая его успех. К задачам, решаемым управляющими системами, относятся управление воздушным транспортом, управление деловой активностью, управление военными действиями.

Все рассмотренные типы ЭС могут быть объединены в две группы — ЭС синтеза и анализа. Принципиальное их отличие состоит в том, что для систем анализа пространство решений детерминировано и ограничено определенным заранее множеством. Для систем синтеза множество решений потенциально, решение строится (конструируется) в процессе рассуждений. К системам *анализа* относятся системы интерпретации, диагностики. К системам *синтеза* — проектирования, планирования. К *комбинированным* системам относятся ЭС обучения, мониторинга, прогнозирования.

2. По связи с реальным временем:

- *Статические ЭС* — работают в предметных областях, где представления и знания носят достаточно выраженный статический характер (слабо или почти не изменяются со временем). Примером тому может служить диагностика неисправностей автомобилей.

- *Квазидинамические ЭС* — интерпретируют ситуацию по совокупности отсчетов (измерений), поступающих дискретно, через заданные отсчеты времени, и анализируют динамику изменения показателей исследуемого процесса. Это системы управления и оценки состояния химических и биологических производств.

- *Динамические ЭС* — проводят непрерывную по времени оценку быстро меняющейся ситуации, данные о которой поступают разными путями (в т.ч. через непосредственно присоединенные датчики) и интерпретируют получаемые данные для выработки управляющих воздействий. Это системы контроля ГПС, системы мониторинга в реанимационных палатах. Встречается и расширенное толкование динамических ЭС. Под такими ЭС понимаются системы, которые отслеживают процессы, проходящие на фоне изменения текущего состояния предметной области. Тогда исходные данные, описывающие предметную область, изменяются за время решения задачи. Считается, что на традиционных (числовых) последовательных ЭВМ с помощью существующих методов инженерии знаний можно решать только статические задачи, а для решения динамических задач, составляющих большинство реальных приложений, необходимо использовать специализированные символьные ЭВМ.

3. По степени интеграции:

- *Автономные ЭС* — поддерживают только режим консультации по поводу каких-либо ситуаций на основе имеющихся знаний в данной ПО.

- *Интегрированные (или гибридные) ЭС* — содержат в себе прикладные подсистемы целевого назначения (обработки прикладной информации) или являются частью больших интегрированных многофункциональных пакетов, выполняя экспертизу ситуации, данные о которой могут быть получены, обработаны и использованы другими подсистемами. Следует отметить, что процесс проектирования интегрированных ЭС на порядок превышает по сложности процесс проектирования автономных ЭС,

поскольку в этом случае встает вопрос о концептуальной совместимости технологий обработки информации в рамках каждой из подсистем и разработки принципов и методов их взаимодействия.

4. По способу использования знаний:

- *Поверхностные ЭС* — представляют знания об области экспертизы в виде правил (условие → действие). Условие каждого правила определяет образец некоторой ситуации, при соблюдении которой правило может быть выполнено. Поиск решения состоит в выполнении тех правил, образцы которых сопоставляются с текущими данными (текущей ситуацией в РП). При этом предполагается, что в процессе поиска решения последовательность формируемых таким образом ситуаций не оборвется до получения решения.

- *Глубинные ЭС* — кроме возможностей поверхностных систем, обладают способностью при возникновении неизвестной ситуации определять с помощью некоторых общих принципов, справедливых для области экспертизы, какие действия следует выполнить.

5. Поколения ЭС.

- Первое — автономные поверхностные ЭС.
- Второе — статические глубинные ЭС (сюда же, как правило относят гибридные ЭС).
- Третье — динамические ЭС.

6. Классы ЭС:

- *Простые ЭС* — могут быть охарактеризованы следующим набором основных параметров: поверхностная ЭС, автономная ЭС (реже гибридная); выполненная на ПЭВМ, коммерческая стоимость от 100 до 25.000 дол.; стоимость разработки от 50 тыс. до 300 тыс. дол.; время разработки от 3 мес. до 1 года (при развитых средствах их разработки); от 200 до 1000 правил.

- *Сложные ЭС* — характеризуется таким набором параметров: глубинная ЭС, гибридная ЭС, выполненная либо на символьной ЭВМ, либо на мощной универсальной ЭВМ, либо на интеллектуальной рабочей станции; коммерческая стоимость от 50 тыс. до 1 млн. дол.; средняя стоимость разработки 5–10 млн. дол.; время разработки от 1 до 5 лет; от 1500 до 10 тыс. правил.

7. По стадии существования:

- *Демонстрационный прототип.* Имеет в БЗ 50–100 правил. Решает часть задач, демонстрируя жизнеспособность метода инженерии знаний.

- *Исследовательский прототип.* Решает все задачи, но неустойчива и не полностью проверена. 200–500 правил в БЗ.

- *Действующий прототип.* Надежно, но недостаточно быстро решает все задачи. 500–1000 правил в БЗ.

- *Промышленное изделие.* Высокое качество решения всех типов задач при минимуме времени и памяти. 1000–1500 правил в БЗ. Для доведения ЭС до этой стадии требуется 1–1,5 года.

- *Коммерческая система* пригодна не только для собственного пользования, но и для продажи различным потребителям. Для доведения до этой стадии требуется 1,5–3 года и 0,3–5 млн. дол. При этом в БЗ системы 1500–3000 правил.

8. Другие классификации.

В литературе можно также найти классификацию *по назначению, предметной области, глубине ее анализа, по типу используемых методов и знаний, по стадиям существования, по типу использованных для их создания инструментальных средств.*

Литература

Документы

ГОС, 2000

Словари

- АРСЛС, 1996 Англо-русский словарь по лингвистике и семиотике. Около 8000 терминов. Т1. / А.Н. Баранов, Д.О. Добровольский, М.Н. Михайлов, П.Б. Паршин, О.И. Романова. Под ред. А.Н. Баранова, Д.О. Добровольского. М.: Помовский и партнеры, 1996. — 656 с.
- Даль, 1989 *Даль В.* Толковый словарь живого великорусского языка: Т.1–4. М.: Рус. яз., 1989–1991.
- Ожегов, 1992 *Ожегов С.И. и Шведова Н.Ю.* Толковый словарь русского языка: 72500 фразеол. Выражений / Российская АН. Ин-т рус. яз.; Российский фонд культуры. М.: Азъ ltd., 1992 — 960 с.
- РАС, 1994 Русский ассоциативный словарь: Кн.1–6. / Ю.Н.Караулов, Ю.А.Сорокин, Е.Ф.Тарасов, Н.В.Уфимцева, Г.А.Черкасова. М.: Российская АН, Ин-т. рус. яз., 1994–1998.
- САР, 2001 Словарь Академии Российской 1789–1794. Т. 1–6. М.: МГИ им. Е.Р. Дашковой. 2001–2003.
Т.1: А–В. 2001. — 688 с.
Т.3: З–Л. 2002. — 832 с.
- Синклер, 1999 *Синклер А.* Большой толковый словарь компьютерных терминов. Русско-английский, англо-русский. М.: Вече, АСТ, 1999. — 512 с.
- СК, 1979 Словарь по кибернетике / Под ред. В.М.Глушкова. К.: Гл. ред. Украинской Советской Энциклопедии, 1979. — 624 с.
- СЛРЯ, 1975 Словарь русского языка XI–XVII вв.: Вып.1–25. / Российская АН. Ин-т рус. яз. М.: Наука. 1975–2000.
Вып.6: Зипун–Иянуарий. 1979. — 360 с.
- СЛРЯ, 2001 Словарь русского языка XI–XVII вв. Справочный выпуск. / Российская АН. Ин-т рус. яз. М.: Наука, 2001. — 814 с.
- СЭС, 1980 Советский энциклопедический словарь. М.: Советская Энциклопедия, 1980. — 1600 с.
- Терминология, 1989 Вычислительная техника. Терминология: Справочное пособие. М.: Издательство стандартов, 1989. — 168 с. — (Вып. 1).
- ТТС ИВМ, 1978 Вычислительная техника и обработка данных. Терминологический толковый словарь фирмы ИВМ. Перевод с англ. Т.Тер-Микаэляна. М.: Статистика, 1978. — 231 с.. Data processing glossary. C20-1699. IBM, August, 1971.

Авторские работы

- ALLERGY, 1992 Экспертная система поддержки выбора метода обезболивания стоматологических вмешательств у пациентов с аллергическими заболеваниями —ANESTHESIA. Краткое описание. / Стош В.И., Малыгин А. Г., Филиппович Ю.Н. М.:НПП "Фрегат", 1992. — 14 с.
- IE, 1992 IMAGE EXPERT - интегрированная оболочка поддержки интеллектуальных технологий и систем. Краткое описание. / Филиппович Ю.Н., Малыгин А.Г., Мельников К.В., Крылов А.Б., М.: НПП "Фрегат", 1992. — 12 с.

- IMAGE EXPERT, 1992** Интегрированная оболочка поддержки интеллектуальных технологий и систем — IMAGE EXPERT. Практическое пособие/ Ю.Н.Филиппович, А.Г.Малыгин, К.В.Мельников, А.Б.Крылов. М.: НПП "Фрегат", 1992. — 43 с.
- INFANTA, 1992** Медицинская экспертная система нарушений дыхания в период постнатальной адаптации — INFANTA. Краткое описание. / Белова О.Н., Малыгин А.Г., Филиппович Ю.Н. М.: НПП "Фрегат", 1992.- 14 с.: ил.
- MEDMAG, 1992** Экспертная система для диагностики и выбора метода лечения и профилактики остеохондроза позвоночника — MEDMAG. Краткое описание. / Барашков Г.Н., Малыгин А.Г., Филиппович Ю.Н. М.: НПП "Фрегат", 1992. — 16 с.: ил.
- Filippovich, 1992** Y.Filippovich and O.Belova. Expert system for respiration process analyses during the neonatal adaption - INFANTA./ IFSICC - 92. Reports./ IFSIC and University of Louisville, Kentucky, 1992.
- VASA COR, 1992** Экспертная система для выработки диагностических и хирургических решений при лечении больных ишемической болезнью сердца — VASA COR. Краткое описание. / Белов Ю.В., Малыгин А.Г., Филиппович Ю.Н. М.: НПП "Фрегат", 1992.—14 с.: ил.
- Филиппович, 1990а Персональные автоматизированные информационные системы
- Филиппович, 1990б Языковые средства диалога человека с ЭВМ
- Филиппович, 2002а Указатель
- Филиппович, 2002б Метафоры
- Филиппович, 2002в Ассоциации
- Филиппович, 2002г Семантика**

Цитируемые источники¹

- Алиев, 1990** Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990.-264 с.: Табл. 13. Ил. 66. Библиогр. 217 назв.
- Бенерджи, 1972** Бенерджи Р. Теория решения задач. Пер с англ. — М.: Мир, 1972.
- Братко, 1990**
- Гаврилова, 1992** Гаврилова Т. А., Червинская К. Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем - М.: Радио и связь, 199В.-200 с.: Табл. 15. Ил. 45. Библиогр. 216 назв.
- Герман, 1995** Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний, Мн.: ДизайнПРО, 1995. — 255 с.
- Глушков, 1976** Глушков. В.М. Научные проблемы развития вычислительной техники./ Вестник АН СССР, 1976, №2, с.28–44.
- Громов, 1982** Громов Г.Р. Национальные информационные ресурсы: Проблемы промышленной эксплуатации. М.: Наука, 1982. — 552 с.

¹ Жирным выделены источники, которые представлены в 3 главе.

- Громов, 1993 *Громов Г.Р.* Очерки информационной технологии. М.: Инфоарт, 1993. — 336 с.
- Заде, 1976 *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
- Кнут, 2001 *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. т.3. Сортировка и поиск
- Крисевич, 1990**
- Кузин, 1989** *Кузин Е.С., Ройтман А.И., Фоминых И.Б., Хахалин Г.К.* Интеллектуализация ЭВМ / Перспективы развития вычислительной техники: Справ. Пособие. В 11 кн. Кн. 2. Под ред. Ю. М. Смирнова. -М.: Высш. шк" 1989. - 159 с.: ил. Библиогр. 24 назв.
- Левин, 1990** *Р. Левин, Д. Дранг, Б. Эделсон.* Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике: Пер. с англ.; Предисловие М. Л. Сальникова, Ю. В. Сальниковой. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 239 с.
- Левитин, 1991 *Будущее искусственного интеллекта.* М.: Наука, 1991. — 302 с. — (Редакторы-составители: К.Е.Левитин и Д.А.Поспелов.)
- Леонтьев, 1975 *Леонтьев А.Н.* Деятельность, сознание, личность. М., 1975
- Лорьер, 1991 *Лорьер Ж.-Л.* Системы искусственного интеллекта: пер. с англ. Евграфова С. М., Девишев Р. И., Дихтяр В. И., канд. физ.-мат. наук Чигирь С. Д. Под ред. В. Л. Стефанюка М.: Мир, 1991-568 с., ил. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE Resolution de problemes par l'Homme et la machine par Jean-Louise Lauriere Professeur a l'Universite Pierre et Marie Curie Groupe de Recherche CNRS C.F. PICARD-PARIS TROISIEME EDITION nouveau tirage Eyrolles, Paris, 1987.
- Лук, 1966 *Лук А.Н.* Память и кибернетика. — М.: Наука, 1966.
- Макалистер, 1990**
- Малыгин, ХХХХ**
- Марселлус, 1994** *Марселлус Д.* Программирование экспертных систем на Турбо Прологе: Пер. с англ. / Предисл. С.В.Трубицына. — М.: Финансы и статистика, 1994. — 256 с.
- Минский, 1979** *Минский М.* Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. О.Н.Гринбаума под ред. Ф.М.Кулакова. - М.: Энергия, 1979.-152 с., с ил. Библиогр. 65 назв. MARVIN MINSKY. A FRAMEWORK FOR REPRESENTING KNOWLEDGE MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, CAMDRIDGE, 1974 г.
- Нейлор, 1991** *Нейлор К.* Как построить свою экспертную систему: Пер, с англ.—М.: Энергоатомиздат, 1991.—286 с.: ил.
- Нильсон, 1973 *Нильсон Н.* Искусственный интеллект. Методы поиска решений: пер. с англ. М.: Мир, 1973. — 376 с. Nils J. Nilsson. Problem-solving Methods in Artificial Intelligence. New York: McGraw-Hill, 1971.
- Нильсон, 1985** *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1985. — 376 с. Nils J. Nilsson. Principles of Artificial Intelligence. / SRI International. Palo Alto, California: Tioga Publishing Co., 1980.
- Попов, 1990** *Попов Э.В.* Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лнт., 1987.- (Пробл. искусственного интеллекта). Табл. 48. Ил. 54. Библиогр. 184 назв.
- Попов, 1995 *Попов Э.В.* Экспертные системы реального времени.// Открытые системы, №2 (10), 1995.
- Пособие, 1990**
- Г.Поспелов, 1988** *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. — 280 с.

- Д.Поспелов, 1988 *Поспелов Д.А.* Послесловие / Горелов И.Н. Разговор с компьютером: психолингвистический аспект проблемы. М.: Наука, 1988. С.230–250.
- Д.Поспелов, 1990 *Поспелов Д.А.* Структура исследований в области искусственного интеллекта / Лекции всесоюзной школы по основным проблемам искусственного интеллекта и интеллектуальным системам. Ч.1. Минск: Советская ассоциация искусственного интеллекта, научный совет по проблеме «Искусственный интеллект», Институт технической кибернетики АН СССР, Институт технической кибернетики АН БССР, 1990.
- Прохоров,1976 *Прохоров А.М.* Физика твердого тела и ее роль в науке и практике. / Вестник АН СССР, 1976. №2, с.19–27.
- Роуз, 1995 *Роуз С.* Устройство памяти: от молекулы к сознанию. Пер. с англ. — М.: Мир, 1995. — 384 с.
- Сойер, 1990** *Сойер Б., Фостер Д.Л.* Программирование экспертных систем на Паскале:Пер с англ.; Предисловие В.П.Иванникова.- М.: Финансы и статистика, 1990. -191 с.:ил.
- Таунсенд, 1990** *К.Таунсенд, Д.Фохт.* Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. - М.: Финансы и статистика, 1990.
- Тей, 1990** Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию: Пер. с франц./ А. Тей, П. Грибомон, Ж. Луи, Д. Снийерс, П. Водон, П. Гоше, Э. Грегуар, Э. Санчес, Ф. Дельсарт - М.: Мир, 1990. - 432 с., ил. Библиогр. 115 назв
- Тихомиров, 1979 *Тихомиров О.К.* Предисловие / Интеллект человека и программы ЭВМ // Под ред. О.К.Тихомирова М.: Наука, 1979.– С.3–10.
- Уинстон, 1980 *Уинстон П.* Искусственный интеллект: пер. с англ. М.: Мир, 1980. — ??? с.
- Фогель, 1969** *Фогель Л., Оуэнс А., Уолли М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование: пер. с англ. М.: Мир, 1969. — 230 с.
- Форсайт, 1987** Экспертные системы: принципы работы и примеры. Под редакцией Р.Форсайта Перевод с английского С.И.Рудакова под редакцией В.Л.Стефанюка М.: Радио и связь, 1987 — Кибернетика
- Хант, 1978** *Хант Э.* Искусственный интеллект: пер. с англ. М.: Мир, 1978. — 560 с. Earl V. Hunt. Artificial Intelligence. / Department of Psychology University of Washington. New York, San Francisco, London: Academic press, 1975.
- Хейес-Рот, 1987** Построение экспертных систем. Редакторы: Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат: Пер с англ. Под ред. В.Л.Стефанюка. — М.: «Мир», 1987. — 441 с., ил.
- Хювёнен, 1990**
- Элти и Кумбс, 1991** Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры / Пер. с англ. и предисл. Б. И. Шитикова.- М.: Финансы и Статистика, 1987-1991
- Эндрю, 1985** *Эндрю А.* Искусственный интеллект Перевод с английского канд. техн. наук В.Л. Стефанюка под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д.А. Поспелова М.: Мир, 1985. - 264 с. Библиогр. 111 Назв.
- Эндрю, 1991**
- Edelman, 1987–89 *Edelman G.* Neural Darwinism: The Theory of neuronal group selection; Topobiology; and The Remembered Present, Basic Books, 1987, 1988, 1989.
- Hebb, 1949 *Hebb D.O.* Organization of behavior. NY, Science Editions, 1949
- Kosko, 1994 *Kosko B.* Fuzzu systems of approximators. — IEEE TRANS. on Computers. v.43, 11., 1994 p.1329–1333.
- Kosko, 1997 *Kosko B.* Fuzzu Engineering. Prentice-Hall, Neww Jersey, 1997. —549 pp.

- Newell, 1972 *Newell A., Simon M.A.* Human Problem Solving. Englewood — Cliffs, NY: Prentice — Hall, 1972.
- Penrose, 1990 *Penrose R.* The Emperor's New Mind. Oxford University Press, 1990.
- Russell, 1994 *Russell S., Norvig P..* Artificial Intelligence: A modern Approach. Prentice Hall, 1994. — 840 p.]
- Searle, 1984 *Searle J.R.* Minds, Brains and Science. Harvard University, 1984.
- Zadeh, 1965 *Zadeh L.F.* Fuzzy sets // Information and Control, 1965, n.8,3. — p. 338–353.
- Widrow, 1959 *Widrow B.* Adaptive sampled-data system, a statistical theory of adaptation. IRE Wescon Convention Record, part 4. NY.: Institute of Radio Engineers, 1959.