



全国高技术重点图书·自动化技术领域

模糊逻辑 及其工程应用

FUZZY LOGIC WITH
ENGINEERING APPLICATIONS

[美] Timothy J. Ross 著

钱同惠 沈其聪 葛晓滨 等译



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

全国高技术重点图书·自动化技术领域

模糊逻辑及其工程应用

FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS

[美] Timothy J. Ross 著

钱同惠 沈其聪 葛晓滨 等译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书用简洁的语言和数学的方法介绍了模糊逻辑的基础知识和在工程、科学领域中各类问题的多种近似解法。内容包括经典集合和模糊集合、经典模糊关系、隶属函数及其推导、由模糊到清晰的变换和模糊算法。考虑到模糊非线性模拟已发展为模糊控制的前奏,作者将前几章的基本知识应用于模糊决策、模糊分类、模糊模式识别和模糊控制等领域的实际问题中。书中最后两章对诸如模糊线性回归、优化等其他方面的问题作了专题介绍,并讨论了包括置信度、似然性、可能性和概率等内容的模糊度量问题。每一章最后都有小结、参考文献和从各工程项目中收集到的各种实用问题。

本书可作为自动控制专业本科生、研究生的教材,也可供有关学科的工程技术人员参考。

Original edition Copyright © 1995 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All rights reserved.

Chinese translation edition Copyright © 2001 by Publishing House of Electronics Industry.

All rights reserved.

本书中文简体专有翻译出版权由 McGraw-Hill 授予电子工业出版社。该专有出版权受法律保护。

图书在版编目(CIP)数据

模糊逻辑及其工程应用/(美)罗斯(Ross, T. J.)著;钱同惠等译. —北京:电子工业出版社, 2001. 10
(全国高技术重点图书·自动化技术领域)

书名原文:Fuzzy logic with Engineering Application

ISBN 7-5053-7043-X

I. 模... II. ①罗... ②钱... III. ①模糊逻辑—基本知识②模糊逻辑—应用—工程计算 IV. B815.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 068203 号

丛 书 名: 全国高技术重点图书·自动化技术领域

书 名: 模糊逻辑及其工程应用.

FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS

著 作 者: [美] Timothy J. Ross

译 者: 钱同惠 沈其聪 葛晓滨等

责任编辑: 张荣琴

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室监制

印 刷 者: 北京东光印刷厂

装 订 者: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 31.75 字数: 834 千字

版 次: 2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-7043-X
G·558

印 数: 3000 册 定 价: 48.00 元

版权贸易合同登记号 图字: 01-96-1452

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者, 请向购买书店调换。

若书店售缺, 请与本社发行部联系调换。电话 68279077

《全国高技术重点图书》 出版指导委员会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 杲 卢鸣谷

总干事：罗见龙 梁祥丰

委 员：(以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	牛田佳	王守武	刘 仁	刘 杲
卢鸣谷	叶培大	朱丽兰	孙宝寅	师昌绪	任新民
杨牧之	杨嘉墀	陈芳允	陈能宽	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	张兆祺	张钰珍	张效祥	赵忠贤	顾孝诚
徐修存	谈德颜	龚 刚	梁祥丰		

《全国高技术重点图书编审委员会人员名单》 自动化技术领域

主任委员：杨嘉墀

委 员：卢桂章 吴 澄 林惟侯 李淑兰 高为炳 谈德颜
蒋新松 戴汝为

致中文读者

我很高兴亚洲读者能成为《模糊逻辑及其工程应用》一书的第一种海外译本的读者。我非常荣幸能有机会写此前言,因为对此书英文版的最大支持最初亦来自海外的读者们!

当我第一次与钱同惠女士和她的朋友们讨论此译本时,我就立即相信此书会在亚洲产生一定的影响。因为亚洲人是最先真正接受模糊逻辑并率先在商业市场中开发应用美国的这一发明。正因如此,特选中文版作为此书的第一种翻译本最为适宜。

自 1995 年夏季此书出版以来,我已收到了许多令人鼓舞的评价,尤其是该书在课堂教学中的应用效果,最为显著的是研究生课程教学。本书英文版正将第三次印刷,而此次中译本的出版将是首次对本书进行某些修正,甚至会先于英文版的第三次印刷!

正值本书首次出版以来这段时间里,亚洲的模糊逻辑领域已发生了重大变化,其中许多变化和发展来自亚洲,特别是来自中国。因此我最热切地希望本书能够帮助大家尽快地理解模糊逻辑在人类每天都会遇到的无数技术问题时所能提供快速、近似解方面的威力和其适用性。

我要感谢购买和阅读本书的亚洲读者和中国读者。如果您有关于本书再版的修改建议,敬请直接与我联系。

Timothy J. Ross

作者简介

提摩西·J. 罗斯(Timothy J. Ross)是新墨西哥大学城市建设系教授和环境检测电镜实验室主任。该作者曾获斯坦福大学城建系博士学位,获赖斯(Rice)大学硕士学位,在华盛顿州立大学获学士学位。罗斯教授在 1986 年~1988 年期间曾担任过 IntelliSys 有限公司的总裁。1978 年~1986 年期间作者任空军武器装备实验室结构工程高级研究员。1973 年~1978 年期间作者就职于反谍报机构,任抗干扰工程师。罗斯教授自 1983 年以来一直从事模糊逻辑的研究和教学工作,至今已发表了 100 多篇论文和专著。作者现任国际性杂志《人工智能和模糊系统》的编委会主任和《模糊逻辑和控制软硬件应用》的编辑。作者是美国城市建设工程师学会的会员,同时又是美国模糊信息处理学会和国际模糊系统学会的成员。

译者序

《模糊逻辑及其工程应用》是美国的第一本专为想用模糊逻辑解决实际问题 and 开发智能系统及市场产品的初学者们撰写的教科书,而且是从工程师的角度撰写的一本教科书。

此书用十分简洁的语言和简明的数学分析方法介绍了模糊逻辑的基本理论,尤其是提出了许多在工程和科学领域中常遇到的各类实际问题的近似解法。此书共 15 章,分为两大部分。前 8 章为基础篇,分别介绍了模糊的概念、经典集合和模糊集合、经典关系和模糊关系、隶属函数及其推演、模糊到清晰的变换、模糊算法、经典逻辑和模糊逻辑、基于模糊规则的系统等内容;后 7 章为应用研究篇,讨论了模糊非线性模拟、模糊决策、模糊分类、模糊模式识别和模糊控制等技术的应用,最后 2 章还专题讨论了模糊优化、模糊线性回归等问题,研究了有关置信度、似然性、可能性和概率等概念用于模糊度量的问题。

此书的显著特点之一是每章之后均配有大量的习题,这些习题都和实际工程应用领域密切联系,如土木工程、通信工程、工业控制、航空航天、图像处理、汽车工业、医学仪器、社会保险、经济管理等。其中的许多数据和实例对于工程应用和科研都具有较大参考价值。另外,读者还可从国际互联网上免费获得与本书配套的软件,或者与作者本人联系获得本书的习题解答。

感谢美国著名的 McGraw-Hill 出版社对我们的信任和支持,感谢博士生导师 Timothy J. Ross 教授给予我们的信任和帮助,委托我们翻译这样一本具有较深理论基础和较新专业知识并具有较大实用价值的好书。其中,本书的前言、第 1,2,13 章由钱同惠翻译,第 3,4 章由葛晓滨翻译,第 5,11,12 章由沈其聪翻译,第 6,7 章由刘小茂翻译,第 8 章由钱同惠、沈其聪翻译,第 9 章由李小力翻译,第 10 章由李小力、沈其聪翻译,第 14 章由唐月英翻译,第 15 章由黄南民翻译。全书的审校工作十分繁重,涉及的知识面太广,庆幸的是我们得到了樊鑫瑞教授的大力支持和真诚的帮助,樊教授认真地审校了译稿,并提出了许多宝贵意见。另外,钱同惠女士和沈其聪先生对全书做了认真的统稿和初校工作。

《模糊逻辑及其工程应用》中译本得以顺利出版,要感谢电子工业出版社为此所付出的巨大努力和对我们的理解和支持。

由于我们的水平有限,加上时间仓促,在译文中难免会有不妥之处甚至错误的地方,因此,恳请阅读此译本的各位同仁能对不足之处提出诚挚而又宝贵的意见。

译者

2000 年 4 月

前 言

《模糊逻辑及其工程应用》这本教材的撰写工作历时数年。殊为荣幸的是我得到了 McGraw-Hill 这样一家善解人意而又极为卓越的出版社的支持,同时亦令我们大家深感欣慰的是能为正在寻觅一本日益发展和日渐重要的模糊逻辑技术方面的、简明清晰的教科书的广大专业工作者和学术研究人员奉献此书。我真诚希望此新书能在将大学生、研究生培养成为工程师和科技人员的专业培训方面有所作为,并能促进模糊技术的发展,使之成为不只是个有趣的词汇而且是能解决当今复杂问题的一种实用手段。

自从罗特夫·扎德(Lotfi Zadeh)博士于 1965 年在《信息与控制》杂志上发表了一篇开创性论文《模糊集合》以后,模糊逻辑首次引起技术界的关注,从此模糊逻辑走过了一段长长的历程。自那时起,这门学科就成了世界各地的数学家、科学家、工程师们独立研究和调查的焦点。不幸的是,或许是模糊逻辑一词的含蓄性缘故,模糊逻辑直到近年才在美国得以重视。目前对模糊逻辑的引起关注很可能是因近年来大众消费产品应用了模糊逻辑以及美国掏钱从海外买回自己的技术而导致的结果。过去数年里,仅日本申报的模糊逻辑技术专利已大大超过 1000 项,日本人向世界各地的消费者出售以模糊逻辑为基础的产品,其总产值已达 10 亿美元。

模糊逻辑与神经网络和遗传规则算法的结合,使得在许多领域的自动识别系统问世正成为现实。事实上,当人工神经网络的自学能力和遗传规则算法相结合后,模糊逻辑的推理能力能促成新一代商用产品的诞生,应用于极为有效的识别系统(即能学习的推理系统)。在日本,模糊技术的地位十分重要,以至日本人称“模糊”是 20 世纪 90 年代的关键词。1989 年的研究焦点全在模糊逻辑上,Frost & Sullivan 国际营销研究机构提出,鉴于模糊逻辑产业的年增长率高达 20%,它将成为进入 21 世纪的全球最热门的十大技术之一。全美技术信息服务中心(NTIS)在 1990 年和 1991 年对与美国攸关的外国技术作的研究表明模糊逻辑技术对未来将有重大的影响。

虽然有关人工智能与模糊系统的技术在今天相对而言是一门新学科,但它具有基础性和普遍性,我相信在 21 世纪它将成为每个工程师和科学家必备的基础知识。正因为有此信念的支撑,我才能在过去的 4 年里完成撰写此书的重任。大学生们对模糊系统的兴趣日益浓厚,他们正为取得学位和为自己的专业寻求新领域。鉴于美国学校在充实全世界的技术人才供给方面占有举足轻重的地位,我把年轻的专业人员看做是本书潜在读者中人数增长最快的一群。

模糊逻辑和模糊集合方面的许多文献分散在范围广泛的科学杂志上,对这门学科的知识及其应用作了有限的、零散的传播。大多数这样的杂志和所编教材基本上是属于仅供各自领域中其他研究人员浏览和建档性质的,而对于未入门的读者来说往往难以读懂。简言之,现有的大量关于模糊逻辑理论及其应用的出版物中的内容,在让读者快速吸收并付诸于实践方面显得过于复杂和超前了。

本书适用的对象是那些主要兴趣在于模糊逻辑在工程技术上应用的专业技术人员和学术研究人员。过去的 3 年中,我在新墨西哥大学教授模糊逻辑和人工智能系统课程,也为工业和国家实验室开设了短期课程。我发现学员和从事实际工作的专业人员绝大多数关心的是模糊

逻辑在他们各自特殊领域中的应用。许多学员表示在阅读现有模糊逻辑的资料时往往难于理解其中的抽象数学名词。本书从头至尾列举了大量的例证,旨在为各学科的广大读者在学习提供帮助。本书集中关注应用问题,但为了使读者对所述方法能有一基本理解,在各章之首给出了所需的数学理论的基本框架。对高年级大学生来说,本书的绝大多数内容能在一个学期内讲授完。事实上,大多数科学学科以及实际上所有的数学、工程学科都包括有集合理论、数学和谓词逻辑的基本思想,而这些正是完全读懂本教材所需的惟一必备知识。授课教师或许会将第4章(神经网络、遗传算法、归纳推理)的最后3节、第9章(模糊非线性模拟)以及本书的最后3章即第13章(模糊控制)、第14章(杂论)和第15章(模糊度量)的某些或全部内容不予讲解,而将其留作研究生学位课程或作为研究生的选修学位课程。

本书分前后两大部分,第一部分为第1~8章,引入了模糊逻辑及其运算的基本概念。第二部分是从第9~15章,论述了模糊集合和模糊逻辑的基本特性以及在大批工程实例中的应用,诸如分类、图像识别、最优化选择、非线性模拟、基于知识的系统、回归、决策及可能性理论。

第1章引出模糊的概念以及模糊不确定性与其他不确定性形式的区别,还引出了集合隶属关系的基本思想,从而为以后的所有知识打下基础。该章提出了正式用于表示集合隶属关系的隶属函数,回顾了巴特·科思克(Bart Kosko)关于“集合看做为点”的思想,此观点可用图解模拟来帮助理解经典(确定)集合与模糊集合之间的关系。

第2章回顾了经典集合理论并得出了模糊集合的基本思想,用与经典集合相同的实体进行比较的方法导出了模糊集合的性质、规则和运算。

第3章给出了从一个论域到另一个论域之间相互映射方法的模糊关系的概念和模糊方程的导出,提出了关系的各种组合运算形式,并用认识论的方法与经典关系对比,以推导和描述模糊关系。该章还描述了如何确定模糊关系的数字元素和推导模糊关系的方程。

第4章借助于隶属函数的几何形状及其特性,更为详细地讨论了隶属关系、模糊化的概念。该章还提出了7种推导隶属函数的方法,其中包括利用神经网络、遗传算法和归纳推理技术等方法。

第5章论及了分别将模糊集合和模糊关系转换到经典集合和经典关系的途径。这种变化或转换对处理我们周围普遍存在的确知(二进制)世界最为有用。另外,该章还给出了描述非模糊化的最常用方法,并加以举例说明。

第6章总结了模糊算术、模糊数学、模糊矢量的某些典型运算。描述了用扎德(Zadeh)的外延原理和几个近似方式来实现从模糊外延到非模糊数学形式的原理。该章还介绍了第12章模式识别领域中要用到的模糊矢量代数。

第7章通过对经典逻辑或一阶谓词逻辑有关性质的回顾,介绍了模糊逻辑规则。例举了各种逻辑关系和运算。对这章所提到的蕴涵运算和合成运算的各种类型进行了全面的讨论。第7章中还介绍了在非精确(模糊)信息下作近似推理或推理的方法。

第8章介绍了自然语言和(基于规则)模糊专家系统。其重要概念有语言数据、规则结构和逻辑的集合描述。该章提出了推理的图解方法,其中基于规则的模糊系统可看做为广义模糊关系方程。

用典型的例子作为第二大部分的开始。第9章继续用基于规则的形式介绍模糊非线性模拟。在这一章中,非线性模拟可看成是从输入空间的“一块块”信息到输出空间的“一块块”信息的映射,而不是经典工程课程中“点到点”的映射关系。逼真的模拟是通过标准函数得到的,

但这种方法作为一种系统的算术表达式过于复杂。该章将模糊联想记忆法(FAMs)正式作为广义映射法。

第10章通过介绍在综合评估、次序关系、选择、一致和多目标决策等问题中的一些简要概念,导出了模糊决策的概念。通过对经典概率方法进行模糊化,引出了贝叶斯决策方法的有用概念。该章还描述了在决策过程中,模糊集合理论和处理随机或非随机不确定性的概率相结合的作用。

第11章通过与经典分类法相对比的方法,讨论了模糊分类法,并给出了一种能评估分类或不分类好处的简单度量。该章还总结应用等价关系的分类法。

第12章运用了第11章的结果,介绍了模糊模式识别,总结了单特征和多特征识别过程。阐述了图像识别和模式识别的一些简要概念。

第13章介绍了模糊控制系统,简要回顾了控制系统设计和控制面,给出了三个控制实例。由于模糊控制有着大量的商业应用,同时它又是当前最令人感兴趣的课题,因此这里仅从模糊控制规则角度列举了一部分现有工业系统的实例。

第14章简要论述了体现模糊最优化、模糊回归方面的重要思想以及寻找模糊反函数的近似方法。后者是解决系统一致性问题的关键。

最后,第15章通过对模糊测度的阐述,加深读者对模糊不确定性和随机不确定性(以及其他不确定性的一般形式)之间关系的认识。该章讨论了数论和概率论中的模糊测度。由于这一章是与其他学科(戴姆斯特·夏福(Dempster-Shafer)的数论和概率论)有关的一种扩充,因此它可以被省略而对先前的阅读没有影响。本章即本书的结尾展示了模糊集合论与概率论有着显而易见的相似性。

本教材中的习题均为工程和相应技术领域中智能系统和模糊系统方面的现有的和潜在的应用、研究课题和教育方面的典型例子。这些习题涉及计算机科学、电子工程、制造业、化学工业、机械工业、市政工程、工程管理和一些相应领域,如数学、医学、生产研究、技术管理、硬件科学和技术商业等问题。在各章之尾都有本章所引用的参考文献。这些参考文献为对模糊集合和模糊逻辑中的特殊问题感兴趣的读者提供了更为详尽的资料,同时也是控制理论和信号处理、机器人和制造业、智能过程控制、专家系统、图像处理、决策、模式识别、聚类分析和各式各样学习方法如神经网络、遗传规则系统和归纳推理等方面的应用。

教材的每章之后有着丰富的习题,足以满足任课教师担任几学期或几年的教学需要,避免了教师每年给学生指定相同的思考题,同时还可为任课教师提供习题解答手册。

撰写这样一本书的准备工作本身就是一项繁重的任务,若没有诸多同事和现在的、过去的学生们的鼓励和协助,可想而知那是件何等艰难之事。由于前言的篇幅有限,我能在此提及的仅是其中的一部分,但所有那些在我力求对这一学科感兴趣的人们进行教育时起着积极影响作用的人们却都铭记在我心中。特别是,我非常高兴地介绍由 Auguste Boissonade 和 Haresh Shah 在 20 世纪 70 年代后期所提供的题材。董伟明(Weimin Dong)的早期教学和实验说明在我全力收集的众多材料方面有着不可磨灭和深远的意义。早期和翁菲丽(Felix Wong)的合作促使我对这一技术深感兴趣。我最需感激的是 James Bezek,感谢他在帮助我面对多年教学和科研上遇到的诸多困难时仍能保持乐观所表现出的幽默感和所富有的洞察力,感谢他在模糊模式识别方面具有的渊博知识。Colin Brown 和 James Yao 的早期著作和后期与 Fabian Hadipriono 的合作使我相信自己在市政工程技术领域中将有所作为。感谢我所在的新墨西哥

大学的全体同仁们的大力支持,尤其是和我并肩工作的亲密同事 Mo Jamshidi 和 Nader Vadiee,在过去的三年里他们和我一起承担了四百多人的教学和培训任务;还有 George Luger 凭借着作为一名教科书作者所具有的经验给了令我平静的忠告。我感谢 Nader Vadiee 帮助我一起撰写了第 13 章。我还要感谢 Jayanthi 兄弟, Subbarao 和 Ramasastry,他们耐心地准备了许多公式和图表;感谢 Sunil Donald 和吴凡(Fan Wu),他俩认真刻苦地为本书的习题求解精确答案;感谢 Ward Deng, Lewis Wagner, Tran Lai, Ken Downs, Angelos Klonis 和其他人员,他们为本书中所讨论的算法提供了软件;感谢 AShisg Vasil 先生填补了本书手稿上的技术漏洞,修改了多处含糊不清的参考文献。我要感谢 Anne Brown 女士,我的首任编辑,她那富有感染力的热情促使本书出版比我预期的早一年甚至更早。我还需真诚地感谢我第二位编辑 George Hoffman 先生,他对一本有质量的书的撰写、修改和出版可能会比预期的时间要长些所表现的耐心和理解。最后,我要感谢我的最后一位编辑 Lynn Cox,他帮助我完成了此书。

评论者对确保一本书的质量最为重要。特别是有两位同行在他们的课堂上使用了我编写的教材,并提出了非常有益的建议。我要感谢 Villanova 大学的 Tony Zygmunt 和新墨西哥大学技术学院的 George Cunningham 以及他们对本书的评价。同时我也对那些曾提出过许多有益评论和建议的各位评论者表示谢意。他们是: Urbana-Champaign 的 Illionis 大学的 Tamer Basar; Rutgers 大学的 David Daut; Bingamton 的纽约州立大学的 George Klir; Texas A & M 大学的 John Painter; 俄亥俄州立大学的 Kevin M. Paaino 和辛辛那堤大学的 P. Y. Ramamourthy。

当然在一本书中是不可能包罗关于模糊集合和模糊逻辑中所有的重要问题的。在我看来,上百本著作和上千篇论文都不可能全部概括这门发展日益迅速的技术,每月都会发现有新论文的发表。不过,我热切地希望这本引导性教材能帮助学生和专业技术人员学习、应用和喜欢模糊集合理论和模糊逻辑。我谨请各位读者能给予指教,以力求使本教材能成为工程师和专业技术人员真正有用的实践工具,他们将是发展模糊集合理论和模糊逻辑知识的潜在力量。我相信正是这门知识将帮助他们从事着这项不断发展的,与我们日常生活和人类舒适密切相关的技术。

Timothy J. Ross

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 背景知识	(1)
1.2 不确定性和不精确性	(3)
1.3 统计学和随机过程	(4)
1.4 信息中的不确定性	(6)
1.5 模糊集合与隶属度	(7)
1.6 偶然性与模糊性	(9)
1.7 小结	(11)
参考文献	(11)
习题	(11)
第 2 章 经典集合与模糊集合	(13)
2.1 经典集合	(14)
2.1.1 经典集合的运算	(15)
2.1.2 经典(清晰)集合的性质	(16)
2.1.3 经典集合映射为函数	(19)
2.2 模糊集合	(20)
2.2.1 模糊集合运算	(20)
2.2.2 模糊集合的性质	(22)
2.3 超立方体上点的集合	(26)
2.4 小结	(27)
参考文献	(28)
习题	(28)
第 3 章 经典关系和模糊关系	(38)
3.1 笛卡尔积	(38)
3.2 清晰关系	(39)
3.2.1 清晰关系的基	(40)
3.2.2 清晰关系的运算	(40)
3.2.3 清晰关系的性质	(41)
3.2.4 复合	(41)
3.3 模糊关系	(43)
3.3.1 模糊关系的基	(43)
3.3.2 模糊关系的运算	(43)
3.3.3 模糊关系的性质	(43)
3.3.4 笛卡尔积和复合	(44)

3.3.5 非相互作用式模糊集	(45)
3.4 相似和等价关系	(50)
3.4.1 清晰等价关系	(51)
3.4.2 清晰相似关系	(51)
3.5 模糊的相似关系和等价关系	(52)
3.6 赋值	(54)
3.6.1 余弦幅度	(55)
3.6.2 最大—最小法	(57)
3.6.3 其他相似性方法(Dong, 1987 年)	(57)
3.7 小结	(59)
参考文献	(59)
习题	(60)
第 4 章 隶属函数	(73)
4.1 隶属函数的特征	(73)
4.2 标准形式和边界	(75)
4.3 模糊化	(75)
4.4 隶属度的赋值	(76)
4.4.1 直觉	(77)
4.4.2 推理	(77)
4.4.3 排序	(79)
4.4.4 角模糊集	(80)
4.4.5 神经网络	(82)
4.4.6 遗传算法	(91)
4.4.7 归纳推理	(98)
4.5 小结	(104)
参考文献	(104)
习题	(105)
第 5 章 模糊向清晰的转换	(110)
5.1 模糊集的 λ (LAMBDA) 分割	(111)
5.2 模糊关系的 λ 分割	(112)
5.3 非模糊化方法	(113)
5.4 小结	(122)
参考文献	(123)
习题	(123)
第 6 章 模糊运算、模糊数、模糊向量和扩展原理	(126)
6.1 扩展原理	(126)
6.1.1 清晰函数、映射和关系	(127)
6.1.2 模糊集合的函数——扩展原理	(128)
6.1.3 模糊变换(映射)	(129)

6.1.4 实用说明	(130)
6.2 模糊数	(134)
6.3 算术中的区间分析	(135)
6.4 扩展的近似方法	(137)
6.4.1 顶点法	(137)
6.4.2 DSW 算法	(139)
6.4.3 约束 DSW 算法	(141)
6.4.4 比较	(142)
6.5 模糊向量	(145)
6.6 小结	(146)
参考文献	(147)
习题	(147)
第 7 章 经典逻辑与模糊逻辑	(151)
7.1 经典谓词逻辑	(151)
7.1.1 重言式	(155)
7.1.2 矛盾式	(157)
7.1.3 等价式	(157)
7.1.4 不可兼或和不可兼或非	(158)
7.1.5 逻辑证明	(158)
7.1.6 演绎推断	(159)
7.2 模糊逻辑	(161)
7.3 近似推理	(163)
7.4 模糊重言式、矛盾式、等价及逻辑证明	(170)
7.5 蕴涵运算的其他形式	(171)
7.6 复合运算的其他形式	(172)
7.7 小结	(172)
参考文献	(173)
习题	(174)
第 8 章 基于模糊规则的系统	(189)
8.1 自然语言	(190)
8.2 语言含糊词	(191)
8.3 基于规则的系统	(194)
8.3.1 规范的规则形式	(194)
8.3.2 复合规则的分解	(196)
8.3.3 似然性与真值的判别	(197)
8.3.4 模糊规则的聚合	(199)
8.4 推理的图解方法	(200)
8.5 小结	(206)
参考文献	(207)

习题	(207)
第 9 章 模糊非线性模拟	(217)
9.1 模糊关系方程	(218)
9.2 分区	(222)
9.3 基于模糊规则系统的非线性模拟	(223)
9.4 模糊联想记忆(FAMs)	(226)
9.5 小结	(241)
参考文献	(242)
习题	(243)
第 10 章 模糊决策形成	(255)
10.1 模糊综合评判	(256)
10.2 模糊排序	(258)
10.3 选择与一致	(262)
10.4 多目标决策	(265)
10.5 模糊贝叶斯决策方法	(269)
10.6 模糊状态和模糊行为下的决策	(277)
10.7 小结	(286)
参考文献	(287)
习题	(288)
第 11 章 模糊分类	(303)
11.1 利用等价关系的分类	(304)
11.1.1 清晰关系	(304)
11.1.2 模糊关系	(305)
11.2 聚类分析	(310)
11.3 聚类的有效性	(311)
11.4 c -均值分类法	(311)
11.4.1 硬 c -均值(HCM)法	(312)
11.4.2 模糊 c -均值(FCM)法	(318)
11.5 分类度量	(325)
11.6 模糊 c -分区的硬化	(327)
11.7 聚类中的相似性关系	(328)
11.8 小结	(329)
参考文献	(329)
习题	(330)
第 12 章 模糊模式识别	(339)
12.1 特征分析	(340)
12.2 特征空间的分类	(341)
12.3 单个样本的识别	(341)
12.4 多特征模式的识别	(345)

12.5	图像处理·····	(355)
12.6	句法识别·····	(362)
12.6.1	形式语法·····	(364)
12.6.2	模糊语法和句法识别·····	(365)
12.7	小结·····	(370)
	参考文献·····	(370)
	习题·····	(370)
第 13 章	模糊控制系统·····	(389)
13.1	控制系统理论的回顾·····	(390)
13.1.1	系统识别问题·····	(391)
13.1.2	控制系统设计问题·····	(391)
13.1.3	控制(决策)面·····	(392)
13.1.4	控制系统设计步骤·····	(392)
13.1.5	模糊控制系统设计中的假设·····	(393)
13.2	简单模糊逻辑控制器·····	(394)
13.3	通用模糊逻辑控制器·····	(395)
13.4	模糊逻辑控制系统模型的特殊形式·····	(395)
13.5	模糊控制系统设计举例·····	(396)
13.6	经典模糊控制问题:倒摆·····	(401)
13.7	飞机着陆控制问题·····	(407)
13.8	工业应用·····	(413)
13.8.1	麻醉中血压的模糊逻辑控制·····	(414)
13.8.2	图像处理设备中的模糊逻辑应用·····	(417)
13.8.3	住宅加热系统的用户自适应模糊控制·····	(419)
13.8.4	自适应模糊系统·····	(423)
13.9	小结·····	(427)
	参考文献·····	(427)
	习题·····	(428)
第 14 章	各类课题·····	(436)
14.1	模糊优化·····	(436)
14.1.1	一维优化·····	(437)
14.1.2	模糊极大极小·····	(441)
14.2	模糊关系方程的逆·····	(444)
14.3	模糊线性回归·····	(448)
14.3.1	非模糊数据情况·····	(450)
14.3.2	模糊数据情况·····	(451)
14.4	小结·····	(458)
	参考文献·····	(459)
	习题·····	(459)

第 15 章 模糊测度:可信度、似然性、概率和可能性..... (463)

15.1 模糊测度..... (463)

15.2 可信度和似然性..... (464)

15.3 论据理论..... (467)

15.4 概率测度..... (470)

15.5 可能性及必须性测度..... (471)

15.6 作为模糊集合的可能性分布..... (479)

15.7 结束语..... (481)

参考文献..... (485)

习题..... (485)

第 1 章 绪 论

随着系统的复杂性的增加,我们描述系统行为的精确性和有效性就随之下降,一旦超过其阈值,其精确性和有效性(相似程度)几乎变成了互相排斥的特性了。

系统工程教授 Lotfi Zadeh (1973 年)

现实世界是复杂的;世界的复杂性通常是因含糊不定而引起的。自从人类能思考以来,人们常有意无意地谈到事物的复杂性和模糊性。这种普遍存在的特性遍及人类所面对的大多数社会、技术、经济等问题之中。究竟为什么人类自己设计出来的计算机不能求解复杂含糊的问题呢?人类又是怎样判断真实事物的呢?当计算机欲与人类同样判断、吸收、理解一真实事物时,为何需要更多、更详细的资料呢?这是因为人类有近似推理的能力,而目前的计算机尚没有此能力。在判断复杂事物时,人类仅需对事物作一般了解就能作出简单的近似推理。所幸的是,这种复杂事物的一般性和模糊性对人类的理解来说足矣。正如上面引用 Zadeh 博士不相容原理所提出的,复杂性和模糊性(不精确性)是相对的:“一个人看事物越近,所得的结论越模糊”(Zadeh, 1973 年)。

当我们对事物了解得越多,其复杂性就随之下降,我们对其理解的程度就越高。随着复杂性的下降,在系统建模时根据计算方法所能得到的精度就显得更为有用。图 1.1 给出了对此问题的更深入透彻的理解。系统的复杂性与系统模型中固有的精度有关。不含复杂性的系统,就没有不确定性,常规的数学方法对这类系统有精确的描述。对有一点复杂但同时又有重要数据存在的系统来说,无模型方法(modle-free methods)如人工神经网络,即通过对可用数据的学习,是一种有效的和可靠的降低不确定性的手段。最后,对几乎没有数值数据存在,而只有模糊或非精确信息存在的最复杂系统来说,模糊推理提供了一种理解系统特性的途径,即在能观察的输入、输出之间采用近似内插的方法。因此,模糊模型中的不精确性通常是非常大的。模糊系统能得出清晰的输入与输出关系,但这时就如同算法那样得到的是一非线性函数的映射。图 1.1 中全部模式可用非线性方程或模糊模型或神经网络来进行评估。所有这些都是真实物理世界的数学抽象。然而,正是这点与问题中有不确定性特性的那类模式相匹配。例如,在以精度要求为主的情况下,模糊系统对问题的理解就不如精确的代数运算那么有效(参见第 9 章非线性模拟)。另一方面,模糊系统主要针对具有非精确性或模糊性信息的问题进行建模。读者要熟练地掌握本书其他章节所介绍的工具,就要熟悉大量复杂的或无需精确要求的各类问题。

1.1 背景知识

在扎德博士发表了那篇模糊集合方面的开创性论文(扎德,1965 年)之后的 10 年,美国、欧洲、日本在模糊逻辑方面有了许多理论上的进展。然而,从 20 世纪 70 年代中期至今,日本