

自动化

专业本科系列教材

Mohu Kongzhi Jishu

模糊控制技术

韩峻峰 李玉惠 等编著

重庆大学出版社

模糊控制技术

韩峻峰 李玉惠 等编著

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是一本系统介绍最新模糊控制技术的教材。全书共分为7章,首先介绍了模糊控制的起源、特点、研究与应用的现状及其发展趋势;然后从工程应用的角度介绍了模糊逻辑与模糊推理的基础内容,在此基础上论述了模糊控制技术相关基础,并详细讨论了模糊控制器的设计;对模糊控制的发展趋势——与神经网络的结合,本书也进行了介绍;从实用化的角度,对模糊控制系统的开发方法进行了介绍;最后,以典型的例子从不同的角度对模糊控制的应用进行了介绍。

本书选材恰当、体系合理、逻辑性强、通俗易懂,侧重介绍应用,适合作为高等学校自动化和电气信息类相关专业本科教材,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/韩峻峰等编著. —重庆:重庆大学出版社,2003.5

(自动化专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-2793-3

I. 模... II. 韩... 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(2003)第 030626 号

模糊控制技术

韩峻峰 李玉惠 等编著

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:蓝安梅 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆铜梁正兴印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:199千

2003年5月第1版 2003年5月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-2793-3/TP·411

定价:12.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

模糊控制是近代控制理论中建立在模糊集合论基础上的一种基于语言规则与模糊推理的控制理论,它是智能控制的一个重要分支。

常规控制的基本特点是控制器的设计都要建立在被控对象的精确数学模型基础上,但是,在许多情况下被控对象(或生产过程)的精确数学模型很难建立。另一方面,人们注意到,对于很多复杂的、多因素影响的生产过程,即使不知道该过程的数学模型,有经验的操作人员也能够根据长期的实践观察和操作经验进行有效的控制,而采用传统的自动控制方法效果并不理想。人的经验参与控制过程的成功,激发了人们对控制原理的进一步深入研究。这种原理以能包含人类思维的控制方案为基础,而且反映了人类经验的控制过程知识,以及可以达到控制目的,能够利用某种形式表达出来,同时还很容易被实现。这样的控制系统既避免了那种精密、反复、有错误倾向的模型建造过程,又避免了精密地估计模型方程中各种参数的过程。在多变量、非线性、时变的大系统中,人们可以采用简单灵活的控制方式,于是就产生一个问题,能否把人的操作经验总结为若干条控制规则,并设计一个装置去执行这些规则,从而对系统进行有效的控制呢?模糊控制理论与技术由此应运而生,这就是模糊控制产生的背景。

模糊控制理论和方法的提出,归功于美国加利福尼亚大学的自动控制教授 L. A. Zadeh 于 1965 年首次提出的“模糊集合”的概念,使得有人的经验参与的控制过程成为实际可能;1973 年, L. A. Zadeh 又进一步研究了模糊语言处理,给出了模糊推理的理论基础;自从 1974 年 Mamdani 制造出用于锅炉和蒸汽机的第一个模糊控制器以来,模糊控制理论和应用技术的发展历史还不到 30 年。虽然其发展历史很短,但发展速度之快、成果之多和世人重视的程度却是少有的,特别是 1987

年在日本,基于模糊控制的仙台市地铁开通以后,各种家电的模糊产品相继研制成功并进入市场,如洗衣机、照相机、摄像机、复印机、吸尘器、电冰箱、微波炉、电饭锅、空调器、电视机、淋浴器等。这些家电产品在节约资源、方便使用以及使用效果方面更富有“人情味”,更符合人的实际生活。同时,各种各样的模糊控制系统也被研制成功。例如,各种熔炉、电气炉,水泥生成炉的控制系统、核能发电供水系统、汽车控制系统、电梯升降机控制系统、机器人控制系统以及活跃于航空、宇航、通信领域里的专家系统。这些模糊控制系统的应用取得了明显的效益,并且在日本、美国、西欧、东南亚地区以及我国引起了普遍重视。

为了适应 21 世纪科学技术、经济、社会发展趋势的要求,把体现当代控制理论学科前沿发展的新成果反映到教学之中,结合高等工科院校人才培养的特点,我们特尝试编写了此书。

全书共分 7 章:第 1 章为绪论,主要阐述了模糊控制的起源及其特点、模糊控制研究、应用现状与展望;第 2 章为模糊逻辑与模糊推理,重点介绍了模糊集合及其隶属函数、模糊矩阵与模糊关系、模糊语言与模糊逻辑、模糊推理;第 3 章为模糊控制技术基础,阐明了模糊控制基本原理、模糊化方法、解模糊方法、模糊控制规则及控制算法;第 4 章为模糊控制器设计,主要介绍了模糊控制器的基本结构、模糊控制器的设计;第 5 章为神经网络在控制系统中的应用,阐述了神经网络、模糊神经网络、基于神经网络的模糊控制器;第 6 章为模糊控制系统的开发,详细介绍了开发方法——恒温箱温度的模糊控制、数字单片机实现模糊控制、模糊单片机实现模糊控制;第 7 章为模糊控制应用实例,主要介绍了模糊控制全自动洗衣机、智能手机充电器及地铁机车模糊控制器三个应用案例。

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,试图尽量弱化烦琐的数学推理,而侧重介绍应用,适合作为自动化和电气信息类相关专业本科教材,也可供自学人员和工程技术人员参考。

本书由韩峻峰、李玉惠担任主编。其中,第 1、3、4 章由韩峻峰编写,第 2、5 章由李玉惠编写,第 6 章由聂诗良编写,第 7 章由苏睿编写。全书由韩峻峰、苏睿统稿。

本书在撰写过程中曾得到一些同事和朋友的支持与帮助,

并参考了较多的著作与论文,在此,谨对所有对该书编写作出贡献的人士表示衷心的感谢。由于编者水平有限,同时考虑到模糊控制技术的前沿性特征,因而书中可能出现疏漏或不妥之处,敬请广大专家学者及读者批评指正。

编 者

2003 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 模糊控制的起源及其特点	1
1.2 模糊控制研究与应用现状	4
1.3 模糊控制展望	6
第 2 章 模糊逻辑与模糊推理	8
2.1 模糊集合及其隶属函数	8
2.1.1 模糊集合及其表示	8
2.1.2 模糊集合的基本运算及其法则	10
2.1.3 模糊集合与普通集合的关系	10
2.1.4 模糊集合的隶属函数	11
2.2 模糊矩阵与模糊关系	13
2.2.1 模糊矩阵	13
2.2.2 模糊关系	14
2.2.3 模糊映射	16
2.3 模糊语言与模糊逻辑	18
2.3.1 模糊语言	18
2.3.2 模糊逻辑	21
2.4 模糊推理	23
2.4.1 模糊推理方法	23
2.4.2 模糊条件推理	24
第 3 章 模糊控制技术基础	29
3.1 模糊控制基本原理	29
3.1.1 模糊控制的引入及实现	29
3.1.2 模糊控制过程	30
3.2 模糊化方法 (Fuzzification)	33
3.3 解模糊方法 (Defuzzification)	35
3.3.1 重心法	35
3.3.2 最大隶属度法	36
3.3.3 系数加权平均法	36
3.3.4 隶属度限幅元素平均法	36
3.3.5 中位数法	36
3.4 模糊控制规则及控制算法	37

3.4.1	模糊控制规则的表示及特性	37
3.4.2	模糊控制规则的生成	39
3.4.3	模糊控制规则的优化	42
3.4.4	模糊控制算法	46
第4章	模糊控制器设计	49
4.1	模糊控制器的基本结构及主要类型	49
4.1.1	模糊控制器的基本结构	49
4.1.2	常用的几种模糊控制器	52
4.1.3	模糊控制器的设计	54
4.2	模糊控制器的结构设计	55
4.2.1	模糊控制器的结构设计	55
4.2.2	一般设计方法	56
第5章	神经网络在模糊控制系统中的应用	66
5.1	神经网络	66
5.1.1	人工神经网络的起源和发展	66
5.1.2	神经元和神经网络	67
5.1.3	人工神经网络的特点及类型	70
5.1.4	典型的人工神经网络	71
5.2	模糊神经网络	74
5.2.1	神经网络与模糊逻辑	74
5.2.2	模糊神经网络	75
5.3	基于神经网络的模糊控制器	79
5.3.1	复合型神经模糊控制器	79
5.3.2	融合型神经模糊控制器	82
5.3.3	模糊神经网络在倒立摆控制中的应用	82
第6章	模糊控制系统的开发	84
6.1	开发方法——恒温箱温度的模糊控制	84
6.1.1	控制对象简述	84
6.1.2	模糊控制器的结构设计	84
6.1.3	模糊变量的论域及其隶属函数	85
6.1.4	根据实际操作经验给出以下控制规则	85
6.1.5	控制输出	87
6.2	数字单片机实现模糊控制	88
6.3	模糊单片机实现模糊控制	90
6.3.1	NLX230 的引脚及功能	90
6.3.2	NLX230 的工作原理和功能特点	91
6.3.3	NLX230 的内部寄存器及功能	92
6.3.4	NLX230 的操作及接口技术	93

6.3.5 NLX230 的应用实例	94
第 7 章 模糊控制应用实例	99
7.1 模糊控制全自动洗衣机	99
7.1.1 洗衣条件	100
7.1.2 模糊控制洗衣机结构	100
7.1.3 控制电路设计	104
7.1.4 模糊控制实现方法	106
7.2 智能手机充电器	108
7.2.1 智能充电原理	108
7.2.2 手机充电器模糊控制的系统原理框图	109
7.2.3 充电控制原理	109
7.2.4 控制软件	112
7.3 地铁机车模糊控制器	113
7.3.1 对评价指标的定义	113
7.3.2 对机车的运动特性模拟实验	114
7.3.3 模糊控制规则的制定	114
7.3.4 模糊控制的实现	116
参考文献	117

第 1 章 绪 论

1.1 模糊控制的起源及其特点

模糊控制是近代控制理论中建立在模糊集合论基础上的一种基于语言规则与模糊推理的控制理论,它是智能控制的一个重要分支。

20 世纪中叶以来,在科学技术与工业生产的发展过程中,自动控制理论与技术的发展发挥了巨大的作用,并取得了令人满意的控制效果,是现代高新技术的重要手段之一。

常规控制的基本特点是:对于控制器的设计,都要建立在被控对象的精确数学模型基础上,但是,在许多情况下,被控对象(或生产过程)的精确数学模型很难建立。例如,有些对象难以用一般的物理和化学方面的规律来描述;有的影响因素很多,而且相互之间又有交叉耦合,使其模型十分复杂。在这些模型方程中,含有众多的参数需要估计,求解这些参数却往往缺少足够的信息量与信息特征;简化后的数学模型不能准确地说明原来的系统,以至于没有实用价值;还有一些生产过程缺乏适当的测试手段,或者测试装置不能进入被测试区域,致使无法建立过程的数学模型。而且,随着科学技术的迅猛发展,目前研究的控制系统更多地涉及多变量、非线性、时变的大系统,建立数学模型是非常困难的,或者是根本不可能的,系统的复杂性与控制技术的精确性形成了尖锐的矛盾。于是,传统的控制理论和技术面临着新的控制要求的挑战。正如 L. A. Zadeh 指出的:当系统日益复杂,人们对它的精密而有意义的描述的能力将相应地降低,以至达到精密与有意义几乎相互排斥的地步。要想精确地描述复杂现象和系统的任何现实的物理状态,事实上是办不到的。虽然常规自适应控制技术可以解决一些问题,但范围依然有限。上述情况迫使人们在控制系统的精确性与有意义之间寻求某种平衡和折中,而使问题的描述具有实际意义。

另一方面,人们注意到,对于很多复杂的、多因素影响的生产过程,即使不知道该过程的数学模型,有经验的操作人员也能够根据长期的实践观察和操作经验进行有效的控制,而采用传统的自动控制方法效果并不理想。人的经验参与控制过程的成功,激发了人们对控制原理的深入研究。这种原理是以能包含人类思维的控制方案为基础,而且反映人类经验的控制过程

的知识,以及可以达到的控制目的能够利用某种形式表达出来,同时还很容易被实现。这样的控制系统既避免了那种精密、反复、有错误倾向的模型建造过程,又避免了精密地估计模型方程中各种参数的过程。在多变量、非线性、时变的大系统中,人们可以采用简单灵活的控制方式,于是就产生了一个问题:能否把人的操作经验总结为若干条控制规则,并设计一个装置去执行这些规则,从而对系统进行有效的控制?模糊控制理论与技术由此应运而生,这就是模糊控制产生的背景。

模糊控制最重要的特征是反映人们的经验以及人们的常识推理规则,而这些经验与常识推理规则是通过语言来表达的。比如说“温度太高,温度上升的速度也很快,则大幅度降温”。对于用语言表达的这种经验,必须给出一种描述的方式,而且这种经验是多种多样的。比如,还可以有经验规则“温度稍低,升温的速度很快,则稍微降温控制”。模糊控制规则综合考虑众多的控制策略,是一种常识推理规则。

当然,由于对系统缺乏了解,一开始控制效果可能并不好,但经过若干次探索后终归能实现预期的理想控制。这说明传统控制理论必须向前发展,而人工智能、模糊控制就是在这种背景下产生并发展起来的。也就是说,控制问题在经历了人工控制、经典控制理论和现代控制理论阶段之后,由于它们面临着一系列无法解决的问题,又要重新研究人工控制行为的特点,以便从人工控制中得到新的启发。

经典控制理论主要解决线性系统的控制问题,现代控制理论可以解决多输入与多输出的问题,系统既可以是线性的、定常的,也可以是非线性的、时变的;而对于那些数学方程很难提出但人们都有丰富控制经验的实际课题,模糊控制技术发挥了奇特的优势。特别是近几年来,模糊控制技术取得了迅速发展。可以预料,在传统控制的难题中,有一批难题可以应用模糊控制技术或者用传统控制技术与模糊控制技术相结合的方法来加以解决。

与传统的 PID 控制比较,模糊控制有其明显的优越性。由于模糊控制实质上是用计算机去执行操作人员的控制策略,因而可以避开对象复杂的数学模型,力图对人们关于某个控制问题的成功与失败的经验进行加工,总结出知识,从中提炼出控制规则,实现复杂系统的控制。1974—1979 年间,英国、联邦德国、日本等国曾先后做过对蒸汽机锅炉、炼钢炉及汽轮发电机组等模糊控制的计算机仿真,把模糊控制算法与经典的传递函数算法的计算机仿真进行比较,其中英国 Mamdani 对蒸汽发动机和锅炉的控制部分仿真的对比结果如图 1.1 所示。

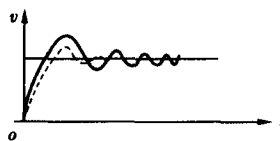


图 1.1 仿真对比

图 1.1 中的实线是经典的 PID 控制在阶跃干扰下的响应曲线,虚线是模糊控制的响应曲线。实验结果表明:在两种系统均调到最佳状态下,当工作条件大幅度变化时,经典的 PID 控制是难以调整的,超调量大并带有振荡;与此相反,模糊控制对过程参数改变不灵敏,在所有工作点上都能做到较稳定的控制,这说明模糊控制本质上是非线性的,并且对于对象的参数变化适应性强,即所谓的“鲁棒性”

(Robust)较好。以上仿真结果表明,模糊控制比传统的经典控制稳定,而且效果好。

模糊控制理论和方法的提出,归功于美国加利福尼亚大学的自动控制教授 L. A. Zadeh 于 1965 年首次提出的“模糊集合”的概念,使得有人的经验参与的控制过程成为实际可能。1973 年, L. A. Zadeh 又进一步研究了模糊语言处理,给出了模糊推理的理论基础。自从 1974 年 Mamdani 制造出用于锅炉和蒸汽机的第一个模糊控制器以来,模糊控制理论和应用技术的发展历史还不到 30 年,虽然其发展历史很短,但发展速度之快、成果之多和世人重视之程度却是

少有的,特别是1987年在日本,基于模糊控制的仙台地铁开通以后,各种家电的模糊产品相继研制成功并进入市场,如洗衣机、照相机、摄像机、复印机、吸尘器、电冰箱、微波炉、电饭锅、空调器、电视机、淋浴器等,这些家电产品在节约资源、方便使用以及使用效果方面更富有“人情味”,更符合人的实际生活。同时,各种各样的模糊控制系统也被研制成功。例如,各种熔炉、电气炉、水泥生成炉的控制系统、核能发电供水系统、汽车控制系统、电梯升降机控制系统、机器人控制系统,以及活跃于航空、宇宙、通信领域里的专家系统。这些模糊控制系统的应用取得了明显的效益,并且受到了人们普遍的重视。

模糊理论与应用的研究以及模糊产品的开发像一股强劲的风浪席卷世界各地。1989年,模糊理论的创始人 L. A. Zadeh 指出:模糊理论是对“彻底排除不明确事物只以明确事物为对象”的科学界传统所做的挑战。这种理论对于如何处理与对待不明确事物,所依据的思路与过去的科学实质上完全不同。他认为模糊理论今后将在两个领域取得较大进展:一是熟练技术者替代系统,这种系统将人无意识进行的操作由机器替代,如日本仙台市地铁的自动驾驶系统;二是替代专家的专家系统。为使专家头脑中所进行的思考与决策能实现自动化,模糊理论将起重要的作用。当然,模糊理论并不能解决所有可能性问题,但是,只要不回避现实中的不确定事物,并加以认真对待,就有可能大大地提高在不确定(模糊)环境中进行智慧思考与决策的人及机器的能力。

L. A. Zadeh 教授提出的模糊集合论,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。模糊集合理论的诞生为处理客观世界中存在的一类模糊性问题提供了有力的工具,同时,也适应了自适应科学发展的迫切需要。

以模仿人类人工控制特点而提出的模糊控制虽然带有一定的主观性和模糊性,但往往是简单易行,而且是行之有效的。模糊控制的任务正是要用计算机来模拟这种人的思维和决策方式,对这些复杂的生产过程进行控制和操作。

从以上背景可以看出,模糊控制有以下的特点:

①模糊工程的计算方法虽然是运用模糊集理论进行的模糊算法,但最后得到的控制规律是确定性的、定量的条件语句。

②不需要根据机理与分析建立被控对象的数学模型,对于某些系统,要建立数学模型是很困难的,甚至是不可能的。

③与传统的控制方法相比,模糊控制系统依赖于行为规则库,由于是用自然语言表达的规则,更接近于人的思维方法和推理习惯,因此,便于现场操作人员的理解和使用,便于人机对话,以得到更有效的控制规律。

④模糊控制与计算机密切相关。从控制角度看,它实际上是一个由很多条件语句组成的软件控制器。目前,模糊控制还是应用二值逻辑的计算机来实现,模糊规律经过运算,最后还是进行确定性的控制。模糊推理硬件的研制与模糊计算机的开发,使得计算机将像人脑那样随心所欲地处理模棱两可的信息,协助人们决策和进行信息处理。

1.2 模糊控制研究与应用现状

模糊集合和模糊控制的概念是由美国加州大学著名教授 L. A. Zadeh 在其《Fuzzy Sets》、《Fuzzy Algorithm》和《A Relationale for Fuzzy Control》等著名论著中首先提出的。主要用于研究现实世界中一些模糊不清的问题,并使之清晰化。模糊集合的引入可将人的判断、思维过程用比较简单的数学形式直接表达出来,从而使对复杂系统做出符合实际和人类思维方式的处理成为可能,为模糊控制的形成奠定了基础。

模糊控制是根据对控制对象的粗略知识以及人们的生产技能等知识,导出自然语言的控制规则,利用模糊理论进行控制的一种控制方法。

模糊逻辑和模糊控制的研究与应用发展是很迅速的,研究成果主要集中在以下几个国家和地区:

(1) 日本模糊控制技术的应用

当代的一些高新技术的发展似乎有这样一个趋向,即欧洲以理论研究为主导,美国将技术研究作为热点,而日本则从事应用技术的开发工作。在模糊控制技术的应用开发上,日本起步较早并率先推出商品,而且,逐渐成为这项技术的主导国家,在模糊技术的应用研究方面日本已走在世界的前列。

从 20 世纪 70 年代初日本就开展模糊控制的研究,1972 年日本关东地区成立了模糊系统研究会,1980 年关西地区成立了模糊科学研究会,接着在 1989 年创建了国际模糊工程研究所 (LIFE),并且在这一年有关模糊技术的产品年产值就达 10 亿日元,其中真正以模糊技术为核心的产品约占 1 亿日元。日本在应用方面最典型的成果有:仙台地铁的模糊控制系统;三菱、日立和富士分别开发的电梯模糊控制系统;理光研究的声音模糊识别系统;日本电机硝子开发的玻璃熔化炉模糊控制系统;大日本涂料开发的彩色印刷图像评价系统;NTT 和法政大学合作研制的模糊识别 CAI 系统。在信息技术方面,日本已推出光模拟计算机、模拟模糊计算机、数字模糊计算机、高速模糊推论用多路板、模糊信息与文件检索系统、模糊数字网络系统、神经模糊推理系统等。日本将模糊控制技术作为跨世纪的热点技术,几乎每天都有新的模糊控制产品问世。

(2) 美国与欧洲模糊控制技术的应用状况

美国的模糊工程是从美国宇航管理局(NASA)开始的。NASA 早在 1966 年就给 Zadeh 提供经费,这是有意义的合作开始。目前,美国在模糊控制研究方面仅次于日本。在美国,从 20 世纪 80 年代中期就开始研制模糊控制器。最早应用模糊逻辑控制的是水泥生产的控制,Lafarge 公司在世界各地的水泥窑炉中有 25 个窑炉采用了包含模糊逻辑的 G2 实时专家系统。1993 年 IEEE 神经网络协会的刊物《IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEM》在美国创刊,这是模糊系统理论已作为一个独立学科发展的标志。美国政府机构(主要是美国国防部)也开始致力于神经网络和模糊逻辑的研究,除了休斯顿的约翰逊宇航中心把模糊逻辑应用于航天飞行器的对接和姿态控制外,位于华盛顿特区的 NASA 格达特宇航飞行中心也把模糊逻辑应用于机器人控制和图像处理,加州的 NASA 艾姆兹研究中心也在进行信息处理的模糊应用研究。美国专门从事模糊控制开发的机构是 Togai Infralogic 公司,主要从事模糊加速板和软

件开发工具的研究。此外, Apronix 公司开发了模糊控制器、模糊推理板、三级倒单摆等产品。

欧洲对模糊逻辑的研究主要集中在模糊控制上。英国伦敦大学的 Mamdani 教授于 1974 年首先把模糊理论用于锅炉和蒸汽机的控制, 开创了模糊控制的先河; 1976 年英国的 R. M. Tong 发表了第一篇有关模糊控制的论文; 德国政府对模糊控制技术的开发应用极为重视, 并已投入 8 亿美元进行模糊逻辑及相关技术的研究, Inform 公司是其主要研究单位之一, 第三代模糊微处理器 Fuzzy—166 芯片就是由 Inform 公司和 Siemens 公司联合研制的。

Fuzzy—166 是一个具有推理命令、模糊化命令和解模糊命令的模糊芯片, 除了可使用 ANSI—C 或 RISC—C 编辑器外, 还可使用扩展了的软件 Fuzzy Tech。该软件提供了一个完整的图形开发环境, 而且, 还可在转换到目标硬件前对模糊系统进行在线模拟和优化。特别是应用神经网络技术可自动生成模糊规则。因此, 德国人自豪地称他们的这一代模糊微处理器为模糊瑰宝。由于德国本身所拥有的先进工业技术和科研条件, 因而就像生产著名的“莱卡”照相机一样, 在模糊控制技术的硬件方面也已毫不费力地走在了世界的前列。

德国是生产和使用小轿车的大国, 因此, 对于汽车驾驶的模糊控制特别感兴趣。1991 年春, 在汉诺威工业博览会上展出的模糊逻辑操纵的模型汽车, 尽管其重量只有 3.5kg, 发动机功率仅 1 马力 (1 马力 = 735.499 瓦), 然而它的速度可达 80km/h, 这辆模型汽车是为用模糊逻辑研究复杂动态问题的控制作用而制作的, 预计在汽车上应用模糊控制技术德国将会有更多的发展。

(3) 我国模糊控制技术的研究与发展状况

我国在模糊理论和应用方面的研究起步较晚, 但发展很快。1981 年成立了中国模糊系统和模糊数学学会, 并创办了世界上第二种模糊专业学术杂志——《模糊数学》。随着模糊理论及其技术的发展, 该刊在 1987 年改名为《模糊系统与数学》。目前我国已成为模糊数学研究的四大力量之一 (美国、西欧、日本及中国), 也是世界上模糊控制技术研究领域的领先者之一。在模糊数学理论方面的研究成果已引起国际模糊界的特别关注和重视, 模糊技术的应用研究也在稳步地发展。1979 年, 李宝绶、刘志俊等人用连续数字仿真方法研究了典型模糊控制器的性能; 1988 年 3 月由北京师范大学汪培庄教授及其博士生张洪敏等研制成功的“模糊推理机分离元件样机”, 成功地实现了控制倒摆实验; 1984 年李太航和沈祖良推出了语义推理的自学习算法; 1987 年, 张洪敏和张志明研制成功我国第一台模糊推理机; 1993 年汪培庄的博士生刘增良先后参加国家自然科学基金重大项目“模糊信息处理与机器智能”等, 并提出“因素神经网络理论 (FNN)”, 在此基础上开发完成的“模糊控制计算机系统”和“基于 FNN 的学习型模糊推理控制机”等一系列成果都达到了世界先进水平。玻璃拉管线模糊控制器、电冰箱模糊控制器、可编程模糊控制器 BFEC—898 系列产品、水泥厂矿石破碎机的模糊控制系统都已形成产品并投入运行。近年来, 我国也推出了电烤箱、电烤柜模糊控制器、模糊控制燃气快速热水器、模糊控制自动恒温器、灯光恒照度模糊控制器、模糊全自动洗衣机和模糊电饭锅等产品, 标志着我国模糊技术的应用研究也有了长足的进步。毫无疑问, 十几年来, 我国在模糊逻辑控制的研究和应用开发上已达到了一定的规模, 形成了高新技术领域的研究热点技术。

1.3 模糊控制展望

模糊控制理论是控制理论领域中很有发展前途的一个分支,鉴于它所具有的一系列传统控制无法比拟的优点,国外专家预言,这将是下一代工厂自动化的基础,并称之为 21 世纪的技术。工厂自动化设备的主要生产厂家美国奥姆伦电子公司的副总经理弗兰克·纽伯恩说:“就工厂而言,模糊逻辑可以帮助那些用常规技术无法实现自动化的任务实现自动化,而且使机器和操作人员之间形成一种新型伙伴关系。”

迄今为止,模糊控制技术已对我国的工业、信息产业、交通等众多领域产生了重要影响,特别是模糊家电产品的出现更是普及了大众对模糊控制技术的认识。但应该指出:目前模糊控制技术尚处于发展的初步阶段,还存在大量有待解决的问题。至今它还没有完善的系统分析手段,而且决定模糊控制系统品质优劣的因素——模糊控制规则的获取以及输入模糊变量论域和隶属函数的确定还都是实验分析和操作人员经验的汇总,受人为主观因素影响较大。

目前模糊控制下一步的发展趋势主要可归结为:

(1) 硬件方面——模糊计算机的研制

模糊计算机的研制包括:模糊计算机体系结构的硬件、操作系统与语言理解等项目。处理模糊信息的处理器——模糊逻辑电路已于 1984 年由日本研制成功,这意味着模糊控制理论开始深入到硬件技术之中。目前国内已生产出能够设计出几十条控制规则的通用模糊微型机,这种硬件系统的实现将带来模糊控制系统的新飞跃,即由目前结构:“检测—比较—计算—执行”发展到新的结构:“识别—推理—决策—执行”。控制系统的输入、输出除了数据信息外,还可以包括文字符号、图像、语言等符号信息。

(2) 模糊控制理论体系的突破

模糊集理论打开了研究“不确定性”的大门,它不仅包括描述客观存在的现象,而且把人的主观认识也包含在定量的研究方法之中,这正是模糊集理论受重视的原因。同时,它对人的主观认识描述得不够有力与不够深入,也是使得模糊集理论一直被怀疑的原因。学术界有力的争论将进一步推动以模糊集为代表的“不确定性定量方法”的研究与发展。

1) 系统性、奠基性的内容,有待进一步加强研究

在模糊控制基础理论方面,非模糊的精确量该如何处理,目前的处理办法是否最好?在由模糊控制器的输出模糊集确定一个相应的精确控制量,即在解模糊判决问题上,至今尚有争议;在进行模糊化时,输入输出模糊变量的基本论域应分成多少档为最佳?控制规则的条数、采样间隔以及系统增益如何最优化?如何衡量一个模糊系统的功能?稳定性问题、最优化问题应如何评价?模糊控制的一般化设计准则如何?在模糊运算中,似乎丢失了大量的信息,却又获得优于常规控制的良好控制效果,起控制作用的因素是什么?模糊运算中的信息损失是否应设法修正或补偿?以上关于模糊控制基础理论方面的研究课题都还有待于进一步研究。

2) 立足于高度智能化的模糊控制理论与应用的研究将是今后一段时间的重点课题

高度智能化的模糊系统的理论与模糊计算机的发展,需要模糊控制理论研究进一步深入。特别是模糊控制理论研究与神经网络、遗传算法相结合,形成了人工智能中的“软计算”科学。

模糊逻辑推理着眼于用模糊语言变量来表达人脑善于处理模糊概念的能力,通过模糊规则作出判断,属于宏观的功能体现。神经网络是从人脑的微观结构出发去模拟人类思维的信息通道和信息处理过程,突出人脑自学习、自适应的功能。显而易见,这两种模仿人脑智力的方法都有各自的优点,也都存在着不足。如果将两者有机地结合起来,取长补短,就可以产生一种最有效的人工智能研究方法,这样的智能模糊控制系统可以根据样本数据学习生成各种模糊变量的论域及模糊控制规则,可以根据相邻规则的情况自动填补空缺的规则,可以根据环境的变化自适应调整控制规则等。近几年来,自动控制界的学者和工程技术人员正在探索将神经网络技术与模糊控制技术相融合的方法,以求提高模糊逻辑推理的智能性。从1991年下半年起,日本的一些公司就开始推出 Neuro-Fuzzy(神经模糊模式的家电产品),如三菱电机的风扇式煤油加热器、三洋的微波炉、东芝的电磁灶、日立的电饭锅、日本电气的空调器等。目前,日本产的 Neuro-Fuzzy 电饭锅已经问世。人们已开始不再满足于有“Fuzzy”标志的产品,而追求更高档、更为舒适的“Neuro-Fuzzy”产品。目前已有的研究成果表明:神经网络技术与模糊控制技术相结合,是模糊控制的一个重要发展趋势。

日前,混沌理论已成为21世纪初最新型智能计算机的三大支柱之一。因而在当今世界上,混沌理论已引起各国学术界和企业界的兴趣。1993年7月于汉城召开的第五届国际模糊系统协会世界大会上,除了有相当数量的与神经网络相结合的模糊神经网络的论文外,还首次出现了与混沌理论相关的研究论文共7篇,其中有在模糊控制中应用混沌理论的,也有在模糊专家系统引入混沌理论的。如韩国金星公司已推出了模糊神经混沌控制的洗衣机,日本的三洋电机公司也开发了混沌型风扇煤油取暖器。

“模糊”、“神经网络”、“混沌”这当代智能技术的新三部曲正在紧密结合,并已形成了产品。研究自然语言的描述,知识的获取与知识的处理,综合使用人类的知识,模拟人的思维过程的合情推理与发现思维,将会大大地促进模糊控制理论的发展与提高。

当然,模糊控制无论在理论上和实用上都是一门“年轻”的科学,正处于不断发展和完善的进程之中,不像经典控制理论和现代控制理论皆已形成了较完善的理论体系。同时,也许也正因为它的不完善和正在发展,显示了它有很大的发展潜力和前途。

第 2 章

模糊逻辑与模糊推理

美国加州大学控制专家 L. A. Zadeh 教授于 1965 年创立了模糊集合理论。模糊理论是在模糊集合理论的基础上发展起来的,主要包括模糊集合理论、模糊逻辑、模糊推理和模糊控制等方面的内容。本章在模糊集合理论的基础上,介绍模糊逻辑与模糊推理。

2.1 模糊集合及其隶属函数

2.1.1 模糊集合及其表示

(1) 模糊集合的概念

集合可以表达概念。符合某概念的对象的全部就构成此概念的外延,一个概念所包含的那些区别于其他概念的全部本质属性就是这概念的内涵。用集合论的观点来看,内涵是集合的定义,外延就是组成集合的所有元素。一个概念的外延就是一个集合。

集合中的个体称为元素,通常用小写字母 u, v 表示;集合的全体又称为论域,通常用大写字母 U, V 表示; $u \in U$, 表示元素 u 在集合论域 U 内。一个集合如果是由有限个元素组成,则称为有限集合,不是有限集合的集合称为无限集合。集合可以是连续的,也可以是离散的。

在普通集合中,任何一个元素或个体与任何一个集合之间的关系只有“属于”和“不属于”两种情况,两者必居其一,而且只居其一,绝对不允许模棱两可。例如,“不大于 100 的自然数”是一个清晰的概念,该概念的内涵和外延均是明确的。

在现实世界中,有很多事物的分类边界是不分明的,或者说是难以明确划分的。比如,将一群人划分为“高”和“不高”两类,就不好硬性规定一个划分的标准。如果硬性规定,1.80m 以上的人算“高个子”,否则不算,则有可能出现两个本来身高“基本一样”的人却被认为一个“高”,一个“不高”,这就有悖于常理,因为这两个人在任何人看来都是“差不多高”。这种概念外延的不确定性称它为模糊性。

由此可见,普通集合在表达概念方面有它的局限性。普通集合只能表达“非此即彼”的概念,而不能表达“亦此亦彼”的现象。为此,1965 年美国加州大学控制专家 L. A. Zadeh 教授创立了模糊集合论,提出用模糊集合来刻画模糊概念。