

模糊控制 理论及应用

MOHU KONGZHI LILUN

JI YINGYONG

王磊 王为民 著



G F G Y G B S

模糊控制理论及应用

王 磊 王为民 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

模糊控制理论及应用/王磊,王为民著. —北京:国防工业出版社,1997. 3

ISBN 7-118-01614-4

I. 模… I. ①王… ②王… III. 模糊控制 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 05870 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 4 $\frac{3}{4}$ 117 千字

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:11.30 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,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. 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,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防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,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,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,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工业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

第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员

怀国模

主任委员

黄 宁

副主任委员

殷鹤龄 高景德 陈芳允

曾 铎

秘 书 长

刘琯德

委 员

(按姓氏笔划为序)

尤子平 朱森元 朵英贤

刘 仁 何庆芝 何国伟

何新贵 宋家树 张汝果

范学虹 胡万忱 柯有安

侯 迁 侯正明 莫梧生

崔尔杰

07/11/88/07

前 言

人类为了生存,用感官去感受温度和声信号等各种信息。为了描述这种信息,人们采用语言型描述方法,如对温度采用冷、很冷和很热等进行描述。后来,人类发明了数字,开始用数字来计数和描述各种信息。几千年来,人类虽然一直沿用数字计算,而且整个科学建立在数字基础之上,然而却一直采用语言模糊描述。人类本身虽然可敏感信息,进行思维判断和决策,然而人类的智能和科学之间却存在着一条不可逾越的鸿沟。人类的智能不能传给现代科学。自从1965年美籍科学家 L. A. Zadeh 提出模糊理论以后,人类智能和现代科学之间才有了联系桥梁。在信息描述上,从远古时使用模糊概念到后来长期使用数字,再回到使用模糊概念上,不是一种简单的重复,而是在更高的层次上的重复。模糊理论是建立在严格的数学基础之上用来描述和处理人类模糊语言信息的一种理论,它是人类智能和计算机之间的桥梁,并借助于现代科学的发展得以飞速发展。

按照模糊理论奠基人 L. A. Zadeh 教授的最初设想,模糊理论主要用于人类主观因素起主导作用的领域如人文科学和社会科学。然而模糊理论却在自动控制领域得到了最广泛和最成功的应用。模糊控制理论不仅仅在消费工业和家电产品上得到了广泛应用,而且在汽车工业、工程控制及军事等诸多领域里得到了广泛应用。我国在模糊理论研究方面有一支庞大的研究队伍,研究成果已达到国际一流水平。然而在模糊理论实际应用上还远未达到应有的规模,尤其是在模糊控制技术应用方面还有待进一步发展。近些年来我国科学技术的发展,给模糊控制技术的应用带来新的生机。因而非常需要一本系统全面地介绍模糊控制技术及应用的参考

书。

本书正是这样一本系统全面地介绍模糊控制技术及应用参考书。它采用大量插图,以工程上通俗易懂的形式介绍了模糊理论(第二章)、模糊控制理论(第三章及第四章)和优化模糊控制技术(第五章)。最后,介绍了模糊技术实际应用时所需的模糊硬件和开发环境以及各种应用实例。本书可作为工厂、研究所的工程技术人员和大专院校的研究生工作学习时的参考书。

本书中不足之处,诚恳希望读者不吝指教,提出宝贵意见,以便再版时修订补正。

致 谢

本书涉及的科研项目得到国家自然科学基金和国防科技预研基金的联合资助。

作者对西安交通大学李人厚教授、西安电子科技大学谢维信教授及西北工业大学肖顺达教授,在百忙之中为本书作了非常有益的修改表示衷心的感谢。

在此,作者还感谢国防科技图书出版基金评审委员会对出版本书的资助,感谢国防工业出版社诸位同仁的大力支持。

目 录

第一章	引言	1
第二章	模糊理论基础知识	7
2.1	普通集合	7
2.2	模糊集合	8
2.3	模糊算子	13
2.4	模糊关系	16
第三章	模糊控制理论	18
3.1	模糊控制理论概况	18
3.2	模糊控制系统	19
3.3	模糊控制器设计	32
3.4	模糊控制器的实现(离散式)	35
3.5	模糊控制器的实现(连续式)	42
3.6	模糊控制器的硬件实现	48
3.7	模糊 PID 控制器	52
3.8	模糊控制的特点	55
3.9	模糊控制器传递特性	57
3.10	模糊推理的扩展	59
第四章	模糊控制系统稳定性分析	63
4.1	模糊控制器的等价模型	64
4.2	描述函数分析法	65
4.3	相平面分析法	74
4.4	Ljapunov 判据分析法	75
4.5	Popov 判据分析法	76
4.6	语言型稳定性分析方法	78
第五章	优化模糊控制技术	81
5.1	混合模糊控制	81

5.2	自适应模糊控制	85
5.3	并行模糊控制	88
5.4	模糊神经网络控制	89
5.5	遗传基因自适应模糊控制	95
第六章	模糊硬件产品及其开发工具	97
6.1	模糊逻辑硬件实现	98
6.2	模糊逻辑组件	100
6.3	Omron 公司产品	101
6.4	Inform/Siemens 公司产品	102
6.5	Togai InfraLogic 公司产品	103
6.6	Neural Logic 公司产品	107
第七章	模糊控制应用实例	109
7.1	无室外温度传感器的室温自适应控制	109
7.2	温度传感器动态性能改善的模糊控制方法	112
7.3	行车模糊控制系统	117
7.4	还原炉中氢气流量的模糊控制	122
7.5	机车模型位置模糊控制系统	128
名词索引		133
参考文献		136

第一章 引言

为了用数学方法描述和处理自然界出现的不精确、不完整的信息如人类语言描述和图像信息,美国科学家 L. A. Zadeh 于 1965 年发表了题为“fuzzy set”^[1]的论文,提出了模糊理论。模糊理论建立在模糊集合(fuzzy set)和模糊逻辑(fuzzy logic)基础上,引入隶属函数(membership function)的概念来描述那些介于“属于”和“不属于”的中间过渡过程,使得每个元素不仅以“0”或“1”属于某一集合,而且还以一定的介于“0”和“1”之间的程度属于某一集合。每个元素都或多或少地属于某一集合。模糊集合是以一定程度具备某种特性元素的全体。

在模糊理论提出的年代,由于科学技术尤其是计算机技术发展的限制以及科技界对“模糊”含意的误解,使得模糊理论没有得到应有的发展。从 1965 年至 80 年代,在美国、欧洲、中国和日本,只有少数科学家研究模糊理论。尽管理论文章总数高达约 5000 篇,然而实际应用却寥寥无几。到 80 年代末期,随着计算机技术的发展,日本科学家才成功地将模糊理论运用于工业控制和消费产品控制,在世界范围内掀起了模糊控制应用高潮。目前,各种模糊产品充满日本、西欧和美国市场,如模糊洗衣机、模糊吸尘器和模糊摄像机等。模糊技术几乎变得无所不能。各国都争先开发模糊新技术和新产品,将模糊技术作为本国技术发展的关键技术之一。日本还将模糊技术开发作为开发第五代计算机的日式“革命”。模糊控制技术已成为自动控制技术领域一个重要分支。

所谓模糊性,主要是指客观事物彼此间的差异在中间过渡时的“不分明性”,它是日常生活中常见的现象。如“大与小”、“高与矮”、“快与慢”、“冷与热”,都很难用精确的数学语言划分出一条截

然分明的界限。

提出模糊集合理论的出发点,是将人类所特有的这种语言模糊描述加以数学上的描述,变成计算机可以接受的形式。图 1-1 展示了自然界中人类敏感信息,改造大自然的两种方式。常见的方式是用人类感官感受自然界各种信息,经大脑分析、判断后,利用手足去执行大脑发出的指令,例如汽车驾驶员驾驶汽车的过程。随着社会的不断进步,人们采用各种传感器去采集信息,经计算机分析判断后,再通过执行器去执行指令。模糊理论建立了大脑和计算机之间的桥梁,它将大脑中的以模糊信息形式存储的经验和知识,转化成计算机可以接受的形式,使得计算机可以模拟大脑处理模糊信息,进行分析和判断。

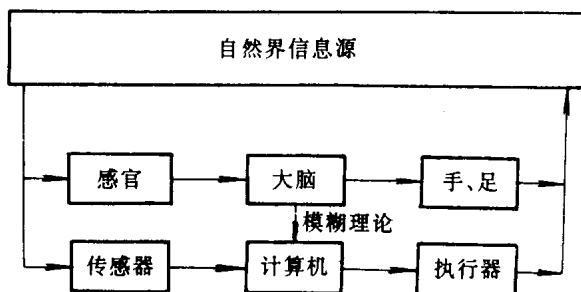


图 1-1 信息采集、处理和控制作用图

依照模糊理论奠基人 L. A. Zadeh 教授的最初设想,模糊理论应在人类主观因素起主导作用的领域如人文科学和社会科学上得到应用和发展。在这些领域里人类必须进行分析、判断和决策。人类所使用的信息是语言信息,而语言信息描述的特点是其描述的模糊性,所描述的事物没有明确的分界线,人类主观因素在这里起很大作用。然而模糊理论最成功的应用领域却是自动控制领域。1974 年英国科学家 Mamdani 和 Assilian 首次将模糊理论应用于热电厂的蒸汽机控制^[2],揭开了模糊理论在控制领域应用的新篇章。蒸汽机的控制是非线性多变量复杂控制系统。由于这种系统时间常数的不确定性,使其数学模型太复杂,采用常规控制方法

(包括随机控制方法)得不到满意的效果。直到采用模糊控制后才使该控制问题得到圆满的解决。从此,模糊控制技术开始得以发展。1976年 Mamdani 又将该理论用于水泥旋转炉的控制上^[3]。在所有应用中,模糊控制在欧洲主要用于工业自动化,在美国主要用于军事领域。尽管在此之后 10 多年内模糊控制技术应用取得了很好的结果,然而一直未取得根本上的突破。直至 80 年代末;随着计算机技术的飞速发展,模糊控制技术才得以广泛地应用。1983 年日本 Fuji Electric 公司实现了饮水处理装置的模糊控制。1987 年日本 Hitachi 公司研制出地铁的模糊控制系统^[4]。仅 1987 年~1990 年在日本申报的模糊产品专利就达 319 种。表 1-1 是这 319 种专利分布领域情况。图 1-2 是 1983~1990 年日本模糊产品专利发展趋势^[5]。

表 1-1 模糊产品专利分布(1987~1990 年)

应 用 领 域	专 利
过程控制	49
家用电器控制	8
测量技术/传感器	29
汽车电子	46
机器人	19
图象识别/图象数据处理	31
诊断	16
其它	121
共计	319

在日本模糊控制技术发展的冲击下,欧洲各国和美国深感本国在该技术领域里的落后。于是,各大著名公司依靠雄厚的技术和资金力量成立专门的研究部门开发模糊产品,如西门子公司已研制出模糊芯片 80C166 和相应的开发软件工具等。

模糊理论除了在消费工业上取得了巨大成就外,还在汽车工

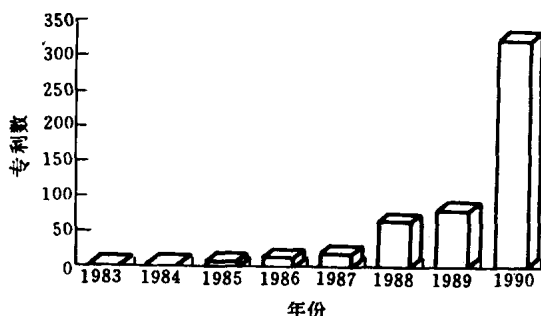


图 1-2 1983~1990 年日本模糊产品发展趋势

业上得到了广泛的应用。日本 Nissan 公司将模糊理论应用于反滑系统和自动驾驶系统中。日本 Mitsubishi 公司研制出模糊驾驶动态控制系统“INVEC”，该系统包括从发动机到驱动杆、ABS(自动防滑)、ASR(自动防撞)等所有子控制系统。

模糊理论的发展和计算机技术的发展是紧密相关的。没有计算机技术的发展就没有模糊理论的发展，而模糊理论又促进了计算机技术的革命。由于应用模糊理论描述模糊信息，使计算机可以更深入更广泛地模拟人的思维，从而使计算机具备一定的智能，例如用计算机自动控制驾驶飞机，自动吊装大建筑物，人工智能图像识别，医疗诊断等。

我国开展模糊理论的研究已有 20 多年的历史。模糊技术已经应用到国民经济各个领域，从工业控制到地震预报，从企业管理到航空航天，取得了很大成果。我国是模糊技术发展较快的国家之一。国家自然科学基金委员会于 1988 年拨款 135 万元资助了由北京师范大学汪培庄教授领导的全国 155 位模糊控制专家参与的重大科研项目“模糊信息处理与机器智能”，并取得了很大的成绩。

目前，模糊控制技术仍然是世界科学界感兴趣的技术之一。世界各国都投入了巨大的人力、物力，用于研究和发展模糊技术。日本在工业和商业部(MITI)的支持下成立了“国际模糊工程研究所”，计划投资 30 亿日元，几乎所有的大公司如 NTT, Fujitsu, Honda, Shimizu, Omron, Tokyo Electric, Olympus 等都参加了该

工程。欧洲组建了 ELIFE 实验室(Laboratory for International Fuzzy Engineering Research),旨在协调欧洲各国模糊技术的发展和推广。美国 IEEE 组织于 1992 年 3 月召开了国际模糊大会 Fuzz-IEEE'92。大会上介绍了模糊理论应用的发展,尤其是模糊软件工具的发展。其中有影响的软件工具有德国 Inform 公司开发的 Fuzzy Tech,美国 Togai Infralogic 的 TIL Shell/FCDS。

下面是自 1990 年以来在模糊逻辑领域开展的主要的学术活动:

1990. 10. 18: 第一届模糊应用大会(FAN-Treff),德国汉堡;

1991. 2. 1: 模糊技术工作站成立,德国;

1991. 7. 7~7. 12: 第四届国际模糊系统学术报告会 IFSA'91,比利时 Brüssel;

1991. 7. 6: “模糊逻辑和模糊控制”VDI/VDE 学术组成立,德国 Aachen;

1991. 7. 16~7. 19: EURO-XI 国际会议,德国 Aachen;

1991. 11. 13~11. 15: IFES'91 国际会议,日本 Toko hama;

1992. 3. 8~3. 12: Fuzz-IEEE'92,美国 San Diego;

1993. 7. 4~7. 9: IFSA'93,韩国,汉城。

模糊理论在控制领域取得广泛的应用,完全是由模糊控制本身的特点所决定的。模糊控制器采用人类语言信息,模拟人类思维,故它易于接受,设计简单,维护方便。模糊控制器基于包含模糊信息的控制规则,所构成的控制系统比常规控制系统稳定性好,鲁棒性高。在改善系统特性时,模糊控制系统不必像常规控制系统那样只能调节参数,还可以通过改变控制规则、隶属函数、推理方法及决策方法来修正系统特性。因此,模糊控制器设计、调整和维修变得简单。在常规控制算法中,微小的错误和参数漂移都可能引起系统失控,而基于控制规则的模糊控制系统对某一规则的变化敏感很小,系统抗干扰能力强。

模糊控制技术不仅仅是狭义上单纯的模糊控制器。在实际中更多的是广义上的模糊控制技术,其中包括调节器、自适应模糊控

制器和混合模糊控制器。它们的作用除了控制之外,还有过程状态改变,设定量的产生,调节量的开关,以及控制策略的转换。

目前,模糊控制技术日趋成熟和完善。多年来一直未解决的稳定性分析问题正在逐步解决。模糊芯片也已研制成功且功能不断加强,成本下降。直接采用模糊芯片开发产品已成为趋势。模糊开发软件包也充满市场。模糊控制技术除了在硬件、软件上继续发展,在简单模糊控制技术上发展以外,将在自适应模糊控制、混合模糊控制以及神经模糊控制上取得较大的发展。随着其它学科新理论新技术的建立和发展,模糊理论的应用变得更加广泛。模糊理论结合其它新兴技术和人工神经网络(Neural Network)和遗传基因(Genetic Mechanism)形成交叉学科神经网络模糊技术(Neuro-Fuzzy Technique)和遗传基因模糊技术(Genetic Fuzzy Technique),用于解决单一技术不能解决的问题。模糊理论在其它学科技术的推动下,正朝着更加广泛的方向发展。