

高等学校教材

MOHU KONGZHI JISHU
模糊控制技术

党建武 赵庶旭 王阳萍 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

模糊控制技术

党建武

赵庶旭 编著

王阳萍

胡铁钧 主审

中国铁道出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍模糊控制的基本原理及其在相关领域中的应用。主要内容有:模糊控制理论的数学基础;基本模糊控制器的设计;模糊控制与神经网络技术的结合及应用;模糊控制在温度控制系统中的应用设计;模糊控制在公路交通信号控制系统中的应用设计;模糊控制在电动机直接转矩控制中的应用;模糊控制在足球机器人及机器人路径规划中的应用;模糊控制技术的研究热点及发展趋势分析。

本书选材恰当、体系合理、逻辑性强、通俗易懂,侧重介绍技术及应用,适合作为高等学校自动化、信息、电子和电气类相关专业本科生及研究生的教材,也可供自学人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模糊控制技术/党建武,赵庶旭,王阳萍编著. —北京:
中国铁道出版社,2007.8
高等学校教材
ISBN 978-7-113-08034-1

I. 模… II. ①党… ②赵… ③王… III. 模糊控制—高等
学校—教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 117215 号

书 名:模糊控制技术

作 者:党建武 赵庶旭 王阳萍

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:张永国 编辑部电话:010-51873135

封面设计:马 利

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1 092 1/16 印张:13.5 字数:325 千

版 本:2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-08034-1/TP·2398

定 价:25.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:(市电)010-63549496 (路电)021-73147

网址:<http://www.tdpress.com>

兰州交通大学“十五”规划教材 编审委员会

主 任:任恩恩

副主任:王晓明 盖宇仙

委 员:(按姓氏笔划排名)

王 兵 朱 琨 陈宜吉

姜国栋 谢瑞峰 虞庐松

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元,设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制订了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、具有创新精神的应用型的高级专门人才”的培养目标,学校各院(系、部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著,突出反映在教材建设方面。“十五”期间,学校共资助“十五”规划教材45本,资助普通教材56本,这些教材是一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研积累的成果,为推进教育创新、深化教学改革、提高教学质量做出了贡献。

2005年,在认真学习教育部相关文件精神的基础上,根据学校的办学指导思想和人才培养目标定位,各专业修订了新的人才培养方案,构建了“通识教育基础上的宽口径专业教育”的人才培养模式。为配合新的人才培养方案的实施,进一步深化教育教学改革,学校在“十五”教材建设的基础上,制订了“十一五”教材建设规划。“十一五”期间,学校将进一步加强教材建设工作,更好地发挥教材在人才培养中的重要作用。本着“重点支持优势、特色专业教材,兼顾一般教材,优选编者,保证质量”的原则,设立教材建设专项基金,力争在“十一五”期间出版一批高水平、高质量、有特色的教材。

本教材为学校“十一五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十一五”规划
教材评审委员会
2007年4月

美国控制论专家 L. A. Zadeh 于 1965 年提出了模糊集理论,为描述、研究和处理模糊性现象提供了强有力的数学工具。1974 年,英国科学家 E. H. Mamdani 把模糊语言逻辑用于工业过程控制并获成功,标志着模糊控制的诞生。

众所周知,经典控制理论解决线性定常系统的控制问题是很有效的。但是,随着科学技术的进步,对于那些复杂的、多因素影响的严重非线性、不确定性、多变的待控制系统,由于控制对象的精确数学模型难以建立,应用传统的控制理论和方法难以满足控制要求。而模糊控制规则无需知道被控对象的精确数学模型,且模糊算法能够有效地利用专家所提供的模糊信息知识,处理那些定义不完善或难以精确建模的复杂过程。因此,在短短的 30 多年间,模糊控制技术取得了飞速发展,各种各样的模糊控制系统应用而生。目前,模糊控制技术已涉及家电、工业、交通运输、机器人、航空航天等诸多领域。如果将模糊控制理论与神经网络等其他智能方法相结合对一些复杂系统控制效果会更好。

本书结合编者多年来对模糊控制及神经网络等技术的研究,全面系统地介绍了模糊控制技术在多个领域中的应用。全书共分 9 章:第 1 章为绪论,主要阐述了模糊控制的起源、特点、发展、现状及其研究内容;第 2 章为模糊控制理论的数学基础,重点介绍了模糊集合及其运算、隶属度函数、模糊关系与模糊矩阵、模糊语言与模糊逻辑、模糊推理等内容;第 3 章为基本模糊控制器的设计,阐明了模糊控制的基本原理、模糊化方法以及模糊控制器的结构、模糊控制器的设计;第 4 章为模糊神经网络技术及应用,阐述了如何应用神经网络构造模糊控制系统以及模糊神经网络在求解铁路交通运输问题中的应用;第 5 章为模糊控制在温度控制系统中的应用设计,主要分析介绍了应用参数自整定模糊 PID 控制器设计的燃油退火炉温度模糊控制系统;第 6 章以单交叉路口多相位交通信号模糊控制系统为例介绍了模糊控制在公路交通信号控制系统中的应用;第 7 章介绍了模糊控制技术在电动机直接转矩控制技术中的应用,用模糊理论构造在线观测器对定子电阻进行观测,并用模糊控制技术构建磁链转矩控制器,以获得高精度的电压矢量,从而提高系统动静态性能尤其是低速性能;第 8 章介绍了模糊控制技术在机器人控制技术中的应用,主要以模糊控制技术在足球机器人中的应用为例进行了分析设计,并讨论了模糊神经网络在机器人路径规划中的应用;第 9 章简要分析了模糊控制技术目前的研究热点问题及其发展趋势。

本书结合作者的研究工作,力求反映模糊控制领域的最新成果,同时考虑到

模糊控制的前沿性特征,在尽可能全面系统地阐述模糊控制技术的基础上,试图尽量弱化繁琐的数学推导,而侧重应用介绍,适合作为高等学校相关专业本科生及研究生教材,也可供自学人员和工程技术人员参考。

在本书的编写过程中,张振海、孙奇、郝瑞琴、陈春雷、张流洋、祝咏升等研究生作了大量的录入及校对工作,同时得到一些同事和朋友的支持和帮助,并参考了大量的国内外文献资料。感谢胡铁钧老师对全稿进行了细致地审定工作并提出了指正。在此,谨对所有为本书编写做出贡献的人员表示衷心的感谢。

本书的出版得到了兰州交通大学专著出版基金和青蓝人才工程基金的资助。

编 者

2007年5月于兰州交通大学

第1章 绪 论	1
1-1 模糊控制的起源	1
1-2 模糊控制的特点	2
1-3 模糊控制的发展及现状	2
1-4 模糊控制的研究内容	3
1-4-1 模糊控制理论研究	3
1-4-2 模糊控制的应用	5
1-5 本书主要内容	5
第2章 模糊集合与模糊逻辑	7
2-1 普通集合与关系	7
2-1-1 普通集合的基本概念	7
2-1-2 集合的表示方法	7
2-1-3 集合的运算	8
2-1-4 集合的运算性质	8
2-1-5 关 系	9
2-2 模糊集合及其运算	10
2-2-1 模糊集合的定义	10
2-2-2 模糊集合的表示法	11
2-2-3 模糊集合的运算	12
2-3 分解定理与扩张原理	14
2-3-1 截 集	14
2-3-2 分解定理	14
2-3-3 扩张原理	15
2-4 隶属度函数	16
2-4-1 隶属度函数的确定方法	16
2-4-2 常用的模糊分布	17
2-5 模糊关系与模糊矩阵	18
2-5-1 模糊关系	18
2-5-2 模糊矩阵	21
2-6 模糊语言与模糊逻辑	24
2-6-1 模糊语言	24

2-6-2	模糊逻辑	28
2-7	模糊推理	30
2-7-1	模糊推理概述	30
2-7-2	模糊逻辑推理的基本形式	30
2-7-3	模糊推理的合成规则	32
2-7-4	模糊条件语句及推理	34
第3章	基本模糊控制器的设计	39
3-1	模糊控制的工作原理	39
3-1-1	模糊控制系统的组成	39
3-1-2	模糊控制系统的基本工作原理	40
3-2	模糊控制器设计的基本方法	42
3-2-1	模糊控制器的结构设计	42
3-2-2	精确量的模糊化	43
3-2-3	模糊控制规则	47
3-2-4	模糊量到精确量的转换	55
3-2-5	模糊控制算法	57
3-2-6	常用的几种模糊控制器	59
第4章	模糊神经网络技术及应用	62
4-1	神经网络理论	62
4-1-1	神经元和神经网络	62
4-1-2	典型的人工神经网络	65
4-2	模糊神经网络理论	68
4-2-1	模糊逻辑和神经网络的比较	68
4-2-2	模糊神经网络	69
4-2-3	模糊神经元与可调神经元	70
4-2-4	几种模糊神经网络	71
4-3	应用神经网络构造模糊控制系统	73
4-3-1	数学描述	73
4-3-2	模糊规则神经元	73
4-3-3	前提隶属度函数	74
4-3-4	结果隶属度函数	75
4-3-5	去模糊化	75
4-3-6	神经网络模型	76
4-3-7	神经网络系统的优化	77
4-4	模糊神经网络举例	81
4-4-1	手写体数字识别用 FNN	81
4-4-2	聚类分析用 FNN	83
4-4-3	提取规则用 FNN	84

4-5 模糊神经网络求解铁路交通运输问题	88
4-5-1 列车运行安全模糊控制	89
4-5-2 驼峰间隔调速模糊控制	103
第5章 模糊PID在温度控制方面的应用	114
5-1 模糊PID控制器	114
5-1-1 模糊PID控制器的基本形式	115
5-1-2 模糊PID控制器的设计	115
5-1-3 确定系统的输入输出变量	116
5-1-4 模糊PID参数模糊调整规则	116
5-1-5 模糊推理及去模糊化	118
5-2 燃油退火炉温度模糊控制系统	119
5-2-1 燃油退火炉的特点及控制要求	119
5-2-2 燃油退火炉温度控制系统分析	120
5-2-3 燃油退火炉的温度控制	121
5-2-4 采用模糊PID控制的原因	123
5-2-5 参数模糊自整定PID控制器设计	124
5-2-6 油/风比模糊自寻优控制器设计思想	128
5-2-7 燃油退火炉油/风比自寻优控制器设计	129
第6章 模糊控制在公路交通信号控制系统中的应用	131
6-1 交通信号控制系统的理论基础	131
6-1-1 交通信号控制系统的起源及发展趋势	131
6-1-2 交通信号控制的基本参数	132
6-1-3 信号控制常用的性能指标	132
6-1-4 城市道路平面交叉路口的类型	133
6-1-5 交通信号的控制类型	134
6-1-6 交通流信息的检测	134
6-2 基于模糊控制的智能交通信号控制系统	135
6-2-1 单交叉路口多相位交通信号模糊控制系统	135
6-2-2 单交叉路口两级模糊控制系统	145
第7章 模糊控制在电动机直接转矩控制中的应用	158
7-1 直接转矩控制系统的分析与构造	158
7-1-1 数学模型的基本方程	158
7-1-2 定子空间电压矢量	159
7-1-3 定子电压矢量与定子磁链的关系	160
7-1-4 磁链和转矩闭环控制原理	161
7-2 模糊直接转矩控制系统的结构	162
7-3 模糊直接转矩控制系统仿真模型设计	164

7-3-1	系统仿真子模型的设计	164
7-3-2	系统仿真结构图	169
第8章	机器人模糊控制设计	171
8-1	机器人的定义及其控制技术的发展	171
8-2	机器人的模糊控制概述	172
8-3	模糊控制技术在足球机器人中的应用	172
8-3-1	足球机器人的提出与发展	172
8-3-2	足球机器人系统简介	173
8-3-3	足球机器人运动问题的描述	174
8-3-4	机器人模糊控制器的工作原理	175
8-3-5	机器人模糊控制算法的设计	177
8-3-6	试验结果及分析	183
8-4	模糊神经网络在机器人路径规划中的应用	186
8-4-1	路径规划的方法	186
8-4-2	模糊神经网络的结构	186
8-4-3	模糊神经网络的学习与训练	188
第9章	模糊控制技术的研究热点及发展前景	190
9-1	模糊控制的热点问题	190
9-1-1	模糊控制系统的稳定性分析	190
9-1-2	自适应模糊控制器的研究	191
9-1-3	模糊控制与其他智能技术分支相结合	192
9-2	模糊控制的发展前景	193
9-2-1	模糊预测控制	193
9-2-2	模糊模式识别	195
9-2-3	模糊决策	196
9-2-4	模糊混沌控制	197
9-2-5	模糊控制理论及应用的主要研究方向	198
	参考文献	199

1-1 模糊控制的起源

随着计算机技术的应用和发展,自动控制理论和技术取得了飞跃发展,以状态变量为基础的现代控制理论对于解决线性或非线性、定常或时变的多输入与多输出系统的控制问题,获得了广泛、成功的应用。但是,无论采用经典控制理论还是现代控制理论设计的控制系统,都需要事先知道被控对象(或过程)精确的数学模型,然后根据数学模型以及给定的性能指标,选择适当的控制规律,进行控制系统设计。然而,在许多情况下,被控制对象的精确数学模型很难建立,这样一来,对于这类对象或过程就很难进行自动控制。

与此相反,对于上述难以自动控制的一些生产过程,有经验的操作人员进行手动控制,却可以收到令人满意的效果。因为人脑的重要特点之一就是有能力对模糊事物进行识别与判决,看起来似乎不确切的模糊手段常常可以达到精确的目的。操作人员是通过不断学习、积累操作经验来实现对被控对象进行控制的,这些经验包括对被控对象特征的了解、在各种情况下相应的控制策略以及性能指标判据。这些信息通常是以自然语言的形式表达,其特点是定性的描述,所以具有模糊性。控制论的创始人维纳在研究人与外界相互作用的关系时曾指出:“人通过感觉器官感知周围世界,在脑和神经系统中调整获得的信息。经过适当的存贮、校正、归纳和选择(处理)等过程而进入效应器官反作用于外部世界(输出)”,同时也通过像运动传感器末梢这类传感器再作用于中枢神经系统,将新接受的信息与原存贮的信息结合在一起,影响并指挥将来的行动。”人不断地从外界获取信息(输入),再存贮和处理信息,并给出决策反作用于外界(输出),从而达到预期目标。这种特性使得人们无法用现有的定量控制理论对这些信息进行处理。在这样的事实面前,人们又重新研究和考虑人的控制行为有什么特点,能否对于无法构造数学模型的对象让计算机模拟人的思维方式,进行控制决策。

1965 年美国著名控制论学者 L. A. Zadeh 发表开创性论文,首次提出一种完全不同于传统数学与控制理论的模糊集合理论,L. A. Zadeh 教授提出的模糊集合理论,其核心是对复杂的系统或过程建立一种语言分析的数学模式,使自然语言能直接转化为计算机所能接受的算法语言。由于人的手动控制策略是通过操作者的长期实践经验积累而成的,它可通过人的自然语言加以叙述,将它们总结成一系列条件语句,即控制规则。这种控制属于一种语言控制,运用计算机来实现这些控制规则,计算机就起到了控制器的作用。然而,人的自然语言又具有模糊性,而传统自动控制恰恰无法处理这种模糊性。故这种语言控制也称为模糊语言控制,或简称模糊控制。模糊集合和模糊逻辑的出现实时地解决了描述控制规则的条件语句,如“较大”、“稍小”、“偏高”等具有一定模糊性的词语,用模糊集合来描述这些模糊条件语句,组成了所谓的模糊控制器。这样,作为模糊数学一个重要应用分支的模糊控制理论便应运而生了。

从首次提出模糊集合理论到 1986 年世界上第一块基于模糊逻辑的人工智能芯片在著名的贝尔实验室研制出来,其间只经历了短短的 20 年。仅这一事实本身就足以说明,模糊控制

系统理论这门新兴的学科具有强劲的生命力和十分令人鼓舞的应用前景。模糊理论之所以能在信息时代获得如此迅速的发展,是由于它为信息革命提供了一种新的富有魅力的数学工具与手段。

1-2 模糊控制的特点

模糊控制语言是一种表示人类思维活动以及复杂事物极其有效的手段,因此,对于那些利用传统控制方法难以实现或奏效的控制问题,采用模糊控制技术往往能迎刃而解。与传统的控制技术相比较,模糊控制具有如下特点:

(1)不需要在设计系统时建立被控对象的精确数学模型。模糊控制系统是一种基于规则的控制,它直接采用语言型控制规则,出发点是现场操作人员的控制经验或相关专家的知识。它是一种近似推理的控制,具有人类思维的若干特点,能够根据一系列的模糊知识和数据推导出符合实际逻辑关系的结论,不需要系统精确的数学模型,因此特别适合于系统复杂、难于或根本无法建立数学模型、人工操作经验有效的非线性、时变及纯滞后系统的控制。

(2)适应性强。模糊控制中的知识表示、模糊规则和推理是基于专家知识或熟练操作者的成熟经验,并通过学习可不断更新,增强控制系统的适应能力。经研究结果表明,对于确定的过程对象,用模糊控制与用PID控制的效果相当,但是对于非线性和时变等一类不确定系统,模糊控制却有较好的控制作用,同时对于非线性、噪声和纯滞后有较强的抑制能力,在这方面传统控制往往显得无能为力。

(3)鲁棒性强。由于模糊控制采用的不是二值逻辑,而是一种连续多值逻辑,所以当系统参数变化时,能比较容易实现稳定的控制,尤其适合于非线性、时变、滞后系统的控制。

(4)系统的规则和参数整定方便。只要通过对现场的工业过程进行定性的分析,就能比较好地建立语言变量的控制规则和系统的控制参数,而且参数的适用范围较广。

(5)结构简单。系统的软硬件实现都比较方便。

1-3 模糊控制的发展及现状

1965年美国加利福尼亚大学著名的控制论专家 L. A. Zadeh 在探索和研究大系统、模糊性、计算机和人脑思维间的关系时,发现 G. Cantor 所创的集合论实质上是剔除了模糊性而抽象出来的数学概念,是把思维过程绝对化,从而达到精确和严格的目的。为将模糊性和数学统一起来,1965年他在《Information and Control》杂志上发表了一篇开创性的经典论文“Fuzzy Sets”,这标志着模糊数学的正式诞生。1974年,英国学者 E. H. Mamdani 首次用模糊控制器实现了对蒸汽机的控制,并获得了比传统控制器更好的效果,使得模糊数学在工业控制中的实际应用取得了突破性的进展。日本科技界对模糊控制技术特别重视,于1984年成立了国际模糊系统学会,并投入大量的人力和财力对其进行了广泛和深入的研究。特别是1987年,模糊控制技术成功地在地铁中得到应用,使启动和制动极为平稳,而且停车位置能精确到10 cm以内,在科技界引起了轰动,掀起了模糊控制的研究热潮。1990年日本松下电器公司推出了采用模糊技术的吸尘器和全自动洗衣机。从商业角度,1993年日本公司仅销售模糊控制芯片一项就获利6亿美元,1995年仅模糊家电产品的产值就达到近8亿美元。仅以彩色电视的模糊控制器而言,相对传统的电视控制系统,模糊彩色电视是一种依靠模糊逻辑算法、模糊

识别和模糊判决为核心的智能化系统。它通过采集周围环境参数,经模糊控制器快速处理后,对彩色图像的亮度、对比度和音量进行自动控制,使观众获得最佳视听效果和节能效果。

模糊控制的发展根据其结构特点可大致分为3个阶段:

第一阶段(1965~1974)为萌芽阶段,主要是模糊数学的发展和成形时期。

第二阶段(1974~1979)为简单的模糊控制器阶段,这种模糊控制器的核心是利用实践经验形成一定的模糊控制规则表,由于控制器的设计是针对控制过程中的某些特定过程,因此控制器的使用具有针对性。另外,这种模糊控制器的控制规则表一旦形成,就不再改动,因而不具有自学习、自组织能力。

第三阶段(1979~至今)高性能模糊控制器阶段,人们在使用过程中针对简单模糊控制器的不足,提出了很多高性能的模糊控制策略,特别是1979年由T. J. Procky和E. H. Mamdani共同提出的给模糊控制器增加学习功能,使它能在控制过程中不断获取新的信息,并对控制量作适当的调整,使系统性能大为改善。

今天的模糊控制技术已经广泛应用于许多领域。例如,家用电器设备,诸如智能洗衣机、微波炉、吸尘器、空调机、照相机、摄录机等;工业闭环控制系统中有水净化处理、发酵控制、水泥窑炉等;在专用系统和其他方面的应用有地铁控制、电梯、自动扶梯、声控直升机以及机器人等。

我国的模糊技术虽然起步较晚,但发展很快。模糊数学20世纪70年代后期传入我国,1980年我国成立了中国模糊数学与模糊系统学会。80年代中期,我国在模糊理论研究的同时开始了模糊控制技术的研制开发工作。1988年北京师范大学汪培庄教授等成功研制“模糊推理机分离元件样机”。在模糊技术应用领域,我国最早在地震和气象预报中应用模糊理论,而且1988年研制出世界上第二台模糊推理机。90年代初,北京模糊工程中心的陈永义教授等先后研制开发了玻璃拉管线模糊逻辑控制器,电冰箱模糊控制器,可编程模糊逻辑控制器BFEC-89系列产品,水泥厂矿石破碎机的模糊控制系统。

21世纪初我国在模糊控制研究开发领域又取得了很大发展,主要反映在模糊控制理论的研究和模糊逻辑控制产品的开发方面,特别是模糊逻辑在智能计算与智能控制的应用与开发上。

1-4 模糊控制的研究内容

自20世纪60年代L. A. Zadeh提出模糊集合理论和70年代首次将模糊控制理论应用于实际的工业过程控制中以来,模糊控制理论已经取得了飞速的发展。模糊控制的研究涉及模糊控制理论研究及模糊控制在各个行业中的应用等诸多方面。

1-4-1 模糊控制理论研究

1. 模糊控制器的模型结构

(1) 模糊控制器的解析结构

为了发展模糊控制理论并让其具有坚实的理论基础,借助解析方法分析模糊控制系统最近引起了许多研究学者的重视。基于解析方法,经典控制系统理论中许多成熟的方法能用于模糊控制的某些分析和设计。根据常规控制理论来解析地分析模糊控制器的结构,被认为是发展模糊控制技术的一条重要途径,这是因为模糊控制技术中许多重要却难度大的方面,如分

析设计、稳定性和鲁棒性,能够利用控制理论中现有的数学技术有效地加以研究。许多模糊控制器被证明是具有可变增益的非线性 PID 控制器,各类 T-S 模糊控制器也被解析地证明了是非线性 PI(PD 或 PID)控制器。模糊控制器与非线性 PID 控制器相联系的解析结构,一方面揭示了模糊控制器在非线性、时变和纯滞后等系统的应用中比非线性 PID 控制器优越的机理,同时也提供了根据它们之间的增益关系来解析设计模糊控制系统并确保其稳定性的一种方法。通过对模糊控制器结构的解析分析,可以在很大程度上揭示模糊控制器的本质和工作机理,建立模糊控制器与经典控制器之间的关系,对于模糊控制的实际应用有一定的指导意义。

(2) 模糊控制器的语言模型

模糊控制器是一种语言控制器,各语言变量之间的关系可理解为一个语言映射,这些语言映射一般是通过语言规则形式给出的;但是基于语言模型的稳定性和动态特性分析都比较困难。

(3) 模糊控制器的颗粒模型

模糊控制器的颗粒模型是语言模型的一种形式化,也类似于一个非线性映射。其主要缺点之一是由查询表提出的输入输出之间的映射不是解析形式,难以应用传统控制中强有力的分析和综合技术。

(4) 模糊控制器的细胞模型

模糊控制器的输入空间可分成模糊细胞,模糊规则由模糊细胞表示而成。模糊细胞模型的基本思想为模糊控制器的结构及参数同时自适应调整提供了直接可能性。

2. 模糊系统逼近理论

模糊系统的函数逼近特性研究是 20 世纪 90 年代以来模糊系统理论研究的重要方向,同时也是模糊系统理论的一个重要支柱。模糊系统关于连续函数的逼近特性给模糊系统在系统辨识、控制等方面提供了重要的理论基础。

3. 模糊系统辨识与模糊预测

用模糊集合理论,从系统输入和输出量测值来辨识系统的模糊模型是系统辨识的一条有效途径,主要方法有:基于模糊关系模型的系统辨识,自适应模糊预测模型,基于 T-S 模型的模糊系统辨识,基于模糊控制系统的模型预报。

4. 自适应、自组织和自学习模糊控制

为了避免由于被控过程的非线性、时变性及随机干扰等因素的影响,要求模糊控制参数和规则在控制过程中自动地调整、修改和完善,从而使系统的控制性能不断完善,达到满意的控制效果。主要有:基于规则修改的自适应模糊控制、参数自校正模糊控制、模型参考模糊自适应控制、自适应递阶等模糊控制等。典型学习算法有:误差反向传播、表格查询学习、最邻近聚类、迭代学习等方法。

5. 软计算集成

(1) 用神经网络设计模糊系统

神经网络是由大量的简单处理单元构成的非线性动力系统,能映射任意函数关系,且具有学习性,能处理不完整、不精确、非常模糊的信息。可直接利用神经网络的学习功能及映射能力,去等效模糊控制中的模糊功能模块,如模糊化、模糊推理、反模糊化等。采用神经网络实现模糊控制,对于知识的表达并不是通过显式的一条一条规则,而是把这些规则隐含地分布在整个网络之中。

(2) 用遗传算法设计模糊系统

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法,其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换,搜索不依赖于梯度信息,这使得它可以高效率地发现全局最优解或接近最优解,并避免陷入局部最优解,而且对问题的初始条件要求较少。由于一个模糊控制器所要确定的参数很多,实际设计时要不断地反复试凑,这实际上是一个寻优的过程。目前利用遗传算法优化模糊控制器时,优化的主要对象是隶属度函数和模糊控制规则集。根据优化对象的不同,现有的研究可分为以下几种类型:已知模糊控制规则,利用遗传算法优化隶属度函数;已知隶属度函数,利用遗传算法优化模糊控制规则;同时优化隶属度函数和模糊控制规则。近年来,各种遗传算法的变形也被用于设计更复杂的多变量模糊控制系统,如分层、分级和递阶等模糊控制系统。

1-4-2 模糊控制的应用

自从1974年Mamdani首先将模糊集合理论应用于加热器的控制后,模糊控制在从基于微处理器系统的家用电器到大型的工业设备等许多实际问题中都得到了成功的应用。

1. 工业应用

工业应用中,模糊控制比较典型的例子有地铁机车模糊控制、电梯群控、隧道挖掘机控制、玻璃熔炉温度控制、退火炉燃烧控制、热交换过程控制、气炼机控制、电弧冶炼炉控制、暖水工厂控制、污水处理过程控制、交通路口控制、水泥窑炉控制、飞船飞行控制、机器人控制、模型小车的停靠和转弯控制、汽车速度控制、水质净化控制等。生物医学应用中,有激光热疗法中组织温度控制、病人血压的调节和控制等。医疗仪器中也有许多成熟的模糊产品。

2. 家电应用

模糊控制在家电产品中应用非常普及。目前已成功实现模糊控制功能的家用电器产品有模糊控制的全自动洗衣机、模糊控制电饭煲、模糊控制电冰箱、模糊控制吸尘器、模糊控制微波炉、模糊控制空调机、照相机和摄像机等。

1-5 本书主要内容

本书主要从以下几个方面来对模糊控制技术进行阐述:

(1) 模糊数学。模糊控制技术以模糊数学为理论基础。因此,本书首先从模糊集合与模糊逻辑的相关概念、理论对模糊数学方法作了详细的讲解,为以后章节建立在模糊概念基础上的相关模糊控制技术奠定基础。

(2) 模糊控制器的设计。模糊控制系统关键在于利用模糊数学方法来设计模糊控制器,只有建立了模糊控制器才可以对相应的系统实施模糊控制,以达到满意的效果。本书从模糊控制的原理和结构出发,着重阐述了模糊控制器的设计方法以及设计过程中应该注意的规则和步骤。

(3) 模糊控制与人工神经网络技术。模糊控制规则的建立和完善是模糊控制器设计的关键。随着模糊控制技术的迅速发展,人们对模糊控制的规则要求越来越严密,单纯的模糊控制技术已经无法满足要求,而神经网络技术擅长于在海量数据中寻找特定的模式,来优化模糊控制规则和相应的隶属度函数。所以,模糊控制技术和人工神经网络技术有很强的互补性。

(4) 模糊控制技术的实际应用。本书通过具体的控制系统,分别以工业温控、交通信号控

制、电动机直接转矩控制、机器人控制等 4 个方面为实例详细讲解了模糊控制技术的应用。

(5) 模糊控制的新技术展望。本书最后引出模糊控制的新技术,对一些研究热点问题进行了初步探讨,另外对模糊控制技术的发展方向 and 有待进一步解决的问题作了简单叙述。