

智能控制

Intelligent Control

(第二版)

(Second Edition)

蔡自兴

【 本书第一版获

第三届全国优秀教材(电子类)一等奖

中国高校自然科学奖二等奖】



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书第一版获

第三届全国优秀教材(电子类)一等奖

中国高校自然科学奖二等奖

系国内外首部智能控制系统著作和全国高校统编教材

智能控制

(第二版)

Intelligent Control

(Second Edition)

蔡自兴

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍智能控制的基本概念、工作原理、控制方法与应用。全书共 10 章。第 1 章概述人类的认知过程、各种认知观,以及人工智能和智能控制的产生背景、起源与发展,讨论人工智能和智能控制的定义及智能控制的特点和结构,尤其是智能控制的四元交集结构理论。第 2~3 章概述传统人工智能的知识表示方法和搜索推理技术。第 4~8 章逐一讨论递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统和学习控制系统的作用机理、类型结构、设计方法、控制特性和应用示例。第 9 章简介其他几种智能控制系统,包括拟人控制、进化控制和免疫控制等。第 10 章综合智能控制的应用研究领域和存在问题,并展望智能控制的发展方向及其与相关技术的关系。

本书可作为高等院校自动化、机电工程等电子信息类专业高年级本科生及研究生的教材,也可供从事智能控制与智能系统研究、设计和应用的科技工作者参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制/蔡自兴编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2004. 8

ISBN 7-121-00168-3

I. 智… II. 蔡… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 075068 号

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:589 千字

印 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前言

20 世纪以来,科学技术的许多重大进展都是人类智慧、思维、幻想和拼搏的成果;同时,这些科技进步反过来又促进人们思想的解放,或者称为思想革命。人类历史上很少出现过像今天这样的思想大解放,关于宇宙、地球、生命、人类、时空、进化、智能的论点和著作,如雨后春笋般破土而出。

作为智能科学领域的一位探索者,我对地球这一自然界中的生命、进化与智能深感兴趣。据研究结果称:大约 6 亿年前,地球上发生过一次异乎寻常的大爆炸,生物学家把它称为寒武纪爆炸。这次爆炸的最重要意义在于发现了数量颇大和种类繁多的生物,这是地球生态史上任何一个时期都无法比拟的。

地球上早期生物是比较低级的,它们经历了长期的和不断的进化历程,并最终得到进化的最高级产品——人类。其中大脑是衡量进化水平的最重要标志。有了人类的大脑,我们就能够有思想、思维和规划,有发明、创造和革新,有艺术、音乐和诗歌,也才可能有“上天揽月”、火星探测、“下海捉鳖”,以及基因和克隆研究之壮举。

伴随着人类的进化,人类智慧逐步提高。人类已经发明了目前称之为计算机和自动机的高级机器,创建了能够为人类的进化和发展服务的智能系统,并应用机器智能来模仿人类智能,扩展了人脑的功能。在这一领域,形形色色的“智能制品”大放异彩,为经济、科技、教育、文化和人民生活服务。CAD、CAM、CAI、CAP、CIMS、因特网、数据挖掘、艾真体(Agent)、机器人、自动机器和智能软件包等,已成为我们学习、工作和生活的组成部分。智能自动化技术已成为高级决策的必不可少的得力工具。

对生命的进化也出现新的挑战。智能机器人与人工生命的结合,可能创造出具有生命现象的生物机器人。一个拟人机器人能够用它的眼睛跟踪人群通过人行横道;一台自主机器人车能够辨识道路的边缘,绕过障碍物,在探索中前进;我国研制的自动驾驶汽车无需人的帮助而能够以 130km/h 的速度在高速公路上稳速行驶。机器人打乒乓球和机器人辅助外科手术等例子,则是早已众所周知了。另一方面,某些不负责任的人或犯罪分子却利用智能技术进行罪恶活动,如制造计算机病毒和盗取银行存款等“智能犯罪”活动。面对机器的进化,我们且不可怠慢。作为机器的主人,我们要以新的成就和实力,继续赢得机器对我们的尊敬,使智能机器和智能系统永远听从智能人类的指挥,忠诚地为人类服务。

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步服务。我们学习与研究智能系统、人工智能、智能机器人和智能控制等,其目的就在于创造和应用智能技术和智能系统,从而为人类进步服务。因此,可以说,对智能控制的钟情、期待、开发和应用,是科技发展和人类进步的必然。

我有幸亲历了智能控制的研究和发展进程,深为珍惜。这是一种缘分,也是一种机遇。借此机会,略向大家汇报一二。1983~1985 年,我在美国普渡(Purdue)大学等校留学期间,绝大部分时间是在美国国家工程科学院院士、国际智能控制的奠基者和开拓者傅京孙(K S Fu)教授的指导和合作下,研究机器人规划专家系统——一种基于知识工程的智能机器人高层控制

技术和方法,受到国际大师的熏陶和指点,开始踏上研究智能系统的征程。当我们结束首次访美后不久,我们的《人工智能及其应用》于1987年在清华大学出版社出版发行,该书为智能控制建立了重要基础。1985年和1987年国际智能控制研讨会(ISIC)之后,智能控制作为一门新学科在国际上建立起来,并开始讨论智能控制的教学问题。中国的智能控制研究差不多是与国际同步起动的。为适应自动控制学科发展和教学改革的需要,瞄准国际前沿学科,全国自动控制与计算机教材编审委员会和电子工业部教材办于1987年向全国发出《智能控制》等统编教材公开征稿的通知。尽管编写时间紧迫和参考资料奇缺,我还是大胆应征。我想,自己有自动控制的基础,又在美国研究过人工智能,二者在我身上的结合使我具有一定优势,因而满怀信心地进行准备,全力以赴地投入写作。经过一年多的艰苦努力,我于1988年写出书稿,呈交教材编审委员会评审。在教材编审委员会主任委员张钟俊院士、副主任委员兼该教材责任编辑委胡保生教授及全体委员的关怀和支持下,我编写的《智能控制》教材通过了教材编审委员会的审评,中标为全国统编教材,并于1990年由电子工业出版社出版,成为国内外公开出版的首部关于智能控制的教材和专著。该书于1996年获得第三届全国优秀教材(电子类)一等奖,并与其他著作一起于2001年获得全国高校自然科学奖二等奖。

1992~1993年,我第二次留学美国,到纽约州伦塞勒大学(RPI)的太空探索智能机器人系统研究中心(CIRSSE),同国际著名智能控制专家G N Saridis和A C Sanderson教授合作研究机器人的智能控制问题,得到不少启发,受益匪浅,为撰写智能控制新著打下基础。

随着智能控制研究的进一步发展,到20世纪90年代中期,智能控制学科和课程内容有了进一步充实的基础和更新的必要。我的另外两部著作《Intelligent Control: Principles, Techniques and Applications》和《智能控制——基础与应用》于1997年底和1998年初分别在国外和国内问世。这些智能控制著作已具有比较充实的基础理论及比较明确的研究和应用方向。

进入21世纪以来,智能控制学科又有了新的发展。为了及时反映智能控制研究和学科的最新发展,在电子工业出版社的大力支持下,我们修订了《智能控制》课程的教学大纲,进一步优化和更新教学内容。我们确定的内容是:介绍智能控制的基本概念、工作原理、控制方法与应用,涉及人类的认知观和认知过程,智能控制的发展过程、定义和结构原理,知识表示方法和推理技术,计算智能的基本知识,各种智能控制系统的作用机理、结构和应用,一些新的智能控制简介及智能控制的研究与应用展望等。这些就是本书第二版的主要内容。我们的期望目标是:编写出反映21世纪智能控制学科发展水平和发展趋向的新一代智能控制课程教材,争取为我国智能控制课程建设、教材建设以至于学科建设做出新的贡献。

本书共10章。第1章概述人类的认知过程、各种认知观,以及人工智能和智能控制的产生背景、起源与发展,讨论人工智能和智能控制的定义及智能控制的特点和结构,尤其是智能控制的四元交集结构理论。第2~3章概括传统人工智能的知识表示方法和搜索推理技术。第4~8章逐一讨论递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统和学习控制系统的作用机理、类型结构、设计方法、控制特性和应用示例。第9章简介其他几种智能控制系统,包括拟人控制、进化控制和免疫控制等。第10章综合智能控制的应用研究领域和存在问题,并展望智能控制的发展方向及其与相关技术的关系。

综上所述可以看出,智能控制已初具学科体系,包括基础理论、技术方法和实际应用诸多方面。在基础理论方面,涉及传统人工智能的知识表示和推理、计算智能(如模糊计算、神经计算和进化计算等)和机器学习等。在技术方法上,从递阶控制、专家控制、模糊控制、神经控制、学习控制、仿人控制和进化控制等系统加以研究。在实际应用方面,则从十分广泛的领域举例

剖析。各种不同人工智能学派的观点在智能控制学科上得到很好的包涵与融合,为不同学术派别的合作树立了典范。

本书相当大一部分内容是作者及其指导的博士研究生们近年来合作研究的成果。这些博士生已获得博士学位,并在科学研究上做出新的成绩,其中有的已在国内外科技学术界崭露头角。他们是蔡竞峰、赖旭芝、李枚毅、刘健勤、刘娟、刘巧光、马莉、蒙祖强、彭志红、单汨源、王晶、文敦伟、伍春华、肖晓明、谢光汉、郑金华、周翔、邹小兵等。本书的另一部分内容借鉴了国内外其他专家和作者的最新研究成果。因此,本书较好地反映出国内外智能控制研究和应用的最新进展。与第一版相比,大部分内容得到更新,水平也有明显提高。

本书可作为高等院校自动控制、机电工程等电子信息类专业高年级本科生和研究生的《智能控制》教材,也可供从事智能控制与智能系统研究、开发和应用的科技工作者参考使用。

本教材各版本的编写和本人的智能控制研究,一直得到众多专家的亲切关怀指导和广大读者的热情支持帮助。常迥、戴汝为、冯纯伯、K S Fu、高为炳、郭雷、何继善、胡启恒、黄伯云、黄琳、李德毅、李衍达、石青云、宋健、唐稚松、吴澄、吴文俊、杨嘉墀、张钟俊、郑南宁和周宏鑫等院士曾以各种不同方式给作者以指导和支持。褚健、何华灿、贺汉根、胡保生、李春盛、梁天培、饶立昌、A C Sanderson、施鹏飞、谭铁牛、A B Тимофеев、涂序彦、王成红、王飞跃、王龙、王伟、王先来、魏世泽、吴启迪、席裕庚、徐孝涵、杨宜民、张钹、张良起、郑应平、钟义信和周其鉴等教授,用他们的智慧和友谊提供了诸多帮助。本书还从国内外许多智能控制和智能系统的高水平著作或与有关专家的讨论交流中吸取了新的营养。这些著作的作者和专家是 J S Albus、K J Åström、M Brown、K S Fu、C J Harris、D Katic、李人厚、李世勇、李祖枢、陆汝铃、罗公亮、A M Meystel、莫宏伟、C G Moore、秦世引、G N Saridis、史忠植、宋健、孙增圻、王立新、王耀南、N Wiener、徐丽娜、阎平凡、杨汝清、易继锴、L A Zadeh、M Jamshidi、张钹、张乃尧和诸静等教授。

谨向上列各位院士、教授、专家和朋友表示诚挚的感谢!

中南大学及其信息科学与工程学院的有关领导和师生对本书写作提供了宽松的环境和多方协助。我主持的国家级研究课题组成员和我所指导的研究生们为本书做出了特别贡献。高平安、龚涛、李仪、王勇、于金霞、章慧团、郑敏捷等精心打印了部分书稿。电子工业出版社的有关领导和责任编辑凌毅也为本书的编辑出版付出了辛勤劳动。在此,也向他们深表谢忱。

最后,特别感谢国家自然科学基金委员会及国家教育部新世纪网络课程建设工程和国家精品课程工程对本项研究的支持。

智能控制是一门十分年轻的学科,仍处于蓬勃发展时期,对许多问题作者并未深入研究,一些有价值的新内容也来不及收入本书。加上修订时间很紧,作者知识和水平有限,书中可能存在一些错误之处,敬请各位专家、教授和广大读者一如既往地批评指正。

蔡自兴
2004年7月
于长沙岳麓山
中南大学

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 人工智能	1
1.1.1 人工智能的定义与发展	1
1.1.2 人类智能与人工智能	5
1.1.3 人工智能的各种认知观	8
1.2 智能控制的进展	9
1.2.1 自动控制的机遇与挑战	9
1.2.2 自动化与人工智能	11
1.2.3 智能控制的发展	13
1.3 智能控制的定义、特点与结构理论	16
1.3.1 智能控制的定义与特点	16
1.3.2 智能控制器的一般结构	17
1.4 智能控制的结构理论	18
1.4.1 二元结构理论	19
1.4.2 三元结构理论	19
1.4.3 四元结构理论	21
1.5 本书概要	24
习题 1	25
第 2 章 知识表示方法	26
2.1 状态空间法	26
2.1.1 问题状态描述	26
2.1.2 状态图示法	28
2.2 问题归约法	30
2.2.1 问题归约描述	30
2.2.2 与或图表示	32
2.3 谓词逻辑法	34
2.3.1 谓词演算	34
2.3.2 谓词公式	36
2.3.3 置换与合一	37
2.4 语义网络法	39
2.4.1 二元语义网络的表示	39
2.4.2 多元语义网络的表示	41
2.4.3 语义网络的推理过程	42
2.5 框架表示	44

2.5.1	框架的构成	45
2.5.2	框架的推理	47
2.6	剧本表示	48
2.6.1	剧本的构成	48
2.6.2	剧本的推理	49
2.7	过程表示	50
2.8	小结	52
习题 2		53
第 3 章	搜索推理技术	54
3.1	图搜索策略	54
3.2	盲目搜索	56
3.2.1	宽度优先搜索	56
3.2.2	深度优先搜索	57
3.2.3	等代价搜索	59
3.3	启发式搜索	60
3.3.1	启发式搜索策略和估价函数	60
3.3.2	有序搜索	61
3.3.3	A* 算法	64
3.4	消解原理	66
3.4.1	子句集的求取	66
3.4.2	消解推理规则	68
3.4.3	含有变量的消解式	69
3.4.4	消解反演求解过程	70
3.5	规则演绎系统	73
3.5.1	规则正向演绎系统	73
3.5.2	规则逆向演绎系统	78
3.5.3	规则双向演绎系统	81
3.6	产生式系统	82
3.6.1	产生式系统的组成	82
3.6.2	产生式系统的推理	84
3.6.3	产生式系统举例	86
3.7	系统组织技术	90
3.7.1	议程表	90
3.7.2	黑板法	91
3.7.3	Δ -极小搜索法	91
3.8	不确定性推理	92
3.8.1	关于证据的不确定性	92
3.8.2	关于结论的不确定性	93
3.8.3	多个规则支持同一事实时的不确定性	93
3.9	非单调推理	95

3.9.1 默认推理	95
3.9.2 非单调推理系统	97
3.10 小结	99
习题 3	101
第 4 章 递阶控制系统	103
4.1 递阶智能机器的一般理论	103
4.1.1 递阶智能机器的一般结构	103
4.1.2 递阶智能机器的主要定义	106
4.1.3 IPDI 原理的解析公式	107
4.2 递阶智能控制系统的结构	108
4.2.1 组织级的结构	108
4.2.2 协调级的结构	112
4.2.3 执行级的结构	112
4.3 智能机器人系统的递阶控制模型	113
4.3.1 组织级的控制模型	114
4.3.2 协调级的控制模型	117
4.3.3 执行级的控制模型	120
4.4 递阶智能控制系统示例	121
4.4.1 智能机器人递阶装配系统	121
4.4.2 核反应堆的递阶控制	125
4.5 四层递阶控制系统举例	128
4.5.1 红旗自主车驾驶系统的组成	128
4.5.2 汽车自动驾驶控制系统的四层递阶结构	131
4.5.3 驾驶控制系统的结构与算法	133
4.5.4 自动驾驶系统高速公路试验	135
4.6 小结	137
习题 4	138
第 5 章 专家控制系统	139
5.1 专家系统	139
5.1.1 专家系统的特点	140
5.1.2 专家系统的结构与类型	141
5.1.3 建造专家系统的步骤与设计技巧	145
5.1.4 新型专家系统	147
5.2 专家控制系统	149
5.2.1 专家控制系统的控制要求与设计原则	150
5.2.2 专家控制系统的结构	152
5.2.3 专家控制系统的类型	155
5.2.4 专家控制器示例	156
5.3 专家规划器的设计与实现	158
5.3.1 规划系统结构和机理	159

5.3.2	ROPES 机器人规划系统	160
5.4	实时专家控制系统	164
5.4.1	实时控制系统的特点与要求	164
5.4.2	REICS 系统的结构	165
5.4.3	REICS 的设计与实现	166
5.4.4	REICS 系统的仿真与应用	171
5.5	小结	174
	习题 5	175
第 6 章	模糊控制系统	176
6.1	模糊控制的数学基础	176
6.1.1	模糊集合、模糊逻辑及其运算	176
6.1.2	模糊逻辑推理	179
6.1.3	模糊判决方法	181
6.2	模糊控制器的结构	182
6.2.1	模糊控制器的一般结构	183
6.2.2	PID 模糊控制器	184
6.2.3	自组织模糊控制器	185
6.2.4	自校正模糊控制器	186
6.2.5	自学习模糊控制器	187
6.2.6	专家模糊控制器	187
6.3	模糊控制器的设计	188
6.3.1	模糊控制器的设计内容与原则	189
6.3.2	模糊控制器的控制规则形式	192
6.4	模糊控制系统的设计方法	193
6.4.1	查表法	194
6.4.2	梯度下降法	195
6.4.3	递推最小二乘法	198
6.4.4	聚类法	200
6.4.5	模糊系统设计的其他方法	201
6.5	模糊控制器的设计实例	205
6.5.1	造纸机模糊控制系统的设计	205
6.5.2	直流调速系统模糊控制器的设计	209
6.6	模糊控制器的特性	211
6.6.1	模糊控制器的静态特性	212
6.6.2	模糊控制器的动态品质	214
6.6.3	模糊控制系统的可控性	218
6.6.4	模糊控制系统的鲁棒性	219
6.6.5	一类模糊控制系统在定向干扰下的可控性与鲁棒性	221
6.7	模糊控制系统应用举例	225
6.7.1	双支撑状态的两足机器人力控制问题	225

6.7.2	模糊变增益力控制原理	226
6.7.3	两足机器人控制的实现与结果	229
6.8	小结	230
	习题 6	230
第 7 章	神经控制系统	233
7.1	神经网络简介	233
7.1.1	人工神经网络研究的起源	233
7.1.2	用于控制的人工神经网络	233
7.2	人工神经网络的结构	234
7.2.1	神经元及其特性	234
7.2.2	人工神经网络的基本类型	235
7.2.3	人工神经网络的典型模型	236
7.3	人工神经网络示例及其算法	238
7.3.1	多层感知器(MLP)	238
7.3.2	数据群处理方法(GMDH)网络	239
7.3.3	自适应谐振理论(ART)网络	240
7.3.4	学习矢量量化(LVQ)网络	241
7.3.5	Kohonen 网络	242
7.3.6	Hopfield 网络	243
7.3.7	Elman and Jordan 网络	243
7.3.8	小脑模型连接控制(CMAC)网络	243
7.4	神经控制的结构方案	245
7.4.1	NN 学习控制	245
7.4.2	NN 直接逆控制	246
7.4.3	NN 自适应控制	247
7.4.4	NN 内模控制	248
7.4.5	NN 预测控制	249
7.4.6	NN 自适应判断控制	249
7.4.7	基于 CAMC 的控制	250
7.4.8	多层 NN 控制	251
7.4.9	分级 NN 控制	252
7.5	模糊逻辑、专家系统及神经网络在控制中的集成	253
7.5.1	模糊神经网络原理	254
7.5.2	模糊神经控制方案	255
7.6	神经控制器的设计实例	258
7.6.1	石灰窑炉神经内模控制系统的设计	258
7.6.2	神经模糊自适应控制器的设计	262
7.7	神经控制系统应用举例	266
7.7.1	水轮发电机双神经元同步控制系统	266
7.7.2	高速列车运行过程的直接模糊神经控制	269

7.8 小结	273
习题 7	274
第 8 章 学习控制系统	276
8.1 学习控制概述	276
8.1.1 什么是学习控制	276
8.1.2 为什么要研究学习控制	277
8.1.3 学习控制的发展	278
8.2 学习控制方案	279
8.2.1 基于模式识别的学习控制	280
8.2.2 反复学习控制	282
8.2.3 重复学习控制	284
8.2.4 基于神经网络的学习控制	285
8.3 学习控制的某些问题	285
8.3.1 学习控制系统的建模	286
8.3.2 学习控制的稳定性和收敛性分析	288
8.4 学习控制系统举例	295
8.4.1 自学习模糊神经控制模型	295
8.4.2 自学习模糊神经控制算法	296
8.4.3 弧焊过程自学习模糊神经控制系统	298
8.5 小结	299
习题 8	299
第 9 章 其他智能控制	300
9.1 仿人控制	300
9.1.1 仿人控制原理与原型算法	300
9.1.2 仿人控制器的属性与设计步骤	302
9.2 进化控制	303
9.2.1 遗传算法的基本原理	303
9.2.2 遗传算法的求解步骤	306
9.2.3 进化控制及其形式化描述	308
9.2.4 移动机器人进化控制系统的体系结构和算法	310
9.3 免疫控制	312
9.3.1 免疫算法的提出和定义	312
9.3.2 免疫算法的设计方法和参数选择	314
9.3.3 免疫控制的系统结构和计算框图	316
9.3.4 免疫控制系统示例	317
9.4 小结	318
习题 9	319
第 10 章 智能控制的应用与研究展望	320
10.1 智能控制的应用研究领域与现状	320
10.2 智能控制应用研究存在的问题	325

10.3 智能控制的进一步研究问题 325

10.3.1 智能控制将起越来越重要的作用..... 326

10.3.2 智能控制的进一步研究问题..... 326

10.4 展望智能控制的发展 328

10.4.1 寻求更新的理论框架..... 328

10.4.2 进行更好的技术集成..... 329

10.4.3 开发更成熟的应用方法..... 329

10.5 结束语 330

习题 10 331

参考文献..... 332

第1章 概 论

智能控制采用各种智能化技术实现复杂系统和其他系统的控制目标,是一种具有强大生命力的新型自动控制技术。尽管智能控制这门学科的建立还未满 20 年,但它的发展势头令人看好,其前景十分诱人。从智能控制的发展过程和已取得的成果来看,智能控制的产生和发展正反映了当代自动控制乃至整个科学技术的发展趋势,是历史的必然。智能控制能成为自动控制发展道路上的一个新的里程碑,发展成为一种日趋成熟和日臻完善的控制手段,并获得日益广泛的应用,是历史的选择,是不以人的意志为转移的。

长期以来,自动控制科学已对整个科学技术的理论和实践做出了重要贡献,并给人类的生、经济、社会、工作和生活带来了巨大利益。然而,现代科学技术的迅速发展和重大进步,已对控制和系统科学提出新的更高的要求,自动控制理论和工程正面临新的发展机遇和严峻挑战。传统控制理论,包括经典反馈控制、近代控制和大系统理论等,在应用中遇到不少难题。多年来,自动控制一直在寻找新的出路。现在看来,出路之一就是实现控制系统的智能化,以期解决面临的难题。

自动控制科学面临的困难及其智能化出路说明:自动控制既面临严峻挑战,又存在良好机遇。自动控制正是在这种挑战与机遇并存的情况下不断发展的。

1.1 人 工 智 能

1.1.1 人工智能的定义与发展

近 50 多年来,人工智能获得很大发展,它引起众多学科和不同专业背景学者们的日益重视,成为一门广泛的交叉和前沿科学。近些年来,现代计算机的发展已能够存储极其大量的信息,进行快速信息处理,软件功能和硬件实现均取得长足进步,使人工智能获得进一步的应用。尽管目前人工智能在发展过程中面临不少争论、困难和挑战,然而这些争论是十分有益的,这些困难已开始得到解决,这些挑战始终与机遇并存,并将推动人工智能的继续发展。可以预言:人工智能的研究成果将能够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。

1. 人工智能的定义

像许多新兴学科一样,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、进行讨论、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,提出了不同的观点,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,或者叫做逻辑

学派(Logicism)、仿生学派(Bionicsism)和生理学派(Physiologism)。此外还称它们为计算机学派、心理学派和语言学派等。将在 1.3 节中综述它们的基本观点。这里,结合自己的理解来定义人工智能,这些定义是比较狭义的。

定义 1.1 智能机器(Intelligent Machine)

能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务(Anthropomorphic Tasks)的机器。

定义 1.2 人工智能(学科)

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。它近期的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。

定义 1.3 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,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。

为了让读者对人工智能的定义进行讨论,以便更深刻地理解人工智能,下面综述其他几种关于人工智能的定义。

定义 1.4 人工智能是一种使计算机能够思维,使机器具有智力的激动人心的新尝试(Haugeland,1985)。

定义 1.5 人工智能是那些与人的思维、决策、问题求解和学习等有关活动的自动化(Bellman,1978)。

定义 1.6 人工智能是用计算模型研究智力行为(Charniak 和 McDermott,1985)。

定义 1.7 人工智能是研究那些使理解、推理和行为成为可能的计算(Winston,1992)。

定义 1.8 人工智能是一种能够执行需要人的智能的创造性机器的技术(Kurzweil,1990)。

定义 1.9 人工智能研究如何使计算机做事让人过得更好(Rick 和 Knight,1991)。

定义 1.10 人工智能设计和研究具有智能行为的计算机程序(Dean, Allen 和 Aloimonos, 1995)。

定义 1.11 人工智能是一门通过计算过程力图理解和模仿智能行为的学科(Schalkoff, 1990)。

定义 1.12 人工智能是计算机科学中与智能行为的自动化有关的一个分支(Luger 和 Stubblefield,1993)。

其中,定义 1.4 和定义 1.5 涉及拟人思维;定义 1.6 和定义 1.7 与理性思维有关;定义 1.8 至定义 1.10 涉及拟人行为;定义 1.11 和定义 1.12 与拟人理性行为有关。

2. 人工智能的起源与发展

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 年代至 40 年代的智能界,发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)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,与图灵(Turing)后来提出的逻辑机理不谋而合。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。在这方面的重点工作是关于计算和符号处理的理论概念。第一批数字计算机(实际上为数字计算器)看起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。道格拉斯·霍夫施塔特(Douglas Hofstadter)在1979年写的《永恒的金带》(An Eternal Golden Braid)一书对这些逻辑和计算的思想,以及它们与人工智能的关系给予了透彻而又引人入胜的解释。

到了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,年轻的美国学者麦卡锡(McCarthy)、明斯基(Minsky)、朗彻斯特(Lochester)和香农(Shannon)共同发起,邀请莫尔(More)、塞缪尔(Samuel)、艾伦·纽厄尔(Newell)和赫伯特·西蒙(Simon)等参加在美国的达特茅斯(Dartmouth)大学举办的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,首次使用了人工智能这一术语。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、计算机和神经学研究的年轻学者,后来绝大多数都成为著名的人工智能专家,40多年来为人工智能的发展做出重要贡献。

1969年召开了第一届国际人工智能联合会议(International Joint Conference on AI, IJCAI),此后每两年召开一次;1970年《人工智能》国际杂志(International Journal of AI)创刊。这些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。

值得一提的是控制论思想对人工智能早期研究的影响。正如纽厄尔和西蒙1972年在他们的优秀著作《人类问题求解》(Human Problem Solving)的“历史补篇”中指出的那样:本世纪中叶人工智能的奠基者们在人工智能研究中出现了几股强有力的思潮。维纳(Wiener)、麦卡洛克(McCulloch)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。我国优秀的科学家钱学森提出的“工程控制论”开辟了控制论的新分支,是对控制论的重大贡献。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。

最终把这些不同思想连接起来的是由巴贝奇(Babbage)、图灵、冯·诺依曼(Von Neuman)和其他一些人所研制的计算机本身。在机器的应用成为可行之后不久,人们就开始试图编写程序,以解决智力测验难题、下棋,以及把文本从一种语言翻译成另一种语言。这是第一批人工智能程序。对于计算机来说,促使人工智能发展的是什么?出现在早期设计中的许多与人工智能有关的计算概念,包括存储器和处理器的概念、系统和控制的概念,以及语言的程序级别的概念。不过,引起新学科出现的新机器的惟一特征是这些机器的复杂性,它促进了对描述复杂过程方法的新的更直接的研究(采用复杂的数据结构和具有数以百计的不同步骤的过程来描述这些方法)。

30多年来,人工智能的应用研究取得明显进展。首先,专家系统(Expert System)显示出强大的生命力。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。1972~1976年,费根鲍姆小组又开发成功 MYCIN 医疗专家系统,用于抗生素药物治疗。此后,许多著名的专家系统,如 PROSPECTOR 地质勘探专家系统、CASNET 青光眼诊断治疗专家系统、RI 计算机结构设计专家系统、MACSYMA 符号积分与定理证明专家系统、ELAS 钻井数据分析专家系统和 ACE 电话电缆维护专家系统等被相继开发,为工矿数据分析处理、医疗诊断、计算机设计、符号运算和定理证明等提供强有力的工具。1977年,费根鲍姆进一步提出了知识工程(Knowledge Engineering)的概念。在整个 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。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 3 个基本问题。

专家系统已经取得的突出成就就是人工智能生命力的一个重要表现,它正在向新的目标前进。一些新型结构、集成算法和新的应用领域正在开发和开辟。可以预言:专家系统将成为 21 世纪知识管理和智能决策的关键技术。

机器学习是继专家系统之后人工智能的又一重要应用领域。尽管机器学习比专家系统更早出现,但它的发展道路并不平坦,而是经历了起步、冷静、复苏和蓬勃发展等时期。神经网络在 20 世纪 80 年代的重新兴起、行为主义的强化学习新算法开发及遗传算法的改进与应用,为机器学习提供了新的得力工具,促进数据挖掘和知识发现的迅速发展。机器学习成为 20 世纪 90 年代人工智能最令人瞩目的发展领域。基于知识发现和数据挖掘的知识获取和机器学习方法已成为 21 世纪机器学习的一个重要研究课题,必将对人工智能的发展起到重要的推动作用。

尤其值得提到的是,在人工智能发展过程中具有重要意义的计算智能(Computational Intelligence)的提出和兴起,使人工智能发展成为一门具有比较坚实的理论基础和广泛应用领域的学科。计算智能的出现是信息科学与生命科学相互交叉、相互渗透和相互促进的产物,是生物信息学的主要研究内容之一。计算智能研究始于 1943 年麦卡洛克和皮茨(Pitts)提出的“似脑机器”,这是人工神经网络研究的初步发展。到了 20 世纪 80 年代,神经网络的研究进入一个新的阶段,它使连接主义成为人工智能的一个新学派。

除了以神经网络为基础的神经计算外,计算智能还包括模糊计算、模糊集理论、进化计算和遗传算法、群计算和自然计算等。其中,模糊计算是以扎德(Zadeh)于 1965 年提出的模糊集合为基础的,它也已得到深入研究、迅速发展和广泛应用。进化计算的研究始于 20 世纪 60 年代,并于 20 世纪 70 年代取得显著进展。进化计算和遗传算法试图模仿生物遗传学和自然选择机理,通过人工方式构造一种优化搜索算法,对生物进化过程进行数学仿真。自 1975 年霍兰德(Holland)提出遗传算法以来,经过近 30 年的开发,已发展到一个比较成熟的阶段,并在实际中得到很好的应用。

近十多年来,机器学习、计算智能、人工神经网络等和行为主义的研究深入开展,形成高潮。同时,不同人工智能学派间的争论也非常热烈。这些都推动人工智能研究的进一步发展。

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 年召开了智能计算机及其系统的全国学术讨论会;1986 年起把智能计算机系统、智能机器人和智能信息处理(含模式识别)等重大项目列入国家高技术研究计划;1993 年起,又把智能控制和智能自动化等项目列入国家科技攀登计划。进入 21 世纪后,已有更多的人工智能与智能系统研究获得各种基金计划支持。1981 年起,相继成立了中国人工智能学会(CAAI)、全国高