

Технология представления знаний в интеллектуальных информационных системах

1. Данные, знания и базы знаний

При изучении интеллектуальных информационных систем (ИИС) традиционно возникает вопрос – что же такое знания и чем они отличаются от данных, десятилетиями обрабатываемых компьютерами. Можно взять на вооружение следующие рабочие определения данных и знаний.

Данные – это отдельные факты, характеризующие объекты, процессы и явления предметной области, а также их свойства.

При компьютерной обработке данные трансформируются, условно проходя следующие этапы: *D1* – данные как результат измерений и наблюдений; *D2* – данные на материальных носителях информации (таблицы, протоколы, справочники); *D3* – модели (структуры) данных в виде диаграмм, графиков, функций; *D4* – данные в компьютере на языке описания данных; *D5* – базы данных на машинных носителях информации.

Знания – это закономерности предметной области (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области.

Знания основаны на данных, полученных эмпирическим путем. Они представляют собой результат мыслительной деятельности человека, направленной на обобщение его опыта, подученного в результате практической деятельности. С информационной точки зрения можно дать следующее определение знаний.

Знания – совокупность сведений, образующих целостное описание, соответствующее некоторому уровню осведомленности об описываемом вопросе, предмете, проблеме и т.д.

При обработке на ЭВМ знания трансформируются аналогично данным: *Z1* – знания в памяти человека как результат мышления; *Z2* – материальные носители знаний (учебники, методические пособия); *Z3* – поле знаний – условное описание основных объектов предметной области, их атрибутов и закономерностей, их связывающих; *Z4* – знания, описанные на языках представления знаний (продукционные, семантические сети, фреймы); *Z5* – база знаний на машинных носителях информации.

Часто используется еще такое определение знаний.

Знания – это хорошо структурированные данные, или данные о данных, или метаданные.

2. Отличительные особенности знаний от данных

Знания состоят из понятий, которые имеют имя, структуру и набор признаков, связей между понятиями и утверждений о свойствах понятий. Это форма представления информации в ЭВМ, имеющая такие особенности, отличающие знания от данных, как:

- внутренняя интерпретируемость (каждая информационная единица имеет уникальное имя, по которому система ее находит и отвечает на запросы, в которых это имя используется);
- структурированность (одни информационные единицы включаются в состав других);
- связность (можно задавать структурные, функциональные, временные, каузальные, пространственные отношения между информационными единицами);
- семантическая метрика (можно задать отношения, определяющие ситуационную близость, ассоциативные связи между информационными единицами);

Для хранения данных используются базы данных (БД), для которых характерны большой объем и относительно небольшая удельная стоимость информации. Для хранения знаний соответственно применяются базы знаний (БЗ), обладающие зачастую небольшим объемом, но являющиеся исключительно дорогими информационными массивами. База знаний – основа любой интеллектуальной системы. Раздел искусственного интеллекта, изучающий базы знаний и методы работы со знаниями, называется инженерией знаний.

3. Типы и виды знаний

Существует довольно большое количество признаков, по которым можно разделить знания на типы и виды. С точки зрения интеллектуальных систем знания могут быть классифицированы по следующим категориям:

Поверхностные знания – знания о видимых взаимосвязях между отдельными событиями и фактами в предметной области. Пример, поверхностные знания: «Если нажать на кнопку звонка, раздастся звук. Если болит голова, то следует принять аспирин».

Глубинные знания – это абстракции, аналогии, схемы, отображающие структуру и природу процессов, протекающих в предметной области. Эти знания объясняют явления и могут использоваться для прогнозирования поведения объектов. Пример глубинных знаний: «Принципиальная электрическая схема звонка и проводки. Знания физиологов и врачей высокой квалификации о причинах, видах головных болей и методах их лечения».

Современные экспертные системы работают в основном с поверхностными знаниями. Это связано с тем, что на данный момент нет универсальных методик, позволяющих выявлять глубинные структуры знаний и работать с ними.

Процедурные знания описывают последовательности действий, которые могут использоваться при решении задач. Это, например, программы для ЭВМ, словесные записи алгоритмов, инструкция по сборке некоторого изделия.

Декларативные знания – это все знания, не являющиеся процедурными, например, статьи в толковых словарях и энциклопедиях, формулировки законов в физике, химии и других науках, собрание исторических фактов и т. п.

В отличие от процедурных знаний, отвечающих на вопрос: "Как сделать Х", декларативные знания отвечают, скорее, на вопросы: "Что есть Х" или "Какие связи имеются между Х и Y?", "Почему Х" и т. д.

Исторически первичными были процедурные знания, то есть знания, «растворенные» в алгоритмах. Они управляли данными. Для их изменения требовалось изменять программы. Однако с развитием искусственного интеллекта приоритет данных постепенно изменялся, и все большая часть знаний сосредоточивалась в структурах данных (таблицы, списки, абстрактные типы данных), то есть увеличивалась роль декларативных знаний.

Знания о предметной области – совокупность сведений о предметной области, хранящихся в базе знаний интеллектуальной системы. В эти знания входят факты, относящиеся к предметной области, закономерности, характерные для нее, гипотезы о возможных связях между явлениями, процессами и фактами в ней, процедуры для решения типовых задач в данной проблемной области. Знания о предметной области вводятся в базу знаний инженером по знаниям. В процессе функционирования интеллектуальной системы они могут пополняться.

Прагматические – знания о способах решения задач в определенной предметной области.

Эвристические – знания, накапливаемые интеллектуальной системой в процессе ее функционирования, а также знания, заложенные в ней априорно, но не имеющие статуса абсолютной истинности в данной проблемной области. Часто знания эвристические связаны с отражением в базе знаний человеческого (неформального) опыта решения задач.

Экспертные – знания, которыми располагает специалист в некоторой предметной области.

4. База знаний

Принципиальное отличие систем искусственного интеллекта состоит в том, что для такого рода систем программист не готовит конкретные программы для исполнения. Человек лишь дает машине нужное задание, а программу, выполняющую это задание, система должна построить сама. Для этого нужны знания как о предметной области, к которой относится задание, так и о том, как строятся программы. Все эти знания хранятся в интеллектуальных системах в специальном блоке, называемом базой знаний. База знаний основа любой интеллектуальной системы.

Знания, хранящиеся в базе знаний, записываются в специальной формализованной форме. В базе знаний могут реализоваться процедуры обобщения и корректировки хранимых знаний, а также процедуры, создающие новые знания на основании тех, которые уже там имеются. Знания, хранимые в базе, отличаются от данных, хранящихся в базе данных, несколькими особенностями. Во-первых, структура знаний намного сложнее структуры данных. Во-вторых, знания обладают свойством внутренней активности. Чтобы пояснить это принципиальное свойство знаний, вспомним, что при обычной работе с компьютером данные всегда играют пассивную роль.

База знаний – совокупность программных средств, обеспечивающих поиск, хранение, преобразование и запись в памяти ЭВМ сложно структурированных информационных единиц – знаний.

База знаний замкнутая – база знаний, содержимое которой в процессе функционирования не изменяется.

Логический вывод в такой базе эквивалентен выводу в формальной системе и обладает свойством монотонности, т.е. ранее выведенные утверждения остаются верными на весь период функционирования базы знаний.

База знаний открытая – база знаний, позволяющая в процессе ее функционирования пополнять содержимое базы и убирать знания из базы. Свойство открытости приводит к тому, что вывод в такой базе является немонотонным, т.е. истинность выведенных в ней утверждений может меняться в процессе работы системы с такой базой.

4. Требования к моделям знаний

Представление знаний – важная проблема, т.к. она влияет на свойства и характеристики ИИС.

Представление знаний – это формализация знаний для их ввода в базу знаний.

Действия над знаниями осуществляются программным путём, поэтому знания должны быть представлены формальными моделями, к которым предъявляются два основных требования:

1.ОДНОРОДНОСТЬ (единообразие) - дает возможность упростить механизм управления логическим выводом и знанием;

2.ПОНЯТНОСТЬ для экспертов и пользователей. Иначе затрудняется процесс приобретения знаний и оценка их качества.

5. Модели представления знаний

Существуют десятки моделей представления знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим классам:

- семантические сети;
- продукционные модели;
- фреймы;
- формальные логические модели;
- онтологии.

Рассмотрим подробнее каждый класс представления знаний.

5.1. Семантические сети

Семантическая сеть (СС) – информационная модель предметной области, имеющая вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам (понятия, события, свойства, процессы) предметной области, а дуги (рёбра) – отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений. Это является одним из способов представления знаний.

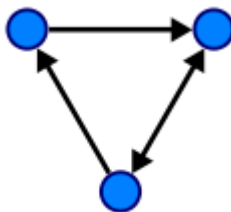


Рис. 1. Общая схема ориентированного графа

История развития СС

Идея систематизации на основе каких-либо семантических отношений не раз возникала в ранние периоды развития науки. Примером этого может служить **биологическая классификация Карла Линнея 1735 г.**

Прародителями современных семантических сетей можно считать экзистенциальные графы, предложенные **Чарльзом Пирсом** в 1909 г. Они

использовались для представления логических высказываний в виде особых диаграмм. Пирс назвал этот способ «логикой будущего».

Компьютерные семантические сети были детально разработаны **Ричардом Риченсом** в 1956 году в рамках проекта Кембриджского центра изучения языка по машинному переводу.

Структура СС:

1. Основной формой представления семантической сети является **граф**. Понятия семантической сети записываются в овалах или прямоугольниках и соединяются стрелками с подписями – дугами (см. рис.). Это наиболее удобно воспринимаемая человеком форма. Её недостатки проявляются, при построении более сложной сети или учете особенности естественного языка.

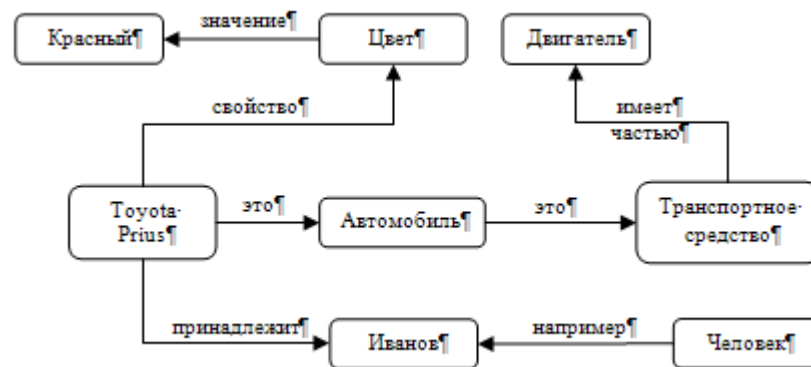


Рис. 2. Пример семантической сети

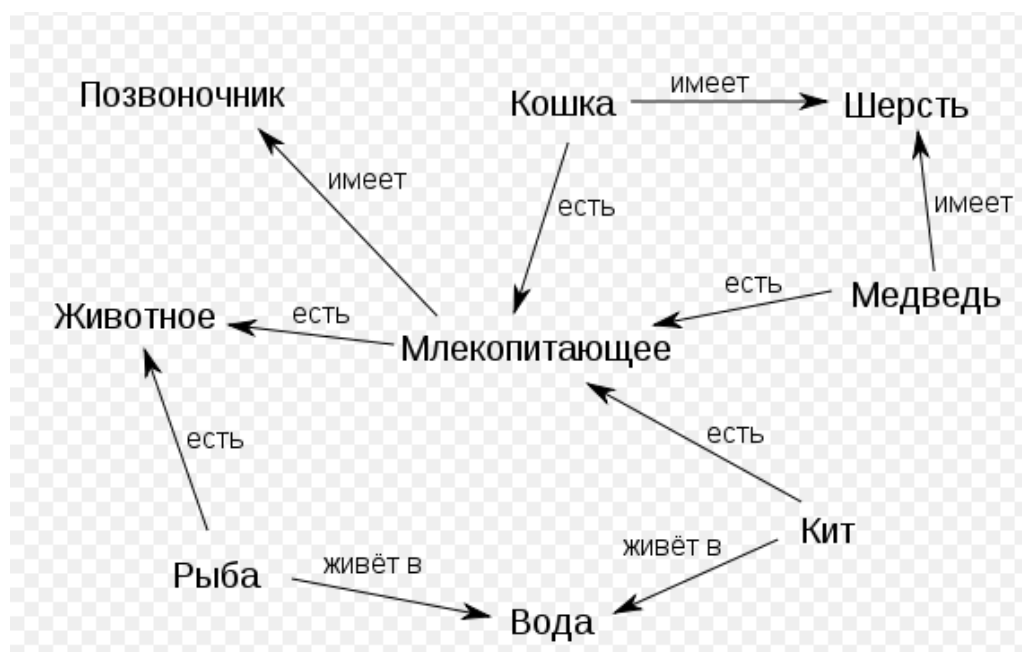


Рис. 3. Пример семантической сети

2. На картах знаний указываются направления отношений, что позволяет многим понятиям найти своё место относительно других понятий.

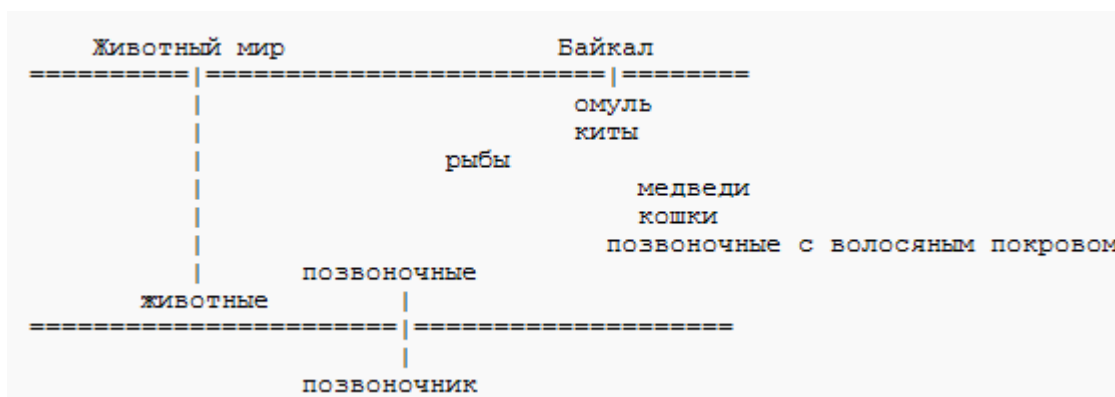


Рис. 4. Карта знаний

На карте направление слева направо – направление от общего к частному. Переход через пунктирную линию снизу вверх – направление от части к целому.

Семантические отношения

Количество типов отношений в семантической сети определяется ее создателем исходя из конкретных целей. В реальном мире их число стремится к бесконечности.

- Наиболее часто возникает потребность в описании отношений между элементами, множествами и частями объектов. Отношение между объектом и множеством, обозначающее, что объект принадлежит этому множеству, называется отношением классификации (ISA). Связь ISA предполагает, что свойства объекта наследуются от множества. Обратное к ISA отношение используется для обозначения примером, поэтому так и называется – «Example».

- Отношение между надмножеством и подмножеством называется АКО (A Kind Of). Элемент подмножества называется гипонимом, а надмножества – гиперонимом, само же отношение называется отношением гипонимии. Это отношение определяет, что каждый элемент первого множества входит и во второе (выполняется ISA для каждого элемента), а также логическую связь между самими подмножествами: что первое не больше второго и свойства первого множества наследуются вторым.

- Объект, как правило, состоит из нескольких частей, или элементов. Важным отношением является HasPart, описывающее части/целые объекты (отношение меронимии). Мероним – это объект, являющийся частью для другого. Холоним – это объект, который включает в себя другое. Например, двигатель – это мероним для автомобиля, а дом – холоним для крыши.

Часто в семантических сетях требуется определить отношения синонимии и антонимии. Используются вспомогательные отношения:

- функциональные связи (определяемые обычно глаголами «производит», «влияет» и др.);
- количественные (больше, меньше, равно);
- пространственные (далеко от, близко к, за, под, над);
- временные (раньше, позже, в течение);
- атрибутивные (иметь свойство, иметь значение);
- логические (и, или, не);
- лингвистические (фиксируются в словарях и в тезаурусах).

Классификация семантических сетей

Для всех семантических сетей справедливо разделение **по арности и количеству типов отношений**.

По количеству типов отношений, сети могут быть **однородными и неоднородными**.

Однородные сети обладают только одним типом отношений (стрелок), например, таковой является вышеупомянутая классификация биологических видов (с единственным отношением АКО).

В неоднородных сетях количество типов отношений больше двух. Неоднородные сети представляют большой практический интерес, но и большую сложность для исследования. Неоднородные сети можно представлять как переплетение древовидных многослойных структур. Примером такой сети может быть Семантическая сеть Википедии.

По арности:

типичными являются сети с бинарными отношениями (связывающими ровно два понятия). Бинарные отношения очень просты и удобно изображаются на графе в виде стрелки между двух концептов. Кроме того, они играют исключительную роль в математике.

На практике, однако, могут понадобиться отношения, связывающие более двух объектов — N-арные. Изображают подобную связь на концептуальном графе, представляя каждое отношение в виде отдельного узла.

Недостатком данной модели представления знаний является сложность организации процедуры поиска вывода на семантической сети.

Для реализации семантических сетей существуют специальные сетевые языки, например NET, язык реализации систем SIMER+MIR и др.

Широко известны экспертные системы, использующие семантические сети в качестве языка представления знаний — PROSPECTOR, CASNET, TORUS.

5.2. Продукционная модель

Продукционная модель (модель, основанная на правилах) позволяет представить знания в виде предложений, называемых продукциями, типа «Если (условие), то (действие)». Под условием (антецедентом) понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в БЗ, а под «действием» (консеквентом) – операции, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть промежуточными, выступающими далее в качестве условий и терминальными или целевыми, завершающими работу системы).

В качестве условия может выступать любая совокупность суждений, соединенных логическими связками и (\wedge), или (\vee).

Пример 1. Продукцией будет следующее правило:

ЕСЛИ (курс доллара-растет) \vee (сезон-осень) \wedge (число продавцов-убывает)
ТО (прогноз цен на рынке жилья - рост рублевых цен на квартиры).

Пример 2. **ЕСЛИ** «двигатель не заводится» и «стартер двигателя не работает» **ТО** «неполадки в системе электропитания стартера»

Такого рода правила и знания о ценах, предложении и спросе на рынке жилья могут стать базой для базы знаний о рынке жилья и экспертной системы для риэлторской фирмы.

Чаще всего вывод на такой базе знаний бывает прямой (от данных к поиску цели) или обратный (от цели для ее подтверждения – к данным).

Продукционная модель чаще всего применяется в промышленных экспертных системах. Она привлекает разработчиков своей наглядностью, высокой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений и простотой механизма логического вывода.

Недостатком продукционной модели является то, что при накоплении достаточно большого количества (порядка нескольких сотен) продукций они начинают противоречить друг другу. Рост противоречивости продукционной модели может быть ограничен путем введения механизмов ограничений и возвратов. Механизм исключений означает, что вводятся специальные правила-исключения. Их отличает большая конкретность в сравнении с обобщенными правилами. При наличии исключения основное правило не применяется. Механизм возвратов означает, что логический вывод может продолжаться даже в том случае, если на каком-то этапе вывод привел к противоречию: просто необходимо отказаться от одного из принятых ранее утверждений и осуществить возврат к предыдущему состоянию.

Существует большое количество программных средств, реализующих продукционный подход: язык OPS 5, оболочки ЭС – EXSYS Professional, Карра, ЭКСПЕРТ, инструментальные системы ПИЭС и СПЭИС и др.

5.3. Фреймы

Фрейм – это абстрактный образ для представления некоторого стереотипа информации.

В психологии известно понятие абстрактного образа. Например, произнесение вслух слова «комната» порождает у слушающих образ комнаты: «жилое помещение с четырьмя стенами, полом, потолком, окнами и дверью, площадью 6-20 м²». Из этого описания ничего нельзя убрать (например, убрав окна, мы получим уже не комнату, а чулан), но в нем есть т.н. слоты – незаполненные значения некоторых атрибутов – например, количество окон, цвет стен, высота потолка, покрытие пола и др.

В теории фреймов такой образ комнаты называется фреймом комнаты. Фреймом также называется и формализованная модель для отображения образа.

Различают фреймы-образцы (прототипы), хранящиеся в базе знаний, и фреймы-экземпляры, которые создаются для отображения реальных фактических ситуаций на основе поступающих данных. Модель фрейма является достаточно универсальной, поскольку позволяет отобразить все многообразие знаний о мире через:

- фреймы-структуры, используемые для обозначения объектов и понятий (заем, залог, вексель);
- фреймы-роли (менеджер, кассир, клиент);
- фреймы-сценарии (банкротство, собрание акционеров, празднование именин);
- фреймы-ситуации (тревога, авария, рабочий режим устройства) и др.

Традиционно структура фрейма может быть представлена как список свойств:

(ИМЯ ФРЕЙМА (имя 1-го слота: значение 1-го слота), (имя 2-го слота: значение 2-го слота), ... (имя N-го слота: значение N-го слота)).

Ту же запись можно представить в виде таблицы, дополнив ее двумя столбцами.

Таблица 1.

Структура фрейма

Имя фрейма			
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения	Присоединенная процедура

В табл. 1. дополнительные столбцы предназначены для описания способа получения слотом его значения и возможного присоединения к тому или иному слоту специальных процедур, что допускается в теории фреймов. В качестве значения слота может выступать имя другого фрейма: так образуются сети фреймов.

Существует несколько способов получения слотом значений во фрейме-экземпляре:

- по умолчанию от фрейма-образца;
- через наследование свойств от фрейма, указанного в слоте АКО;
- по формуле, указанной в слоте;
- через присоединенную процедуру;
- явно из диалога с пользователем;
- из базы данных.

Важнейшим свойством теории фреймов является заимствование из теории семантических сетей – так называемое наследование свойств. И во фреймах, и в семантических сетях наследование происходит по АКО-связям. Слот АКО указывает на фрейм более высокого уровня иерархии, откуда неявно наследуются, т.е. переносятся, значения аналогичных слотов.

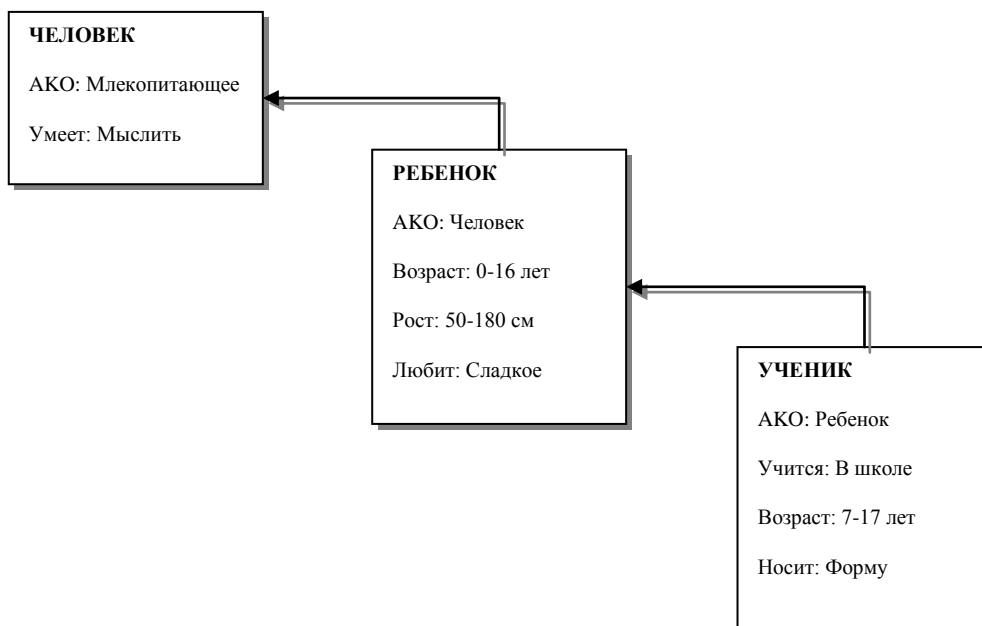


Рис. 5. Пример сети фреймов

Основным преимуществом фреймов как модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность.

Специальные языки представления знаний в сетях фреймов FRL (Frame Representation Language), KRL (Knowledge Representation Language), фреймовая оболочка Карра и другие программные средства позволяют эффективно строить промышленные ЭС. Широко известны такие фрейм-ориентированные экспертные системы, как ANALYST, МОДИС, TRISTAN, ALTERID.

5.4. Формальные логические модели

Традиционно в представлении знаний выделяют формальные логические модели, основанные на классическом исчислении предикатов I-го порядка, когда предметная область или задача описываются в виде набора аксиом. Чаще всего эти логические модели строятся при помощи декларативных языков логического программирования, наиболее известным представителем которых является язык Пролог (Prolog).

Начало истории языка относится к 70-м годам XX века. Интерес к Прологу поднимался и затихал несколько раз, энтузиазм сменялся жестким неприятием. Наибольшее внимание Пролог привлек к себе как к языку будущего во время разработок японской национальной программы «Компьютеры пятого поколения» в 1980-х годах, когда разработчики надеялись, что с помощью Пролога можно будет сформулировать новые принципы, которые приведут к созданию компьютеров более высокого уровня интеллекта. Неправильная оценка этой перспективы явилась одной из причин неудачи проекта.

В настоящее время Пролог, несмотря на неоднократные пессимистические прогнозы, продолжает развиваться в разных странах и вбирает в себя новые технологии и концепции, а также парадигмы императивного программирования.

Базовым принципом языка является равнозначность представления программы и данных (декларативность), отчего утверждения языка одновременно являются и записями, подобными записям в базах данных, и правилами, несущими в себе способы их обработки. Сочетание этих качеств приводит к тому, что по мере работы системы Пролога знания (и данные, и правила) накапливаются. Поэтому Пролог-системы считают естественной средой для накопления базы знаний.

5.5. Онтологии

Онтология – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из иерархической структуры данных, содержащей все

релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области.

Современные онтологии строятся по большей части одинаково, независимо от языка написания. Обычно они состоят из экземпляров, понятий, атрибутов и отношений.

Экземпляры (или индивиды) – это основные, нижеуровневые компоненты онтологии. Экземпляры могут представлять собой как физические объекты (люди, дома, планеты), так и абстрактные (числа, слова). Строго говоря, онтология может обойтись и без конкретных объектов. Однако одной из главных целей онтологии является классификация таких объектов, поэтому они тоже включаются.

Понятия (или классы) – это абстрактные группы, коллекции или наборы объектов. Они могут включать в себя экземпляры, другие классы, либо же сочетания того и другого.

Объекты в онтологии могут иметь атрибуты. Каждый атрибут имеет по крайней мере имя и значение, и используется для хранения информации, которая специфична для объекта и привязана к нему.

Важная роль атрибутов заключается в том, чтобы определять зависимости (отношения) между объектами онтологии. Обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект.

Специализированные (предметно-ориентированные) онтологии – это представление какой-либо области знаний или части реального мира. В такой онтологии содержатся специальные для этой области значения терминов. Общие онтологии используются для представления понятий, общих для большого числа областей. Такие онтологии содержат базовый набор терминов, глоссарий или тезаурус, используемый для описания терминов предметных областей. Если использующая специализированные онтологии система развивается, то может потребоваться их объединение, и для инженера по онтологиям это серьезная задача. Подобные онтологии часто несовместимы друг с другом, хотя могут представлять близкие области. Разница может появляться из-за особенностей местной культуры, идеологии и т.п., или вследствие использования другого языка описания. Сегодня объединение онтологий приходится выполнять вручную: это трудоемкий, медленный и дорогостоящий процесс. Использование базисной онтологии – единого глоссария – несколько упрощает эту работу. Есть научные работы по технологиям объединения, но они по большей части носят чисто теоретический характер.

Разработано несколько формальных языков для описания онтологий, в частности, следующие:

- OWL (Ontology Web Language), язык для поддержки семантической паутины (см. ниже);

- KIF (Knowledge Interchange Format) – основанный на т.н. S-выражениях синтаксис для логики;
- CycL – онтологический язык, используемый в проекте Cyc, основан на исчислении предикатов с некоторыми расширениями более высокого порядка.

Для работы с языками онтологий существует несколько видов технологий: редакторы онтологий (для создания онтологий), хранилища онтологий (для работы с несколькими онтологиями) и др.

6. Технологии баз знаний в Интернете

Семантическая паутина – часть глобальной концепции развития сети Интернет, целью которой является реализация возможности машинной обработки информации, доступной во Всемирной паутине. Основной акцент концепции делается на работе с метаданными, однозначно характеризующими свойства и содержание ресурсов Всемирной паутины, вместо используемого в настоящее время текстового анализа документов.

Термин «семантическая паутина» впервые введен сэром Тимом Бернерсом-Ли в мае 2001 года в журнале Scientific American, и называется им «следующим шагом в развитии Всемирной паутины». В семантической паутине предполагается повсеместное использование, во-первых, универсальных идентификаторов ресурсов (URI), а во-вторых, – онтологий и языков описания метаданных.

Для внедрения этой концепции предполагается создание сети документов, содержащих метаданные о ресурсах Всемирной паутины и существующей параллельно с ними. Тогда как сами ресурсы предназначены для восприятия человеком, метаданные используются машинами (поисковыми роботами и другими интеллектуальными агентами) для проведения однозначных логических заключений о свойствах этих ресурсов.

Семантическая паутина – это надстройка над существующей Всемирной паутиной, которая призвана сделать размещенную в ней информацию более понятной для компьютеров.

Техническую часть семантической паутины составляет семейство стандартов на языки описания, включающее XML, XML Schema, RDF, RDF Schema, OWL, а также некоторые другие. Форматы описания метаданных в семантической паутине предполагают проведение логического вывода на этих метаданных, и разрабатывались с оглядкой на существующие математические формализмы в этой области.

Задание для самостоятельной работы

Постройте схему семантической сети, предназначенной для описания такой предметной области, как «обучение студента в вузе». Она должна включать не менее 15 отдельных понятий.