

Л. Н. ЯСНИЦКИЙ

ВВЕДЕНИЕ В ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Рекомендовано

*Научно-методическим советом по математике и механике
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по математическим направлениям и специальностям*

3-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2010

УДК 519.767.4(075.8)
ББК 32.813я73
Я82

Рецензенты:

зав. кафедрой динамики и прочности машин Пермского государственного технического университета, д-р техн. наук, академик РАЕН, чл.-корр. АТН,
проф. *Г. Л. Колмогоров*;

зав. кафедрой информатики Пермского государственного педагогического университета, д-р физ.-матем. наук, академик Международной академии информатизации, академик Академии информатизации образования РФ,
проф. *Е. К. Хеннер*;

зав. кафедрой прикладной математики и информатики Пермского государственного университета, д-р физ.-матем. наук, академик Академии информатизации образования РФ, проф. *С. В. Русаков*

Ясницкий Л. Н.

Я82 Введение в искусственный интеллект : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л. Н. Ясницкий. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 176 с.
ISBN 978-5-7695-7042-1

Изложены два основных подхода, применяемые при создании систем искусственного интеллекта: технология экспертных систем и нейросетевые технологии. Освещены вопросы их практического использования при решении задач распознавания образов, прогнозирования, диагностики, оптимизации и т.д.

Рассмотрены проблемы применения интеллектуальных систем в экономике, бизнесе, финансах, машиностроении, политологии, медицине, криминалистике. Подробно описан новый раздел искусственного интеллекта, связанный с созданием интеллектуальных систем, имитирующих творческую деятельность математика-профессионала при аналитическом решении краевых задач математической физики.

Учебное пособие награждено Дипломом Фонда развития отечественного образования как лучшая научная книга 2008 года.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 519.767.4(075.8)
ББК 32.813я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Ясницкий Л. Н., 2005

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2005

ISBN 978-5-7695-7042-1

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

Искусственный интеллект — это раздел информатики, посвященный моделированию интеллектуальной деятельности человека. Зародившийся более 700 лет назад в средневековой Испании искусственный интеллект оформился в самостоятельную научную область в середине XX в. Пройдя сложный, извилистый путь многократных метаний между чрезмерным оптимизмом и необоснованным скептицизмом, в наши дни искусственный интеллект получил блестящие практические приложения, открывающие перспективы, без которых немислимо дальнейшее развитие цивилизации.

Методы искусственного интеллекта позволили создать эффективные компьютерные программы в самых разнообразных, ранее считавшихся недоступными для формализации и алгоритмизации, сферах человеческой деятельности, таких как медицина, биология, зоология, социология, культурология, политология, экономика, бизнес, криминалистика и т. п. Идеи обучения и самообучения компьютерных программ, накопления знаний, приемы обработки нечетких и неконкретных знаний позволили создать программы, творящие чудеса. Компьютеры успешно борются за звание чемпиона мира по шахматам, моделируют творческую деятельность человека, создавая музыкальные и поэтические произведения, распознают образы и сцены, распознают, понимают и обрабатывают речь, тексты на естественном человеческом языке. Нейрокомпьютеры, созданные по образу и подобию человеческого мозга, успешно справляются с управлением сложными техническими объектами, диагностикой заболеваний человека, неисправностей сложных технических устройств; предсказывают погоду и курсы валют, результаты голосований; выявляют хакеров и потенциальных банкротов; помогают абитуриентам правильно выбрать специальность и т. д.

Мы уже привыкли к тому, что компьютеры «умнеют» буквально на глазах, а компьютерные программы становятся все более и более интеллектуальными. Само по себе понятие интеллекта постоянно претерпевает изменения по мере развития науки и человека. Давно уже не считаются интеллектуальными задачи, состоящие в выполнении арифметических операций сложения, умножения, деления. Не считается интеллектуальной задача интегри-

рования дифференциального уравнения, если для нее известен строго детерминированный алгоритм. В настоящее время принято считать интеллектуальными задачи, которые на современном этапе не поддаются алгоритмизации в традиционном смысле этого слова. Это задачи, для решения которых требуются манипуляции с нечеткими, неконкретными, ненадежными, расплывчатыми и даже нетрадиционными знаниями.

Каким же образом удастся решать такие задачи?

Автор попытался ответить на этот вопрос, собрав и проанализировав методы искусственного интеллекта, применяющиеся в различных разделах и направлениях. Основной упор он сделал на то, что принципиально отличает интеллектуальные системы. Это, в первую очередь, возможность их обучения, накопления знаний во время работы компьютерных программ, способность самообучения, самоорганизации, самосовершенствования.

В книге нет готовых алгоритмов и программ. Однако читатель, владеющий современными инструментальными средствами информатики, может реализовать излагаемые идеи и методы в своей практической деятельности. Кроме того, знание теоретических основ искусственного интеллекта полезно при освоении современных интеллектуальных пакетов прикладных программ, число которых растет ускоряющимися темпами.

Книга содержит изложение двух основных подходов, применяемых при создании систем искусственного интеллекта, — технологии экспертных систем и нейросетевых технологий. В некотором смысле эти подходы являются альтернативными. Первый из них предполагает создание базы знаний о предметной области и механизма, обрабатывающего эти знания с целью получения полезного логического вывода. Согласно второму подходу знания хранятся и обрабатываются в неявной форме подобно тому, как это происходит в человеческом мозге. Часто эти подходы конкурируют между собой, поэтому при проектировании систем искусственного интеллекта важно сделать правильный выбор.

В книге большое внимание уделяется вопросам практического применения методов искусственного интеллекта, в частности, при решении задач распознавания образов, прогнозирования, диагностики, оптимизации, при моделировании творческой деятельности человека, создании игровых компьютерных программ. Приведены принципы построения, общее описание и опыт применения систем искусственного интеллекта, используемых в промышленности, бизнесе, экономике, медицине, криминалистике, психологии, педагогике.

Последняя глава книги, названная «Интеллектуальное математическое моделирование», по своей сути открывает новое направление искусственного интеллекта. Здесь автор изложил свой опыт по созданию интеллектуальной системы, имитирующей твор-

ческую деятельность математика-профессионала, его интуицию и опыт, необходимые при аналитическом решении краевых задач математической физики.

Таким образом, предлагаемое издание охватывает весьма широкий круг вопросов и несмотря на учебную направленность содержит элементы научной монографии. Поэтому автор рекомендует книгу как студентам, так и зрелым программистам, аспирантам и ученым, посвятившим себя этой увлекательной научной области.

Автор использовал рукописные материалы из библиотеки Юрия Владимировича Девингталь, подаренной Пермскому государственному университету Валентиной Васильевной Девингталь. Кроме того, в книге приводится информация, любезно предоставленная автору специалистами в области искусственного интеллекта: Р. П. Абусевым, И. А. Грибановым, В. А. Игошиным, В. А. Краснобаевым, М. А. Марценюком, С. И. Чуприной. Результаты решения краевых задач гл. 7 получены совместно с С. Л. Гладким и Ф. Г. Салахутдиновым. Экспертная система интеллектуального математического моделирования разработана совместно с С. Л. Гладким, а ее первоначальное тестирование выполнено А. В. Семеновой, Ф. Г. Салахутдиновым, А. В. Тарантиной, О. А. Кулинской. Принципы построения нейросетевой системы диагностики авиационных двигателей разработаны совместно с начальником отдела диагностики АО «Авиадвигатель» В. Ф. Халиуллиным, а принципиальные основы создания системы кардиодиагностики разрабатывались с врачом-консультантом Пермского кардиологического центра Ю. К. Филоненко. Принципы построения нейросетевого детектора лжи обсуждались с полковником МВД РФ А. М. Петровым.

Всем своим коллегам, предоставившим информацию, принявшим участие в разработке систем искусственного интеллекта и в подготовке рукописи книги, автор выражает искреннюю благодарность.

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

1.1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Человек — это самый сложный из доступных для нашего восприятия объект, а способность мышления — его главное свойство — атрибут. Искусственный интеллект — наука, поставившая своей целью изучение и моделирование атрибута человека. Какова природа мышления? Какие процессы происходят в нашем организме, когда мы думаем, чувствуем, видим, понимаем? Возможно ли в принципе понять, как работает наш мозг, и заставить мыслить неживую природу? На протяжении тысячелетий человек задавался этими вопросами, но до сих пор мы не можем на них ответить с полной определенностью.

История попыток создания искусственного подобия человеческого разума насчитывает более 700 лет. Первую зафиксированную в истории попытку создания машины, моделирующей человеческий разум, связывают с именем испанского рыцаря, поэта, философа, богослова, алхимика, изобретателя Раймунда Луллия.

Представляет огромный интерес сама личность этого человека. Любимец короля, дуэлянт и повеса, как о нем пишут историки, рыцарь Раймунд Луллий вдруг отказывается от светских развлечений и идет в монастырь, чтобы стать мудрецом. Его решение вызвано весьма благородной целью — постичь науки и с их помощью излечить от болезни свою даму сердца. К сожалению, истории не известно, удалось ли Луллию достичь своей цели. Известно только, что в возрасте 80 лет он был насмерть забит камнями. Это случилось при неудачной попытке чтения лекций по искусственному интеллекту.

Луллий родился в 1235 и умер в 1315 г. В его времена ученые были заняты поиском неких универсальных понятий и истин, которые, будучи связанными между собой, давали бы общую картину мироздания, а значит, и ответы на все интересующие человечество вопросы. Это был век философов-мудрецов, астрологов и алхимиков, занятых поисками философского камня.

Развивая традиции ученых своего времени, Луллий сконструировал машину, состоящую из системы кругов, имевших возможность вращаться. Каждый круг был поделен на секторы, окрашенные в разные цвета и помеченные латинскими буквами. Круги

соединялись друг с другом, и, приводя их во вращение, можно было получить различные сочетания символов и цветов — так называемую формулу истины.

Машины Луллия могли работать в различных предметных областях и давать ответы на всевозможные вопросы, составлять гороскопы, ставить диагнозы болезней, делать прогнозы на урожай. В наиболее позднем варианте машина Луллия состояла из 14 кругов, размеченных буквами и раскрашенных в различные цвета, которые символизировали различные понятия, элементы, стихи, субъекты и объекты знания. Круги приводились в движение системой рычагов. Поворачиваясь, они могли образовывать около $18 \cdot 10^{15}$ разнообразных сочетаний буквенных и цветовых «истин». Запросы в машину вводились с помощью поворота внутреннего круга, на котором было начертано девять вариантов вопросов: Что? Почему? Из чего? Сколько? Каким образом? Где? Когда? Какое? Которое из двух?

Выражаясь современным языком, машина Луллия, по существу, представляла собой механическую экспертную систему, наделенную базой знаний, устройствами ввода и вывода, естественным языком общения. Свести к логическим операциям если не все знания о мире, то хотя бы часть из них, а затем поручить не человеческому мозгу, а механическому устройству процедуру вывода «формул знания», следующих из накопленной базы знаний, — эта идея искусственного интеллекта, впервые высказанная и реализованная средневековым рыцарем Раймундом Луллием, прожила семь веков и достигла в наши дни своего расцвета и триумфа.

В 40-х годах XX в. с появлением электронно-вычислительных машин искусственный интеллект обрел второе рождение. Произошло выделение искусственного интеллекта в самостоятельное научное направление. Сам термин «искусственный интеллект» (artificial intelligence) был предложен в 1956 г. на семинаре с аналогичным названием в Станфордском университете (США).

С тех пор история искусственного интеллекта представляла собой постоянные споры и метания между двумя крайностями — оптимизмом и пессимизмом. Интересны знаменитые предсказания американского экономиста и социолога, исследователя в области теории управления, моделирования социальных процессов Г. Саймона, сделанные в 1957 г. Приведем некоторые из них:

в ближайшее десятилетие ЭВМ завоюет титул чемпиона мира по шахматам;

в пределах десяти лет ЭВМ откроет и сумеет доказать важную новую математическую теорему;

в десятилетний срок большинство теорий в области психологии примет вид программ для вычислительной машины.

Сейчас, спустя почти полвека, мы видим, что предсказания Саймона постепенно сбываются, что он ошибался только в сро-

ках. Мы также можем отметить, что эйфория вокруг молодой кибернетики имела как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, она стимулировала интерес общественности к новому научному направлению, выразившийся в выделении крупных грантов правительством США. С другой стороны, кибернетика стала объектом весьма резкой критики более «трезво мыслящих» ученых. Мы также знаем, к каким тяжелым последствиям привела эта критика в СССР, когда за решение проблем научных дискуссий взялся государственный репрессивный аппарат.

Вскоре после признания искусственного интеллекта самостоятельной отраслью науки произошло его разделение на два основных направления: *нейрокибернетику* и *кибернетику «черного ящика»*. Первое из этих направлений иногда называют *низкоуровневым*, или *восходящим*, а второе — *высокоуровневым*, или *нисходящим*.

Основную идею нейрокибернетики можно сформулировать следующим образом. Единственный объект, способный мыслить, — это человеческий мозг. Поэтому любое мыслящее устройство должно быть обязательно выполнено по образу и подобию человеческого мозга, воспроизводить его структуру, его принцип действия. Таким образом, нейрокибернетика занимается аппаратным моделированием структуры мозга и его деятельности.

Как известно, мозг человека состоит из большого количества взаимосвязанных нервных клеток — нейронов. Поэтому усилия нейрокибернетиков сосредоточены на разработке элементов, подобных нейронам, и объединении этих элементов в системы — нейросети и нейрокомпьютеры. Первые нейросети и нейрокомпьютеры были предложены и созданы американскими учеными В. Мак-Каллоком, В. Питтсом и Ф. Розенблаттом в конце 1950-х годов. Это были устройства, моделирующие человеческий глаз и его взаимодействие с мозгом. Устройства умели распознавать буквы алфавита, однако были чувствительны к их написанию.

Сегодня нейрокомпьютерные и нейросетевые технологии являются одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся разделов искусственного интеллекта. Крупных успехов в этой области добились японские исследователи. Ими создан компьютер VI поколения — нейрокомпьютер, моделирующий структуру мозга и имеющий обширную базу знаний. Значительных успехов в этой области добились российские ученые. Отечественные нейрокомпьютеры уже давно применяются для управления сложными техническими объектами военного назначения.

В отличие от нейрокибернетики кибернетика «черного ящика» не придает значения принципу действия мыслящего устройства. Главное, чтобы оно адекватно моделировало его функциональную деятельность. Это направление искусственного интеллекта

ориентировано на поиски алгоритмов решения интеллектуальных задач с использованием существующих компьютеров независимо от их аппаратной базы.

Поставив перед собой задачу моделирования функций мозга, ученые столкнулись с серьезной проблемой. Оказалось, что несмотря на многовековую историю исследований ни одна из существующих наук (философия, психология, лингвистика и др.) не смогла предложить сколько-нибудь конкретный алгоритм человеческого мышления. Поэтому кибернетикам пришлось создавать собственные модели мышления.

В конце 50-х гг. XX в. появилась модель лабиринтного поиска. Согласно этому подходу решение интеллектуальной задачи выполнялось путем перебора огромного количества вариантов, который представлялся в виде движения по лабиринту. Создание таких алгоритмов, по словам их критиков, было не более разумно, чем попытки заново написать все книги, хранящиеся в Британском музее, посадив за пишущие машинки обезьян и надеясь, что обезьяны рано или поздно чисто случайно сумеют напечатать осмысленное слово, фразу или страницу. В настоящее время модель лабиринтного поиска признается тупиковой и имеет ограниченное использование в игровых компьютерных программах.

В начале 1960-х гг. началась эпоха эвристического программирования. Как писал автор этого термина американский математик Пойа, цель эвристики — исследовать методы и правила, как делать открытия и изобретения. Это очень сложная проблема. Дело в том, что Архимед, выпрыгнувший из ванны с криком «Эврика!», не объяснил, каким образом он догадался, что тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе ровно столько, сколько весит вытесненный им объем воды. Ньютон открыл закон всемирного тяготения, наблюдая за падением яблока. Менделеев пришел к принципу построения периодической таблицы во сне. Поэтов и музыкантов вдохновляют к творческим поискам возвышенные чувства, разобраться в которых в принципе невозможно.

Чтобы понять механизмы творческого мышления, авторы эвристического подхода провели эксперимент. Была отобрана группа студентов, не знакомых с математической логикой. Каждый студент должен был доказать самостоятельно одну или несколько теорем из учебника, не заглядывая в него. При этом ему вменялось в обязанность рассуждать вслух, делать любые записи, прекращать работу, если становилось ясно, что выбран неверный путь, и начинать все сначала.

Обработав магнитофонные записи, выкладки, черновики студентов, программисты нашли эвристики — способы, которыми пользовались студенты, доказывая теоремы. А затем с помощью этих эвристик была составлена программа, известная под назва-

нием «Логик-теоретик», которую принято считать родоначальницей эвристического программирования. И эта программа доказала все теоремы, какие были в учебнике, и сформулировала дополнительно те, которых не хватало до полной логической завершенности курса.

Наряду с указанными выше двумя подходами к проблеме моделирования мышления и создания искусственного интеллекта существует третий, названный эволюционным программированием (моделированием). Смысл этого подхода состоит в том, что процесс моделирования человека заменяется моделированием процесса его эволюции.

Серьезный прорыв в практических приложениях искусственного интеллекта произошел в середине 1970-х гг., когда, отказавшись от поисков универсального алгоритма мышления, программисты начали моделировать конкретные знания специалистов-экспертов. Открылось новое направление искусственного интеллекта — экспертные системы. С появлением экспертных систем бизнес в сфере интеллектуальных информационных технологий впервые становится рентабельным.

С середины 1980-х гг. искусственный интеллект — это одно из наиболее привлекательных в коммерческом отношении направлений компьютерной индустрии. Растут ежегодные капиталовложения, создаются промышленные и военные экспертные системы. В качестве альтернативы экспертным системам появляются и успешно завоевывают рынок нейросетевые и нейрокомпьютерные технологии, в которых, подобно процессам, происходящим в мозгу, знания растворяются в межнейронных связях, а процесс программирования системы заменяется ее обучением.

1.2. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Сегодня искусственный интеллект — это обширная область исследований и разработок интеллектуальных систем, предназначенных для работы в трудно формализуемых областях деятельности человека. Для задач, решаемых методами искусственного интеллекта, характерно наличие большого числа степеней свободы с числом вариантов поиска решений, приближающимся к бесконечности. В отличие от жестко детерминированных компьютерных программ системы искусственного интеллекта сами ищут пути решения поставленной задачи. При этом они могут менять свои параметры и структуру, совершенствоваться и развиваться, жить самостоятельной, не зависящей от воли разработчика жизнью.

Разработка интеллектуальных систем, основанных на знаниях. До недавнего времени это направление считалось основным и

наиболее плодотворным в развитии искусственного интеллекта. Оно связано с разработкой моделей представления знаний, созданием баз знаний, образующих ядро экспертных систем.

Нейросетевые и нейрокомпьютерные технологии. Это направление является альтернативным предыдущему как в идеологическом, так и в практическом плане. Искусственные нейронные сети и нейрокомпьютеры в значительной мере заимствуют принципы работы головного мозга. Знания в них не отделены от процессора, а равномерно распределены и существуют неявно в виде сил синаптических связей. Такие знания не закладываются изначально, а приобретаются в процессе обучения.

Распознавание образов. К распознаванию образов в искусственном интеллекте относят широкий круг проблем: распознавание изображений, символов, текстов, запахов, звуков, шумов. На рынке программных средств имеются системы, основанные на распознавании по признакам, оснащенные базами данных и знаний, имеющих возможность адаптации и обучения. Однако в последнее время становятся популярными гибридные системы, в которых наряду с технологиями экспертных систем используются и нейросетевые технологии.

Игры и творчество. Традиционно искусственный интеллект включает в себя интеллектуальные задачи, решаемые при игре в шахматы, шашки, го, каллах. В основе этого направления лежит один из ранних подходов — лабиринтная модель плюс эвристики. Кроме того, в современных программах-игроках наиболее полно удалось реализовать центральную идею искусственного интеллекта — обучение, самообучение и самоорганизацию.

В широком смысле слова под игрой понимается некая конфликтная ситуация, участники которой своими действиями не только достигают своих личных целей, но и влияют на достижимость целей другими участниками игры. Ясно, что под такое толкование игры подпадают многие экономические, политические и военные конфликты.

Компьютерное творчество представляет пока чисто теоретический интерес. Наибольший прогресс достигнут в сочинении компьютерной музыки. Разработаны различные модели художественного и поэтического творчества, имеющие больше познавательный, чем практический интерес.

Компьютерная лингвистика. Начиная с 50-х гг. XX в. и по настоящее время одной из популярных тем исследований искусственного интеллекта является область машинного перевода. Первая программа в этой области — переводчик с английского языка на русский. Первая идея — пословный перевод. В настоящее время используются более сложные структуры естественно-языковых интерпретаторов, которые включают в себя:

морфологический анализ — анализ слов в тексте;

синтаксический анализ — анализ предложений, грамматики и связей между словами;

семантический анализ — анализ смысла каждого предложения на основе базы знаний, на которую ориентирована конкретная программа-переводчик;

прагматический анализ — анализ смысла предложений в окружающем контексте с помощью базы знаний.

Другой проблемой компьютерной лингвистики является разработка естественно-языкового интерфейса между человеком и машиной. Здесь немаловажную роль могут сыграть нейросетевые технологии, с помощью которых удастся научить компьютер правильному произношению слов. В проектах создания компьютеров V и VI поколений решению этой проблемы уделено первостепенное внимание.

Интеллектуальные роботы. Роботы — это технические устройства, предназначенные для автоматизации человеческого труда. Само слово «робот» появилось в 20-х гг. XX в. Его автор — чешский писатель Карел Чапек.

В настоящее время в промышленности применяется огромное количество роботов-манипуляторов, работающих по жесткой схеме управления. В отличие от них интеллектуальные роботы обладают способностью самообучаться и самоорганизовываться, адаптироваться к изменяющейся окружающей обстановке.

Компьютерные вирусы. Сегодня трудно назвать компьютерного пользователя, избежавшего знакомства с этим видом программной продукции.

Последние поколения вирусов обладают всеми атрибутами систем искусственного интеллекта. Они свободно перемещаются по компьютерам, мутируют и размножаются, обучаются, меняют свои параметры и структуру.

Воздействие компьютерных вирусов значительно возросло с появлением сети Internet. По прогнозам специалистов, неприятности, которые мы испытываем сегодня, представляются ничтожными по сравнению с теми перспективами, которые ожидают нас с проникновением компьютерных вирусов в сферу интеллектуальных роботов.

Интеллектуальное математическое моделирование. Это компьютерное математическое моделирование с использованием методов искусственного интеллекта.

Интеллектуальные системы подобного рода имитируют творческую деятельность математика-профессионала, занимающегося решением краевых задач математической физики. Они обладают базами знаний, содержащими нужные теоремы, математические зависимости и эвристические правила, обобщающие опыт и интуицию математика-профессионала, способны к обучению с помощью учителя и к самообучению.

Контрольные вопросы

1. Опишите назначение и принцип действия машины Р.Луллия.
2. В чем суть модели лабиринтного поиска и эвристического метода?
3. Чем отличаются нейрокибернетические методы от методов кибернетики «черного ящика»?
4. В чем смысл терминов «восходящее» и «нисходящее» направления искусственного интеллекта?
5. Что такое эволюционное программирование?
6. Перечислите основные направления искусственного интеллекта.
7. Что такое интеллектуальное математическое моделирование?

2.1. ДАННЫЕ И ЗНАНИЯ

При изучении искусственного интеллекта естественно возникает вопрос: «Что такое знания и чем они отличаются от данных?». Приведем определения, заимствованные из учебника информатики [13].

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

При обработке на ЭВМ данные трансформируются, последовательно проходя следующие этапы:

данные, существующие как результат измерений и наблюдений;

данные на материальных носителях информации — в таблицах, протоколах, справочниках;

структуры данных в виде диаграмм, графиков, функций;

данные в компьютере на языке описания данных;

базы данных.

Знания связаны с данными, основываются на них, но представляют собой результат мыслительной деятельности человека, обобщают его опыт, полученный в ходе практической деятельности. Знания — это выявленные закономерности предметной области [13].

При обработке на ЭВМ знания трансформируются аналогично данным:

знания, существующие в памяти человека как результат обучения, воспитания, мышления;

знания, помещенные на материальных носителях — учебниках, инструкциях, методических пособиях, книгах;

знания, описанные на языках представления знаний и помещенные в компьютер;

базы знаний.

Для хранения данных используются базы данных. Для них характерны большой объем и относительно небольшая стоимость информации. Для хранения знаний используются базы знаний. Они, наоборот, отличаются сравнительно небольшими объемами, но исключительно дорогими информационными массивами.

Знания могут быть классифицированы на *поверхностные* — знания о видимых взаимосвязях между отдельными событиями и фак-

тами в предметной области, и *глубинные* — абстракции, аналогии, схемы, отображающие структуру и процессы в предметной области.

Кроме того, знания можно разделить на *процедурные* и *декларативные*.

Исторически первичными были процедурные знания, т. е. знания, растворенные в алгоритмах. Они управляли данными. Для их изменения требовалось изменять программы.

Рассмотрим, например, фрагмент программы на Паскале.

```
Pi:= 3.14;  
R:= 20;  
S:= Pi * R * R;  
WRITELN ('Площадь круга S =', S).
```

Первые два оператора представляют собой данные, третий оператор — знание. Оно является результатом интеллектуальной деятельности древних геометров и представляет собой закон, выражающий площадь круга через его радиус.

Однако с развитием искусственного интеллекта приоритет данных постепенно изменялся и все бóльшая часть знаний сосредоточивалась в структурах данных, т. е. увеличивалась роль декларативных знаний.

Существуют десятки способов представления декларативных знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим классам: продукционные; фреймы; семантические сети.

2.2. МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

2.2.1. Продукционные правила

Продукционная система состоит из трех основных компонентов, схематично изображенных на рис. 2.1. Первый из них — это база правил типа ЕСЛИ (условие), ТО (действие): ЕСЛИ холодно, ТО надеть шубу; ЕСЛИ идет дождь, ТО взять зонтик, и т. п.

Вторым компонентом является рабочая память, в которой хранятся исходные данные к задаче и выводы, полученные в ходе работы системы.

Третий компонент — механизм логического вывода, использующий правила в соответствии с содержимым рабочей памяти.

Рассмотрим конкретный пример. В базе правил экспертной системы имеются два правила.

Правило 1: ЕСЛИ «намерение — отдых» и «дорога ухабистая», ТО «использовать джип».

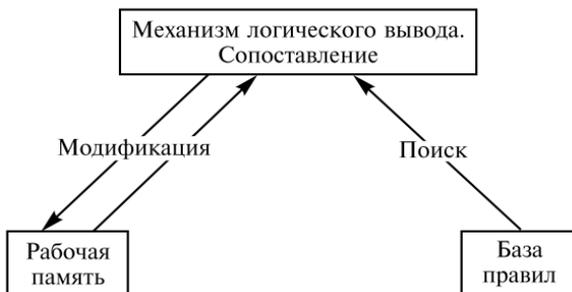


Рис. 2.1. Блок-схема продукционной системы

Правило 2: ЕСЛИ «место отдыха — горы», ТО «дорога ухаби-стая».

Допустим, что в рабочую память поступили исходные данные: «намерение — отдых»; «место отдыха — горы».

Механизм вывода начинает сопоставлять образцы из условных частей правил с образцами, хранимыми в рабочей памяти. Если образцы из условной части имеются в рабочей памяти, то условная часть считается истинной, в противном случае — ложной.

В данном примере при рассмотрении правила 1 оказывается, что образец «намерение — отдых» имеется в рабочей памяти, а образец «дорога ухаби-стая» отсутствует, поэтому условная часть правила 1 считается ложной. При рассмотрении правила 2 выясняется, что его условная часть истинна. Механизм вывода выполняет заключительную часть этого правила, и образец «дорога ухаби-стая» заносится в рабочую память. Правило 2 при этом выбывает из числа кандидатов на рассмотрение.

Снова рассматривается правило 1, условная часть которого теперь становится истинной, и содержимое рабочей памяти пополняется образцом «использовать джип». В итоге правил, которые можно было бы применять, не остается и система останавливается.

В рассмотренном примере приведен прямой вывод — от данных к поиску цели. Однако применяют и обратный вывод — от цели для ее подтверждения к данным. Продемонстрируем этот способ на нашем примере. Допустим, что наряду с исходными данными «намерения — отдых»; «место отдыха — горы» имеется цель «использовать джип».

Согласно правилу 1 для достижения этой цели требуется выполнение условия «дорога ухаби-стая», поэтому условие становится новой целью. При рассмотрении правила 2 оказывается, что условная часть этого правила в данный момент истинна, поэтому рабочая память пополняется образцом «дорога ухаби-стая». При

повторном рассмотрении правила 1 подтверждается цель «использовать джип».

При обратном выводе система останавливается в двух случаях: либо достигается первоначальная цель, либо кончаются правила. При прямом выводе система останавливается только тогда, когда кончаются правила, либо при появлении в рабочей памяти специально предусмотренного образца, например, «использовать джип».

В приведенном примере на каждом этапе прямого вывода можно было использовать только одно правило. В общем же случае на каждом этапе вывода таких правил несколько, и тут возникает проблема выбора. Например, введем в рассмотрение еще одно правило.

Правило 3: ЕСЛИ «намерение — отдых», ТО «нужна скорость».

Кроме того, введем условие останова системы — появление в рабочей памяти образца «использовать джип».

Теперь на первом этапе прямого вывода появляется возможность применять либо правило 2, либо правило 3. Если сначала применить правило 2, то на следующем этапе можно будет применить правило 1 и правило 3. Если на этом этапе применить правило 1, то выполнится условие останова системы, но если прежде применить правило 3, то потребуется еще один этап вывода.

Этот пример показывает, что выбор применяемого правила оказывает прямое влияние на эффективность вывода. В реальной системе, где имеется множество правил, появляется проблема их оптимального выбора.

Если на каждом этапе логического вывода существует множество применимых правил, то это множество носит название *конфликтного набора*, а выбор одного из них называется *разрешением конфликта*.

Аналогичная ситуация возникает и при обратном выводе. Например, дополним предыдущий пример еще одним правилом.

Правило 4: ЕСЛИ «место отдыха — пляж», ТО «дорога ухаби-стая».

Если на основании этого условия подтверждается цель «использовать джип», то для достижения первоначальной цели достаточно применить только одно правило 1, однако, чтобы подтвердить новую цель «дорога ухаби-стая», открывается возможность применения правила 1, нужно использовать либо правило 2, либо правило 4. Если сначала применить правило 2, то это будет самый удачный выбор, поскольку сразу же можно применить и правило 1. С другой стороны, если попытаться применить правило 2, то, поскольку образца «место отдыха — пляж», который является условием правила 4, в рабочей памяти не существует и, кроме того, не существует правила, подтверждающего его, данный выбор является неудачным. И лишь со второго ухода, применяя правило 2, можно подтвердить цель «дорога ухаби-стая».

Следует обратить внимание на то, что при обратном выводе правило 3, которое не оказывает прямого влияния на достижение цели, не принималось в расчет с самого начала. Таким образом, для обратных выводов характерна тенденция исключения из рассмотрения правил, не имеющих прямого отношения к заданной цели, что позволяет повысить эффективность вывода.

Продукционная модель — это наиболее часто используемый способ представления знаний в современных экспертных системах. Основными преимуществами продукционной модели являются наглядность, высокая модульность, легкость внесения изменений и дополнений, простота механизма логического вывода.

2.2.2. Фреймы

В психологии и философии используется понятие абстрактного образа. Например, слово «автомобиль» вызывает у слушающих образ устройства, способного перемещаться, имеющего четыре колеса, салон для шофера и пассажиров, двигатель, руль. Приведенное описание абстрактного образа «автомобиль» является минимальным и из него ничего нельзя убрать без потери его сущности.

Фрейм — это модель абстрактного образа, минимально возможное описание сущности какого-либо объекта, явления, события, ситуации, процесса. Фрейм состоит из имени и отдельных единиц, называемых слотами. Он имеет однородную структуру:

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.

В качестве значения слота может выступать имя другого фрейма. Таким образом фреймы объединяются в сеть. Свойства фреймов наследуются сверху вниз, т. е. от вышестоящих к нижестоящим через АКО-связи (начальные буквы английских слов «A Kind Of», что можно перевести как «это»). Слот с именем АКО указывает на имя фрейма более высокого уровня иерархии.

Например, на рис. 2.2 фрейм «Студент» имеет ссылки на вышестоящие фреймы: «Человек» и «Млекопитающее». Поэтому на вопрос: «Может ли студент мыслить?» — ответ будет положительным, так как этим свойством обладает вышестоящий фрейм «Человек».

Если одно и то же свойство указывается в нескольких связанных между собой фреймах, то приоритет отдается нижестоящему фрейму. Так, возраст фрейма «Студент» не наследуется из вышестоящих фреймов.

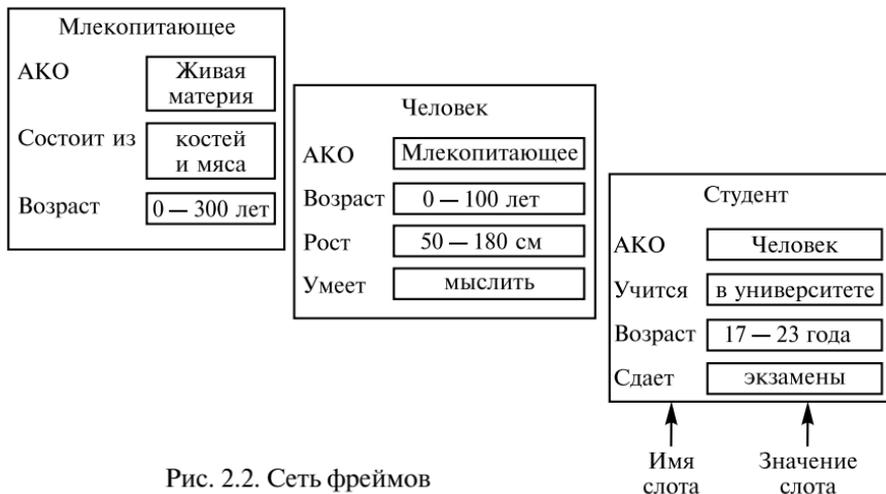


Рис. 2.2. Сеть фреймов

Основным преимуществом фреймов как способа представления знаний является наглядность и гибкость в употреблении. Кроме того, фреймовая структура согласуется с современными представлениями о хранении информации в памяти человека.

2.2.3. Семантические сети

В основе этого способа представления знаний лежит идея о том, что любые знания можно представить в виде совокупности *понятий* (объектов) и *отношений* (связей). Семантическая сеть представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются понятия, а дугами — отношения между ними. Сам термин «семантическая» означает смысловая.

Пример семантической сети приведен на рис. 2.3.

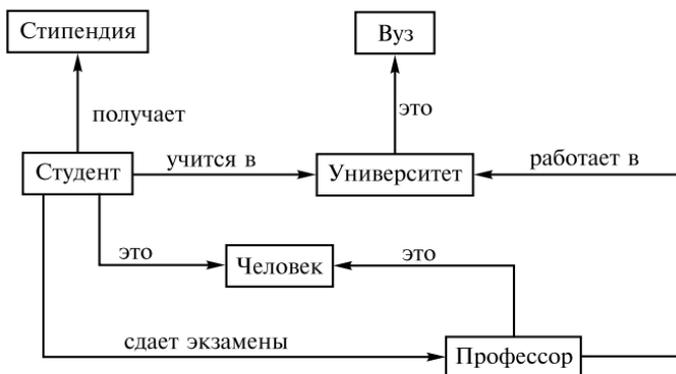


Рис. 2.3. Семантическая сеть

Основным преимуществом этой модели является наглядность представления знаний, а также соответствие современным представлениям об организации долговременной памяти человека. Недостаток — сложность поиска вывода, а также сложность корректировки, т. е. удаления и дополнения сети новыми знаниями.

2.3. ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

2.3.1. Предметные области

Знания, которыми обладает специалист в какой-либо области, можно разделить на формализуемые и плохо формализуемые. Формализуемые знания излагаются в книгах и руководствах в виде законов, формул, моделей, алгоритмов. Формализуемые знания характерны для точных наук, таких как математика, физика, химия, астрономия. Науки, которые принято называть описательными, обычно оперируют с плохо формализуемыми знаниями. К таким наукам можно отнести, например, зоологию, ботанику, экологию, социологию, педагогику, медицину и др.

Существуют неформализуемые знания, которые вообще не попадают в книги и руководства в связи с их неконкретностью, субъективностью, приблизительностью. Знания этого рода являются результатом многолетних наблюдений, опыта работы, интуиции. Они обычно представляют собой множество эмпирических и эвристических приемов и правил. Такие знания передаются из поколения в поколение в виде определенных навыков, ноу-хау, секретов ремесла. Есть также знания, которые не могут быть выражены ни в математическом виде, ни в терминах обычного человеческого языка. Такими знаниями обладают религиозные деятели, экстрасенсы, контактеры, шаманы.

Класс задач, относящихся к неформализуемым и плохо формализуемым знаниям, значительно больше класса задач, для которых знания формализуемы. Этим объясняется особая популярность и широкое практическое применение экспертных систем, которые открыли возможность применения компьютерных технологий в предметных областях, в которых знания плохо формализуемы.

2.3.2. Обобщенная структура

Экспертные системы — это сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие эти знания для консультаций менее квалифицированных пользователей.

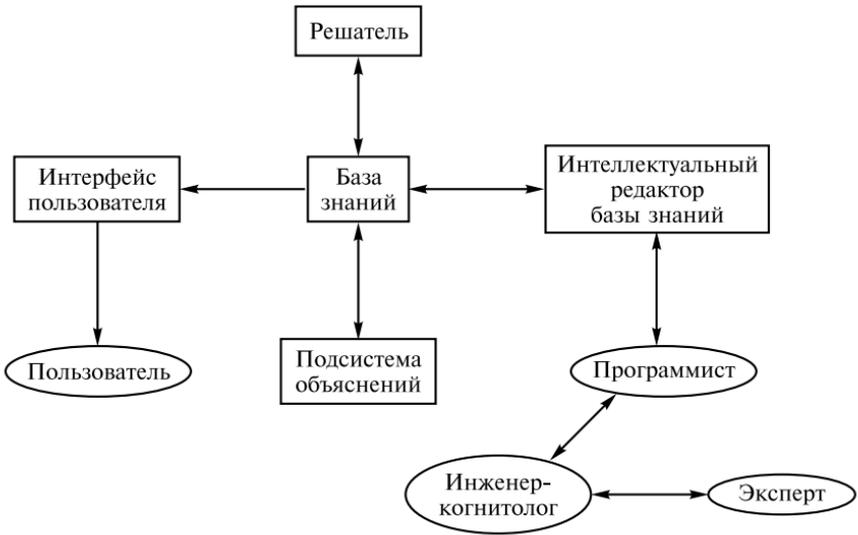


Рис. 2.4. Типичная блок-схема экспертной системы

Обобщенная блок-схема экспертной системы представлена на рис. 2.4. Обычно в ее состав входят следующие взаимосвязанные между собой модули:

база знаний — ядро экспертной системы, совокупность знаний предметной области, записанная на машинном носителе в форме, понятной эксперту и пользователю;

интеллектуальный редактор базы знаний — программа, представляющая инженеру-когнитологу и программисту возможность создавать базу знаний в диалоговом режиме. Она включает в себя системы вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок (help-режим) и других сервисных средств, облегчающих работу с базой знаний;

интерфейс пользователя — комплекс программ, реализующих диалог пользователя с экспертной системой на стадии как ввода информации, так и получения результатов;

решатель (синонимы: *дедуктивная машина*, *блок логического вывода*) — программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в базе знаний;

подсистема объяснений — программа, позволяющая пользователю получать ответы на вопросы: «Как была получена та или иная рекомендация?» и «Почему система приняла такое решение?». Ответ на вопрос «Как?» — это трассировка всего процесса получения решения с указанием исполняющих фрагментов базы знаний, т. е. всех шагов цепи умозаключений. Ответ на вопрос «Почему?» — ссылка на умозаключение, непосредственно предшествовавшее полученному решению, т. е. отход на один шаг назад.

В коллектив разработчиков экспертной системы входят как минимум четыре специалиста (или четыре группы специалистов): эксперт, инженер-когнитолог, программист, пользователь. Возглавляет коллектив инженер-когнитолог — ключевая фигура при разработке систем, основанных на знаниях. Обычно это руководитель проекта, в задачу которого входит организация всего процесса создания экспертной системы. С одной стороны, он должен быть специалистом в области искусственного интеллекта, а с другой — разбираться в предметной области, общаться с экспертом, извлекая и формализуя его знания, передавать их программисту, кодирующему и помещающему их в базу знаний экспертной системы.

Экспертная система работает в двух режимах — приобретения знаний и решения задач или консультаций.

В режиме приобретения знаний происходит формирование базы знаний. В режиме решения задач общение с экспертной системой осуществляет конечный пользователь.

Обычно знания, которыми располагает эксперт, различаются степенью надежности, важности, четкости. В этом случае они снабжаются некоторыми весовыми коэффициентами, которые называют *коэффициентами доверия*. Такие знания обрабатываются с помощью алгоритмов нечеткой математики.

В процессе опытной эксплуатации коэффициенты доверия могут подвергаться корректировке. В этом случае говорят, что происходит обучение экспертной системы. Процесс обучения экспертной системы может производиться автоматически с помощью обучающего алгоритма либо путем вмешательства инженера-когнитолога, выполняющего роль учителя.

2.3.3. Этапы и технология разработки

В процессе разработки экспертные системы проходят определенные стадии, в результате которых создаются различные версии, называемые прототипами:

демонстрационный прототип — экспертная система, которая решает часть требуемых задач, демонстрируя жизнеспособность метода инженерии знаний. Работает, имея в базе знаний всего 50... 100 правил. Время разработки такой экспертной системы — 6... 12 мес.;

исследовательский прототип — экспертная система, которая решает все требуемые задачи, но неустойчива в работе и неполностью проверена. База знаний содержит 200... 500 правил. Разработка занимает 3... 6 мес.;

действующий прототип — надежно решает все задачи, но для решения сложных задач может потребоваться много времени и

памяти. База знаний содержит 500... 1000 правил. Время разработки — 6... 12 мес.;

промышленная экспертная система — обеспечивает высокое качество решения всех задач при минимуме времени и памяти, что достигается переписыванием программ с использованием более совершенных инструментальных средств и языков низкого уровня. База знаний содержит 1000... 1500 правил. Время разработки — 1... 1,5 года;

коммерческая экспертная система — отличается от промышленной тем, что помимо собственного использования она может продаваться различным потребителям. База знаний содержит 1500... 3000 правил. Время разработки — 1,5... 3 года. Стоимость — 0,3... 5 млн долларов.

В настоящее время уже сложилась определенная технология разработки экспертных систем, которая состоит из следующих этапов, схематично изображенных на рис. 2.5.

1. *Идентификация* (постановка задачи). На этапе устанавливаются задачи, которые подлежат решению, выявляются цели разработки, требования к экспертной системе, ресурсы, используемые понятия и их взаимосвязи, определяются методы решения задач. Цель этапа — сформулировать задачу, охарактеризовать поддерживающую ее базу знаний и таким образом обеспечить начальный импульс для развития базы знаний.

2. *Концептуализация*. Проводится содержательный анализ проблемной области, выявляются используемые понятия и их взаимосвязи, определяются методы решения задач.

3. *Формализация*. Определяются способы представления всех видов знаний, формализуются основные понятия, определяются способы интерпретации знаний, оценивается адекватность целям



Рис. 2.5. Технология разработки экспертной системы

системы зафиксированных понятий, методов решения, средств представления и манипулирования знаниями.

4. *Выполнение.* Осуществляется наполнение экспертом базы знаний. Процесс приобретения знаний разделяют на извлечение знаний из эксперта, организацию знаний, обеспечивающую эффективную работу системы, и представление знаний в виде, понятном экспертной системе. Из-за эвристического характера знаний их приобретение является весьма трудоемким.

5. *Тестирование.* Эксперт и инженер по знаниям в интерактивном режиме, используя диалоговые и объяснительные средства, проверяют компетентность экспертной системы. Процесс тестирования продолжается до тех пор, пока эксперт не решит, что система достигла требуемого уровня компетентности.

6. *Опытная эксплуатация.* Проверяется пригодность экспертной системы для конечных пользователей. По результатам этого этапа может потребоваться модификация экспертной системы.

7. *Модификация.* В ходе создания экспертной системы почти постоянно производится ее модификация: переформулирование понятий и требований, переконструирование представления знаний и усовершенствование прототипа.

Усовершенствование прототипа осуществляется в процессе циклического прохождения через этапы выполнения и тестирования для отладки правил и процедур вывода.

Переконструирование выбранного ранее способа представления знаний предполагает возврат с этапа тестирования на этап формализации.

Если возникшие проблемы еще более серьезны, то после неудачи на этапе тестирования может потребоваться возврат на этап концептуализации и идентификации. В этом случае речь идет о переформулировании понятий, используемых в системе, т.е. перепроектировании системы заново.

Приведенная последовательность разработки экспертных систем предложена Э.А. Поповым в книге [14]. Данная технология отражает опыт разработки и внедрения многочисленных экспертных систем широкого назначения. В этой же книге указываются трудности, характерные для каждой стадии, и даются рекомендации по их преодолению.

Контрольные вопросы

1. Назовите общие и отличительные признаки данных и знаний.
2. Назовите и охарактеризуйте известные вам методы представления знаний.
3. Какой по вашему мнению метод представления знаний используется в человеческом мозге?
4. Приведите примеры формализованных и неформализованных знаний.

5. Дайте определение и сформулируйте назначение экспертной системы.
6. Приведите примеры известных вам экспертных систем.
7. Что такое оболочка экспертной системы?
8. Каким по вашему мнению должен быть коллектив разработчиков экспертной системы?
9. Перечислите и охарактеризуйте стадии и этапы разработки экспертных систем.