

FUZZYLOGIC

模糊逻辑控制技术 及其应用

窦振中 编著

二十一世纪的核心技术
模仿人脑思维的技术
简单而有效的控制技术



北京航空航天大学出版社

模糊逻辑控制技术及其应用

窦振中 编著

北京航空航天大学出版社

(京)新登字 166 号

图书在版编目(CIP)数据

模糊逻辑控制技术及其应用/窦振中编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,1995.8
ISBN 7-81012-581-8

I. 模… II. 窦… III. 逻辑控制:模糊控制 IV. TP273
中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05884 号

内 容 简 介

这是反映最新模糊逻辑控制技术的书。首先论述了模糊逻辑及其应用研究的起源、历史、现状和发展趋势,讨论了模糊逻辑的基本问题和与其他相关学科的关系;并从工程应用角度分别介绍了模糊逻辑的数学基础和控制理论;着重讨论了各种模糊控制器的工作原理、设计思想、结构组成和具体工程实现方法;特别介绍了当前各种商品化的模糊逻辑集成电路和模糊逻辑开发工具;最后具体分析了典型模糊逻辑控制应用系统的成功实例,基本覆盖了家用电器的各个方面,内容丰富、材料翔实,具有很好的借鉴作用。

本书可作为高等学校自动控制、工业自动化和计算机应用专业的教学用书,也可作为广大工程技术人员进行继续教育的学习用书和利用该技术进行电子控制产品更新换代的参考书。

- 书 名: 模糊逻辑控制技术及其应用
- 编 著 者: 窦振中
- 责任编辑: 王小青
- 出 版 者: 北京航空航天大学出版社(100083)
- 地 址: 北京学院路 37 号 2015720(发行科电话)
- 印 刷 者: 朝阳科普印刷厂
- 发 行: 新华书店总店科技发行所
- 经 售: 全国各地书店
- 开 本: 787×1092 1/16
- 印 张: 18
- 字 数: 458 千字
- 印 数: 5000 册
- 版 次: 1995 年 7 月第 1 版
- 印 次: 1995 年 7 月第 1 次印刷
- 书 号: ISBN 7-81012-581-8/TP·169
- 定 价: 23.00 元

精确兮，模糊所伏；

模糊兮，精确所依。

—— 老子

前 言

当逛进大商场或者家用电器商店时，你会无意中发现已有不少家用电器上，比如洗衣机、电饭锅、照相机、摄象机，打上了“FUZZY CONTROL”的标签，并且这类产品的品种还在增多。报纸和杂志上也会不时地出现这些字样或者模糊控制这个术语。人们在不知不觉中已开始接受这个新事物。向一般人普及 FUZZY 的课堂不是在学校，而是在商场由模糊控制的家用电器的向大家讲解。“FUZZY”这个词在英语里的解释是“毛绒绒的，似绒毛的，朦胧的，模糊的”。在这里通常把它翻译成“模糊”，也有把它翻译成“朦胧”。无论是模糊还是朦胧，这与控制又有何关系呢？控制是“模糊”的还好吗？实际上“FUZZY”或者“模糊”这个词对某些科学工作者来说并不陌生，这是与一种新理论相联系的概念。这种模糊理论是在美国柏克莱加州大学电气工程系 L·扎德(Lotfi Zadeh)教授在 1964 年创立的模糊集合理论的基础上发展起来的。模糊逻辑则是模糊理论体系的一部分。传统逻辑把命题和逻辑世界分成为是与非、黑与白；而模糊逻辑摒弃了布尔这种简单的肯定和否定的逻辑，把逻辑世界看成是具有连续变化灰度的，允许一个命题亦此亦彼，存在着部分肯定和部分否定。它提供了一种更自然更合理的操作环境，这就为计算机模仿人的思维方式来处理普遍存在的不精确的模糊信息提供了可能，并由此使处理结果更符合人的要求。模糊逻辑对布尔逻辑而言，就相当于胶印的黑白艺术印刷品对报纸上的传真新闻照片。传真照片是用点的“有”和“无”组成的，而艺术印刷品则是有灰度层次的。

扎德的模糊集合理论提出以后，并未引起普遍的重视，甚至还不断受到很多学术权威的嘲笑和讽刺，特别是在其发源地美国，由于西方社会长期形成的“科学必须是精确的”偏见和习惯，学术界不少人认为他是一个疯子，甚至至今还有少数权威学者认为这是骗子和头脑发热的产物。奇怪的是，由于东西方哲学的差异，东方人，特别是中国人、日本人和印度人，一发现这个理论就认为这是非常自然的事，立即去热情地拥抱（虽然也有一些学者不愿意接受它，表示怀疑）。从 70 年代开始，这个理论逐渐受到少数工程师的注意，在日本和欧洲组织了研究团体；80 年代后，受到工业企业界研究人员的重视，开始较快地发展起来，并应运而生在 1984 年成立了国际 FUZZY 系统学会。此学会从 1985 年开始，每两年在西班牙、日本和美国举办一次国际会议。

近年来日本人把模糊逻辑在控制方面的应用实用化，1987 年 7 月用模糊逻辑实现的日本仙台市地铁运输系统投入运行后，该技术盛行于日本，日本工商界已把模糊控制当作高附加值的代名词。不少公司已成功地把它应用于许多工业生产控制和家用电器等消费产品中，使这项技术进一步实用化、商品化。当这些打着模糊控制标签的产品源源不断地打入各国市场后，全球就刮起了模糊控制的旋风，模糊控制在近几年成了美国 and 欧洲大部分电子类杂志的中心话

题之一。美国工商界看到日本人用从美国捡来的技术在大把大把地赚走美国人的钱,感到很沮丧;美国科技界这时才觉醒惊呼,认为美国在这方面已落后日本五年以上,而落后欧洲一年。看准了模糊控制技术的商业经济价值后,美国人奋起直追,近几年先后创办了不少与推广开发模糊技术有关的新公司,包括 Intel、Motorola 等大公司都分设了有关的下属公司,致力于开发各种模糊逻辑集成电路(如模糊处理机、模糊单片机、模糊加速器等)、开发工具模板、开发系统软件包、编译器、单片机汇编代码生成器、预处理机以及教学套装软件等。这些新器件新技术和开发工具从不同方面加快了模糊控制器设计、模拟和调试以及产品上市的过程,大大地加快了模糊逻辑控制技术的发展。

我国研究模糊理论的科技工作者在世界上最多,并在理论上取得了令世人瞩目的成就,但绝大多数是数学工作者,这与美、日是以工程技术人员为主有显著不同。尽管我国每年在这方面发表的论文数是最多的,但工程应用和技术水平却与此不相称。希望能有更多的工程技术人员加入到模糊逻辑控制的研究中来,推动国内这方面的工程应用。国内先后已经出版了 30 来本有关模糊理论的书籍,但有关工程应用方面的书还比较少,把模糊逻辑控制技术用于面广量大的家用电器方面的书和介绍有关模糊逻辑最新技术和器件以及开发工具的书就几乎没有。本书撰写目的就是想弥补我国在工程应用方面的不足,并提供尽量多的有关这方面研究的最新信息。作者在美国两年多的访问研究中,始终注意该领域的技术发展,收集了大量的文献资料,以此为基础,参考国内外的著作和文献,以及作者的部分研究,写成此书以供广大科技工作者参考。

本书共分六章:第一章是模糊逻辑概述,简单地介绍了模糊逻辑的起源、发展和现状以及讨论了有关模糊逻辑控制中的基本问题;第二章是模糊逻辑系统,简介模糊逻辑的数学基础;第三章是模糊逻辑控制理论,介绍模糊逻辑控制原理;第四章是模糊逻辑控制器设计,介绍一般模糊逻辑控制器和几种改进的模糊控制器设计的方法;第五章是模糊逻辑集成电路和开发工具,介绍一般模糊逻辑电路原理和目前已经推出的模糊逻辑集成电路、硬件板卡和各种开发工具;第六章是模糊逻辑控制应用实例,介绍一些成功的典型应用系统和各种模糊控制家用电器的设计思路和方法。

本书在撰写过程中曾得到很多专家、学者、朋友的支持和帮助,特别是得到美国阿灵顿德克萨斯大学机器人和自动化研究中心高级研究员刘楷博士、人体性能研究所主任和电气工程系和生物工程系教授 George V. Kondraske 博士、博士生廖辉东、李峻、严复中、Aloha Network Service Inc. 总裁周台荣先生、台湾 3M 公司陈朱生先生、日本丸红株式会社於洪林先生等的支持和协助,最后阶段还有幸得到北京科技大学自动化学院模糊技术研究室教授刘增良博士的指导,在此谨表诚挚的谢意。另外在成书过程中参考了书末所列的一些著作和论文,在此对这些著作和论文的作者深表感谢。最后,我要对北京航空航天大学出版社的杨昌竹副总编的指导帮助和责编王小青在编辑过程中所付出的辛勤劳动,对周巧桂和窦进帮助我用计算机输入大部分手稿,表示衷心的感谢。笔者才疏学浅,疏漏不妥之处,盼请广大读者不吝批评指正。

作 者

1994 年 10 月

于瘦西湖畔

目 录

第一章 模糊逻辑概述

1.1 模糊逻辑的起源、发展和现状.....	1
1.1.1 模糊逻辑的起源	1
1.1.2 模糊逻辑及其技术的发展和现状	3
1.1.2.1 美国的研究历史和现状	3
1.1.2.2 欧洲的研究历史和现状.....	12
1.1.2.3 日本的研究历史和现状.....	14
1.1.2.4 中国的研究历史和现状.....	18
1.2 模糊逻辑与计算机.....	20
1.2.1 计算机与人脑.....	20
1.2.2 机器思维与人脑思维.....	21
1.3 模糊逻辑与人工智能.....	21
1.3.1 模糊逻辑与专家系统.....	22
1.3.2 模糊逻辑与神经网络.....	23
1.4 模糊逻辑技术中的若干基本问题.....	24
1.4.1 模糊逻辑是什么.....	24
1.4.2 模糊逻辑如何工作.....	25
1.4.3 为何称“模糊逻辑”.....	26
1.4.4 模糊逻辑技术带来的好处.....	26
1.4.5 何时要用模糊逻辑技术.....	27
1.4.6 模糊逻辑与概率的联系和区别.....	28
1.4.7 模糊逻辑与多值逻辑的区别和联系.....	28
1.4.8 模糊逻辑技术与单片机结合相得益彰.....	29
1.4.9 模糊逻辑技术发展的动力.....	29
1.4.10 模糊逻辑技术的市场和前景	30
1.4.11 典型的模糊逻辑技术应用	31
1.4.12 模糊逻辑的不足之处	32
1.4.13 关于 IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEM 杂志	33

第二章 模糊逻辑的数学基础

2.1 模糊集合及其表述方法.....	35
2.1.1 从经典集合到模糊集合.....	35
2.1.2 模糊集合及其运算.....	38

2.1.3 模糊集合的隶属函数	39
2.1.3.1 确定隶属函数的原则	40
2.1.3.2 确定隶属函数的方法	43
2.1.3.3 常用隶属函数的图形	44
2.1.3.4 隶属函数描述实例	46
2.2 模糊逻辑	47
2.2.1 二值逻辑、多值逻辑和模糊逻辑	47
2.2.2 二值逻辑、多值逻辑和模糊逻辑的基本运算	50
2.2.3 模糊逻辑公式	51
2.2.4 模糊逻辑函数运算	52
2.3 模糊语言逻辑及其算子	54
2.3.1 语气算子	56
2.3.2 模糊化算子	57
2.3.3 判定化算子	57
2.4 模糊逻辑推理	57
2.4.1 为何要模糊逻辑推理	57
2.4.2 何为模糊逻辑推理	58
2.4.3 模糊逻辑推理方式和方法	59
2.5 解模糊判决方法	66
2.5.1 重心法	66
2.5.2 最大隶属度法	67
2.5.3 系数加权平均法	67
2.5.4 隶属度限幅元素平均法	67
2.5.5 不同解模糊判决方法的性能比较	68

第三章 模糊逻辑控制理论

3.1 传统控制方法及其限制	69
3.1.1 传统控制系统的结构与设计方法	69
3.1.2 传统控制的局限性	70
3.2 如何在控制系统中模仿人的思维方式	71
3.3 模糊逻辑控制的起源和发展	72
3.3.1 世界上第一例实验室模糊控制应用	72
3.3.2 第一个商业化的模糊控制器	77
3.4 模糊逻辑控制工作原理	78
3.4.1 模糊控制过程	78
3.4.1.1 精确输入量的模糊化	79
3.4.1.2 模糊规则的形成和推理	80
3.4.1.3 精确输出量的解模糊判决	84
3.4.2 模糊逻辑控制方式	85

3.4.2.1 状态估计模糊控制法	86
3.4.2.2 预见型模糊控制法	90
3.4.3 模糊逻辑控制规则的推理方法	92
3.4.3.1 合成模糊推理方法	92
3.4.3.2 间接模糊推理方法	95
3.4.3.3 后件是线性函数的模糊推理方法	96
3.5 模糊逻辑控制系统稳定性判断	99
3.5.1 多值继电器模拟方法	100
3.5.2 模糊控制器的代数模型及其分析	102
3.5.3 仿真实验研究寻找稳定性条件	105
3.5.3.1 K_e 、 K_d 和 K_u 与稳定性的关系	105
3.5.3.2 对象参数与临界振荡时 K_u 之间的关系	106
3.5.4 通过观察系统响应曲线来调节模糊规则提高系统稳定性的方法	108

第四章 模糊逻辑控制器和模糊控制系统设计

4.1 模糊逻辑控制器结构和控制过程	113
4.1.1 模糊逻辑控制器的结构功能	113
4.1.2 模糊逻辑控制的过程	115
4.2 模糊逻辑控制器的设计参量和控制规则设计原则	115
4.2.1 模糊逻辑控制器的设计参量	115
4.2.2 模糊逻辑控制器规则的设计原则	116
4.3 模糊逻辑控制器设计途径	117
4.3.1 以专家的知识和经验作为依据的设计方法	117
4.3.2 通过建立熟练操作工控制模型的设计方法	119
4.3.3 建立被控制对象模糊模型的设计方法	122
4.4 一般模糊逻辑控制器设计方法	124
4.4.1 典型模糊控制器设计例子——倒单摆平衡控制	124
4.4.2 模糊逻辑控制器的一般设计方法	127
4.4.2.1 模糊化方法	127
4.4.2.2 数据库	128
4.4.2.3 规则库	131
4.4.3 设计模糊控制器的具体方法	137
4.4.3.1 控制系统的分析和划分	137
4.4.3.2 定义输入和输出以及模糊化过程	138
4.4.3.3 编写规则	141
4.4.3.4 系统调整和优化	143
4.4.3.5 目标系统的仿真优化	144
4.5 具有修正因子的模糊控制器的设计	146
4.6 模糊 PID 控制器设计	147

4.6.1	P-FUZZY-PI 控制器	147
4.6.2	参数模糊自整定 PID 控制器	149
4.7	自组织和自适应模糊控制器的设计方法	152
4.7.1	自组织模糊控制器	152
4.7.2	自适应模糊控制器	155
4.8	其它模糊控制器	157
4.8.1	专家模糊控制器	157
4.8.2	基于神经网络的自学习模糊控制器	158
4.9	用单片机实现模糊逻辑控制的考虑	165
4.9.1	根据分辨率和速度要求选择单片机的位数	166
4.9.2	单片机的结构对运行速度的影响	166

第五章 模糊逻辑集成电路和开发工具

5.1	模糊逻辑硬件电路	167
5.1.1	为何和何时要用专用模糊逻辑硬件电路	167
5.1.2	模糊逻辑电路原理	167
5.1.3	集成模糊逻辑电路	169
5.1.4	模糊逻辑集成电路新器件和应用硬件板卡	171
5.1.4.1	最早商品化的模糊处理器	172
5.1.4.2	模糊计算加速器	173
5.1.4.3	模糊单片机	175
5.1.4.4	模糊模式比较器	178
5.1.4.5	模糊数据相关器	178
5.1.4.6	与 ASIC 技术结合的模糊逻辑核心处理器	181
5.1.4.7	模糊协处理器	182
5.1.4.8	在 DSP 芯片上实现的模糊控制器	182
5.1.5	模糊逻辑集成电路新技术尚在发展中	182
5.2	模糊逻辑开发工具	183
5.2.1	模糊系统开发与传统系统开发的差别	183
5.2.2	开发模糊系统的软件工具	183
5.2.2.1	Freeware	184
5.2.2.2	FIDE	191
5.2.2.3	TIL Shell	201
5.2.2.4	FuzzyTECH	202
5.2.2.5	NeuFuz4 和 NeuFuz4-C	206
5.2.2.6	INSIGHT	209
5.2.2.7	东芝 IFCS	209
5.2.2.8	NEC FLSDE	210
5.2.2.9	FC-tool V1.0	210

5.2.3 通用模糊逻辑开发工具	210
5.2.3.1 CubiCalc	210
5.2.3.2 Fuzzy-C	211
5.2.3.3 Fuzzle 1.8	212
5.2.3.4 Metus Fuzzy Library	212
5.2.3.5 Fuzzy Logic Designer	212
5.2.3.6 其他模糊逻辑开发工具	213
5.3 模糊计算机	213
5.3.1 模糊计算机的特点	213
5.3.2 模糊硬件器件的特点	213
5.3.3 模糊逻辑计算机的结构	214
5.3.4 模糊数据处理软件	215
5.3.5 展 望	216

第六章 模糊逻辑控制应用实例

6.1 模糊逻辑控制的全自动洗衣机	218
6.1.1 洗衣条件	218
6.1.2 模糊控制洗衣机结构	219
6.1.3 控制电路设计	221
6.1.4 模糊控制实现方法	222
6.2 模糊控制电饭锅	225
6.2.1 理想的煮饭方法	225
6.2.2 传统方法难以实现	225
6.2.3 模糊控制电饭锅设计	226
6.3 模糊控制电冰箱	227
6.3.1 普通电冰箱的结构	228
6.3.2 普通电冰箱的控制	228
6.3.3 模糊控制电冰箱控制框图	228
6.3.4 电冰箱的模糊控制	229
6.3.5 电冰箱的模糊控制算法	229
6.4 模糊控制吸尘器	230
6.4.1 基本设计思想	230
6.4.2 控制电路框图	231
6.4.3 模糊控制器的控制逻辑结构	231
6.4.4 实现原理	231
6.4.5 模糊控制实现方法	232
6.4.6 模糊控制与人工控制的吸尘器工作效果比较	235
6.4.7 其它附加功能	236
6.5 模糊控制微波炉	236

6.5.1	传感器和变量测量方法	236
6.5.2	微波炉的模糊控制	238
6.6	模糊控制空调机	240
6.6.1	空调机的基本模型	240
6.6.2	一个改进的模型	241
6.6.3	汽车空调的高级模型	242
6.6.4	结 论	242
6.7	照相机和摄象机的模糊控制自动聚焦系统以及其他控制	242
6.7.1	对输入/输出变量定义	243
6.7.2	照相机自动聚焦的模糊控制结构	244
6.7.3	模糊控制规则	244
6.7.4	输入/输出响应	245
6.7.5	效果与说明	245
6.7.6	模糊逻辑控制技术用于照相机和摄象机其他方面的方法	246
6.8	自来水净化模糊控制	247
6.8.1	自来水的处理过程和控制特点	247
6.8.2	模糊控制规则	247
6.9	地铁机车模糊控制器	248
6.9.1	地铁自动运输系统的多目的控制评价指标	248
6.9.2	传统控制方法与模糊控制方法的比较	248
6.9.3	预测型模糊控制地铁机车控制系统设计	249
6.10	用于电梯群控的模糊控制器	256
6.11	隧道挖掘机模糊控制系统	258
6.12	玻璃熔炉温度模糊控制器	259
6.13	模糊控制技术在汽车上的应用	265
参考文献		267

第一章 模糊逻辑概述

1.1 模糊逻辑的起源、发展和现状

1.1.1 模糊逻辑的起源

绝大多数人都会有这样的体验,但不一定注意到:我们日常生活中每天都会遇到大量的模糊概念和模糊现象,比如,“那窗帘的颜色太鲜艳”、“你电视机的对比度调得小了一些”、“这小孩真漂亮”、“他哥哥的个子很高”、“我姑妈是个心地善良的妇女”等等,这里的“太鲜艳”、“小了一些”、“真漂亮”、“很高”以及“善良”都是模糊概念。这些都无法用我们所学过的传统数学方法来度量。尽管如此,在特定的环境中,大家用这些模糊概念来描述对象却能心领神会,明白对方说的是什么意思,一般并不会引起误解和歧义。例如,某人有急事要找一个正在开座谈会的同事,这时你刚好要进会议室,他请你把要找的人叫出来,他告诉你这个人的特征是秃顶大胡子,浓眉大眼,你进去只要目光一扫,就会找到这个人。然而他如果精确地告诉你,他头上的头发是 12 368 根,胡子有 4 821 根,眼睛的尺寸是多少多少,你反而可能就无法判断是哪一个人。在这种情况下,给出的是模糊概念,得到的却是精确的结果;相反,如果给出精确的描述,得到的结果倒可能是模糊的。这是因为模糊概念比精确描述可以覆盖更广的范围,这种定性描述可以利用人原有的知识来大大地增加信息量。人的语言具有模糊性是人的思维方式的反映,这种人的思维方式与传统数学之间的不一致,大家都见多不怪,习以为常。

随着科学技术的进步,由于模糊现象到处大量存在,人们已无法回避这个问题,历史上有不少科学家都探索过解决这个矛盾的途径:从 20 世纪 20 年代开始,就有学者思考和研究如何描述客观世界中普遍存在的模糊现象。著名的哲学家和数学家 B·罗素(Bertranel Russell)在 1923 年就写出了有关“含糊性”的论文,他在论文中说,含糊和精确都是语言的属性,而不是现实存在;他认为“所有的语言都是模糊的”,例如“红的”和“老的”就都不是清晰的或明确的;他说,即使象长度计量单位“米”这样的词,表面上看应是确切的术语,然而 1m 是指保存在巴黎国际计量局的一根铂铱合金棒上的两个刻痕之间的距离,而这两个刻痕并不是无尺寸的几何上抽象的线,而是有一定宽度的刻痕,那么它们之间的距离就不是确切的,另外杆还有热胀冷缩,所以“米”实际上是模糊的。当然“米”模糊的程度要比“红的”要小。同样“秒”也是模糊的,原来 1s 是被定义为一个太阳日的若干分之一,而太阳日则是通过天文观测用地球平均旋转一周的时间来确定的,但是地球并不是严格地以相同速度和恒定周期旋转的,并且任何对此

米”:由于长度的原始标准用起来有实际困难,从 1960 年开始已采用新标准:用氪的纯同位素氪 86(Kr^{86})发出的橙红色光的波长来定义,把一米定义成该波长的 1 650 763 73 倍。

秒”:时间单位从 1967 年开始也采用了新标准:把铯同位素 133 原子中振荡 9 192 631 770 次所花的时间(即辐射电磁波周期)定义为一秒。

的测量都会有误差。与扎德同一出生地阿塞拜疆的巴库,后来移民英国的学者 M·布兰克(Max Black)早在 1937 年就对“含糊性”进行过研究,在其发表的论文中提出了“轮廓一致”的概念,这可看成以后扎德提出隶属函数的思想萌芽,他已经走到了真理的边缘,但在选择“程度”时,不是选的“真实的程度”而是选了“用法的程度”,这就走错了路,他在作为后记的附录中,还提出了模糊集合和子集合的概念,所以,实际上他是模糊集合的鼻祖。以后,其他的思想家也认识到模糊是普遍存在的。A·爱因斯坦就说过:“就关于现实存在的数学定律而言,它们并不肯定;而肯定的却都是与现实存在无关的。”在这个时期,也已经有人发现传统的二值逻辑具有局限性,并不能真正地反映现实世界。正如罗素所说:“传统逻辑都习惯于假定使用的是精确符号,所以它并不适合于现实生活,而只适合于想象中的理想情况。”他认为世界上不存在绝对的精确性,二值逻辑只是理想逻辑世界的模型,而不是现实世界的模型,或者可以看成是现实世界的近似和简化。第一个跨出二值逻辑限制的是波兰的逻辑学家和哲学家 J·卢卡瑟维兹(Jan Lukasiewicz),他在 1920 年创立了多值逻辑,为建立正式的模糊模型走出了第一步。直到 1964 年夏末秋初,出生于苏联阿塞拜疆巴库的美国柏克莱加利福尼亚大学电气工程系教授 L·A·扎德(Lotfi Asker Zadeh)博士把经典集合与 J·卢卡瑟维兹的多值逻辑融为一体,创立模糊集合理论时,才真正开辟了解决这个问题的科学途径。

在经典二值逻辑体系中,假定所有的分类都是有明确边界的,任一被讨论的对象要么属于这一类,要么就不属于这一类;一个命题不是真就是伪,不存在亦真亦伪或者非真非伪的情况。而模糊逻辑是对二值逻辑的扩充,它是为解决现实世界中存在的模糊现象而发展起来的,其关键概念是渐变的隶属关系。一个集合可以有部分属于它的元素,它要考虑被讨论对象属于某一类的程度,一个命题可能亦此亦彼,存在着部分真和部分伪。例如,张三身高 1.74m,在经典二值逻辑中若把 1.78m 定为高个子,那么张三肯定就不是高个子。事实上,我们经常会这样说:“张三个子比较高”,在二值逻辑中就无法表达象“比较高”这样的不精确含糊信息;而在模糊逻辑中则可把 1.8m 定为高个子,1.69m 定为中等个子或者平均身高,那么就可说张三 46% 属于高个子,54% 属于中等个子。所以模糊逻辑是通过模仿人的思维方式来表示和分析不确定不精确信息的方法和工具。尽管“模糊”这个词在这儿用得不太好,已经引起很多莫名其妙的误解和猜疑,但模糊逻辑本身并不模糊,模糊逻辑并不是“模糊的”逻辑,而是用来对“模糊”进行处理以达到消除模糊的逻辑。事实上模糊逻辑是一种精确解决不精确不完全信息的方法,其最大特点就是用它可以比较自然地处理人的概念。

具体地说,模糊逻辑是通过使用模糊集合来工作的。如前所述,模糊集合与传统集合是不同的。传统集合对集合中的对象关系进行严格划分,一个对象要么是完全属于这个集合,要么就完全不属于这个集合,不存在介于两者之间的情况。模糊集合则具有灵活的隶属关系,它允许在一个集合中部分隶属。对象在模糊集合中的隶属度可以从 0 到 1 之间的任何值,而不象在传统集合中非得是严格的 0 或 1。这样,模糊集合就可以从“不隶属”到“隶属”逐渐地过渡。这样象“快”、“慢”、“热”、“冷”这些本来在常规集合中无法解决的含糊概念就可在模糊集合中得到表达,这就为计算机处理这类带有含糊性的信息提供了一种方法。25℃ 是暖还是热? 用传统集合的概念回答,这要么算暖要么算热;但用模糊术语回答则是“两者都有些,既算暖又算热”。换句话说,用模糊逻辑判断不是一刀切或者黑白分明,而是在两者之间连续渐变。表面看这种含糊是无意义的,但实际上却可通过对这些渐变安排特定的数字,再进行模糊逻辑推理而消除模糊。例如把 25℃ 作这样的分类,它隶属于暖的程度是 0.6,隶属于热的程度是 0.4,然后再用

这些数值去得到对问题的精确解。

1.1.2 模糊逻辑及其技术的发展和现状

这是一个众所周知的光学错觉:把一条垂直线靠近一条等长的水平线,问哪一条线长?一般人确实倾向于认为垂直线要长一些,但是在扎伊尔的苏库部落的人就绝对认为垂直线长。为什么会有这种区别呢?这是因为苏库人生活在没肩的草地中,在那儿很少看到地平线,所以他们更注意垂直的东西,因而垂直的东西给他们的印象要比水平的更深刻。

教训的力量有时是可怕的,文化背景和经验都在不知不觉地影响着人们的判断。人们总是相信自己的看法是合理和客观的,但是他们又很难摆脱自己的思想习惯。人们生活在根深蒂固和无形的偏见当中。

模糊理论起源于美国,但是它在美国却因为传统的习惯力量,其发展并不顺利,同样在欧洲也受到一定程度的抵制。然而现在模糊逻辑控制技术已被越来越多的美国人和欧洲人所接受,甚至还带有一点狂热。1993年 **IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEM** 作为 IEEE 神经网络协会的刊物在美国创刊,这是模糊系统理论已作为一个独立学科发展的标志。

所不同的是,模糊性在东方天生就受到欢迎。大部分东方人一接触到模糊理论,就感到很自然,好象本来就是如此,早该这样处理。1990年时,日本的模糊技术专家已经超过1000人,而中国的有关模糊理论和应用研究的科技人员估计有1万人左右,比较一下,美国的模糊理论和技术专家大约只有几百人,并且其中还有不小的一部分是华裔、日裔和印度裔。

东方人为何对模糊性有如此偏好,特别是日本人为什么要如此热情地拥抱模糊逻辑呢?这个问题并没有简单的答案,但是象苏库人一样,他们是把注意力集中在他们的环境特点上;最善用“模糊”的应该首推日本人,因为他们无论是语言还是处世都具有模糊性。即使本来是精确的东西,到了日本人那里就会模糊化。日本人总是避免正面做出“行”与“不行”这样态度明确的表态,他们常用“考虑考虑”和“再研究一下”代替这些判断。正因为模糊性更能集中反映他们的生活,所以他们能够更快地注意到它,并且能够更巧妙地把握它。在这里,虽然中国人与日本人都对模糊性有特别的好感,但他们对这个领域的研究态度、重点和途径却不同。中国人一贯有崇尚“君子动口不动手”的风范,学术界有重理不重工的传统,故在中国从事模糊研究的主要是一批数学工作者,这与欧美和日本主要是以工程技术人员为主大不相同,因此,在中国所取得的这个领域的成就也是以模糊数学理论为主。日本人采用的则是实用主义态度,他们只开发那些与直接应用有关的概念,而对那些与更广泛理论有关的概念至少先放在一边。所以他们优先抓住可以直接应用于控制的模糊逻辑,并在工程应用特别是在靠近产品设计和生产上下功夫。他们对把这项技术迅速变成钱特别有兴趣,由此他们已经通过这项技术从全世界获得了丰厚的利润。

1.1.2.1 美国的研究历史和现状

1. 模糊理论的创立

从1960年开始,柏克莱加州大学电子工程系的扎德教授致力于复杂系统理论的研究,把这些问题的解决一直还是想依赖于精确的传统数学理论上,但当他对于复杂系统了解得越多时,发现对系统需要了解的东西就更多。这时,他开始意识到许多复杂系统是不可能用它们真正的属性来精确地描述的。1962年初,他曾写过,为了处理生物系统“我们需要一种根本不同的数

学,这是一种模糊量的数学,而这模糊量是不能用概率分布来描述的。”这是他第一次提出模糊的概念。1964年7月他在纽约的父母家度假时,考虑要去著名的兰德公司作短期访问研究,需要确定一个研究课题,当他把注意力又集中在复杂系统上时,突然冒出了模糊集合的念头,并且立即意识到这简单念头的重要性。据说在半小时以后,他已经完成了模糊集合的基本轮廓;三小时以后,他已经有了“应该如何看待这整个事情的合理的好主意”。一个月以后,他已经形成比较完整的思想,就去找他在兰德公司的朋友、才华横溢但并非正统的数学家里查德·贝尔曼,此人曾发明计算机中重要的动态编程方法;扎德把这些想法告诉他,并与他进行讨论;在贝尔曼的鼓励下,扎德写了一篇关于描述模糊集合理论轮廓的论文。这就是创立这个新学科的最著名的杰作^[1],这篇论文已经成了这个领域的经典参考文献。

2. 模糊理论在艰难成长

1964年秋天扎德把这篇论文投送到《信息和控制》(Information and Control)杂志时,扎德自己认为,如果他当时不是这个杂志的编委,这篇论文就不可能刊登,由此这篇论文就可能胎死腹中,扎德的这个猜想在27年后他与这杂志的前编辑Murray Eden交谈时得到证实。扎德当时之所以会产生这个猜想是基于这样的事实:在投送前,他曾把这篇论文给柏克莱加州大学约20名教授看过,当时竟没有人赞同他的观点,尽管他们都是他的好朋友。

正因为如此,即使这篇论文发表了,这种境遇也并未改变。他所遭受到的挖苦讽刺是一般人难以想象的。在以崇尚科学的精确性和严格性为传统的国度,很多权威学者认为模糊理论是骗子和头脑发热的产物,这是对传统科学方法的一种威胁和冒犯。为什么在这一一直以学术自由和开放引以为豪的地方却不能容忍不同于传统的新思想呢?这个问题的探讨不是本书所论述的范围,但是完全不顾及这点,就不能消除这样的疑虑:在模糊理论的故乡为何会有这么多专家学者对其持怀疑态度?模糊理论会不会是伪科学?这些反面意见有没有参考价值呢?

这实际上与其文化背景有关,西方哲学从根本上说是分析主义的。科学技术的发展过程就是追求定量精确的历史,并已形成根深蒂固的传统,要人们放弃过分追求精确性,并指出追求过分精确性是不现实的,而且对解决很多问题反而不利,说服人们这样做是一件非常困难的事。反对模糊逻辑的人有几种不同情况。一种情况是不少科学家和工程师竟然望文生畏,首先对“模糊”二字就反感,好象这是为智力缺陷在欢呼。“这个术语从一开始就让人不想接触它,使人不相信这是严肃可取的。”“人们恨与不是非常精确的东西联系在一起。”“尽管有理解其真正含义的人,但是,对大量的工程师和上级主管来说,模糊总不是好东西。如果一个指挥官说他有一个模糊的部下,那么这个人的饭碗肯定就被砸了。”因为模糊一直是作为精确的对立面,代表着落后、不足,基本是作为贬义词来用;对它有可能更有效地解决很多复杂问题从根本上就抱怀疑态度。就有这样的美国学者认为,问题就出在其名称上,如果当初不叫这个名字,比如,起个中性的名字“连续集合理论”,也许反对或者讨厌它的人就会大为减少。确实以后在很多已经采用这项技术的公司中,不乏要求采用这项技术,但不要用这个名字的有趣现象。在早期(现在依然还存在),甚至有人还没有搞清它与概率有何不同就去否定它。当提到模糊逻辑是解决不确定信息的工具时,他们立即就会说解决这个问题我们已经有了概率统计工具,认为模糊逻辑实际上是改头换面的概率理论等等。后来,还有些专家认为模糊隶属函数的确定具有主观臆断性和人为的经验技巧色彩,没有严格的系统方法,因而这是靠不住的。例如在1966年决策分析专家杰弗林(A. Geoffrion)就向扎德提过,隶属值是怎么得到的?他认为这是主观的,模糊理论提供的是一种不能客观定位的方法。另外卡尔曼滤波器的发明人R·E·卡尔曼,曾是

扎德的学生,他就公然反对扎德的模糊理论,并在大会上与扎德发生过争执。这些意见中有它合理的成分,因为模糊逻辑控制理论确实还不是一个完善的理论,尚在发展中,但是用他们已经熟悉的经典方法去套模糊逻辑方法,其结论就不对了。还有知名的经典控制专家(如 **Electronics Design** 杂志读者信箱专栏的撰稿人 Bob Pease) 摆出擂台,认为模糊逻辑能实现的控制系统用现代控制理论都能实现,模糊逻辑并未带来新利益,抨击模糊逻辑拥护者在过分夸大模糊逻辑的神奇功能。还有一种情况,就是更多对模糊逻辑有一定兴趣的工程师,由于目前还未建立起成熟的关于模糊逻辑控制的稳定性理论,认为模糊逻辑只能局限用于不会引起严重后果的家用电器等消费性产品上,在没有成熟的理论之前还不敢把模糊逻辑运用到象核电站、飞机导航、导弹发射等复杂系统中去。对学术问题有不同意见是正常而非常好的事情,问题是这些泼冷水的学者很多却是某一方面的权威,他们掌握着论文发表权、自然科学基金的批准权等,他们到处给模糊理论及其应用论文的发表和研究基金的申请设置障碍。例如在 1989 年之前,美国国家科学基金的一位项目申请审查人曾提议,“去掉所有有关模糊集合的材料,因为这已经被证实,它缺乏坚实的数学基础。”这样的论断使模糊逻辑在美国一度成了地下技术。年轻的教授可能由于跟踪这项技术而要冒丢掉饭碗的危险。由于研究基金的缺乏,能坚持进行研究的都是一些最顽强的科学家和学术精英。

这些甚至都影响了扎德本人,要知道他可是模糊逻辑技术信仰者信心的耶稣基督,美国研究模糊理论和应用的先驱耶格(Yager)曾经这样评述过:“扎德总是说自己是个厚皮,我认为他是个真正的乐观主义者,我想大概在 80 年代初期,他肯定被搞得有点恼火,并有点厌倦。虽然扎德从不会承认这一点。”

扎德确也承认在 80 年代初期这个领域处于最低点。虽然他在这一时期写了很多有关模糊专家系统和自然语言方面的东西,但是他不同程度地丢掉了模糊控制研究。在伯克莱加州大学他讲授的是数据库和信息处理,然而在那些课程中他并未谈模糊逻辑。

即使到了 1990 年,在美国获得研究基金的障碍依然存在。1990 年秋天,卡姆朗·帕赛(Kamran Parsaye)试图给扎德的学生竞赛奖学金。学生便写了一封申请信,他们以为 Parsaye Rockwell International 就是国家科学基金委员会(NSF),就把信寄到国家科学基金委员会去了。1991 年,NSF 的玛丽亚·兹曼库娃(Maria Zemankova)说,“有人来我的办公室对我说,‘拿走这个申请,我不会给模糊逻辑研究提供经费。’我对他说,这个问题是在你的科学领域,正是因为他用模糊逻辑解决了该领域里的问题,你不能说,‘我不给模糊逻辑研究提供经费。’”她耸了耸肩继续说,“然而没有别的选择,必须把它取走。但是我知道这是怎么回事:申请材料寄给了刚好是强烈反对模糊逻辑的人去看了。”然而,直到最近几年,才有了一点变化,模糊逻辑已开始引起工商界广泛的注意和兴趣;抨击批评的声势已大不如前。

1991 年,以色列的呐舍(Nesher)在好莱坞打算导演一部名叫“榔头”的科学幻想电影。他聘请著名的模糊理论家考思科(Bart Kosko)作为技术顾问,多才多艺的考思科便立即着手重写电影剧本,并且在此电影中充满了模糊技术和哲学味道。象机器人一样的榔头变成了超微技术的超人、模糊逻辑超人。它们具有嵌入式模糊大脑与视网膜、耳蜗、嗅觉球体以及其它感觉器官相连。今天的计算机是用英语编程,而它们是通过思考给自己编程。它们想是什么,就变成什么。“榔头”是世界上第一部与模糊逻辑有关的电影。当然,这是幻想而不是严肃的预言。世界上其他公司并没有赶这个时髦,但是它表明人们对模糊逻辑的兴趣在增加,甚至这已超过了科学家的范围。

乔治·克勒教授提到,在最近几年选修他的模糊课程的人越来越多。同样,考斯科也说,他现在每天为工业界举办这方面讲座的赞助出乎意料地多。扎德在全世界飞来飞去是如此之忙,以至于有不少允诺不得不取消。象 Lockheed、Motorola、Martin Marietta United Technologies 和 NYNEX 这样的公司都曾与其合作举办过模糊研讨班,并且还有许多其他公司正在积极地开发产品。甚至有些模糊理论家还在为研究基金的项目没有时间去研究而着急,荣誉打破了他们平静的生活。

从总体上看,美国过去对模糊逻辑技术热情一直不高并且落在了后面。然而它也免不了被卷入这“模糊”的激流中,虽然它仍感到有寒冷的刺激,但是它的竞争对手已经把它带着向前。

在美国举行的第一个有关模糊逻辑的会议是 1984 年在夏威夷召开的模糊信息处理国际会议。在这次会议期间,成立了国际模糊系统协会,并选当时西德的奥亨工学院的钦玛曼教授任第一届主席,并决定把 1978 年就已创刊的《模糊集与系统》(*International Journal of Fuzzy Sets and System*)作为协会的杂志(在 North-Holland 发行)。

1988 年 5 月在美国德州休斯顿 NASA 约翰逊航天中心召开的第一届神经网络和模糊逻辑应用技术研讨会,预示了美国政府对模糊技术开始重视并表示强烈的关切,可以看成是模糊逻辑技术在美国地位的转折点。

在 1992 年,IEEE 神经网络协会(NNC)发起召开第一届 IEEE 模糊系统国际会议(IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEM,简称 FUZZ-IEEE),收入论文集论文为 169 篇,并决定每年召开年会。于 1993 年 3 月 28 日至 4 月 1 日又在美国加州的旧金山召开第二届年会,会议论文集分两集,第一集收入论文 141 篇,第二集收入论文 123 篇。

在 1993 年,美国 IEEE 神经网络协会新创办了国际性模糊逻辑专业杂志《模糊系统》季刊,有力地促进并将继续推动模糊逻辑技术的发展。

1994 年 IEEE 为了促进多学科渗透和结合,把模糊系统、神经网络和进化计算三个年会合并举行,于 6 月 23 日至 7 月 3 日在美国佛罗里达州的奥兰多召开第一届计算智能会议。会议分三个阶段进行,第一阶段是模糊系统分会,这就是第三届 FUZZ-IEEE。会上发表论文计 404 篇,其中在会上宣读的只有 287 篇,而另外的 117 篇则是用张贴形式发表。分类题目有模糊控制、模糊识别及模糊集合的应用、硬件实现、学习和推理等;主要是有关模糊理论的发展及其在建模、控制、信息处理、决策和数据库方面的应用,其中有关模糊控制的占最大篇幅,有相当一部分是讨论在工业控制和机器人中的应用。这次大会的一个明显特点是有越来越多的论文在讨论把模糊逻辑、神经网络和进化算法相结合的方法。大会决定计算智能会议每三年召开一次,下一届将于 1997 年在加州的圣地亚哥(San Diego)举行;而决定 1995 年的第四届和 1996 年的第五届 FUZZ-IEEE 年会分别在日本的横滨和美国的路易斯安那州的新奥尔良(New Orleans)召开。

美国政府机构,主要是美国国防部开始把致力于神经网络和模糊逻辑的研究列入其开支预算。除了休斯顿的约翰逊宇航中心把模糊逻辑应用于航天飞机的对接和姿态控制外,位于华盛顿 D.C. 向马里兰州方向郊区的 NASA 格达特宇航飞行中心,把模糊逻辑应用于机器人控制和图象处理,另外尚在研究把模糊逻辑应用于双臂机器人组装空间站自动控制、避撞控制、轨道生成系统。加州斯坦福大学附近的 NASA 艾姆兹研究中心也正在进行信息处理的模糊应用研究。

3. 美国大学研究模糊理论和应用的现状