



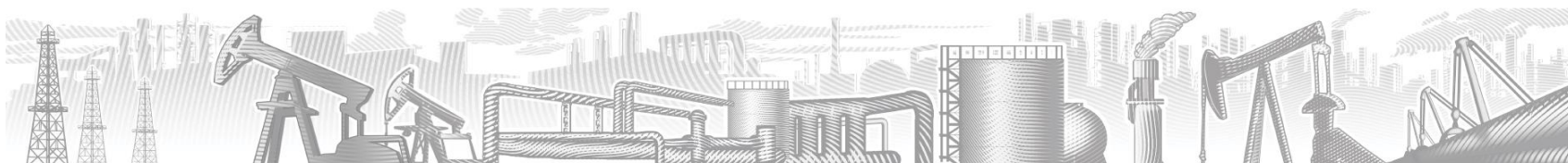
**УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА (филиал в г. Октябрьском)



Кафедра «Информационные технологии, математика и естественные науки»

Курс ДОП
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

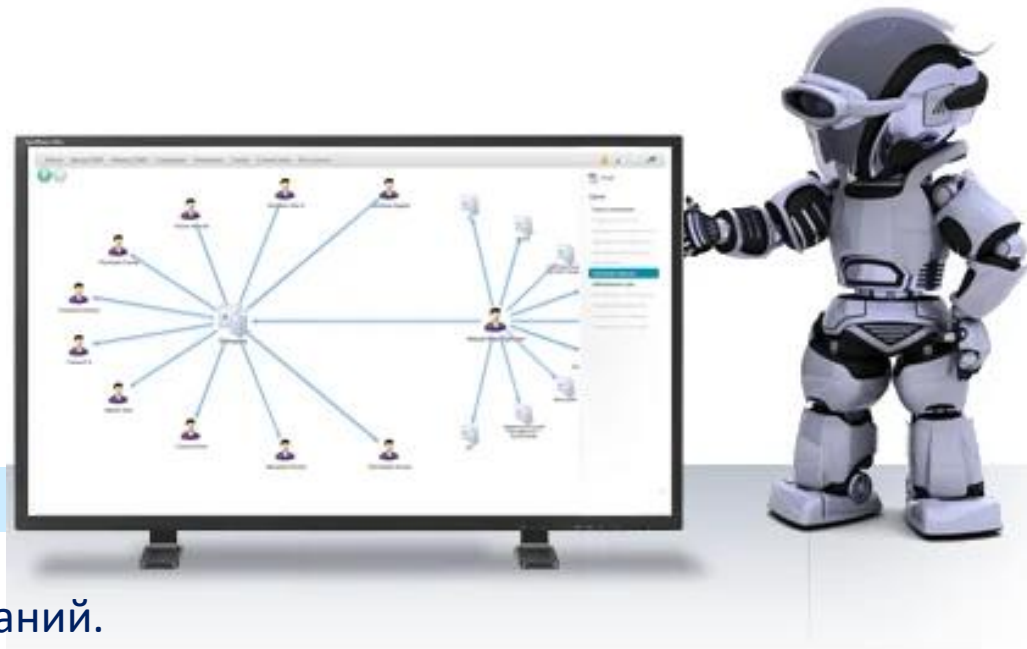
Разработал д.т.н. Тынчеров Камиль Талятович



РАЗДЕЛ 2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Лекция 3. Состав знаний экспертной системы

Тема предыдущей лекции: Проект Blue Brain



Учебные вопросы лекции

1. Задачи представления знаний.
2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области
3. Классификация знаний с точки зрения архитектуры ЭС.

Представление знаний в экспертных системах :
учебное пособие / сост. В. А. Морозова, В. И. Паутов. —
Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 120 с.
ISBN 978-5-7996-2037-0

Экспертные системы (ЭС) — первый продукт, появившийся на информационном рынке, как итог 30-летней изыскательской работы в области искусственного интеллекта (ИИ) [1; 2; 3].

ЭС представляют собой программы для компьютера, которые могут воспроизводить процесс решения проблемы человеком-экспертом.

В настоящее время интерес к ЭС со стороны промышленности чрезвычайно возрос, поскольку они способны дать средства, стимулирующие повышение производительности труда и увеличение прибыльности производства [4; 5; 6].

По классическому определению экспертная система — это программный продукт, в котором используется искусственный интеллект в виде типовых логических правил, содержащихся в базе знаний, заполняемой экспертом. Работа системы построена по алгоритму, имитирующему мыслительный процесс.



В начале 80-х гг. XX в. в рамках искусственного интеллекта сформировалось самостоятельное направление — «**инженерия знаний**», в задачу которого входят разработка, исследование и использование экспертных систем. Термин «инженерия знаний» введен Е. Фейгенбаумом как «привнесение принципов и инструментария исследований из области искусственного интеллекта в решение трудных прикладных проблем, требующих знаний экспертов» [7]. Огромный интерес к ЭС вызван следующими основными причинами.

Во-первых, они ориентированы на решение широкого круга задач в неформализованных областях, т. е. на приложения, которые до недавнего времени считались малодоступными для вычислительной техники.

Во-вторых, экспертные системы позволяют специалистам, не имеющим навыков программирования, создавать практически значимые приложения, что резко расширяет сферу использования вычислительной техники.

В-третьих, экспертные системы при решении практических задач позволяют получать результаты, сравнимые, а иногда и превосходящие те, которые может получить эксперт-человек.

В-четвертых, современные ЭС легко объединяются с традиционными программными системами (системами управления базами данных, пакетами прикладных программ и т. д.) в интегрированные приложения.-



При рассмотрении ЭС используются следующие основные понятия [8]: предметная область, проблемная область, данные, знания.

Под **предметной областью** будем иметь в виду область экспертизы или знания об этой области. Понятие проблемная область включает предметную область и задачи, решаемые в этой области.

Термин «**проблемная область**» будет использоваться в тех случаях, когда необходимо подчеркнуть, что речь идет не только об описании фактов области экспертизы, но и о задачах, решаемых в этой области.

Под **данными** будем понимать исходные, промежуточные или окончательные данные о решаемой в текущий момент задаче, т. е. данные — это та информация, которая существует в ходе консультаций.

Под **знаниями** будем понимать любую информацию (в том числе и конкретные факты), которая хранится в системе вне зависимости от того, решает система задачу или нет.

Данный раздел посвящен одному из центральных вопросов, возникающих при проектировании экспертных систем (ЭС), — **проблеме представления знаний**.

В области экспертных систем представление знаний означает не что иное, как систематизированную методику описания на машинном уровне того, что знает человек-эксперт, специализирующийся в конкретной предметной области.



Любое общение человека с миром техники предполагает наличие некоторого предварительного знания. Если, например, некто берется за поиск неисправности в цифровой схеме, то это предполагает, что он обладает определенными базовыми знаниями из области электротехники и цифровой техники. Нет необходимости подчеркивать, что компьютер (в чистом виде) никакими предварительными знаниями не обладает, а потому техническая экспертиза — набор качеств, лежащих в основе высокого уровня работы людей — специалистов при решении проблем в определенной узкой области, — должна включать и эти предварительные знания.

И наконец, представление предполагает определенную организованность знаний. Представление знаний должно позволить извлекать их в нужной ситуации с помощью относительно несложного и более-менее естественного механизма. Простого перевода информации (знаний) в форму, пригодную для хранения на машинных носителях, здесь явно недостаточно. Для того чтобы можно было достаточно быстро извлекать те элементы знаний, которые наиболее пригодны в конкретной ситуации, база знаний должна обладать достаточно развитыми средствами индексирования и контекстной адресации. Тогда программа, использующая знания, сможет управлять последовательностью применения определенных «элементов» знания, даже не обладая точной информацией о том, как они хранятся.



1. Задачи представления знаний

Первый и основной вопрос, который надо решить при представлении знаний, это вопрос определения состава знаний, т. е. определение того «ЧТО представлять» в ЭС [9].

Важность вопроса **«ЧТО представлять»** определяется тем, что решение именно этой проблемы обеспечивает адекватное отображение моделируемой сущности в системе.

Второй вопрос касается того **«КАК представлять»** знания. Необходимо отметить, что проблемы «ЧТО представлять» и «КАК представлять» не являются независимыми [7; 8].

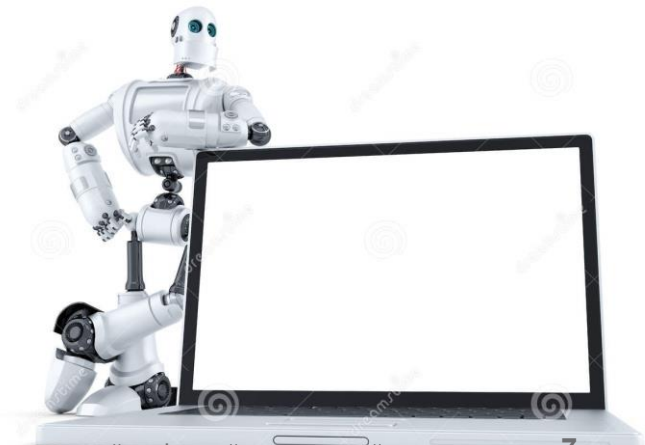
Вопрос «КАК представлять» можно разделить на две в значительной степени независимые задачи:

- 1) как организовать (структурировать) знания,
- 2) как представить знания в выбранном формализме.

Стремление выделить организацию знаний в самостоятельную задачу вызвано, в частности, тем, что эта задача возникает для любого языка представления, и способы решения этой задачи являются одинаковыми (либо сходными) вне зависимости от используемого формализма.

Итак, **задачи, решаемые при представлении знаний** [7; 8]:

1. определение состава представляемых знаний;
2. организация знаний;
3. представление знаний, т. е. определение модели представления;
4. использование выбранного представления.



1. Задачи представления знаний

СОСТАВ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Состав знаний ЭС определяется следующими **факторами** [7, 8]:

- проблемной средой (областью);
- архитектурой (структурой) ЭС;
- потребностями и целями пользователей;
- языком общения.



1. Задачи представления знаний

СОСТАВ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В соответствии с общей схемой **статической экспертной системы** (см. рис. 2.1) для ее функционирования требуются следующие **знания** [7; 8]:

- знания о процессе решения задачи (т. е. управляющие знания), используемые интерпретатором (решателем);
- знания о языке общения и способах организации диалога, используемые лингвистическим процессором (диалоговым компонентом);
- знания о способах представления и модификации знаний, используемые компонентом приобретения знаний;
- поддерживающие структурные и управляющие знания, используемые объяснительным компонентом.

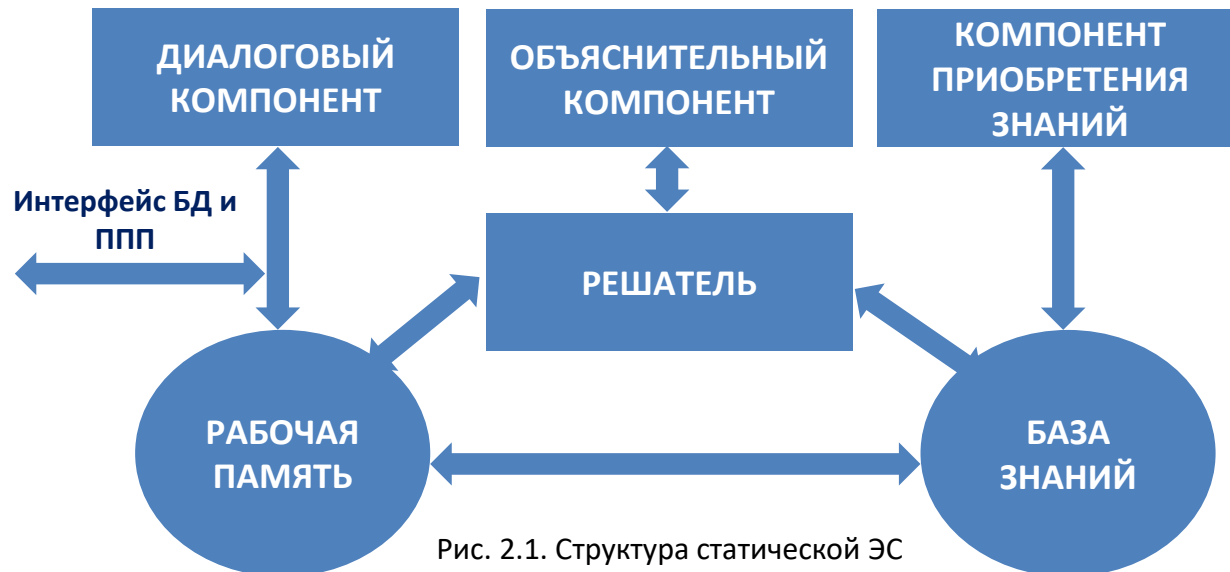


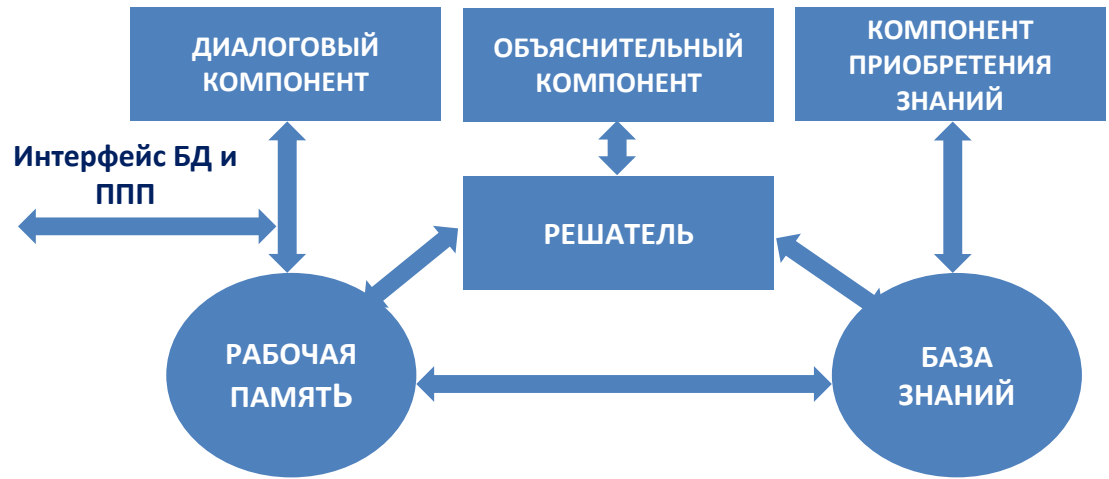
Рис. 2.1. Структура статической ЭС

1. Задачи представления знаний

СОСТАВ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Для **динамической ЭС**, кроме того, необходимы следующие **знания** (рис. 2.2):

- знания о методах взаимодействия с внешним окружением;
- знания о модели внешнего мира.



СТАТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА

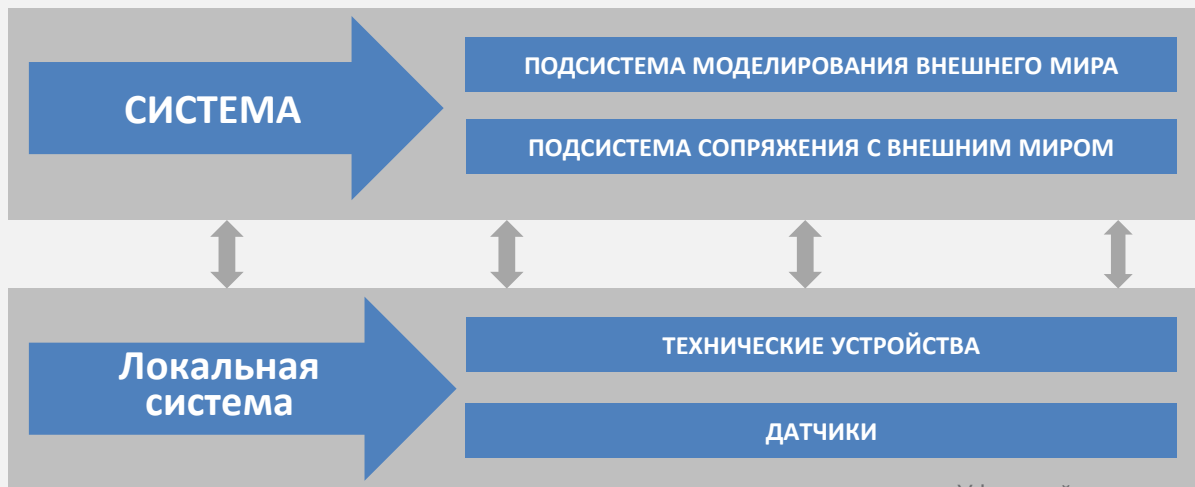


Рис. 2.2. Архитектура статических и динамических ЭС (компоненты, подвергающиеся изменениям, имеют тень)

1. Задачи представления знаний

СОСТАВ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Зависимость состава знаний от требований пользователя проявляется в следующем [7; 8]:

- 1) какие задачи (из общего набора задач) и с какими данными хочет решать пользователь;
- 2) каковы предпочтительные способы и методы решения;
- 3) при каких ограничениях на количество результатов и способ их получения должна быть решена задача;
- 4) каковы требования к языку общения и к организации диалога;
- 5) какова степень общности/конкретности знаний о проблемной области, доступная пользователю;
- 6) каковы цели пользователей.

Состав знаний о языке общения зависит как от языка общения, так и от требуемого уровня понимания.

Рассмотрим классификацию знаний с точки зрения проблемной области и с точки зрения архитектуры ЭС



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

Понятие «проблемная среда» включает предметную область (множество сущностей, описывающих область экспертизы, т. е. множество объектов, значений их характеристик и связывающих их отношений) и решаемые в предметной области задачи [7].

Иначе говоря, проблемная среда включает сущности (структуры данных) и решаемые над ними задачи, представляемые в виде исполняемых утверждений (в виде правил, процедур, формул и т. п.). В связи с этим проблемная среда определяется характеристиками соответствующей предметной области и характеристиками типов решаемых в ней задач. Заметим, что наряду с понятием «проблемная среда» используется синонимичный ему термин «проблемная область».



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

Характеристики предметной области определяются следующим набором параметров [7]:

1) тип предметной области:

- статический, т. е. входные данные не изменяются за время сеанса работы приложения, значения других (не входных) данных изменяются только ЭС;
- динамический, т. е. входные данные, поступающие от внешних источников, изменяются во времени, значения других данных изменяются ЭС или подсистемой моделирования внешнего окружения;

2) способ описания сущностей предметной области:

- совокупность атрибутов и их значений (фиксированный состав сущностей);
- совокупность классов (объектов) и их экземпляров (изменяемый состав сущностей);

3) способ организации сущностей в БЗ:

- неструктурированная БЗ;
- структурирование сущностей БЗ по различным иерархиям (наиболее распространенные иерархии: «общее/частное», «часть/целое»), что обеспечивает наследование свойств сущностей, представляемых в БЗ.



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

Характеристиками типов задач являются [7]:

- 1) тип решаемых задач:
 - задачи анализа и (или) синтеза;
 - статические или динамические задачи;
- 2) частность (общность) исполняемых утверждений (правил, процедур, формул и т. д.):
 - частные (специализированные, конкретные) исполняемые утверждения;
 - общие исполняемые утверждения.

Наиболее естественным для человека способом описания сущностей предметной области является соотнесение с ними в памяти ЭВМ объектов, состоящих из атрибутов со значениями. Обычно вводится описание объекта некоторого типа, в соответствии с которым создаются конкретные экземпляры объектов этого типа. При этом количество экземпляров объекта никак не ограничивается, т. е. состав представляемых сущностей при таком представлении проблемной области является изменяемым.



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

Однако для простых приложений при малом количестве объектов (от 1 до 5) иногда применяют упрощенное представление в виде атрибут/значение без упоминания объекта, которому эти атрибуты принадлежат. Следствием этого упрощения явилось то, что реально существующие объекты (сущности) предметной области стали представляться в виде фиксированного количества размноженных имен соответствующих атрибутов. Например, вместо ссылки на атрибут $i(1 \div K)$ объекта $X(1 \div N)$ использовали ссылку на атрибут $j(1 \div (K \times N))$. Таким образом, вместо K атрибутов вводили $K \times N$ атрибутов.

Достоинства этого подхода состоят в том, что обеспечивается прямая ссылка на атрибут (объект).

Недостатки:

- 1) невозможно использовать «общие» исполняемые утверждения (правила, процедуры, функции и т. п.), ссылающиеся на произвольное количество сущностей; приходится использовать частные (специализированные) утверждения, что увеличивает их количество. Кроме того, при изменении состава сущностей в БЗ приходится вводить новые соответствующие им специализированные утверждения;
- 2) устранение объектов не позволяет явно определить естественные взаимосвязи между атрибутами одного объекта (все атрибуты являются как бы независимыми);
- 3) с устранением объектов исчезает возможность определить иерархию классов объектов [7].



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

Следующим параметром, характеризующим предметную область, является наличие (отсутствие) структурирования БЗ.

Смысл **структурирования БЗ** состоит в следующем:

- 1) ограничить круг сущностей, которые должны рассматриваться механизмом вывода, и таким образом сократить перебор при выборе решения;
- 2) обеспечить наследование свойств сущностей, т. е. передачу свойств вышестоящих в иерархии сущностей нижестоящим, что значительно упрощает процесс приобретения и использования знаний. Например, общие свойства класса «автомобиль» автоматически наследуются всеми подклассами автомобилей и конкретными экземплярами этих подклассов. В подобной иерархии наследуется отношение «являться подмножеством (экземпляром)». Кроме того, широко применяется и другая иерархия — «является частью».

По типу решаемых задач в первую очередь все задачи целесообразно разделить на задачи анализа и синтеза [7; 8].



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

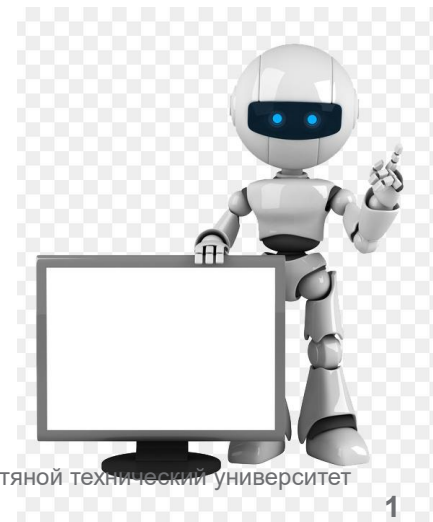
ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

В **задаче анализа** задана модель сущности (объекта) и требуется в результате анализа этой модели определить некоторые неизвестные характеристики (функции) модели.

В **задаче синтеза** задаются условия, которым должны удовлетворять характеристики (функции) некоторой «неизвестной» модели сущности, и требуется построить модель этой сущности. Решение задачи синтеза представляет собой итерационный процесс, состоящий из следующих шагов [7]:

- 1) создание исследовательской модели сущности;
- 2) анализ этой модели (т. е. решение задачи анализа);
- 3) сравнение результатов анализа с условиями задачи.

Таким образом, задача синтеза включает в себя анализ. Отметим, что в процессе создания конкретной ЭС, решающей задачу анализа, разработчик, создавая БЗ (модель области экспертизы), решает задачу синтеза, а построенная ЭС будет решать задачу анализа.



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Задачи синтеза и анализа могут решаться в статических и динамических областях. Если ЭС базируется на предположении, что исходная информация о предметной области (об окружающем мире), на основе которой решается задача, не изменяется за время решения задач, то говорят о статической предметной области (точнее о статическом представлении области в ЭС); если информация о предметной области изменяется за время решения задач, то говорят о **динамической предметной области**. При представлении динамической области возникает задача моделирования окружающего мира, в частности моделирования активных агентов.

Если задачи, решаемые ЭС, явно не учитывают фактор времени и (или) не изменяют в процессе своего решения данные (знания) об окружающем мире, то говорят, что ЭС решает **статические задачи**; если задачи учитывают фактор времени и (или) изменяют в процессе решения данные об окружающем мире, то говорят о решении **динамических задач**. Таким образом, ЭС работает в статической проблемной среде, если она использует статическое представление и решает статические задачи. ЭС работает в динамической проблемной среде, если она использует динамическое представление и (или) решает динамические задачи.-



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Учитывая значимость времени в динамических проблемных средах, многие специалисты называют их приложениями (ЭС), работающими в реальном времени. Обычно выделяют следующие системы реального времени: «псевдореального» времени, «мягкого» реального времени и «жесткого» реального времени.

Системы псевдореального времени, как следует из названия, не являются системами реального времени, однако они в отличие от статических систем получают и обрабатывают данные, поступающие от внешних источников. Системы псевдореального времени решают задачу быстрее, чем происходят значимые изменения информации об окружающем мире.

Системы «мягкого» реального времени работают в тех приложениях, где допустимо время реакции на события более 0,1–1 с. К этому диапазону относятся почти все существующие ЭС реального времени.

Системы «жесткого» реального времени должны обеспечивать время реакции быстрее 0,1–0,5 с.

Для достижения такого быстродействия они используют не стандартные операционные системы (ОС) типа Unix и Windows NT, а специализированные ОС и специализированные бортовые ЭВМ, обеспечивающие быстрое время реакции.

В настоящее время ЭС, работающие в «жестком» реальном времени, нам не известны.



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Задачи, решаемые ЭС, различают тем, как представляются исполняемые утверждения.

Используются как **частные (специализированные) утверждения**, т. е. утверждения, содержащие ссылки на конкретные сущности (объекты), так и **общие утверждения**, относящиеся к любым сущностям заданного типа (вне зависимости от их числа и имени).

Использование общих утверждений позволяет значительно лаконичнее представлять знания. Однако так как общие утверждения не содержат явных ссылок на конкретные сущности, для их использования требуется затратить значительную работу по определению тех сущностей, к которым они должны применяться, т. е. выполнить, как говорят специалисты, операцию сопоставления [7, гл. 6].

Не все сочетания перечисленных выше параметров, характеризующих проблемную среду, встречаются на практике.



2. Классификация знаний с точки зрения проблемной области

ТИПЫ ПРОБЛЕМНЫХ СРЕД.

Выделим несколько наиболее часто встречающихся типов проблемных сред.

Тип 1. Статическая проблемная среда: статическая предметная область; сущности представляются как совокупность атрибутов и их значений; состав сущностей неизменяемый; БЗ не структурирована; решаются статические задачи анализа, используются только специализированные исполняемые утверждения.

Тип 2. Статическая проблемная среда: статическая предметная область; сущности представляются в виде атрибутов со значениями или вырожденных объектов (фреймов); состав сущностей неизменяемый; иерархия БЗ либо отсутствует, либо слабо выражена (нет наследования свойств); решаются статические задачи анализа, используются специализированные исполняемые утверждения.

Тип 3. Статическая проблемная среда: статическая предметная область; сущности представляются в виде объектов; состав сущностей изменяемый; БЗ структурирована; решаются статические задачи анализа и синтеза, используются общие и специализированные исполняемые утверждения.

Тип 4. Динамическая проблемная среда: динамическая предметная область; сущности представляются совокупностью атрибутов и их значений; состав сущностей неизменяемый; БЗ не структурирована; решаются динамические задачи анализа, используются специализированные исполняемые утверждения.

Тип 5. Динамическая проблемная среда: динамическая предметная область; сущности представляются в виде объектов; изменяемый состав сущностей; БЗ структурирована; решаются динамические задачи анализа и синтеза; используются общие и специализированные исполняемые утверждения.



3. Классификация знаний с точки зрения архитектуры ЭС

С точки зрения архитектуры ЭС знания могут быть структурированы так, как показано на рис. 2.3.

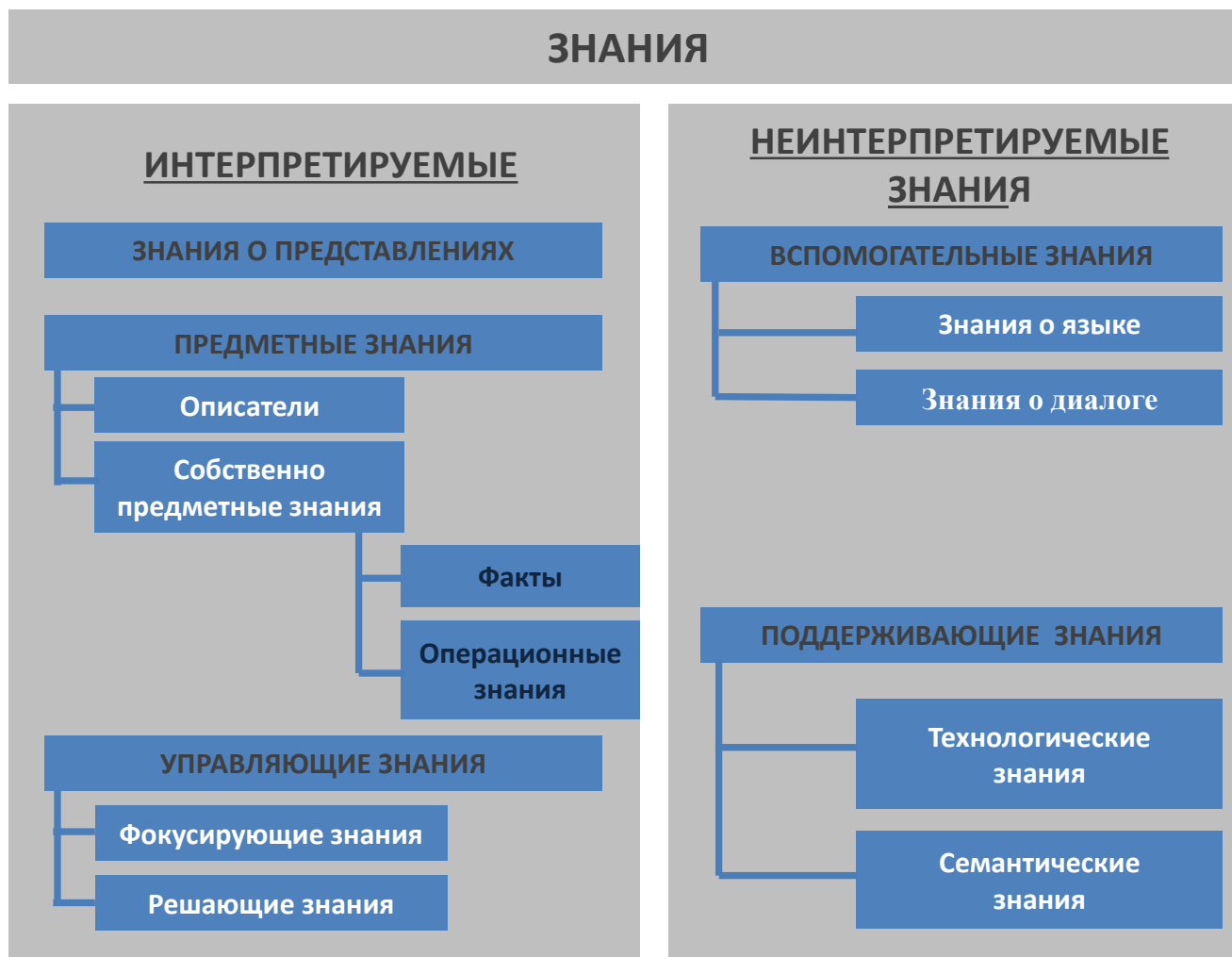


Рис. 2.3. Структура знаний в базе знаний

3. Классификация знаний с точки зрения архитектуры ЭС

ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ И НЕИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ ЭС

Данная классификация рассматривает знания, учитывая их использование в ходе работы экспертной системы.

С учетом архитектуры экспертной системы знания целесообразно делить на интерпретируемые и неинтерпретируемые [7; 8].

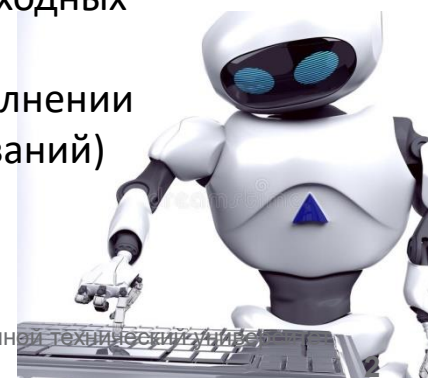
К **интерпретируемым** относятся те знания, которые способен интерпретировать решатель (интерпретатор).

Все остальные знания относятся ко второму типу. Решатель не знает их структуры и содержания. Если эти знания используются каким-либо компонентом системы, то он не «осознает» этих знаний.

Неинтерпретируемые знания подразделяются на вспомогательные, хранящие информацию о лексике и грамматике языка общения, информацию о структуре диалога, и поддерживающие знания.

Вспомогательные знания обрабатываются естественно-языковой компонентой, но ход этой обработки решатель не осознает, так как этот этап обработки входных сообщений является вспомогательным для проведения экспертизы.

Поддерживающие знания используются при создании системы и при выполнении объяснений. Поддерживающие знания выполняют роль описаний (обоснований) как интерпретируемых знаний, так и действий системы.



3. Классификация знаний с точки зрения архитектуры ЭС

ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ И НЕИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ ЭС

Интерпретируемые знания можно разделить на предметные знания, управляющие знания и знания о представлении.

Знания о представлении содержат информацию о том, каким образом (в каких структурах) в системе представлены интерпретируемые знания.

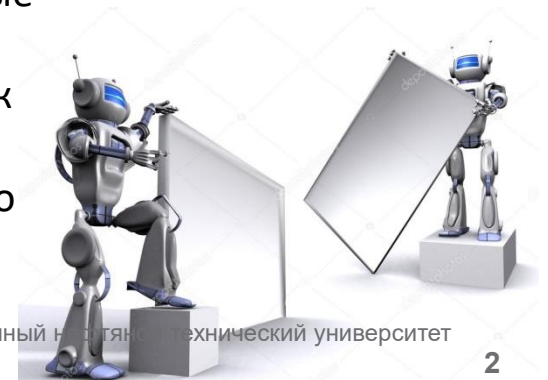
Предметные знания содержат данные о предметной области и способах преобразования этих данных при решении поставленных задач. Отметим, что по отношению к предметным знаниям знания о представлении и знания об управлении являются метазнаниями. В предметных знаниях можно выделить описатели и собственно предметные знания.

Описатели содержат определенную информацию о предметных знаниях, такую как коэффициент определенности правил и данных, меры важности и сложности.

Собственно предметные знания разбиваются на факты и исполняемые утверждения.

Факты определяют возможные значения сущностей и характеристик предметной области.

Исполняемые утверждения содержат информацию о том, как можно изменять описание предметной области в ходе решения задач.



3. Классификация знаний с точки зрения архитектуры ЭС

ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ И НЕИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЕ ЭС

Говоря другими словами, исполняемые утверждения — это знания, задающие процедуры обработки. Однако использовать термин «процедурные знания» не рекомендуется, так как эти знания могут быть заданы не только в процедурной, но и в декларативной форме. Управляющие знания можно разделить на фокусирующие и решающие.

Фокусирующие знания описывают, какие знания следует использовать в той или иной ситуации. Обычно фокусирующие знания содержат сведения о наиболее перспективных объектах или правилах, которые целесообразно использовать при проверке соответствующих гипотез [7]. В первом случае внимание фокусируется на элементах рабочей памяти, во втором — на правилах базы знаний.

Решающие знания содержат информацию, используемую для выбора способа интерпретации знаний, подходящего к текущей ситуации. Эти знания применяются для выбора стратегий или эвристик, наиболее эффективных для решения данной задачи.

Рассмотренная классификация является общепринятой и принимается большинством специалистов в области ЭС.

На следующем занятии мы исследуем ОРГАНИЗАЦИЮ ЗНАНИЙ



Вопросы

1. Определение Экспертной системы (ЭС)
2. Инженерия знаний
3. Понятия ЭС: предметная область, проблемная область, данные, знания.
4. Задачи, решаемые при представлении знаний
5. Состав знаний ЭС
6. Понятие «проблемная среда»
7. Набор параметров для определения характеристики предметной области
8. Смысл структурирования БЗ
9. Отличия задач анализа от задач синтеза
10. Системы псевдореального времени
11. Системы «мягкого» реального времени
12. Системы «жесткого» реального времени
13. Наиболее часто встречающиеся типы проблемных сред (пять)
14. Интерпретируемые и неинтерпретируемые ЭС

1. Марселлус Д. Программирование экспертных систем на Турбо-Прологе : пер. с англ. / предисл. С. В. Трубицина. М. : Финансы и статистика, 1994. 256 с. : ил.
2. Рот М. Интеллектуальный автомат : компьютер в качестве эксперта : пер. с нем. М. : Энергоатомиздат, 1991. 80 с. : ил.
3. Экспертные системы на персональных компьютерах : материалы семинара. М. : МДНТП, 1990. 140 с.
4. Экспертные системы : принципы работы и примеры / А. Брукинг [и др.]; под ред. Р. Форсайта; пер. с англ. С. И. Рудаковой; под ред. В. Л. Стераника. М. : Радио и связь, 1987. 220 с. : ил.
5. Экспертные системы : сборник / ред. Б. М. Васильев. М. : Знание, 1990. 47 с. : ил.
6. Убейко В. М., Убейко В. В. Экспертные системы в СССР. Обзор информ. // Маш. пр-во. Сер. Автоматизированные системы проектирования и управления, вып. 5 (СНИИТЭМР). М., 1991. 67 с.
7. Статические и динамические экспертные системы : учеб. пособие для вузов / Э. В. Попов, И. Б. Фоминых, Е. Б. Кисель, М. Д. Шапот. М. : Финансы и статистика, 1996. 320 с. : ил.
8. Попов Э. В. Экспертные системы. Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. М. : Наука, 1987. 288 с. : ил.
9. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. М. : Наука, 1982. 360 с.
10. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. М. : Наука, 1971. 320 с.
11. Попов Э. В., Фридман Г. Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. М. : Наука, 1976. 455 с.
12. Мальцев А. А. Алгоритмы и рекурсивные функции. М. : Наука, 1965. 391 с.
13. Маслов С. Ю. Обратный метод установления выводимости в классическом исчислении предикатов // Доклады академии наук СССР. 1964. Т. 159, № 1. С. 17–20.
14. Ефимов Е. И. Решатели интеллектуальных задач. М. : Наука, 1982. 320 с.
15. Финн В. К. Индуктивные модели // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. М. : ВИНТИ, 1984. Т. А. С. 58–76.
16. Поспелов Д. А. Элементы аксиоматики временных отношений // Вопросы кибернетики. Ситуационное управление. Теория и практика. М. : Научный совет по комплексной проблеме кибернетики АН СССР, 1975. С. 15–21.
17. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М. : Энергоатомиздат, 1981. 231 с.
18. Поспелов Д. А. Псевдофизические логики // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. М. : ВИНТИ, 1984. Т. А. С. 48–57.

19. Поспелов Д. А. О «человеческих» рассуждениях в интеллектуальных системах // Вопросы кибернетики. Логика рассуждений и ее моделирование. М. : Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1983. С. 5–37.
20. Поспелов Д. А. Логические модели представления знаний. Вводные замечания // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. М. : ВИНТИ, 1984. Т. А. С. 33–35.
21. Крипке С. А. Теорема полноты в модальной логике // Модальная логика. Фейс Р. М. : Наука, 1974. С. 223–246.
22. Крипке С. А. Семантический анализ модальной логики. Ч. I. Нормальные модальные исчисления высказываний // Модальная логика. Фейс Р. М. : Наука, 1974. С. 254–303.
23. Крипке С. А. Семантический анализ модальной логики. Ч. II. Нормальные модальные исчисления высказываний // Модальная логика. Фейс Р. М. : Наука, 1974. С. 304–323.
24. Гаврилова Т. А., Червинская К. Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М. : Радио и связь, 1992. 200 с. : ил.
25. The OPS_5 user's manual. Technical Rept. CMU-CS-81. Pittsburgh : Carnegie — Mellon University, 1981.
26. Walker C. T., Miller K. R. Expert system 1987 : An Assessment of Technology and Applications. Madison, 1988.
27. Кирсанов Б. С., Попов Э. В. Отечественные оболочки экспертных систем для больших ЭВМ // Искусственный интеллект : справочник. М. : Радио и связь, 1990. Т. 1. С. 369–388.
28. Хорошевский В. Ф. Программный инструментарий представления знаний в экспертных системах // Экспертные системы : состояние и перспективы; под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1989. С. 38–47.
29. Ковригин О. В., Перфильев К. Г. Гибридные средства представления знаний в системе СПИЭС // Всесоюзная конференция по искусственному интеллекту : тез. докл. Переславль-Залесский, 1988. Т. 2. С. 490–494.
30. Соловьев С. Ю., Соловьева Г. М. Вопросы организации баз знаний в системе ФИАКР // Экспертные системы : состояние и перспективы / под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1989. С. 47–54.
31. Цейтин Г. С. Программирование на ассоциативных сетях // ЭВМ в проектировании и производстве. Л. : Машиностроение, 1985. Вып. 2. С. 16–48.
32. Сапатый П. С. Язык ВОЛНА-0 как основа навигационных структур для баз знаний на основе семантических сетей // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. № 5. С. 198–211.
33. Уварова Т. Г. Операционная семантика волновых языков и метод ее описания // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1987. № 2. С. 128–142.
34. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам : пер. с англ. М. : Мир, 1989. 388 с.

Спасибо за внимание!