

4. МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

4.1. Знания как объект исследования и преобразования в СИИ

В определении модели предметной области мы использовали понятие "знание", никак не определив его и не указав, чем отличается "знание" от каких-либо других понятий, таких как информация, данные, сообщение, суждение и т.п.. Посмотрим, что об этом говорит "Философский словарь" (под ред. Фролова И.Т. М. 1986 г.).

"Знание - идеальное выражение в знаковой форме объективных свойств и связей мира, природного и человеческого. При этом знания могут быть донаучными (житейскими или опытными) и научными, которые, в свою очередь, делятся на эмпирические и теоретические".

В нашем понимании знания определяются более конкретно:

знанием является информация, которая отражает объективные свойства и связи некоторых объектов, явлений, процессов, сущностей и отношениями между ними как в субъективном, так и научном (объективном) выражении.

Нас будут интересовать также системы знаний о предметной области (объектах, связях между ними, структуре и закономерностях поведения, взаимодействии со средой и т.п.), обеспечивающих решение целевых задач. Под системой знаний понимается совокупность знаний, образующих целостное описание некоторой проблемы с доступной и достаточной степенью точности [2]. Целостность означает, что между отдельными сведениями, входящими в знание, существуют связи и, следовательно, одни сведения могут быть выводимы из других. Это также означает, что система знаний есть информационная система (информационная модель), отвечающая требованиям полноты и непротиворечивости. В случае, если между отдельными сведениями явные связи не установлены, то они превращаются в единичные факты – некоторые суждения, относительно которых можно судить об их истинности или ложности. Такие суждения можно назвать данными. Таким образом, данное есть вырожденный случай знания. Например, если между деталями автомобиля не указаны связи, то мы получим просто Базу Данных о деталях автомобиля. Связность между элементами удобно

отображать с помощью ориентированных графов. И тогда результирующий связный граф можно рассматривать как модель знания о чем-то. Очевидно, что невозможно построить модель всего знания и мы можем говорить лишь о предметно - или проблемно - ориентированном фрагменте знания для целевого применения. Такие фрагменты мы будем называть моделями предметных областей.

В ЭВМ *знания*, также как и *данные*, отображаются в знаковой форме - в виде формул, текста, файлов, информационных массивов и т.п.. Поэтому можно сказать, что знания - это особым образом организованные данные.

Но это было бы слишком узкое понимание. А между тем, в системах искусственного интеллекта знания являются основным объектом формирования, обработки и исследования. *База знаний*, наравне с базой данных, - необходимая составляющая программного комплекса ИИ. Машины, реализующие алгоритмы ИИ, называют *машинами, основанными на знаниях*, а подраздел теории ИИ, связанный с построением экспертных систем, - *инженерией знаний*. Так чем же отличаются знания от данных?

Обычно под *данными* понимают информацию, определенным образом подготовленную и представляющую собой объект, отличный от команд. Сюда относится все, что обрабатывается программой (операнды, файлы и т.п.) по заданному алгоритму. Этот алгоритм может быть очень сложным, существуют даже специальные системы управления базами данных (СУБД). Но эти системы не могут делать одного, с точки зрения ИИ, самого главного. Они не могут моделировать рассуждения, т.е., иначе говоря, проводить *логический вывод*. Потребовалось достаточно большое время, прежде чем *данные*, постепенно эволюционируя, превратились в *знания*. При этом они приобрели, как минимум, шесть обязательных свойств:

- 1) внутреннюю интерпретацию,
- 2) внутреннюю структуру связей,
- 3) внешнюю структуру связей,
- 4) шкалирование,
- 5) погружение в пространство с «семантической метрикой»,
- 6) наличие активности.

В приведенном списке легко угадывается стремление как можно полнее отобразить не только интересующие нас объекты исследования, но и самые разнообразные связи и отношения между

ними. Уже в тех элементарных примерах, которые были рассмотрены выше, мы выявляли эти отношения. Так, в задаче о наполнении ведра, например, мы имели дело не только с объектами - ведром, раковиной, краном, - но и отражали отношения между ними (*РЯДОМ, В, НА*), их состояния (*ПУСТО, ПОЛНО, ОТКРЫТ, ЗАКРЫТ*). Будучи описанной на соответствующем языке, эта задачка уже представляла бы некоторое подобие базы знаний. То же можно сказать о любой модели предметной области вообще.

Рассмотрим указанные свойства базы знаний подробнее.

1. *Внутренняя интерпретация*

Это понятие легко пояснить на следующем примере, который представляет собой, в сущности, обычную таблицу (см. рис. 4.1).

Каждую строчку данной таблицы, также, как и столбец, будем трактовать как отдельную информационную единицу (ИЕ), расположенную в памяти машины. Тип транзистора, указанный в начале строки, является именем ИЕ-строки, имя ИЕ-столбца указано сверху.

< Имя m -го слота, Значение m -го слота >).

Тип прибора	Характеристики		
	Проводимость	Максим. ток, A	Максим. напряжение, B
КТ837А	p-n-p	7,5	80
КТ817Г	n-p-n	3	25
КП308В	n-тип	0.02	25
КП304А	p-тип	0.03	20

Рис. 4.1. Пример внутренней интерпретации данных

Информационная единица для первой строки с именем КТ837А будет выглядеть так: (КТ837А < Проводимость, p-n-p> < Макс. ток, 7.5 A > < Макс. Напряжение, 80 B >), для столбца с именем Проводимость соответственно: (Проводимость < КТ837А, p-n-p> < КТ817Г, n-p-n> < КП308В, n-тип> < КП304А, p-тип >). Круглые скобки, таким образом, выделяют содержание ИЕ, а угловые скобки -

определенные самостоятельные части, называемые *слотами*. В общем виде полная запись ИЕ будет выглядеть так: (Имя ИЕ < Имя первого слота, Значение первого слота> < Имя второго слота, Значение второго слота> ...).

В памяти машины вся эта таблица хранится в свою очередь как отдельная информационная единица. База данных, структурированная таким образом, еще не база знаний, но уже может ответить на некоторые вопросы, например, выдать информацию о характеристике транзистора или подобрать транзисторы по их проводимости. Другими словами, она уже может отвечать на вопросы, касающиеся содержимого ее памяти.

2. Наличие внутренней структуры связей

Представим теперь, что в качестве слотов у нас выступают другие информационные единицы. В этом случае слоты будут как бы вкладываться друг в друга, как в «матрешке». Полученная структура получила название *фрейма* (см. рис. 4.2).

F	S_I^1						S_2^1	r_2^1		S_m^1	r_m^1
		S_I^2	r_I^2		S_k^2	r_k^2					

Рис. 4.2. Структура фрейма

На рисунке: F - имя фрейма, S_1^1 - имя первого слота, S_i^2 - имя второго слота, который в свою очередь содержит k слотов второго уровня вложенности.

Пользуясь предыдущим примером, нетрудно представить себе фрейм, скажем, с четырьмя уровнями вложений. 1-й уровень - «видовое» название «Транзисторы». 2-й могли бы составить два слота - «Биполярные» и «Униполярные». 3-й уровень вложения - слоты с именами «КТ837А», «КТ817Г», «КП308В», «КП304А», а в качестве 4-го уровня - слоты, отражающие характеристики транзисторов согласно рис. 4.1.

Между слотами различных уровней могут быть самые разные отношения. Вложенным может быть не только слот, но и фрейм, имеющий уже свои многоуровневые вложения. Наконец, вложенной

может быть команда или даже целая программа. Все это придает фреймовым структурам большую гибкость и многосвязность.

3. Наличие внешней структуры связей

Из предыдущего следует, что при работе с фреймами могут возникнуть такие ситуации, когда отдельные факты и явления, входящие в структуру одного фрейма, вступают в ситуационную связь с фактами и явлениями, описанными в структуре другого фрейма. Для отображения таких связей используются отдельные слоты. В них указываются имена фреймов, с которыми есть связь, и имена отношений, осуществляющих их. Так возникает сеть с именами фреймов в вершинах. С помощью дуг, над которыми написаны имена соответствующих отношений, вершины соединяются между собой, образуя так называемую *семантическую сеть*. Попробуем ее построить.

Как там у Пушкина?

Вот едет могучий Олег со двора,
С ним Игорь и старые гости,
И видят: на холме, у берега Днепра,
Лежат благородные кости;
Их моют дожди, засыпает их пыль,
И ветер волнует над ними ковыль.

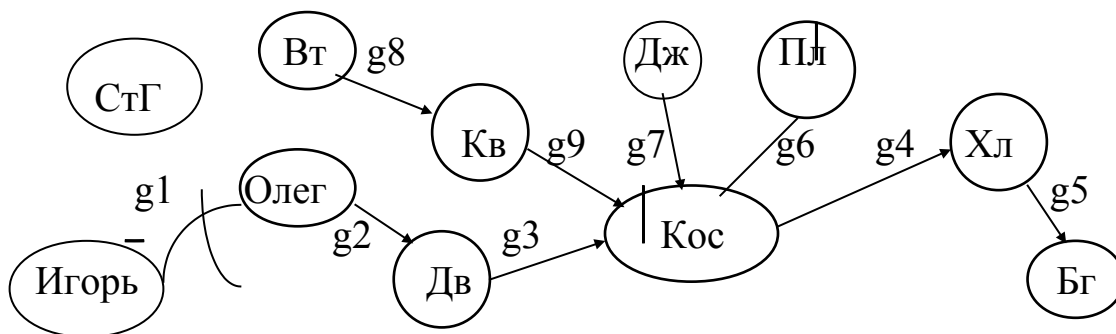


Рис.4.3. Пример семантической сети

На рисунке 4.3 обозначены следующие понятия (если хотите, фреймы): СтГ - старые гости, Дв - двор, Кос - кости (благородные),

Пл - пыль, Дж - дождь, Кв - ковыль, Вт - ветер, Хл - холм, Бг - берег Днепра.

Множество G описывает систему отношений: *g1 - быть вместе* (двойная дужка объединяет обе части этого соотношения), *g2 - выезжать со*, *g3 - видеть*, *g4 - быть на*, *g5 - быть у*, *g6 - засыпать*, *g7 - мыть*, *g8 - волновать*, *g9 - быть над*.

«Семантический» значит «с учетом смысла слов». Указанная сеть так и построена. При серьезных задачах она принимает весьма «запутанный» вид, связи ее усложняются. Построенные нами ранее графы решения различных задач (см. гл. 2) вполне могли бы послужить основой для построения элементарных семантических сетей.

Обратим внимание на тип отношений G между понятиями (фреймами) одной сети. Они могут быть самыми разными. Если, например, они отражают причинно-следственные связи, то такие сети называются *сценариями*. Если эти отношения отражают связи по включению (типа «принадлежать к классу», «состоять из»), то это будут *иерархические сети*. Отношения могут быть еще и такими, которые связывают аргументы и значения функции. Такие сети называются *вычислительными моделями*.

4. Шкалирование

Разумной деятельности человека свойственно стремление к упорядоченности. Мы пытаемся как-то систематизировать, «разложить по полочкам» те явления, события, факты, а точнее - информационные единицы, с которыми мы имеем дело. Для этой цели мы используем разного рода шкалы. Это могут быть строгие *метрические шкалы*, такие как шкала упорядочения людей по возрасту, шкала воинских званий или, к примеру, шкала весовых категорий в боксе (наилегчайший вес, легчайший, полулегкий и т.д.). Но это могут быть и «размытые шкалы», такие естественные в нашем языке. Вот как мы оцениваем частоту появления какого-то события: *Никогда, Чрезвычайно редко, Очень редко, Редко, Редко, но не очень, Не часто - не редко, Часто, но не слишком, Часто, Очень часто, Почти всегда, Всегда*. А еще есть так называемые «*оппозиционные шкалы*» типа *Хороший - Плохой, Острый - Тупой, Сильный - Слабый* и т.п. Сюда же относится и знакомое всем нам *Мы - Они*.

Отображая отношения и связи реального мира, база знаний должна уметь отразить и это свойство человеческого мышления.

5. Погружение в пространство с «семантической метрикой»

В нашем сознании это пространство образуют понятия, факты, явления, близкие по своему смыслу (семантике). Честно говоря, «метрика» эта не слишком строгая и даже в чем-то противоречивая.

Возьмем понятие *учитель*. В какое пространство (чаще говорят - *кластер*) мы его поместим? Это может быть «Интеллигенция», или «Работники умственного труда», или «Образованные люди», или просто «Служащие». Конечно, все зависит от конкретной *типовой ситуации*, но мы все-таки отметим этот факт: точки каждого кластера образуют совокупности понятий, семантически близких между собой. Таково свойство нашего мышления. *Типовая ситуация* - ядро, вокруг которого группируется информация.

Но есть и другой принцип образования кластеров. Выбор того или иного понятия из множества ему близких подчиняется у человека еще и частоте появления. На просьбу назвать поэта почти каждый ответит: Пушкин; на просьбу назвать фрукт - чаще всего - яблоко.

Таким образом, имеются, по крайней мере, две системы оценки близости информационных единиц. Одна опирается на их ситуативную близость, а другая - на частоту появления тех или иных понятий в типовых ситуациях.

Разработана довольно стройная теория моделирования образования ситуационных кластеров. Мы не будем сейчас вдаваться в подробности. Отметим лишь то, что метод погружения в пространство с семантической метрикой, будучи, хотя и приближенно, реализованным в базе знаний, существенно повышает ее «интеллектуальный уровень».

6. Наличие активности

Как работает «обычная» ЭВМ? Очень просто - по заданной программе она обрабатывает те или иные *данные*. В программе сосредоточено *процедурное знание*. Оно хранит информацию о том, как надо действовать, чтобы получить желаемый результат. *Данные* представляют собой *декларативные знания*. Они хранят информацию

о том, *над чем* надо выполнять эти действия. Программа, таким образом, играет роль активатора данных.

Иное дело у человека. Очень часто в процессе мышления декларативные знания у него являются активатором процедурных. Реализовать подобную возможность в базе знаний, как говорится, и чистом виде пока не удастся. Используются *смешанные представления*, в которых декларативные и процедурные знания понимаются единообразно и могут активизировать друг друга.

В качестве примера рассмотрим фрейм, содержащий несколько слотов. Допустим теперь, что в качестве одного из слотов выступает имя какой-либо процедуры, подлежащей исполнению. Но, как мы видели на примере семантической сети, обращение к тому или иному слоту (или фрейму) определяется множеством разнообразных отношений как между слотами одного фрейма, так и между другими фреймами. Все это как раз и формирует условия, необходимые для выполнения указанной процедуры. Иными словами, декларативные знания становятся активаторами процедур.

Возможность активизации процедур посредством данных отметим как важнейшее свойство базы знаний. В сущности, это означает отход от фундаментального принципа работы классической ЭВМ фон-неймановского типа - работы по жестко заданному алгоритму. С этого момента мы переходим к принципиально новым системам обработки информации - системам искусственного интеллекта.

Продукционные системы

Продукционная модель представления знаний основана на системе правил, называемых продукциями. Как база знаний, она обладает всеми известными свойствами изложены выше, но имеет своеобразную структуру:

$$P(x,y) \longrightarrow A.$$

Здесь $P(x,y)$ есть логическая функция, A - некоторое суждение, выражающее рекомендацию лицу, принимающему решение или решающей системе. То есть если для некоторых значений переменных x, y , например, $x = a, y = b$, логическая функция $P(a,b)$ принимает значение «истина», то справедливо некоторое суждение (совет) A . Иначе продукцию можно истолковывать как суждение типа «если..., то...».

Левая часть продукции называется прототипом или образцом состояния, с которым сопоставляются реальные состояния. Правая часть называется рекомендацией (или решением), которое следует принять в случае, если конкретное состояние предметной области сопоставляется с образцом (интерпретируется). Совокупность таких вот правил - продукции и образует базу знаний (БЗ).

Основной механизм логического вывода - это механизм сопоставления конкретных состояний предметной области с образцами БЗ. При этом возможны две основных стратегии вывода: «снизу-вверх» (от ситуации к цели) и «сверху-вниз» (от цели к ситуации).

Бабушка говорит «Красной Шапочке» (Волку): «Дерни за веревочку - дверь и откроется». Для нас это продукция: «Если дернуть за веревочку (p), то дверь откроется (q)»: $p \rightarrow q$. И вот возник вопрос: что будет, «если дернуть за веревочку»? Ответ определяется путем сопоставления с левой частью продукции (образцом) p . Совпало. Ответ: будет « q - дверь откроется» (стратегия «снизу-вверх»). Но может быть другой вопрос: «В каком случае дверь откроется?». Ответ ищется путем сопоставления с правой частью продукции. Совпало. Ответ: « p - дернуть за веревочку» (стратегия «сверху-вниз»).

Правила-продукции не зависят друг от друга, и поэтому такая БЗ легко пополняется и модифицируется. Подробно продукционные системы будут рассмотрены в другом пособии.

4.2. Классификация моделей представления знаний

Как организовать базу знаний с тем, чтобы она соответствовала требованиям СИИ, мы приблизительно познакомились. Очевидно, что методы представления знаний в базе должны соответствовать изложенным требованиям.

Существуют три типа моделей представления знаний (МПЗ):

- формальные модели представления знаний,
- неформальные (семантические, реляционные) МПЗ,
- интегрированные МПЗ.

К формальным МПЗ относятся модели, построенные на основе *исчисления высказываний и исчисления предикатов*.

К неформальным (реляционным, семантическим) относятся:

- продукционные модели,
- семантические сети,
- фреймовые МПЗ.

Интегрированные МПЗ совмещают в себе модели различных типов.

4.2.1. Неформальные модели представления знаний

Все методы представления знаний, которые мы рассматривали выше, включая продукции, относятся к неформальным моделям. В отличие от формальных моделей, в основе которых лежит строгая математическая теория, неформальные модели такой теории не придерживаются. Каждая неформальная модель годится только для конкретной предметной области и поэтому не обладает той универсальностью, которая присуща моделям формальным. Логический вывод – основная операция в СИИ – в формальных системах строг и корректен, поскольку подчинен жестким аксиоматическим правилам. Вывод в неформальных системах во многом определяется самим исследователем, который и отвечает за его корректность.

Каждому из методов ПЗ соответствует свой *язык представления знаний* (ЯПЗ).. Их четыре типа: *логические, сетевые, фреймовые, продукционные*. Рассмотрение сетевых, фреймовых и продукционных ЯПЗ выходит за рамки данной книги. Достаточно сказать, что все они, в конечном итоге, приходят к использованию языков формальной логики, что подчеркивает важность логических ЯПЗ в решении интеллектуальных задач.

4.2.2. Формальные модели представления знаний

Система ИИ в определенном смысле моделирует интеллектуальную деятельность человека и, в частности, - логику его рассуждений. В грубо упрощенной форме наши логические построения при этом сводятся к следующей схеме: из одной или нескольких посылок (которые считаются истинными) следует сделать "логически верное" заключение (вывод, следствие). Очевидно, для этого необходимо, чтобы и посылки, и заключение были

представлены на понятном языке, адекватно отражающем предметную область, в которой проводится вывод. В обычной жизни это наш естественный язык общения, в математике, например, это язык определенных формул и т.п. Наличие же языка предполагает, во-первых, наличие алфавита (словаря), отображающего в символьной форме весь набор базовых понятий (элементов), с которыми придется иметь дело, и, во-вторых, набор синтаксических правил, на основе которых, пользуясь алфавитом, можно построить определенные выражения.

Логические выражения, построенные в данном языке, могут быть истинными или ложными. Некоторые из этих выражений, являющиеся всегда истинными, объявляются *аксиомами* (или *постулатами*). Они составляют ту базовую систему посылок, исходя из которой и пользуясь определенными правилами вывода, можно получить заключения в виде новых выражений, также являющихся истинными.

Если перечисленные условия выполняются, то говорят, что система удовлетворяет требованиям *формальной теории*. Ее так и называют *формальной системой* (ФС).. Система, построенная на основе формальной теории, называется также *аксиоматической системой*.

Формальная теория должна, таким образом, удовлетворять следующему определению:

всякая формальная теория $F = (A, V, W, R)$, определяющая некоторую аксиоматическую систему, характеризуется:

наличием алфавита (словаря), A ,

множеством синтаксических правил, V ,

множеством аксиом, лежащих в основе теории, W ,

множеством правил вывода, R .

Исчисление высказываний (ИВ) и исчисление предикатов (ИП) являются классическими примерами аксиоматических систем. Эти ФС хорошо исследованы и имеют прекрасно разработанные модели логического вывода - главной метапроцедуры в интеллектуальных системах. Поэтому все, что может и гарантирует каждая из этих систем, гарантируется и для прикладных ФС как моделей конкретных предметных областей. В частности, это гарантии непротиворечивости вывода, алгоритмической разрешимости (для исчисления

высказываний) и полуразрешимости (для исчисления предикатов 1-го порядка).

ФС имеют и недостатки, которые заставляют искать иные формы представления. Главный недостаток - это «закрытость» ФС, их негибкость. Модификация и расширение здесь всегда связаны с перестройкой всей ФС, что для практических систем сложно и трудоемко. В них очень сложно учитывать происходящие изменения. Поэтому ФС как модели представления знаний используются в тех предметных областях, которые хорошо локализируются и мало зависят от внешних факторов.

В заключение скажем, что выбор модели представления знаний при построении СИИ является ответственным этапом. Эта работа выполняется специалистом по профессии «инженер по знаниям» - новая специальность, появившаяся в результате развития СИИ и экспертных систем. Вопросы технологии проектирования СИИ будут рассмотрены в другом издании.

Вопросы для самопроверки и упражнения

1. Дайте определение понятию «знание».
2. Чем принципиально отличаются «знания» от «данных»?
3. Какими основными свойствами должны обладать БЗ?
4. Приведите пример внутренней интерпретации знаний.
5. Как записывается простейшая информационная единица?
6. Что такое «слот»?
7. Какова структура фрейма?
8. Как в БЗ отображается внешняя структура связей?
9. Почему сеть называется семантической?
10. Приведите пример семантической сети
11. В чем заключается шкалирование данных?
12. Как вы понимаете «пространство с семантической метрикой»?
13. Что такой кластер?
14. Что содержат процедурные знания?
15. Что содержат декларативные знания?

16. В чем заключается принцип активности?
17. Что представляет собой продукционная модель?
18. Как организован вывод на продукциях?
19. Перечислите методы представления знаний.
20. Дайте определение формальной системе.
21. Какими свойствами характеризуется ФС?
22. Попробуйте составить семантическую сеть для следующих фраз:
 - а) И веют древними поверьями
Ее упругие шелка,
И шляпа с траурными перьями,
И в кольцах узкая рука.
 - б) Транзистор – электронный прибор, имеющий три и более электрода и выполняющий операции усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний.
 - в) Идет новобрачный к теще, а у нее уже новобрачная сидит разнаряжена, и фрукты стоят, и теща вино подносит к зятю, и тысяцкому, и поежанам.
 - г) Московиты настаивают на том, чтобы все крепости, взятые Вашим Величеством, все вообще были возвращены их Великому князю.