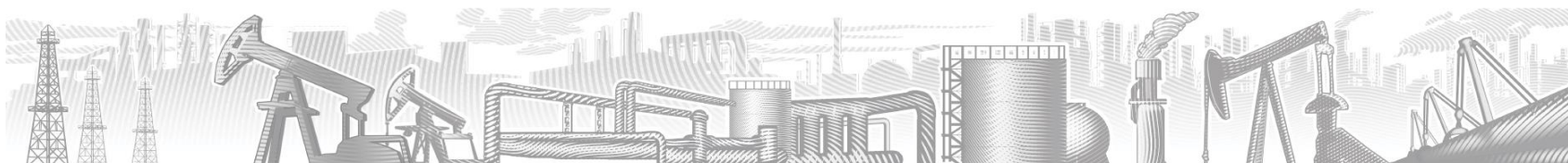




Кафедра «Информационные технологии, математика и естественные науки»

Курс ДОП
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Разработал д.т.н. Тынчеров Камиль Талятович



РАЗДЕЛ 2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Лекция 5. МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Тема предыдущей лекции: Организация знаний (Уровни представления и детальности. Организация знаний в рабочей памяти и в базе знаний).



Учебные вопросы лекции

1. Логическая модель представления знаний.
2. Продукционная модель.
3. Модули, управляемые образцами.
4. Семантические модели

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

Вопрос выбора модели представления знания сводят к обсуждению баланса между **декларативным представлением (ДП)** и **процедурным представлением (ПП)**.

Различие между ДП и ПП можно выразить как различие между «ЗНАТЬ ЧТО» и «ЗНАТЬ КАК».

ПП основано на предпосылке, что интеллектуальная деятельность есть значение проблемной области, вложенное в программы, т. е. знание о том, как можно использовать те или иные сущности.

ДП основано на предпосылке, что знание неких сущностей («ЗНАТЬ ЧТО») не имеет глубоких связей с процедурами, используемыми для обработки этих сущностей. При использовании ДП считается, что интеллектуальность базируется на некотором универсальном множестве процедур, обрабатывающих факты любого типа, и на множестве специфических фактов, описывающих частную область знаний [9].

Основное достоинство ДП по сравнению с ПП заключается в том, что в ДП нет необходимости указывать способ использования конкретных фрагментов знания. Простые утверждения могут использоваться несколькими способами, и может оказаться неудобным фиксировать эти способы заранее. Указанное свойство обеспечивает гибкость и экономичность ДП. Позволяет по-разному использовать одни и те же факты [7; 8].

В ДП знание рассматривается как множество независимых или слабо зависимых фактов, что позволяет осуществлять модификацию знаний и обучение простым добавлением или устранением утверждений.

Для ПП проблема модификации значительно сложнее, т. к. здесь необходимо учитывать, каким образом используется данное утверждение. Однако известно, что существует значительное количество сущностей, которые удобно представить в виде процедур и весьма трудно — в чисто декларативном представлении.

Желание использовать достоинства ДП и ПП привело к разработке формализмов, использующих смешанное представление, т. е. декларативное представление с присоединенными процедурами (например, фрейм-представление или сети с присоединенными процедурами) или процедурное представление в виде модулей с декларативными образцами. В наиболее совершенном виде эта проблема реализована в объектно-ориентированном подходе [7, п. 5.3].

Итак, что же такое модель представления знаний?

Модель представления знаний — это способ записи знаний, предназначенный для отображения текущего состояния объектов некоторой предметной области и отношений между ними, а также изменение объектов и отношений.

Модели представления знаний обычно делят на логические (формальные) и эвристические (формализованные) [7; 8].

В основе **логических моделей представления знаний** лежит понятие формальной системы (теории). Примерами формальных теорий могут служить исчисление предикатов [10; 11] и любая конкретная система продукций [12]. В логических моделях, как правило, используется исчисление предикатов первого порядка, дополненное рядом эвристических стратегий.

Особенно активизировалось использование исчисления предикатов после создания мощных процедур поиска вывода, а именно метода резолюций [11] и обратного метода [13]. Эти методы были обогащены эвристическими процедурами, которые существенно повысили эффективность вывода [11; 14]. Они являются системами **дедуктивного типа**, т. е. в них используется модель получения вывода из заданной системы посылок с помощью фиксированной системы правил вывода. Дальнейшим развитием предикатных систем являются системы индуктивного типа, в которых правила вывода порождаются системой на основе обработки конечного числа обучающих примеров [15]. Особое место среди логик, используемых для представления знаний, занимают логики отношений, получивших название **псевдофизических** [16; 17; 18].

Особенность этих логик состоит в использовании в правилах вывода конкретных знаний о свойствах отношений внутри предметных областей.

1. Понятие предиката

Логика предикатов расчленяет элементарное высказывание на субъект (буквально — подлежащее, хотя оно и может играть роль дополнения) и предикат (буквально — сказуемое, хотя оно может играть роль определения).

Субъект — это то, о чем что-то утверждается в высказывании; предикат — это то, что утверждается о субъекте.

Пример:

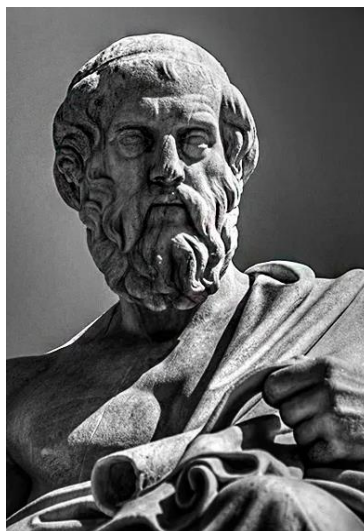
В высказывании «7 — простое число», «7» — субъект, «простое число» — предикат. Это высказывание утверждает, что «7» обладает свойством «быть простым числом».

Если в рассмотренном примере заменить конкретное число 7 переменной x из множества натуральных чисел, то получим *высказывательную форму* « x — простое число». При одних значениях x , (например, $x = 13$, $x = 17$) эта форма дает истинные высказывания, а при других значениях x (например, $x = 10$, $x = 18$) эта форма дает ложные высказывания.

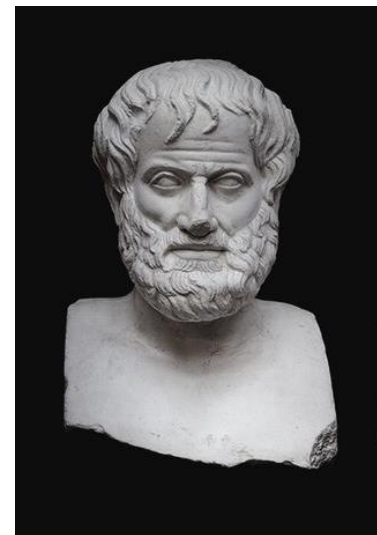
В логических моделях представления знаний отношения, существующие между отдельными единицами знаний, выражаются только с помощью тех небогатых средств, которые предоставляются синтаксическими правилами используемой формальной системы. В отличие от формальных моделей эвристические модели имеют разнообразный набор средств, передающих специфические особенности той или иной проблемной области. Именно поэтому эвристические модели превосходят логические как по возможности адекватно представить проблемную среду, так и по эффективности используемых правил вывода.

К эвристическим моделям, используемым в экспертных системах, можно отнести *сетевые, фреймовые, продукционные* и *объектно-ориентированные модели*.

Следует отметить, что продукционные модели, используемые для представления знаний в экспертных системах, отличаются от формальных продукционных систем [7, п. 1.2]; [12] тем, что они используют более сложные конструкции правил, а также содержат эвристическую информацию о специфике проблемной среды, выражаемую часто в виде семантических структур.



Платон — учитель Аристотеля



Аристотель

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

В основе **логических моделей** лежит понятие формальной теории, задаваемой четверкой [7; 8; 9; 19],

$$S = \langle B, F, A, R \rangle,$$

где B — счетное множество базовых символов (алфавит) теории S ;

F — подмножество выражений теории S , называемых **формулами теории** (под выражениями понимаются конечные последовательности базовых символов теории S). Обычно существует эффективная процедура (множество синтаксических правил), позволяющая строить из B синтаксически правильные выражения — формулы;

A — выделенное множество формул, называемых **аксиомами теории** S , т. е. множество априорно истинных формул;

R — конечное множество отношений $\{r_1, \dots, r_n\}$ между формулами, называемыми **правилами вывода**.

Для каждого r_i существует целое положительное число j , такое, что для каждого множества, состоящего из j формул, и для каждой формулы f эффективно решается вопрос о том, находятся ли данные j формул в отношении r_i с формулой f . Если отношение r_i выполняется, то f называется **непосредственным следствием** данных j формул по правилу r_i . Следствием (выводом) формулы f_n в теории S называется любая последовательность $f_1, \dots, f_n$ формул, такая, что для любого i формула f_i есть либо аксиома теории S , либо непосредственное следствие каких-либо предыдущих формул по одному из правил вывода. Правила вывода позволяют расширять множество формул, которые считаются истинными в рамках данной теории [7; 8].

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

Формальная теория называется **разрешимой**, если существует единая эффективная процедура, позволяющая узнать для любой данной формулы, существует ли ее вывод в S . Формальная система S называется **непротиворечивой**, если не существует формулы A , такой, что A и $\neg A$ выводимы в S [7; 8].

Наиболее распространенной формальной системой, используемой для представления знаний, является **исчисление предикатов первого порядка**.

Алфавит исчисления предикатов состоит из следующего набора символов [7; 8]:

- знаков пунктуации $\{ (, ,), . , ; \}$;
- пропозициональных связок $\{ \neg$ (отрицание), $\vee$ (логическое ИЛИ, дизъюнкция), $\wedge$ (логическое И, конъюнкция) $\supset$ (является супермножеством), $\rightarrow$ (импликация, если..., то...) $\}$;
- знаков-кванторов $\{ \forall$ (для всех), $\exists$ (существует) $\}$;
- символов переменных $x_k, k = 1, 2, \dots$;
- n -местных функциональных букв: $f_k^n, k \geq 1, n \geq 0$ (f_k^0 называют константными буквами);
- n -местных предикатных букв (символов): $p_k^n, k \geq 1, n \geq 1$.

В дальнейшем для упрощения вместо x_k будем употреблять $u, v, x, y, z, \dots$; вместо f_k^0 — $a, b, c, d, \dots$; вместо f_k^n ($n \neq 0$) — $f, g, h, \dots$; а вместо p_k^n — P, Q, R, S, T, V, W .

Из символов алфавита можно строить различные выражения. Выделяют **термы**, **элементарные формулы (атомы)** и правильно построенные формулы (или просто **формулы**).
Всякий символ переменной или константной буквы есть терм.

Если $t_1, \dots, t_n$ ($n \geq 1$) — термы, то и $f_k^n(t_1, \dots, t_n)$ является термом [7; 8].

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

Если p_k^n — предикатная буква, а $t_1, \dots, t_n$ — термы, то $p_k^n(t_1, \dots, t_n)$ — **элементарная формула** (атом). Атом является правильно построенной формулой. Если A и B — правильно построенные формулы, то $\neg A$, $A \vee B$, $A \wedge B$, $A \rightarrow B$ есть правильно построенные формулы.

Если A — правильно построенная формула и x — переменная в A , то конструкции $(\forall x)A$ и $(\exists x)A$ правильно построенные формулы. Выражение является правильно построенной формулой, только если оно получено с соблюдением приведенных выше правил [7; 8].

Для того чтобы придать формуле содержание, ее интерпретируют как утверждение, касающееся рассматриваемой предметной области. Под **интерпретацией** понимают всякую систему, состоящую из непустого множества D , называемого областью интерпретации, и какого-либо соответствия, относящего каждой предикатной букве p_k^n некоторое n -местное отношение в D ; каждой функциональной букве f_k^n — некоторую n -местную функцию, отображающую $D_n \rightarrow D$, и каждой константной букве f_k^0 — некоторый элемент из D . При заданной интерпретации переменные мыслятся «пробегающими» все значения в области D этой интерпретации, а всякой элементарной формуле приписывается значение «истинно» (И) или «ложно» (Л).

Приписывание значения элементарной формуле $p_k^n(t_1, \dots, t_n)$ осуществляется по следующему правилу: если термы предикатной буквы соответствуют элементам из D , удовлетворяющим отношению, определяемому данной интерпретацией, то значением элементарной формулы будет истина, в противном случае — ложь. Значение неэлементарной формулы вычисляется рекуррентно, исходя из значений составляющих ее формул. Очевидно, что значения формул могут быть истинными или ложными в зависимости от выбранной интерпретации [7; 8].

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

Основной задачей, решаемой в рамках исчисления предикатов, является выяснение истинности или ложности заданной формулы на некоторой области интерпретации. При этом особая роль отводится общезначимым формулам, т. е. формулам, истинным при любой интерпретации, и невыполнимым формулам, т. е. формулам, ложным при любой интерпретации. Справедлива следующая основополагающая **теорема дедукции** [10]:

«Пусть даны формулы $B_1, \dots, B_n$ и формула A . Формула A является **логическим следствием** $B_1, \dots, B_n$ тогда и только тогда, когда формула $B_1 \wedge \dots \wedge B_n \rightarrow A$ общезначима, т. е. $\models (B_1 \wedge \dots \wedge B_n) \rightarrow A$ ».

Напомним, что формула A логически следует из формул $B_1, \dots, B_n$ тогда и только тогда, когда всякая интерпретация I , удовлетворяющая $B_1, \dots, B_n$, удовлетворяет также и A . Формулы $B_1, \dots, B_n$ называют **посылками**, а A — **заключением логического следования** и обозначают: $B_1, \dots, B_n \models A$. Задачей доказательства теоремы называют выяснение вопроса логического следования некоторой формулы A из заданного множества формул $B_1, \dots, B_n$, что равносильно доказательству общезначимости формулы $B_1 \wedge \dots \wedge B_n \rightarrow A$ или невыполнимости формулы $B_1 \wedge \dots \wedge B_n \wedge \neg A$.

Известно, что для исчисления предикатов первого порядка не существует общего метода установления общей значимости любых формул, т. е. исчисление предикатов первого порядка является **неразрешимым**. Однако если некоторая формула исчисления предикатов общезначима, то существует процедура для проверки ее общезначимости, т. е. исчисление предикатов можно назвать **полуразрешимым**. Наиболее известными методами доказательства теорем являются метод резолюции [7, гл. 5] и обратный метод [13].

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

Пример записи некоторого факта в виде формулы исчисления предикатов [7]:

ДАТЬ (МИХАИЛ, ВЛАДИМИРУ, КНИГУ);
($\exists x$) (ЭЛЕМЕНТ (x , СОБЫТИЕ — ДАТЬ) $\wedge$
ИСТОЧНИК (x , МИХАИЛ) $\wedge$ АДРЕСАТ (x , ВЛАДИМИР) $\wedge$
ОБЪЕКТ (x , КНИГА)).

Здесь описаны два способа записи одного факта; «Михаил дал книгу Владимиру». Основным **достоинством** использования исчисления предикатов в качестве модели представления знаний является наличие формальной единообразной процедуры доказательства теорем. Однако высокая степень единообразия влечет за собой и основной **недостаток** данного подхода — сложность использования при доказательстве эвристик, отражающих специфику конкретной проблемной среды. Указанный недостаток особенно важен при построении экспертных систем, вычислительная мощность которых в основном определяется знаниями, характеризующими специфику проблемной среды. К другим недостаткам формальных систем следует отнести их монотонность [7, п. 6.3.3] и [8], отсутствие средств для структурирования используемых элементов и недопустимость противоречий [7, гл. 5].

1. Логическая модель представления знаний

Понятие формальной теории

Стремление устранить недостатки формальных систем при их использовании в качестве моделей представления привело к появлению семиотических систем [7; 8; 17; 19; 20].

Семиотическая система формально задается восьмеркой:

$$S = \langle B, F, A, R, Q(B), Q(F), Q(A), Q(R) \rangle.$$

Здесь первые четыре компонента те же, что и в определении формальной системы (см. выше), а остальные компоненты — правила изменения первых четырех компонентов под влиянием накапливаемого в базе знаний интеллектуальной системы опыта о строении и функционировании сущностей в данной проблемной среде (области). Необходимо отметить явную близость понятий «семиотическая система» и «системы возможных миров» Крипке [21; 22; 23]. Можно считать, что правила $Q(B)$, $Q(F)$, $Q(A)$, $Q(R)$ после каждого своего применения фиксируют некоторый возможный мир, полностью описываемый соответствующей формальной моделью.

При такой трактовке семиотическая система описывается на двух уровнях: *на нижнем уровне* модель представления знаний описывается традиционной формальной системой, а *на верхнем уровне* задается модель перестройки (адаптации) этой формальной системы [20].

Теория таких систем находится на начальной стадии развития.

Далее изучим продукционную модель

2. Продукционная модель

Модель, основанная на правилах

Продукционная модель, или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа **«Если (условие), то (действие)»**, где **условие** — это образец, по которому осуществляется поиск в базе; **действие** — действия или операторы, выполняемые при успешном исходе поиска (могут быть промежуточными, выступающими далее как условия, и терминальными или целевыми, завершающими работу системы) [24].

При использовании продукционной модели база знаний состоит из набора правил. Программа, управляющая перебором правил, называется машиной вывода. Чаще всего вывод бывает прямой (от данных к поиску цели) или обратный (от цели для ее подтверждения к данным).

Данные — это исходные факты, на основании которых запускается машина вывода — программа, перебирающая правила из базы.

Продукционная модель чаще всего применяется в промышленных ЭС. Она привлекает разработчиков своей наглядностью, высокой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений и простотой механизма логического вывода. Имеется большое число программных средств, реализующих продукционный подход (например, язык OPS_5 [25]; «оболочки» или «пустые» ЭС — EXSYS [26], ЭКСПЕРТ [27]; инструментальные системы ПИЭС [28], СПИЭС [29]), а также промышленных ЭС на его основе (ФИАКР [30]).

Далее изучим модули, управляемые образцами.

3. Модули, управляемые образцами

В традиционном программировании команды устанавливаются в жесткой фиксированной последовательности.

По умолчанию после выполнения i -й команды выполняется $(i+1)$ -я команда, если i -я команда не является командой ветвления. Все места в традиционном программировании указываются явно. Подобный способ программирования удобен в тех случаях, когда последовательность обработки мало зависит от обрабатываемых данных, т. е. тогда, когда ветвление является исключением, а не нормой. В противном случае программу лучше рассматривать как совокупность независимых модулей, управляемых образцами. На каждом шаге работы такая программа анализирует текущую ситуацию и определяет по анализу образцов, какой модуль подходит для обработки этой ситуации [7; 8].

Каждый **управляемый образцом модуль (УОМ)** состоит из механизмов исследования и модификации одной или нескольких структур данных. Диапазон УОМ может колебаться в широких пределах: от простого продукционного правила до процедуры произвольной степени сложности, вызываемой по образцу. Каждый УОМ на очередном шаге работы анализирует данные рабочей памяти, проверяя наличие структур, которые сопоставляются с его образцом. Системы, построенные на основе УОМ, называют **системами вывода, управляемыми образцами**. Функции управления в этих системах осуществляет интерпретатор [7; 8].

3. Модули, управляемые образцами

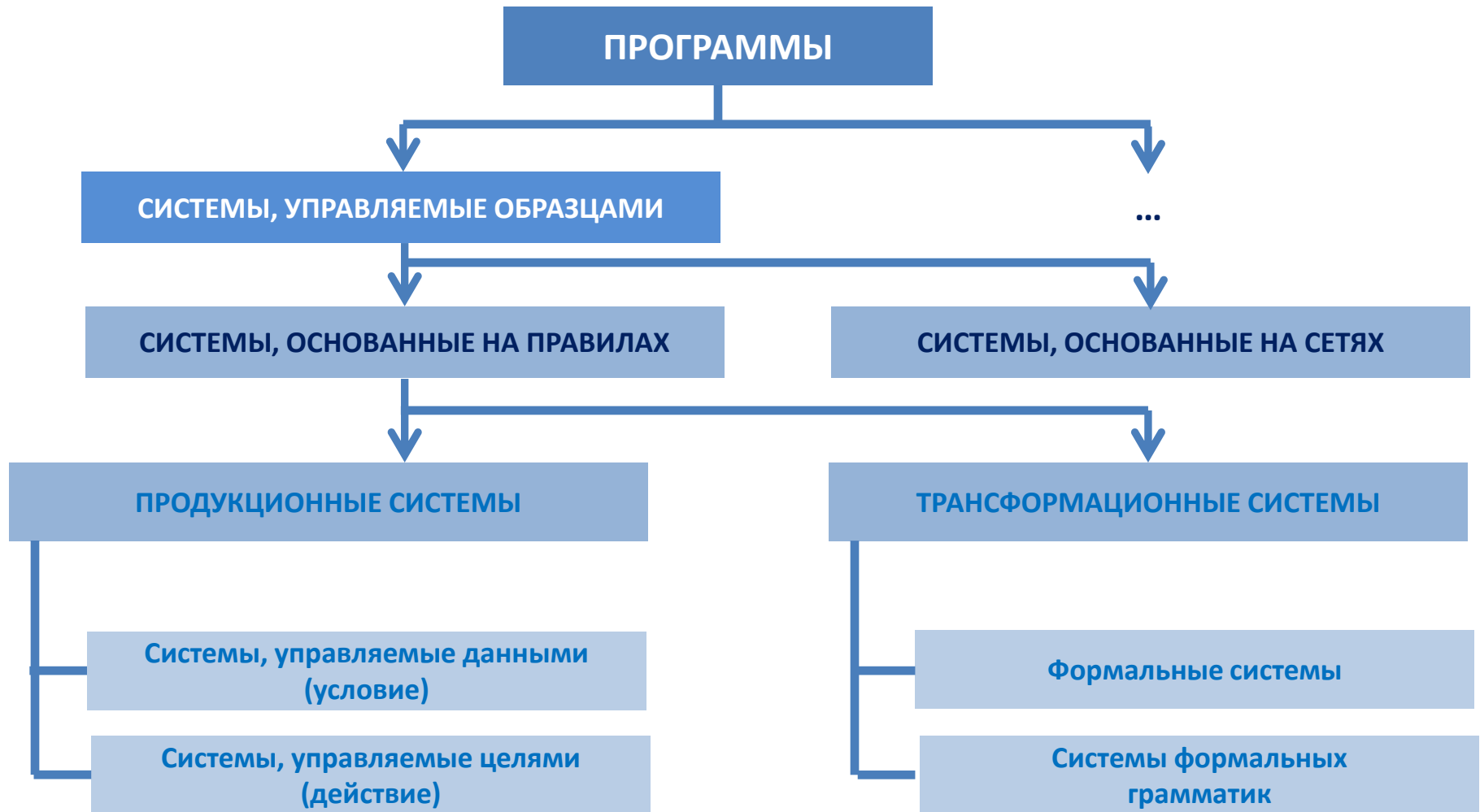
С точки зрения представления знаний подход, использующий управляемые образцами модули, можно охарактеризовать **следующими особенностями**:

- разделение постоянных знаний, хранимых в базе знаний, и временных знаний, хранимых в рабочей памяти;
- структурная независимость модулей, облегчающая модификацию и совершенствование системы, что чрезвычайно важно для экспертных систем, постоянно модифицирующих свои знания. Кроме того, независимость модулей упрощает объединение программ, написанных разными авторами;
- отделение схемы управления от модулей, несущих знания о проблемной области, что позволяет применять различные схемы управления.

Системы, управляемые образцами, классифицируются в соответствии с ограничениями, накладываемыми на модули. Рассмотрим классификацию систем, управляемых образцами, которая может рассматриваться и как классификация модулей, управляемых образцами [8].

3. Модули, управляемые образцами

Классификация систем, управляемых образцами



3. Модули, управляемые образцами

Если системы, управляемые образцами, состоят из модулей, локализованных на вершинах сети, которые активизируются сигналами, приходящими по дугам, то такие системы называются **системами, основанными на сетях** [7; 8].

Большинство систем, управляемых образцами, удовлетворяет следующему ограничению: все исследования данных рабочей памяти в каждом модуле объединены и предшествуют всем действиям по модификации данных.

Таким образом, модуль разделяется на две части: **предусловие**, исследующее данные, и **действие**, модифицирующее данные. Модули, имеющие такое деление, называют **правилами**, а системы, использующие такие правила, называют **системами, основанными на правилах**.

Разделение операции исследования и модификации данных облегчает отладку системы [7; 8].

Системы, основанные на правилах, разделяются по видам правил на продукционные системы и трансформационные системы.

Продукционные системы образованы из правил, в которых сопоставление и планирование (управление) являются явными функциями системы, зафиксированными в интерпретаторе.

Трансформационные системы, в отличие от продукционных, могут не иметь явных функций по сопоставлению правил и управлению правилами. Примерами трансформационных систем являются формальные системы и системы формальных грамматик.

Продукционные системы могут быть разделены на продукционные системы, управляемые данными (предусловиями правил), и на продукционные системы, управляемые целями (действиями правил). Традиционно под продукционными системами понимают только системы, использующие вывод, направляемый данными.

3. Модули, управляемые образцами

Обычно предусловие (антецедент) задается в виде логической комбинации утверждений о данных рабочей памяти, а действием (консеквентом) является некоторая операция по модификации рабочей памяти.

Сложность действий колеблется в значительных пределах: от простой операции присваивания до функции произвольной степени сложности [7; 8].

В продукционных системах, управляемых целями, предусловия и действия являются утверждениями о данных. Здесь вывод осуществляется в обратном направлении от утверждений, которые должны быть доказаны. Необходимо подчеркнуть, что образцы могут быть заданы как декларативно, так и процедурно [7; 8].

Итак, представление знаний в виде управляемых образцами модулей (УОМ) и продукционных правил обладает следующими **достоинствами** [7; 8]:

- модульностью организации знаний;
- независимостью правил, выражающих самостоятельные фрагменты знаний;
- легкостью и естественностью модификации знаний;
- отделением управляющих знаний, что позволяет применять различные управляющие стратегии;
- возможностью создания для ряда приложений управляющих механизмов для автоматического решения задач.

Далее изучим семантические модели.

4. Семантические модели

Семантическая сеть

В основе этих моделей лежит понятие сети, образованной помеченными вершинами и дугами. **Вершины сети** представляют некоторые сущности (объекты, события, процессы, явления), а **дуги** — отношения между сущностями, которые они связывают. Пример семантической сети приведен на рис. 4.2 [24].

В качестве вершин тут выступают понятия «человек», «Тынчеров», «Волга», «автомобиль», «вид транспорта» и «двигатель»; в качестве дуг — отношения «это» (IS-A; AKO: A-Kind-of — является), «имеет частью» (has part), «принадлежит», «любит» [24].

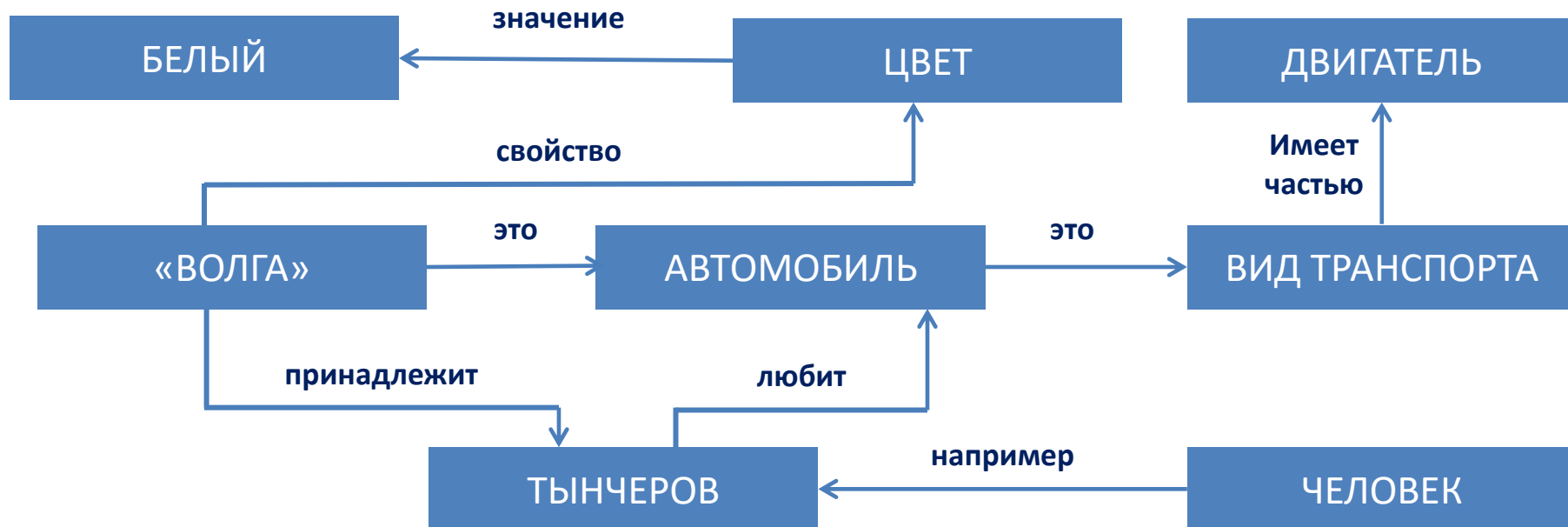


Рис. 4.2. Семантическая сеть

4. Семантические модели

Семантическая сеть

Характерной особенностью семантических сетей является наличие трех важнейших типов отношений: класс — элемент класса («это»); свойство — значение («цвет — белый»); пример элемента класса («например») [24].

Кроме перечисленных, в семантических сетях используются следующие типы отношений: связи типа «часть — целое» («класс — подкласс», «элемент — множество» и т. п.); функциональные связи («объект — свойство», «свойство — значение»); атрибутивные связи (количественные, временные, пространственные); логические связи (и, или, не); лингвистические связи.

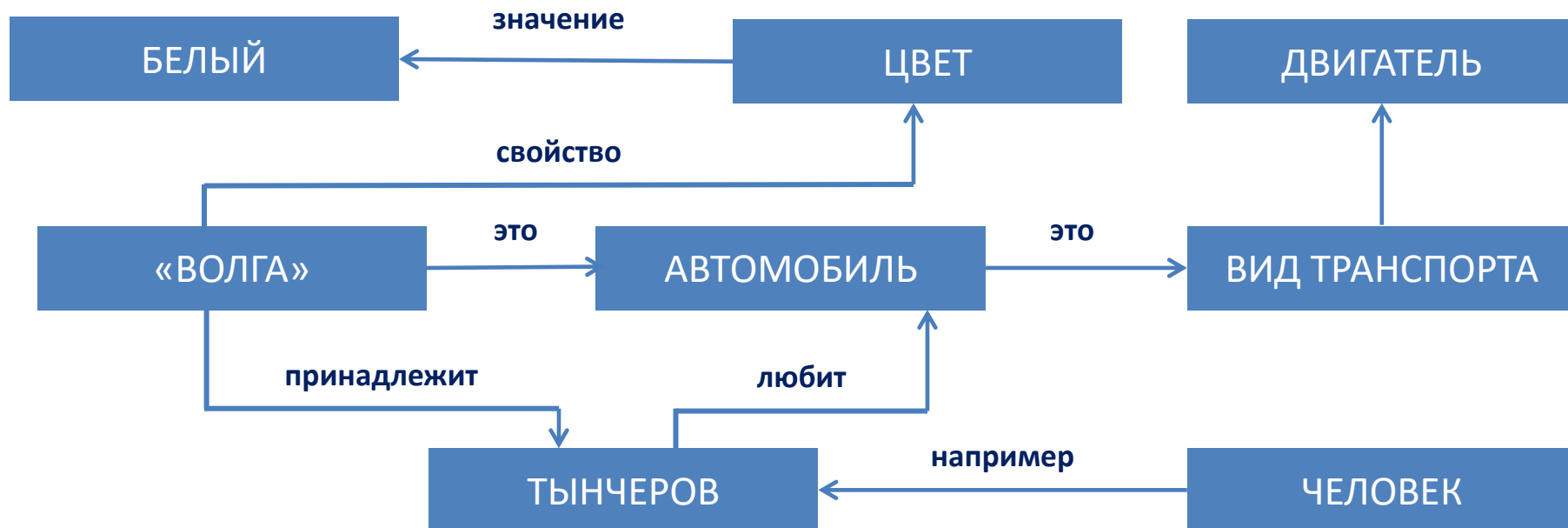


Рис. 4.2. Семантическая сеть

4. Семантические модели

Семантическая сеть

Семантические сети можно классифицировать на [24]:

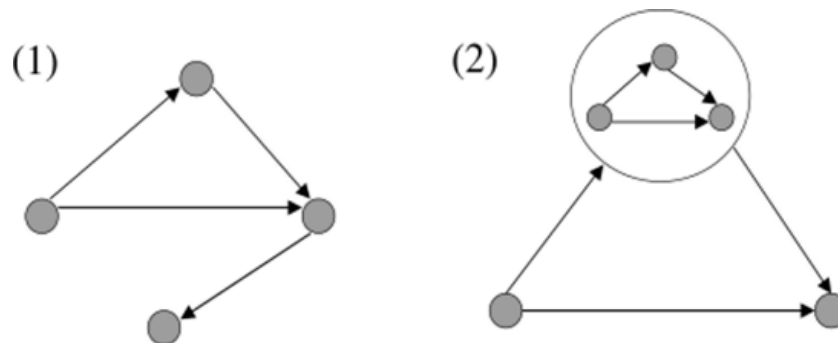
- **однородные** (с единственным типом отношений);
- **неоднородные** (с различными типами отношений);
- **бинарные** (в которых отношения связывают два объекта);
- **n-арные** (в которых есть специальные отношения, связывающие более двух понятий).

Проблема поиска решения в базе знаний типа семантической сети сводится к поиску фрагмента сети, соответствующего некоторой подсети, представляющей вопрос.

Наложив ограничения на описания вершин и дуг, можно получить сети различного вида.

Если вершины не имеют собственной внутренней структуры, то соответствующие сети называют **простыми сетями**.

Если вершины обладают некоторой структурой, то такие сети называют **иерархическими** сетями.



Простая (1) и иерархическая (2) семантическая сеть

4. Семантические модели

Событие B1 является элементом множества всех событий ВЛАДЕТЬ, которое является подмножеством (п) множества СИТУАЦИИ и т. д. Используемые на рис. 4.3 дуги «э» (элемент) и «п» (подмножество) служат для выражения таксономии понятий, представленных вершинами. Важность таксономии заключается в том, что множества обычно имеют свойства, присущие всем элементам данного множества. Эти свойства связываются в сети не с конкретными элементами, а с вершинами, сопоставляемыми всему множеству. Так, дуга «п» указывает отношение быть «подмножеством».

В связи с тем, что большинство подмножеств являются различными, т. е.

непересекающимися, для их представления удобно ввести дугу специального вида — «пр» (подмножество различное).

Дуга «пр», идущая из вершины x (например, люди) в вершину z (например, официальные лица), указывает, что множество, представленное вершиной x (люди), есть подмножество множества, представленного вершиной z (официальные лица), и что x (люди) не пересекается ни с каким другим подмножеством, представляемым вершиной r (например, предприятия) и имеющим дугу «пр» из r (предприятия) в z (официальные лица). По аналогии можно ввести и отношение «эр» [7; 8].

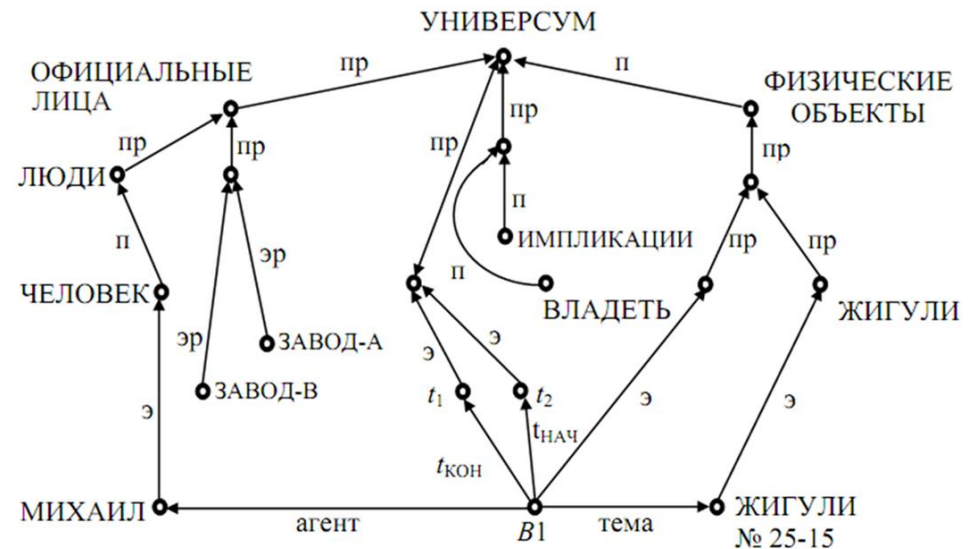


Рис. 4.3. Фрагмент семантической сети

4. Семантические модели

Семантическая сеть

Одно из основных отличий иерархических семантических сетей от простых семантических сетей состоит в возможности разделить сеть на подсети (пространства) и устанавливать отношения не только между вершинами, но и между пространствами [9].

Все вершины и дуги являются элементами по крайней мере одного пространства.

Отметим, что понятие пространства аналогично понятию скобок в математической нотации.

Различные пространства, существующие в сети, могут быть упорядочены в виде дерева пространств, вершинам которого соответствуют пространства, а дугам — отношения «видимости». На рис. 4.4 приведен пример дерева пространств, в соответствии с которым, например, из пространства P_6 (пространство-потомок), видимы все вершины и дуги, лежащие в пространствах-предках P_4 , P_2 , P_0 , а остальные пространства невидимы.

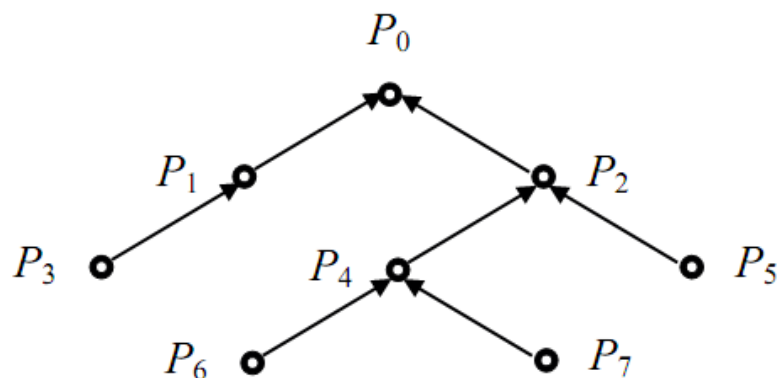


Рис. 4.4. Пример разбиения сети на пространства

Отношение «видимости» позволяет сгруппировать пространства в упорядоченные множества — «перспективы». Перспектива обычно используется для ограничения сетевых сущностей, «видимых» некоторой процедурой, работающей с сетью. Обычно в перспективу включают не любые, а иерархически сгруппированные пространства. При графическом изображении иерархических сетей обычно используют следующие **соглашения** [7; 8]:

- 1) вершины и дуги, лежащие в одном пространстве, ограничиваются на рисунках многоугольником (обычно прямоугольником);
- 2) дуга принадлежит тому пространству, в котором находится имя дуги;
- 3) пространство P_i (точнее, ограничивающий его многоугольник), изображаемое внутри пространства P_j , считается потомком (внутренним уровнем), т. е. из P_i «видимо» P_j .

Пространство P_i может рассматриваться как супервершина, которая лежит в P_j . Свойство «невидимости» позволяет повысить эффективность операции поиска в сети. Например, при поиске конкретных фактов информация из кванторных утверждений и правил невидима, так как она заключена в пространствах, ограничивающих эти утверждения и правила [7; 8].

4. Семантические модели

Семантическая сеть

Основным преимуществом семантической модели является то, что она больше других соответствует современным представлениям об организации долговременной памяти человека и была предложена психологом Майклом Россом Квиллианом в конце 60-х г.г. прошлого века.

Термин «семантическая» означает «смысловая», а сама семантика — это наука, устанавливающая отношения между символами и объектами, которые они обозначают, т. е. наука, определяющая смысл знаков.

Недостатком этой модели является сложность организации процедуры поиска вывода на семантической сети [24].

Для реализации семантических сетей существуют специальные сетевые языки, например, NET [31], ВОЛНА [32; 33] и др. Широко известны ЭС, использующие семантические сети в качестве языка представления знаний, например, PROSPECTOR, CASNET, TORUS [34; 35].



КВИЛЛИАН Росс

1. В основе логических моделей представления знаний лежит понятие формальной системы (теории).
2. Системы представления знаний (СПЗ) для ИС используют следующие основные виды моделей: Декларативные модели представления знаний (фреймовые модели, семантические сети) Процедурные модели представления знаний (исчисления предикатов, системы продукций).
3. Процедуры - специфические компоненты сети, выполняющие преобразования информации. Позволяют вычислять значения одних атрибутов на основании других, оперируя как с числами, так и с символами.
4. В основе логических моделей представления знаний лежит понятие формальной системы (теории).
5. Основной задачей, решаемой в рамках исчисления предикатов, является выяснение истинности или ложности заданной формулы на некоторой области интерпретации.
6. Продукционная модель, или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие), то (действие)», где условие — это образец, по которому осуществляется поиск в базе; действие — действия или операторы, выполняемые при успешном исходе поиска (могут быть промежуточными, выступающими далее как условия, и терминальными или целевыми, завершающими работу системы)
7. Семантические сети - это граф, дуги которого есть отношения между вершинами (значениями). Вершины (узлы) делятся на события, атрибуты, комплексы признаков и процедуры. Семантическую сеть можно рассматривать как композицию троек вида $A \text{ } r \text{ } B$, где A и B — два понятия, r — связь между ними.

Вопросы

1. Операция сопоставления в ЭС
2. Синтаксическое сопоставление в ЭС
3. Параметрическое сопоставление в ЭС
4. Модель представления знаний
5. Сетевые модели.
6. Фреймовые модели.
7. Продукционные модели.
8. Объектно-ориентированные модели.
9. Управляемый образцом модуль (УОМ).
10. Классификация систем, управляемых образцами.
11. Продукционные системы
12. Трансформационные системы
13. Семантическая сеть

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.

На следующих лекциях будут изучены Фреймы; объектно-ориентированный подход; практика использования моделей представления знаний в экспертных системах

Спасибо за внимание!