

普通高中课程标准实验教科书

信息技术（选修5）

人工智能初步

RENGONG ZHINENG CHUBU

广东教育出版社



广东教育出版社





普通高中课程标准实验教科书

信息技术（选修5）

人工智能初步

RENGONG ZHINENG CHUBU

广东基础教育课程资源研究开发中心信息技术教材编写组 编著

广东教育出版社

 广东教育出版社

· 广州 ·

责任编辑\刘茵 梁耀凤 李杰静
封面设计\何维
责任技编\姚健燕

主 编：徐福荫 李文郁
本册主编：李冠英
编写人员：王 腾 曹 萍 宋桂琴
刘 毅 朱光明

普通高中课程标准实验教科书
信息技术（选修5）
人工智能初步

广东基础教育课程资源研究开发中心
信息技术教材编写组 编著

*

广东教育出版社出版
(广州市环市东路472号12—15楼)
邮政编码：510075

湖南省新华书店发行
湖南天闻新华印务邵阳有限公司印刷
(邵阳市东大路776号)

890毫米×1240毫米 16开本 8印张 160 000字
2004年6月第1版

2006年7月第2版 2019年7月第29次印刷

ISBN 978-7-5406-5480-1

定价：9.88元

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如有印装质量问题,请与承印厂联系调换。

联系电话:0739—5105052

前 言



你知道一个“聪明”的机器人是如何诞生的吗？你见过会踢足球的机器人吗？你想知道在未来的社会中会发生一些什么有趣的事吗？美好的设想能变成现实吗？来吧！让我们携手迈入人工智能的科学殿堂，共同解答心中的疑问。

人工智能的基本任务，就是让机器模拟、延伸和拓展人的智能，替代人类解决生产、生活中的具体问题。人工智能是一门由计算机科学、数学、哲学、认知科学、脑科学、生物学、心理学等学科相互交叉发展而来的学科，它的诞生和发展，是科学技术发展的一个趋势。可以预言，随着人工智能的发展，在未来的日子里，我们的学习、工作和生活中将涌现出形形色色的机器人、智能系统，人们将从烦琐的脑力和体力劳动中解放出来。

《人工智能初步》是信息技术课程的一门选修课。本书以应用人工智能技术解决问题为主线，按照“知识表达与人工智能语言——推理与专家系统——问题求解”这一线索呈现学习内容。每章的首页有导言，叙述了本章的学习目的、学习目标和学习内容。这些能让你对本章有一个总体认识，也让你对学完该章后进行自我评价时有个参照标准。

我们选择同学们看得见、摸得着的人工智能实际应用问题作为案例，介绍人工智能的基础知识和发展动态。教材中设置了“任务”、“观摩”、“交流”、“实践”、“练习”、“拓展”等栏目，它们会帮助你更好地理解课本内容，指导你开展学习活动。例如，“任务”是为完成学习目标而提出的具体要做的事情；“交流”是围绕某些问题而进行讨论、交换意见或展示成果等；“实践”是按照示范的方法，为完成一定任务而进行的实际操作。设置“综合活动”，是为了让你把学过的内容应用到探索性学习或解决实际问题的活动当中，以此来提高自己应用人工智能技术解决问题的能力和合作探究的能力。每章设置一个“扼要回顾”的知识结构图，它把该章的主要内容及它们之间的关系描述出来，这有助于你理解和记忆所学的知识。每章设置一个“学习评价”，它让你对自己完成该章学习目标的程度进行自我评价。

我们配备了教学光盘和学习资源网站，提供了学习过程中观摩、实践等相关资料，以方便学习。同学们在学习过程中有何意见或建议，或有什么新的发现或体会，都可以通过我们的网站或其他途径随时提出。

人类即将走进智能社会，人工智能必将呈现灿烂辉煌的未来。“宝剑锋从磨砺出，梅花香自苦寒来。”愿大家努力学习，在人工智能的海洋中扬帆远航，为人类文明的进步，为祖国的繁荣昌盛作出应有的贡献。

编者

广东教育出版社

目 录

第一章 人工智能初探	(1)
1.1 什么是人工智能	(2)
1.1.1 什么是智能	(2)
1.1.2 人工智能及其特点	(3)
1.1.3 为什么要学习人工智能	(4)
1.2 人工智能的基本内容	(5)
1.2.1 机器感知	(5)
1.2.2 机器思维	(5)
1.2.3 机器学习	(6)
1.2.4 机器行为	(6)
1.2.5 机器人为什么会踢足球	(6)
1.3 人工智能的主要应用领域	(8)
1.3.1 模式识别	(8)
1.3.2 机器证明	(11)
1.3.3 自然语言理解	(12)
1.3.4 专家系统	(12)
1.3.5 自动程序设计	(13)
1.3.6 人工神经网络	(13)
1.3.7 智能代理	(14)
第二章 知识表示及Prolog语言	(19)
2.1 知识	(20)
2.1.1 知识及其分类	(20)
2.1.2 为什么要学习知识表示	(21)
2.1.3 知识的格式化表示方法	(21)
2.2 框架表示法	(22)
2.2.1 框架的基本结构	(22)
2.2.2 框架表示知识实例	(24)
2.3 “与/或”图表示法	(26)
2.3.1 “与/或”图表示法	(26)
2.3.2 “与/或”图表示实例	(27)
2.4 状态空间表示法	(30)
2.4.1 状态及操作	(30)
2.4.2 状态空间表示知识实例	(30)

2.5	产生式规则表示法	(33)
2.5.1	产生式的基本形式	(33)
2.5.2	动物识别系统的产生式规则	(34)
2.6	Prolog语言	(37)
2.6.1	初识Prolog语言	(37)
2.6.2	Prolog语言的三种基本语句	(38)
2.6.3	Prolog程序的基本结构	(40)
2.6.4	Prolog语言内部谓词	(42)
2.6.5	匹配与递归方法	(43)
2.6.6	Prolog语言的特点	(47)
2.7	综合活动：知识表示法运用	(50)
2.7.1	活动目的	(50)
2.7.2	活动任务	(50)
2.7.3	活动过程	(50)
2.7.4	活动结果	(51)
2.7.5	活动评价	(51)
第三章	专家系统	(55)
3.1	认识专家系统	(56)
3.1.1	什么是专家系统	(57)
3.1.2	专家系统的组成	(58)
3.1.3	专家系统的分类	(60)
3.2	专家系统的知识获取	(61)
3.2.1	专家知识	(61)
3.2.2	用知识表示法来表示专家知识	(62)
3.2.3	用Prolog语言表示专家知识的实例	(63)
3.2.4	知识获取的方法	(64)
3.3	专家系统的推理过程	(67)
3.3.1	正向推理和反向推理	(67)
3.3.2	不精确推理	(70)
3.4	专家系统的解释功能	(73)
3.4.1	解释的概念和作用	(73)
3.4.2	解释的内容	(74)
3.5	专家系统的开发	(77)
3.5.1	语言及工具	(77)
3.5.2	专家系统的开发过程	(80)
3.6	综合活动：植物分类专家系统的建造	(81)
3.6.1	活动目的	(81)

3.6.2	活动任务	(81)
3.6.3	活动过程	(81)
3.6.4	活动结果	(82)
3.6.5	活动评价	(82)
第四章	问题求解	(85)
4.1	重排九宫问题及其树的表示	(86)
4.1.1	重排九宫问题	(86)
4.1.2	重排九宫问题的状态树表示	(87)
4.1.3	树的一些术语	(88)
4.2	基本搜索方法	(89)
4.2.1	广度优先搜索方法	(90)
4.2.2	深度优先搜索方法	(91)
4.3	启发式搜索	(94)
4.3.1	启发函数的作用	(94)
4.3.2	重排九宫问题的启发式搜索过程	(95)
4.3.3	启发函数的选择	(96)
4.4	求解博弈问题	(97)
4.4.1	博弈问题	(97)
4.4.2	井字棋问题	(97)
*4.5	浅谈机器证明	(100)
4.5.1	知识的表示	(100)
4.5.2	归结原理及其应用简述	(100)
第五章	人工智能的回顾与展望	(105)
5.1	人工智能的发展历程	(106)
5.1.1	人工智能的形成与发展	(106)
5.1.2	人工智能取得的成果	(107)
5.1.3	国内人工智能发展现状	(107)
5.2	人工智能的展望	(110)
5.2.1	机器智能化	(110)
5.2.2	智能机器人	(110)
5.2.3	知识发现与数据挖掘	(111)
5.2.4	社会智能化	(111)
	部分中英文术语对照表	(118)

(注：打*为选学内容)

广东教育出版社

第一章

人工智能初探

人类由于具有高级的智能，成为了万物之灵和地球的主人，而智能也成为全人类所认可并且尊崇的推动社会发展的主要因素。从发明工具到农业革命，从工业社会到信息化社会，智能的作用无处不在。

为了从繁重的生产劳动中解放自己，人类发明了各种各样的机器。一直以来，人们都希望机器能模拟人类的部分智能，而人工智能学科的主要研究目标，正是怎样使机器具有智能，以便更好地服务于人类。

通过本章学习，我们将了解人工智能的概念与基本特点，人工智能研究的基本内容及其主要应用领域。

- 什么是人工智能
- 人工智能的基本内容
- 人工智能的主要应用领域

1.1 什么是人工智能

动物是人类的朋友，而那些可爱的动物明星，更加让人们喜爱。比如乖巧的海豚（如图1-1），在驯养师的引导下，它们能够表演敬礼、跳舞、投篮、顶球等“高难度”动作，还有憨态可掬的黑熊骑自行车、威风凛凛的老虎钻火圈、可爱的小狗耍杂技，等等。这些动物明星们出色的表演，往往令观众捧腹大笑，赞不绝口。

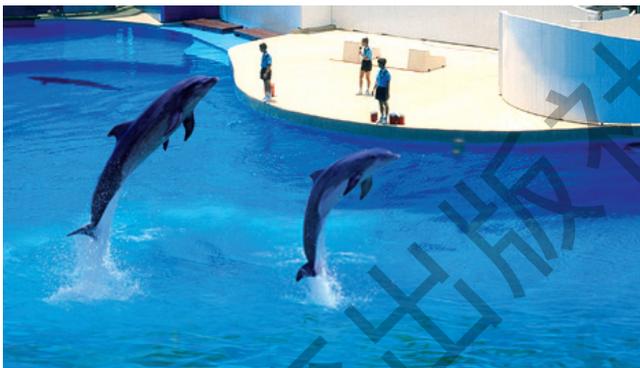


图1-1 海豚表演



交流

- (1) 会表演节目的动物明星们是否具有智能？
- (2) 自然界的所有动物是否都具有智能？
- (3) 怎样才算具有智能？

通过上述讨论，我们知道，动物可以通过后天的学习或训练获得一些技能。那么，到底这些后天获得的“技能”是不是真正的智能呢？

1.1.1 什么是智能

“智能”这个词，相信大家都不陌生，但是，大家对它的具体内容和含义清楚吗？

其实，“智能”是一个外来词，《辞海》中并没有收录这个词，只有相关的“智力”、“智慧”、“才能”等词。它来源于我国学术界对英文“Artificial Intelligence (AI)”的译文——人工智能。而英文词典中，关于“Intelligence”的注释，主要是强调

智能有其内在的天然生理基础，是后天获得的。学习和记忆的能力是产生智能的前提，也是智能的最基本特征。

“智能”至今被认为是自然界四大奥秘之一，人们普遍认为，智能是知识与智力的总和，其中知识是一些智能行为的基础，而智力是获取知识并运用知识求解问题的能力。人类智能的基本特征表现在以下四个方面：

“物质的本质”、“宇宙的起源”、“生命的本质”、“智能的发生”并称为自然界四大奥秘。

(1) 感知。即人们通过各种感觉器官(如眼、耳、鼻、手等)来获取客观世界中的各种信息(如图像、声音、气味等),然后将这些信息传入人脑以进行知识处理和识别等智能活动。

(2) 思维。人的思维能力是指人脑对客观事物能动的、间接的和概括的反映,包括逻辑思维、形象思维和创造性思维。它利用人类语言作为工具,通过归纳、联想、比较、分析、判断等方法对获取的知识进行加工和处理。

(3) 学习及自适应。学习是人类智能的主要标志,也是人类获取知识的基本手段。人们通过与环境的相互作用,不断地进行学习,通过学习积累知识、增长才干,从而适应环境的变化,并根据环境的变化不断地改变自己的行为。

(4) 行为。人们通常用语言、表情、眼神、形体等动作对外界的刺激作出反应,传达信息。

大家可能都看过科幻片,科幻片经常会出现一些有智慧、有感情的机器人。在现实生活中,从计算器到大型集成电路板,从会报警的防盗系统到会唱歌的电子宠物,各种各样的机器都是我们生活、学习、工作的好帮手。



交流

- (1) 科幻片中的机器人具有人类的智能吗?
- (2) 现实生活中的哪些机器具有人类的智能?请举几个例子。

通过上述讨论,我们知道机器人具有类似于人类的某种智能行为。那么机器人所具有的这种智能行为与我们人类的智能有些什么联系和区别呢?

1.1.2 人工智能及其特点

人们普遍认为,人工智能是研究和开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、技术、方法及应用系统的一门学科。其目的是让机器能够模拟、延伸和扩展人的智能,以实现某些脑力劳动的机械化。实质上,它是开拓计算机应用、研制智能计算机和扩展计算机应用领域的技术基础,也是探索人脑奥秘的重要科学途径。人工智能、原子能技术和空间技术被称为20世纪的三大尖端科技。进入21世纪后,人工智能仍是适应信息时代需求的关键技术之一。

人工智能的主要特点可概括为以下几点:

- (1) 人工智能是一门由计算机科学、数学、哲学、认知科学、脑科学、生理学、心理学等多种学科相互渗透发展起来的新学科。
- (2) 人工智能研究的内容很广,包括机器感知、机器思维、机器行为、机器学习、智能系统及智能机器人等。
- (3) 人工智能研究的目的是使机器智能化及制造出新的智能化机器。
- (4) 人工智能技术在许多领域都有广泛的应用,它与其他科学技术相结合,极大地提高了应用技术的智能化水平。

1.1.3 为什么要学习人工智能

1. 人工智能是科学技术发展的趋势

在人类社会的发展历程中，经历了几次意义重大的技术变革。第一次是农业革命，逐渐解决人类的温饱问题，使人类得以更加稳定地延续和发展。第二次是工业革命，机械化生产逐渐代替人类的体力劳动，它将人类从繁重的体力劳动中解放出来。第三次是正在进行的信息革命，它有力地推动了人类社会的信息化和国际化过程。那么，社会生产力的下一次突破口又会在哪里呢？

目前，越来越多的科学家寄望于人工智能，这是因为历次的技术革命都只是着眼于解放人类的体力，而人工智能带来的技术革命则是旨在将人类从繁重的脑力劳动中解放出来，去从事更具有创造力的活动，从而大幅度提高劳动生产率。

2. 人工智能有力地推动了社会发展

人工智能的诞生，就是为了应用于人类社会的发展。随着这门学科的日益完善和不断发展，其在社会生产和日常生活中的作用也越来越显著。

在社会生产方面，人工智能广泛应用于工业、农业、社会服务、军事与航天等领域。比如，计算机辅助设计和制造、农作物病虫害的诊断、法律咨询、天气预报与地震预测、自动武器对目标的自动识别等。

在日常生活方面，人工智能技术不断推动着人们生活质量的提高。我们已经在衣、食、住、行等各方面开始享用人工智能技术所带来的种种便利和好处。比如，智能电饭锅，它能够通过电脑编制程序，按照主人的指令自动完成注水、下米、淘米、煮饭等全过程，如果主人不在家中，还可以通过电话遥控它做饭。居住在智能建筑内的住户可以利用计算机、电视机等通信工具，通过各类网络服务系统来满足人们在生活上的各种需求。今后，诸如此类的应用将会越来越多，我们的生活也会越来越舒适。

3. 深化认识，开阔视野

人工智能的知识表示、问题求解、专家系统建造等方面的技术和方法，可以帮助我们深化学习和思维活动。人工智能研究的内容、成果和前景，将开拓我们的视野，提高自身的综合素质，为以后的学习和工作打好基础。



实践

利用搜索引擎，搜索并下载具有符号运算功能的数学工具软件。运行这些软件，进行多项式乘、除以及因式分解等代数运算，体验符号运算的过程。



练习

举例说明利用符号运算软件解决中学课程中的一些代数运算问题具有哪些优点。

1.2 人工智能的基本内容

人类智能的基本特征主要表现在感知、思维、学习和行为等方面。相应地，人工智能的基本内容包括如下四个方面：机器感知、机器思维、机器学习和机器行为（如图1-2所示）。

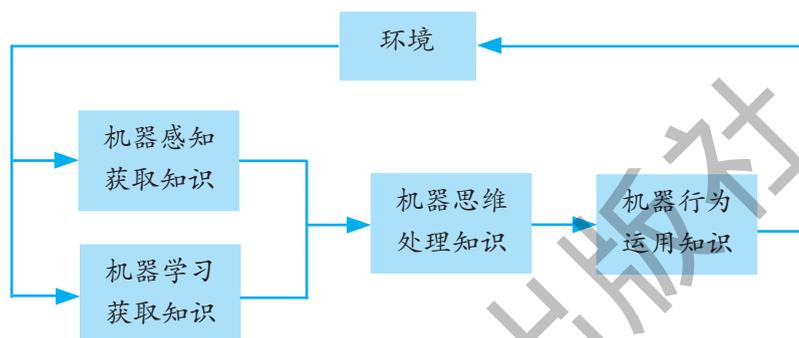


图1-2 人工智能基本内容之间的关系

1.2.1 机器感知

我们在很小的时候，或许还不会说话，但我们早已认识了自己的爸爸和妈妈。随着我们慢慢长大，认识了更多的人，熟悉了他们的相貌、声音；上学后，我们又认识了拼音、汉字，并开始熟悉大自然的一草一木，风雨雷电，以及其他各种不同的事物。这一切，都要归功于我们的感知能力，也就是平常所说的视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉等感觉。所谓机器感知就是使机器具有类似于人的这些感知能力，让机器能够识别并理解文字、图像、语言等。图1-3所示的机器狗就能“听”懂主人的语言。



图1-3 能“听”懂主人语言的机器狗

1.2.2 机器思维

我们每天都会遇到各种各样的、或简单或复杂的问题。不知道大家是否留意过，每次遇到问题时，我们第一个反应就是在脑海中寻找解决的方法或已有的经验，然后才进行综合思考。这其实就是人类思维的一般性过程。所谓机器思维是使机器能够模拟人类的思维活动，对通过感知得来的外部信息及机器内部的各种工作信息进行有目的地处理。与人的智能是来自大脑的思维活动一样，机器智能主要是通过机器思维实现的。

1.2.3 机器学习

人类具有获取新知识、学习新技巧的能力，并能够在实践中不断自我完善。机器学习就是使机器具有这种能力，使机器能够模仿人的学习行为，自动通过学习来获取知识和技能。机器进行学习的方法有机械学习、观察与发现学习、指导学习、示例学习、类比学习等。

1.2.4 机器行为

人的行为能力表现在能够用手、脚及发音等器官，对外界作出反应，采取具体的行动。与人的行为能力相对应，机器行为主要研究如何运用机器所获取的知识，通过对知识进行信息处理，作出反应并付诸行动。例如，机器视觉、机器听觉、机器与人对话；能走路、能取物、能操作的智能机器人；等等。



实践

目前，世界上还未研制出完整的智能计算机，但可喜的是，经过科学家们的努力，已经制造出能“说”、能“看”、能“听”、能“唱”、会“简单思考”的机器或具有某些智能的计算机应用系统。请查找相关资料，归纳出人工智能基本内容的主要应用，填写表1-1。

表1-1 人工智能基本内容的主要应用

基本内容	应用
机器感知	
机器思维	
机器学习	
机器行为	

1.2.5 机器人为什么会踢足球

机器一旦具有了类似人类的感知、思维、学习与行为能力，就可以完成一系列完整的行为活动，让我们看看图1-4，图中这些主角就是正在踢足球的机器人。



图1-4 机器人踢足球

中国机器人足球从1997年发起，到目前为止我国已成功举办过7次全国锦标赛和1次FIFA世界杯机器人足球大赛，参加过6次机器人足球世界杯，中国机器人足球队已从零开始发展到现在的50多个大学队，取得了辉煌的成果。



交流

机器人怎么能踢足球呢？它们看得见足球吗？它们怎么传球？怎么带球？怎么断球？又怎么射门呢？

我们可以先来看一个关于机器人踢足球的简化步骤，如图1-5所示。

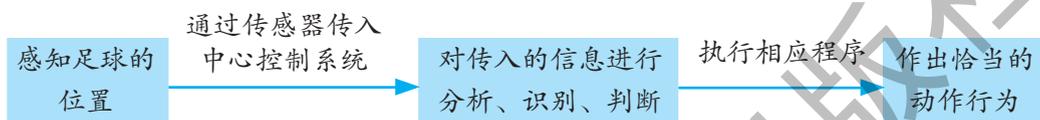


图1-5 机器人踢足球的简化步骤

1. 机器人的感觉

作为一名球员，首先必须有良好的感官系统，能够“看见”球场上的所有景物以及人员，才有最起码的踢球资格。其次，踢球的每一个机器人都要时刻注视着球的位置，球被控制在谁脚下，球从哪里飞向哪里，球的方向、角度、速度如何，同时，还要观察对方和本队各个队员所处的位置以及状态。

为了满足这些条件，现在踢足球的机器人通常都装有全景视觉仪和激光测距仪，还配有声纳及红外传感器，可实现视觉定位、视觉导航，建立环境地图；并且，机器人靠它们顶部的色标来识别和区分对手。

2. 分析、识别、判断

机器人所观察到的事物实际上是拍下来的一张照片，要使机器明白照片所表达的内容是件极难的事。当画面上只有一个物体时就已经够难了，现在画面上有多种物体，有的甚至重叠在一起，如何把它们一个个区分开，再分辨出每一个是什么，更是难上加难。此外，还要根据连续拍摄的照片中各个物体位置的变化，判断它们的运动状况，并且要学会分清“敌”、“我”。

3. 作出快速反应

当分析判断完问题后，机器人会根据程序的设定快速完成射门、守门、拦截、避障等功能。比如，当球静止不动时，机器人跑过去射门，称为静态射门；当球在运动中时，机器人就会选准路线，掌握好速度、角度，球到人到，将球正好撞到球门中去，称为动态射门。这些都是通过识别目标、跟踪目标轨迹和建立目标的运动方程来实现。

从上述内容，我们看到：会踢足球的智能机器人，具有许多人类的智能，会“看”、

会“思考”、会“动作”。机器人通过视觉和触觉，感知足球的位置以及其他球员和球门的位置，将这些位置信息由传感器传入中心控制系统。然后，通过运行相应的程序，对这些信息进行加工处理，选择并决定作出什么反应。最后执行程序，做出恰当的动作行为。



练习

- (1) 机器感知是：_____。
- (2) 机器思维是：_____。

1.3 人工智能的主要应用领域

人工智能虽然是一门很“年轻”的新兴学科，但其应用的领域十分广泛，包括模式识别、机器证明、自然语言理解、专家系统、自动程序设计、人工神经网络、智能代理等等，如图1-6所示。

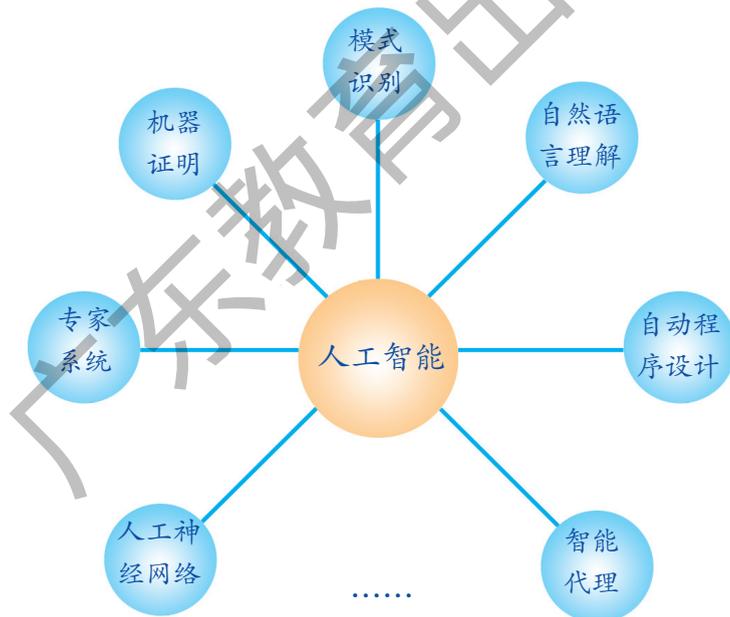


图1-6 人工智能的主要应用领域

1.3.1 模式识别

模式识别 (Pattern Recognition) 是人工智能的一个重要分支，专门研究如何使机器具有感知能力。科学家们通过大量的研究，得出这样的结论：人们对外界信息的感知有80%以上来自视觉，10%左右来自听觉。所以，一直以来，模式识别主要研究视觉模式和听觉模式的识别，比如识别物体、地形、图像、字体（如签字）、语音等。

模式识别是一个不断发展的领域，它的理论基础和应用范围也在不断发展。迄今为止，在模式识别领域，模拟人脑的计算机实验方法已经成功地应用于手写字体的识别、指纹识别、语音识别等方面。我们平常接触到的模式识别技术，其基本应用分类可用表1-2表示。

表1-2 模式识别技术基本应用分类

机器感觉	应用例子
视觉	指纹识别、面相识别、签名辨识、掌纹识别
听觉	语音识别、声音识别
触觉	机器宠物
嗅觉	味纹识别
其他感觉	智能机器人



观摩

我们观看一下指纹识别功能的演示过程。先运行光盘中：\第一章\指纹识别演示\finger.exe。

(1) 单击菜单“文件”中的“打开图像文件”选项，打开相应图像文件，如图1-7所示。



图1-7 打开图像文件

(2) 单击菜单“预处理”，对指纹图像进行预处理，如图1-8所示。



图1-8 图像预处理



图1-9 设置匹配指纹

(3) 单击菜单“指纹识别”中的“设定此指纹为匹配指纹A”选项，将此指纹存为匹配指纹，如图1-9所示。

(4) 单击菜单“文件”中的“打开图像文件”选项，打开另一个指纹图像文件，如图1-10所示。

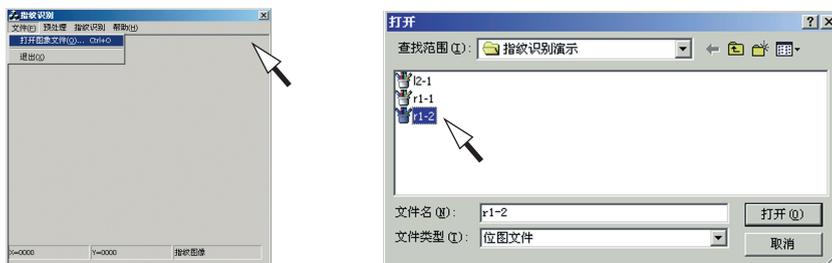


图1-10 打开另一幅图像文件

(5) 单击菜单“指纹识别”中的“与匹配指纹A比对”选项，显示匹配结果，如图1-11所示。

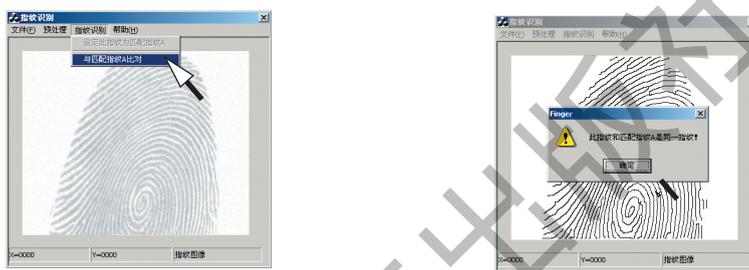


图1-11 进行匹配并显示匹配结果

我们的手掌和手指、脚、脚趾内侧表面的皮肤凸凹不平，产生的纹路会形成各种各样的图案。人们注意到，包括指纹在内的这些皮肤的纹路在图案、断点和交叉点上各不相同，也就是说，它们具有唯一性。依靠这种唯一性，我们就可以把一个人同他的指纹对应起来，通过对他的指纹和预先保存的指纹进行比较，可以验证他的真实身份。

指纹识别作为模式识别技术的一种应用，已经有较长的历史了，一个指纹识别系统的工作原理如下：

(1) 建立指纹库。

在一开始，通过指纹读取设备读取到若干人体指纹的图像，取到指纹图像之后，要对原始图像进行初步的处理，使之更清晰。

人的指纹形状包含三种基本图案：环型、弓型、螺旋型，如图1-12所示，其他的指纹图案组成都基于这三种基本图案。



环型

弓型

螺旋型

图1-12 指纹形状的三种基本图案

当然，仅仅依靠纹形来分辨指纹是远远不够的，这只是一个粗略的分类，通过更详细的分类可以使得在大型数据库中搜寻指纹更为方便快捷。因此，我们还常常用到纹数等特征来对指纹进行分类。

这些处理后的指纹图像数据，通常称为模板，被保存在一个指纹记录库里。

(2) 比对。

当我们需要进行指纹识别工作时，首先应向系统输入被识别人的指纹，通过计算机进行图像处理；接着进行特征提取，将灰度指纹图转换成黑白图像；然后把该指纹与系统指纹库内的指纹模板进行比较，计算出它们的相似程度；最终得到该指纹的匹配结果。



交流

在你日常生活中，有哪些关于模式识别领域的实际应用例子？互相讨论并交流看法。



实践

利用指纹的唯一性，我们可以确认人的真实身份，通过虹膜或视网膜也可以对人进行身份认证。试自行查找一些关于虹膜识别技术或视网膜识别技术的简单知识，了解一下识别的过程和主要特征，并与指纹识别技术进行比较、分析。

1.3.2 机器证明

机器证明 (Machine Proof) 是问题求解的一个重要组成部分。这里，我们介绍其中一些应用的例子，在第四章将介绍一种机器证明方法。

1. 命题证明

首届国家最高科技奖获得者，数学家吴文俊院士，在他的著作《几何定理机器证明的基本原理》(如图1-13所示)中，提出了证明初等几何定理的算法，开辟了一条与西方迥然不同的数学机械化道路，国际上称为“吴文俊方法”或“吴氏方法”。

中国科学院院士张景中教授设计的机器证明软件“立体几何—数学实验室”是几何教学系统。它结合了几何定理证明的先进研究成果，具有较强的逻辑推理的特性，能满足立体几何的多种需要，如能实现图形绘制、旋转等。该系统的功能和用法跟几何画板基本相似，但立体功能更强。利用它可以进行平面及立体几何实验，从而改变了传统的教学模式。

2. 科学发现

人体有23对染色体，由大约30亿个碱基构成，碱基有4种，分别简写为A、T、G、C。它们排列组合构成约3万个基因，人类基因组蕴涵有人类生老病死的绝大多数遗传信息。人类基因图谱绘制工程被誉为生命科学的“登月计划”，随着人类遗传密码的破译，人类对生命的认识和生物技术的发展都进入了新纪元。人类基因图谱绘制的完成，包含了巨大的工作量，人工智能的技术在信息解码、分类、排序等方面起到了极其重要的作用。



图1-13 吴文俊的著作

1.3.3 自然语言理解

大家知道，人类一切活动离不开语言，为了与计算机使用的程序设计语言相区别，我们把人类通常使用的语言称为自然语言。自然语言理解（Natural Language Understanding）技术要实现的目标，可归结为以下三个方面：

（1）理解自然语言，使机器能像人一样能理解别人讲的话或用文字表达的内容。

（2）对自然语言表示的信息，进行分析、概括或编辑，产生新的表达形式。

（3）机器翻译是使机器能将一种自然语言表达的内容翻译成另一种自然语言，例如将英文翻译为中文。我国在1957年就开始了机器翻译研究，有着比较雄厚的理论和技术基础，尤其在“俄汉机器翻译”和“英汉机器翻译”方面，取得了较多的成果。

在20世纪70年代以后，许多国家都相继开展了人工智能的研究，但由于当时对实现机器智能的理解过于简单和片面，在获得一定成果的同时，问题也跟着出现了。例如机器翻译，当时人们往往认为只要用一部双向词典及词法知识，就能实现两种语言文字的互译，其实完全不是这么一回事，例如，当把英语“The spirit is willing but the flesh is weak”（心有余而力不足）译成俄语后，再译回英语竟变成“The wine is good but the meat is spoiled”（酒是好的但肉已变质）。

人工智能的应用也同样遇到这样或那样的困难。这时，一些本来就对人工智能抱怀疑态度的人开始提出指责，甚至把人工智能说成是“庸人自扰”，有些国家还削减人工智能的研究经费，人工智能的研究进入了低潮。

1.3.4 专家系统

在人工智能的研究进入低潮的时候，人工智能研究的先驱者们并没有放弃，而是经过认真的反思、总结经验和教训，认识到人的智能主要表现在人能学习知识，能运用已有的知识，人工智能研究的开展应当以知识为中心来进行。

自从人工智能转向以知识为中心进行研究以来，科学家们开始研究如何让计算机充当“专家”，让计算机在各个领域中起到人类专家的作用，这就是专家系统（ES, Expert System）的由来。以专家知识为基础开发的专家系统在许多领域里获得成功。

例如，地矿勘探专家系统拥有15种矿藏知识，能根据岩石标本及地质勘探数据对矿产资源进行估计和预测，能对矿床分布、储藏量、品位、开采价值等进行推断，制定合理的开采方案，成功地找到了超亿美元的钨矿。我国自行研制开发的中医专家系统“关幼波肝病诊断专家系统”，就是总结国宝级老中医专家关幼波教授一生的临床经验研制出的计算机系统，对我国中医学的发展有着相当大的意义。

专家系统的成功，充分表明知识是智能的基础，人工智能的研究必须以知识为中心来进行，我们将在第三章进一步介绍专家系统的知识。

1.3.5 自动程序设计

自动程序设计 (Automatic Programming) 是人工智能的一个重要应用领域, 主要包含自动程序验证与自动程序综合两个方面的内容。自动程序验证的任务是验证一个程序的正确性。目前常用的验证方法是用一组已知其结果的数据对程序进行测试, 如果程序的运行结果与已知结果一致, 就认为程序是正确的。这种方法可用于验证简单程序, 但对于一个复杂系统来说, 自动程序验证仍是一个比较困难的课题, 有待进一步开展研究。

自动程序综合的任务是根据给定问题的原始描述, 自动生成求解该问题的正确程序。例如, 在某种意义上, 编译程序已经在做“自动程序综合”的工作。编译程序接受一份有关想干什么的完整的源码说明, 然后编写一份目标码程序去实现。

自动程序设计的研究不仅可以促进半自动软件开发系统的发展, 还可以使通过修正自身代码进行学习的人工智能系统得到更好的发展。

1.3.6 人工神经网络

在一些比较简单的知识范畴内, 基于逻辑思维的知识处理已经能够建立比较清楚的理论框架, 可以部分地模拟人的某些智能行为。但是难以解决人类的感性思维的模拟, 比如视觉理解、直觉思维、悟性等信息处理问题。研究者们开始寻找新的信息处理机制, 人工神经网络就是其中的一个重要途径。

人脑是一个功能特别强大、结构异常复杂的信息处理系统, 其基础是神经元及其互联关系。人工神经网络 (ANN, Artificial Neural Network) 是从模拟人类大脑神经网络的结构和行为出发, 它具有自组织、自适应和自学习能力, 特别适合于处理需要同时考虑多方面因素的、不精确和模糊的信息处理问题。因此, 在组合优化、模式识别、图像处理、机器人控制、决策支持等领域都有极大的应用前景。

例如, 神经网络可应用于手写体字符的识别。

图1-14是一个用于识别26个英文字母的神经网络图。

该神经网络由 5×7 个输入神经元和26个输出神经元组成。网络输入的是字母的特征数据, 图中每个方块对应于一个输入神经元。对应于黑色方格的神经元输入为1, 对应于白色的为0。经过反复的识别训练, 直到能得到正确的识别输出为止, 即可用于手写字母的识别。

近几十年来, 人工神经网络在文字、图形、声音识别、机器学习和自动推理等方面取得了许多成果, 人工神经网络计算机的研究也取得了很大的进展。

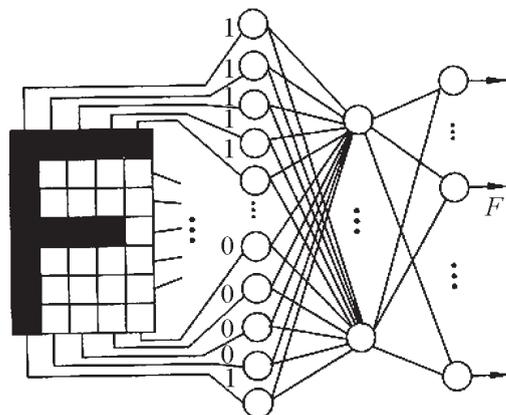


图1-14 用于字母识别的神经网络图

1.3.7 智能代理

随着计算机网络及其基于网络的分布计算技术的发展，智能代理（Intelligent Agent）技术已经成为人工智能领域一个新的研究热点。智能代理可以理解为充分利用人工智能技术、网络技术、并行并发技术和多媒体技术等构成的一种计算机系统。它可以简单到一段子程序、一个进程，也可以是一个复杂的软件机器人，以主动服务的方式完成一组操作。它具有自主性、协作性、反应性和主动性等基本特性。

智能代理在许多方面有着重要的应用，我们从以下几个方面可窥一斑。

1. 信息服务

信息服务是最广大的用户群接触网络环境的首要渠道。目前常见的搜索引擎一般都采用关键词检索方式，但许多情况下，用户很难简单地用关键词来准确地表达真正需要的信息内容，从而导致检索困难，检索结果往往不尽如人意。相比之下，以智能代理技术为核心的智能搜索引擎“本领”就大多了，它具有强大的功能：

（1）过滤，即按照用户指定的条件，从流向用户的大量信息中筛选符合条件的信息，并以不同级别（全文、详细摘要、简单摘要、标题）呈现给用户。

（2）整理，即为用户把已经下载的资源进行分门别类的组织。

（3）发现，即从大量的公共原始数据（比如股票行情等）中筛选和提炼有价值的信息，向有关用户发布。

2. 电子商务

电子商务正以与传统商业方式截然不同的形式，越来越被人们所接受。但是，在网上寻找纷繁的商品就成为买方的一大负担；同时，卖方商品的推销也很难对客户进行针对性的主动服务。如果我们采用智能代理系统，就可以代表买方去网上查看“广告”，逛“商场”，找寻中意的商品，甚至讨价还价；也可以代表卖方分析不同用户的消费倾向，据此向特

定的用户群主动推销特定的商品。

3. 教育

远程教育为促进教育机会平等的重要手段。在网络环境下，可以调动多种教学手段，包括讲解、演示、练习、实验和考试等。其中，练习和实验环节就是智能代理可以大显身手的地方。智能代理可以作为虚拟的教师、虚拟的学习伙伴、虚拟的实验室设备、虚拟的图书馆管理员等出现在远程教育系统中，增加教学内容的趣味性和人性化色彩，改善教学效果。单机系统中各种软件的人性化“帮助”角色，其实质上也是一个智能代理，如图1-15所示。

自主性：在没有人或其他系统软件的直接干预下，能自行操作。

协作性：能够通过某种通信语言与人或其他智能代理相互作用。

反应性：能够接受环境的信息，并作出反应。

主动性：不仅对环境作出反应，而且呈现目标驱动的特性。

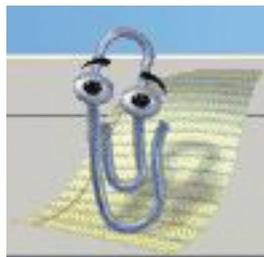


图1-15 office小助手



练习

了解人工智能的其他应用领域。试自行查找一些关于人工智能其他应用领域的资料，填入表1-3中。

表1-3 人工智能的其他应用领域举例

其他应用领域	典型应用实例
智能控制	指纹识别、面相识别、签名辨识、掌纹识别
智能办公系统	语音识别、声音识别
智能管理系统	机器宠物
智能决策支持系统	味纹识别



拓展

几种常见的生物识别技术

人类利用生物特征识别的历史可以追溯到古代埃及，当时的人通过测量人体各部位的尺寸来进行身份鉴别；现代生物识别技术则始于20世纪70年代中期，由于早期的识别设备比较昂贵，因而仅限于安全级别要求较高的原子能实验、生产基地等。现在，由于微处理器及各种电子元器件的成本不断下降，精度逐渐提高，生物识别系统逐渐商业化，如门禁系统、企业考勤管理系统、安全认证等领域。用于生物识别的特征有指纹、脸形、虹膜、视网膜、脉搏、耳郭、签字、声音、按键力度等。基于这些特征，人们已经发展了指纹识别、面部识别、声音识别、虹膜识别、视网膜识别、签名识别等多种生物识别技术。

生物识别技术是利用人体生物特征进行身份认证的一种技术。

1. 面相识别技术

我们可以通过分析脸部特征的唯一形状、模式和位置来辨识人。“十六大”代表身份认证系统使用的就是由中国科学院计算所科学家自主研发的“面相检测与识别核心技术”。它采用人脸重心模板以实现人脸快速的定位，这种人脸模板具有多尺度的检测功能，能适应于检测处于复杂背景中任何位置的不同大小的人脸。并且在人脸重心模板匹配的基础上加入了灰度和纹理检测模块，可以对复杂背景的多角度人脸进行检测跟踪。

2. 语音识别技术

语音识别的基本原理与指纹识别一样，如图1-16所示。它通过分析语音的唯一特性，例如发音的频率等，来识别出说话的人。语音识别技术使得人们可以通过说话的嗓音来控制能否出入限制性的区域。例如，通过电话拨入银行、数据库服务、购物或语音邮件，以及进入保密的装置。



图1-16 语音识别的实现

3. 签名识别技术

众所周知，我们在银行的格式表单中都是用签名作为我们身份的标志，实际上，签名识别作为身份认证的手段已经几百年了。签名识别的基本原理如图1-17所示。

首先用签名的采集设备提取签名图像的特征数据，接着测量并处理签名的速度、顺序和压力，最后，将其与预先存贮的签名图像与特征数据进行比对识别，并输出其比对识别的结果。

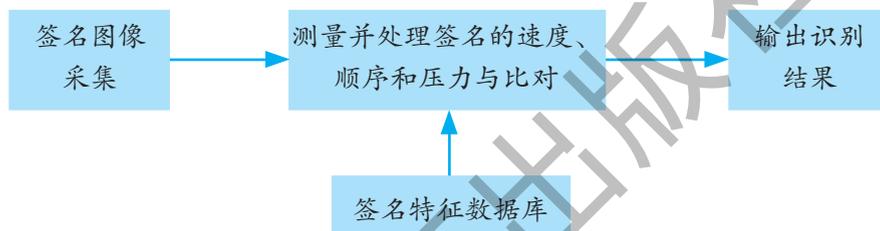


图1-17 签名识别的基本原理图

4. 触觉识别技术

机器触觉的主要技术手段是在机器体内植入一些触觉传感器，使其可以自行识别他人所做的相关动作，现在应用比较多的是机器宠物，如机器狗、机器猫等。艾博（AIBO）是一只机器狗，是最成功的人工智能机器之一，如图1-18所示。它的生命始于一只小狗，通过与环境和主人之间的相互影响而逐渐发育。

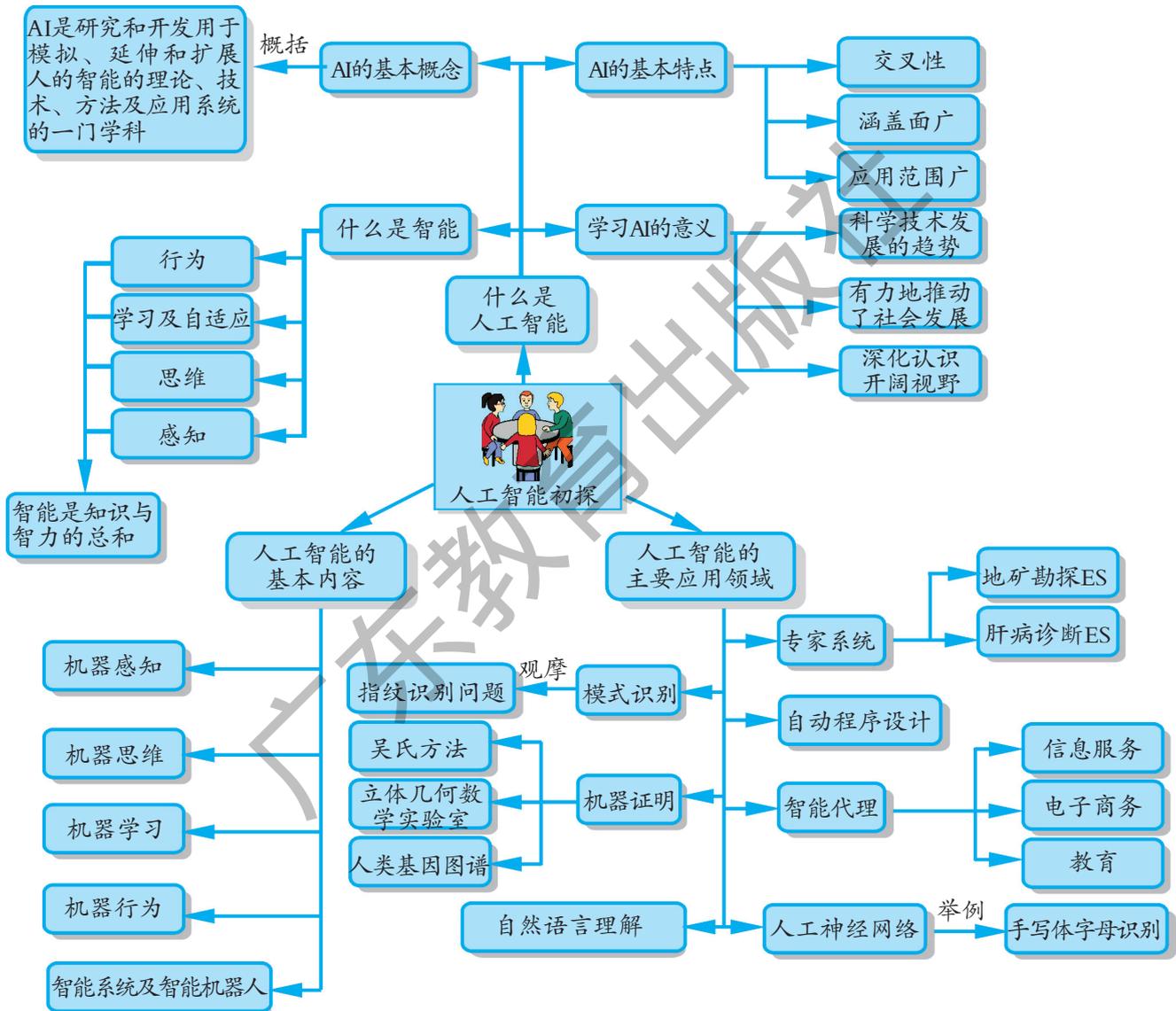


图1-18 机器狗

5. 味纹识别技术

每个人的身体散发出的气味都是不同的。当一个人在一个地点活动，他散发出的气味分子就留在其周围空间，离去后不会马上消失，将气味收集起来，经浓缩转移到清洁无味的布上就称为“味纹”，用电子鼻或警犬能准确区分不同人的“味纹”，可用于鉴别罪犯。

本章扼要回顾



本章学习评价

完成下列各题，并通过“本章扼要回顾”以及本章的各种交流、实践与练习等，综合评价自己在知识与技能、解决实际问题的能力以及相关情感态度与价值观的形成等方面，是否达到了本章的学习目标。

1. 我对智能概念的理解是：_____

2. 我对人工智能概念的理解是：_____

3. 人工智能的基本特点可概括为：_____

4. 人工智能研究的基本内容包括：_____

5. 举出至少三个人工智能的主要应用领域：_____

6. 我对本章中最感兴趣的内容是：_____

7. 本章对我启发最大的是：_____

8. 我还不理解的内容有：_____

9. 我还学会了：_____

10. 我还想学习：_____

第二章

知识表示及Prolog语言

人类从工业社会向知识社会演变时，经济中心从“生产”转向“发现、发明和创新”。当今知识正在成为创新的核心，成为知识经济的最主要动力。知识表示是人工智能研究的基础，要使计算机存储、处理知识，首先要将知识表示成某种固定形式。

通过本章学习，我们将掌握知识的概念，学会表达知识的基本方法。了解Prolog（Programming in Logic，逻辑程序设计语言）语言的基本数据结构和程序结构，掌握相关概念，知道Prolog语言的主要特征。初步学会使用该语言设计求解简单问题的程序，并能够上机调试，执行相应的程序。

- 知识
- 框架表示法
- “与/或”图表示法
- 状态空间表示法
- 产生式规则表示法
- Prolog语言
- 综合活动：知识表示法运用

2.1 知识

知识是人类在实践中认识客观世界（包括人类自身）的成果，它包括事实、信息的描述或在教育和实践中获得的技能。知识是人类从各个途径中获得的经过提升总结与凝练的系统的认识。



交流

通过上网搜索学习，了解某个学科的知识（如《数学》的勾股定理）产生的过程。然后在小组讨论中分享你对“知识”的理解。

2.1.1 知识及其分类

知识是人们在生产及社会实践中积累起来的认识和经验。

知识可以从作用、性质、层次等不同角度进行分类，下面我们按知识的作用来分类：

（1）陈述性知识：提供概念和事实，描述系统状态、环境和条件，使人们知道是什么。例如：

北京是中国的首都。

一年有春、夏、秋、冬四个季节。

（2）过程性知识：提供有关状态变化，问题求解过程的操作、演算和行动的知识。例如：

天渐渐地暗下来。

潮湿的衣服经太阳晒，变干了。

铜在潮湿的空气里生成铜绿。

（3）控制性知识：用控制策略表示问题的知识。例如：

某学校组织三位学生去北京参加机器人灭火比赛，他们可以选择乘飞机、坐火车或坐汽车几种途径去北京，如何根据资金、天气、时间等条件，选择一种途径去北京，所用到的知识，就是控制性知识。

学校从四名选手中选派一名学生去北京代表本校参加乒乓球比赛，怎样进行选拔代表，所用到的知识，就是控制性知识。

2.1.2 为什么要学习知识表示

人类一般是用自然语言描述来表达知识的。若让计算机表达知识，就必须将知识格式化，转换成计算机能使用的形式。具体地讲，就是要用某种约定的（外部）形式结构来表示知识，而且这种形式结构还能够将知识转换为机器的内部形式，使计算机能方便地存储、处理和利用。相应地我们把知识的表示形式分为：自然语言表示方式、格式化表示方式、计算机语言表示方式。通过下面的例子我们来理解知识的三种表示方式。

例如：苹果是最常见的水果之一，高二（1）班的刘丽同学就特别喜欢吃苹果，刘丽喜欢吃的水果，他的同桌张军也喜欢吃。这段话可用三种方式来表示（图2-1）。

格式化表示方法有许多种，在本处以产生式规则表示知识为例，以后的章节中我们会讲到其他的格式化表示方法。此处用于表示知识的计算机语言是Prolog语言。

自然语言表示	格式化表示	计算机语言表示
苹果是一种水果； 刘丽喜欢吃苹果； 刘丽喜欢吃的水果，张军都喜欢吃。	R1: 苹果是水果 R2: 刘丽喜欢吃苹果 R3: 如果是刘丽喜欢吃的水果，那么张军也喜欢吃	<pre>fruit (apples). likes (liuli, apples). likes (zhangjun, What):- likes (liuli, What), fruit (What).</pre>

图2-1 知识表示

2.1.3 知识的格式化表示方法

知识的格式化表示方法，简称知识表示法。在人工智能中，知识表示法有：框架表示法、“与/或”图表示法、状态空间表示法、产生式规则表示法、逻辑表示法、语义网络表示法、面向对象表示法等。根据本课程的要求和后面各章应用需要，下面我们将介绍上述前四种知识表示法。



练习

- (1) 按知识的作用，其分类有_____、_____、_____。
- (2) 在本书学习中，为什么要将知识进行格式化表示？



拓展

知识的特征

1. 知识的客观性。虽然知识是人脑对信息加工的成果，但信息是自然、社会、思维等规律的显现形式，这些规律的运行是不以人的意志为转移的。

2. 知识的相对性。人类对自然、社会、思维规律的认识必须有一个过程。在一段时间内认为正确的东西，经过变革，可能发生变化。
3. 知识的进化性。人类在认识客观世界和主观世界的过程中，不断加入新的内容，知识不断更新，例如对物质结构的认识，对基因的认识等方面。
4. 知识的依附性。知识有载体，载体分层次，离开载体的知识是不存在的。
5. 知识的可重用性。知识可以反复被使用，当然，要根据具体情况作具体分析，灵活地应用知识。
6. 知识的共享性。基础研究一般由政府进行投资，所得到的科学知识具有共享性，但最新的技术知识受到知识产权法保护，使用者只有支付一定的费用，才能获得这种知识的使用权。

2.2 框架表示法

刘丽同学是一位计算机爱好者，张军同学的计算机知识很贫乏。张军为了提高计算机操作水平，请刘丽帮他组装一台用于学习的计算机。

刘丽问他：

“准备买什么型号的CPU？”

“.....”

“硬盘要多大的？”

“.....”

“内存要多大的？”

“.....”

“显示器呢？”

“.....”

由于刘丽对计算机硬件的具体细节如CPU的型号、硬盘、内存的大小有一定认识，对计算机的基本组成结构有所了解，在头脑中建立了有关“计算机硬件”组成的基本框架。而张军则不一样，他对刘丽问的这些问题都不知道。

2.2.1 框架的基本结构

要运用计算机解决现实世界中的问题，首先要让计算机理解问题，称为知识表示。知识表示就是对知识的一种描述，或者说是对知识的一组约定，一种计算机可以接受的用于描述知识的数据结构。借助人理解事物情景或某一故事时的心理学模型，人工智能学者提出了知识表示的框架理论。

框架理论的基本观点是：“人脑中已存储有大量事物的典型情境，也就是人们对这些事物的一种认识，这些典型情境是以一个称作框架的基本知识结构存储在记忆中的。当人面临新的情境时，就从记忆中选择（粗匹配）一个合适的框架，这个框架是以前记忆的一个知识空框，而其具体内容则依新的情境而改变。通过对这个空框的细节加工、修改和补充，形成对新的事物情境的认识，而这种认识的新框架又可记忆于人脑之中，以丰富人的知识。”

一个框架由若干个称为“槽”的结构组成，每一个槽又可以根据实际情况拥有若干个侧面，每一个侧面也可以再拥有若干个侧面。在一个框架系统中，一般含有多个框架，为了区别这些不同的框架，需要分别给它们赋予不同的名字，称为框架名。同样，对不同的槽和侧面也需要给予相应的槽名和侧面名。一个框架的基本结构如下：

<框架名>		
槽名1:	侧面名11:	值111, 值112, ...
	侧面名12:	值121, 值122, ...
	
槽名2:	侧面名21:	值211, 值212, ...
	侧面名22:	值221, 值222, ...
	
槽名n:	侧面名n1:	值n11, 值n12, ...
	侧面名n2:	值n21, 值n22, ...
	

上面仅从结构上给出了框架的一般描述，但对一个特定的问题，还需要给出一个适合于该问题的具体框架。

现在我们将计算机硬件知识框架化：

框架名:	<计算机硬件>
CPU: 品牌:	
型号:	
主板: 品牌:	
型号:	
内存:	
硬盘:	
显卡:	
声卡:	
网卡:	
光驱:	
显示器:	
键盘:	

这是一个计算机硬件框架，由10个槽组成，分别描述“计算机硬件”的10个方面的情况或属性。



实践

根据学校或家庭的计算机硬件配置，填写表2-1。

表2-1 电脑配置



当把具体的信息填入槽或侧面值后，就得到了相应框架的一个实例框架。

电脑硬件	型号参数
CPU品牌、型号	
主板品牌、型号	
内存	
硬盘	
显卡	
声卡	
网卡	
光驱	
显示器	
键盘	

2.2.2 框架表示知识实例

例1: 描述高中生有关情况的具体框架。

该框架可描述如下：



此框架共有6个槽，分别描述了高中生6个方面的情况。每个槽中的说明信息，用来给出填写槽值时的一些格式限制。用符号“<>”括起来的是框架名，例如“课程”槽的槽值“课程表”是另外一个框架的框架名；“默认”说明当相应槽没填入槽值时的槽值。

框架名: <高中生>
 姓名:
 性别: (默认: 男)
 年龄:
 年级:
 班级:
 课程: <课程表>

有关“高中生”的实例框架：

框架名：<高中生-1>
 姓名：张军
 性别：
 年龄：17
 年级：高二
 班级：<1>班
 课程：<课程表-1>

这个实例框架的框架名为“高中生-1”，它描述了高中生张军的基本情况。其中，“性别”槽为空，它表示取默认值“男”；“课程”槽的槽值为另一个实例框架“课程表-1”，它表示对子框架“课程表”的调用。“课程表”这一框架可同时被许多其他的框架调用。

例2：中央和各地的电视台、广播电台每天都播放天气预报，天气变化与人们的日常生活、工作、学习，以及生产部门安排生产都有关系。下面我们将天气预报知识用框架来表示。

框架名：<天气预报>
 城市：
 时间：
 天气现象：
 温度：
 风向：

从上面的例子，我们可以看到，用框架能直观地表示知识，而且便于用程序设计语言表达和计算机存储处理。用框架表示法，能很方便地表示具有固定结构的陈述性知识。



实践

根据本地今、明两天的天气情况，将“天气预报”知识框架实例化。



练习

- (1) _____ 首先提出了框架结构。
- (2) 框架理论的基本观点是_____。
- (3) 一个框架由哪几个部分组成？

2.3 “与/或”图表示法

大家都学习过几何，我们想想，证明两个三角形全等（如图2-2）有几种方法。



图2-2 两个全等三角形

为了方便，我们分别用T、T1、T2、T3表示问题和它的子问题。

两个三角形全等 (T) $\left\{ \begin{array}{l} \text{两个三角形三边分别对应相等 (T1)} \\ \text{两个三角形两边夹一角分别对应相等 (T2)} \\ \text{两个三角形两角夹一边分别对应相等 (T3)} \end{array} \right.$

问题T所转化的问题T1、T2、T3中一个成立，问题T就成立，即 $\triangle ABC \cong \triangle A'B'C'$ 。

2.3.1 “与/或”图表示法

从上面例子我们可看到，当这些子问题T1、T2、T3中有一个有解，问题T将有解。原问题T与变换所得的子问题T1、T2、T3的关系，我们可以用“或”图来表示（图2-3）。这时，图中的T叫做“或节点”。

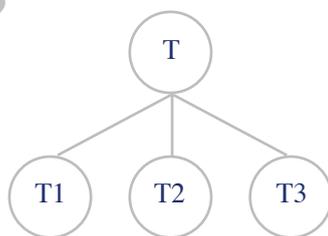


图2-3 证明三角形全等知识的“或”图

问题T2，它可以等效为下面三个子问题的“或”：

两个三角形两边夹一角分别对应相等 (T2) $\left\{ \begin{array}{l} \angle A \text{ 及其两边与 } \angle A' \text{ 及其两边分别对应相等 (T21)} \\ \angle B \text{ 及其两边与 } \angle B' \text{ 及其两边分别对应相等 (T22)} \\ \angle C \text{ 及其两边与 } \angle C' \text{ 及其两边分别对应相等 (T23)} \end{array} \right.$

T21又可继续分解为下面三个子问题：

$\angle A$ 及其两边与 $\angle A'$ 及其两边分别对应相等 (T21) $\left\{ \begin{array}{l} \angle A = \angle A' \text{ (T211)} \\ AB = A'B' \text{ (T212)} \\ AC = A'C' \text{ (T213)} \end{array} \right.$

从上面例子我们可看到，当问题T21分解为问题T211、T212、T213时，只有三个问题全有解，问题T21才有解。原问题T21与分解的子问题T211、T212、T213的关系，我们可以用“与”图来表示。图中用一条小弧线连接所有子问题（图2-4）。这时，图中的T21叫做“与节点”。

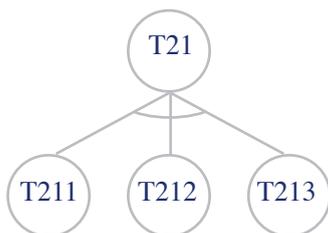


图2-4 证明三角形全等知识的“与”图

综合以上分析，证明三角形全等问题的知识，可以用“与/或”来表示，如图2-5：

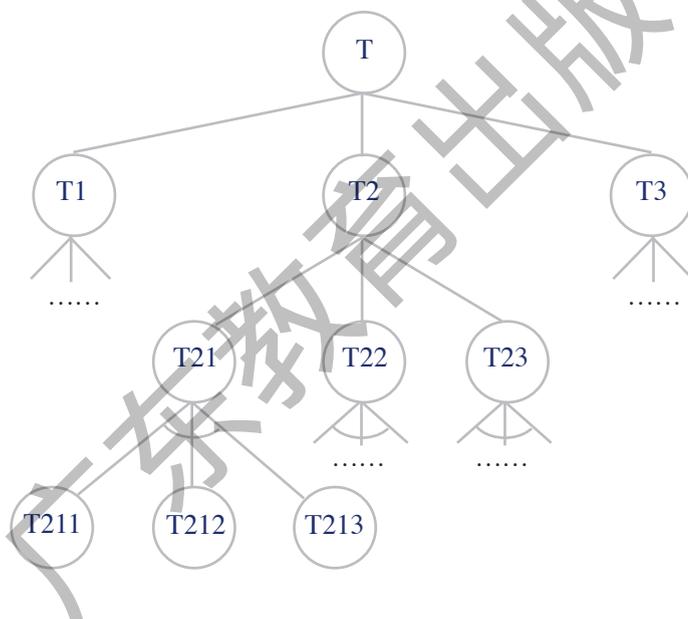


图2-5 证明三角形全等知识的“与/或”图

2.3.2 “与/或”图表示实例

例1：证明 $\tan^2x\cos^2x+\cot^2x\sin^2x=1$

解决此证明有两种方法：

$$(1) \tan^2x\cos^2x+\cot^2x\sin^2x = \sin^2x+\cos^2x$$

$$(2) \frac{\sin^2x}{\cos^2x} \cdot \cos^2x + \frac{\cos^2x}{\sin^2x} \cdot \sin^2x = 1$$

上述两种方法可用下列“与/或”图来表示。

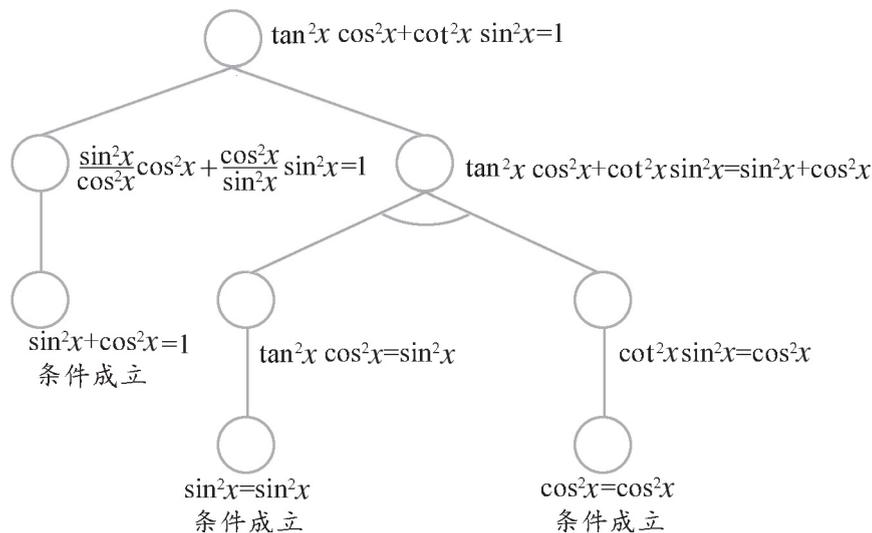


图2-6 证明三角恒等式知识的“与/或”图

例2: 识别动物是老虎的“与/或”图表示知识法。

识别某种动物是不是老虎，我们可以根据老虎具有的特征：

- (1) 食肉动物
- (2) 哺乳动物
- (3) 黄褐色
- (4) 有黑条纹
- (5) 有爪
- (6) 有犬齿
- (7) 有毛发
- (8) 眼视前方

……

通过对老虎这种动物特征的分析以及动物专家对动物识别的一般规则，识别老虎这种动物必须具备的条件如图2-7所示：

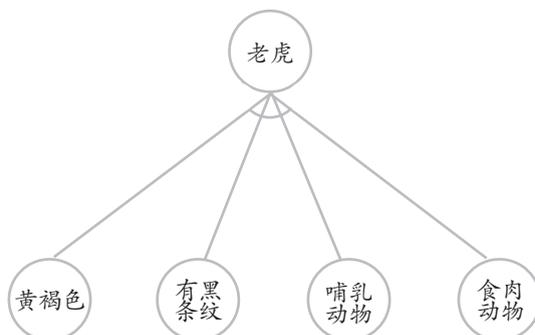


图2-7 老虎识别系统“与”图

而识别一种动物是否是哺乳动物、食肉动物有多种方法，如果一种动物产奶或者有毛发，我们可辨别它是哺乳动物（如图2-8）；如果一种动物吃肉，我们可说它是食肉动物；如果一种动物有爪、有犬齿、眼视前方等特征，我们可辨别它是食肉动物（如图2-9）。

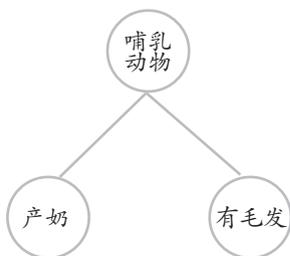


图2-8 哺乳动物识别系统“或”图

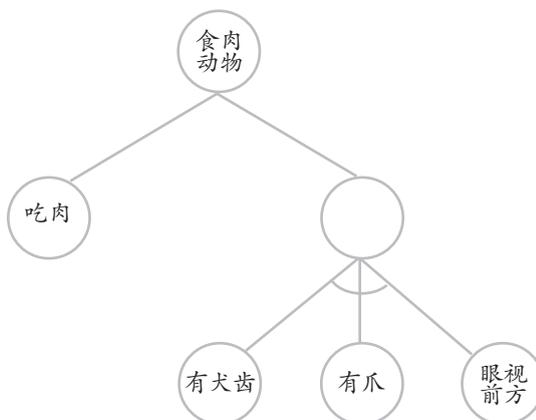


图2-9 食肉动物识别系统“与/或”图

根据上面的分析，我们可以用如图2-10所示的“与/或”图表示识别动物是老虎的知识。

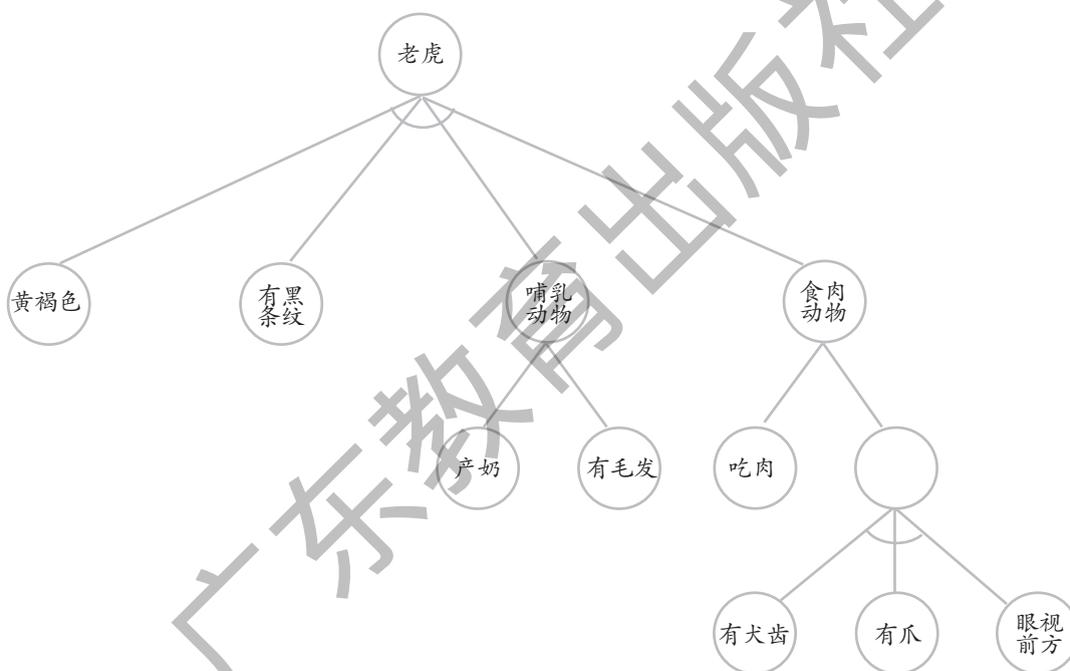


图2-10 老虎识别系统“与/或”图

用“与/或”图表示知识比较直观，而且方便用程序设计语言表达及计算机存储处理。从上面的例子我们看到，用“与/或”图表示法，能方便地表示陈述性知识，从问题的分解角度来看，也能方便地表示过程性知识。



实践

设有四边形 $ABCD$ 和 $A'B'C'D'$ ，运用“与/或”图表示证明两个四边形全等问题的知识。



练习

- (1) “与节点”、“或节点”表示的含义是什么？
- (2) “与/或”图表示法的特点是什么？

2.4 状态空间表示法

假设有三枚钱币，开始时，朝上的一面为“正、正、正”状态，规定每次只许翻动一枚钱币，在操作中不能出现相同状态，怎样才能得到“反、反、反”朝上状态？

2.4.1 状态及操作

1. 状态 (state)

描述某类事物在不同时刻所处的信息状况。如三枚钱币朝上的一面有“正、反、正”，“正、正、正”，“反、反、反”等状态。

问题的状态包括三个方面：初始状态、中间状态、目标状态。

(1) 初始状态：描述问题求解过程中开始的可能情况的状态。

如上述问题的初始状态：“正、正、正”状态。

(2) 中间状态：求解问题过程中从开始状态到目标状态之间的状态。

如上述问题的中间状态有如下六种：

“正、正、反”

“正、反、反”

“正、反、正”

“反、正、正”

“反、正、反”

“反、反、正”

(3) 目标状态：问题解的状态。

如上述问题的目标状态：“反、反、反”状态。

2. 操作

引起状态中的某些分量发生改变，从而使问题由一个具体状态变化到另一个具体状态的手段称为操作。操作可以用过程、规则、数学式子、运算符号或逻辑符号等表示。上述钱币翻转问题包括以下三个操作：第一个钱币翻转、第二个钱币翻转、第三个钱币翻转。

2.4.2 状态空间表示知识实例

设钱币正面为0，反面为1，则描述这三枚钱币的全部状态有8种：

(0,0,0)、(0,0,1)、(0,1,0)、(0,1,1)、(1,0,0)、(1,0,1)、(1,1,0)、(1,1,1)

一次，最后将第三个钱币翻一次，得到目标状态(1,1,1)等等过程，得到目标状态。

状态空间表示法也很直观，而且方便程序设计语言表达和计算机存储处理，能很方便地通过状态转换表示过程性知识。第四章的问题求解中，我们将会用到这种知识表示法。



任务

用状态空间表示法求解水壶问题：两个水壶，其中一个可盛4 kg水；另一个可盛3 kg水，水壶上没有任何度量标记。怎样才能使4 kg的水壶里恰好装2 kg水？

(1) 求解上述问题的过程如下：

第一步：定义状态。问题的状态空间描述为一组整数序列 (X, Y) ，其中 $X=0, 1, 2, 3, 4$ (kg)； $Y=0, 1, 2, 3$ (kg)； X 表示在4 kg水壶中的含水量； Y 表示在3 kg水壶中的含水量。

第二步：解决问题的操作步骤。

- ①把3 kg的水壶装满水。
- ②把3 kg水壶中的水全部倒入4 kg水壶。
- ③把3 kg的水壶装满水。
- ④把3 kg水壶中的水往4 kg水壶里倒，直到4 kg水壶满。
- ⑤将4 kg水壶中的水全部倒掉。
- ⑥把3 kg水壶中的水全部倒入4 kg水壶。

符号表示的解路径：

$(0,3) \rightarrow (3,0) \rightarrow (3,3) \rightarrow (4,2) \rightarrow (0,2) \rightarrow (2,0)$

第三步：将上面操作步骤规则化，分小组讨论并总结其他的操作规则，并填入表2-2。

表2-2 水壶问题操作规则表

操作	规则描述
①	把3 kg的水壶装满水
②	把3 kg水壶中的水全部倒入4 kg水壶
③	把3 kg水壶中的水往4 kg水壶里倒，直到4 kg水壶满
④	将4 kg水壶中的水全部倒掉
⑤	
⑥	
⑦	
⑧	
⑨	
.....	

第四步：分组描述水壶问题的另一种解路径，并填写表2-3。

表2-3 水壶问题解的状态和应用规则表

4kg水壶中含水的千克数	3kg水壶中含水的千克数	应用规则

(2) 对小组每一个成员描述水壶问题的解路径进行分析，画出部分状态图。



练习

- (1) 状态空间有_____、_____、_____三种状态。
 (2) 状态空间中的操作是指_____。

2.5 产生式规则表示法

在日常生活中，人们会自觉地运用一些简单的规则来认识 and 解决问题。例如：一个人在阴天感觉到闷热、空气潮湿，他会猜测可能要下雨。这种具有因果关系的知识，我们可以用产生式规则来表示。

2.5.1 产生式的基本形式

为了说明问题，我们再看看下面的例子。

例：如果某种动物是有蹄动物，且它有黑条纹，那么这种动物是斑马。这种具有因果关系的知识可以概括为：

if 有蹄动物 and 有黑条纹 then 这种动物是斑马

这就是一个产生式。其中，“有蹄动物 and 有黑条纹”是前提，“这种动物是斑马”是结论。

在自然界的各种知识单元之间存在着大量的因果关系，或者说前提和结论的关系，其基本形式如下：

$$P \rightarrow Q$$



1972年，艾伦·纽厄尔（Allen Newell）和赫伯特·西蒙（Herbert Simon）在研究人类的认识模型中开发了基于规则的产生式系统。目前，产生式表示法已成为人工智能中应用非常广泛的一种知识表示方法。

或者

if P then Q

其中，P是产生式的前提，P可以是一组条件P1、P2、P3等，用于指出该产生式是否可用的条件；Q是一组结论或操作，用于指出当前提P所表示的条件被满足时，应该得出结论或应执行的操作。整个产生式的含义是：如果前提P被满足，则可推出结论Q或执行Q所规定的操作。

产生式又称为产生式规则，或简称为规则；产生式的“前提”有时又称为“条件”、“前提条件”、“前件”、“左部”等；“结论”部分有时又称为“后件”或“右部”等。

2.5.2 动物识别系统的产生式规则

动物识别系统是一个动物知识丰富的“专家”。如果你告诉它某动物有长的脖子、长的腿，有蹄和有暗斑点，而且还能产奶，它的脑袋里就会闪现出长颈鹿的影子。如果你再告诉它某种动物食肉，浑身以黄褐色为主色，且有暗斑点，那么系统就会猜出这种动物很可能是金钱豹。如果你提供的信息是某种动物是有蹄动物且有黑条纹，那它可能猜出这种动物是斑马。

通过四种动物的基本特征，我们来认识一下动物识别系统的一些产生式规则，看看动物识别系统的格式化表示。

R1: 如果该动物有毛发，那么它是哺乳动物

R2: 如果该动物产奶，那么它是哺乳动物

R3: 如果该动物吃肉，那么它是食肉动物

R4: 如果该动物有爪、有犬齿，眼视前方，那么它是食肉动物

R5: 如果该动物是哺乳动物，且它反刍食物，那么它是有蹄动物

R6: 如果该动物是哺乳动物，且它有蹄，那么它是有蹄动物

R7: 如果该动物既是哺乳动物，又是食肉动物，且它的颜色是黄褐色、有暗斑点，那么它是金钱豹

R8: 如果该动物既是哺乳动物，又是食肉动物，且它的颜色是黄褐色、有黑条纹，那么它是老虎

R9: 如果该动物是有蹄动物，且它有长腿、长脖、暗斑，那么它是长颈鹿

R10: 如果该动物是有蹄动物，且它有黑条纹，那么它是斑马

其中R1, R2, ..., R10代表规则的编号。由上述产生式规则可以看出，虽然该系统是用来识别四种动物的，但它并没有简单地只设计4条规则，而是设计了10条。其基本思想是：首先根据一些比较简单的条件，如“毛发”、“产奶”等动物特征进行比较粗的分类，如“哺乳动物”、“食肉动物”等；然后随着条件的增加，逐步缩小分类范围，最后分别给出识别四种动物的规则。这样做有两个好处，一是当已知的事实不完全时，虽不能推出最终结论，但可以得到分类结果；二是当需要增加对其他动物（如：牛、马）的识别

时，规则库中只需增加关于这些动物个性方面的知识，如R7到R10一样，而对R1至R6可直接利用，这样增加的规则就不会太多。

根据上述规则，很容易形成识别各种动物的示意图，例如判断某动物是老虎和长颈鹿的示意图如图2-13所示：

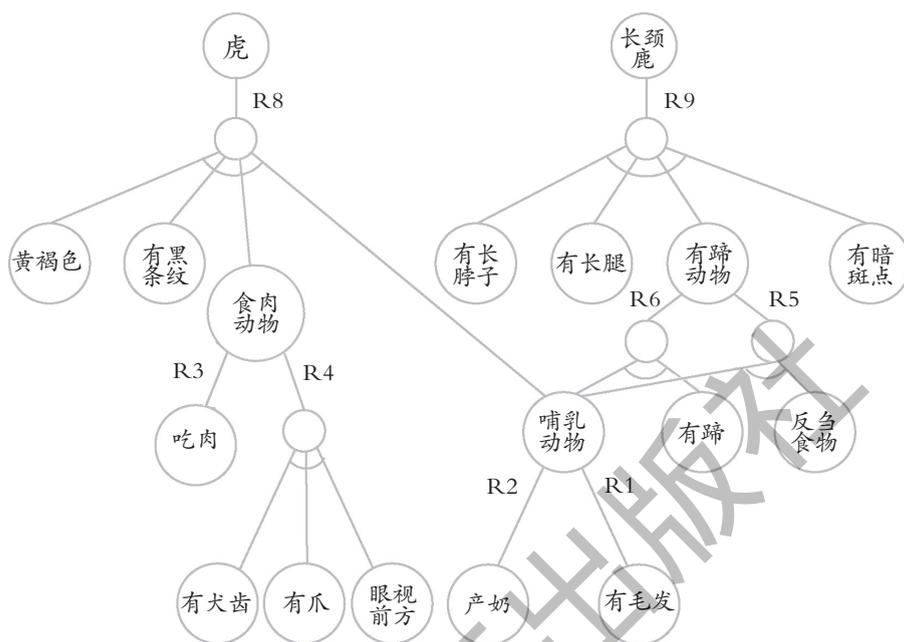


图2-13 动物识别示意图

用产生式规则表示知识比较自然，而且便于用程序设计语言表达及计算机存储处理，可以方便地表示控制性知识。在下一章中，要学到的专家系统会用到这种知识表示法。



实践

(1) 利用“动物识别系统的产生式规则R1~R10”，构造识别其他动物（如金钱豹、斑马）的示意图。

(2) 如果使动物识别系统能识别更多的动物（如：牛、马），你认为除了运用规则R1~R6外，还需要增加什么规则？完成表2-4。

表2-4 新增动物特征表

动物名称	动物的特征信息	增加的规则



交流

谈谈对建立产生式规则的体会，在身边的生活、学习中，有哪些系统、规则可以用产生式规则来表示。



练习

- (1) 产生式的基本形式是_____。
- (2) 产生式规则表示法的特点是_____。



拓展

产生式系统

在人工智能中，产生式系统（Production System）是使用产生式规则进行推理的系统。一个产生式系统的基本结构包括全局数据库、规则库和控制系统。它们之间关系如图2-14所示。



图2-14 产生式系统的基本结构

1. 全局数据库

全局数据库又称综合数据库、事实库等，是一个用来存放与求解问题有关的各种当前信息的数据结构。例如，问题的初始状态、输入的事实、推理得到的中间结论（如上例中的“哺乳动物”、“有蹄动物”）及最终结论（如上例中的“虎”、“斑马”）等。在推理过程中，当规则库中某条规则的前提可以和全局数据库中的已知事实相匹配时，该规则被调用，由它推出的结论将被作为新的事实放入全局数据库，成为后面推理的已知事实。

2. 规则库

规则库是作用在全局数据库上的一些规则集合。它包括了将问题从初始状态转换成目标状态所需要的变换规则（如上例中的“某动物有毛发，那么它是哺乳动物”）。

3. 控制系统

控制系统是负责选择规则的决策系统，对应着的是规则，任务是对规则库与全局数据库的匹配过程进行控制，例如，如果有多条规则同时满足时，由控制系统选择规则的执行顺序，使产生式系统能有效地进行问题求解。

2.6 Prolog语言

人工智能技术需要用计算机软件去实现，因此，我们需要学习人工智能程序设计语言和方法。本节我们将学习一种人工智能语言——Prolog语言，以及如何利用这种语言去解决一些简单问题。

2.6.1 初识Prolog语言

Prolog是1972年开发的通用程序设计语言。下面是一个Prolog语言的程序段，其中包括有陈述性和控制性知识，你能看懂各条语句的意义吗？



逻辑型语言强调的是对象之间的逻辑关系。

例1: Prolog语言程序段

```
fruit ( pears ) .                /*pears、apples被声明为fruit（水果）*/
fruit ( apples ) .

color ( pears,yellow ) .        /*描述pears、oranges、apples这几种水果的颜色*/
color ( oranges,orange ) .
color ( apples,yellow ) .
color ( apples,red ) .

likes ( bill,pears ) .
likes ( bill,popcorn ) .        /*描述bill喜欢pears、apples、popcorn（爆玉米花）*/
likes ( bill,apples ) .

likes ( tom,X ) :-              /*此语句描述tom喜欢X的三个条件：*/
    likes ( bill,X ) ,          /*1）X必须是bill喜欢的*/
    fruit ( X ) ,              /*2）X必须是fruit*/
    color ( X,red ) .          /*3）而X这种水果是红色的*/

likes ( tom,X ) :-              /*此语句描述tom喜欢X的两个条件：*/
    likes ( bill,X ) ,          /*1）X必须是bill喜欢的*/
    X=popcorn .                /*2）X必须是popcorn（爆玉米花）*/
```



任务

每3~4位同学为一小组，根据大家对上述程序段的理解，完成表2-5。

表2-5 认识Prolog语言辅助学习表

语句	其中X可能是什么
likes (tom,X) :- likes (bill,X) , fruit (X) , color (X,red) .	
likes (tom,X) :- likes (bill,X) , X=popcorn.	

对前面Prolog语言的程序代码说明如下：

(1) 大写字母开头的字符或字符串表示当前未知的对象。如在 likes (tom,X) :-likes (bill,X) 语句中，对于tom而言，喜欢什么是未知数，必须根据后面的条件likes (bill,X) 确定，而条件必须根据事实来确定。

(2) 小写字母开头的字符串表示常量，用来表示谓词和对象的名字。如例1中的 fruit (apples) 、color (apples,red) 等等。

(3) 符号 “:-” 表示如果的意思。“:-” 左边的部分称为规则头，右边称为规则体，规则结尾必须写上符号 “.”。规则头描述了规则试图定义的事实，规则体是一些条件名，为使规则头成立，规则体中的条件必须成立。

(4) 符号 “,” 表示规则体中的多个事实对象之间“与”的关系，即规则体中所有事实都成立时，规则头才成立。

(5) 符号 “;” 表示规则体中的多个事实对象之间“或”的关系，即规则体中有一个事实成立时，规则头就成立。

2.6.2 Prolog语言的三种基本语句

1. 事实

事实即已知的要素，如例1中的语句：

```
fruit ( apples ) .
color ( apples,red ) .
likes ( bill,pears ) .
```

这些语句在Prolog语言中我们称为事实，事实是用来说明一个问题中已知对象和它们之间关系的语句。在Prolog程序中，事实由谓词（或称为关系）名和它后面用括号括起来的一个或几个对象组成。谓词和对象可由用户自己定义，并选择不同的名字，事实是逻辑推理的前提。

如语句 `fruit (apples)` 中的谓词为fruit，表示apples是一种水果，又如语句 `likes (bill,pears)` 中，谓词为likes，表示bill和pears之间有喜欢的关系。bill和pears在上述程序中属对象。

事实的一般形式为：

$$p(o_1, o_2, \dots, o_n).$$

p为谓词名，一般由小写英文字母开头的字母、数字、下划线等组成的字符串。括号内 o_1, o_2, \dots, o_n 由若干对象（变元及常量）构成，事实后面用“.”结束。

事实句型的成立不依赖于其他的目标，事实句型恒为真。

2. 规则

规则即从已知事实进行推断。如：

```
likes ( tom,X ) :-
    likes ( bill,X ) .
```

/* tom喜欢bill喜欢的一切东西*/

```
likes ( tom,X ) :-
    likes ( bill,X ) ,
    X=popcorn.
```

/* 若bill喜欢的一种东西，而这种东西是爆玉米花的话*/

/* 那么tom也喜欢爆玉米花*/

```
likes ( tom,X ) :-
    likes ( bill,X ) ;
    X=popcorn.
```

/* tom除了喜欢bill喜欢的一切东西，还喜欢爆玉米花*/

这些语句在Prolog中我们称为规则，规则由几个互相有依赖性的简单句（谓词）组成，用来描述事实之间的关系。从形式上看，规则可分解为表示条件的前提谓词和表示结论的后件谓词。

规则和事实在Prolog中被称为谓词子句（clause），子句的集合称为Prolog的内部数据或知识库。Prolog系统的任务就是依据知识库中的知识（规则和事实）来回答用户的问题，使用事实和规则及提供的推理方法从一些事实推出另一些事实。



实践

将表2-6表示动物特征的知识转换为Prolog语言的语句。

例2: Prolog语言加法、乘法程序

domains

```
product,sum=integer
```

/*定义两对象product,sum的类型都为整型*/

predicates

```
add_em_up ( sum,sum,sum )
multiply_em ( product,product,product )
```

/*定义两个谓词add_em_up multiply_em,分别为加法谓词、乘法谓词*/

clauses

```
add_em_up ( X,Y,Sum ) :-
    Sum=X+Y.
multiply_em ( X,Y,Product ) :-
    Product=X*Y.
```

/*规则:说明加法运算和乘法运算的规则*/

goal

```
add_em_up ( 32,54,Sum ) .
```

/*目标:求32和54的和*/

通常, Prolog 语言程序的基本结构由四段组成:

domains 段: 定义程序中将要用到的变量和符号的类型及取值范围。

predicates 段: 定义程序中用到的谓词, 一般用nondeterm来规定输入和输出对象。

clauses段: 存放事实和规则。

goal段: 定义程序的目标, 它是程序运行的起点。



实践

(1) 对照Prolog程序的结构, 补充例1的程序段, 并上机调试、运行。

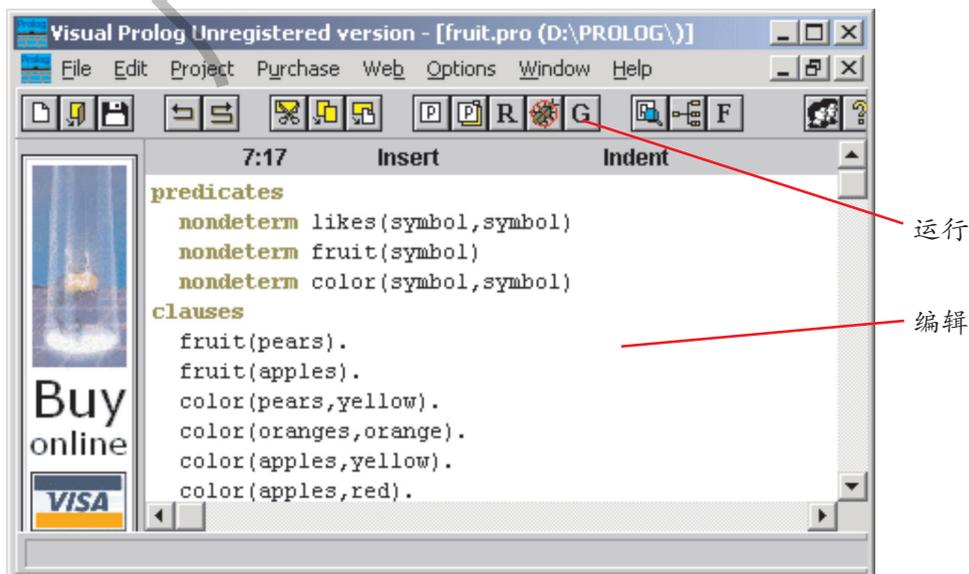


图2-15 Visual Prolog程序窗口

(2) 写出下列程序，根据表2-8中的goal，上机调试并写出结果。

```

predicates
    nondeterm likes ( symbol,symbol )
clauses
    likes ( ellen,tennis ) .
    likes ( john,football ) .
    likes ( tom,baseball ) .
    likes ( eric,swimming ) .
    likes ( mark,tennis ) .
    likes ( bill,Activity ) :-likes ( tom, Activity ) .
goal
    likes ( bill,baseball ) .

```

表2-8 程序运行结果表

输入	goal likes (bill,baseball) .	goal likes (Who,baseball) .	goal likes (X, Y) .	goal likes (X, _) .
输出				



交流

通过对likes (X, _) 这个目标的运行结果，讨论你对likes (X, _) 的理解。

2.6.4 Prolog语言内部谓词

电话是人们日常生活中必不可少的通信方式，电话号码簿的查询功能给人们带来许多方便，下面我们来看看Prolog电话号码查询程序。

例3: Prolog语言电话号码查询程序

```

predicates
    nondeterm phone_number ( symbol,symbol )
    nondeterm run
clauses
    phone_number ( "liuli","0757-22217890" ) .
    phone_number ( "zhangjun","010-22223988" ) .
    phone_number ( "liming","020-22221342" ) .
    phone_number ( "chenting","021-65781234" ) .

run:-

```

```

write ("This program is a system for checking the phone number." ),
nl,
write ("please enter a name:" ),
readln ( Who ),
phone_number ( Who,Number ),
write ("The telephone number of ",Who," is ",Number ),
nl.

goal
run.

```



交流

- (1) 谈谈你对上述程序的理解。
- (2) 谈谈你对谓词write、nl、readln的理解。

对大多数程序来说，运行时从键盘上输入有关数据、信息和显示输出有关数据、信息是必不可少的。为此Visual Prolog语言提供了专门的输入输出内部谓词，供用户直接调用。

- (1) write (X_1, X_2, \dots, X_n)

该谓词的功能是把项 X_i 的值显示在屏幕上。

- (2) nl

该谓词的功能是换行，它使后面的输出（如果有的话）另起一行。

- (3) readln (X)

该谓词的功能是从键盘上读取一个字符串，然后约束给变量 X 。

- (4) readint (X)

该谓词的功能是从键盘上读取一个整数，然后约束给变量 X ，如果键盘上输入的不是整数，则该谓词失败。

- (5) readreal (X)

该谓词的功能是从键盘上读取一个实数，然后约束给变量 X ，如果键盘上输入的不是实数，则该谓词失败。

- (6) readchar (X)

该谓词的功能是从键盘上读取一个字符，然后约束给变量 X ，如果键盘上输入的不是单个字符，则该谓词失败。

对于其他的内部谓词，如需要引用时，可以从Prolog语言的说明书中找到。



谓词包括两个方面：自定义谓词和内部谓词。自定义谓词是程序员根据需要由自己定义的谓词；内部谓词是由Prolog系统预先提供，程序员可不加定义直接利用这些谓词。



匹配是指对两个知识模式进行一致性的比较。

匹配是推理中必须进行的一项重要工作，因为只有经过模式匹配才能从知识库中选出当前适用的知识，才能进行推理。



2.6.5 匹配与递归方法

1. 匹配

匹配是Prolog语言最常用的方法。下面，我们给出匹配用于Prolog语言

中的一个实例。

高一(2)班的rose喜欢书和自行车, john喜欢自行车和足球, 问rose和john共同喜欢的是什么? 问题很简单, 答案是: 自行车。如果用匹配方法该如何求出解呢? 下面, 我们用Prolog语言写出求解问题的程序:

符号“,”在询问中是一种“与”的关系, 列出所有条件都成立的结果; 符号“;”在询问中是一种“或”的关系, 列出条件成立的所有结果。

```

predicates
    nondeterm likes (symbol,symbol)
clauses
    likes ( rose,books ) .
    likes ( rose,bike ) .
    likes ( john,bike ) .
    likes ( john,football ) .
goal
    likes ( rose,X ) , likes ( john,X ) .
  
```

执行过程如下:

(1) 检测第一个目标likes (rose,X), 将与前提中第一个事实likes (rose,books) 匹配成功, 用books代换自由变量X, 目标子句为: likes (rose,books) and likes (john,books);

(2) 检测第二个目标likes (john,books), 它与前提中所有事实子句都不匹配;

(3) 去掉约束的值 (重新换回自由变量X), 目标子句likes (rose,X) 与前提中第二个事实likes (rose,bike) 匹配成功, 用bike代换自由变量X, 目标子句为: likes (rose,bike) and likes (john,bike);

(4) 再检测目标子句 likes (john,bike), 它与前提中第三个条件子句匹配成功, 即目标子句与前提中第二和第三个事实都匹配成功。

查询到问题的解, 执行到此结束。

2. 递归

在程序设计中, 子程序直接或者间接调用自己, 称为递归。

如计算N!。

定义一个函数F (n) = n * F (n - 1), 这个函数F (n) 调用自己F (n - 1), 这种引用称为递归。

现在我们来考虑N个盘子的汉诺塔问题, 要求将第1根柱上依次从大到小的N个盘子, 按盘子的移动规则移到第3根柱上。移动规则如下:

(1) 每次移动一个盘子, 移动过程中盘子只能放在三根柱上。

(2) 任何时候大的盘子都不能放在小的盘子上面。

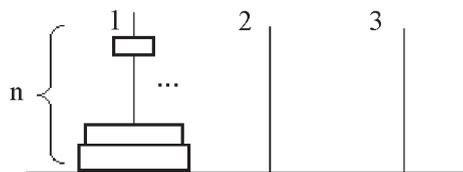


图2-16 汉诺塔问题初始表

解决问题的途径可以考虑如下, 先将第1根柱子上面的N-1个盘子通过第3根柱子移到第2根柱子上, 再将第1根柱子上的最下面的盘子直接移到第3根柱子上, 最后再将第2根柱子上的N-1个盘子通过第1根柱子移到第3根柱子上。这样将N个盘的汉诺塔问题转化

为 $N-1$ 个盘的汉诺塔问题，如图2-17所示。

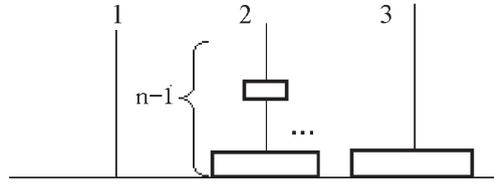


图2-17 汉诺塔问题的中转状态

现在我们来考虑 $N-1$ 个盘子的移动问题，将第2根柱上的 $N-1$ 个盘子按规则移到第3根柱上，第1根柱为中转柱。

照此类推，我们就可以得到问题的解。

整个问题的求解思路是：将 n 个盘子的问题转化成 $n-1$ 个盘子的问题，同时，状态也随之减少。这种描述和求解问题的方法称为递归方法。

下面给出求解汉诺塔问题的程序：

```
domains                                     /*程序的变量取值范围*/
    loc=right;middle;left

predicates                                   /*定义程序中用到的谓词*/
    hanoi ( integer )
    move ( integer,loc,loc,loc )
    inform ( loc,loc )

clauses                                       /*函数hanoi定义n个盘*/
    hanoi ( N ) :-                           /*定义递归函数move表示把n个盘子从left柱移到
        move ( N,left,middle,right ) .      right柱，并可借用middle柱*/

    move ( 1,A,_C ) :-                       /*当只有一个盘子时，仅需移动该盘子，这也是
        inform ( A,C ) ,                   递归的终止条件*/
        !.

    move ( N,A,B,C ) :-                     /*定义递归过程，把n个盘子从A柱移到C柱，B柱
        N1=N-1,                             作过渡*/
        move ( N1,A,C,B ) ,
        inform ( A,C ) ,                   /*把n-1个盘子从A柱移到B柱，C柱作过渡*/
        move ( N1,B,A,C ) .               /*把剩余的1个盘子从A柱移到C柱，并打印出来*/
                                           /*把n-1个盘子从B柱移到C柱，A柱作过渡*/

    inform ( Loc1, Loc2 ) :-
        write ( "\nMove a disk from ", Loc1, " to ", Loc2 ) .

goal
    hanoi ( 5 ) .
```



任务

- (1) 上机调试5个盘子的汉诺塔问题。
- (2) 上机运行下列程序，写出运行结果。

predicates

```
nondeterm can_buy ( symbol,symbol )
```

```
nondeterm person ( symbol )
```

```
nondeterm car ( symbol )
```

```
nondeterm likes ( symbol,symbol )
```

```
nondeterm for_sale ( symbol )
```

clauses

```
can_buy ( X,Y ) :-
```

```
    person ( X ) ,
```

```
    car ( Y ) ,
```

```
likes ( X,Y ) ,
```

```
for_sale ( Y ) .
```

```
person ( kelly ) .
```

```
person ( judy ) .
```

```
person ( ellen ) .
```

```
person ( mark ) .
```

```
car ( lemon ) .
```

```
car ( hot_rod ) .
```

```
likes ( kelly, hot_rod ) .
```

```
likes ( judy, pizza ) .
```

```
likes ( ellen, tennis ) .
```

```
likes ( mark, tennis ) .
```

```
for_sale ( pizza ) .
```

```
for_sale ( lemon ) .
```

```
for_sale ( hot_rod ) .
```

goal

```
can_buy ( Who,What ) .
```



交流

- (1) 在任务(2)程序中, 哪些语句是事实? 哪些语句是规则?
- (2) 在clauses段中的语句, 哪些事实或规则能改变顺序? 哪些不能改变顺序? 为什么?

2.6.6 Prolog语言的特点

Prolog语言接近于自然语言, 文法简捷, 逻辑性强, 易写易读, 便于学习使用, 易于正确性证明, 具有一阶逻辑的推理能力, 因而被应用于人工智能的多个研究领域中。

Prolog语言具有以下特点:

- (1) 在Prolog程序中, 仅含有事实、规则及询问语句, 强调的是它们之间的逻辑关系, 不要求给出求解问题的步骤, 因而Prolog被看作是一种描述性的语言。
- (2) Prolog语言具有自动实现搜索、模式匹配及回溯的功能, 从而实现了自动逻辑推理。
- (3) Prolog的数据和程序结构统一。
- (4) 递归是Prolog的一个重要特征, 它反映在程序及数据结构中。由于这一特征, 使得Prolog可把一个大的数据结构作为一个小的程序来处理。



实践

- (1) 上机调试及运行Visual Prolog安装光盘路径\doc\example\中的教程实例, 阅读该程序, 并填写表2-9。

表2-9 实例结果运行表

例子	结果	疑问

- (2) 浏览Prolog语言网站, 考察它的实例程序。



练习

- (1) Prolog语言语句的三种基本形式是_____、_____、_____。
- (2) 在Prolog语言的规则体中，符号“，”代表_____，符号“；”代表_____。
- (3) 将下列语句转换为Prolog语言语句。
 如果该动物有毛发，那么它是哺乳动物
 如果该动物有爪、有犬牙，眼视前方，那么它是食肉动物
 如果该动物既是哺乳动物，又是食肉动物，且它的颜色是黄褐色、有黑条纹，那么它是老虎
 Tom喜欢打篮球
 Tom喜欢踢足球
 如果Tom喜欢打篮球，那么John也喜欢打篮球
- (4) Prolog程序的基本结构是_____、_____、_____。
- (5) 读下列程序，写出运行结果。

```

predicates
    nondeterm likes ( symbol,symbol )
    nondeterm tastes ( symbol,symbol )
    nondeterm food ( symbol )

clauses
    likes ( bill,X ) :-
        food ( X ) ,
        tastes ( X,good ) .

    tastes ( orange,good ) .
    tastes ( apple,bad ) .

    food ( apple ) .
    food ( orange ) .

goal
    likes ( bill,What ) .
  
```



拓展

Prolog语言简要表

Prolog的基本域类型有：字符型、串型、符号型、整数型、实型、文件型。表2-10给

出了基本域的域类型名、标识符、取值范围和典型例子。

表2-10 Prolog标准域类型

类型名	标识符	取值范围	典型例子
字符型	char	所有可能的字符	“a”、“@”、“&”、“8”、“R”
串型	string	字符序列（程序中最长255个字符，文件中最长64K个字符）	“Visual Prolog”、“86”、“hgfhg@\$%^jh”
符号型	symbol	①小写字母打头的字母、数字和下划线组成的序列 ②双引号引起来的字符序列	Letter、name1
整数型	integer	-32768~32767	-76、7865
文件型	file	有效的DOS文件名	aaa.txt

Prolog具有丰富的内部数学函数和谓词（如表2-11所示），可以用它们来对整数和实数进行操作。

表2-11 Prolog算术谓词和函数

运算名	描述
X mod Y	返回X被Y除后的余数（模）
X div Y	返回X被Y除的商
abs (X)	取绝对值
cos (X)	三角函数，要求X绑定为一个值，这个值以弧度表示角；返回参数的余弦、正弦、正切值
sin (X)	
tan (X)	
arctan (X)	返回X的反正切值，X绑定为实数值
exp (X)	E的X次幂，X绑定一个值
ln (X)	以E为底指数为X的对数
log (X)	以10为底指数为X的对数
sqrt (X)	X的平方根
random (X)	X为随机实数， $0 \leq X < 1$
random (X,Y)	Y为随机整数， $0 \leq X < Y$
round (X)	返回X的舍入值，结果是实数
trunc (X)	截取X，结果仍然为此数

2.7 综合活动：知识表示法运用

2.7.1 活动目的

通过实例，进一步理解产生式规则、“与/或”图、框架、状态空间表示知识的方法，提高同学的协作与交流能力。

2.7.2 活动任务

- (1) 在表2-12的5个实例中，选择一个实例，运用一种合适的知识表示法表示。
- (2) 总结四种知识表示法以及它们之间的特点与区别。
- (3) 通过电子讲稿展示小组取得的结果，并与其他小组进行交流。

2.7.3 活动过程

- (1) 教师向学生讲解知识表示法的描述、特点，以及每种知识表示法所适用的问题知识。
- (2) 阅读下列5个实例，为每一个实例选择一种知识表示方法，说明理由并完成表2-12。

表2-12 知识表示法实例分析

问题	知识表示方法	理由
实例1		
实例2		
实例3		
实例4		
实例5		

实例1：汽车故障

- A. 如果汽车引擎不能转动，而电瓶内仍有电，则让用户检查汽车启动器。
- B. 如果没有火花，则让用户检查电极尖端。
- C. 如果汽车引擎能转动，但车子不能启动，则让用户检查火花塞。
- D. 如果引擎不能转动，则让用户检查电瓶。
- E. 如果电瓶没电，则让用户给电瓶充电。

实例2：如果你的计算机硬件坏了，你该怎么办？考虑软盘、电源、CPU和内存等出错情况。

实例3：旅行问题

- A. 有三种支付方法：现金、支票和记账。
- B. 旅游者的兴趣：阳光和雪。
- C. 根据旅游者的兴趣和支付能力，有四个目的地。
- D. 有三种交通工具。

实例4：一个父亲和他的两个儿子、一条可以载90千克的小木船在河的左岸，父亲重90千克，两个儿子各重45千克，父子三人都会划船，父子三人怎样才能到达河的右岸？

实例5：假设在一种推理结构中，包含了下列知识：

- A. 推理出b1的条件是c1和c2同时成立。
- B. 推理出b2的条件是c3和c4同时成立。
- C. 推理出b3的条件是c5、c6和c7同时成立。
- D. 推理出a的条件是b2和b3同时成立。
- E. 推理出p的条件是a成立或者b1成立。

(3) 每2~3位同学为一组，选择其中的一个实例，用一种知识表示方法表示实例知识，并说出理由。

2.7.4 活动结果

各组在全班范围内演示自己小组的实例知识表示，汇报此类知识表示法的特点，以及在这次活动中的收获。

2.7.5 活动评价

由教师、其他小组和本小组三方对本小组的活动结果及过程进行评价。

表2-13给出了活动评价的参考项目：

表2-13 参考评价表

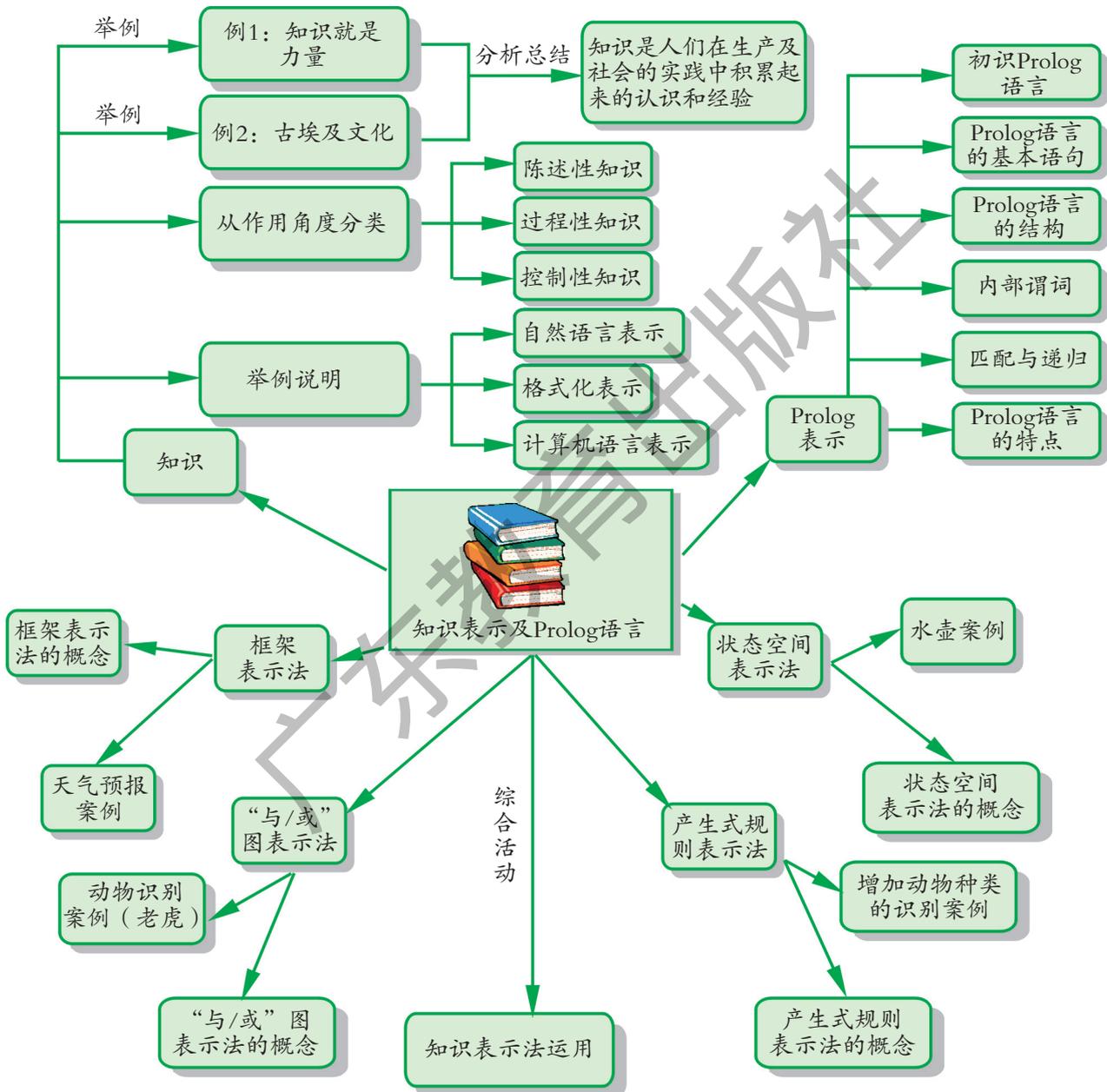
评价内容 \ 级别	A	B	C
知识表示的理解	很好	一般	难以理解
框架表示法的掌握	较好	一般	差
“与/或”图表示法的掌握	较好	一般	差
状态空间表示法的掌握	较好	一般	差
产生式规则表示法的掌握	较好	一般	差
协作程度	较好	一般	差
交流能力	交流能力强	一般	很难
展示效果	效果佳	效果一般	效果不好

教师根据实际情况，制定合适的评价内容、指标、分值，参照表2-13，对各小组用知识表示实例的过程和结果进行合理的评价（表2-14）。

表2-14 自定评价内容的标准

编号	评价内容	评价指标	分值	小组自评	小组互评	老师评价
1						
2						
3						
4						
5						

本章扼要回顾



本章学习评价

完成下列各题，并通过“本章扼要回顾”以及本章的各种交流、实践与练习等，综合评价自己在知识与技能、解决实际问题的能力以及相关情感态度与价值观的形成等方面，是否达到了本章的学习目标。

1. 我对知识的理解是： _____

2. 按知识的作用来分类有： _____

3. 知识的格式化表示有： _____

4. 我学会的知识表示法包括： _____

5. Prolog语言基本语句有： _____

6. Prolog语言的基本结构有： _____

7. 我对Prolog语言匹配与递归的理解是： _____

8. Prolog语言的特征是： _____

9. 我对本章中最感兴趣的内容是： _____

10. 本章对我启发最大的是： _____

11. 我还不理解的内容有： _____

12. 我还学会了： _____

13. 我还想学习： _____

第三章 专家系统

专家系统是人工智能从理论研究走向实际应用，从一般思维方法探讨转入专门知识运用的一个典范。目前，专家系统已成功地应用于化学、数学、医疗、地质等许多领域，产生了巨大的经济效益和社会效益。

随着专家系统研究的不断深入，一些新的课题也接踵而来，从而促进了人工智能基本理论和基本技术的发展。专家系统已经成为人工智能中一个热门的研究领域。

在第二章中，我们学习了计算机的知识表示方法。在本章，我们将会看到专家系统是如何利用这些知识进行工作，感受用专家系统解决问题的过程。我们将了解专家系统的基本结构、推理过程、解释功能和专家系统的开发过程，并尝试自己建造一个简单的专家系统。

- 认识专家系统
- 专家系统的知识获取
- 专家系统的推理过程
- 专家系统的解释功能
- 专家系统的开发
- 综合活动：植物分类专家系统的建造

3.1 认识专家系统

在某大学医学院里，有9名医学院的医生和一个特殊身份的“医生”，他们在不同的房间里，分别为10个感染源不清楚的患者进行诊断，并给出了处方，处方中都没有署名。

图3-1给出了诊断现场示意图。

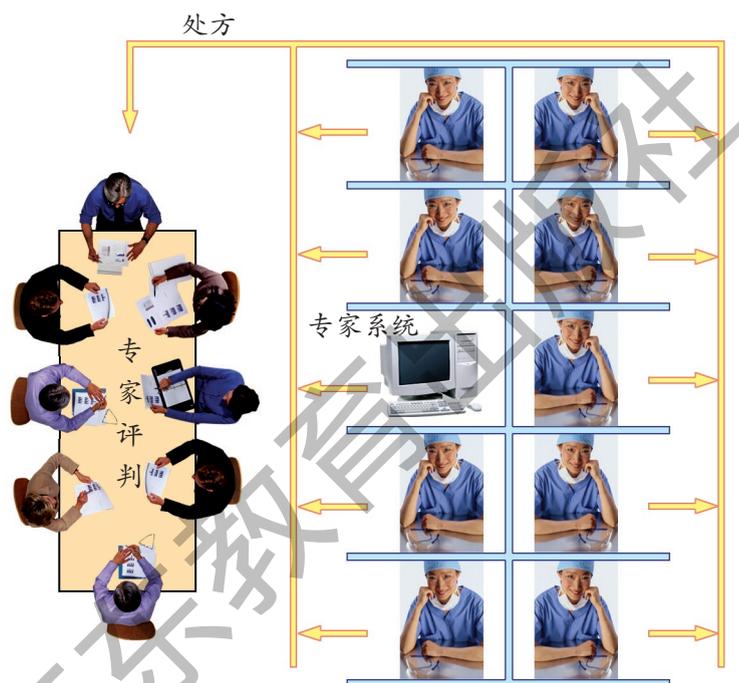


图3-1 诊断现场示意图

为了确定这些医生的诊断水平，另外又成立了一个由8名专家组成的评判小组，评判小组根据医生们对10名患者的诊断结果进行评判。评判的标准和评判的结果如表3-1所列。

表3-1 诊断结果评判记录

评判标准	评判结果
开出的处方是否对症下药	特殊身份的“医生”的处方是对症下药的，另外有三名医生的处方针对患者的症状是一致有效的
开出的处方是否对其他可能的病原体也有效，并且用药不过量	特殊身份的“医生”得分高于其他的九名医生，显示出了较高的医疗水平

显然，这个具有特殊身份的“医生”是一个水平很高的医生。它就是1974年由美国斯坦福大学开发研制出的医疗诊断系统MYCIN。

医疗诊断系统MYCIN是一个计算机软件系统，它一边与用户进行对话，询问病人的年龄、性别、症状情况等，一边进行推理诊断。最后显示出它“考虑”的可能性最高的病因，并且给出用药的建议。

3.1.1 什么是专家系统

上述的医疗诊断系统MYCIN就是一个典型的专家系统。要说明什么是“专家系统”，首先要弄清楚什么是人类“专家”。



交流

具备什么条件的人才能称为“专家”？

一个人要成为专家，必须掌握某一学科渊博的知识，具有丰富的实践经验，并且能解决一般人不能够解决的疑难问题。

专家系统是一个已被赋予专家知识和才能的计算机程序，这种程序所起到的作用达到了人类专家的水平。

这种“专家水平”意味着医学教授作出诊断和治疗的水平，高级工程师从事工程技术研究和开发的水平，特级教师在课堂上传授知识的水平等等。专家系统是人类专家可以信赖的高水平智力助手。

在医疗诊断系统MYCIN中，大约存放着450条诊断规则和1000条关于细菌感染方面的医学知识。正是因为有了这些知识，这个系统才能像一名经验丰富的医生那样为患者诊断。医疗诊断系统能够识别51种病菌，正确使用23种抗生素，并成功地处理了数百种病例。

在医疗诊断系统中，为患者诊断的过程是通过推理来实现的。所以说，专家系统是以知识为基础，以推理为核心的系统。即：

专家系统=知识库+推理机

概括来说，专家系统是一个具有专家知识的计算机软件系统，它的重要特征如图3-2所示：

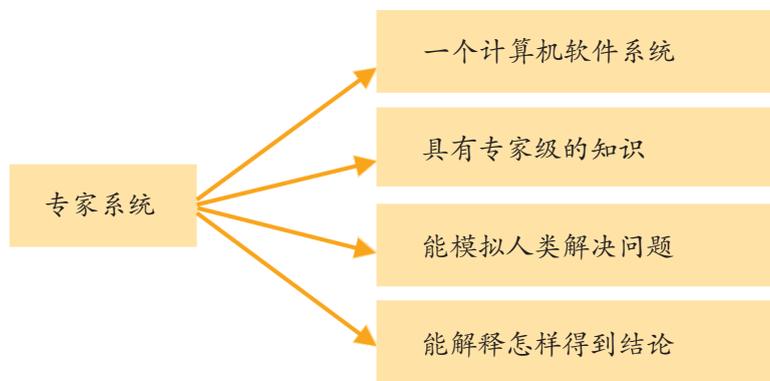


图3-2 专家系统特征示意图

3.1.2 专家系统的组成



观摩

“动物识别系统”是为本教材教学而设计的一个简单的专家系统。

“动物识别系统”的安装：运行光盘中的动物识别系统\setup.exe。

(1) 运行“动物识别系统”（图3-3）：animal.exe。



图3-3 动物识别系统菜单

(2) 单击菜单的“知识库”得图3-4所示的界面。

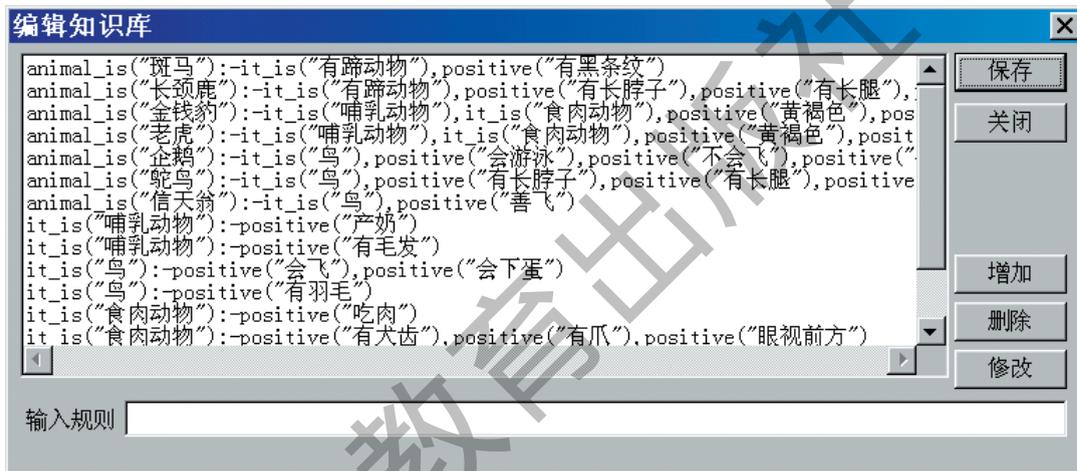


图3-4 编辑知识库界面

(3) 单击菜单的“输入”。在“输入”窗口中，先选择输入类型：事实，再输入：有暗斑点、有长脖子、有长腿、产奶、有蹄（图3-5）。



图3-5 输入窗口

(4) 单击菜单的“推理”，在“推理：正向推理”窗口中，单击按钮“推理”（图3-6）。

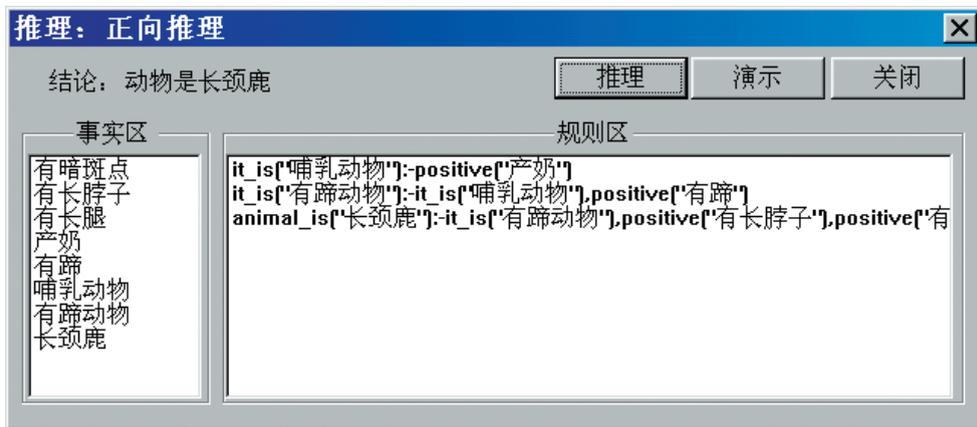


图3-6 推理窗口

(5) 单击菜单的“解释”，输入：HOW长颈鹿（图3-7）。

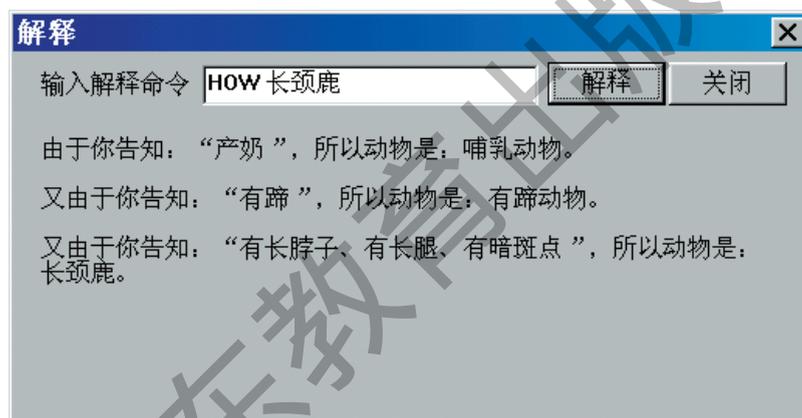


图3-7 解释窗口

一般的专家系统都包括人机接口、推理机、知识库、数据库、知识获取、解释机制这六个部分，如图3-8所示。

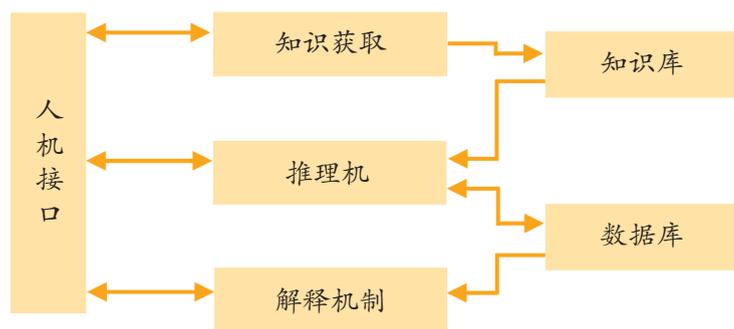


图3-8 专家系统的基本结构

推理机：是专家系统中用于推理的程序系统。

解释机制：是专家系统中用于解释的程序系统。



专家系统各个组成部分的功能见表3-2。

表3-2 专家系统的组成部分及功能

组成部分	功 能
人机接口	专家系统与人类专家及一般用户间的交互界面，用于完成输入输出的工作
知识获取	把知识输入到知识库中，并负责维持知识的一致性和完整性，从而建立起性能良好的知识库
知识库	知识的存储机构，用于存储大量的专家经验、知识以及已知的事实等。知识库中的知识来源于知识获取
推理机	专家系统的“思维”机构，是构成专家系统的核心部分。其任务是模拟领域专家的推理过程，控制并执行对问题的求解
数据库	用于存放用户提供的初始事实、问题描述以及系统运行过程中得到的中间结果、最终结果、运行信息等
解释机制	能够对自己的行为作出解释，回答用户提出的“为什么”、“结论是如何得出的”等问题

 领域专家是指在某一领域中的人类专家。如医学专家、地质专家等等。

3.1.3 专家系统的分类

对专家系统的分类方法有很多种，可以按专家系统的发展阶段、用途功能、知识表示的方式、系统的体系结构分类等等。我们这里按用途功能对专家系统进行分类。

专家系统已经应用在很多领域，这些专家系统在功能、设计方法及实现技术上都是有区别的。根据它们的特性和处理问题的类型进行分类，可以分成解释型、诊断型、预测型等等。



实践

5个同学为一组，到图书馆或上因特网，查找一些专家系统的例子，归纳出专家系统的主要功能，并按照它们处理问题的类型进行分类，填写表3-3。

表3-3 专家系统按功能分类表

类 型	主要功能	举 例
解释型	根据所得到的有关数据，经过分析、推理，从而给出相应解释的专家系统	语音识别系统HEARSAY、根据声纳信号识别舰船的HASP/SIAP等



练习

(1) 专家系统具有哪些特点？请同学们根据自己的了解，至少举出4个特点：

- ① _____ ② _____
③ _____ ④ _____

(2) 在这一章中，我们将要构造一个简单的植物分类专家系统，根据你对动物识别系统和有关植物分类知识的了解，确定进行分类的植物种类有：

3.2 专家系统的知识获取

拥有专家知识是专家系统区别于其他系统的重要标志，也是专家系统具有人类专家能力的基础。知识贫乏的专家系统水平一定不会高，因此知识的数量和质量是决定专家系统性能的关键因素。那么，专家系统是怎样获得高质量的知识呢？

3.2.1 专家知识

在第二章中，我们已经对知识及其特性有了初步的了解。现在，我们来仔细观察下面两个例子中所列举的知识：

例1：

知识一：如果“天上没有云”，则“不会下雨”。

知识二：如果“明天不上课”，而且“不下雨”，则“我们去打篮球”。

知识三：如果“病人的体温超过 37°C ”，则“病人发烧”。

例2：

知识四：如果“天上有云”，则“可能会下雨”。

知识五：如果“明天不上课”，而且“不下雨”，则“我们可能去打篮球”。

知识六：如果“打喷嚏”或者“鼻塞”或者“咳嗽”，则“有可能是感冒”。



交流

(1) 例1和例2中的知识各有什么特性？

(2) 例1和例2中的知识有什么不同？



人类专家的知识通常包括两大类：

一类是书本知识。它可能是专家在学校读书求学时获得的，也可能是专家从杂志、书籍里自学而来的。

另一类是经验知识。因为仅仅掌握了书本知识的学者还不配称为专家，所以，专家最为宝贵的知识是他凭借多年实践积累的经验知识，这是他头脑中最具魅力的知识瑰宝。在人工智能研究里，这类知识称为“启发式知识”。

3.2.2 用知识表示法来表示专家知识

知识按其确定性可分成确定性知识和不确定性知识。确定性知识是指可以精确表示的知识；不确定性知识是指不精确、不完备、模糊的知识（如：经验知识）。

1. 确定知识的表示

确定知识一般只有“真”与“假”这两种状态，例如：

如果动物“产奶”，则它就是“哺乳动物”。

这种知识的事实与结论的关系是确定的，对于这一类知识，我们都可以用在第二章中所学的知识表示方法来表示。

例如：用产生式规则表示上面的例子：

if “产奶” then “哺乳动物”



实践

用产生式规则表示例1中的知识：

知识一： _____

知识二： _____

知识三： _____

2. 不确定知识的表示

不确定知识是不能用“真”与“假”这两种状态准确表达的，专家的经验知识通常都属于不确定的知识。例如：

如果“打喷嚏”或者“鼻塞”或者“咳嗽”，则有可能是感冒，也可能不是感冒。

这种知识的事实与结论的关系不是简单的“是”或“不是”，而是“有可能”。在计算机中如何来表示这一类的知识呢？下面介绍一种常用的表示方法：确定因子表示法。

我们利用一个数值来表示知识的不确定程度，这个数值称为确定因子。确定因子可以是相应知识在应用中成功的概率，也可以是知识的可信程度，它的取值范围因它所代表含义的不同而不同。在实际应用中，确定因子的值，一般是由领域专家给出的。

在医疗诊断系统MYCIN中，就是用可信度作为确定因子的。可信度的取值范围一般是 $[-1, 1]$ ，它表示的是知识不确定的程度。表3-4中列出了可信度的含义。

表3-4 可信度的意义

取值范围	含 义
1	表示知识是完全可信的，为“真”
-1	表示知识是完全不可信的，为“假”
0	表示知识中事实与结论无关
(0, 1)	表示知识是不完全可信的，可信度因子越大，其可信的程度就越大
(-1, 0)	表示知识是不完全不可信的，可信度因子的绝对值越大，其不可信的程度就越大

例如：如果“打喷嚏”或者“鼻塞”或者“咳嗽”，则“有可能是感冒”。医生给出患感冒的可能性是80%，我们就可以这样表示：

if “打喷嚏” or “鼻塞” or “咳嗽” then “患了感冒” (0.8)

0.8是可信度因子的值。



实践

用可信度因子和产生式规则表示例2中的知识：

知识四（可信度是0.5）：_____

知识五（可信度是0.8）：_____

知识六（可信度是0.75）：_____

3.2.3 用Prolog语言表示专家知识的实例

在“动物识别系统”中，通过系统定义的谓词（predicate）来表示规则型知识，这些谓词所代表的含义如表3-5所列。

表3-5 “动物识别系统”谓词的含义

谓 词	含 义
animal_is	动物是
it_is	类别是
positive	事实

有了这些谓词，我们就可以用产生式规则来表示下面的知识。

例3：如果“有犬齿”并且“有爪”并且“眼视前方”，那么这个动物类别是“食肉动物”。它的具体表示为：

it_is ("食肉动物") :- positive ("有犬齿"), positive ("有爪"), positive ("眼视前方")

例4：如果动物类别是“哺乳动物”并且动物类别是“食肉动物”并且“黄褐色”并且“有暗斑点”，那么这个动物是“金钱豹”。它的具体表示为：

animal_is ("金钱豹") :-it_is ("哺乳动物"), it_is ("食肉动物"), positive ("黄褐色"), positive ("有暗斑点")

3.2.4 知识获取的方法

知识获取的目的是将人类专家的知识转换为专家系统知识库中的知识。知识获取的方法通常有三种，如图3-9所示。

知识工程师：由于人类专家本人不一定了解电脑程序，构建专家系统就必须有人帮助这些专家从头脑中挖掘启发式知识，并设计知识库和知识推理程序，这一类人就是“知识工程师”。

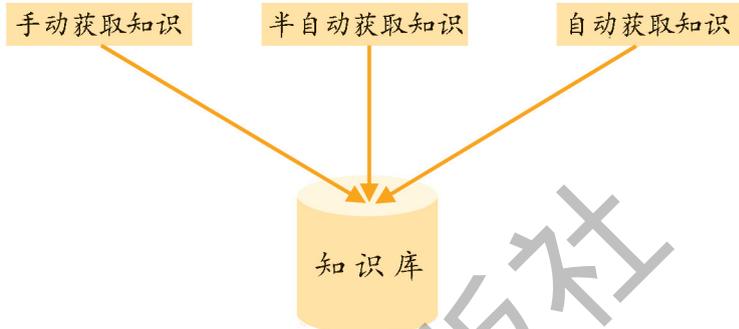


图3-9 知识获取的方法

1. 手工获取知识

知识工程师与领域专家合作，对领域知识和专家经验进行挖掘、收集、分析、归纳和整理，按专家系统的要求把知识输入到知识库中。具体步骤如图3-10所示：



图3-10 手工获取知识的步骤

2. 半自动获取知识

利用某种专门的知识获取系统（如知识编辑软件），采取提示、指导或问答的方式，帮助领域专家提取、归纳有关知识，并自动记入知识库，如图3-11所示。

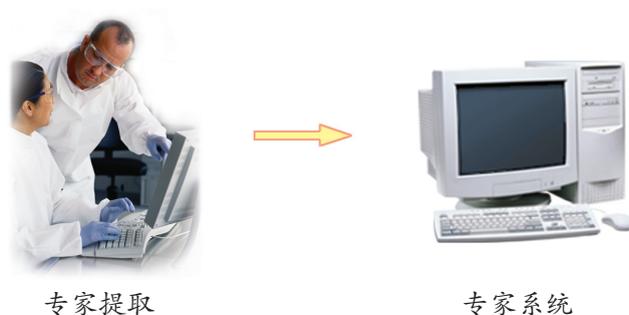


图3-11 半自动获取知识

帮助专家抽取知识的常用方法有：

- (1) 现场观察：观察专家如何解决工作中的实际问题。
- (2) 问题讨论：探索解决特定问题所需要的数据、知识及其过程类型。
- (3) 问题描述：请专家为每类问题描述出其问题原型。
- (4) 问题分析：给专家一系列实际问题去求解，探求专家推理的每一步的基本原理。
- (5) 问题精化：请专家给出一系列问题，然后使用从访问中获取的规则进行解答。
- (6) 系统检查：请专家检查和评价原型系统的规则和控制结构。
- (7) 系统验证：把原型系统所解答的问题交给其他专家加以验证。

3. 自动获取知识

自动获取知识可以分为两种形式：一种是利用专家系统本身具有的自学习功能获取知识，另一种是利用专门的机器学习系统获取知识，如图3-12所示。



图3-12 自动获取知识

机器学习系统是能够模仿人的学习行为，自动通过学习来获取知识的系统。

专家系统自学习功能是系统在运行过程中，自己获取了新知识，并自动增加到知识库中的功能。系统自己获取新知识的方法很多，例如：根据领域专家对系统推理结论的评价，自动提炼出新的知识。



任务

收集植物分类的相关知识，按照“动物识别系统”中知识的表示方式，对收集到的知识进行表示。要求：

- (1) 根据小组在3.1.3的练习(2)中确定的植物种类，收集它们的相关分类知识，总结、归纳出它们的分类特征信息。
- (2) 用产生式规则来表示植物分类知识。
- (3) 按照“动物识别系统”中知识表示的具体形式，写出植物分类的知识的具体表示。
- (4) 要求知识的规则有20条以上。

可按以下过程完成任务：

- (1) 听取教师介绍“动物识别系统”实例中的规则集，在老师指导下提出植物分类的基本特征、分类规则的组织方法。



(2) 各小组确定在“植物分类系统”中需要使用的谓词，填写表3-6。



谓词的确定：谓词可以由小组自行确定，但是必须满足以下两个基本的要求：

- (1) 使用英文。
- (2) 容易理解的词，如：like。

表3-6 “植物分类系统”谓词定义

谓 词	意 义

(3) 确定植物分类的范围（哪几种植物）和特征，填写表3-7。

表3-7 植物特征表

植物名称	主 要 特 征

(4) 小组成员分工合作开展实地考察、查阅网站和图书资料，收集、总结相关植物的外形特点、生活习性和应用价值等信息。经过分析，组织出分类规则（20条以上），画出这些规则所对应的“与/或”图（层次大于2层）。

(5) 小组成员将收集到的知识进行分类、归纳，并参照动物识别系统中知识表示的具体形式，按照表3-8的格式填写植物分类知识的具体表示。

表3-8 知识汇总表

序号	知 识 内 容	具 体 表 示
1	如果“有犬齿”并且“有爪”并且“眼视前方”，那么这个动物类别是“食肉动物”	t_is (“食肉动物”) :-positive (“有犬齿”), positive (“有爪”), positive (“眼视前方”)
2		
3		



练习

专家系统的知识，一般可分为哪两类？从哪里获取这两类知识？

3.3 专家系统的推理过程

我们知道推理机是专家系统的“思维”机构，它的任务就是模拟领域专家的推理过程去解决实际问题。实际上，人的推理过程是一种很复杂的行为，那么，专家系统的推理机又是怎样进行推理的呢？

3.3.1 正向推理和反向推理

我们在做数学证明题的时候，经常会采用下面两种思维方式：

正向思维：从已知条件入手，依据有关定理去证明结论是否成立。

反向思维：从结论入手，通过寻找结论成立的条件去证明结论是否成立。

专家系统中的推理机模拟了我们的思维，所以推理机的最基本的方式就是正向推理和反向推理。

为了便于理解，我们以“动物识别系统”为例，来说明专家系统的正向推理、反向推理的过程。

1. 正向推理过程

正向推理是以已知事实作为出发点，按照一定的策略，运用知识库中的知识，推断出结论的过程。正向推理又称为数据驱动推理。



观摩

运行“动物识别系统”，演示动物识别系统的正向推理过程。

(1) 单击菜单的“输入”。输入事实：有暗斑点、有长脖子、有长腿、产奶、有蹄。

(2) 单击菜单的“推理”及“推理：正向推理”窗口中的“演示”按钮。

在演示过程中，每当推出了一个结论，系统都会告诉你推出这个结论所应用的规则，直到推理结束。图3-13是正向推理开始的状态，图3-14是正向推理结束状态。

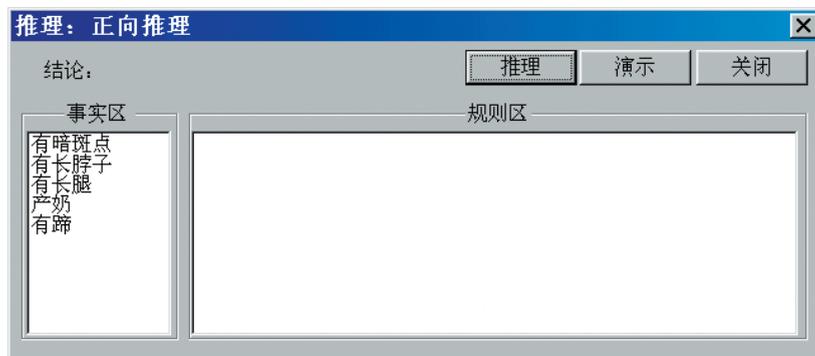


图3-13 正向推理演示的初始窗口

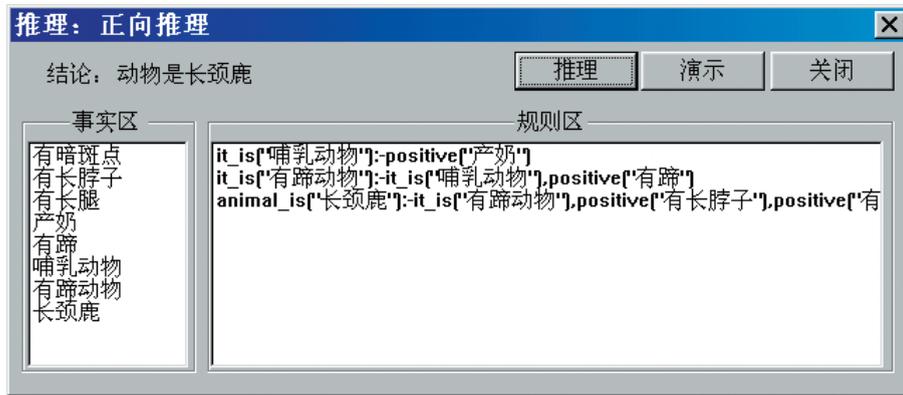


图3-14 正向推理演示的结束窗口

推理过程分析：

(1) 系统将用户输入的事实，放到数据库中的事实区。

(2) 在知识库中查找符合事实区中事实的规则。

先找到了规则：`it_is("哺乳动物"):-positive("产奶")`。把该规则的结论“哺乳动物”作为事实，加到数据库的事实区中，并把规则加到数据库的规则区中。

找到了规则：`it_is("有蹄动物"):-it_is("哺乳动物"),positive("有蹄")`。把该规则的结论“有蹄动物”作为事实，加到数据库的事实区中，并把规则加到数据库的规则区中。

找到了规则：`animal_is("长颈鹿"):-it_is("有蹄动物"),positive("有长脖子"),positive("有长腿"),positive("有暗斑点")`。把该规则的结论“长颈鹿”加到数据库事实区中，同时把该规则加到数据库的规则区中。

(3) 最后找到的结论为“动物是长颈鹿 (`animal_is("长颈鹿")`)”，也就是说，已经推出了最终结果。

图3-15展示的是推理的过程：

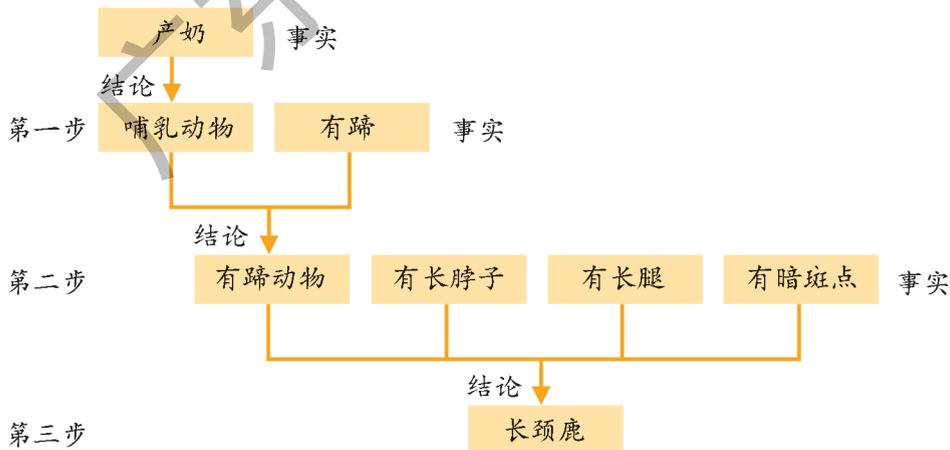


图3-15 正向推理过程示意图

2. 反向推理过程

从表示目标的谓词或命题出发，使用一组推理规则，来证明事实谓词或命题成立。即提出一批假设（目标），然后逐一验证这些假设。反向推理又称为目标驱动推理。



观摩

运行“动物识别系统”，演示动物识别系统的反向推理过程。

(1) 单击菜单的“输入”，选择输入类型：结论，输入：老虎。

(2) 单击菜单的“推理”。

(3) 在“推理：反向推理”窗口中单击按钮“演示”。根据系统的提问，作出回答，以验证假设是否成立。仔细观察推理过程中事实区和规则区的变化。图3-16所示的是演示结束窗口。

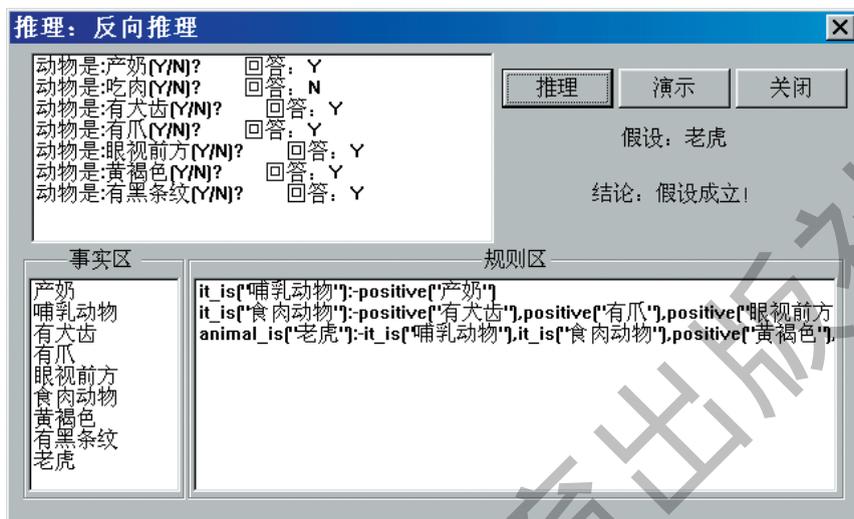


图3-16 推理结果



在进行反向推理时，首先将输入的结论作为假设，然后验证这个假设是否成立。



交流

(1) 反向推理的思想是怎样的？

(2) 观察到的反向推理包括哪些步骤？

图3-17列出了“验证某动物是老虎”过程中所有可能出现的情况。

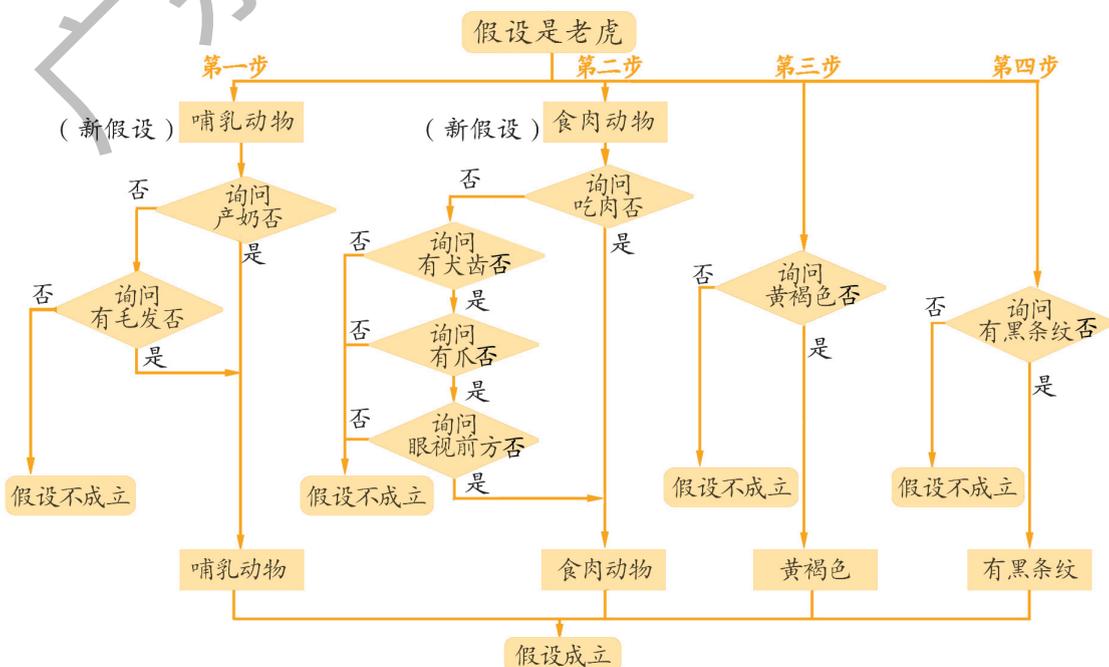


图3-17 反向推理过程示意图



实践

(1) 上机运行“动物识别系统”，分别输入表3-9中的事实，记录运行的结果，分析所得结果的原因。

表3-9 正向推理记录表

序号	事实	运行结果	原因
1	有暗斑点、有长脖子、产奶、有蹄		
2	有暗斑点、有长脖子、有长腿、产奶		
3	有暗斑点、有长脖子、有长腿、有蹄		

(2) 上机运行“动物识别系统”，输入结论：斑马或金钱豹，记录运行过程中的提问和你的回答，分析推理过程（表3-10）。

表3-10 反向推理记录表

序号	提问	回答	结论	使用的规则
1				
2				
3				

运行结果是：_____。

(3) 重复(2)，改变你的回答内容，观察运行结果的变化，分析一下变化的原因。

3.3.2 不精确推理

1. 什么是不精确推理

有一位病人去看病，下面是他和医生的对话：

- ①病人：“我有时头痛。”
- ②医生：“你有没有鼻塞？”
- ③病人：“有。”
- ④医生：“你有没有咳嗽？”
- ⑤病人：“有一点。”

⑥医生开了一个处方：“喝感冒冲剂。”并交代：“如果病情没有好转，请来复诊。”



交流

分析这一段对话，针对下面三个问题进行讨论：

- (1) 在①中病人自述的事实是不是确定的？
- (2) 病人是怎样回答医生的②和④问题的？
- (3) 我们从⑥中医生的话里得到什么信息？

根据病人的症状（这是确定和不确定的事实），依据医生的经验：“如果头痛、鼻塞、咳嗽，有可能是得了感冒。”（这是一个不确定的知识）给了病人一个处方（医生下的结论），作出了一个不精确的推理。

不精确推理的过程，就是从不确定的初始事实出发，通过运用不确定的知识，最终推出具有一定程度的不确定性但却是合理或者近乎合理的结论。如图3-18所示：

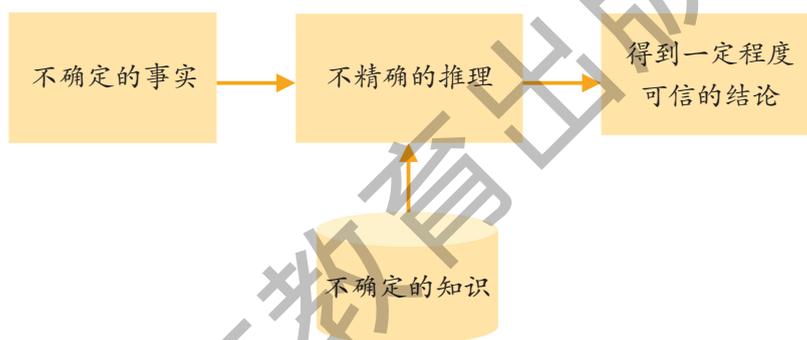


图3-18 不精确推理示意图

2. 不精确推理的计算

不精确推理可以根据应用的需要，采用不同的方法。作为一个应用实例，我们介绍不精确推理在医疗专家诊断系统MYCIN中的简单应用。

在医疗诊断系统MYCIN中，较多采用的是可信度方法进行不精确推理的。

例1：规则为：if A1 and A2 then B，它的可信度为0.7，记作：if A1 and A2 then B (0.7)。

A1的可信度为0.6，记作：A1 (0.6)。

A2的可信度为0.4，记作：A2 (0.4)。

则B的可信度为：取A1和A2可信度中的最小值与规则的可信度相乘：

$0.4 \times 0.7 = 0.28$ ，记作：B (0.28)。

证据A1和证据A2的这种关系称为AND型，见图3-19 (1)。

例2：如果规则为：if A1 or A2 then B (0.7)，且：A1 (0.6)，A2 (0.4)。

则B的可信度为：A1和A2可信度中的最大值与规则的可信度相乘：



$0.6 \times 0.7 = 0.42$ ，记作： $B(0.42)$ 。

证据A1和证据A2的这种关系称为OR型，见图3-19(2)。



COMB(组合)型可信度的计算公式是根据概率理论推导出来的。根据条件的不同，有三个计算公式，在本节的“拓展”中，给出了完整的公式。

例3：两条不相关的规则有相同结论。

规则1：if A1 then B(0.7)

规则2：if A2 then B(0.8)

且：A1(0.6)，A2(0.4)

这时我们可以得到，从A1推出B的可信度是0.42,从A2推出B的可信度是0.32，那么根据公式(见本节“拓展”)，可以得出结论B的可信度为：

$$0.42 + 0.32 - 0.42 \times 0.32 = 0.6056$$

这种关系我们称它为COMB型，见图3-19(3)。

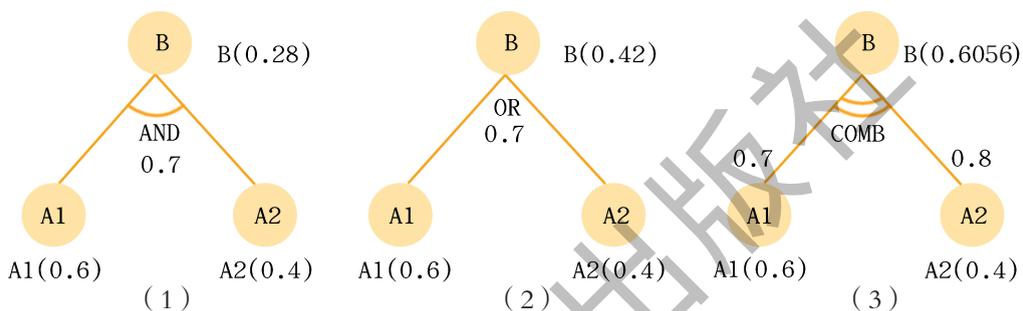


图3-19 不精确推理网络图

可信度推理的三种基本类型：

- (1) AND型：如例1，结论的可信度为取证据中可信度的最小值乘规则的可信度。
- (2) OR型：如例2，结论的可信度为取证据中可信度的最大值乘规则的可信度。
- (3) COMB(组合)型：如例3，需要利用本节后面“拓展”中的公式进行计算。



实践

假设用可信度方法表示的规则为：if E1 and (E2 or E3) then H(0.8)

且：E1(0.7)，E2(0.3)，E3(0.8)

请计算得到结论H的可信度，并画出推理网络图。



交流

每5人一组，讨论不精确推理的含义，总结、整理出不精确推理的过程，并推荐一个代表在全班讲解。



练习

专家系统中最基本的推理方式有哪两种？它们的过程是怎样的？



拓展

组合型可信度的计算

在不精确过程中，组合（COMB）型可信度的计算公式为：

设：由 $A_1 \rightarrow B$ 的可信度为： $E(B, A_1)$ ，由 $A_2 \rightarrow B$ 的可信度为： $E(B, A_2)$ ，

则 B 的可信度 $E(B)$ 需要分三种情况进行计算：

(1) 当 $E(B, A_1) \geq 0$ ， $E(B, A_2) \geq 0$ 时，

$$E(B) = E(B, A_1) + E(B, A_2) - E(B, A_1) \times E(B, A_2)$$

(2) 当 $E(B, A_1) < 0$ ， $E(B, A_2) < 0$ 时，

$$E(B) = E(B, A_1) + E(B, A_2) + E(B, A_1) \times E(B, A_2)$$

(3) 当 $E(B, A_1)$ 和 $E(B, A_2)$ 异号时，

$$E(B) = \frac{E(B, A_1) + E(B, A_2)}{1 - \min(|E(B, A_1)|, |E(B, A_2)|)}$$

3.4 专家系统的解释功能

当我们去看病，拿到医生的诊断结果和处方的时候，我们还想知道从医生那里得到些什么其他的信息呢？例如，我们想知道，医生是怎样得到诊断结果的，他的处方是根据什么开出的等等。一般情况下，我们会向医生提出一些问题，医生通过回答我们的问题，让我们相信他的诊断是正确的。

同样，在专家系统中，也有这样一个功能，你可以向系统提出问题，系统会给你一些回答，让你信任它。这就是专家系统的解释机制。

3.4.1 解释的概念和作用

专家系统中的解释机制是由一组程序完成的，它可以跟踪并记录系统的推理过程和使用过的相关知识，当用户提出询问时，它将根据用户提出的要求分别作相应的处理，最后，把系统的解答用约定的形式通过人机接口输出给用户。

专家系统通过解释机制，对用户说明系统为什么会得到这个结论，以及如何得到这个结论。通过解释，可以提高用户对专家系统的信赖程度，并且有助于专家系统的推广使用。



交流

解释机制对用户有什么意义？对专家系统有什么帮助？将讨论的结果填写到表3-11中。

表3-11 解释机制的作用

对象	解释的作用
专家系统	
用户	

3.4.2 解释的内容

专家系统根据用户的要求，提供不同的解释，HOW和WHY是最常用的两种解释。

1. HOW解释



观摩

运行“动物识别系统”，演示HOW的解释功能。

(1) 单击菜单的“输入”。输入的事实是：暗斑点、有长脖子、有长腿、产奶、有蹄。

(2) 单击菜单的“推理”及推理窗口中的“推理”按钮，得到结论：动物是“长颈鹿”。

(3) 单击菜单的“解释”，输入：HOW长颈鹿（怎样判断出动物是“长颈鹿”？）时，系统的回答如图3-20所示：

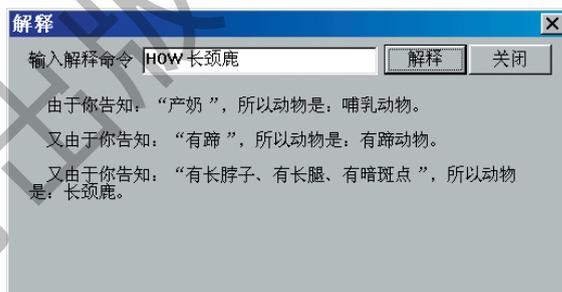


图3-20 HOW解释窗口

HOW是用于回答用户有关如何得到最终结论的问题。例如：“这个结论怎样得出的？”等等。

专家系统是通过展示推导这个结论所使用的知识来回答这类问题的。

2. WHY解释



观摩

运行“动物识别系统”，演示WHY的解释功能。

(1) 单击菜单的“输入”。输入的结论是：老虎。

(2) 单击菜单的“推理”及推理窗口中的“推理”按钮，根据系统的提示回答问题。

(3) 单击菜单的“解释”，输入：WHY吃肉（为什么要问“动物吃肉”这个问题？）时，系统的回答如图3-21所示。

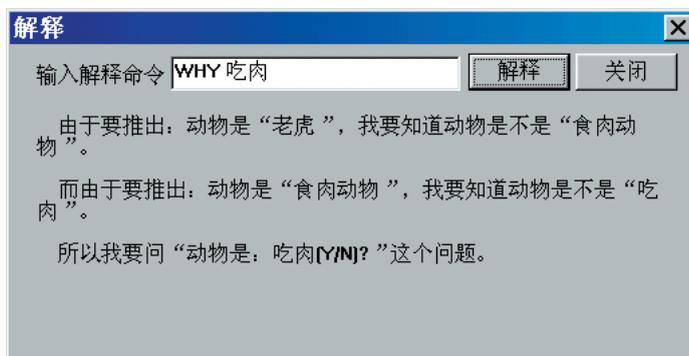


图3-21 WHY解释窗口

WHY是用于回答用户有关为什么作出某种决策或进行某个询问的问题。例如：“为什么问我这个问题？”等等。

专家系统是根据在验证假设的过程中需要用户提供事实的理由来解释这个问题的原因的。

3. 其他解释

在医疗诊断系统MYCIN中，当系统询问病人的性别时，如果病人提出“为什么要问我的性别”，系统的回答是：“性别是关于病人的四个标准参数之一，在以后的推理过程中会有用。例如，性别与确定能否在某一部位找到病原体有关……”

系统的这个回答显然是事先准备好的，专家系统中还有一些其他的解释方法，将在本节的“拓展”中给出。



实践

(1) 运行“动物识别系统”，输入事实：有蹄、有黑条纹。然后进行推理。得出结论：_____。在解释窗口中，分别输入表3-12中的解释命令，进行解释。记录系统的解释内容，分析为什么。

表3-12 解释内容记录表

解释命令	解释内容	原因
HOW 斑马		
HOW 老虎		
HOW 有蹄动物		
WHY 有蹄		

(2) 运行“动物识别系统”，输入结论：金钱豹。然后进行推理。按系统的提示回答问题后，得出结论：_____。将系统提示的内容和你的回答填写在表3-13中。在解释窗口中，分别输入表3-14中的解释命令，记录系统的解释内容，分析为什么。

表3-13 回答记录

提示内容	回 答

表3-14 解释内容记录表

解释命令	解释内容	原因
HOW 金钱豹		
WHY 有蹄		
WHY 金钱豹		
WHY 会飞		



交流

(1) 专家系统的解释功能的作用是很大的，如果你建造一个植物分类系统，你认为可以提供怎样的解释？

(2) 如果医疗诊断系统MYCIN为你进行诊断，你想要得到怎样的解释？



练习

专家系统的HOW解释和WHY解释是根据什么来回答用户的问题的？



拓展

实现解释功能的方法介绍

对用户来说，希望专家系统能解释的内容越多越好，因此，我们想知道一般的专家系统，它到底能回答哪些问题？是不是什么问题都能回答呢？

实际上，到目前为止，专家系统所能回答的问题都是在设计系统时已经确定的，也就是说，它只能回答预先设计好的问题。

实现解释功能的主要方法有四种，如图3-22所示：

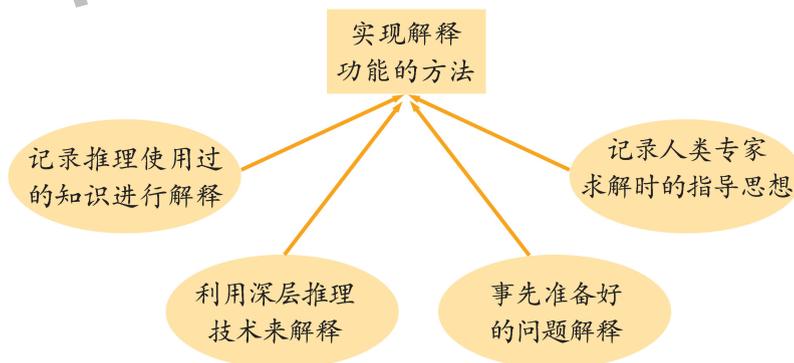


图3-22 实现解释功能的方法

我们使用的“动物识别系统”采用的是记录推理使用过的知识进行解释的方法。

3.5 专家系统的开发

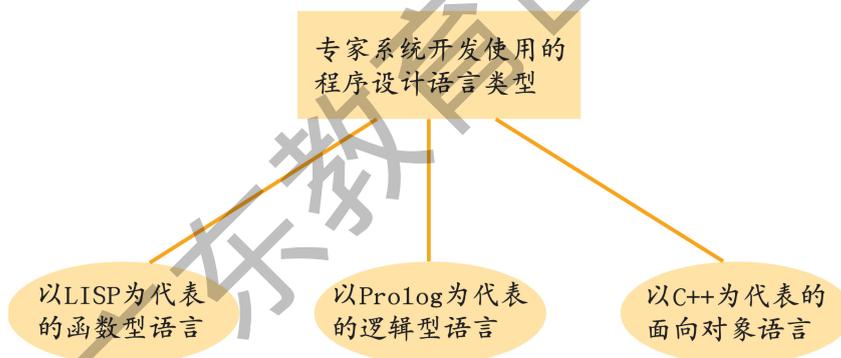
专家系统是一个复杂的智能软件，与一般的软件类似，但又有自己的特点。一般软件处理的对象是数值、文字、图形等信息，且有固定的算法，而专家系统处理的对象是以符号表示的知识，处理的过程是推理的过程，因此，专家系统的开发也有别于一般软件的开发。

3.5.1 语言及工具

专家系统的开发是一件既复杂又困难的工作，目前常用的开发手段有两种：一是利用程序设计语言；二是利用专家系统工具。

1. 程序设计语言

我们知道，专家系统是一种具有专家知识的计算机软件系统，可以用一般的程序设计语言进行开发。目前，比较常用的有以下三类，如图3-23：



函数型程序语言：
语言中的一切成分都是以函数形式给出的。

图3-23 专家系统开发的程序语言

用程序设计语言开发专家系统的优点是比较灵活，针对性强；缺点是一切工作都要从头做起，工作量很大。

2. 专家系统工具

在专家系统的开发过程中使用的专家系统工具一般分为专家系统的外壳和通用专家系统工具两类，如图3-24所示：

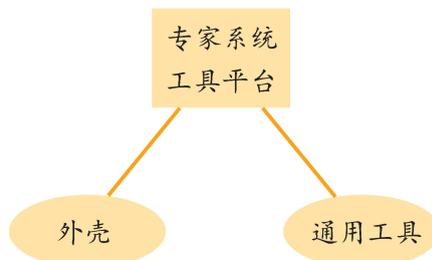


图3-24 专家系统工具



(1) 专家系统的外壳。

在一些科幻片中，我们常常可以看见这样的一幕：把一个机器人的脑袋取下来，换上另外一个脑袋。这时机器人就具有了不同的功能，很方便。专家系统同样也可以进行这样的“换脑”。我们可以把“动物识别系统”中的知识库用“植物分类”的知识库来代替，这样，它就变成了“植物分类系统”了。

我们可以看出，机器人的“换脑”，是在它的身体上进行的；而专家系统的“换脑”，实质上是更换其外壳上的知识库。

专家系统的外壳又称为骨架系统。它是由一些已经开发成功，并在实际应用中成熟的具体专家系统，抽去具体的知识演变而来的。它保留了原系统的体系结构和功能，并把领域专用的界面改成通用的界面。

显然，在专家系统的外壳中，知识库结构、推理机、解释机、数据库等等，都是已经确定的，当用这种外壳建造专家系统时，我们只需要把相应的领域知识用外壳规定的模式，填充到知识库中就可以了。

根据不同的应用，可以建造不同的专家系统外壳，例如KSA、EMYCIN、EXPERT等等。表3-15列出了这三个外壳的来源以及利用外壳开发出来的部分专家系统：

表3-15 专家系统外壳的应用

序号	来源	应用
1	地质探矿专家系统 (PROSPECTOR)	帮助化学工程师选择化工生产过程中的物理参数的专家系统 (CONPHYDE)
2	医疗诊断系统 (MYCIN)	肺功能失调诊断系统 (PUFF) 血液凝固机制疾病诊断系统 (CLOT)
3	诊断青光眼顾问系统 (CASENT)	辅助分析测井数据系统 (ELES) 诊断关节风湿性疾病系统 (AI/RHEUM)

采用外壳建造专家系统，其优点是可以大大减少系统开发的工作量，所要做的工作主要是获取知识。但是，这种方法只适用于建造与外壳类似的专家系统，局限性大，灵活性也差。所以，选择合适的外壳是建造系统的关键。

(2) 通用专家系统工具。

通用专家系统工具是不依赖于任何已有的专家系统，不针对任何具体领域的。它与专家系统的外壳相比，具有更大的灵活性和通用性，但同时也增加了使用的难度。

通用专家系统工具也有多种，例如OPS、UNITS、RLL、ROSIE等等。

3. 专家系统实验外壳

专家系统实验外壳ESES (Expert System Experiment Shell) 是一个用产生式规则表示知识的专家系统外壳，它是专门为本教材的教学而设计的，前面使用过的“动物识别系统”就是利用这个外壳创建的。



观摩

用ESES生成专家系统的具体操作为：

第一步，安装ESES。运行光盘中：`\第三章\专家系统外壳\setup.exe`。并指定程序存放的路径。

第二步，运行ESES.exe，系统菜单如图3-25：



图3-25 系统菜单

第三步，输入要建立的专家系统的名称，如：动物识别系统（图3-26）。



图3-26 “设置系统名称”窗口

第四步，输入专家系统需要使用的谓词及含义（图3-27）。

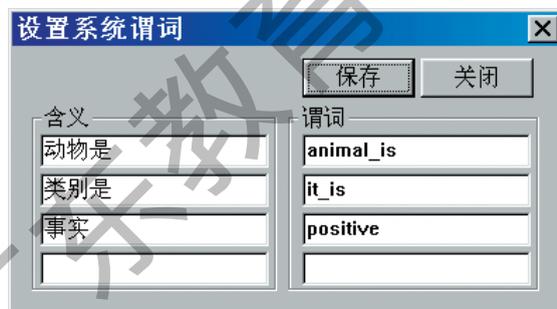


图3-27 “设置系统谓词”窗口

第五步，为专家系统的知识库增加相应知识（图3-28）。

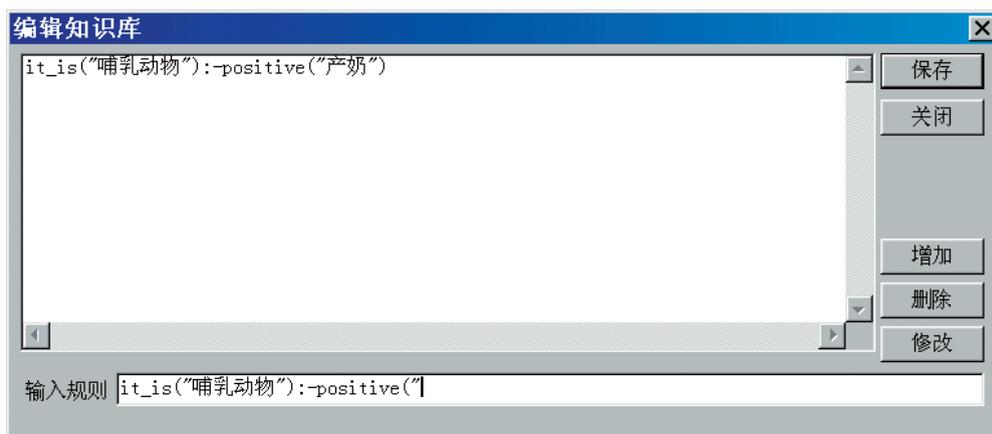


图3-28 “编辑知识库”窗口

3.5.2 专家系统的开发过程

原型法：是指针对比较大型或难度较大的专家系统的一种研制与开发方法。在开发一个实用专家系统之前，先开发一个专家系统的原型，然后，在对原型开发取得一定经验的基础上，再逐步实现实用的专家系统。

专家系统的开发过程一般可以归纳为：问题选择与任务确定、需求分析、原型化设计、规划与设计、系统实现、测试与评价、系统维护与完善等七个阶段。如图3-29所示：

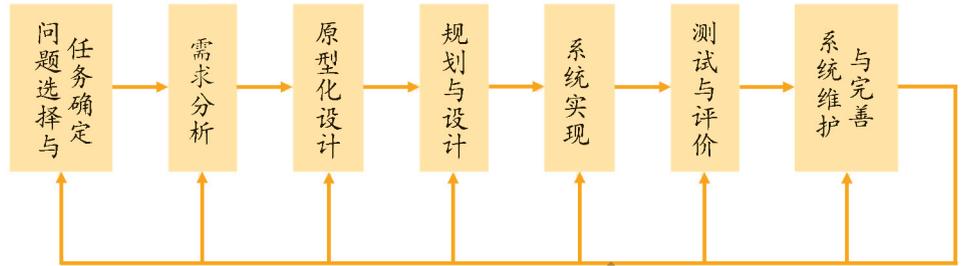


图3-29 专家系统的开发过程

专家系统开发各阶段的主要任务如表3-16所示：

表3-16 专家系统开发各阶段的主要任务

阶段	任务
问题选择与任务确定	问题调研 确定候选问题 候选问题分析 确定最终入选的问题
需求分析	反复与用户及领域专家进行调查研究 写出需求分析报告 写出系统的规格说明书和开发计划
原型化设计	原型系统开发、测试、演示、项目修正
规划与设计	详细规划、设计系统的体系结构及各个功能模块
系统实现	按照设计要求对系统进行程序的编写和调试
测试与评价	测试与评估整个系统的功能，并进行必要的修改
系统维护与完善	找出测试中发现问题的原因并进行修改，扩充系统的功能和知识，使之成为一个完整的系统



练习

专家系统的开发工具可分为哪两类？它们有什么不同？

3.6 综合活动：植物分类专家系统的建造

3.6.1 活动目的

进一步了解专家系统的组成原理，体验利用专家系统外壳建造专家系统的整个过程，提高与其他同学分工合作、齐心协力共同完成任务的能力。

3.6.2 活动任务

- (1) 利用给定的ESES，构建一个简单的植物分类专家系统。
- (2) 演示所完成的专家系统，并通过电子讲稿展示小组的工作成果。

3.6.3 活动过程

(1) 教师向学生讲解专家系统外壳的基本原理，以及一个简单的产生式专家系统外壳的使用方法。

(2) 设置要建造专家系统的初始数据（表3-17），并利用ESES建立一个新的专家系统。

表3-17 初始数据设置表

项 目	内 容
系统名称（中文）	
系统存放路径	
系统使用的谓词表	在3.2节的“任务”中已确定好

(3) 将在活动中收集整理知识规则输入专家系统。

(4) 进行专家系统的调试，验证知识的正确性，填写表3-18。

表3-18 系统调试记录表

序号	输入事实	应有结论	系统的结论	正确否	知识的修订



3.6.4 活动结果

各组在全班范围内演示自己的“植物分类系统”，汇报建造专家系统的过程和收获。

3.6.5 活动评价

由教师、其他小组和本小组三方对本小组的活动结果及过程进行评价。

表3-19给出了活动评价的参考项目：

表3-19 参考评价表

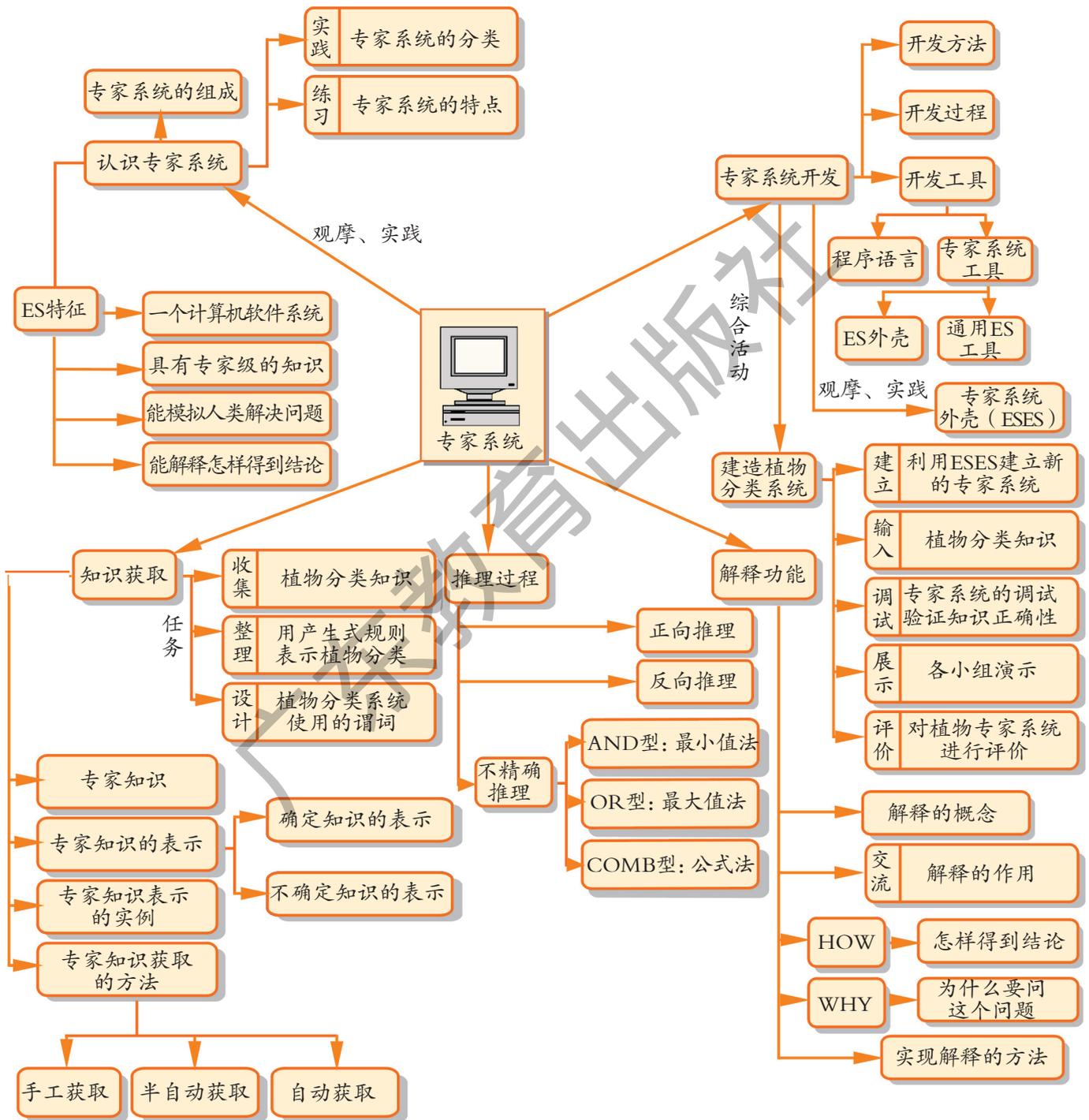
评价内容 \ 级别	A	B	C	D
产生式规则的科学性	很科学	较科学	一般	不科学
产生式规则的层次	2层以上	2层	1层	1层
产生式规则的数量	20条以上	15条以上	15条以下	10条以下
专家系统的实用性	很高	较高	一般	差
协作程度	很高	较高	一般	差
展示的系统性	很高	较高	一般	差
展示效果	效果佳	效果较好	效果一般	效果不好

教师根据实际情况，制定合适的评价内容、指标、分值，参照表3-19，对各小组建造“植物分类系统”的过程和结果进行合理的评价（表3-20）。

表3-20 自定评价内容的标准

编号	评价内容	评价指标	分值	小组自评	小组互评	老师评价
1						
2						
3						
4						
5						
6						

本章扼要回顾





本章学习评价

完成下列各题，并通过“本章扼要回顾”以及本章的各种交流、实践与练习等，综合评价自己在知识与技能、解决实际问题的能力以及相关情感态度与价值观的形成等方面，是否达到了本章的学习目标。

1. 我对专家系统的理解是： _____

2. 专家系统由 _____ 组成。

3. 专家系统中知识获取的方法有： _____

4. 我收集有关植物分类知识的渠道有： _____

5. 反向推理的过程是： _____

6. 我对不精确推理的基本过程的理解是： _____

7. 解释功能在专家系统的作用是： _____

8. 我对ESES的原理的理解是： _____

9. 通过建立植物分类专家系统的实践，我最想建立的专家系统是： _____

10. 我对本章中最感兴趣的内容是： _____

11. 本章对我启发最大的是： _____

12. 我还不理解的内容有： _____

13. 我还学会了： _____

14. 我还想学习： _____

第四章

问题求解

生活中我们会遇到各种各样的问题。为了更好地解决这些问题，我们必须通过学习来获取知识，以寻求解决问题的策略和方法。

在人工智能中，把解答问题的过程，称为问题求解。搜索和机器证明是人工智能常用的两种问题求解的方法。专家系统的推理过程实际上就是利用搜索方法对知识库中的知识进行搜索的过程。本章我们通过对简单问题的分析，了解基本搜索和启发式搜索的搜索过程、求解博弈问题的基本思想，通过简单的例子说明一种机器证明的方法。

- 重排九宫问题及其树的表示
- 基本搜索方法
- 启发式搜索
- 求解博弈问题
- 浅谈机器证明

4.1 重排九宫问题及其树的表示

重排九宫问题也称为八数码问题，是一种典型的智力游戏。在4.2、4.3节将要通过它说明问题求解过程，因此我们需要了解重排九宫游戏的内容及其表示方法。

4.1.1 重排九宫问题

在 3×3 的方格棋盘上，放置标有数码的8个棋子（1，2，3，4，5，6，7，8），并留有一个空格，如图4-1所示。通过移动棋子，可以生成不同的棋盘状态。棋子移动规则如下：

2	8	3
1		4
7	6	5

图4-1 棋盘

（1）与空格垂直、水平方向的数码棋子均可以移至空格处，每步只能移动一个棋子，棋子共有四种移法，如图4-2所示的a、b、c、d。



图4-2 棋子的四种移动方法

（2）为了减少移动的次数，在移动过程中，约定同一种棋盘状态，不能重复出现。例如如图4-3中，棋盘状态③和⑤相同，则从状态④不能选择d移动方法，但从状态③可以选择b移动方法，生成与已有状态不重复的新状态。

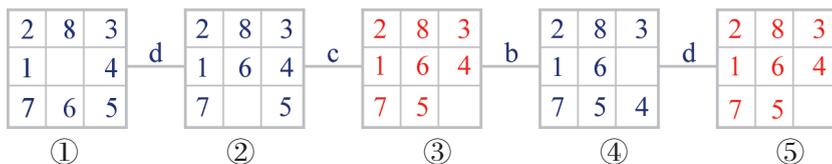


图4-3 一种不合规定的棋子移动过程



实践

(1) 棋盘的初始状态如图4-1所示, 按游戏规则从棋盘的初始状态开始移动棋子, 用图表示每移动一步棋子后所得到的新棋盘状态。每人只移动4步。按照移动棋子的顺序, 将得到的4个棋盘状态依次填入图4-4。

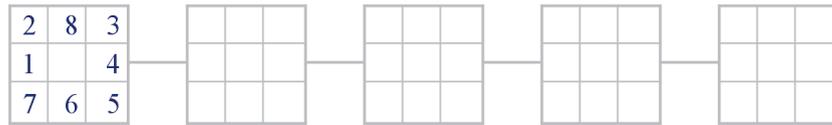


图4-4 棋子移动过程记录

(2) 3~5人一组, 比较每个人的移动结果是否相同, 如果不同, 把不同的移动过程列出来。

4.1.2 重排九宫问题的状态树表示

通过上面的实践, 我们可得到很多种不同的移动过程。对于这些移动过程, 我们可以用一棵倒立的树来表示, 在图4-5中, 画出了只移动4步的情况下, 所生成的重排九宫问题的五层状态树。

(1) 图中S0表示棋盘的初始状态, 我们称为树的根节点。

(2) 每移动一个棋子, 称为一次操作, 通过前面的实践, 我们知道, 对于任意棋盘状态来说, 最多只有四种操作a、b、c、d (如图4-2所示)。在树中用节点间的连线表示操作, 如S0与B1之间的连线表示操作a (空格左方的棋子右移)。

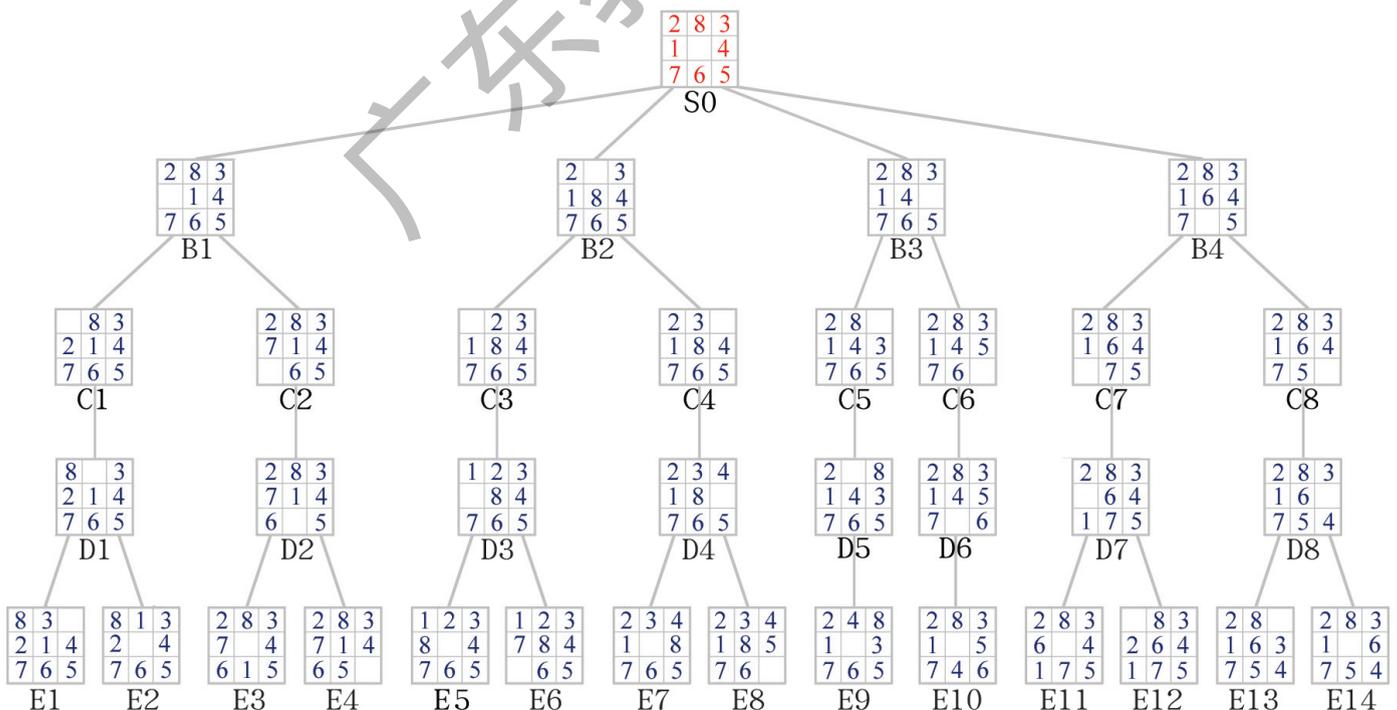


图4-5 重排九宫问题状态树

(3) 每进行一种操作, 就会生成一个新的棋盘状态。若把生成的新状态按先后次序连接起来, 如图4-5中: S_0-B_1 、 B_1-C_1 、 B_1-C_2 、 S_0-B_2 、 S_0-B_3 、 S_0-B_4 , 依次类推, 可以构成重排九宫问题的状态树。

4.1.3 树的一些术语

为了方便, 我们用图4-6的形式表示图4-5所示的树, 图中每一个节点代表一种棋盘状态, 如 S_0 , B_1 , C_1 ……我们以图4-6为例, 说明一些树的术语。

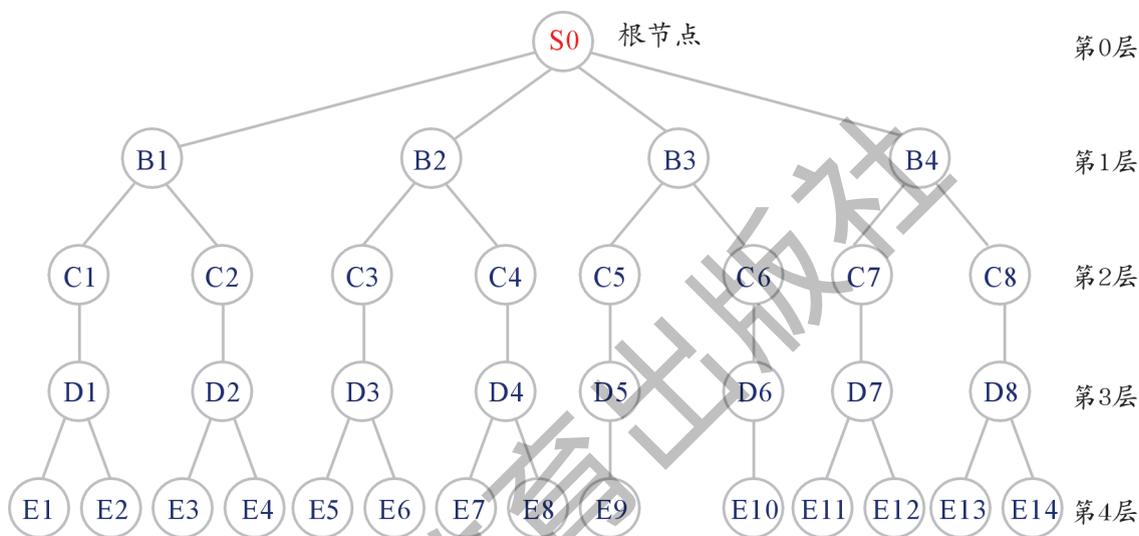


图4-6 树

(1) 层: 树的最高层为第0层, 向下依次为树的第1层、树的第2层, 依次类推为第3层、第4层……

(2) 根节点: 第0层的节点为树的根, 对于一棵树来说根是唯一的(图4-6中节点 S_0 是树的根)。

(3) 分支: 图中节点间连线为树的分支, 表示从一个节点生成另一个节点的操作。

(4) 分支节点: 中间状态为树的分支节点, 如 B_1 , C_2 等。

(5) 父节点、子节点: 能生成新节点的节点称为父节点, 被生成的节点称为子节点, 如 S_0 是 B_1 的父节点, B_1 是 S_0 的子节点, B_1 又是 C_1 、 C_2 的父节点, C_1 、 C_2 是 B_1 的子节点, 其他依次类推。根节点 S_0 没有父节点。

(6) 叶节点: 在树上, 没有分支的节点是树的叶节点, 如 E_1 , E_2 等。

与自然界的树不同的是, 用于表示重排九宫问题的棋盘状态树是倒立的, 根在最上面; 相同的是整棵树只有一个根, 有多个分支和多个叶节点。



练习

迷宫问题。图4-7是一个迷宫, S_0 是入口, S_g 是出口, 我们把入口作为初始节点, 出口作为目标节点, 通道作为分支, 画出从入口 S_0 出发, 寻找出口 S_g 的迷宫问题的状态树。

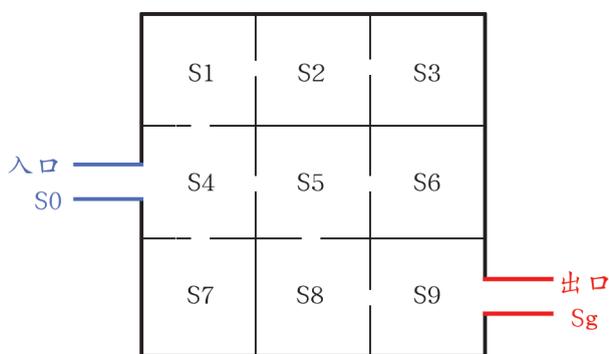


图4-7 迷宫

4.2 基本搜索方法

在重排九宫问题中，我们可以从棋盘初始状态通过移动棋子到达目标状态。



任务

假设重排九宫问题的棋盘初始状态是 S_0 ，如图4-1；棋盘目标状态如图4-8所示，我们用 S_g 表示。从 S_0 开始，通过选择a、b、c、d四种操作移动棋子，到达棋盘目标状态 S_g ，并把移动过程中的棋盘状态记录下来。

1	2	3
8		4
7	6	5

图4-8 棋盘目标状态



交流

大家讨论，从 S_0 到达 S_g ，可能有多少种不同的移动方法？

通过上面的活动，我们可以得到：

(1) 在图4-5中，从 S_0 开始，若依次选择b、a、d、c四种操作，可得到状态B2、C3、D3和目标状态 S_g ，即我们通过四步操作就可以得到目标状态。

(2) 通过四步操作未达到目标状态的同学，可以继续移动棋子，不断得到新的棋盘状态，可能要通过多次操作，才能达到目标状态，操作次数越多，得到的棋盘状态也越多。

(3) 为什么有的同学移动棋子四步就能达到目标状态，而有的同学需要更多步操作才能得到目标状态呢？关键是移动棋子的方法不同。

我们可以看到，解决重排九宫问题，实际上是在一棵棋盘状态树上从棋盘初始状态开始，查找棋盘目标状态，并得到从初始状态到目标状态的分支路径的过程，我们把这种查找过程称为搜索。基本搜索方法有广度优先搜索方法和深度优先搜索方法。基本搜索方法可以系统地、有规律地寻找目标状态。

4.2.1 广度优先搜索方法

广度优先搜索方法是：从根节点开始，在树中一层一层地查找，当找到目标节点时，搜索结束。



观摩

打开演示光盘，运行“\第四章\搜索过程\bfs.ppt”，观摩对图4-5所示的重排九宫问题状态树的广度优先搜索过程。

(1) 搜索从棋盘初始状态 S_0 开始，然后是第1层的节点 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 ，接着是第2层的节点 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 和 C_8 。

(2) 依次类推，直到找到棋盘目标状态 S_g ，搜索结束。

图4-9画出了重排九宫问题的广度优先搜索过程。

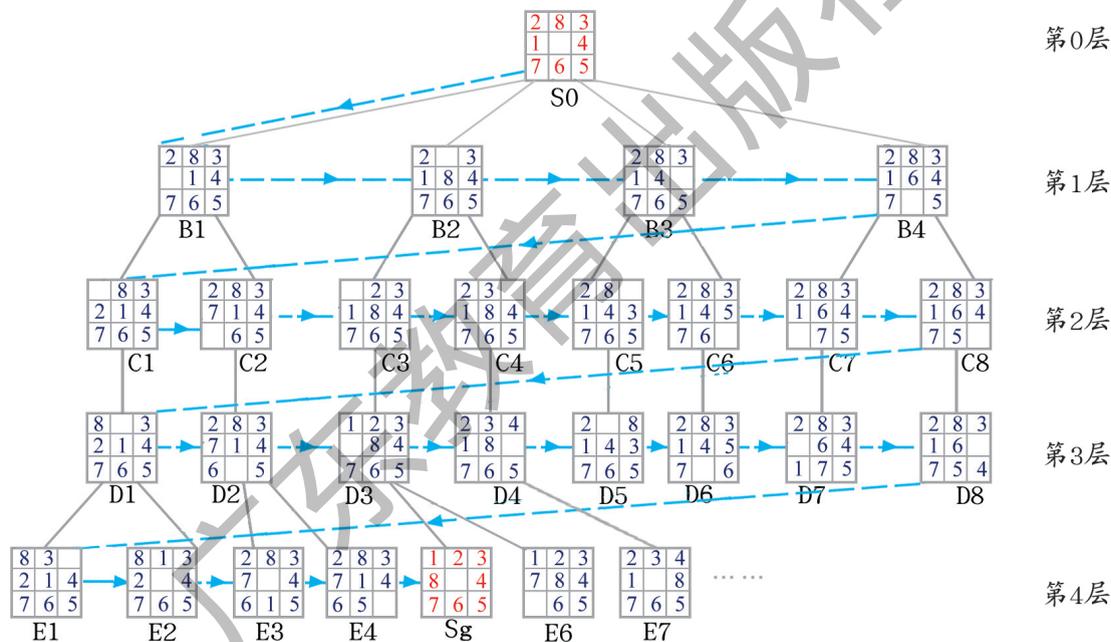


图4-9 重排九宫问题状态树的广度优先搜索示意图

搜索路径：

$S_0 \rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow B_4 \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_6 \rightarrow C_7 \rightarrow C_8 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow D_5 \rightarrow D_6 \rightarrow D_7 \rightarrow D_8 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow E_4 \rightarrow S_g$ (如图虚箭头所示)

广度优先搜索方法的主要特点是：

(1) 沿着树的分支节点逐层横向搜索，若找到目标节点，则结束搜索。

(2) 能够找到目标节点。广度优先搜索方法是沿着树的分支节点横向搜索，若找不到目标节点，搜索不会停止，只要目标节点在树上，用广度优先搜索方法进行搜索，就一定能找到目标节点。

(3) 当树的节点增多且层次很多时，需要搜索的节点将增多，因此，搜索所需的时间会增加。



实践

根据4.1节练习中画出的迷宫问题状态树，写出用广度优先搜索方法进行搜索的搜索路径。

4.2.2 深度优先搜索方法

深度优先搜索方法是从树的根节点开始，对其分支逐个深入搜索。为了方便，通常从左分支开始，如果目标状态不在左分支上，则向右继续逐个分支进行搜索，直到找到目标为止。



观摩

打开演示光盘，运行“\第四章\搜索过程\dfs.ppt”，观摩对图4-5所示重排九宫问题状态树的深度优先搜索过程。

(1) 搜索从棋盘初始状态 S_0 开始，然后是第1层的节点 B_1 ，第2层的节点 C_1 ，第3层的节点 D_1 ，第4层的节点 E_1 。

(2) E_1 不是棋盘目标状态 S_g ，则返回 D_1 ， D_1 还存在一个未被搜索的分支，则从该分支开始，搜索 E_2 。

(3) E_2 不是棋盘目标状态 S_g ，则返回 D_1 ， D_1 再没有未被搜索的分支，继续返回到 C_1 ，依次类推，直到 B_1 ， B_1 还存在一个未被搜索的分支，则从该分支开始，深入搜索 C_2 ， D_2 ， E_3 。

(4) E_3 不是棋盘目标状态 S_g ，则返回 D_2 ，继续深入搜索 D_2 的另一分支。

(5) 依次类推，直到找到棋盘目标状态 S_g ，搜索结束。

图4-10画出了重排九宫问题的深度优先搜索过程。蓝色虚线表示搜索路径，洋红色虚线表示返回去寻找具有未被探索的分支节点的路径。

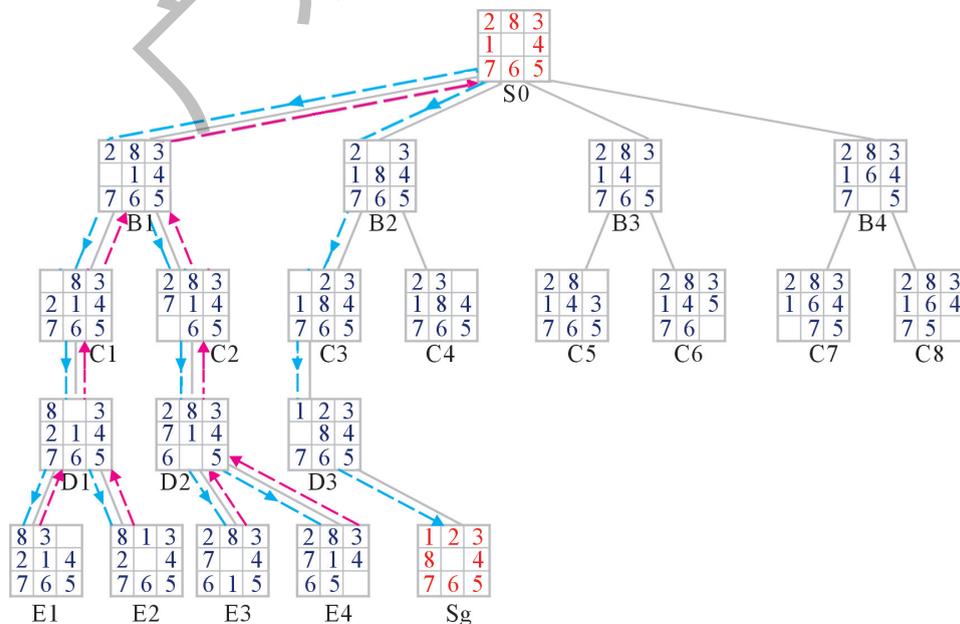


图4-10 重排九宫问题状态树的深度优先搜索示意图

搜索路径：

$S_0 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \rightarrow D_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow E_3 \rightarrow E_4 \rightarrow B_2 \rightarrow C_3 \rightarrow D_3 \rightarrow S_g$

深度优先搜索方法的主要特点是：

(1) 在深度优先搜索中，搜索一旦进入某个分支，就将沿着该分支一直向下搜索。

(2) 如果目标节点恰好在此分支上，则可较快地得到目标节点（如图4-11）。

(3) 如果目标节点不在该分支上，而该分支又是有穷的，当搜索到叶节点后，则返回到最近的分支节点，从该节点未被探索的分支开始，重新纵向深入搜索（如图4-10）。



实践

根据4.1节练习中画出的迷宫问题状态树，写出用深度优先搜索方法进行搜索的搜索路径。



练习

(1) 分别用广度优先搜索方法和深度优先搜索方法搜索图4-12所示的状态树A。图中 S_0 是根节点， S_g 是目标节点。将搜索路径填入表4-1中。

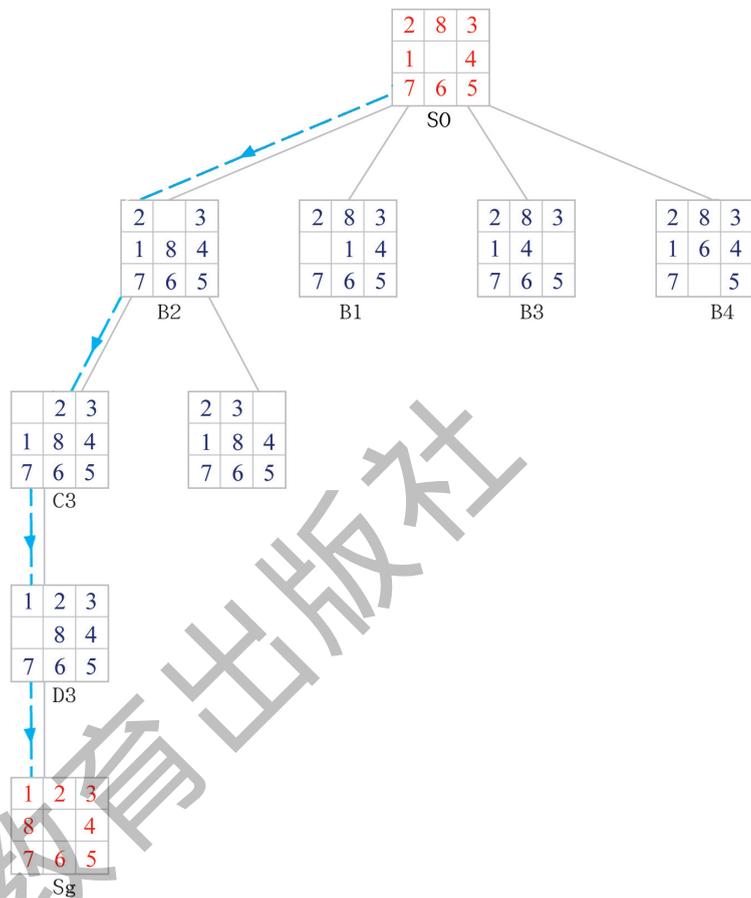


图4-11 重排九宫问题状态树的深度优先搜索特例

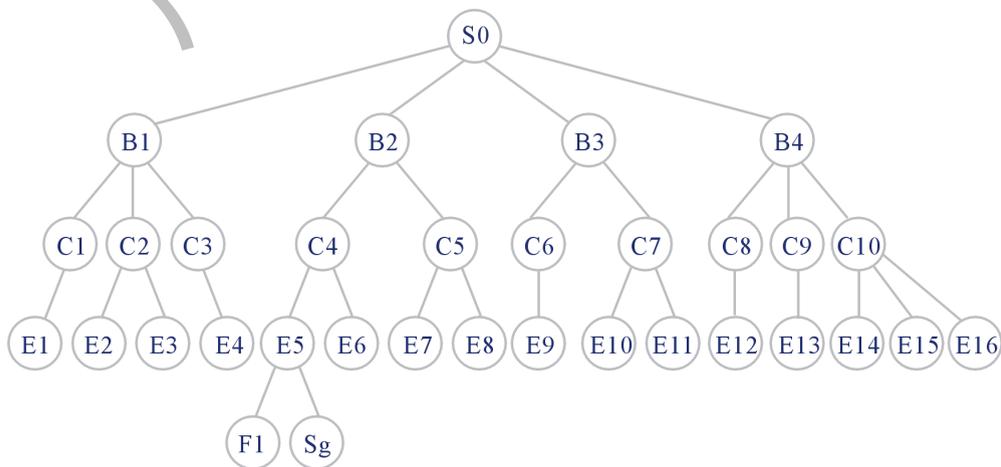


图4-12 状态树A

表4-1 搜索路径比较

广度优先搜索路径	深度优先搜索路径

根据上面的搜索结果，用_____方法搜索图4-12所示的状态树A，搜索速度更快。

(2) 分别用广度优先搜索方法和深度优先搜索方法搜索图4-13所示的状态树B，图中S0是根节点，Sg是目标节点，将搜索路线填入表4-2中。

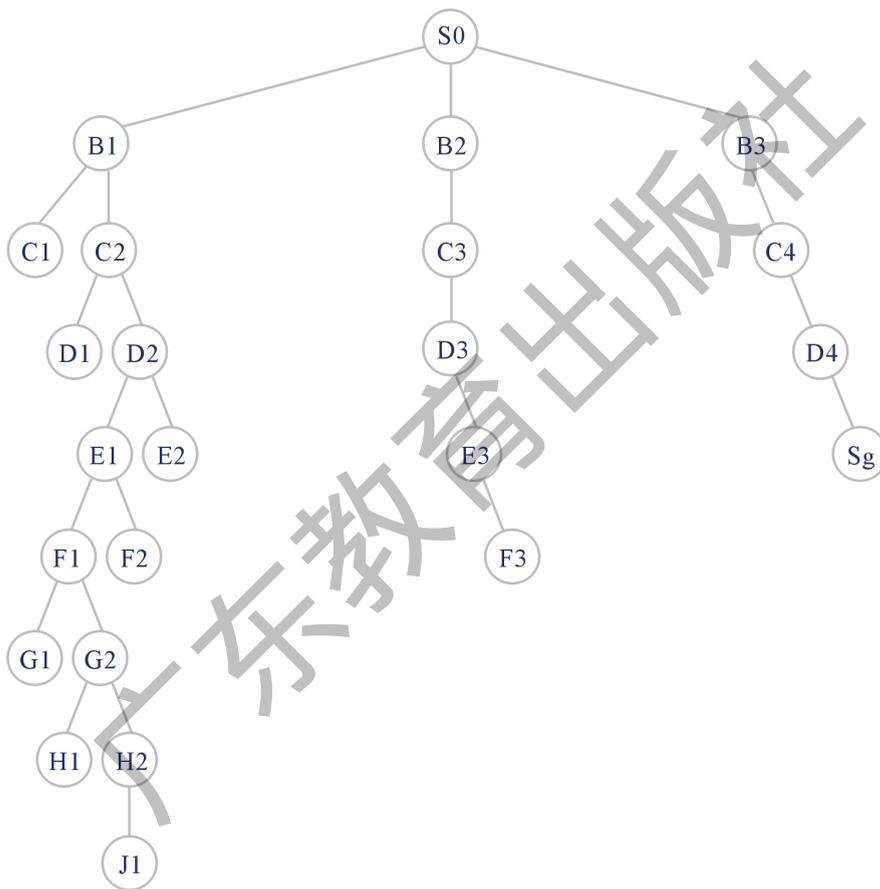


图4-13 状态树B

表4-2 搜索路径比较

广度优先搜索路径	深度优先搜索路径

根据上面的搜索结果，用_____方法搜索图4-13所示的状态树B，搜索速度更快。

4.3 启发式搜索

基本搜索方法，是按照预先规定的路线，需要逐个地搜索每一个节点，直到找到目标节点，这种搜索的速度取决于节点的数量和目标节点的位置，当节点很多时，搜索速度会很慢。下面，我们介绍一种利用启发信息进行搜索的方法——启发式搜索，这种方法是在搜索中加入启发性信息，用以指导搜索，以减小搜索范围，提高搜索速度。

4.3.1 启发函数的作用

在启发式搜索中，通常用启发函数来表示启发信息。

在重排九宫问题中，如果把当前棋盘状态与棋盘目标状态所对应的棋子逐一进行比较，可得到位置不同的棋子个数，把这个数值作为当前棋盘状态与棋盘目标状态的差距。我们把该差距作为重排九宫问题的启发函数，并用 $H(x)$ 表示，即：

$H(x)$ = 节点 x 的棋盘状态与目标棋盘状态的差距

例如，图4-14画出了当前棋盘状态C3和棋盘目标状态Sg。我们把这两个棋盘状态的对应棋子相比较，可看到有两个对应棋子的位置不同（棋子1和棋子8），因此，棋盘状态C3的启发函数值是2，即：

$$H(C3) = 2$$

	2	3
1	8	4
7	6	5

C3

1	2	3
8		4
7	6	5

Sg

图4-14 一个棋盘状态的启发函数值的求法

可以看出， $H(x)$ 值越小，节点 x 就越接近目标节点，如果 $H(x) = 0$ ，则节点 x 为目标节点。

因此，选择这个启发函数指导搜索时，为了缩小搜索范围，加快找到目标节点的速度，可选择启发函数值最小的分支节点进行搜索。



实践

若重排九宫问题的状态树如图4-5所示，棋盘的初始状态为S0，目标状态Sg如图4-8所示。在图中每一个棋盘状态的右上角，用数字标记该棋盘状态与目标状态的差距，如图4-15所示中的节点C3。

	2	3	2
1	8	4	
7	6	5	

C3

图4-15 标有启发函数值的棋盘状态

4.3.2 重排九宫问题的启发式搜索过程



观摩

打开演示光盘，运行“\第四章\搜索过程\pfs.ppt”，观摩图4-16所示的重排九宫问题树的一种启发式搜索过程：



图4-16 标有启发函数值的重排九宫问题状态树

(1) 搜索从棋盘初始状态S0开始，S0不是目标状态，考察它的子节点。

(2) S0的子节点B1、B2、B3、B4都不是目标状态，从这四个节点中，选择一个启发函数值最小的节点，继续考察它的子节点。这里，B1和B2的启发函数值都最小，因此B1和B2都可选，假如我们选择B1，继续考察B1的子节点。

(3) B1的子节点C1、C2还不是目标状态，选择启发函数值最小的C1，继续考察C1的子节点。

(4) C1的子节点只有D1，并且D1不是目标状态，继续考察D1的子节点。

如此继续，直到找到目标节点Sg，便结束搜索过程。

图4-17画出了上述启发式搜索过程，虚线表示搜索路径。

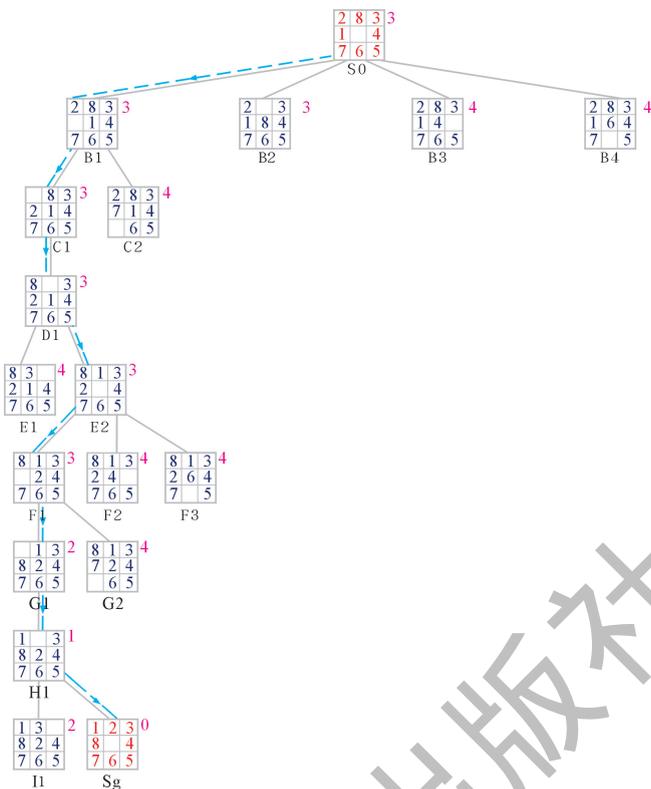


图4-17 重排九宫问题状态树的启发式搜索示意图

搜索路径:

$S_0 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \rightarrow D_1 \rightarrow E_2 \rightarrow F_1 \rightarrow G_1 \rightarrow H_1 \rightarrow S_g$

通过上面的实践, 我们知道, 使用启发函数值可以提高搜索速度。



实践

如果选择下列的启发函数, 以 S_0 为棋盘的初始状态(如图4-1), S_g (如图4-8)为棋盘的目標状态, 画出用该启发函数搜索重排九宫问题状态树的示意图。

$$\text{启发函数} = H(x) + D(x)$$

$H(x)$ 表示节点 x 的棋盘状态与棋盘目标状态的差距, $D(x)$ 表示节点 x 所在的层数, 例如: $D(S_0) = 1$, $D(B_1) = D(B_2) = D(B_3) = D(B_4) = 2$, 依此类推。

思考: 比较同一层上的所有节点的 $H(x)$ 值, 对所有 $H(x)$ 值最小的节点都进行扩展搜索。

4.3.3 启发函数的选择

用启发函数 $H(x)$ ($H(x)$ = 节点 x 的棋盘状态与目标棋盘状态的差距) 指导搜索, 得到的搜索路径不一定是最短的, 我们还可以选择其他更好的启发函数。

因此, 选择启发函数是启发式搜索一个关键而复杂的问题。



练习

在表4-3中写出基本搜索、启发式搜索的特点。

表4-3 搜索方法比较

基本搜索	启发式搜索

4.4 求解博弈问题

有一段田忌赛马的故事：齐国的大将田忌和齐威王进行一场赛马比赛。他们商量好，把各自的马分成上、中、下三等。比赛时，田忌采用的策略是：上马对上马、中马对中马、下马对下马。由于齐威王每个等级的马都比田忌的马强得多，所以几次下来，田忌都失败了。

后来，田忌采用了朋友孙臧的策略，先以下等马对齐威王的上等马，第一局输了；接着以上等马对齐威王的中等马，获胜一局，最后以中等马对齐威王的下等马，又获胜一局。

比赛的结果田忌以2：1赢了齐威王。

4.4.1 博弈问题

“田忌赛马”就是典型的博弈问题。博弈（Game Playing）是对策性游戏，例如，跳棋、象棋、围棋、桥牌都是博弈。人工智能发展的早期就开始了对于博弈问题的研究。人工智能研究博弈的主要目的不仅是为了让计算机与人进行下棋、打牌，更进一步的是通过对博弈问题的研究来促进人工智能技术在规划、决策等方面的应用；同时，通过对博弈过程的模拟，以促进人工智能技术的研究和发展。

4.4.2 井字棋问题

井字棋的游戏规则为：

- (1) 井字棋的棋盘上有三行三列，两个棋手轮流摆棋子。

(2) 如果我们用“●”代表棋手甲的棋子，用“×”代表棋手乙的棋子，每人每次摆一个棋子，先形成三子一线者获胜，如图4-18所示。

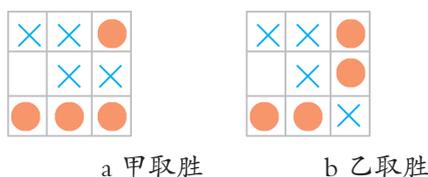


图4-18 获胜棋盘状态示意图

假设甲、乙双方采用博弈策略的启发函数为：

若摆的棋子能增加自己取胜的机会，得1分；

若摆的棋子能减少对方取胜的机会，得1分；

若摆的棋子能增加自己取胜的机会且能减少对方取胜的机会，得2分。

例如：

如图4-19所示，如果甲方在第三行第二列摆子，造成取胜机会，启发函数值为1。

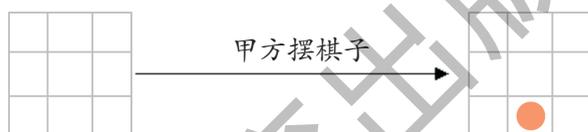


图4-19 甲方摆棋子

如图4-20所示，如果乙方在第三行第三列摆子，造成取胜机会，且能减小对方取胜的机会，启发函数值为2。

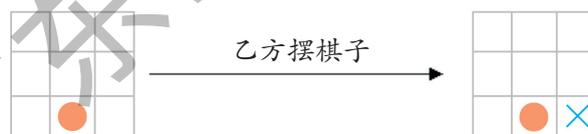


图4-20 乙方摆棋子

如图4-21所示，如果乙方在第一行第二列摆子，减小对方取胜的机会，启发函数值为1。

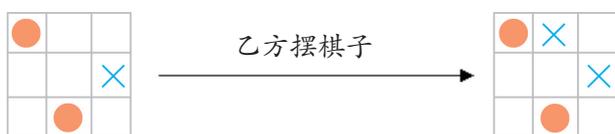


图4-21 乙方摆棋子

假如，乙先走，图4-22画出了甲、乙双方对弈示意图的一部分，树的奇数层为乙方摆棋子后的可能状态，树的偶数层为甲方摆棋子后的可能状态。

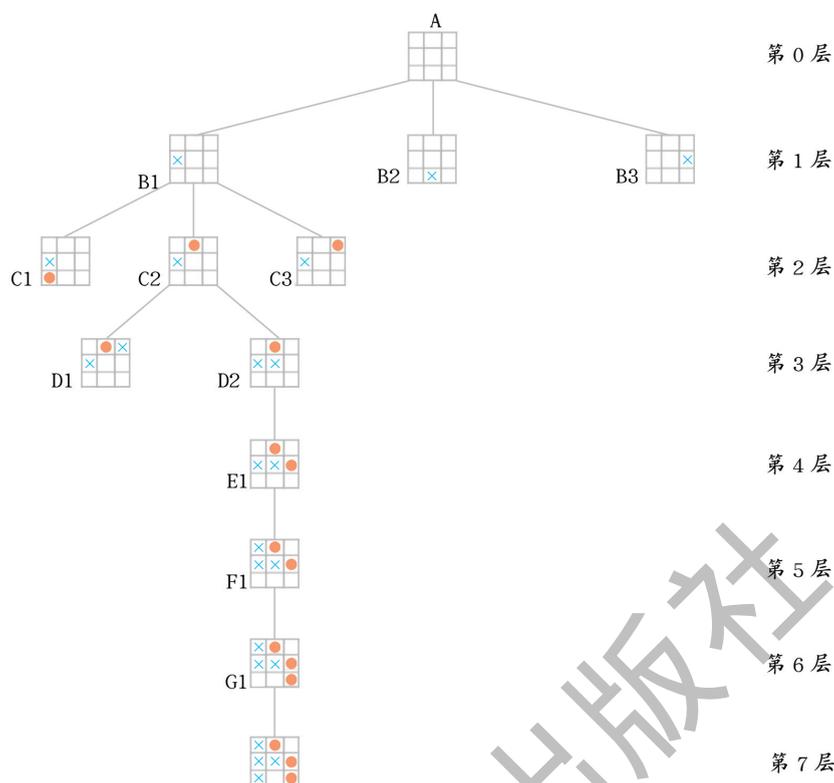


图4-22 井字棋问题树



实践

(1) 按照上述规则和给出的启发函数，在图4-22所示的各个棋盘状态的左上角标记得分。

(2) 在一方取胜后，计算甲、乙双方所得的总分。

在井字棋博弈问题中，如果把图4-22看成是一棵对应于井字棋各个状态而构成的状态树，那么，求解博弈问题的方法是：把根节点作为棋盘的初始状态，把取胜的棋盘状态作为棋盘的目标状态，用启发函数指导搜索，找寻从棋盘的初始状态到棋盘的目标状态的路径。

上述对弈井字棋时，我们把得分值作为启发函数值，摆棋子时，启发函数值应尽可能取得最大，以求多得分，从而增加取胜机会。

二人对弈问题实际情况变化复杂，需运用比较多的知识与经验，因此，启发函数也比较复杂。这里，我们只是讨论了一种简单的情况，来说明用启发函数指导对弈策略的意义。



实践

(1) 同学们以两人一组，选择图4-22中的B2、B3分支进行对弈，比比谁先取胜。

(2) 试着寻找对弈井字棋的其他启发函数。

*4.5 浅谈机器证明

机器证明是指用计算机程序去自动完成事实的证明，如定理的证明、结论的推理等。要实现机器证明，必须用比较严格的知识表示方法。本节将介绍用归结原理进行定理证明的思路，我们首先了解这种证明方法的知识表示，然后说明归结原理的思想以及如何用它证明问题。

4.5.1 知识的表示

在归结原理中，可以使用以下两种形式表示知识：

(1) 用谓词表示知识，这种方法类似于Prolog语言中知识的表示形式。

其中“~”表示“非”的意思，“like”和“lucky”是谓词。

例1: 事实: Mary喜欢打球

表示为子句 like (mary,ball)

例2: 事实: Mary不喜欢打球

表示为子句 ~ like (mary,ball)

例3: 事实: John很幸运

表示为子句 luck (john)

(2) 通过用符号“ \vee ”将谓词连接起来的子句表示知识，其中“ \vee ”表示“或”的意思。

例4: 事实: Mary去打球或去看电影

表示为子句 play (mary,ball) \vee see (mary,film)

例5: 事实: Rose不是人，或Rose是会死的人

表示为子句 ~ man (rose) \vee die (rose)

4.5.2 归结原理及其应用简述

归结原理的思想是：

若子句 $A \vee B \vee C$ 及 $\sim A \vee D$ 成立，则子句 $B \vee C \vee D$ 成立。

即 A 和 $\sim A$ 可以互相抵消，而得 $B \vee C \vee D$ ，其中 A 、 B 、 C 、 D 是谓词或命题。

利用归结原理进行定理证明的步骤如下：

- (1) 写出事实的子句集；
- (2) 写出要证明问题的子句；
- (3) 将要证明的问题子句“否定”化，然后将其加入到事实的子句集中；

(4) 反复用归结原理，对子句集中的子句进行归结（进行消解），并将产生的子句加入到子句集中。

若归结得到一个“空子句”，则推理成功，从而定理得证。

例6: 若下面事实成立：

(1) 狗不是动物或狗不是麒麟；

(2) 狗是动物。

证明“狗不是麒麟”这一命题为真。

证明：

第一步，写出事实的子句集：

(1) $\sim \text{animal}(\text{dog}) \vee \sim \text{kylin}(\text{dog})$

(2) $\text{animal}(\text{dog})$

第二步，写出待证结论的子句形式：

$\sim \text{kylin}(\text{dog})$

第三步，将结论的子句“否定”化后，加入到由事实子句构成的子句集中。

(3) $\text{kylin}(\text{dog})$

第四步，反复用归结原理，对子句集中的子句进行归结，并将产生的子句加入子句集中。

子句(1)和子句(2)进行归结，得：

(4) $\sim \text{kylin}(\text{dog})$

子句(3)和子句(4)进行归结，得：

(5) NIL (NIL表示空子句)

归结得到一个空子句，结论 $\sim \text{kylin}(\text{dog})$ 成立。

例7: 若下面事实成立：

(1) Rose不是人，或Rose是会死的人；

(2) Rose是人。

证明“Rose是会死的人”这一命题为真。

证明：事实子句集：

(1) $\sim \text{man}(\text{rose}) \vee \text{die}(\text{rose})$

(2) $\text{man}(\text{rose})$

将待证结论否定，得：

(3) $\sim \text{die}(\text{rose})$

子句(1)和子句(2)进行归结，得：

(4) $\text{die}(\text{rose})$

子句(3)和子句(4)进行归结，得：

(5) NIL

归结得到一个空子句，结论 $\text{die}(\text{rose})$ 成立。



练习

设下列事实成立：

(1) by (table, windows)

(2) on (box, table)

(3) \sim by (table, windows) \vee \sim on (box, table)

\vee by (box, windows)

用归结原理证明：by (box, windows) 成立。



拓展

现代人工智能发展的重要领域——机器证明

机器证明是用电子计算机来完成数学命题的证明，它是现代数学中一种新兴的边缘性学科，是现代人工智能发展的一个重要方向。德国数学家希尔伯特（Hilbert）在1899年出版的《几何基础》中指出，初等几何中只涉及从属平行的定理可以实现证明的机械化，并提出了“希尔伯特机械化定理”。他所遵循的道路是：从公理系统出发，建立坐标系，引进代数系统，把几何定理的证明转化为代数式的运算。

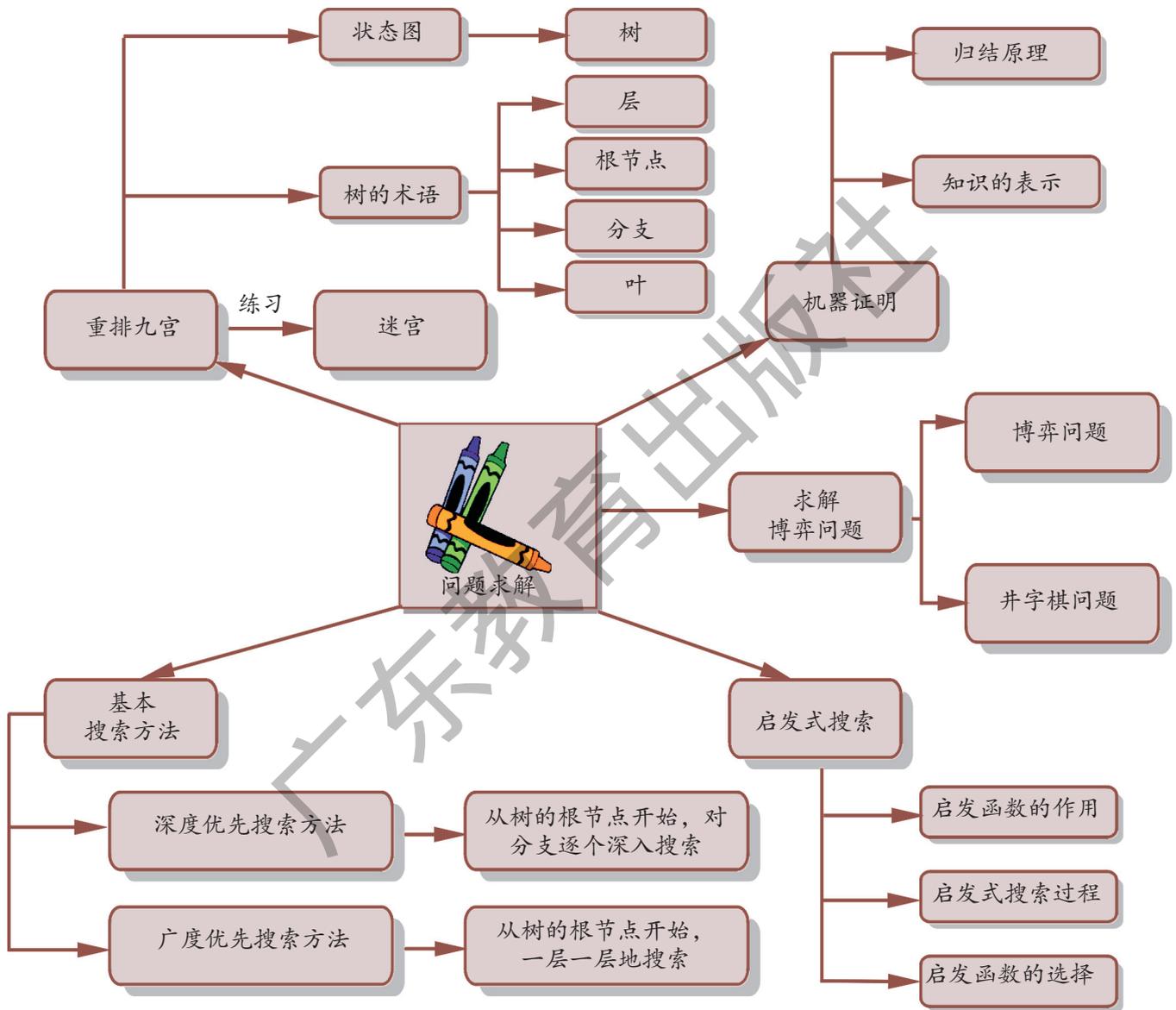
1950年，波兰数理科学家塔斯基（Tarski）进一步从理论上证明，初等代数和初等几何的定理可以机械化。1956年，美国卡内基梅隆大学兰德公司（RAND Corporation）协作组在电子计算机上成功地证明了罗素（Russell）和怀特赫德（Whitehead）所著的《数学原理》第二章52条定理中的38条。这是机器证明的开始。

1959年，美籍华人王浩教授只用9分钟的机器时间，就在计算机上证明了罗素和怀特赫德《数学原理》一书中的一阶逻辑部分的全部定理三百五十多条，引起数学界的轰动。改进算法程序是提高机器证明效率的重要方法，1965年美国数学家鲁滨逊提出了著名的归结原理，该原理的基本出发点是，要证明任何一个命题为真，都可以通过证明其否定为假来得到。

1976年，美国数学家阿佩尔（Appel）和哈肯（Haken）借助于计算机，成功地证明了“四色猜想”，这是机器证明首次解决传统人脑支配的手工证明所没有解决的重要难题。

1977年，中国数学家吴文俊证明了初等几何一类主要定理的证明可以机械化；1980年，他还用一部微机在20和60个机器小时左右分别发现了两个几何学的新定理，引起学术界的关注。从手工证明到机器证明，是数学思想方法的重大飞跃。

本章扼要回顾



本章学习评价

完成下列各题，并通过“本章扼要回顾”以及本章的各种交流、实践与练习等，综合评价自己在知识与技能、解决实际问题的能力以及相关情感态度与价值观的形成等方面，是否达到了本章的学习目标。

1. 我对基本搜索方法的理解是：_____

2. 广度优先搜索方法的特点：_____

3. 深度优先搜索方法的特点：_____

4. 我对启发式搜索的理解是：_____

5. 我认为启发式搜索方法的难点是：_____

6. 我感觉启发式搜索方法的优点体现在：_____

7. 我能否为重排九宫问题找到更好的启发函数？_____

8. 启发函数的作用：_____

9. 我对本章中最感兴趣的内容是：_____

10. 本章对我启发最大的是：_____

11. 我还不理解的内容有：_____

12. 我还学会了：_____

13. 我还想学习：_____

第五章

人工智能的回顾与展望

人工智能是人类千百年来的一个梦想，从它诞生之日起，一直在不平坦的道路中发展，在高潮与低潮的交替中波浪式前进。

在前几章中，我们学习了人工智能的基本概念、重要应用领域和智能技术的初步知识；在本章中，我们将介绍人工智能发展的主要历程和对未来的人工智能展望，以增强我们对人工智能发展前景的向往和对未来美好生活的追求。

- 人工智能的发展历程
- 人工智能的展望

5.1 人工智能的发展历程

自古以来，人类就有一个非常强烈而美好的愿望，就是要不断地从自然力的束缚下解放自己，这可以说是一个永恒的梦想。

在中国的古代，有着各种各样的传说，从《封神榜》中雷震子的飞天双翼，到《三国演义》中诸葛亮的木牛流马，都充分反映了人类迫切希望将外力转化为可利用资源的美好愿望；西方世界也有着相似的情形。

古人尚且如此，现代人当然也有着更多的想像和向往。其中最典型的就是希望有各种各样的智能机器人，它们不但能够帮助人类进行生产劳作，还可以帮助人类料理日常家务等等。这些想像都反映了人们希望有一种智能的工具，帮助人类从繁重的劳动中解放出来。这样一来，人工智能的形成和不断发展就成为了一种必然。

5.1.1 人工智能的形成与发展

人工智能始于20世纪50年代。在半个多世纪的发展历程中，由于受到智能算法、计算速度、存储水平等多方面因素的影响，人工智能的发展历程经历了多次繁荣和低谷，至今大致分为三个发展阶段，如图1-7所示。

1. 第一阶段（20世纪50年代至80年代）

这一阶段人工智能刚诞生，基于抽象数学推理的可编程数字计算机已经出现。符号主义者认为人类的认知过程就是各种符号进行运算的过程，而计算机也应该基于各种符号进行运算。在这一阶段，知识表示、知识推理、知识运用是人工智能的核心。尽管符号主义得到快速发展，但是由于很多事物不能进行形式化表达，建立的模型存在一定的局限性。此外，随着计算任务的复杂性不断加大，人工智能发展一度遇到瓶颈。

2. 第二阶段（20世纪80年代至90年代末）

在这一阶段，专家系统得到快速发展，在数学建模方面有重大突破。专家系统是一个具有大量专门知识与经验的程序系统。它应用人工智能技术和计算机技术，根据某领域的一个或多个专家提供的知识和经验，进行推理和判断，模拟人类专家的决策过程，以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。但由于专家系统在知识获取、推理能力等方面的不足，以及开发成本高等因素，人工智能的发展又一次进入低谷期。

3. 第三阶段（21世纪初至今）

随着大数据的积聚、理论算法的革新、计算能力的提升，人工智能能够训练出更加智能化的算法模型。人工智能的发展模式也从过去追求“用计算机模拟人工智能”，逐步转

向机器与人结合而成的增强型混合智能系统，研究如何用机器、人、网络结合成新的群智系统，以及用机器、人、网络和物结合成更加复杂的智能系统。人工智能在很多应用领域取得了突破性进展，迎来了又一个繁荣时期。

5.1.2 人工智能取得的成果

人工智能学科从形成、发展到现在，取得了一系列的丰硕成果，如图5-1所示。这棵“成果树”的各个分支呈现了人工智能在语言工具、应用、基本技术和基础研究等方面的成果。例如：

- (1) 在人工智能的语言工具方面，如LISP、Prolog。
- (2) 在应用方面，如知识工程、专家系统等。
- (3) 在基本技术方面，如知识表达、知识存储及知识推理等。
- (4) 在智能技术方面，如智能控制、智能管理等。
- (5) 在基础研究方面，如智能科学、智能机器等。

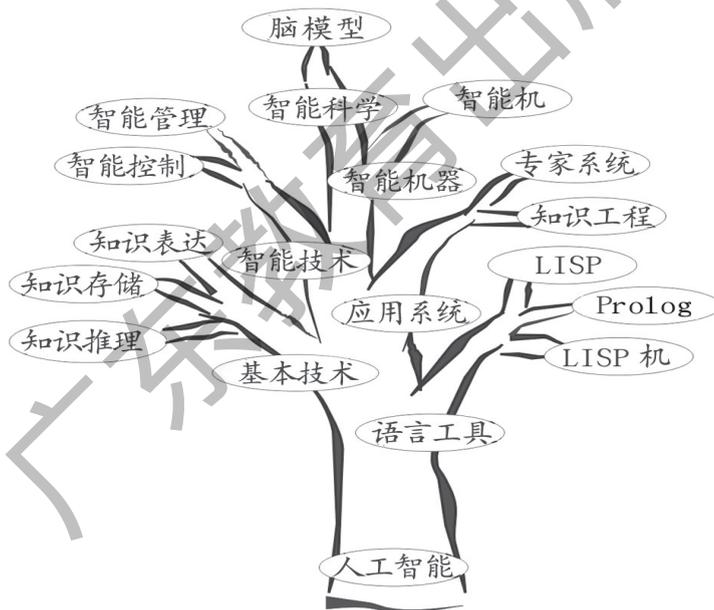


图5-1 人工智能的成果树

5.1.3 国内人工智能发展现状

我国的人工智能研究起步较晚，1978年才开始人工智能课题的全面研究，主要集中在定理证明、自然语言理解、机器翻译、专家系统、智能机器人等方面，并取得了一批成果。例如：

中国科学院院士李衍达提出了“知识表达的情感适应模型”，独创了“信息建模”的新方法。

中国科学院院士王守觉的“高维几何与神经网络”独辟蹊径，创造了用高维几何学来描述和设计人工神经网络的新方法。

1. 人工智能的理论方法研究方面

我国学者吴文俊院士提出的机器定理证明的吴氏方法，已经得到国内外的赞誉；我国学者倡导的广义智能信息系统论已成为国际上的共识；同时，我国学者提出了“高维几何与神经计算”、“仿生模式识别”、“人工情感”、“中文信息的智能信息处理”等等。这些具有创新特色的理论和方法，为人工智能的发展提供了新的理论体系。

2. 人工智能的应用技术研究的方面

中国科学院智能研究所运用人工智能技术，将农作物施肥专家的丰富经验，归纳并输入到知识库中，用汉化的通用语言替代人工智能的专用语言，创造了将推理型知识与运算型知识融合的知识表示方法，研制出施肥专家咨询系统。

我国在辨识应用软件方面也取得了不错的成就，尤其在中、日、韩、英等国的文字识别应用软件市场上，享有较高的声誉，包括手写辨识、语音辨识和光学辨识等方面。其中，手写笔、手写板、听写王、名片王等中文产品系列，及其他各种语种之衍生版本，已经在全球华人市场占据相当高的份额。



实践

(1) 查阅相关书籍或Internet上的有关知识，填入表5-1中，使之能够完整地描述“人工智能的形成和发展”历程。

表5-1 人工智能的形成和发展历程

时 期	有代表性的研究领域	取得的成果
20世纪50年代后半期起	智力游戏博弈	人工智能概念LISP语言
20世纪60年代前半期起		
20世纪60年代后半期起		
20世纪70年代前半期起		
20世纪70年代后半期起		
20世纪80年代至今		

(2) 进入21世纪以来，人工智能不断取得新的发展，包括专家系统、机器人、知识发现、人工神经网络等方面。

请自行查找相关资料，填写表5-2，以便了解一下国内外人工智能发展的最新动态。

表5-2 国内外人工智能发展的最新动态

方 面	人工智能发展的最新动态
专家系统	
机器人	
知识发现	
人工神经网络	
其他方面	



拓展

研究人工智能的三种途径

在本教材的第二、三、四章中，我们学习了人工智能的一些技术和方法，但仅靠这些技术和方法，还远远不能制造出有智能的机器。下面我们用一个简单的例子来说明，要使机器有智能，还有许多问题需要解决。

如果我们想泡茶喝，那就要规划一个操作步骤：

烧开水→洗茶杯→放茶叶→冲茶

或：洗茶杯→烧开水→放茶叶→冲茶

两种操作步骤中，你会选哪一种呢？当然是前者。因为人的智能会为实现一个目标制定规划，并选择最优的实现步骤。但是如果这个工作让只会做简单动作的机器人来做的话，它可能会选择后者，甚至会不断地洗茶杯→放茶叶→洗茶杯→放茶叶……如果这样，我们就有可能永远喝不到茶。这是因为机器人的智能还不能根据目标做出规划，并选择最优的实现步骤去完成预定的工作。

可见，人工智能的研究还是任重而道远。科学家研究人工智能的途径有哪些呢？本教材第一章曾经介绍过，人工智能是数学、计算机科学、哲学、认知科学、脑科学、生理学、心理学、哲学等相互结合的学科，我们可以从不同的角度去研究人工智能的问题，从技术上来说，主要有以下三种途径。

第一种途径是以数理逻辑、计算机科学、心理学为基础，用某种符号表示人的知识（如第二章），然后，再用智能的技术和方法，对表示知识的符号进行处理（如第三、四章），得到智能的结果。这种方法在博弈、语言翻译、图像识别、专家系统等方面取得显著的应用成果。

第二种途径是从仿生学、人脑神经生理学的角度去研究人工智能，从人脑神经模型开始，研究人工神经网络，用人工神经网络联结的过程模拟人的智能活动。这种方法在文字及声音识别等方面取得了显著应用成果，在神经网络计算机研制方面也取得了很大的进展。

第三种途径是基于感知—行为模型的研究方法，模拟人在控制过程中的智能活动和行为特性，在智能机器人的研究方面取得了突出的应用成果。

上面所提及的三种途径，相互取长补短，共同促进人工智能的发展。

5.2 人工智能的展望

前面各章节所介绍的研究与应用领域，如模式识别、机器证明、专家系统、自然语言理解、人工神经网络、智能代理等等，都在不断地完善与发展中。同时，人工智能学科仍然面临着许多新的课题，如机器智能化、智能机器人、知识发现与数据挖掘、社会智能化等。

许多科学家预测，21世纪生命科学和信息学科突飞猛进的发展，给人工智能开创了新局面，带来了新希望，将会出现人工智能研究和应用的新高潮。

5.2.1 机器智能化

机器智能化的目标就是使机器具有更高的智能。机器智能化的内容很广泛，例如：

- (1) 使机器具有良好的感知能力，能够自动获取信息，用自然语言与人类交流。
- (2) 使机器具有思维能力，能够理解获取的信息，学习知识，存储知识，并运用知识进行思维、推理和创作，包括音乐、美术、文学创作和科学发现。
- (3) 使机器具有多种形式的表达能力和行为能力。能够像人类那样表现自己的智慧，表达自己的见解，能够根据目标去设计实现的步骤和行动，并能够根据客观的变化改变自己的行动。

一些科学家预计到2010年，运算速度比半导体快得多的光子计算机器件、生物计算机器件等将被广泛应用。每秒运算千万亿次的计算机、能模拟人脑功能的神经网络计算机的问世和机器智能化的研究将取得重大进展。

5.2.2 智能机器人

智能机器人是人工智能技术应用的一个重要领域，具有机器视觉、听觉或触觉，能运用知识自动制订行动规划的机器人将进入实用化阶段，机器人产业将走向成熟。21世纪的机器人产业可能会像20世纪的汽车产业那样，成为一个大的工业部门。



图5-2 春晚机器人节目

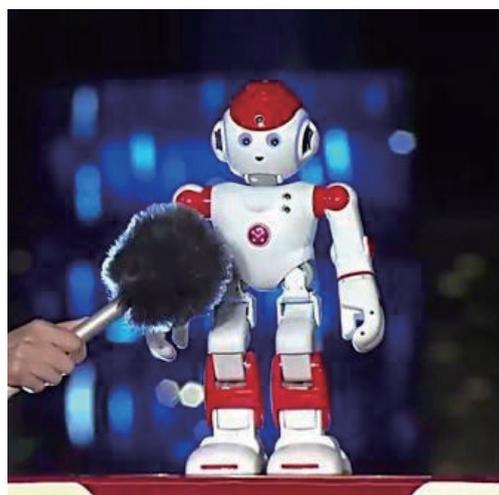


图5-3 机器人互动

5.2.3 知识发现与数据挖掘

近几十年来，千千万万个数据库被运用于商业管理、政府办公、金融机构，特别是互联网上的数据，包含着大量的信息。在称之为信息爆炸的时代，如何才能及时地从大量的数据中发现有用的知识，提高信息的利用率，使信息成为人们有用的资源呢？融合数据库与人工智能技术的数据挖掘技术近年来得到了迅速的发展，并广泛用于各行各业，特别是商业、情报和一些政府部门取得显著的应用效果。图5-4为数据挖掘系统示意图，其中数据挖掘器由具有智能的软件或硬件组成，它可以按要求提取有用的信息。

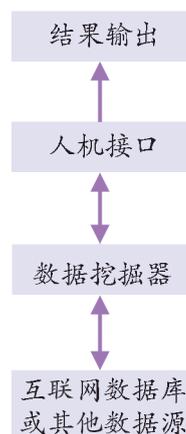


图5-4 数据挖掘系统

5.2.4 社会智能化

随着信息技术和人工智能技术的发展，它将影响到整个社会生活的方方面面，如智能化工厂、智能化学校、智能化政务、智能化住宅、智能化图书馆、智能化银行、智能化医院、智能化商场等，如图5-5所示，使社会进一步向智能化方向发展。

1. 智能化工厂

人工智能技术将促进工业生产的智能化乃至工厂智能化。工厂智能化的内容很广，例如：

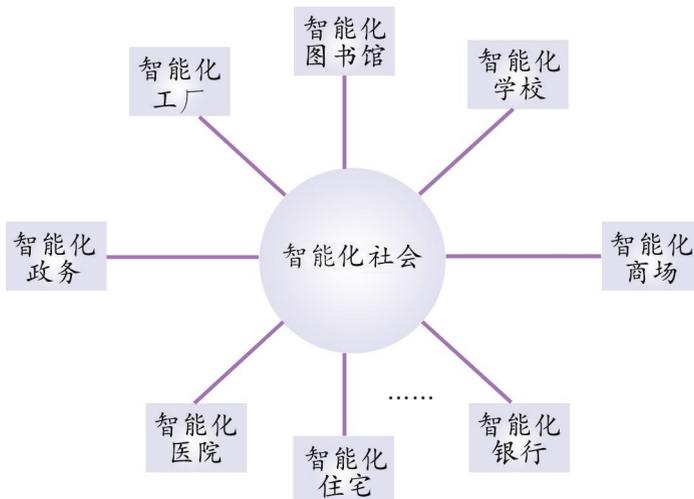


图5-5 智能化社会

(1) 利用智能计算机辅助设计, 实现产品设计的智能化。

(2) 利用智能化仪表、智能机器人操作机器, 图5-6是一个6自由度机械手臂。

(3) 利用智能控制设备, 控制生产流程。

(4) 利用智能管理技术, 辅助工厂的管理。

2. 智能化学校

人工智能的技术也将促进学校向智能化方向发展, 例如:

(1) 教学设施的智能化, 包括教室、实验设备的智能化。

(2) 运用智能辅助教学系统, 辅助各门功课的教学, 解答学生疑难问题。

(3) 智能辅助管理系统, 辅助学校行政和生活管理。

3. 智能化政务

人工智能技术的应用, 也将促进政府办公的智能化, 例如:

(1) 智能专家咨询系统, 为办公人员或广大群众提供国家法律、政策和有关规定的咨询。

(2) 智能办公系统极大地提高办事人员的工作效率, 方便广大群众。

(3) 智能辅助决策系统, 用于提高领导水平和效率。

4. 智能化住宅

智能控制和管理技术, 也将用于提高家庭和住宅的智能化水平, 例如:

(1) 家用电器的智能化, 例如: 空调机、洗衣机、炊具设备的智能化。

(2) 住宅防火、防盗等安全系统的智能化, 图5-7是用于防盗的指纹门。

(3) 家庭保健的智能化, 例如: 疾病检测及保健设备的智能化。

人工智能是正在迅速发展的一门新的技术学科, 经过近40年的发展, 已取得了丰硕的成果, 并在社会的各个领域取得了广泛的应用。

人工智能又是一门综合性的学科, 以信息学科和生物学科等为基础, 人工智能的研究需要利用其他学科和技术的成果, 同时人工智能的进步也促进其他科学、技术的发展和前进。



图5-6 6自由度机械手臂



图5-7 防盗的指纹门



实践

列举5种应用了人工智能技术的产品。



练习

(1) 阅读《假如机器能思考, 世界会怎样》。

(2) 设想一个完全由机器人管理的旅馆、商场或学校, 机器人经理或校长应具有哪些功能?

(3) 写一篇有关机器人管理旅馆、商场或学校等的短文。

假如机器能思考，世界会怎样

自有文字记载以来，人类一直梦想制造会思维、有智能的机器，这些机器能听、能说、能看，会学习、会思考、会决策、会创造、会像人类那样解决问题。人类文明史告诉我们，许多新技术的发明，大都经历“神话—科学幻想—新技术出现”的过程。人工智能的研究，虽然还没有制造出“会思考的机器”，但人类正不断取得新的成果，朝着辉煌的目标一步步迈进。

卡雷尔·查培克幻想

卡雷尔·查培克 (Karel Čapek)，于1920年编写了一部幻想剧《罗莎姆万能机器人公司》(Rossum's Universal Robots)，剧中描写这家公司发明并制造了一批机器，它们样子像人，能听人的话且能做工。开始，人们教机器人工作，使它们逐渐提高工作能力，并取代了许多工人的工作。有一天，公司的生理研究室主任突然想把机器人变成和真的人一样，私自改变了机器的几个关键部件，使机器人变得有感情，而且学会了思考。结果改变后的机器人想得到与人类平等的待遇，发动了反抗主人的暴乱，建立起一个机器人的世界。

转眼八十多年过去了，有感情会思考的机器人虽然还没有造出来，但人类却离伟大的目标越来越近了。

什么是会思考的机器？

人们一直希望制造出会思考的计算机，然而，到底什么才是真正会思考的计算机呢？

一台运算速度为每秒一万亿次的计算机能思考吗？战胜国际象棋冠军的“深蓝”会思考吗？具有专家知识的专家系统会思考吗？50年前，计算机科学理论创始人阿兰·图灵 (图5-8) 对会思考的计算机设计一种测试方法，我们称它为图灵测试。

图灵测试的设计思想如图5-9所示，它由被测试的机器、被测试的有智能的人以及测试的人三者组成，他们被彼此隔离。测试者提出有关智能测试的测试题，让被测者与机器分别进行回答。如果测试者不能分辨出被测机器和被测试的人，则认为机器是智能系统。按照图灵测试的标准，至今尚没有一台机器达到会思考、有智能的要求。



图5-8 阿兰·图灵

阿兰·图灵 (Alan Turing, 1912—1954年) 英国数学家、逻辑学家。计算机理论和人工智能的奠基人之一。1936年首次设计一种理想的计算机 (后称图灵机)，并于次年发表论文《论可计算数及其在判定问题上的应用》。1945年起进行自动计算机 (ACE, Automatic Computing Equipment) 的设计，后在曼彻斯特大学造出了样机 (MADAM)。著有《计算机与智能》、《建立在序数上的逻辑系统》等。

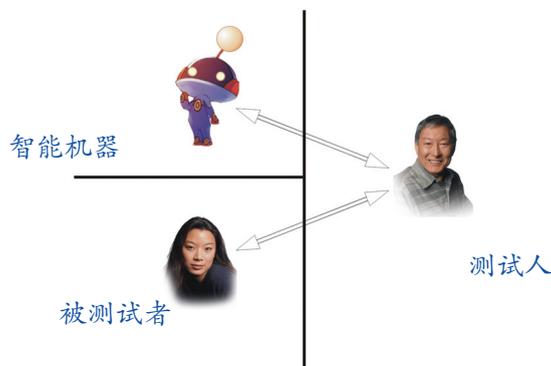


图5-9 图灵测试示意图

至今，科学家还在不断探索制造会思考的智能机器的途径。计算机技术日新月异的进步，为人类实现自己的梦想提供了有力的科学技术基础。

机器能思考吗？

人脑为什么会思考？人脑的结构怎样？能不能制造出具有人脑功能的机器？科学家一直在探索这些问题。60年前，美国科学家沃伦·麦卡洛克（Warren MacCulloch）和沃尔特·皮茨（Walter Pitts）令同行大吃一惊，他们认为：可以用数学逻辑的法则来理解神经活动，用特定的方法将电子线路连接起来，可以模仿神经活动，提出了神经单元的数学模型，从而拉开了制造会推理和“思考”的人工大脑的序幕。如今，科学家根据神经单元的数学模型，研究人工神经单元器件，进一步建立人工神经网络计算机，模仿人的大脑智能，已在图形、文字、声音识别和推理等方面取得了许多应用成果。

有感情的机器人

2001年，斯皮尔博格（Spielberg）导演的电影《人工智能》（*Artificial Intelligence*）轰动了全世界，讲述了一个动人的科幻故事。

故事发生在未来世界，人类科技已经发展到可以生产各种智能机器，为人类进行各类服务。机器人在外表上也达到了极度仿真人的效果。

这部电影的主角——一个机器人小男孩（如图5-10所示），想体会做一个普通人的感觉。于是，他开始了一段找寻母爱的感情历程，同时也一直在找寻为什么自己总是被人们视作机器人而非人类的原因……

这部电影描述的机器人小男孩有了人类的感情，希望得到母爱，感觉到母爱。

会笑的女机器人K-bot



图5-11 汉森与会笑的女机器人K-bot

2003年，一名年轻的科学爱好者汉森（Hansen）研制出会模仿并表达人类复杂面部表情的机器人头颅，如图5-11所示。汉森介绍，这个“女”机器人名叫“K-bot”，她可以做出28种不同的面部表情，其中包括微笑、嗤笑、皱眉、弯眉等表情。她的眼中安装有摄像机，这样对于任何人都可以做出人的反应。

机器人助手

2003年11月28日的《俄罗斯报》刊登了一篇题为“机器人助手”的文章。文章认为21世纪机器人产业，可能像20世纪汽车产业那样，成为最大的工业部门。

文章报道了研究成功的仿真家庭机器人，它能坐下或躺下，并能自己站起来，能操纵复杂的机器，能照顾老人和病人，它有感情和直觉，会说话，对呼唤作出回应。

文章提到一些专家预测：到2018年，人工智能将获得诺贝尔奖；2025年，发达国家机器人数量将超过本国人数；2030年，机器人的智力和体力都超过人类。

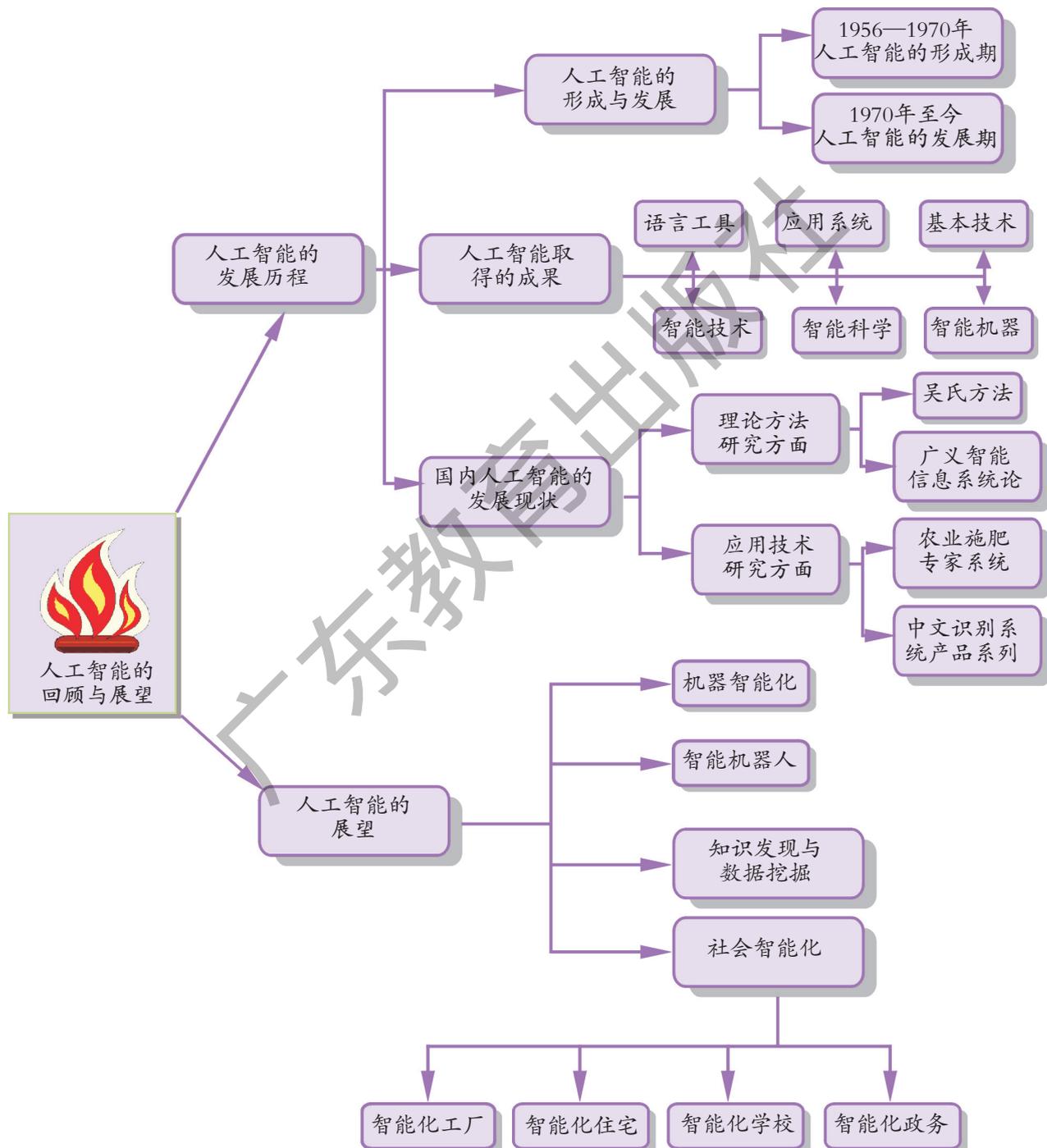


图5-10 一个寻找母爱的小男孩机器人

科学技术不断发展，人类的幻想不断成为现实，人类将会走进智能社会，我们试想，当机器有智能，能像人类一样思考时，世界将会怎样？这已经不单纯是一个技术上的问题，而是涵盖了自然科学和社会科学领域的复杂问题。

广东教育出版社

本章扼要回顾



本章学习评价

完成下列各题，并通过“本章扼要回顾”以及本章的各种交流、实践与练习等，综合评价自己在知识与技能、解决实际问题的能力以及相关情感态度与价值观的形成等方面，是否达到了本章的学习目标。

1. 人工智能的形成与发展的阶段包括：_____

2. 举出至少三个人工智能所取得的成果：_____

3. 中国在人工智能的理论方法研究方面取得的成果主要包括：_____

4. 中国在人工智能的应用技术研究方面取得的成果主要包括：_____

5. 人工智能学科面临的新课题：_____

6. 我对未来人工智能的展望：_____

7. 我对本章中最感兴趣的内容是：_____

8. 本章对我启发最大的是：_____

9. 我还不理解的内容有：_____

10. 我还学会了：_____

11. 我还想学习：_____

部分中英文术语对照表

ACE(Automatic Computing Equipment)	自动计算机(装置)(5)
Alan Turing	阿兰·图灵(5)
Allen Newell	艾伦·纽厄尔(2)
Appel	阿佩尔(4)
AI(Artificial Intelligence)	人工智能(1)
ANN(Artificial Neural Network)	人工神经网络(1)
Automatic Programming	自动程序设计(1)
Bacon	培根(2)
black stripe	黑条纹(2)
char	字符(2)
clause	子句(2)
CMU(Carnegie Mellon University)	卡内基梅隆大学(2)
Dartmouth college	达特茅斯大学(5)
domain	域(2)
ESES(Expert System Experiment Shell)	专家系统实验外壳(3)
ES(Expert System)	专家系统(1)
file	文件(2)
Frame Theory	创框架理论(2)
framework	框架(2)
Game Playing	博弈(4)
goal	目标(2)
Haken	哈肯(4)
Hansen	汉森(5)
Herbert Simon	赫伯特·西蒙(2)
Hilbert	希尔伯特(4)
integer	整数(2)
Intelligent Agent	智能代理(1)
Karal Capak	卡雷尔·查培克(5)
Kasparov	卡斯帕罗夫(5)
KIPS(Knowledge Information Processing System)	知识信息处理系统(5)
knowledge	知识(2)
LISP(List Processor)	链表处理语言(5)
Machine Proof	机器证明(1)
Marvin Minsky	马文·明斯基(2)

McCarthy	麦卡锡 (5)
MYCIN	医疗诊断系统 (3)
McDerment	麦可达莫特 (2)
Natural Language Understanding	自然语言理解 (1)
Pattern Recognition	模式识别 (1)
positive	事实 (3)
predicate	谓词 (2)
Production System	产生式系统 (2)
Prolog(Programming in Logic)	逻辑程序设计语言 (2)
RAND Corporation	[美]兰德公司 (4)
represent	表示 (2)
Robinson	鲁滨逊 (4)
Rossum's Universal Robots	罗莎姆万能机器人公司 (5)
Russell	罗素 (4)
SETI(the Search for Extraterrestrial Intelligence at Home)	搜寻地外文明 (1)
Spielberg	斯皮尔博格 (5)
state	状态 (2)
string	串 (2)
symbol	符号 (2)
Tarski	塔斯基 (4)
ungulate	有蹄动物 (2)
Warren MacCulloch	沃伦·麦卡洛克 (5)
Walter Pitts	沃尔特·皮茨 (5)
Whitehead	怀特赫德 (4)

(注：括号内的数字表示该术语首次出现的章号)

广东教育出版社



绿色印刷产品

批准文号：湘发改价费 2017 343号 举报电话：12358

ISBN 978-7-5406-5480-1



9 787540 654801 >

定价：9.33元