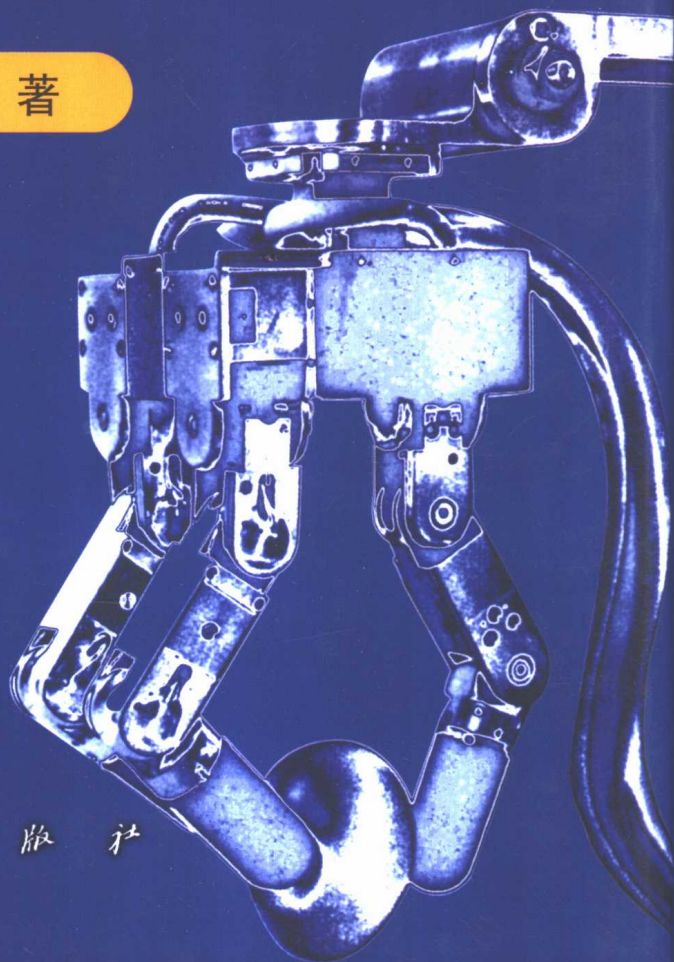


仿人智能控制

Human-Simulated Intelligent Control

李祖枢 涂亚庆 著



國防工業出版社

仿人智能控制

Human-Simulated Intelligent Control

李祖枢 涂亚庆 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

仿人智能控制/李祖枢,涂亚庆著. —北京:国防工业出版社,2003.1

ISBN 7-118-02888-6

I.仿... II.①李... ②涂... III.智能机器人
IV.TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 047897 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 12 $\frac{1}{2}$ 324 千字
2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷
印数:1—3000 册 定价:27.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	殷鹤龄			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	崔士义	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜

序 言

“智能控制”是人工智能理论研究和应用开发的重要领域,是自动控制向智能化高度发展的新领域。

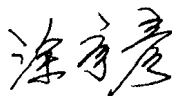
“智能控制系统”是采用人工智能与控制理论相结合的方法设计和实现的,是具有模拟、延伸与扩展人的控制功能和特性的新型控制系统。

“仿人智能控制”理论及应用研究由重庆大学周其鉴教授最早倡导和提出,经过他和他的学生们 20 年来的努力,取得了丰硕的成果,并已形成了较为系统的理论体系,是具有中国特色的智能控制。

《仿人智能控制》一书系统地论述了仿人智能控制的理论基础和工程应用,是在作者们关于智能控制的科研成果与教学经验的基础上,撰写的有关“仿人智能控制”的第一本学术专著。

《仿人智能控制》专著的出版,将对智能控制学科的发展及应用作出重要贡献。

中国人工智能学会理事长



前 言

自 1948 年维纳发表《控制论》著作以来,半个世纪过去了,伴随着科学技术的迅猛发展,控制理论经历了从经典控制理论发展到现代控制理论,从线性系统理论发展到非线性系统理论,从传统控制理论发展到大系统理论和智能控制理论的发展历程。大系统理论是传统控制理论在广度上的开拓,是用控制和信息的观点,研究各种大系统的结构方案、总体设计中的分解方法和协调等问题的技术基础理论。智能控制理论是传统控制理论在深度上的挖掘,是研究与模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律,研制具有某些拟人智能的工程控制与信息处理系统的认识论与方法论。我们认为,这里所说的智能控制应当包括分级递阶控制、模糊控制、专家控制、神经网络控制、仿人智能控制和拟人智能控制等。

在科学技术如此发达的今天,人类大脑的高超作用仍是不可忽视的重要因素。我们认为,迄今为止,世界上最高级、最有成效的控制器还是人类自身,因为人类具有比任何其他动物都发达的大脑。从行为上讲,人的智能具有多种智能的结构,即可分为语言智能、音乐智能、逻辑—数学智能、空间智能、身体—动觉智能和人格(人际)智能。所有人类的个体都具有这些智能。但由于遗传及后期学习训练的作用,使某些个体在某些智能方面的发展比其他个体要好。而人类在某些智能的杰出表现就是人工智能学科模拟模仿的目标。

人类认识世界和改造世界的过程可以说是一个从“知其然”到“知其所以然”的过程。人们对一件事情,首先是感知它、认识它、了解它及至模仿它、应用它,这就是一个“知其然”的过程;进而,为

了改造世界、创造世界,人们会对如何实施和完成这件事情的机理、实现程序以及证明性知识给予重视,掌握与了解,达到能重复它、控制它、改造它,这就是一个“知其所以然”的过程。例如,在实际生活中,许多人知道如何骑自行车,但对为什么自己能骑自行车,骑自行车过程的程序是如何执行的机理却缺乏了解。又如,我们中大多数人能从漫画家用简单的线条表现出的漫画中,识别出他所画的是什么人或物,以及其表达的含义,但是自己却不能画出来,也不知道为什么会是这样。当然他们也对画家如何实施或完成这一件事情时的实际程序和证明性知识,以及自己为什么能识别和理解画家的表现结果,即对识别和理解的机理这样的证明性知识,缺乏了解和了解的兴趣。一般的人往往只是对“知其然”的过程感兴趣,对“知其所以然”却缺乏关心。

大量的研究表明,在各个智能的内核中存在着一种运算能力和信息加工能力,它是这种智能所独有的,这种智能更复杂的实现与体现都是基于这种能力之上的。对人的智能的内核及其证明性知识的关心,即对人智能的“知其所以然”的关心,是人工智能学科的研究任务;而对人的身体—动觉智能的“知其所以然”的关心正是仿人智能控制的研究任务。

长期以来,人们从不同的角度和不同的层次对人工智能进行了研究。对应于人脑思维的不同侧面,形成了所谓符号主义、连接主义和行为主义的研究方法;对应于人脑信息处理的方法,形成了所谓符号智能和计算智能的分类;对应于多种智能的概念,产生了不同的相应的具体研究领域,例如:

- 1) 计算机作曲、演奏、计算机听觉(人工音乐智能);
- 2) 模式识别、图像处理 and 计算机视觉(人工空间智能);
- 3) 语言识别、自然语言理解与生成(人工语言智能);
- 4) 博弈论、自动定理证明和自动程序设计(人工逻辑—数学智能);
- 5) 智能控制(人工身体—动觉智能);
- 6) 专家系统、虚拟现实技术(人工人格智能);

- 7) 智能机器人(人工多种智能的综合);
- 8) 智能自动化(人工多种智能的综合应用)。

智能控制系统是模仿、延伸和扩展人的身体—动觉智能的人工智能系统。分级递阶智能控制模拟人脑的分层结构,由执行级、协调级和组织级构成。模糊控制是从行为上模拟人的模糊推理和决策过程的一种实用控制方法。专家控制是将人的感性经验(浅层知识)和定理算法(深层知识)结合的一种智能控制方法。神经网络控制是从机理上对人脑生理系统进行简单结构模拟的一种控制和辨识方法。仿人智能控制是重庆大学周其鉴教授于 20 世纪 80 年代初提出的,最基本的思想就是从行为功能和结构功能上仿人(或广义讲仿生)、仿智。拟人智能控制是北京科技大学涂序彦教授最先提出的,是指模拟、延伸和扩展人的智能和人控制器的一种控制方法。本书定义仿人智能控制是能在适应环境变化的过程中模仿人和动物所表现出来的优秀控制能力(动觉智能)的控制。

仿人智能控制理论把人工智能与计算机科学技术引入自动控制,在对人的控制结构宏观模拟的基础上研究人的行为功能并加以模拟和实现,其最大特点在于从分层递阶智能控制系统的最低层次着手,把人工智能技术不仅用于高的层次上,而且也用于运行控制级。计算机硬软件技术与微电子学的迅猛发展,为仿人智能控制的实现奠定了基础。仿人智能控制理论视智能控制为对控制问题求解的二次映射的信息处理过程,即从“认知到判断”的定性推理过程和从“判断到操作”的定量控制过程,仿人智能控制不同于传统的控制方法,它不仅具有模糊控制理论那样的并行、逻辑控制和语言控制的特点,而且还具有以数学模型为基础的传统控制理论那样的解析定量控制的特点。

仿人智能控制理论认为在对人的控制结构宏观模拟的基础上研究人的控制行为功能并加以模拟和实现,是当前研究智能控制的重要方向。在结构和功能上,智能控制器的基本特点是:

- 分层的 信息处理和决策机构(高阶产生式系统结构);
- 在线的特征辨识和特征记忆;

开、闭环控制结合和定性决策与定量控制结合的多模态控制；启发式和直觉推理逻辑的应用。

从控制理论的观点上看,这里出现了一系列新概念和新方法。其中,启发与直觉推理逻辑由产生式规则描述;特征辨识和记忆根据系统动态特征模型在线进行;特征模型的建立与模式识别和知识表示技术息息相关;开、闭环结合,定性决策与定量控制结合的多模态控制,充分利用了传统控制理论的成果;分层递阶(高阶产生式)的信息处理与决策机构需要计算机软、硬件及其发展的支持。应当说这一切充分体现了人工智能、控制理论和计算机科学技术的交叉和结合。

本书是作者对仿人智能控制 20 年研究成果的系统提炼与总结;在撰写的过程中,结合了自己多年来的研究生教学实践,以及作者的同仁们与研究生们的研究实践;参阅了国内外相关文献资料而完成的,也可以说是集体智慧的结晶。全书共 8 章,第 1 章绪论主要介绍了仿人智能控制的认识论与方法论以及发展的历史与背景;第 2 章描述了仿人智能控制研究与模仿的对象,人的身体—动觉智能;第 3 章~5 章是仿人智能控制理论主要内容,包括它的基本概念、基本原理、设计方法和稳定性理论;第 6 章~8 章列举了仿人智能控制在一些典型的难控对象上的应用。原计划还有一章内容介绍与仿人智能控制学科相关的理论基础,包括模式识别、人工智能与知识工程、模糊逻辑、神经网络以及思维科学和人工生命等,由于篇幅所限,现已删除,为此如给读者造成阅读本书的不便敬请原谅。

周其鉴教授是仿人智能控制的缔造者,是作者的恩师,作者跟随周其鉴教授从事仿人智能控制理论与应用研究 20 来年。作者的心愿是将本书的出版作为对恩师的答谢和向老师 80 寿辰的献礼。由于智能控制是一门形成不久的新学科,发展很快,特别是仿人智能控制还有许多未完善的地方,这也是作者多年来一直想写此书,但又迟迟未敢动笔的原因。如今,撰写此书也仅仅是作者的一次初步尝试,作为抛砖引玉,定有许多不妥之处,敬请读者批评

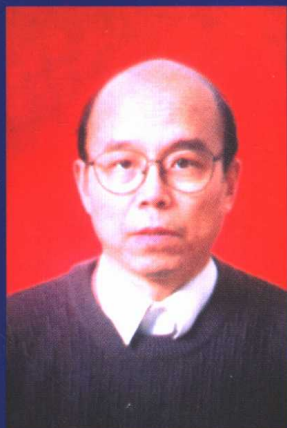
指教。

全书整体结构和主要内容由重庆大学李祖枢教授为主、后勤工程学院涂亚庆教授为辅完成,其中第2、8章由李祖枢教授完成;第1、3、4、5、6、7章由李祖枢教授和涂亚庆教授共同完成。

仿人智能控制基础理论研究得到了国家自然科学基金的立项资助,本书中介绍的理论及应用成果都与国家自然科学基金的支持相关,本书的出版又得到了总装备部国防科技图书出版基金的支持,在此著者一并表示衷心的感谢!

重庆大学温永玲教授校阅了全书,研究生谢健、曾泊等同学在绘图和文字录入方面作了大量工作。北京科技大学涂序彦教授、清华大学孙增圻教授审阅了全书,涂序彦教授还为本书作了序,在此作者也一并表示衷心的感谢。

李祖枢 涂亚庆



李祖枢，1945年生于重庆，1967年毕业于四川大学物理系，1981年获重庆大学自动化系控制理论及应用专业工学硕士学位，1988年4月-6月、1991年4月1992年4月为日本国东北大学工学部客员研究员，现任重庆大学自动化学院教授、博士生导师，智能自动化研究所所长，中国自动化学会智能自动化专委会、计算机应用专委会委员，中国人工智能学会理事；已发表学术论文70余篇，获部省级科技进步三等奖三个；主要研究领域为自动控制、人工智能、虚拟现实技术、智能控制与智能自动化、人工生命与仿人智能系统。



涂亚庆，1963年生于重庆，1984年在成都科技大学自动控制工程专业获工学学士学位，1991年在重庆大学自动控制理论及应用专业获工学硕士学位，1994年在重庆大学精密仪器及机械专业获工学博士学位。现为后勤工程学院教授、博士生导师，已发表论文百余篇，编著2本（[光纤智能结构]和[分布式控制系统设计与应用]）。主要研究领域为自动控制和仪器仪表，感兴趣研究方向为智能控制与人工智能、智能结构与光纤传感。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 控制理论的发展概况	1
1.2 智能控制发展的认识论与方法论	4
1.2.1 智能控制发展的背景	4
1.2.2 关于人工科学	13
1.3 智能与人工智能	27
1.3.1 智能与人体智能的“多种智能结构”	27
1.3.2 人工智能与智能系统	33
1.3.3 智能自动化	35
1.4 智能控制	36
1.4.1 智能控制的产生与发展	36
1.4.2 智能控制的定义	39
1.4.3 智能控制的基本要素	40
1.4.4 智能控制的学科结构	41
1.4.5 智能控制的主要研究内容	43
1.4.6 智能控制研究的基本方法	48
1.4.7 智能控制的发展趋势	51
第 2 章 人体运动控制系统与身体—动觉智能	54
2.1 神经分区运动控制的多级递阶结构	56
2.1.1 高级神经控制中枢——脑	56
2.1.2 低级神经控制中枢——脊髓	59
2.1.3 外周神经系统、感受器和效应器	61
2.1.4 神经系统的基本单元——神经元	62
2.1.5 人体控制系统中的反射弧与反射控制	65

2.2	人体动觉控制体系的构造与功能	66
2.2.1	人体感觉与运动控制系统的结构	66
2.2.2	运动控制的执行及其参数的校正或调节	73
2.2.3	小脑模型及其控制回路	84
2.3	人的身体动觉智能	90
2.3.1	人对自身身体运动的控制能力	91
2.3.2	人熟练操作对象的控制能力	92
2.3.3	身体运动中大脑的智能控制作用	94
第3章	仿人智能控制的基本原理	96
3.1	引言	96
3.2	仿人智能控制器的原型	98
3.2.1	基本算法和静特性	98
3.2.2	动态特性分析	102
3.2.3	仿人智能控制器原型中的智能属性	104
3.3	特征模型、特征辨识与特征记忆	105
3.3.1	特征信息与特征模型	105
3.3.2	特征辨识、特征记忆与模式识别	119
3.4	多模态控制与多目标决策	121
3.4.1	多模态控制	121
3.4.2	典型的仿人智能控制模态基元	123
3.4.3	多模态控制与多指标的兼顾	131
3.5	启发式搜索与直觉推理	134
3.5.1	使用启发式搜索的必要性	135
3.5.2	基本搜索策略	136
3.5.3	启发性搜索策略	143
3.5.4	直觉推理	144
3.6	分层递阶的信息处理和决策机构	145
3.6.1	产生式系统	146
3.6.2	高阶产生式系统	148
3.6.3	仿人智能控制器的高阶产生式系统结构	149

第4章 仿人智能控制的设计理论	152
4.1 仿人智能控制的瞬态性能指标——理想的 误差时相轨迹	152
4.2 仿人智能控制系统的设计方法	157
4.2.1 被控对象的“类等效”简化模型	157
4.2.2 被控对象的模型处理	158
4.2.3 仿人智能控制器设计的基本步骤	159
4.3 一类伺服对象的仿人智能控制器算法设计	161
4.3.1 运行控制级设计	162
4.3.2 参数校正级设计	164
4.3.3 任务适应级设计	170
4.3.4 仿真示例	176
4.4 计算机辅助设计	179
4.4.1 引言	179
4.4.2 辅助设计的思想	180
4.4.3 辅助设计的方法	181
4.4.4 总体结构和功能	185
4.4.5 知识库的组织及其管理	189
第5章 仿人智能控制的稳定性监控	198
5.1 引言	198
5.2 智能控制系统稳定性分析基础	199
5.2.1 智能控制系统的智能性	199
5.2.2 智能控制系统的能控性	202
5.2.3 智能控制规律的一般描述形式	203
5.2.4 智能控制系统稳定性的定性分析	204
5.3 智能控制系统稳定性分析研究概况	205
5.3.1 基于李雅普诺夫函数的智能控制系统稳定性 分析	205
5.3.2 基于信息处理结构模式的智能控制系统稳定 性分析	208