



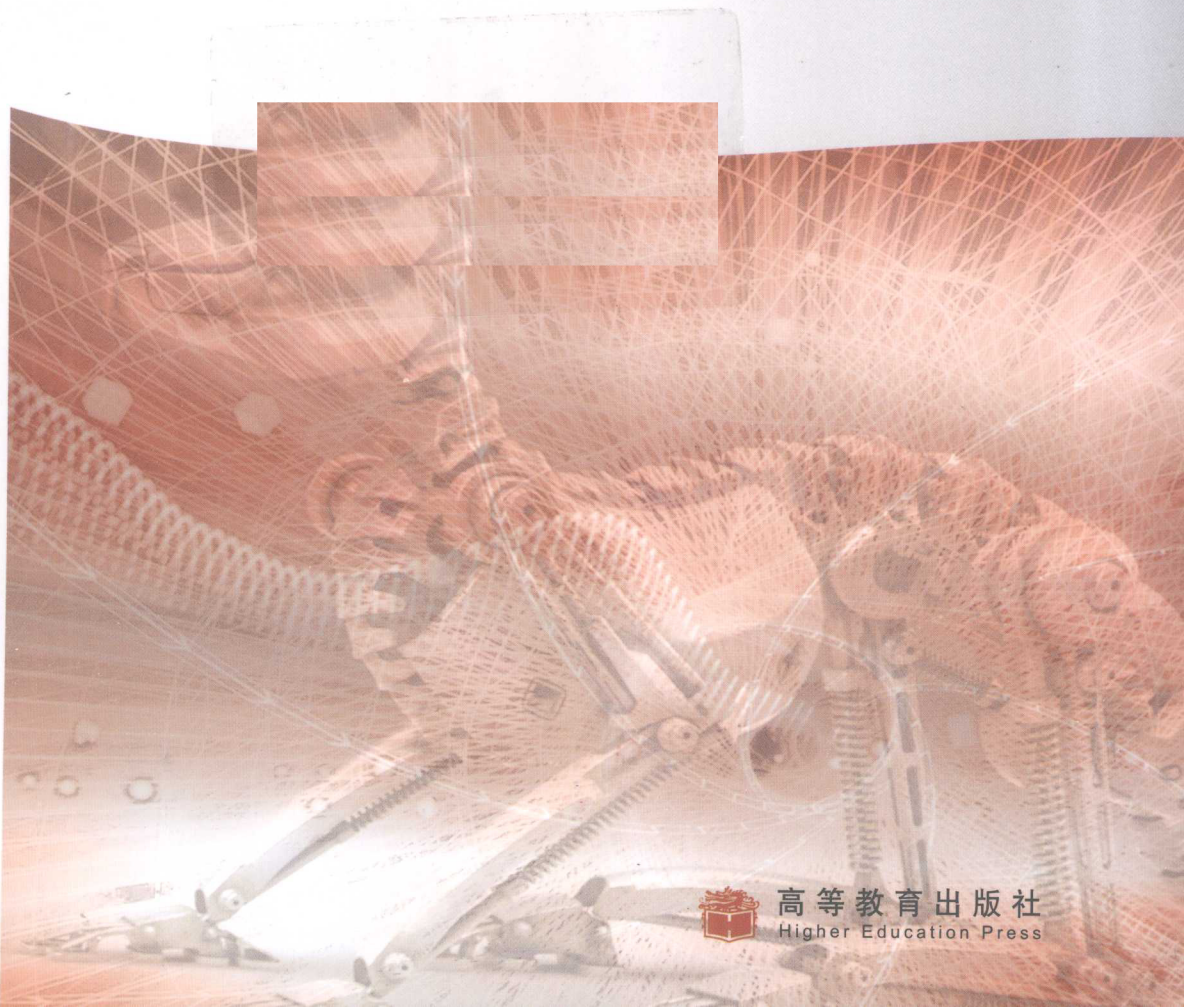
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程主讲教材

人工智能基础 (第2版)

Fundamentals of Artificial Intelligence
Second Edition

蔡自兴 蒙祖强 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程主讲教材

人工智能基础

Rengong Zhineng Jichu

(第2版)

蔡自兴 蒙祖强 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是国家级精品课程“人工智能”的配套教材,也是教育部立项建设的优秀网络课程“人工智能网络课程”的配套教材。第2版共10章,主要内容包括绪论、知识表示、搜索技术、推理技术、机器学习、专家系统、自动规划系统、自然语言理解、智能控制、人工智能程序设计等。书末附有网络课程使用说明。与第1版相比,大多数章节都作了相应的修改、精简或补充。

本书可作为高等本科院校计算机专业和其他信息类专业的“人工智能”课程教材或教学参考书,也可供从事人工智能研究与应用的科技工作者学习参考。建议读者尽可能结合“人工智能网络课程”进行学习和训练,充分利用该网络课程提供的丰富教学资源。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能基础/蔡自兴,蒙祖强编著.—2版.—北京:
高等教育出版社,2010.3

ISBN 978-7-04-028835-3

I. ①人… II. ①蔡…②蒙… III. ①人工智能 -
高等学校 - 教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第023397号

策划编辑 刘艳 责任编辑 萧潇 封面设计 张志奇
责任绘图 尹文军 版式设计 马敬茹 责任校对 王雨
责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787×1092 1/16	版次	2005年5月第1版
印张	22.5		2010年3月第2版
字数	500 000	印次	2010年3月第1次印刷
		定价	29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28835-00

第 2 版前言

人类的进化归根结底是智能的进化,而智能反过来又为人类的进一步进化服务。我们学习与研究人工智能、智能系统、智能机器和智能控制等,其目的就在于创造和应用智能技术和智能系统为人类进步服务。

人工智能研究作为一门前沿和交叉学科,伴随着人类社会进步和科技发展的步伐,与时俱进,在过去半个多世纪中已取得长足进展。在国内,人工智能已得到迅速传播与发展,并促进其他学科的发展。

本书第 2 版共 10 章。第 1 章叙述人工智能的定义、起源与发展,归纳了人工智能的研究目标、研究内容和研究方法,简要介绍人工智能不同学派的认知观和人工智能对人类的影响,列举出人工智能的研究与应用领域。第 2 章主要研究人工智能的知识表示方法,如状态空间法、问题归结法、谓词逻辑法、语义网络法、产生式表示法、面向对象表示以及框架、剧本和过程等。第 3 章论述人工智能的搜索推理技术,涉及盲目搜索、启发式搜索、博弈树搜索、遗传算法、模拟退火算法和免疫算法等。第 4 章探讨人工智能的推理技术,包含消解原理、规则演绎系统、产生式系统、定性推理、不确定性推理和非单调推理等。第 5~9 章比较详细地逐一讨论了人工智能的主要应用领域,包括:机器学习、专家系统、自动规划、自然语言理解和智能控制等。第 10 章介绍人工智能常用程序设计方法。书末附有网络课程使用说明,简要介绍与本书配套的人工智能网络课程的使用方法。与第 1 版相比,大多数章节都作了相应的修改、精简或补充。书中的许多内容都是第一次出现的,例如,人工智能的研究目标和内容、人工智能研究的基本方法、AO* 算法、免疫算法、定性推理、基于决策树的归纳学习、基于框架专家系统的继承方法、新型专家系统、知识发现、基于专家系统的机器人路径规划、轨迹规划、词法分析、语义分析、语料库语言学、免疫控制和基于 Web 的控制等。

本书可作为高等本科院校计算机专业和其他信息类专业的“人工智能”课程教材或教学参考书,也可供从事人工智能研究与应用的科技工作者学习参考。

衷心感谢教育部新世纪网络课程建设工程和高等学校本科教学质量与教学改革工程有关项目的大力支持。特别感谢中南大学、广西大学和高等教育出版社有关领导、专家和编辑出版人员。如果没有他们的智慧才干、辛勤劳动和大力合作,本书第 2 版就不可能迅速与读者见面。

本书第 1 版由蔡自兴教授任主编,蒙祖强教授任副主编,陈白帆为主编助理。此外,蔡竞峰、龚涛、李枚毅、孙国荣、魏世勇、邹小兵等参加了编写。本书第 2 版由蔡自兴负责第 1 章和第 6~10 章的改编,蒙祖强负责第 2~5 章的改编,全书由蔡自兴统稿。由于修订时间仓促,加上我们对有些领域的最新发展尚不够熟悉,因此,书中不足之处在所难免。希望各位专家和广大读者批评指教,我们将深表感谢。编者的联系方式为 zxcai@mail.csu.edu.cn。

II 第2版前言

本课程的网络课程(<http://cai.csu.edu.cn/jpkc/rengongzhineng/index.htm/>)早已上网服务,可与本书配套使用。使用本书的教师可向高等教育出版社申请本书的电子课件(<http://computer.cncourse.com/>)。

蔡自兴

2010年2月

第 1 版前言

在过去十多年中,随着社会进步和科技发展,人工智能作为一门前沿和交叉学科,在自身取得很大进展的同时,也促进了其他学科的发展。进入 21 世纪以来,人类对人工智能表现出更好的认同,寄予更大的希望。人工智能正处在一个最好的时期,它的发展及其成果已经而且必将在更大的广度和深度上造福于人类。

为了落实教育部《面向 21 世纪教育振兴行动计划》,加快现代远程教育工程资源建设步伐,提高我国高等学校的教学现代化水平,教育部于 2000 年 5 月启动了国家级“新世纪网络课程建设工程”,以便采用更先进的教学手段,为提高教学质量和培养高素质人才服务。“人工智能网络课程”就是该工程首批支持的项目之一。在教育部及其现代远程教育资源建设委员会和中南大学的大力支持下,经过我们的深入研究和认真开发,本网络课程开发取得成功,于 2004 年先后通过教育部组织的专家验收和质量认证,并被评为优秀网络课程。本书就是“人工智能网络课程”的配套教材。

本书共 10 章。第 1 章叙述人工智能的概况,列举出人工智能的研究与应用领域。第 2 章~第 4 章研究传统人工智能的知识表示方法、搜索技术和知识推理,并介绍了两种计算智能技术,即遗传算法和模拟退火算法。第 5 章~第 9 章比较详细地讨论了人工智能的主要应用,包括机器学习、自动规划、专家系统、自然语言理解和智能控制等。第 10 章简要介绍人工智能的程序设计工具,涉及 LISP 和 PROLOG 语言、专用开发工具和人工智能机等。书后附有人工智能网络课程使用指南,简要介绍该网络课程的使用方法,包括客户端的安装说明、网络课程使用说明、教师注册及使用说明等。

本书是在蔡自兴、徐光祐主编的《人工智能及其应用》(第二版)(清华大学出版社 1996 年出版)的基础上编写的。该书承蒙广大读者厚爱,已发行 12 多万册,被数百所院校用作教材或教学参考书。1992 年 3 月,台湾儒林图书出版公司出版了本书的繁体字版,向海外发行。该书曾获 1999 年度教育部科技进步一等奖和 2002 年国际优秀作品奖,并与其他著作和成果一起获得 2000 年度中国高校自然科学奖二等奖和省级优秀教学成果奖一等奖。蔡自兴主讲的“人工智能”课程于 2004 年 2 月被教育部评为国家精品课程。在此,特别感谢教育部和现代远程教育资源建设委员会和中南大学对本课程的支持,衷心感谢验收和质量认证专家组的指导与帮助。中南大学和高等教育出版社的有关领导和编辑对本书的出版给予高度重视,付出了辛勤劳动,如果没有他们的大力支持与合作,本书就不可能迅速与读者见面,在此,谨向他们致以诚挚的敬意。

在本书的编写过程中还引用了国内外人工智能领域的研究成果,使本书能够较全面地反映人工智能学科的最新进展。在此,特对这些专家学者深表谢意,他们是:高济、何华灿、何新贵、何志均、陆汝钤、施鹏飞、史忠植、宋健、涂序彦、吴文俊、徐光祐、张钹、钟义信以及 J. Durkin、

II 第1版前言

E. A. Feigenbaum、C. S. G. Lee、Z. Michalewics、N. J. Nilsson、P. Norvig、E. Rich、S. J. Russell、G. N. Saridis、A. B. Тимофеев 和 P. H. Winston 等。

本书由蔡自兴任主编,蒙祖强任副主编,陈白帆为主编助理。蔡竞峰、龚涛、李枚毅、孙国荣、魏世勇、肖晓明、文敦伟、邹小兵等参加了本书编写工作和“人工智能网络课程”的开发。此外,曹峰、曹科、陈海燕、杜文峰、凌群、刘娟、庞慧、秦鹏、石跃祥、田淑杭、王雷、王腾、文敦伟、许永华、杨志国、赵慧、朱光辉等也参加了网络课程的开发工作。他们中的许多人已经学成毕业,走向新的工作岗位。在本书出版之际,谨向他们表示由衷感谢,望他们再接再厉,与时俱进;祝他们事业成功,诸事如意。

由于编著者学识有限,编写时间又比较仓促,加之人工智能发展较快,书中难免存在不妥和错误之处,欢迎各位专家和本书读者不吝指教和帮助。

蔡自兴

2005年5月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.3 状态空间表示举例	32
1.1 人工智能的定义和发展	2	2.3 问题归约法	35
1.1.1 人工智能的定义	2	2.3.1 问题归约描述	35
1.1.2 人工智能的起源与发展	3	2.3.2 与或图表示	38
1.2 人工智能的各种认知观	7	2.3.3 问题归约机理	40
1.2.1 人工智能的主要学派	7	2.4 谓词逻辑法	43
1.2.2 对人工智能的争论	8	2.4.1 谓词公式	43
1.3 人类智能与人工智能	9	2.4.2 谓词演算	43
1.3.1 研究认知过程的任务	10	2.4.3 置换与合一	46
1.3.2 智能信息处理系统的假设	10	2.5 产生式表示法	47
1.3.3 人类智能的计算机模拟	12	2.6 语义网络法	48
1.4 人工智能的研究目标和内容	12	2.6.1 二元语义网络的表示	49
1.4.1 人工智能的研究目标	12	2.6.2 多元语义网络的表示	51
1.4.2 人工智能研究的基本内容	13	2.6.3 基于语义网络的知识推理	51
1.5 人工智能研究的主要方法	15	2.7 框架表示	56
1.6 人工智能的研究和应用领域	17	2.7.1 框架理论及特点	56
1.7 人工智能对人类的影响	21	2.7.2 框架的构成	57
1.7.1 人工智能对经济的影响	21	2.7.3 框架的推理	61
1.7.2 人工智能对社会的影响	21	2.8 面向对象表示	62
1.7.3 人工智能对文化的影响	23	2.8.1 面向对象的概念	62
1.8 对人工智能的展望	24	2.8.2 面向对象表示中的类继承	63
1.8.1 更新的理论框架	24	2.8.3 面向对象表示的推理实例	64
1.8.2 更好的技术集成	25	2.9 剧本表示	68
1.8.3 更成熟的应用方法	25	2.9.1 剧本的构成	68
习题一	26	2.9.2 剧本的推理	69
第 2 章 知识表示	27	2.10 过程表示	70
2.1 知识及其表示概述	27	习题二	72
2.2 状态空间法	29	第 3 章 搜索技术	74
2.2.1 问题状态描述	30	3.1 盲目搜索	74
2.2.2 状态图示法	31	3.1.1 图搜索策略	74

II 目录

3.1.2 宽度优先搜索	76	4.3.1 产生式系统的结构	125
3.1.3 深度优先搜索	78	4.3.2 产生式系统的表示	127
3.1.4 等代价搜索	80	4.3.3 产生式系统的推理	131
3.2 启发式搜索	81	4.3.4 产生式系统示例	134
3.2.1 启发式搜索策略	82	4.4 定性推理	135
3.2.2 有序搜索	82	4.4.1 定性推理概述	135
3.2.3 A*算法	85	4.4.2 定性模型推理	136
3.3 博弈树搜索	88	4.5 不确定性推理	138
3.3.1 博弈概述	88	4.5.1 概率推理	138
3.3.2 极小极大分析法	88	4.5.2 Bayes 推理	142
3.3.3 α - β 剪枝技术	89	4.5.3 模糊逻辑推理	143
3.4 遗传算法	91	4.6 非单调推理	145
3.4.1 遗传算法的基本原理	92	4.6.1 默认推理	145
3.4.2 遗传算法的结构	94	4.6.2 非单调推理系统	147
3.4.3 遗传算法的性能	95	习题四	150
3.5 模拟退火算法	97	第5章 机器学习	151
3.5.1 模拟退火算法的模型	97	5.1 机器学习概述	151
3.5.2 模拟退火算法的简单应用	98	5.2 机器学习的主要策略和基本结构	152
3.5.3 模拟退火算法的参数控制问题	100	5.3 常见的几种学习方法	153
3.6 免疫算法	100	5.3.1 机械学习	153
3.6.1 免疫计算概述	100	5.3.2 基于解释的学习	155
3.6.2 免疫算法的基本原理	101	5.3.3 基于事例的学习	157
3.6.3 几种免疫算法	104	5.3.4 基于概念的学习	160
习题三	105	5.3.5 基于类比的学习	162
第4章 推理技术	106	5.3.6 基于决策树的归纳学习	163
4.1 消解原理	106	5.3.7 强化学习	168
4.1.1 子句集的求取	106	5.4 基于神经网络的学习	171
4.1.2 消解推理规则	109	5.4.1 神经网络的组成与特性	171
4.1.3 含有变量的消解式	110	5.4.2 基于反向传播网络的学习	173
4.1.4 消解反演求解过程	112	5.4.3 基于Hopfield网络的学习	177
4.2 规则演绎系统	115	5.4.4 基于神经网络的推理	180
4.2.1 正向规则演绎系统	115	习题五	185
4.2.2 逆向规则演绎系统	120	第6章 专家系统	186
4.2.3 双向规则演绎系统	122	6.1 专家系统概述	186
4.3 产生式系统	125		

6.1.1 专家系统的一般特点	186	7.2 基于谓词逻辑的规划	231
6.1.2 专家系统的结构与类型	187	7.2.1 规划世界模型的谓词逻辑表示 ...	231
6.1.3 专家系统的建造步骤	191	7.2.2 基于谓词逻辑规划的基本过程 ...	232
6.2 基于规则的专家系统	192	7.3 STRIPS 规划系统	234
6.2.1 基于规则的专家系统的基本 结构	192	7.3.1 积木世界的机器人规划	234
6.2.2 基于规则的专家系统的特点	192	7.3.2 STRIPS 规划系统	237
6.2.3 基于规则的专家系统举例	193	7.4 分层规划	241
6.3 基于框架的专家系统	194	7.4.1 长度优先搜索	242
6.3.1 基于框架的专家系统的概念	194	7.4.2 NOAH 规划系统	242
6.3.2 基于框架的专家系统的继承、 槽和方法	195	7.5 基于专家系统的机器人路径 规划	245
6.3.3 基于框架的专家系统举例	198	7.6 轨迹规划简介	251
6.4 基于模型的专家系统	199	习题七	252
6.4.1 基于模型的专家系统的概念	199	第 8 章 自然语言理解	253
6.4.2 基于模型的专家系统举例	200	8.1 语言及其理解的一般问题	253
6.5 专家系统的设计、评价与开发 ...	201	8.1.1 语言和语言理解	253
6.5.1 专家系统的设计	201	8.1.2 自然语言理解研究的进展和 发展趋势	255
6.5.2 专家系统的评价	203	8.1.3 自然语言理解过程的层次	258
6.5.3 专家系统开发工具	205	8.2 词法分析	259
6.6 专家系统设计举例	209	8.3 句法分析	260
6.6.1 专家知识的描述	209	8.3.1 句法模式匹配和转移网络	260
6.6.2 知识的使用	214	8.3.2 扩充转移网络	261
6.6.3 决策的解释	216	8.3.3 词汇功能语法	263
6.6.4 MYCIN 系统概述	217	8.4 语义分析	266
6.7 新型专家系统	219	8.5 句子理解	267
6.8 知识发现	220	8.5.1 简单句的理解方法	268
6.8.1 知识发现的发展和定义	221	8.5.2 复合句的理解方法	270
6.8.2 知识发现的处理过程	222	8.6 语料库语言学	272
6.8.3 知识发现的方法	223	8.7 机器翻译	274
习题六	225	8.8 语音识别	276
第 7 章 自动规划系统	226	8.8.1 语音识别的发展历史	277
7.1 自动规划概述	226	8.8.2 语音识别的基本原理	277
7.1.1 规划的概念和作用	226	8.8.3 语音识别中的难点	278
7.1.2 规划的分类和问题分解途径	229	8.8.4 语音识别的关键技术	278

IV 目录

8.9 应用举例	280	9.5.5 神经控制系统	309
8.9.1 自然语言自动理解系统	280	9.6 其他智能控制系统	312
8.9.2 自然语言问答系统	282	9.6.1 进化控制	312
习题八	283	9.6.2 免疫控制	314
第9章 智能控制	285	9.6.3 基于Web的控制	315
9.1 智能控制概述	285	习题九	317
9.1.1 智能控制的产生和发展	285	第10章 人工智能程序设计	318
9.1.2 智能控制的定义	288	10.1 符号和逻辑处理编程语言	318
9.2 智能控制的研究领域	288	10.2 LISP语言	319
9.3 智能控制的学科结构理论	292	10.2.1 LISP的特点和数据结构	319
9.3.1 二元结构理论	292	10.2.2 LISP的基本函数	321
9.3.2 三元结构理论	293	10.2.3 递归和迭代	325
9.3.3 四元结构理论	294	10.2.4 LISP编程举例	328
9.4 智能控制的特点与系统一般结构	296	10.3 PROLOG语言	330
9.4.1 智能控制的特点	296	10.3.1 语法与数据结构	331
9.4.2 智能控制系统的一般结构	296	10.3.2 PROLOG程序设计原理	332
9.5 智能控制系统	297	10.3.3 PROLOG编程举例	334
9.5.1 递阶智能控制系统	298	10.4 专用开发工具与人工智能机	334
9.5.2 专家控制系统	301	习题十	335
9.5.3 模糊控制系统	303	附录 网络课程使用说明	337
9.5.4 学习控制系统	306	参考文献	340

第 1 章

绪论

人工智能学科经过半个多世纪的发展,已取得长足的进步,成为一门理论基础日臻完善、应用领域日益广泛的交叉和前沿科学。总的来说,人工智能的目的就是让计算机这种机器能够像人一样思考。如果希望造出一台能够思考的机器,那么就必须知道什么是思考,什么是智慧。什么样的机器才算具有智慧呢?人类已经制造出汽车、火车、飞机、宇宙飞船、电视机和手机等,它们能够模仿人体某些器官的功能,能不能让机器模仿人类大脑的功能呢?到目前为止,仅仅知道这个装在人类天灵盖里面的东西是由数十亿个神经细胞组成的器官,我们对它知之甚少,模仿它或许是天下最困难的一件事情了。

当计算机出现后,人类开始真正有了可以模拟自己思维的工具。在以后的 60 多年岁月中,无数科学家和工程师为这个目标而不懈努力着。现在人工智能已不再是少数科学家的专利了,全世界几乎所有大学的计算机系都有人在研究这门学科,计算机系的大学生也必须学习这样一门课程,许多非计算机专业的学生及数以百万千万计的计算机应用人员天天都与计算机打交道。经过长期的改进和发展,现在计算机已经变得十分聪明了。例如,1997 年 5 月,IBM 公司研制的“深蓝”(Deep Blue)计算机战胜了国际象棋大师卡斯帕罗夫(Kasparov)。大家或许不会注意到,在一些地方计算机帮助人进行其他原来只能由人类完成的工作。计算机以它的高速运行和准确计算为人类社会发挥着它的重大作用。人工智能是计算机科学的一门前沿学科,许多计算机编程语言和其他计算机软件都因为有了人工智能的进展而得以存在和发展。

伴随世界社会进步和科技发展的步伐,人工智能与时俱进,不断取得新的进展。进入 21 世纪以来,人工智能理论正酝酿着新的突破。例如,人工生命的提出,不仅意味着人类试图从传统的工程技术途径,而且将开辟生物工程技术途径,去发展人工智能;同时人工智能的发展,又将作为人工生命科学的重要支柱和推动力量。计算智能已成为人工智能一个新的研究和应用领域,为人工智能提供新的理论基础和新的研究方向。可以预言:人工智能的研究成果必将创造出更多更高级的“智能制品”,并使之在越来越多的领域超越人类智能;人工智能将为发展国民经济和改善人类生活做出更大贡献。

什么是人工智能,如何理解人工智能,人工智能研究什么,人工智能的理论基础是什么,人工智能能够在哪些领域得到应用,等等,这些将是人工智能学科或人工智能课程需要研究和回答的

问题。让我们对这些问题逐一展开讨论。

本章介绍人工智能的定义、发展概况及相关学派和他们的认知观,以及人工智能的研究和应用领域。

1.1 人工智能的定义和发展

近十多年来,现代信息技术,特别是计算机技术和网络技术的发展已使信息处理的数量、速度和质量大为提高,能够处理海量数据,进行快速信息处理,软件功能和硬件实现均取得长足进步,使人工智能获得更为广泛的应用。

1.1.1 人工智能的定义

人工智能(artificial intelligence, AI)又称为机器智能或计算机智能。无论它取哪个名字,都表明它所包含的“智能”都是人为制造的或由机器和计算机表现出来的一种智能,以区别于自然智能,特别是人类智能。由此可见,人工智能本质上有别于自然智能,前者是一种由人工手段模仿的人造智能,至少在可见的未来应当这样理解。

和许多新兴学科一样,人工智能至今尚无统一的定义,要给人工智能下一个准确的定义是困难的。人类的自然智能(人类智能)伴随着人类活动处处时时存在。人类的许多活动,如下棋、竞技、解答题、猜谜语、讨论、编制计划和编写计算机程序,甚至驾驶汽车和骑自行车等,都需要“智能”。如果机器能够执行这种任务,就可以认为机器已具有某种性质的“人工智能”。不同科学或学科背景的学者对人工智能有不同的理解,提出不同的观点,人们称这些观点为符号主义(Symbolism)、连接主义(Connectionism)和行为主义(Actionism)等。

哲学家们对人类思维和非人类思维的研究工作已经进行了两千多年,然而,至今还没有获得满意的解答。下面,我们将结合自己的理解来定义人工智能。

定义 1.1 智能(intelligence)

人的智能是他们理解和学习事物的能力,或者说,智能是思考和理解能力而不是本能做事能力。

定义 1.2 智能机器(intelligent machine)

智能机器是一种能够呈现出人类智能行为的机器。而这种智能行为是人类用大脑考虑问题或创造思想。

例 1.1 能够模拟人的思维进行博弈的计算机。1997年5月11日,一台由IBM公司研制的名为“深蓝”的计算机战胜当时的国际象棋世界冠军盖利·卡斯帕罗夫。

例 1.2 能够进行深海探测的自主潜水机器人。

例 1.3 在星际探险中的移动机器人,如美国2004年1月发射的火星探测车“勇气”

(Spirit)和“机遇”(Opportunity)以及2004年8月发射的水星探测车“信使”(Messenger)等。

定义 1.3 人工智能

斯坦福大学的尼尔逊(Nilsson)提出:人工智能是关于知识的科学(知识的表示、知识的获取以及知识的运用)。

本书中,首先从学科的界定来定义。

定义 1.4 人工智能(学科)

长期以来,人工智能研究者们认为:人工智能(学科)是计算机科学中涉及研究、设计和应用智能机器的一个分支。它的近期主要目标在于研究用机器来模仿和执行人脑的某些智力功能,并开发相关理论和技术。

近年来,许多人工智能和智能系统研究者认为:人工智能(学科)是智能科学(intelligence science)中涉及研究、设计和应用智能机器和智能系统的一个分支,而智能科学是一门与计算机科学并行的学科。

下面再从人工智能所实现的功能来定义。

定义 1.5 人工智能(能力)

人工智能(能力)是智能机器所执行的通常与人类智能有关的智能行为,这些智能行为涉及学习、感知、思考、理解、识别、判断、推理、证明、通信、设计、规划、行动和问题求解等活动。

1950年图灵设计和进行的著名实验(后来被称为图灵实验,Turing test),提出并部分回答了“机器能否思维”的问题,也是对人工智能的一个很好注释。

1.1.2 人工智能的起源与发展

本书试图按时期来说明国际人工智能的发展过程,尽管这种时期划分方法有时并不十分严谨,因为许多事件可能跨接不同时期,另外一些事件虽然时间相隔甚远但又可能密切相关。

1. 孕育时期(1956年前)

人工智能的发展是以硬件与软件的发展为基础的,它的发展经历了漫长的发展历程。人类很早就开始研究自身的思维形式。早在公元前384—322年,在亚里士多德(Aristotle)研究他称之为三段论的演绎推理时就迈出了向人工智能发展的早期步伐,可以把它看作原始的知识表达规范。三段论是以真言判断为其前提的一种演绎推理,它借助于一个共同项,把两个直言判断联系起来,从而得出结论。

时代思潮直接帮助科学家去研究某些现象。对于人工智能的发展来说,20世纪30年代和40年代的智能界,出现了两件最重要的事:数理逻辑(它从19世纪末起就获得迅速发展)和关于计算的新思想。弗雷治(Frege)、怀特赫德(Whitehead)、罗素(Russell)和塔斯基(Tarski)以及另外一些人的研究表明,推理的某些方面可以用比较简单的结构加以形式化。1913年,年仅19岁的维纳(Wiener)在他的论文中把数理关系理论简化为类理论,为发展数理逻辑做出贡献,并向机器逻辑迈进一步,与后来图灵提出的逻辑机不谋而合。1948年维纳创立的控制论(Cybernetics),

4 第1章 绪论

对人工智能早期思潮产生重要影响,后来成为人工智能行为主义学派。数理逻辑仍然是人工智能研究的一个活跃领域,其部分原因是由于一些逻辑-演绎系统已经在计算机上实现过。不过,即使在计算机出现之前,逻辑推理的数学公式就为人们建立了计算与智能关系的概念。

丘奇(Church)、图灵和其他一些人关于计算本质的思想,提供了形式推理概念与即将发明的计算机之间的联系。在这方面的一个重要工作是关于计算和符号处理的理论概念。1936年,年仅26岁的图灵创立了自动机理论(后来人们又称为图灵机),提出了一个理论计算机模型,为电子计算机设计奠定基础,促进了人工智能特别是思维机器的研究。1946年2月15日,世界上第一台通用电子数字计算机“埃尼阿克”(ENIAC)研制成功,它为人工智能研究和应用提供了强有力的工具。第一批数字计算机(实际上为数字计算器)看来不包含任何真实智能。早在这些机器设计之前,丘奇和图灵就已发现,数字并不是计算的主要方面,它们仅仅是一种解释机器内部状态的方法。被称为人工智能之父的图灵,不仅创造了一个简单、通用的非数字计算模型,而且直接证明了计算机可能以某种被理解为智能的方法工作。

麦卡洛克(McCulloch)和皮茨(Pitts)于1943年提出的“拟脑机器”(mindlike machine)是世界上第一个神经网络模型(MP模型),开创了从结构上研究人类大脑的途径。神经网络连接机制后来发展为人工智能连接主义学派的代表。

值得一提的是控制论思想对人工智能早期研究的影响。正如艾伦·纽厄尔(Allen Newell)和赫伯特·西蒙(Herbert Simon)在他们的优秀著作《人类问题求解》(*Human Problem Solving*)的“历史补篇”中指出的那样,20世纪中叶人工智能的奠基者在人工智能研究中出现了几股强有力的思潮。维纳、麦卡洛克和其他一些人提出的控制论和自组织系统的概念集中地讨论了“局部简单”系统的宏观特性。尤其重要的是,1948年维纳发表的控制论(或动物与机器中的控制与通信)论文,不但开创了近代控制论,而且为人工智能的控制论学派(即行为主义学派)树立了新的里程碑。控制论影响了许多领域,因为控制论的概念跨接了许多领域,把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑以及计算联系起来。控制论的这些思想是时代思潮的一部分,而且在许多情况下影响了许多早期和近期人工智能工作者,成为他们的指导思想。

由此可见,人工智能开拓者在数理逻辑、计算本质、控制论、信息论、自动机理论和神经网络模型和电子计算机等方面做出的创造性贡献,奠定了人工智能发展的理论基础,孕育了人工智能的胎儿。

2. 形成时期(1956—1970年)

到20世纪50年代,人工智能已躁动于人类科技社会的母胎,即将分娩。1956年夏季,由年轻的美国数学家和计算机专家麦卡锡(McCarthy)、数学家和神经学家明斯基(Minsky)、IBM公司信息中心主任朗彻斯特(Lochester)和贝尔实验室信息部数学家和信息学家香农(Shannon)共同发起,在美国的达特茅斯(Dartmouth)大学举办了一次长达两个月的研讨会,认真、热烈地讨论用机器模拟人类智能的问题。会上,由麦卡锡提议正式使用人工智能这一术语。这是人类历史上第一次人工智能研讨会,标志着人工智能学科的诞生,具有十分重要的历史意义。这些从事数学、心理学、信息论、计算机科学和神经学研究的杰出年轻学者,后来绝大多数都成为著名的人工

智能专家,为人工智能的发展做出重要贡献。

1965年,被誉为“专家系统和知识工程之父”的费根鲍姆(Feigenbaum)所领导的研究小组开始研究专家系统,并于1968年研究成功第一个专家系统 DENDRAL,用于质谱仪分析有机化合物的分子结构。后来又开发出其他一些专家系统,为人工智能的应用研究做出开创性贡献。

1969年召开了第一届国际人工智能联合会议(International Joint Conference on AI, IJCAI),标志着人工智能作为一门独立学科登上国际学术舞台。此后,IJCAI每两年召开一次。1970年《人工智能》国际杂志创刊。这些事件对开展人工智能国际学术活动和交流、促进人工智能的研究和发展起到积极作用。

在这一时期,人工智能已形成为一门独立学科,为进一步发展打下重要基础。

3. 暗淡时期(1966—1974年)

在取得发展的同时,人工智能也遇到一些困难和问题。一方面,由于一些人工智能研究者被胜利冲昏了头脑,盲目乐观,对人工智能的未来发展和成果做出了过高的预言,而这些预言的失败给人工智能的声誉造成重大伤害。同时,许多人工智能理论和方法未能得到通用化和应用推广,专家系统也未获得广泛开发,看不出人工智能的重要价值。另一方面,科学技术的发展对人工智能提出新的要求甚至挑战。例如,当时认知生理学研究发现,人类大脑含有 10^{11} 个以上神经元,而人工智能系统或智能机器在现有技术条件下无法从结构上模拟大脑的功能。1971年英国剑桥大学数学家詹姆士(James)在英国政府的授意下,发表了一份关于人工智能的综合报告,声称“人工智能即便不是骗局,也是庸人自扰”。在这个报告影响下,英国政府削减了人工智能研究经费,解散了人工智能研究机构。在人工智能的发源地美国,连在人工智能研究方面颇有影响的IBM公司,也被迫取消了该公司的所有人工智能研究。人工智能研究在世界范围内陷入困境,处于低潮。

困难和挫折是难免的。冬天过后,春天就会到来。通过总结经验教训,开展更为广泛、深入和有针对性的研究,人工智能必将走出低谷,迎来新的发展时期。

4. 知识应用时期(1970—1988年)

费根鲍姆研究小组自1965年开始研究专家系统,并于1968年研究成功第一个专家系统 DENDRAL。1972—1976年,他们又成功开发了MYCIN医疗专家系统,用于抗生素药物的治疗。此后,许多著名的专家系统相继开发出来,为工矿数据分析处理、医疗诊断、计算机设计、符号运算等提供了强有力的工具。在1977年举行的第五届国际人工智能联合会议上,费根鲍姆正式提出了知识工程(knowledge engineering)的概念,并预言20世纪80年代将是专家系统蓬勃发展的时代。

事实果真如此,整个20世纪80年代,专家系统和知识工程在全世界得到迅速发展。专家系统为企业等用户赢得巨大的经济效益。例如,第一个成功应用的商用专家系统R1于1982年开始在美国数字装备集团公司(DEC)运行,用于进行新计算机系统的结构设计。到1986年,R1每年为该公司节省了400万美元。到1988年,DEC公司的人工智能团队开发了40个专家系统。

6 第1章 绪论

更有甚者,杜珀公司已使用 100 个专家系统,正在开发 500 个专家系统。几乎每个美国大公司都拥有自己的人工智能小组,并应用专家系统,或投资专家系统技术。在 20 世纪 80 年代,日本和西欧也争先恐后地投入对专家系统的智能计算机系统的开发,并应用于工业部门。其中,日本 1981 年发布的“第五代智能计算机计划”就是一例。在开发专家系统过程中,许多研究者获得共识,即人工智能系统是一个知识处理系统,而知识表示、知识利用和知识获取则成为人工智能系统的三个基本问题。

5. 集成发展时期(1986 年至今)

到 20 世纪 80 年代后期,各国争相进行的智能计算机研究计划先后遇到严峻挑战和困难,无法实现其预期目标,这促使人工智能研究者们对已有的人工智能和专家系统思想和方法进行反思。已有的专家系统存在缺乏常识知识、应用领域狭窄、知识获取困难、推理机制单一、未能分布处理等问题。研究者发现,困难反映出人工智能和知识工程的一些根本问题,如交互问题、扩展问题和体系问题等,都没有很好解决。对存在问题的探讨和对基本观点的争论,有助于人工智能摆脱困境,迎来新的发展机遇。

20 世纪 80 年代后期以来,机器学习、计算智能、人工神经网络和行为主义等研究深入开展,不时形成高潮。有别于符号主义的连接主义和行为主义等人工智能学派也乘势而上,获得新的发展。不同人工智能学派间的争论推动了人工智能研究和应用的进一步发展。以数理逻辑为基础的符号主义,从命题逻辑到谓词逻辑再到多值逻辑,包括模糊逻辑和粗糙集理论,已为人工智能的形成和发展做出历史性贡献,并已超出传统符号运算的范畴,表明符号主义在发展中不断寻找新的理论、方法和实现途径。传统人工智能(称之为 AI)的数学计算体系仍不够严格和完整。除了模糊计算外,近年来,许多模仿人脑思维、自然特征和生物行为的计算方法(如神经计算、进化计算、自然计算、免疫计算和群计算等)已被引入人工智能学科。这些有别于传统人工智能的智能计算理论和方法称为计算智能(computational intelligence, CI)。计算智能弥补了传统人工智能缺乏数学理论和计算的不足,更新并丰富了人工智能的理论框架,使人工智能进入一个新的发展时期。人工智能不同观点、方法和技术的集成,是人工智能发展所必需的,也是人工智能发展的必然。在这个时期,特别引人注目的是神经网络的复兴和智能真体(intelligent agent)的异军突起。

人工智能已获得愈来愈广泛的应用,深入渗透到其他学科和科学技术领域,对这些学科和领域的发展功不可没,并为人工智能理论和应用研究提供新的思路与借鉴。例如,对生物信息学、生物机器人学和基因组的研究就是如此。

上述这些新出现的人工智能理论、方法和技术,其中包括人工智能三大学派,即符号主义、连接主义和行为主义,已不再是单枪匹马打天下,而是携手合作,走综合集成、优势互补、共同发展的康庄大道。人工智能学界那种势不两立的激烈争论局面,可能一去不复返了。我们有理由相信,人工智能工作者一定能够抓住机遇,不负众望,创造更多更大的新成果,开创人工智能发展的新时期。

我国的人工智能研究起步较晚。纳入国家计划的研究(“智能模拟”)始于 1978 年;1984 年