

Курс лекций «Введение в ИИ.». Часть I.
От психофизиологической проблемы до экспертных систем.

Лекция 7. Представление знаний в системах ИИ

О.Г. Чанышев

Содержание

1	Представление знаний в системах ИИ	1
1.1	Данные и знания	1
1.2	Особенности знаний	1
1.3	Логические модели представления знаний	3
1.3.1	Фреймовые модели	3
1.3.2	Сетевые модели	4
1.3.3	Интеллектуальная сеть и автомат над сетями	4
1.4	Продукционные модели	5
1.5	Сценарии	5
2	Интеллектуальный интерфейс	6
2.1	Уровни понимания	6
2.1.1	Первый уровень	6
2.1.2	Второй уровень	6
2.1.3	Третий уровень	6
2.1.4	Четвертый уровень	6
2.1.5	Пятый уровень	7
2.1.6	Метауровни	7
2.1.7	Первый метауровень	7
2.1.8	Второй метауровень	7
2.2	Уровни понимания и архитектура ИС	7
2.3	Методы решения задач	8
2.3.1	SS-проблема	8
2.3.2	PR-проблема	8
2.3.3	Решение задач, использующие вероятностные логики	8

1 Представление знаний в системах ИИ

Система ИИ - это система, оперирующая знаниями о проблемной области. Без Базы знаний систем ИИ не существует. Для формализации и представления знаний разрабатываются спе-

специальные модели представления знаний и языки для описания знаний, выделяются различные типы знаний. Изучаются источники, из которых ИС может черпать знания, и создаются процедуры и приемы, с помощью которых возможно приобретение знаний для ИС.

1.1 Данные и знания

Параллельно с развитием структуры ЭВМ происходило развитие информационных структур для представления данных. Появились способы описания данных в виде векторов и матриц, возникли списочные структуры, иерархические структуры. В настоящее время в языках программирования высокого уровня используются абстрактные типы данных, структура которых задается программистом. Появление баз данных (БД) знаменовало собой еще один шаг на пути организации работы с декларативной информацией. В базах данных могут одновременно храниться большие объемы информации, а специальные средства, образующие систему управления базами данных (СУБД), позволяют эффективно манипулировать с данными, при необходимости извлекать их из базы данных и записывать их в нужном порядке в базу.

1.2 Особенности знаний

В общем случае данные в СИИ должны отвечать следующим 5 условиям.

1. Внутренняя интерпретируемость. Каждая информационная единица должна иметь уникальное имя, по которому СИИ находит ее, а также отвечает на запросы, в которых это имя упомянуто.

При переходе к знаниям в память ЭВМ вводится информация о некоторой протоструктуре информационных единиц.

2. Структурированность. Информационные единицы должны обладать гибкой структурой. Должна существовать возможность произвольного установления между отдельными информационными единицами отношений типа «часть - целое», «род - вид» или «элемент - класс».

3. Связность. В информационной базе между информационными единицами должна быть предусмотрена возможность установления связей различного типа. Прежде всего эти связи могут характеризовать отношения между информационными единицами. Семантика отношений может носить декларативный или процедурный характер. Например, две или более информационные единицы могут быть связаны отношением "одновременно", две информационные единицы - отношением "причина - следствие" или отношением «быть рядом». Приведенные отношения характеризуют декларативные знания. Если между двумя информационными единицами установлено отношение «аргумент - функция», то оно характеризует процедурное знание, связанное с вычислением определенных функций.

Между информационными единицами могут устанавливаться и иные связи, например, определяющие порядок выбора информационных единиц из памяти или указывающие на то, что две информационные единицы несовместимы друг с другом в одном описании.

Перечисленные три особенности знаний позволяют ввести общую модель представления знаний, которую можно назвать семантической сетью, представляющей собой иерархическую сеть, в вершинах которой находятся информационные единицы. Эти единицы снабжены индивидуальными именами. Дуги семантической сети соответствуют различным связям между информационными единицами.

Отношения могут быть самого разного типа, что позволяет в достаточной мере обеспечить в семантической сети такой признак знаний, как связность. В общем случае это означает, что в виде семантической сети можно отобразить знания, составленные на естественном языке.

На примере семантической модели общего вида можно установить различие между базой данных и базой знаний. Предметная область есть множество допустимых состояний своих компонентов. Это множество, представленное через общие понятия и отношения между ними, образует базу знаний - в виде интенциональной семантической сети. С другой стороны, в зависимости от ситуации компоненты предметной области будут иметь конкретные значения, свойства, характеристики. Все эти конкретные данные о предметной области будут отображаться в так называемой экстенциональной семантической сети или базе данных сетевой структуры.

4. Семантическая метрика. На множестве информационных единиц в некоторых случаях полезно задавать отношение, характеризующее ситуационную (контекстную) близость информационных единиц, т.е. силу ассоциативной связи между информационными единицами. Его можно было бы назвать отношением релевантности для информационных единиц. Такое отношение дает возможность выделять в информационной базе некоторые типовые ситуации или контексты интерпретации (например, «покупка», «регулирование движения на перекрестке»). Отношение релевантности при работе с информационными единицами позволяет находить знания, близкие к уже найденным.

5. Активность. С момента появления ЭВМ и разделения используемых в ней информационных единиц на данные и команды создалась ситуация, при которой данные пассивны, а команды активны. Все процессы, протекающие в ЭВМ, инициируются командами, а данные используются этими командами лишь в случае необходимости. Для СИИ эта ситуация не приемлема. Как и у человека, в СИИ актуализации тех или иных действий способствуют знания, имеющиеся в системе. Таким образом, выполнение программ в СИИ должно инициироваться текущим состоянием информационной базы. Появление в базе фактов или описаний событий, установление связей может стать источником активности системы.

Перечисленные пять особенностей информационных единиц определяют ту грань, за которой данные превращаются в знания, а базы данных перерастают в базы знаний (БЗ). Совокупность средств, обеспечивающих работу с знаниями, образует систему управления базой знаний (СУБЗ).

Во второй части наших лекций будет дано более короткое и более емкое определение БЗ (не противоречащее сказанному выше), основанное на представлении данных в виде таблицы ТОСВ - Таблица «Объект - Свойство - Время» и логических высказываниях относительно объектов и данных.

1.3 Логические модели представления знаний

Постановка и решение любой всегда начинается с определения множества объектов (предметов и событий) предметной области.

Образы объектов предметной области (первичные и вторичные, а, следовательно, и абстрактные) принято называть сущностями.

Отношения между объектами и свойства объектов (одноместные отношения) можно рассматривать как сущности и включать в предметную область.

Вводя различные отношения подобия между сущностями, можно разбить предметную область на классы подобных сущностей, которые в свою очередь, являются сущностями данной предметной области.

Отношения между сущностями выражаются с помощью суждений, которым в языке соответствуют предложения.

Представление предметной области логическим языком называется логической моделью.

1.3.1 Фреймовые модели

В отличие от моделей других типов во фреймовых моделях фиксируется жесткая структура информационных единиц, которая называется протофреймом. В общем виде она выглядит следующим образом:

(Имя фрейма:
Имя слота 1 (значение слота 1)
Имя слота 2 (значение слота 2)
.....
Имя слота К (значение слота К)).

Значением слота может быть практически что угодно (числа или математические соотношения, тексты на естественном языке или программы, правила вывода или ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов). В качестве значения слота может выступать набор слотов более низкого уровня, что позволяет во фреймовых представлениях реализовать «принцип матрешки».

При конкретизации фрейма ему и слотам присваиваются конкретные имена и происходит заполнение слотов. Таким образом, из протофреймов получают фреймы - экземпляры. Переход от исходного протофрейма к фрейму - экземпляру может быть многошаговым, за счет постепенного уточнения значений слотов.

Связи между фреймами задаются значениями специального слота с именем «Связь». Часть специалистов по ИС считает, что нет необходимости специально выделять фреймовые модели в представлении знаний, т.к. в них объединены все основные особенности моделей остальных типов.

1.3.2 Сетевые модели

П-сущность - Мир.

В базе знаний ему соответствует некоторое описание, которое принято называть М-сущностью.

Семиотическая модель - комплекс процедур преобразования П в М.

М-сущности могут представлять и объекты, которых нет во внешнем относительно ИС мире.

Способ интерпретации взаимосвязанных П-сущностей называется денотативной семантикой, а способ интерпретации взаимосвязанных М- сущностей - коннотативной семантикой.

П-сущность по отношению к соответствующей ей в базе знаний М- сущности называется денотатом или референтом этой М-сущности, а М- сущность по отношению к исходной П-сущности - ее десигнатом, именем, меткой, идентификатором и т. п.

Терминальным объектом называется М-сущность, которая не может быть разложена на более простые сущности.

Остальные М-сущности называются производными объектами или производными М-сущностями.

Семантика терминальных объектов определяется набором допустимых процедур, оперирующих с ними, например: арифметические действия над числами, сравнение между собой строк или идентификаторов, операции ввода-вывода, включающие необходимые трансформации представлений, и т. д.

Отметим, что все это, по сути, совпадает с определением объекта в объектно-ориентированном программировании.

В основе сетевых моделей лежит конструкция, названная ранее семантической сетью. Сетевые модели формально можно задать в виде $T = (I, C, \Gamma)$. Здесь I есть множество информационных единиц (узлов); $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ - множество типов связей между информационными единицами. Отображение Γ задает связи между информационными единицами, входящими в I , из заданного набора типов связей C . Семантическая сеть с теоретико-множественной точки зрения, является гиперграфом.

В зависимости от типов связей, используемых в модели, различают классифицирующие сети, функциональные сети и сценарии. В классифицирующих сетях используются отношения структуризации. Такие сети позволяют в базах знаний вводить разные иерархические отношения между информационными единицами. Функциональные сети характеризуются наличием функциональных отношений. Их часто называют вычислительными моделями, т.к. они позволяют описывать процедуры «вычислений» одних информационных единиц через другие. В сценариях используются каузальные отношения, а также отношения типов «средство - результат», «орудие - действие» и т.п. Если в сетевой модели допускаются связи различного типа, то ее обычно называют семантической сетью.

1.3.3 Интеллектуальная сеть и автомат над сетями

Общеизвестно, что в ИНС нейроны моделируются простыми пороговыми элементами. Информация кодируется нейронными ансамблями, и чем сложнее объект, тем более элементов в ансамбле. Мы же убедились, что реальный нейрон только в исключительных случаях исполняет такую роль и что он более похож на процессор ЭВМ. С другой стороны, сама концепция семантической сети, фиксирующая типы связей между узлами, породила множественность типов семантических сетей. Таким образом, как методологически, так и с точки зрения программной реализации наиболее приемлемой моделью сети «нейронных процессоров» представляется тотальный граф, в узлах которого находятся фреймы с одним обязательным слотом, содержащим список ссылок на смежные узлы с указанием весов соответствующих связей. Фреймы могут быть активными, т.е. содержать как значения слотов ссылки на программы (процессы) или непосредственно загружаемые правила Пролога. Такую активную сеть назовем интеллектуальной, чтобы не путать с семантической.

Основным процессом в такой сети является поиск путей между парой заданных узлов, моделирующий процесс мышления. Результатом (выходом) является множество путей, представляемое упорядоченными множествами узлов. В случае, если не существует пути, система должна запросить дополнительную информацию.

При реализации алгоритма поиска можно использовать нисходящую версию «автомата над деревьями» - обобщение понятия конечного автомата применительно к деревьям (сетям), отличным от цепочек [?]. Такой автомат начинает работу в исходной вершине, разделяясь на N автоматов для обработки смежных узлов. Обработав все смежные узлы (или подграфы) вершины, автоматы вновь объединяются в один, состояние которого определяется идентификатором фрейма - исходной вершины и конечными состояниями автоматов-наследников. Это конечное состояние должно определять, в конкретном случае поиска путей, следующий узел, в котором процесс повторится. И так до тех пор, пока не будет найдена конечная вершина пути.

1.4 Продукционные модели

Продукции наряду с фреймами являются наиболее популярными средствами представления знаний в ИС.

Продукции, с одной стороны, близки к логическим моделям, что позволяет организовывать на них эффективные процедуры вывода, а с другой стороны, более наглядно отражают знания, чем классические логические модели.

(i) $Q;P; A \Rightarrow V;N$.

Где:

i-имя продукции,

Q - сфера применения продукции.

$A \Rightarrow V$ - ядро продукции, ее основной элемент.

P - условие применимости ядра продукции.

N - описание постусловий продукции.

В качестве имени может выступать некоторая лексема, предложение, отражающее суть данной продукции (например, "покупка книги" или "набор кода замка"), или порядковый номер продукции в их множестве, хранящемся в памяти системы.

Хранимое в памяти системы множество продукций составляет систему продукций.

Система продукций предусматривает наличие специальных процедур управления продукциями, с помощью которых происходит актуализация системы продукций и выбор для выполнения той или иной продукции из числа актуализированных. В этом случае говорят о работе продукционной системы над семантической сетью.

Комбинация моделей: сетевая - для декларативных знаний, продукционная - для процедурных - "работа продукционной системы над семантической сетью".

1.5 Сценарии

Стандартные ситуации, стереотипные знания.

Сценарий - формализованное описание стереотипных знаний.

2 Интеллектуальный интерфейс

2.1 Уровни понимания

В определении самого термина "понимание" трудно обойтись без субъективизма. стандартное его определение в случае системы искусственного интеллекта (СИИ) до сих пор не отличается от знаменитого теста Тьюринга: если на вход СИИ поступает текст, то СИИ понимает текст, если она дает ответы на любые вопросы, относящиеся к тому, о чем говорится в тексте, правильные с точки зрения человека-эксперта.

2.1.1 Первый уровень

Если, например, в систему введен текст: "В восемь утра, после завтрака, Петя ушел в школу. В два часа он вернулся домой. После обеда он ушел гулять", то на первом уровне понимания система обязана уметь отвечать правильно на вопросы типа: "Когда Петя ушел в школу?" или "Что сделал Петя после обеда?"

2.1.2 Второй уровень

Используя разнообразные отношения, представленные в тексте (временные, причинно-следственные (каузальные) и т.п.), которые называют псевдофизическими логиками, на втором уровне воз-

можны правильные ответы на вопросы типа: "Что было раньше: уход Пети в школу или его обед?" или "Гулял Петя после возвращения из школы? В этом случае в ИС должна иметь базу знаний, в которой хранятся закономерности, относящиеся к временной структуре событий, возможной их пространственной организации, каузальной зависимости и т. п., а логический блок обладает всеми необходимыми средствами для работы с псевдофизическими логиками.

2.1.3 Третий уровень

На третьем уровне понимания ИС должна дать правильные ответы на вопросы типа: "Где был Петя в десять утра?" или "Откуда Петя вернулся в два часа дня? Знания о внешнем мире. В данном случае - непрерывность. В логическом блоке должны быть предусмотрены средства не только для чисто дедуктивного вывода, но и для вывода по сценариям.

Если три первых уровня понимания реализованы во всех практически работающих ИС, то следующие два реализованы лишь частично.

2.1.4 Четвертый уровень

При наличии четвертого уровня понимания ИС способна отвечать на вопросы типа: "Почему Петя не должен был брать это?" или "Что сделал Петя?"

Если для ответа необходимо привлечь дополнительную ("экзегетическую") информацию, то внутреннее представление текста и вопроса передается в блок, который осуществляет сопоставление текста с той реальной ситуацией его порождения, которая доступна ИС по другим (дополнительным к "текстовому") каналам информации.

2.1.5 Пятый уровень

Для ответа на этом уровне ИС кроме текста использует информацию о конкретном субъекте, являющемся источником текста, и хранящуюся в памяти системы общую информацию, относящуюся к коммуникации (знания об организации общения, о целях участников общения, о нормах участия в общении).

Пара терминов из теории языковых актов.

Локуция - это говорение как таковое.

Иллокуция - это действие при помощи говорения: вопрос, побуждение (приказ или просьба) и утверждение.

Перлокуция - это действие, которым говорящий пытается осуществить некоторое воздействие на слушающего: "льстить", "удивлять", "уговаривать" и т. д.

Знания такого типа должны опираться также на психологические теории общения, которые пока развиты недостаточно.

2.1.6 Метауровни

2.1.7 Первый метауровень

На этом уровне происходит изменение содержимого базы знаний. Она пополняется фактами, известными системе и содержащимися в тех текстах, которые в систему введены. Используются методы распознавания образов.

2.1.8 Второй метауровень

На этом уровне происходит порождение метафорического знания. Правила порождения знаний метафорического уровня, используемые для этих целей, представляют собой специальные процедуры, опирающиеся на вывод по аналогии и ассоциации.

Другие определения понимания

Понимание как способность к аргументации - результат не противоречит сумме знаний.

Понимание как способность к оправданию - не противоречие результата нормам и ценностям.

2.2 Уровни понимания и архитектура ИС

1У. Лингвистический процессор с базой знаний, относящихся только к самому тексту.

2У. Процедура логического вывода.

3У. На третьем уровне необходима база знаний о среде.

4У. Новый канал информации. Кроме процедур, связанных с работой нового канала, появляются процедуры, интегрирующие информацию.

5У. На пятом уровне развитие получают разнообразные способы вывода на знаниях и данных. На этом уровне становятся важными модели индивидуального и группового поведения.

На метауровнях возникают новые процедуры для манипулирования знаниями, которых не было на более низких уровнях понимания. И этот процесс носит открытый характер.

Но понимание на уровне "бытового понимания" людей в ИС вполне достижимо.

2.3 Методы решения задач

Типичным актом является решение задачи поиска пути достижения нужной цели из некоторой фиксированной начальной ситуации. Результатом решения задачи должен быть план действий - частично-упорядоченная совокупность действий.

Такой план напоминает сценарий, в котором в качестве отношения между вершинами выступают отношения типа: "цель-подцель-действие", "действие-результат" и т. п.

Поиск пути (или плана действий) возникает в ИС лишь тогда, когда она сталкивается с нестандартной ситуацией, для которой нет заранее известного набора действий, приводящих к нужной цели.

Все задачи построения плана действий можно разбить на два типа, которым соответствуют различные модели: планирование в пространстве состояний (*SS-проблема*) и планирование в пространстве задач (*PR-проблема*).

2.3.1 SS-проблема

состоит в поиске пути в графе, вершинами которого являются состояния, и известны начальная и конечная вершины. Описание ситуаций включает состояние внешнего мира и состояние ИС, характеризуемые рядом параметров. (Как мы помним, в вопросе всегда содержится указание на ответ.)

Наиболее естественно пространство состояний представляется в виде графа, вершины которого помечены состояниями, а дуги - операторами. Сами вершины можно рассматривать

как подграфы с вершинами-фреймами степени не более 2-х, каждая вершин в которых есть некоторое значение слота. Обычно графы не задаются, а генерируются по мере надобности.

Операторы могут быть представлены в виде продукций. Таким образом, методы поиска сводятся к известным методам поиска путей в графе.

Различаются слепые и направленные методы поиска пути.

Слепой метод: поиск вглубь и поиск вширь. Высокие и низкие деревья. Широкие и узкие. Слепые методы требуют большой затраты времени.

Существует достаточно большое количество алгоритмов направленного поиска, выбор из которых определяется конкретными характеристиками решаемых задач.

2.3.2 PR-проблема

состоит в поиске декомпозиции исходной задачи на подзадачи, приводящей к задачам, решение которых системе известно. Частично упорядоченная совокупность таких задач составит решение исходной задачи. При планировании в пространстве задач ситуация пространство образуется в результате декомпозиции задач на подзадачи (цели на подцели). Например, $tg(x) = \sin\{x\} / \cos(x)$. Расчленение задачи на альтернативные множества подзадач удобно представлять в виде И/ИЛИ-графа. В таком графе всякая вершина, кроме конечной, имеет либо конъюнктивно связанные дочерние вершины (И-вершина), либо дизъюнктивно связанные (ИЛИ-вершина). В частном случае, при отсутствии И-вершин, имеет место граф пространства состояний.

2.3.3 Решение задач, использующие вероятностные логики

Основополагающим понятием при построении моделей неточного вывода является понятие вероятности, поэтому все описываемые далее методы связаны с вероятностной концепцией.

Высказывание неточно, если ложность или истинность не может быть установлена определенно.

Модель оперирования с неточными данными и знаниями включает две составляющие: язык представления неточности и механизм вывода на неточных знаниях.

Механизмы оперирования с неточными высказываниями можно разделить на два типа. К первому относятся механизмы, носящие "присоединенный" характер: пересчет мер неточности как бы сопровождает процесс вывода, ведущийся на точных высказываниях.

Для разработки присоединенной модели неточного вывода в основанной на правилах вывода системе необходимо задать функции пересчета, позволяющие вычислять: а) меру неточности левой части правила по мерам неточности составляющих его высказываний; б) меру неточности правой части правила по мерам неточности правила и посылки правила;

в) объединенную меру неточности высказывания по мерам, полученным из правил.

Возможность объединения силы нескольких свидетельств, что невозможно при классическом (дедуктивном) выводе. Заметим, что, несмотря на "присоединенность" механизмов вывода этого типа, их реализация в базах знаний оказывает влияние на общую стратегию вывода: с одной стороны, необходимо выводить гипотезу всеми возможными путями для того, чтобы учесть все релевантные этой гипотезе свидетельства, с другой-предотвратить многократное влияние силы одних и тех же свидетельств.

Для механизмов оперирования с неточными высказываниями второго типа характерно наличие схем вывода, специально ориентированных на используемый язык представления неточности.

Как правило, каждому шагу вывода соответствует пересчет мер неточности, обусловленный соотношением на множестве высказываний (соотношением может быть элементарная логическая связь, безотносительно к тому, является ли это отношение фрагментом какого-либо правила).

Таким образом, механизмы второго типа применимы не только к знаниям, выраженным в форме правил. Вместе с тем для них, как и для механизмов "присоединенного" типа, одной из главных является проблема объединения свидетельств.

Следующая лекция

Лекция 8. Экспертные системы. Часть I.