

高等学校教材·计算机科学与技术

人工智能与专家系统导论

马鸣远 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书将人工智能的基本原理和人工智能程序设计融为一体，重点介绍了人工智能在专家系统方面的应用。

通过本书的学习，读者可以掌握人工智能的基本原理和核心知识，以及人工智能程序设计的常用语言 PROLOG，学习用该语言进行编程，体会逻辑程序设计的思想，提高逻辑思考能力，并在此基础上学习如何构造实用的专家系统。

本书重点突出，叙述简洁，实例丰富，适合作为高等院校计算机类、信息管理类及其他相关专业本科生的教材，也可供有关的科研人员参考。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能与专家系统导论 / 马鸣远编著. —北京：清华大学出版社，2006.11

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 7-302-13606-8

. 人... . 马... . 人工智能-高等学校-教材 专家系统-高等学校-教材 . TP18
TP319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 091687 号

出 版 者：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机：010-62770175

地 址：北京清华大学学研大厦

邮 编：100084

客户服务：010-62776969

责任编辑：付弘宇

印 刷 者：北京市昌平环球印刷厂

装 订 者：孟繁聪

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：19.5 字数：458 千字

版 次：2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-13606-8/TP·8216

印 数：1~5000

定 价：25.00 元

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	覃 征	教授
	王建民	教授
	刘 强	副教授
	冯建华	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
	周明全	教授
北京师范大学	阮秋琦	教授
北京交通大学	孟庆昌	教授
北京信息工程学院	杨炳儒	教授
北京科技大学	陈 明	教授
石油大学	艾德才	教授
天津大学	吴立德	教授
复旦大学	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
	乐嘉锦	教授
东华大学	蒋川群	教授
上海第二工业大学	吴朝晖	教授
浙江大学	李善平	教授
南京大学	骆 斌	教授
	秦小麟	教授
南京航空航天大学		

南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	副教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 依	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来，特别是党的十五大以来，我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就，高等教育实现了历史性的跨越，已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上，高等教育规模取得如此快速的发展，创造了世界教育发展史上的奇迹。当前，教育工作既面临着千载难逢的良好机遇，同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾，是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月，教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》，提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月，教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件，指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分，精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间（2003—2007年）建设1500门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放，以实现优质教学资源共享，提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》精神，紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”，在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”（以下简称“编委会”），旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划，讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师，其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求，“编委会”一致认为，精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求，处于一个比较高的起点上；精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要，要有特色风格、有创新性（新体系、新内容、新手段、新思路，教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量）、先进性（对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代

表并引领课程发展的趋势和方向) 示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性) 和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐), 经“编委会”认真评审, 最后由清华大学出版社审定出版。

目前, 针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”, 即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业, 特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 年的努力, 在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌, 为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格, 这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

现在人工智能不仅是计算机科学的一个重要研究领域,它的基本思想、理论和方法已渗透到各个学科领域。因此,学习人工智能的基本知识,掌握人工智能的基本方法,对于大学生提高素质、开拓思路都是非常有好处的。

人工智能经过几十年的发展,成果显著。为了使学生学习更多的人工智能方面的知识,笔者所在的学校曾开设过多门有关课程,如“人工智能导论”、“人工智能程序设计”及“专家系统”等,这样必然要占用学生大量的时间,而且在教学内容上也有互相重复的地方。因此,有必要进行内容上的整合,使学生在有限的时间内学到一些人工智能最基本的知识和思想,本书就是在这方面做的一种尝试。

编写本书的目的是要让学生读完本书之后真正有所收获,使学生尽量多地学到一些实实在在的人工智能的基本知识,而不是只知道一些空洞的名词,因而书中力图避免泛泛的介绍。本书的主要内容包括三部分:第一部分介绍人工智能最基本的、成熟的理论和方法,这是人工智能应用的基础,也是当代人知识结构中应有的一部分;第二部分介绍人工智能语言 PROLOG 及其程序设计,PROLOG 语言是逻辑程序设计语言,通过对这个语言的学习和编程训练,可以更好地学习和体会逻辑程序设计的思想,培养和锻炼逻辑思维能力,有助于学生素质的提高;第三部分介绍人工智能的一个重要应用成果——专家系统,研究专家系统的构成及推理规则,并通过实例介绍使读者对专家系统有更直观、真切的感受,进而可以自己动手编写一些实用型的小型专家系统。

本书力求内容精炼,叙述简明扼要、突出重点,多引用实例,强调实用性,希望对读者学习人工智能有所帮助。

本书在编写及出版过程中得到笔者所在的北京信息工程学院很多老师及院、系、教务处领导的关心和帮助,清华大学出版社的同志认真审校,对本人帮助很大,在此表示衷心的感谢。

由于本人水平有限,错误之处在所难免,诚恳欢迎读者批评指正。

作者

2006 年 6 月

人工智能 (Artificial Intelligence) 是一门正在发展中的边缘学科,它是计算机科学、信息论、控制论、神经心理学、哲学、语言学等多种学科交叉渗透的结果。电子数字计算机的广泛应用也促进了人工智能的发展。人工智能这一学科的诞生、发展及所取得的成就得到人们的高度重视,它与原子能技术、空间技术一起被誉为 20 世纪三大科学技术成就。它的重要意义在于:工业革命延伸了人手的功能,把人类从繁重的体力劳动中解放出来;而人工智能则延伸了人脑的功能,实现了脑力劳动的自动化。

0.1 什么是人工智能

要了解什么是人工智能,首先应了解什么是智能,智能有什么特点。所谓智能即是人类认识世界和改造世界的一种能力,是知识和智力的结合。它具有以下特点。

1. 具有感知能力

人通过感官可以感知外部世界,这样才能从外界获得信息,因此感知是智能活动的前提和必要条件。

2. 具有记忆和思维能力

人从外界获得的信息,经过人脑的推理、联想、判断、分析计算、决策等活动而最后形成知识,这一过程就是思维的过程。思维和记忆密不可分,思维的过程就是利用记忆的知识进行工作的过程,思维和记忆是相辅相成的。

3. 具有学习能力和自适应能力

人不是简单、被动地反映外部世界,而是每时每刻都在外部世界中进行学习,不管这种学习是自觉的还是不自觉的。人通过不断地学习来增长知识,适应环境。

4. 具有反映能力

人能对外部的刺激做出反映,以解决所面对的问题,这也称为行为能力或表达能力。以上这些智能特点和能力都是由人脑神经系统控制的。

在了解人类智能的基础上，研究如何用机器来模拟人类智能，这就是所谓的人工智能。人工智能就是研究如何使机器（智能计算机）更聪明，使它能模拟、延伸和扩展人类智能。

0.2 人工智能的研究领域

人工智能是一门开放性的学科，把人工智能的基本原理、方法和技术应用于某个领域就会产生一个新的研究方向和研究课题。就人工智能领域目前的研究现状看，主要有以下几个方向。

1. 专家系统

专家系统是人工智能领域最活跃、最有成效的一个研究方向，已开发出的专家系统具有巨大的社会效益和经济效益。专家系统是一种基于知识的系统，它从人类专家那里获得知识，通过其内部的推理判断，得出专家级的结论，其水平已接近甚至超过人类专家。

2. 模式识别

要使机器具有对外界的感知能力，必须为机器配置感觉器官，以便直接接收外界的各种信息，这对于人工智能其他方向的发展，是一个不可或缺的先决条件。模式识别主要研究对视觉模式和听觉模式的识别。

3. 机器学习

知识是智能的基础。要使计算机获得知识，一个主要的方法是使其具有自学习能力。机器学习就是研究如何使计算机具有类似于人类的学习能力，使计算机能通过学习自动地获取知识和技能，实现自我完善和自我发展。

4. 博弈

博弈就是对策或斗智，是自然界中的普遍现象。例如下棋、打牌、战争等一类竞争性的智能活动就称为博弈。人工智能的许多方法和技术都是从博弈程序中提炼出来的，反之，也可以把人工智能一些新的方法和技术用于博弈中进行检验，以推动人工智能技术的进一步发展。

5. 自动定理证明

自动定理证明是人工智能领域一个极其重要的研究方向，它是人工智能领域最先得到研究并获得成功的应用，是最典型的逻辑推理问题之一，在机器推理方法的发展中起过重大作用。自动定理证明的研究具有普遍的意义，有很多非数学领域的任务经过整理都可以转化为一个定理证明问题。

6. 自然语言理解

自然语言理解是研究如何让计算机能“看懂”、“听懂”即理解人类自然语言（如汉语、英语等）的一个研究方向。主要研究内容包括：让计算机能正确理解人们用自然语言输入的信息；能用不同的词语复述输入的内容；能把一种自然语言翻译成另一种自然语言；等等。

7. 机器人学

机器人指可以模拟人类行为的机器，“是一种可再编程的、多功能的操作装置”。研究机器人学，一方面可以制作出多种功能的机器人，以代替人类从事有害环境中的危险工作；另一方面可以为人工智能的研究提供一个实验场所，人工智能的很多理论、方法和技术都可以在机器人上进行验证，以推动人工智能的发展。

8. 自动程序设计

自动程序设计的研究包括两方面内容：程序综合与程序正确性验证。程序综合即实现自动编程，只要告诉计算机“做什么”，而不用说“如何做”，计算机就可以自动地把程序设计出来；程序验证指对已编写好的程序如何证明该程序是正确的，这就需要研究出一系列的理论和方法。自动程序设计是计算机科学中的重要研究领域，也是人工智能追求的目标。

9. 人工神经网络

在人工智能研究的学派中，神经心理学家提出从微观上模拟人类大脑的神经系统，于是形成了人工神经网络的研究方向，主要是将大量简单处理单元进行广泛连接以形成人工网络，用来模拟大脑神经系统的结构和功能。人工神经网络现在已成为人工智能中的一个极其重要的研究领域。

0.3 人工智能的基本技术

在人工智能领域，最基本的技术有三方面：知识表示、机械化推理和系统构成。

1. 知识表示技术

知识是人类在自然斗争和社会斗争中的经验总结，是人工智能系统的基础和前提。一个人工智能系统必须拥有大量的知识并具有运用这些知识的能力。求解问题所需要的知识可分为以下三类。

- 叙述性的知识：主要描述问题的性质、状态等；
- 过程性的知识：引起状态改变的操作等；
- 控制性的知识：为何使用过程性的知识，即如何选择最佳操作等。

这些知识要如何表示才能被计算机所识别和使用，这就是知识表示技术所要解决的

问题，它是人工智能领域首先要解决的问题。

2. 机械化推理技术

机械化推理技术是研究如何利用知识解决实际问题，针对不同的问题研究其求解规律，设计一些可以机械执行的智能算子以实现求解过程，主要是研究多种推理技术。

3. 系统构成技术

系统构成技术主要研究如何把各种有关的知识组织成一个有效的问题求解系统，以便在计算机中实现问题的自动解决。这里主要指计算机软件系统的构成技术，包括人工智能语言和人工智能系统。

本书将在下面的章节中，围绕这三方面技术逐一详细介绍。

绪言	1
0.1 什么是人工智能	1
0.2 人工智能的研究领域	2
0.3 人工智能的基本技术	3
第 1 章 知识表示	5
1.1 知识的概念	5
1.2 状态空间表示法	8
1.3 产生式表示法	12
1.4 谓词逻辑表示法	19
1.5 语义网络表示法	23
1.6 框架表示法	27
习题	30
第 2 章 逻辑推理	31
2.1 命题逻辑	31
2.2 谓词逻辑	33
2.3 海伯伦 (Herbrand) 理论	44
2.4 归结原理	51
2.5 定理证明	57
2.6 利用归结原理求取问题的答案	59
2.7 归结原理的改进	60
2.8 与/或形演绎推理	67
习题	76
第 3 章 搜索策略	79
3.1 关于搜索的基本概念	79
3.2 基本搜索策略	80
3.3 启发式搜索	89

3.4 与/或树的搜索策略	92
3.5 博弈树的启发式搜索	97
习题	102
第4章 不确定性推理	105
4.1 不确定性的主要表现	105
4.2 不确定性推理方法的分类	106
4.3 概率基础	107
4.4 主观 Bayes 方法	114
4.5 可信度方法	126
4.6 证据理论 (D-S 理论)	131
习题	146
第5章 Prolog 语言的执行机理	148
5.1 程序设计语言回顾	148
5.2 Prolog 简介	148
5.3 Prolog 的三种基本语句	149
5.4 匹配和回溯	151
5.5 截断 (cut) 和失败 (fail)	153
习题	155
第6章 递归结构和递归程序	157
6.1 Turbo Prolog 的基本成分	157
6.2 Turbo Prolog 的程序结构	159
6.3 谓词结构	162
6.4 重复和递归方法	165
6.5 表处理	170
6.6 字符串程序设计	195
习题	198
第7章 文件处理与动态数据库	199
7.1 Turbo Prolog 的文件处理谓词	199
7.2 文件谓词的使用	202
7.3 随机存取文件	209
7.4 Turbo Prolog 的窗口功能	213
7.5 建立动态数据库	215
习题	231

第 8 章 建造专家系统.....	232
8.1 专家系统简介.....	232
8.2 专家系统的基本原理.....	233
8.3 用 Turbo Prolog 开发专家系统	238
第 9 章 专家系统的进一步研究.....	253
9.1 CITY (城市) 库	254
9.2 RICH (富有) 库	256
9.3 推理机研究.....	257
9.4 专家系统实例.....	266
参考文献.....	298

知 识 表 示

人工智能主要研究用机器来模仿和执行人类的一些智力功能，而人类的智力功能又是以知识为基础，所以如何从现实世界中获取知识，如何将已获取的知识以适当的形式在机器中存储，以及如何利用这些知识进行推理以解决实际问题，即知识的获取、知识的表示和知识的运用就构成人工智能研究的三个主要内容。本章将对一些常用的知识表示方法进行介绍。

1.1 知识的概念

在人类活动中，知识是个常用的名词，无处不在。可以在学校学习知识，也可以通过各种传媒学习知识；有专业的知识，也有普通的知识；有自然科学的知识，也有社会科学的知识。“世事洞明皆学问”，这里的“学问”也就是知识。可以说知识是人类对客观事物的认识和掌握。

1. 知识、数据和信息

知识一词有多种含义，它和事实、数据、信息等词有密切的联系，甚至可以互换使用。知识可以用数据表示，也可以指导把数据转化为信息。知识具有一种金字塔式的层次结构，如图 1-1 所示。

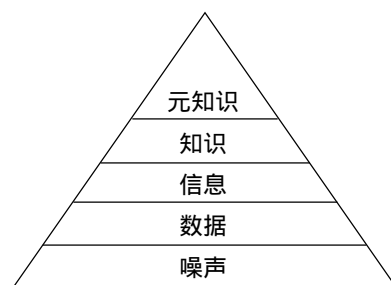


图 1-1 知识的金字塔结构

噪声处在知识金字塔的最底层，运用知识可以从噪声中提取数据，可以把数据转化

为信息，也可以把信息转化为知识。

例如，有如下串数字：

137178766832525156430015

初看起来这是一串毫无意义的乱码，或噪声。但如果已知道它是有意义的（由知识决定），那么它就是数据。从噪声中提取数据就像神农尝百草一样，从杂草中寻找有用的药材。

进一步考虑，如果它是一串数据，那么它要传递什么信息呢？例如，使用下面的步骤对该数据进行加工：

将每两位数字分为一组；

忽略那些小于 32 的两位数；

把余下的每组两位数用 ASCII 字符代替。

加工以后就产生如下信息：

GOLD 438+

这相当于对找到的中药材进行炮制，确定其功效。

如果“GOLD 438+”表示“黄金价格为 438，并且在升值（+）”，则可以用于以下知识中：

如果 黄金价格低于 500

且价格正在上涨（+）

那么 买黄金

所谓元知识，是指使用知识的知识。比如有多种投资渠道，购买黄金是其中的一种，那么，决定采用哪一种投资方式所用的知识就是元知识。这正如医生根据病人情况，利用元知识综合考虑使用哪一种药材一样。

由以上例子可以看出知识、数据和信息之间的联系和区别。

首先，数据和信息是密切相关的。数据是记录信息的符号，是信息的载体和表示；信息是对数据的解释，是数据在特定场合下的具体含义。也就是说，相同的数据在不同的场合可能表示不同的信息，比如 100 这个数据，在测量水温时表示水的沸腾温度，而在登记考试成绩时则表示满分（百分制）。同样，相同的信息也可以用不同的数据表示，比如表示考试成绩为满分的信息，既可以用数据 100 来表示（百分制），也可以用数据 150 来表示（150 分制）。

其次，信息和知识之间也关系密切，只有把有关的信息关联到一块加以使用，才能成为知识。比如，如果水温达到沸腾状态，那么可以用来消毒。因此，人们又把知识称做把有关的信息关联在一起所形成的信息结构。

综上所述，数据、信息和知识是三个层面上的概念：数据经过加工处理成为信息，把有关信息关联到一块就构成了知识。

2. 知识的特点

我们知道，知识是人类对客观世界的认识和掌握，这决定了知识具有以下一些特点。

（1）相对正确性

知识的正确性都和一定环境和条件联系在一起，没有绝对正确的知识，一切依环境

和条件而定。比如：

如果加热到摄氏 100 度，则水就会沸腾。

这在正常条件下是一条正确的知识。但如果你在高山上，则

如果加热到摄氏 85 度，则水就会沸腾。

这在高山上也是一条正确的知识。

再如：

如果起火了，赶紧用水浇。

如果起火了，千万别用水浇。

以上两条知识都是正确的。不过前者用于森林起火的情况，后者用于油料起火的情况。

以上这些例子都说明知识的正确性是相对的。

(2) 不确定性

知识的不确定性和信息获得的条件有关，如在某些情况下获得的信息不完全、不精确，则形成的知识就带有不确定性。比如，根据气象观察，某地明天降雨的概率为 80%，由于天空降雨的各种信息掌握得不够精确，所以不能百分之百地断定该地区明天会降雨。

(3) 可表示性

知识是可以表示的，但不一定要通过数据表示，可以用多种方式表示，如语言、文字、图形、公式等。在计算机中应尽量将知识数据化，以便于存储和处理。

(4) 可利用性

这正是获取知识的目的，就是要用学到的知识来改造世界。

3. 知识的分类

从不同的角度可以对知识进行不同的分类。

(1) 按知识的获得是否依赖于感觉器官来划分，知识可分为先验知识和后验知识。

先验知识是不依赖于感觉器官获得的知识。如“平面内所有三角形的内角和都是 180 度”。先验知识是普遍正确的，没有反例，也不能被否定。

后验知识是由感觉器官获得的知识。其正确性通过感觉经验来证明，因而具有相对的正确性。

(2) 按知识的作用来划分，可分为说明性知识、过程性知识和控制性知识。

说明性知识是指某事是错的还是对的，它常用说明语句的形式来表达，如“煤球是黑的”。

过程性知识是指如何去做某事，比如如何去烧开水，如何去救火等。

控制性知识相当于元知识，即如何决定去做某些事情。

另外，如果从知识的作用范围来划分，可分为常识性知识和领域性知识。从是否具有确定性来划分，可分为确定知识和不确定知识。从人类思维方式和认识方式来划分，又可分为逻辑性知识和形象性知识等。

不管从什么角度去划分知识，要用机器对知识进行处理，都必须以适当的形式对知识进行表示，这就是知识表示技术。知识表示技术就是研究知识以什么样的形式表示才