

国家级精品课程“智能控制”配套教材
国家级精品资源共享课“智能控制”配套教材

INTELLIGENT CONTROL:
PRINCIPLES AND APPLICATIONS
Second Edition

智能控制原理与应用
(第2版)

蔡自兴 等 编著 Cai Zixing



国家级精品课程“智能控制”配套教材
国家级精品资源共享课“智能控制”配套教材

INTELLIGENT CONTROL: PRINCIPLES AND APPLICATIONS

Second Edition

智能控制原理与应用 (第2版)

蔡自兴 余伶俐 肖晓明 编著

Cai Zixing Yu Lingli Xiao Xiaoming



浙江工业大学图书馆



72018133

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍智能控制的基本原理及其应用,着重介绍各种智能控制系统的基本概念、工作原理、技术方法与应用。全书共10章,涉及递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统、学习控制系统、多真体(MAS)控制系统、进化控制系统、免疫控制系统、网络控制系统以及复合智能控制系统的控制机理、类型结构、设计方法和应用示例等,反映国内外智能控制研究和应用的最新进展。与第1版相比,许多章节内容得到更新。全书系统全面、内容新颖、编排合理、可读性强,是一部高水平的智能控制教材。

本书可作为高等院校自动化、电气工程与自动化、智能科学与技术、测控工程、机电工程、电子工程等专业本科生智能控制类课程教材,也可作为硕士和博士学位智能控制、智能系统等课程的教材与教学参考书,还可供从事智能控制和智能系统研究、设计、应用的科技工作者阅读与参考。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

智能控制原理与应用/蔡自兴,余伶俐,肖晓明编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-34090-4

I. ①智… II. ①蔡… ②余… ③肖… III. ①智能控制—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第240312号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.25 字 数:554千字

版 次:2007年11月第1版 2014年1月第2版 印 次:2014年1月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:39.50元

产品编号:054159-01

序

PREFACE

我与蔡自兴教授相识已有 20 多年,日前,蔡教授邀请我为他编著的即将在清华大学出版社出版的《智能控制原理与应用》第 2 版作序。对此,我感到由衷高兴,又觉得责任重大。高兴的是,老朋友的重要著作即将推出新版,为我国智能控制学科发展再谱新篇,做出新的贡献。能够和他的新篇作序,怎能不感到满心喜悦呢! 责任重大在于,这部书及其作者都是很有分量的。20 世纪 80 年代初期,蔡先生受祖国派遣,远渡重洋赴美国普度大学研修人工智能和智能控制,师从国际智能模式识别和智能控制的奠基者、美国国家工程科学院院士傅京孙教授。在美国研修期间和回国以后,他在智能科学科研与教育园地上一直辛勤耕耘,取得丰硕成果,已成为国内同行公认的我国智能控制学科的著名科学家。他在智能科学技术学科领域,先后编著与出版了 30 多卷著作,培养了成千上万高水平专业人才,已是著作等身,桃李满天下! 蔡教授是我国首部智能控制著作作者,国家级精品课程“智能控制”教材和国家级精品资源共享课程“智能控制”的主持者及其教材的编著者,还是全国高等学校首届国家级教学名师。为智能控制学科领域功勋卓著的老朋友作序,怎能不感到如负重担呢?

《智能控制原理与应用》第 2 版介绍智能控制的基本概念、工作原理、技术方法与应用。全书共 10 章,涉及智能控制的起源、定义、特点、结构、分类、发展和智能控制的学科结构理论,递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统、学习控制系统、多真体控制、进化控制、免疫控制、网络控制和复合控制的作用机理、类型结构、设计方法、控制特性和应用示例。与第 1 版相比,作者对模糊控制系统、神经控制系统和网络控制系统 3 章进行重要修改与补充,加强了计算与设计内容,其他各章也做了必要的调整。因此,新版内容是十分新颖的,反映出国内外智能控制研究和应用的最新进展。在我看到的国内智能控制教材中,此书是系统性、内容全面性、可读性等诸方面堪称一流的精品之作,是智能控制课程的优秀教材,值得广大师生和智能控制工作者学习与参考。

本新版教材的出版必将为我国智能控制学科研究及智能控制教学、人才培养和知识传播做出新的贡献,并促进智能控制科学与技术的进一步发展。

中国科学院院士

北京控制工程研究所研究员

吴宏鑫

2013 年 6 月于北京

前言

FOREWORD

《智能控制原理与应用》第1版于2007年在清华大学出版社出版,至今已有6个年头了。为了反映国内外智能控制的最新进展,满足国内科学研究和课程教学的需要,有必要对该书进行修订并出版第2版。

《智能控制原理与应用》第2版介绍智能控制的基本原理及其应用,着重讨论智能控制几个主要系统的原理、方法及应用。所涉及智能控制系统依次包括递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统、学习控制系统、多真体(MAS)控制系统、进化控制系统、免疫控制系统、网络控制系统以及复合智能控制系统等。本书相当大一部分内容是作者及其研究团队近年来的研究成果,反映出国内外智能控制研究和应用最新进展。特别是作为国家级精品课程、国家级精品资源共享课程,作者把教学团队智能控制课程教学改革成果融入本教材。本次修订,对全书进行了较大更新,特别突出了计算智能(软计算),加强了模糊控制系统和神经控制系统的计算和MATLAB工具的应用指导,充实了网络控制系统内容等。在内容编排上也做了一些调整与增删,例如删除“仿人控制”和“展望”两章,把“仿人控制”的部分内容并入“复合控制”,把“展望”的部分内容调入第1章“概论”,把“集散控制系统”从第1章调至第9章“网络控制”等。此外,为了把本书主要读者对象从研究生转换为本科生,删除了第1版中一些比较深奥的内容,如系统建模、决策模型、稳定性和鲁棒性分析等。这样,在保持本书固有特色的基础上,精炼了内容,增加了训练,吸收了新知识,更加适合作为本科生教材,有利于提高课程教学质量和本科生培养质量。

本书第1版由蔡自兴编著,第2版由蔡自兴全面负责修订与统稿。其中,第4章(模糊控制系统)由肖晓明修订,第5章(神经控制系统)由余伶俐修订。他们两人还负责本书附录的编写工作。谷明琴、郭璠和李昭协助本书“网络控制系统”一章的修订。吴冰璐、马超等协助部分文字输入和插图绘制工作。

本书作为高等院校自动化、电气工程与自动化、智能科学与技术、测控工程、机电工程、电子工程等专业本科生智能控制类课程教材,也可供从事智能控制和智能系统研究、设计、应用的科技工作者阅读与参考,还可作为硕士和博士学位课程智能控制、智能系统等课程的教学参考书以及博士生和硕士生入学课程考试参考书。

值此新版著作出版之际,想向广大读者汇报我的智能控制著作编著与出版情况,展现这些著作的来龙去脉。实际上,本书是我在国内外出版的智能控制著作的第8个版本:(1)智能控制,电子工业出版社,1990;(2)Intelligent Control: Principles, Techniques and Applications, World Scientific Publishers,

1997; (3) 智能控制——基础及应用, 国防工业出版社, 1998; (4) 智能控制, 第2版, 电子工业出版社, 2004; (5) 人工智能控制(研究生用书), 化学工业出版社, 2005; (6) 智能控制原理与应用, 清华大学出版社, 2007; (7) 智能控制导论, 中国水利水电出版社, 2007; (8) 智能控制原理与应用, 第2版, 清华大学出版社, 2013。这些智能控制著作的编著与出版, 得到众多专家、学者和相关部门领导、同人的支持与帮助, 受到高校广大师生和其他读者的热情欢迎和普遍使用, 为我国智能控制学科建设、课程建设和人才培养做出了应有的贡献。谨对各位专家、领导、编辑、师生和其他读者致以衷心感谢!

在本书第2版修订出版过程中, 又得到许多专家和同人的有力帮助。我国航天智能控制的先行者和奠基人、中国科学院院士、北京控制工程研究所吴宏鑫研究员在百忙中为本书热情作序; 清华大学出版社王一玲编审等为本书的编辑和出版付出辛勤劳动; 国内外许多智能控制专著、教材和论文的作者为本书提供了丰富的营养, 使我们受益匪浅。我们对所有这些支持与帮助表示诚挚感谢!

本书第2版的修订与出版, 也是献给龙年九、十月先后问世的我的小孙女和小孙子的一份礼物。他们的平安诞生和健康成长, 使我们感到生活更加美满与温馨。

由于修订时间比较匆忙, 一些新资料未能及时收集与消化, 因此本书一定存在一些不足之处, 诚恳地欢迎广大专家、高校师生和其他读者提出宝贵意见, 供下次修订时参考与借鉴。

蔡自兴

2013年7月

于长沙岳麓山

第一版前言

FOREWORD

近代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。人类历史上从来没有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，如雨后春笋破土而出，似百花争艳迎春怒放。

作为智能科学领域的一位探索者，我对地球这一自然界上的生命、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。

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。

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新高级产品——人类。人类经过长期进化，通过自然竞争和自然选择，成为当今最有智慧的高级生物种群。人类智能是这种自然过程的造物，用控制的术语来说，人类智能具有传感性能的分布特性和控制机制的鲁棒特性。人类的认知能力是保藏在以大脑为中心的“碳素计算机”中。大脑通过诸如视觉、听觉、触觉、味觉和嗅觉等各种自然传感机制来获取环境信息，借助智能而集成这些信息并对信息提供适当的解释。然后，认知过程进一步提升这类特性为学习、记忆和推理能力，并通过分布在中枢神经系统内的复杂神经网络产生适当的肌肉控制，产生相应的行为或动作。正是这种认知过程和智能特性，使人类在许多方面成为有别于其他生灵的高级动物。

伴随着人类的进化，人类智慧逐步提高。人类正从大自然学习并力图通过机器来模仿自身的认知过程和智能。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、互联网、数据挖掘、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。可以把智能控制系统这个主题看作智能机器这个广阔领域的一个子集。智能自动化技术已成为高级决策的必不可少的得力工具。

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。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,我们切不可怠慢。作为机器的主人,我们要以新的成就和实力,继续赢得机器对人类的尊敬,使智能机器和智能系统永远听从人类的指挥,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化服务。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。

控制科学和技术在 20 世纪经历了最重要的发展过程,发生了许多重要事件。从 20 世纪 40 年代至 60 年代,控制学科研究线性和非线性控制机理。这类控制器的设计主要是建立在频域模型基础上的。60 年代至 80 年代,控制系统领域获得迅速发展,引入了许多新的理论创新。这些创新包括状态空间模型的应用、可控性和可观性概念的开发以及最优和随机控制理论的演化等。其中某些成果被应用于过程控制和航空航天制导。在此期间,还提出了一些新的概念,如自适应、自学习、最优性和鲁棒性等。然而,受控装置和随机环境的模型是根据其物理特性通过离线和在线参数估计而建立的,所有控制方法仍然严重地依赖于数学模型。

从 1980 年起,控制学科获得快速发展,提出许多创新理论,包含了老策略与新技术(如应用知识库、模糊逻辑和神经网络等)的融合。可以把这些新出现的理论归类于智能控制领域。实际上,现在智能控制已成为一个很有名的术语,并被控制系统科学家们广为研究和接受。尽管这些理论发展的某些方面仍然采用基于模型控制的老概念,但出现在该领域的许多新观念正导致非模型控制。在设计基于模型的控制器时,设计者采用了受控装置及其环境的先验知识,这类知识通过装置及其环境的物理特征,或通过实验、辨识和估计来积累。非模型控制方法与在线学习机制相结合。神经网络和模糊逻辑领域出现的技术创新,有助于促进自主机器人系统向智能控制领域发展。近年来智能控制的某些技术由生物学所固有的控制机理激发而产生的,其中,进化控制和免疫控制是基于生物机理激发的控制的代表。

智能控制系统表现出许多系统科学家和应用数学家所积累的知识,特别是从 20 世纪 60 年代起这些科学家首次提出学习和适应这类术语,对一般研究领域和智能系统做出了贡献。细心的读者可能会发现,在智能控制的背后是反馈这一传统概念。反馈一直为我们所用,而且是所有人工控制机制的固有基础。实际上,反馈不仅对包括智能控制在内的自动控制起到重大作用,而且在发展和推进人类现代物质文明和精神文明方面正在起到日益重要的作用。可以预言,具有复杂反馈机制的智能控制必将对 21 世纪高文明和高技术的社会起到举足轻重的作用。

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,我在美国普度

(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了。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,两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编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萨里迪斯(G. N. Saridis)和桑德森(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年年底和1998年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以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以及智能控制的研究与应用展望等。我们的期望目标是:编写出反映新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研究生教材,争取为我国智能控制课程建设、教材建设以至学科建设做出新的贡献。

为了编好本教材,这两年来作者进行了深入的调研和充分的准备,其中包

括 2004 年夏赴俄罗斯访问研究和 2005 年夏赴美国访问研究。特别是在俄罗斯科学院圣彼得堡信息学与自动化研究所和美国 CASE 大学(CWRU)的研究,为本教材的编写提供了大量的第一手宝贵资料。

本书介绍智能控制的基本概念、工作原理、技术方法与应用。全书共 12 章。第 1 章介绍智能控制的概况,包括智能控制的起源与发展、智能控制的定义、特点、结构和分类,尤其是智能控制的学科结构理论。第 2 章至第 10 章逐一研究了递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经控制系统、学习控制系统、仿人控制、基于 MAS 的控制、进化控制与免疫控制以及基于 Web 的控制的作用机理、类型结构、设计方法、控制特性和应用示例。第 11 章讨论了复合智能控制。第 12 章探讨智能控制进一步研究的问题,并展望智能控制的发展方向。书中很大一部分章节内容是十分新颖的,反映出国内外智能控制研究和应用的最新进展,是国内外内容最新的一部智能控制教材。

综上所述,智能控制已颇具学科体系,包括基础理论、技术方法和实际应用诸方面。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、进化计算和免疫计算等)和机器学习等。在技术方法方面,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、进化控制、免疫控制、基于 Web 的控制和基于 MAS 的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和谐发展的典范。

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,蔡竞峰、王勇、龚涛、周翔、文敦伟以及蔡清波博士等以不同形式参与了本书部分内容的编写工作。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。与其他智能控制教材相比,很多内容是以前没有的,水平也有明显提高。例如,基于 Web 的控制、基于 MAS 的控制、进化控制、免疫控制等都有很大的编写难度。对原有的智能控制系统,也补充不少新内容。

本教材各版本的编写和本人的智能控制研究工作,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。K. S. Fu、A. C. Sanderson、A. B. Тимофеев、常迥、戴汝为、冯纯伯、高为炳、郭雷、何继善、胡启恒、黄伯云、黄琳、李德毅、李衍达、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、李祖枢、梁天培、饶立昌、施鹏飞、谭铁牛、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、M. M. Gupta、C. J. Harris、M. Jamshidi、D. Katic、A. M.

Meystel、R. Mohammad、C. G. Moore、N. Wiener、G. N. Saridis、N. K. Sinha、L. A. Zadeh、A. Zilouchian、陈曦、傅明、李人厚、李士勇、李祖枢、陆汝铃、罗公亮、莫宏伟、秦世引、瞿志华、史忠植、宋健、孙增圻、王立新、王耀南、徐丽娜、阎平凡、杨汝清、易继锴、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特别贡献。余伶俐、曾威、龚涛、李仪、王勇、夏洁、江中央等精心打印了部分书稿。清华大学出版社的有关领导和编辑也为本书的编辑出版付出了辛勤劳动。在此,也向他们深表谢意。

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、国家精品课程工程、湖南省精品课程以及中南大学精品课程和教改项目对本研究的支持。

本书的编著和出版是献给我的两位新问世的可爱孙子的最好礼物,祝贺他们的诞生,祝愿他们茁壮成长。

今年是我从事信息科学研究 50 周年和从事高等教育工作 45 周年。愿借本书出版的机会,向所有教导过我的老师,向所有教育、鼓励、支持和帮助过我的领导、朋友和亲人,向所有与我合作和交流过的同行和合作者,向所有我的学生们表示最诚挚的感谢。

本书覆盖了智能控制领域各种广泛的主题。希望这 12 章内容能够为在蓬勃发展的智能控制学科领域学习与工作的师生、研究者和工程师们服务,做出应有贡献。本书作为高等学校自动化、自动控制、机电工程和电子工程类专业研究生的《智能控制》教材,也可供从事智能控制、人工智能与智能系统研究、开发和应用的科技工作者参考使用。在使用本教材时,欢迎登录国家精品课程《智能控制》网址: <http://netclass.csu.edu.cn/jpkc2006/ic/index.htm>,并请批评指正。

尽管智能控制已获得很大发展,但它仍然是一门十分年轻的学科,仍处于欣欣向荣的发展时期,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。加上编写时间很紧,作者知识和水平有限,书中存有不足之处在所难免,热忱欢迎各位专家、教授和广大读者赐正。

蔡自兴

2007 年 6 月

于中南大学

目 录

CONTENTS

第 1 章 概论	1
1.1 智能控制的产生与发展	1
1.1.1 自动控制的机遇与挑战	2
1.1.2 智能控制的发展和作用	4
1.2 智能控制的定义、特点、一般结构与分类	7
1.2.1 智能控制的定义、特点与评价准则	7
1.2.2 智能控制器的一般结构	8
1.2.3 智能控制系统的分类	9
1.3 人工智能学派理论与计算方法	12
1.3.1 人工智能的学派理论	12
1.3.2 人工智能与智能控制的计算方法	13
1.4 智能控制的学科结构理论体系	14
1.4.1 二元交集结构理论	14
1.4.2 三元交集结构理论	15
1.4.3 四元交集结构理论	16
1.5 本书概要	19
习题 1	20
第 2 章 递阶控制系统	21
2.1 递阶智能机器的一般理论	21
2.1.1 递阶智能机器的一般结构	22
2.1.2 递阶智能机器的信息论基础	24
2.1.3 IPDI 原理的解析公式	25
2.2 递阶智能控制系统的原理与结构	26
2.2.1 组织级原理与结构	26
2.2.2 协调级原理与结构	30
2.2.3 执行级原理与结构	30
2.3 递阶智能控制系统举例	31
2.3.1 汽车自动驾驶系统的组成	31
2.3.2 汽车自动驾驶系统的递阶结构	33
2.3.3 自动驾驶系统的软件结构与控制算法	35
2.3.4 自动驾驶系统的试验结果	36

2.4 小结	37
习题2	38
第3章 专家控制系统	39
3.1 专家系统的基本概念	39
3.1.1 专家系统的定义与一般结构	39
3.1.2 专家系统的建造步骤	42
3.2 专家系统的主要类型与结构	43
3.2.1 基于规则的专家系统	43
3.2.2 基于框架的专家系统	44
3.2.3 基于模型的专家系统	47
3.3 专家控制系统的结构与设计	48
3.3.1 专家控制系统的结构	49
3.3.2 专家控制系统的控制要求与设计原则	54
3.3.3 专家控制系统的设计问题	56
3.4 专家控制系统的建模	58
3.4.1 受控对象模型	58
3.4.2 专家控制器的模型	59
3.4.3 专家控制系统模型	63
3.5 专家控制系统应用举例	65
3.5.1 实时控制系统的特点与要求	65
3.5.2 高炉监控专家系统	66
3.6 小结	71
习题3	71
第4章 模糊控制系统	73
4.1 模糊数学基础	73
4.1.1 模糊集合及其运算	73
4.1.2 模糊关系与模糊变换	76
4.1.3 模糊逻辑语言与推理	79
4.2 模糊控制系统原理与结构	85
4.2.1 模糊控制原理	85
4.2.2 模糊控制系统的原理结构	86
4.3 模糊控制器的设计内容	92
4.3.1 模糊控制器的设计内容与原则	92
4.3.2 模糊控制器的控制规则形式	96
4.4 模糊控制系统的设计方法	97
4.4.1 模糊系统设计的查表法	97
4.4.2 模糊系统设计的梯度下降法	98

4.4.3	模糊系统设计的递推最小二乘法	101
4.4.4	模糊系统设计的聚类法	102
4.5	模糊控制器的设计实例与实现	103
4.5.1	造纸机模糊控制系统的设计与实现	104
4.5.2	直流调速系统模糊控制器的设计	108
4.6	MATLAB 模糊控制工具箱	110
4.7	小结	112
习题 4		113
第 5 章	神经控制系统	116
5.1	人工神经网络概述	116
5.1.1	神经元及其特性	117
5.1.2	人工神经网络的基本类型和学习算法	118
5.1.3	人工神经网络的典型模型	121
5.1.4	基于神经网络的知识表示与推理	125
5.2	神经控制的结构方案	129
5.2.1	NN 学习控制	129
5.2.2	NN 直接逆模控制与内模控制	130
5.2.3	NN 自适应控制	131
5.2.4	NN 预测控制	132
5.2.5	基于 CAMC 的控制	133
5.2.6	多层 NN 控制和分级 NN 控制	134
5.3	神经控制系统的设计	136
5.3.1	石灰窑炉神经内模控制系统的设计	136
5.3.2	神经模糊自适应控制器的设计	140
5.3.3	神经控制系统应用举例	144
5.4	MATLAB 神经网络工具箱及其仿真	147
5.4.1	MATLAB 神经网络工具箱图形用户界面	147
5.4.2	基于 Simulink 的神经网络模块工具	147
5.5	小结	150
习题 5		150
第 6 章	学习控制系统	153
6.1	学习控制概述	153
6.1.1	学习控制的定义与研究意义	153
6.1.2	学习控制的发展及其与自适应控制的关系	155
6.1.3	控制律映射及对学习控制的要求	157
6.2	学习控制方案	159
6.2.1	基于模式识别的学习控制	160

6.2.2	迭代学习控制	162
6.2.3	重复学习控制	165
6.2.4	增强学习控制	166
6.2.5	基于神经网络的学习控制	169
6.3	学习控制系统应用举例	169
6.3.1	无缝钢管张力减径过程壁厚控制迭代学习控制算法	169
6.3.2	钢管壁厚迭代学习控制的仿真及应用结果	171
6.4	小结	174
	习题 6	175
第 7 章	多真体控制系统	176
7.1	分布式人工智能与真体	176
7.1.1	分布式人工智能	176
7.1.2	agent 及其特性	177
7.1.3	真体的结构	180
7.2	真体的通信	183
7.2.1	真体通信的类型和方式	183
7.2.2	真体的通信语言	185
7.3	多真体系统	186
7.3.1	多真体系统的模型和结构	187
7.3.2	多真体系统的协作、协商和协调	188
7.3.3	多真体系统的学习与规划	191
7.4	多真体控制系统的工作原理	191
7.4.1	MAS 控制系统的基本原理和结构	192
7.4.2	MAS 控制系统的信息模型	195
7.5	MAS 控制系统的设计示例	197
7.6	小结	202
	习题 7	203
第 8 章	进化控制与免疫控制	205
8.1	遗传算法简介	205
8.1.1	遗传算法的基本原理	205
8.1.2	遗传算法的求解步骤	208
8.2	进化控制基本原理	211
8.2.1	进化控制原理与系统结构	211
8.2.2	进化控制的形式化描述	212
8.3	进化控制系统示例	213
8.3.1	一种在线混合进化伺服控制器	213
8.3.2	一个移动机器人进化控制系统	219

8.4	免疫算法和人工免疫系统原理	221
8.4.1	自然免疫系统的概念、组成与功能	221
8.4.2	免疫算法的提出和定义	223
8.4.3	免疫算法的步骤和框图	224
8.4.4	人工免疫系统的结构	226
8.4.5	免疫算法的设计方法和参数选择	227
8.5	免疫控制基本原理	229
8.5.1	免疫控制的系统结构	229
8.5.2	免疫控制的自然计算体系和系统计算框图	231
8.6	免疫控制系统示例	232
8.6.1	扰动抑制和最优控制器的性能指标	232
8.6.2	基于免疫算法的扰动抑制问题	233
8.6.3	免疫反馈规则与免疫反馈控制器的设计	235
8.7	小结	237
习题 8		237
第 9 章	网络控制系统	239
9.1	计算机网络与网络控制基础	239
9.1.1	计算机网络及其结构	239
9.1.2	数据通信与网络通信	244
9.1.3	网络控制的基本问题	247
9.2	网络控制系统的结构与特点	249
9.2.1	网络控制系统的一般原理与结构	249
9.2.2	网络控制系统的特点与影响因素	251
9.3	网络控制系统的建模与性能评价标准	253
9.3.1	网络控制系统的建模	253
9.3.2	网络控制系统的性能评价标准	256
9.4	网络控制系统稳定性与控制器设计方法	258
9.4.1	网络控制系统的稳定性	258
9.4.2	网络控制系统的控制器设计方法	260
9.5	网络控制系统的调度	261
9.5.1	网络控制系统的调度方法	261
9.5.2	网络控制系统调度的时间参数	263
9.6	网络控制系统的仿真与工程实现	263
9.6.1	网络控制系统的仿真平台	263
9.6.2	网络控制系统的工程实现	265
9.7	网络控制系统的应用举例	266
9.7.1	烟草包装的网络测控系统	266
9.7.2	热电厂集散控制系统	270

9.8 小结	274
习题 9	275
第 10 章 复合智能控制	276
10.1 复合智能控制概述	276
10.2 模糊神经复合控制原理	277
10.3 自学习模糊神经控制系统	279
10.3.1 自学习模糊神经控制模型	279
10.3.2 自学习模糊神经控制算法	281
10.3.3 弧焊过程自学习模糊神经控制系统	282
10.4 专家模糊复合控制器	283
10.4.1 专家模糊控制系统的结构	283
10.4.2 专家模糊控制系统示例	285
10.5 进化模糊复合控制器	287
10.5.1 控制器设计步骤和参数优化方法	287
10.5.2 解释(编码)函数的设计	288
10.5.3 规则编码	290
10.5.4 初始种群和适应度函数的计算	294
10.5.5 直流电动机 GA 优化模糊速度控制系统	297
10.6 仿人控制	300
10.6.1 仿人控制的基本原理和原型算法	300
10.6.2 仿人控制器的属性与设计依据	302
10.6.3 仿人智能控制器的设计与实现步骤	303
10.7 小结	306
习题 10	307
附录A 基于 MATLAB 工具箱的模糊与神经控制仿真	308
A.1 基于模糊逻辑工具箱的模糊控制器	308
A.2 模糊控制系统的 Simulink 仿真	311
A.3 神经网络逼近非线性函数的设计	312
A.4 基于神经网络工具箱的水反应器模型预测控制实例	316
附录B 模糊控制与神经网络控制的实验	322
B.1 电热箱的模糊闭环控制实验	322
B.2 单神经元自适应闭环控制实验	323
参考文献	326