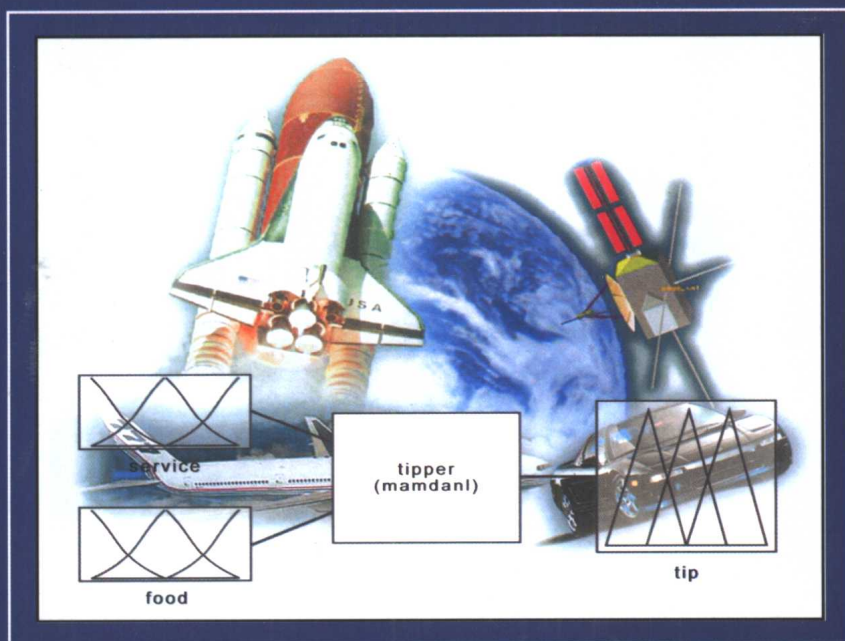


MATLAB 语言应用系列书

MATLAB

模糊逻辑工具箱的分析与应用

闻 新 周 露 李东江 贝 超 编著



科学出版社

MATLAB 语言应用系列书

MATLAB 模糊逻辑 工具箱的分析与应用

闻 新 周 露 李东江 贝 超 编著

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

MATLAB 是 MathWorks 公司推出的一套高性能的数值计算和可视化软件,它集数学计算、图形计算、语言设计和模糊逻辑等 30 多个工具箱于一体,具有极高的编程效率。

本书由三大部分组成。第一部分介绍模糊基础理论、方法和模糊控制器的分析与设计过程。第二部分介绍了 MATLAB 的动态系统仿真工具 Simulink 的功能和基于 Simulink 的仿真系统的搭建与分析。第三部分系统地介绍 MATLAB 模糊逻辑工具箱的基本函数、功能分析,并借助于对模糊逻辑工具箱中演示例子的详细介绍,引导读者深入理解工具箱的运用方法和模糊系统的推理过程;叙述模糊逻辑工具箱的图形化系统、模糊逻辑工具的自适应神经-模糊推理系统等高级技术的应用方法;介绍模糊逻辑工具箱与 Simulink 和 C 的连接技巧等。此外,书中还给出了一些作者的工作体会,以及一类运用模糊理论进行应用分析与设计的实例。

本书可作为计算机、电子工程、控制工程、信息与通信科学、数学、机械工程和生物医学工程等专业师生的参考教材,对从事上述领域工作的广大科技人员和开发应用人员具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 模糊逻辑工具箱的分析与应用/闻新等编著.-北京:科学出版社,2001

(MATLAB 语言应用系列书)

ISBN 7-03-009244-9

I. M… II. 闻… III. 计算机辅助计算-软件包, MATLAB IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 10081 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

北京双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2001 年 4 月第一次印刷 印张: 17

印数: 1—5 000 字数: 390 000

定价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

前 言

MATLAB 仿真软件自 1984 年由美国的 MathWorks 公司推出以来,已越来越引人注目,1993 年后又相继推出了 MATLAB4.x、MATLAB5.x 等基于 WINDOWS 系统的版本,因此可以充分利用 WINDOWS 系统资源。MATLAB 现已成为国际上公认的最优秀的数值计算和仿真分析软件。其软件包的主要特点有:1)它是一种解释性语言,它采用了工程技术的计算语言,几乎与数学表达式相同,语言中的基本元素是矩阵,它提供了各种矩阵的运算和操作,并且具有符号计算、数学和文字统一处理、离线和在线计算等功能;2)具有较强的绘图功能,计算结果和编程可视化;3)具有很强的开放性,针对不同的应用学科,在 MATLAB 之上,推出了三十多个应用的工具箱。

MATLAB 的这些特点使它获得了对应用学科的极强的适应力,它推出后不久,很快成为应用学科计算机辅助分析、设计、仿真和教学不可缺少的软件,并已应用在生物医学工程、信号分析、语音处理、图像识别、航天航海工程、统计分析、计算机技术、控制和数学等领域中。

模糊理论是在美国柏克莱加州大学电器工程系 L. A. Zadeh 教授于 1965 年创立的模糊集合理论的数学基础上发展起来的,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。

模糊理论在其诞生后的三十余年中发展十分迅速。学习、研究并应用模糊理论的人越来越多,模糊理论由此日臻完善,其应用也日益广泛。

据不完全统计,每年发表的有关模糊理论的论文 1965 年只有两篇,1970 年有 25 篇,至 1979 年已超过了 1500 篇,1973 年召开的“参数控制与模式识别会议”成为第一个以模糊理论为主题的国际学术会议。1978 年,第一份以模糊数学为主干的学术期刊《Fuzzy Sets and Systems》创刊了。至今,单是英文出版的学术期刊就有三十多种经常刊登与模糊数学相关的论文。

目前,从应用的情况看,模糊逻辑已在图像识别、语言处理、自动控制、故障诊断、信息检索、地震研究、环境预测、运输管理、楼宇自动化以及医学、生物学、社会学及心理学等许多学科和领域中获得了广泛的应用。特别值得一提的是今年以来空调器、电冰箱、洗衣机等家用电器中也广泛采用了模糊控制技术。可以说,模糊逻辑已进入了普通百姓的家庭。

近几年来,模糊逻辑与神经网络、遗传算法一起形成计算智能这一新兴学科的三大组成部分,模糊逻辑理论与应用的发展将会极大地推动人类社会向智能信息处理的新阶段迈进。

模糊集合理论受到了世人前所未有的关注,MathWorks 公司聘请澳大利亚 Queensland 大学的 A. Lot 教授开发了基于 MATLAB 环境下的“模糊推理系统工具箱”(Fuzzy Inference Systems Toolbox for MATLAB)。该工具箱集成度高,内容丰富,基本包括了模糊集合理论的各个方面,其功能强大和方便易用的特点得到了用户的广泛欢迎。模糊逻辑的创始人 Zadeh 教授称赞该工具箱在各方面都给人的深刻的印象,从而使模糊逻辑成为智能系统的

概念与设计的有效工具。

遗憾的是,目前,国内有关 MATLAB 方面的书籍已出版很多,但却没有一本是介绍 MATLAB 模糊逻辑工具箱方面的书,更谈不上 MATLAB 模糊逻辑的应用分析介绍了。这一问题已成为许多科技工作者应用模糊逻辑工具分析和设计工程系统的障碍,本书力争在这些方面给读者一定的帮助。

本书分三大部分。第一部分介绍模糊基础理论、方法和模糊控制器的分析与设计过程。第二部分介绍了 MATLAB 的动态系统仿真工具 Simulink 的功能和基于 Simulink 的仿真系统的搭建与分析。第三部分系统地介绍 MATLAB 模糊逻辑工具箱的基本函数、功能分析,并借助于对模糊逻辑工具箱中演示例子的详细介绍,引导读者深入理解工具箱的运用方法和模糊系统的推理过程;叙述模糊逻辑工具箱的图形化系统、模糊逻辑工具的自适应神经-模糊推理系统等高级技术的应用方法;介绍模糊逻辑工具箱与 Simulink 和 C 的连接技巧等。此外,还要给出一些作者的工作体会,给出一些运用模糊逻辑工具箱进行模糊控制器的分析与设计的实例。

作者努力在下述方面形成本书特点:

- 内容新颖。**据作者调研,目前国内关于 MATLAB 语言入门指导方面的书已有三四十本,关于 MATLAB 工具箱分析指导的书并不多,特别是关于模糊逻辑工具箱应用方面的书几乎没有。

- 一般归纳和算例并重。**本书对功能、指令函数作一般描述的同时,提供几百个算例。书中所有算例的程序、指令和函数调用所得的结果都经过作者实践后验证,从而给读者以正确真实、可重复的参照样本,减少读者对新知识的不确定感。

- 系统论述和快速查阅兼顾。**本书三大部分相互联系,但就每部分内容而言,它们相对独立,因此,本书既可系统学习,也可随时查阅。

- 简单易学。**以范例为主,图文为辅,通过标准算法和神经网络模型的例子,一步一步带领读者进入模糊逻辑工具箱。

在本书编写过程中得到了许多人的帮助,石家庄市纺织研究所的李茁为本书作了部分程序设计和仿真工作,中央民族大学的王玉锋老师也为本书作了部分仿真和编辑工作,硕士研究生李翔、宋建强和程天然为本书的出版作了许多辅助工作,清华大学热能仿真中心的高级工程师王超和北京科技大学的李威博士提供了许多技术上的支持工作,中国科学院自动化所的王丹力博士后、二炮第四研究所的金宏博士和北京恒润科技有限公司的吉英存博士为本书提供了许多宝贵的素材和建议,在此,一并向他们表示感谢。

此外,还要感谢鞠丽娜老师,感谢她为作者出版本书创造了机会和为编辑出版工作付出的辛勤劳动。最后,还要感谢黄文虎院士和张洪钺教授对本书出版工作的支持与帮助。

由于作者的水平所限,书中尚存在一些不足和错误之处,欢迎读者批评指正。

作 者

2001 年 1 月于北京

目 录

第一章 模糊理论基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 模糊理论的创立	1
1.1.2 模糊理论的发展和现状	2
1.1.3 模糊逻辑技术中的几个基本问题	3
1.2 模糊集合论基础	10
1.2.1 模糊集的概念	10
1.2.2 模糊集合的表示方法	11
1.2.3 模糊集合的运算	12
1.2.4 隶属度函数的建立	14
1.2.5 常见的模糊分布	16
1.3 模糊关系和模糊矩阵	21
1.3.1 模糊关系	21
1.3.2 模糊矩阵	23
1.3.3 模糊矩阵的运算性质	24
1.4 模糊逻辑	25
1.4.1 模糊命题	25
1.4.2 模糊逻辑公式	26
1.4.3 模糊逻辑函数的分析与综合	28
1.5 模糊语言	30
1.5.1 自然语言的集合描述	30
1.5.2 语言值	33
1.5.3 语言变量	35
1.6 模糊推理	35
1.6.1 模糊条件语句	35
1.6.2 模糊推理	39
1.6.3 模糊推理的 Zadeh 法	40
1.6.4 模糊推理的 Mamdani 法	41
1.6.5 模糊推理的强度转移法	44
第二章 模糊控制的理论基础	46
2.1 引言	46
2.1.1 模糊控制发展	46
2.1.2 模糊控制特点	47
2.2 模糊控制系统的组成	48

2.2.1	模糊化过程	49
2.2.2	知识库	50
2.2.3	推理决策逻辑	54
2.2.4	精确化过程	54
2.3	模糊控制系统的设计	56
2.3.1	模糊控制器的结构设计	56
2.3.2	模糊控制器的设计原则	58
2.3.3	模糊控制器的常规设计方法	59
第三章	Simulink 设计基础	63
3.1	Simulink 概述	63
3.2	Simulink 基本操作	63
3.2.1	运行 Simulink	63
3.2.2	Simulink 模块的操作	65
3.2.3	模块的连接	70
3.2.4	在连线上反映的信息	72
3.3	Simulink 的几类基本模块	74
3.4	Simulink 的简单应用设计	77
3.5	自定义功能模块	81
3.5.1	Icon 标签页	83
3.5.2	Initialization 标签页	87
3.5.3	Documentation 标签页	96
3.5.4	Unmask 标签页	98
第四章	系统仿真	100
4.1	模拟参数的设定	100
4.1.1	Solver 参数的设定	100
4.1.2	工作空间(Workspace)参数的设定	101
4.1.3	诊断(Diagnostics)参数的设定	102
4.2	模型的线性化	103
4.3	在命令窗口输入命令进行仿真	107
第五章	使用模糊逻辑工具箱建立系统	112
5.1	引言	112
5.2	简介	113
5.3	FIS 编辑器	114
5.4	隶属度函数编辑器	118
5.5	规则编辑器	121
5.6	规则观察器	124
5.7	曲面观察器	125
5.8	从 GUI 工具输入和输出	127
5.9	定制你的模糊系统	128

第六章 命令行工作方式	130
6.1 引言	130
6.2 系统显示函数	132
6.3 建立一个系统	134
6.4 FIS 求值	136
6.5 FIS 结构	137
第七章 与 Simulink 一起工作	141
7.1 引言	141
7.2 例子:水位控制	141
7.3 建立你自己的模糊仿真模型	146
第八章 Sugeno-Type 模糊推理	148
8.1 引言	148
8.2 例子:两个 lines	150
8.3 结论	152
第九章 anfis 和 ANFIS 编辑器 GUI	153
9.1 引言	153
9.2 建模方案	153
9.3 模型学习和通过 ANFIS 推理	153
9.3.1 ANFIS 是什么?	153
9.3.2 FIS 结构和参数调节	154
9.4 熟悉数据类型的有效性:了解你的数据	154
9.5 anfis 的某些约束	155
9.6 ANFIS 编辑器 GUI	155
9.7 ANFIS 编辑器 GUI 例子 1:检测数据有助于模型验证	157
9.7.1 装入数据	157
9.7.2 初始化和生成你的 FIS	159
9.7.3 用 ANFIS 自动生成 FIS 结构	159
9.7.4 为 ANFIS 指定你自己的隶属度函数	160
9.7.5 观察你的 FIS 结构	161
9.7.6 anfis 训练	161
9.7.7 对已训练的 FIS 测试你的数据	162
9.8 ANFIS 编辑器 GUI 例子 2:检测数据不再有效的模型	163
9.9 命令行方式 anfis	166
9.10 anfis 和 ANFIS 编辑器 GUI 详细介绍	171
9.10.1 训练数据	171
9.10.2 输入 FIS 结构	171
9.10.3 训练选项	171
9.10.4 显示选项	172
9.10.5 方法	172

9.10.6	为训练数据输出 FIS 结构	172
9.10.7	训练误差	172
9.10.8	步长	173
9.10.9	检测数据	173
9.10.10	对检测数据输出的 FIS 结构	173
9.10.11	检测误差	174
第十章	模糊聚类	175
10.1	引言	175
10.2	模糊 C-Means 聚类	175
10.3	例子:2-D 聚类	175
10.4	Subtractive 聚类	178
10.4.1	例子	178
10.4.2	匹配	181
10.5	聚类 GUI 工具	181
第十一章	模糊逻辑与模糊工具箱的综合应用实例	183
11.1	一个典型的模糊控制实例	183
11.2	自适应噪声消除	188
11.3	倒立摆控制	192
附录 1	模糊逻辑工具箱函数简介	197
附录 1.1	GUI 工具	197
附录 1.2	隶属度函数	197
附录 1.3	FIS 数据结构管理	197
附录 1.4	先进技术	198
附录 1.5	Simulink 仿真块	198
附录 1.6	演示	198
附录 2	模糊逻辑工具箱函数详述	200
附录 3	独立 C 代码模糊推理引擎	260

第一章 模糊理论基础

1.1 概 述

1.1.1 模糊理论的创立

模糊理论是在美国柏克莱加州大学电气工程系 L. A. Zadeh 教授于 1965 年创立的模糊集合理论的数学基础上发展起来的,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。

早在 20 世纪 20 年代,就已经有学者开始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. Russell 在 1923 年就写出了有关“含模糊性”的论文。他认为所有的自然语言均是模糊的,比如“年轻的”和“年老的”就都不是很清晰的或准确的,它们没有明确的内涵和外延,这些概念实际上是模糊的。可是,在特定的环境中,人们用这些概念来描述某个具体对象时却又能让人们心领神会,很少引起误解和歧义。

事隔十余年后,英国学者 M. Black 在 1937 年也曾对“含模糊性”的问题进行过深入研究,并提出了“轮廓一致”的新概念,这完全可以看作是后来的“隶属函数”这一重要概念的思想萌芽。应该说他已经走到了真理的边缘,可谓模糊集合理论的鼻祖。可惜,他在描述某一概念的“真实接近程度”时,错用了“用法的接近程度”,最终与真理擦肩而过,失之交臂。

与 B. Russell 同时代的逻辑学家和哲学家 J. L. Kasiewicz 发现经典的二值逻辑只是理想世界的模型,而不是现实世界的模型,因为它在对待诸如“某人个子比较高”这一客观命题时不知所措。他在 1920 年创立了多值逻辑,为建立正式的模糊模型走出了关键的第一步。但是,多值逻辑本质上仍是精确逻辑,它只是二值逻辑的简单推广。

美国加州大学的 L. A. Zadeh 博士在 1965 年发表的 Fuzzy Set 论文中首次提出了表达事物模糊性的重要概念——隶属函数,从而突破了 19 世纪末德国数学家 G. Cantor 创立的经典集合理论的局限性。借助于隶属函数可以表达一个模糊概念从“完全不属于”到“完全隶属于”的过渡,才能对所有的模糊概念进行定量表示。隶属函数的提出奠定了模糊理论的数学基础。这样,像“冷”和“热”这些在常规经典集合中无法解决的模糊概念就可在模糊集合中得到有效表达。这就为计算机处理这种语言信息提供了一种可行的方法。

1966 年, P. N. Marinos 发表了模糊逻辑的研究报告,这一报告真正标志着模糊逻辑的诞生。模糊逻辑和经典的二值逻辑不同,模糊逻辑是一种连续逻辑。一个模糊命题是一个可以确定隶属度的句子,它的真值可取 $[0, 1]$ 区间中的任何数。很明显,模糊逻辑是二值逻辑的扩展,而二值逻辑只是模糊逻辑的特殊情况。模糊逻辑有着更加普遍的实际意义,它摒弃了二值逻辑简单的肯定或否定,把客观逻辑世界看成是具有连续灰度等级变化的,它允许一个命题亦此亦彼,存在着部分肯定和部分否定,只不过隶属程度不同而已,

这就为计算机模仿人的思维方式来处理普遍存在的语言信息提供了可能,因而具有划时代的现实意义。

1974年,L. A. Zadeh 又进行了模糊逻辑推理的研究,从此,模糊理论成了一个热门的课题。建立在模糊逻辑基础上的模糊推理是一种近似推理,可以在所获得的模糊信息前提下进行有效地判断和决策。而基于二值逻辑的演绎推理和归纳推理此时却无能为力,因为它们要求前提和命题都是精确的,不能有半点含糊。

1974年,英国的 E. H. Mamdani 首次用模糊逻辑和模糊推理实现了世界上第一个试验性的蒸汽机控制,并取得了比传统的直接数字控制算法更好的效果。它的成功也标志着人们采用模糊控制进行工业控制的开始,从而宣告了模糊控制的问世。第一个有较大进展的商业化模糊控制器是在丹麦诞生的。1980年 L. P. Holmblad 和 Ostergard 在水泥窑炉上安装了模糊控制器并获得了成功,这个成果很快引起了有关学者的极大关注。事实上,模糊逻辑应用最有效、最广泛的领域就是模糊控制,模糊控制在各种领域出人意料地解决了传统控制理论无法解决或难以解决的问题,并取得了一些令人信服的成效。

目前,对待模糊理论,学术界一直有两种不同的观点,其中持否定态度的观点大有人在,客观地说,有如下两个主要方面的原因:其一是推崇模糊理论的学者在强调其不依赖于精确的数学模型时过分地夸大了其功效,而正确的观点似乎应该是模糊控制不依赖于被控对象的精确数学模型,当然它也不应该拒绝有效的数学模型。模糊控制理论在特定条件下可以达到经典控制理论难以达到的“满意控制”,而不是最优控制;其二是模糊理论的确还有许多不完善之处,比如模糊规则的获取和确定,隶属函数的选择以及稳定性问题至今还未得到完善的解决。尽管如此,大量的工程系统已经应用上了模糊理论,特别是日本,尤为重视模糊理论的工程应用。从发展来看,模糊控制已经成为智能控制的一个重要分支。

1.1.2 模糊理论的发展和现状

以日本、中国、欧美为代表的各国科技人员正就以下各个方面开展深入研究。

(1) 模糊理论基础研究

为了开拓更新更广的应用,完善模糊理论的理论体系,必须加强以基本概念为核心的模糊理论和模糊方法论的研究,其重点在于应用模糊理论对人的思维过程和创造力进行理论研究。同时也要对已有基础理论中的基本概念,比如模糊概念、模糊推理的概念等进行推敲;对模糊推理中的多值理论、统一性理论、推理算法、多变量分析、模糊量化理论等进行研究;对模糊方法论中的模糊集合论、模糊方程、模糊统计和模糊数学,对思维功能与模糊系统的关系,模糊系统评价方法、模糊系统与其他系统,特别是神经网络等相结合的理论问题进行研究。

(2) 模糊计算机方面的研究

其目标是实现具有模糊关系特征的高速推理计算机,并希望在系统小型化、微型化的同时,开发出可以大大提高开发效率的模糊计算机。这方面的研究包括模糊计算机结构、模糊逻辑器件、模糊逻辑存储器、模糊编程语言以及模糊计算机操作系统软件等。

(3) 机器智能化研究

目的是实现对模糊信息的理解,对具有渐变特征模糊系统的控制以及对模式识别和

决策智能化的研究。主要包括智能控制、传感器、信息意义理解、评价系统,具有柔性思维和动作性能的机器人、能有语言理解能力的智能通讯、具有实时理解能力的图像识别等。

(4) 人机工程的研究

其目标是实现能高速模糊检索并能对未能预测的输入条件作适当判断的专家系统,以及对人与人之间的界面如何能尽量接近人机之间的界面,如何才能满足新系统要求的研究。这方面主要包括模糊数据库,模糊专家系统,智能接口和对人的自然语言的研究。

(5) 人类系统和社会系统的研究

目的在于利用模糊理论解决充满不确定性的人的复杂行为、心理分析,社会经济的变化趋势,各种社会现象的模型、预测以及决策支持等。这方面包括对各种危机的预测和完全评价、对有人为失误系统的评价方法、建立不良结构系统的模型、模糊理论在系统故障检测与诊断中的应用、人的行为与心理分析等。

(6) 自然系统的研究

目的在于利用模糊理论来解决复杂自然现象的模型和解释等。这方面还包括对各种物理化学现象的进一步解释,对自然环境大气圈、地球生物圈、水圈、地圈的研究。

1.1.3 模糊逻辑技术中的几个基本问题

(1) 模糊逻辑与随机事件的联系和区别

有人误认为模糊逻辑中的隶属函数与数理统计中的概率都是描述不确定性的,隶属函数就是概率的另一种表述,只不过换了一个角度而已。事实上,概率是事件发生可能性大小的度量,它表示事件结果的不确定性,而隶属函数则是事件本身多大程度属于某个分类的度量,它表示,事物本身性质的内在不确定性。美国西佛罗里达大学的詹姆斯·贝斯德克教授曾用这样的事例来阐明两者的区别。假如你在沙漠中不幸迷了路,而且已经好几天没有见到水了。这时你突然看到两个装着液体的瓶子,其中一个贴有标签表示它盛有纯净水的概率是 0.91,而另一个瓶子上的标签表示瓶中液体属于纯净水的隶属度也是 0.91。你将选择哪一瓶呢?很显然你肯定会选用后者,因为前者可能会是有毒液体,后者尽管不是太干净,但是一定能喝。这个例子说明隶属函数和概率不是一回事,不能相互替代。但是,这两者又可能相互结合,那就是模糊概率,用来描述模糊随机事件的概率。例如求“明天下大雨”的概率,其中“下大雨”便是模糊事件。

(2) 模糊逻辑与多值逻辑的区别和联系

模糊逻辑是在多值逻辑的基础上发展起来的,因此有人误认为模糊逻辑就是多值逻辑,而实际上两者是有区别的。二值逻辑排斥真值的中介过渡性,认为事物在形态和类属方面是非此即彼的。多值逻辑首先突破了真值的两极性,承认了真值具有中介过渡性,认为事物在形态和类属方面并非是非此即彼,是可能此亦可能彼,或者可能非此也可能非彼。但是,多值逻辑是通过穷举中介的方法表示过渡性,把所有的中介看成是彼此独立、界限分明的对象,真值是精确的。因此,多值逻辑本质上是一种精确逻辑,只不过是二值逻辑的简单推广。而模糊逻辑不仅承认真值的中介过渡性,还认为事物在形态和类属方面具有亦此亦彼性、模棱两可性,或者说是模糊性,相邻之间是相互交叉和渗透,其真值也是模糊的。

(3) 模糊逻辑与人工智能

人工智能是一门新兴的边缘学科,它主要研究怎样能使计算机去做原来只有人才能做的具有智能性质的工作。所谓智能是指人在认识或者实践活动中所具有的感知观察能力、记忆能力、逻辑思维能力和语言表达能力等综合心理机能。人脑功能模型的关键是对人的自然智能逻辑进行形式化的问题。传统电子计算机是以二值逻辑为基础的,其特点是建立在加法和移位基础上的各种计算能力,对确定性问题具有逻辑推理能力,并且可以比人具有更高的速度、精度和效率。然而这样的计算机并不具有人脑那样灵活处理语言信息和像人一样的创造性思维的能力。事实上要用二值逻辑来模拟人的思维过程是不可能的,这是因为目前的计算机理论仍然是经典数学的精确方法,即以非此即彼的二值逻辑为基础,即使已经引进了概率统计等随机数学方法,但是仍然不能解决对普遍存在的模糊信息进行处理的问题,不能模拟人的模糊化思维的逻辑机制。

模糊逻辑技术经常与人工智能相联系,因为这是一种模仿人类推理过程的计算机推理设计技术。相对而言,模糊逻辑在数学上并不复杂,而它确实体现了目前所知的许多人工智能要素。当然模糊逻辑也不可能成为包罗万象的技术,我们应该把模糊逻辑技术看成是现有技术和方法的集成技术。人工智能和模糊逻辑有联系,但是两者又有关键性的差别。目前的人工智能实际上是用来模仿人的精神方面而加到计算机上的“智能”。而模糊逻辑实质上是一种方法,用这种方法计算机就有可能更可靠地去处理那些无法用数学表示的概念、现象和问题。

(4) 模糊逻辑和专家系统

所谓专家系统就是这样一种信息系统,它可以对用户提出的问题从其知识库中提取恰当的答案。典型的专家系统都具有不寻常的推理能力,特别是它具有根据不精确、不完整或者不完全可靠的前提进行推理的能力。因为专家系统的知识库都是由专家提供的知识构成的,其中很多知识都含有经验成分,实际上是不精确的。在专家系统设计中,基本问题就是如何利用计算机能力从前提到结论去分析不确定性的传递,并且把结论与一般称作不确定因素的东西联系起来。在专家系统中以模糊逻辑作为处理不确定性的框架,就可使我们有可能去考虑因传统方法不能正确处理或者有效处理的许多问题。方法是在专家系统中引入模糊规则,模糊规则看起来非常像传统专家系统中的产生式规则,它们有不只一个前提和一个以上的结论。在传统专家系统中,如果前提是真,规则就被激活。而在模糊专家系统中,如果其前提是接近1的值,即某种程度的真,规则就被激活。

在传统专家系统中,规则要么被激活,要么不被激活。如果对一组输入,仅有一个规则被激活,那么这个规则就完全控制了专家系统的输出。但是在模糊专家系统中,规则不是开关式响应,而是可以不同程度地被激活,那就是说,规则产生的是“灰度”响应,而这灰度的大小取决于在每一个规则前提下的可信度。通常对于给出的一组输入,可有不只一个规则被激活。那么专家系统的输出可能是几条规则结合的结果。这样,模糊专家系统就能与人类对大量的问题进行直观思考的方法相一致,成为一种对非线性编码系统易于理解的方法,并且可以在现有传统计算机上以更快的速度运行。

(5) 模糊逻辑与神经网络

神经网络是被相互连接起来的处理器结点矩阵,每个结点是一个神经元,这是对人类大脑神经细胞的简单近似模拟。每个神经元接受一个以上与权因子相乘的输入,并把这些输入加到一起产生输出。神经元可被分层安排,第一层接受基本输入,然后传递其输

出到第二层,第二层又有自己的权因子与代数相和,直到最后一层产生输出。

神经网络本质是模糊的,但是使用模糊逻辑的系统并不一定非要神经网络结构。神经网络有两个与用传统方法进行信息处理完全不同的性质。第一,神经网络是自适应和可以被训练的,它有自学习能力。如果它的输出不满足期望结果,网络可以调整权重加到每个输入上去产生一个新的结果,整个修正过程可以通过训练算法来实现。第二,神经网络本身就决定了它是大规模并行机制,也就是说,神经网络从原理上看就比传统方法要快得多,它擅长通过大量复杂的数据进行分类和发现模式或规律。神经网络的关键特性和基本限制是神经网络所含的信息是隐含的,如果要理解它几乎是不可能的,而安排它的权值是决定它工作情况的关键,然而却又无法知道权值和理解神经网络在做什么,那就是说,神经网络所用的“语言”我们是难以理解的。

模糊逻辑系统并不是像神经网络那样的学习系统,它所具有的“知识”可通过该领域的专家提供。模糊逻辑控制规则是靠人的直觉经验制定的,它本身并不具有学习功能。在用软件实现的复杂系统中,模糊控制规则越多,控制运算的实时性越差,而且需要识别和建立规则和时间随规则数增加而以指数形式增长。正因为如此,模糊逻辑的应用范围受到限制,其作用长期不能得到充分发挥。由此可见,模糊逻辑技术与神经网络技术各有长处和局限性。如果把模糊逻辑技术与神经网络技术结合起来,就能各取所长、共生互补。

综上所述,模糊技术,允许模糊表示,并积极地处理模糊知识,与神经网络相比,它能较清楚地表达知识;另一方面,模糊技术的自学习能力不如神经网络技术,此外,人工智能技术较模糊逻辑技术更能清晰的表示知识。当神经网络的输出被限定在 $[0,1]$ 区间上时,就可以将神经网络的输出与模糊逻辑的隶属度相对应,在知识处理过程中,这两种技术往往可以相互代替,取长补短(见图 1.1)。

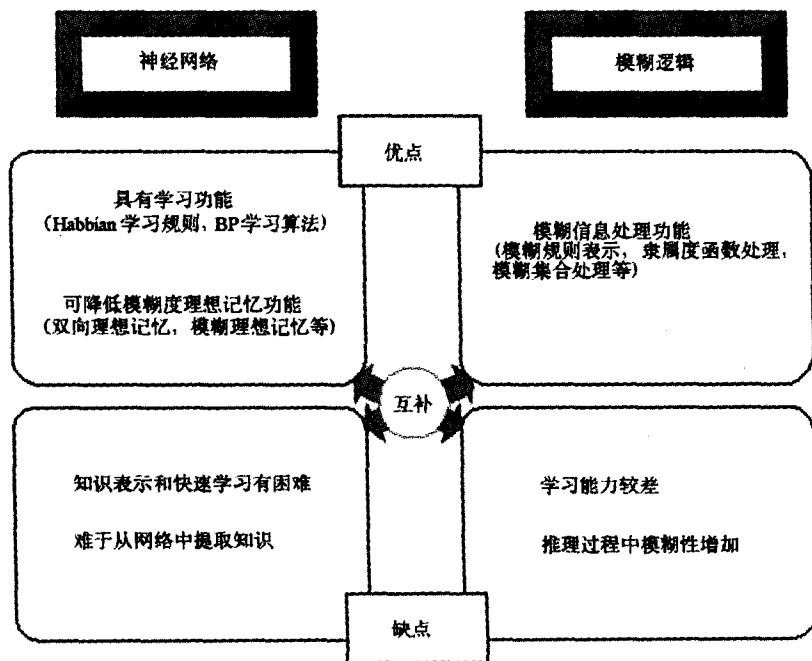


图 1.1 模糊与神经网络的比较

目前,模糊和神经网络技术从简单结合到完全融合主要体现在四个方面(见图 1.2),由于模糊系统和神经网络的结合方式目前还处于不断发展的进程当中,所以,还没有更科学的分类方法,下述结合方式是从不同应用中综合分析的结果。

1) 模糊系统和神经网络系统的简单结合(见图 1.2(a))

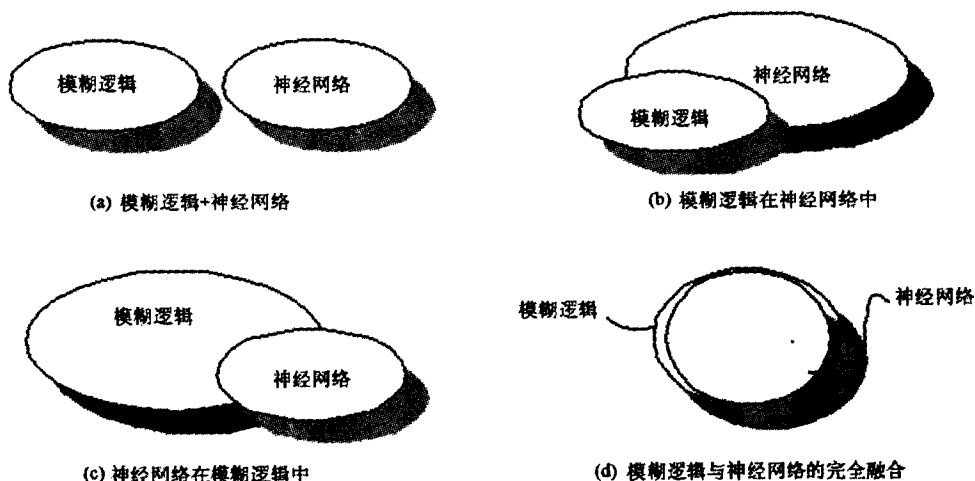


图 1.2 模糊系统和神经网络结合形式分类

模糊系统和神经网络系统各自以其独立的方式存在,并起着一定的作用。

a. 松散型结合。在一系统中,对于可用“if-then”规则来表示的部分,用模糊系统描述,而对很难用“if-then”规则表示的部分,则用神经网络,两者之间没有直接联系。

b. 并联型结合。模糊系统和神经网络在系统中按并联方式连接,即享用共同的输入。按照两系统起的作用的轻重程度,还可分为等同型和补助型,如图 1.3 所示。在补助型中,系统的输出主要由子系统 1(可以是模糊系统或神经网络系统)决定,而子系统 2 的输出起补偿作用。这种情况通常是在存在不确定性干扰时,子系统 1 的输出会产生偏差,需要子系统 2 的补偿。

c. 串联型结合。模糊系统和神经网络在系统中按串联方式连接,即一方的输出成为另一方的输入(见图 1.4)。这种情况可看成是两段推理或者串联中的前者作为后者输入信号的预处理部分。例如应用神经网络预处理模糊系统的输入数据,可以实现数据整理、聚集和抑制噪声,使获取模糊规则的过程变得容易。文献提出了应用自组织神经网络初始化模糊系统的规则库,聚集数据,寻找出数据中的内在本质关系。

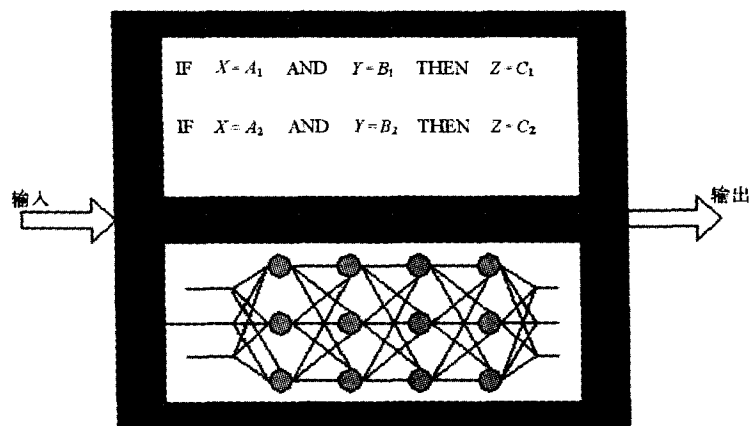
2) 用模糊逻辑增强的神经网络(见图 1.2(b))

这种结合的主要目的是用模糊神经系统作为辅助工具,增强神经网络的学习能力,克服传统神经网络容易陷入局部极小值的弱点。图 1.5 描述了基于专家知识和规则,实现神经网络的训练。将模糊规则融入到神经网络的反向误差传播算法中,训练前馈感知器网络;此外,为提高神经网络的训练速度,还可利用模糊规则设计神经网络的初始权值。

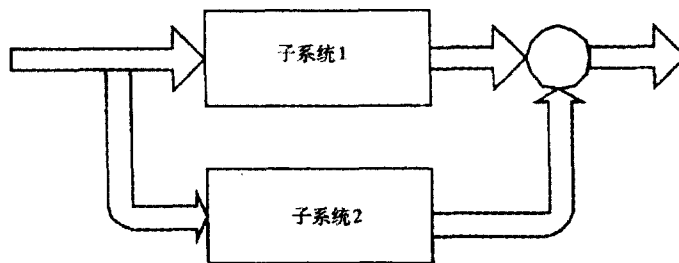
3) 用神经网络增强的模糊逻辑(见图 1.2(c))

这种类型的模糊神经网络是用神经网络作为辅助工具,更好地设计模糊系统。

a. 网络学习型的结合。模糊系统设计的关键是知识的获取,传统方法难于有效的获



(a) 等同型



(b) 补助型

图 1.3 并联型结合

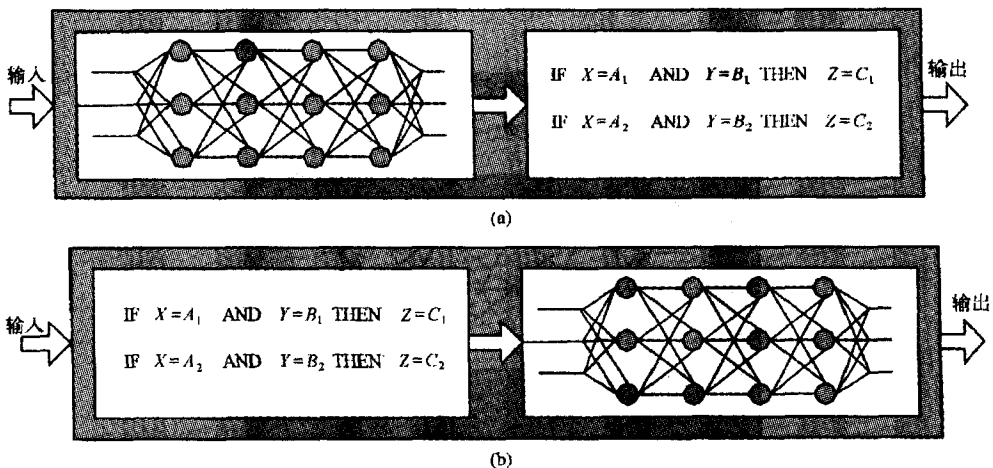


图 1.4 串联型结合

取规则和调整隶属度函数,实现自学习功能很困难,在用神经网络增强的模糊系统,神经网络的学习能力能够克服这些问题。图 1.6 描述了这种网络学习型的模糊系统。

b. 基于知识扩展型的结合。神经网络和模糊系统的结合是为了扩展知识库和不费时地对知识库进行修正,增强系统的自学习能力,这种自学习能力是靠神经网络和模糊系

统之间进行双向知识交换而实现的,如图 1.7 所示。另外,模糊逻辑推理的最大弱点就是

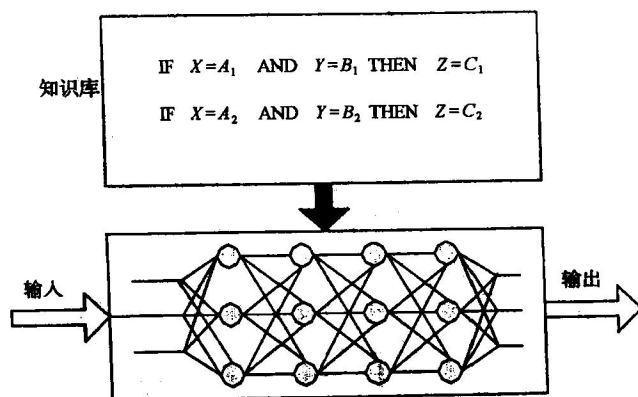


图 1.5 基于模糊系统的神经网络训练

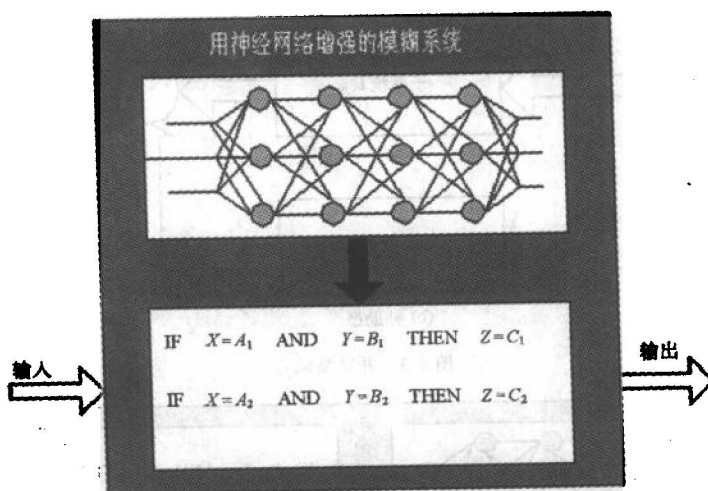


图 1.6 用神经网络增强的模糊系统

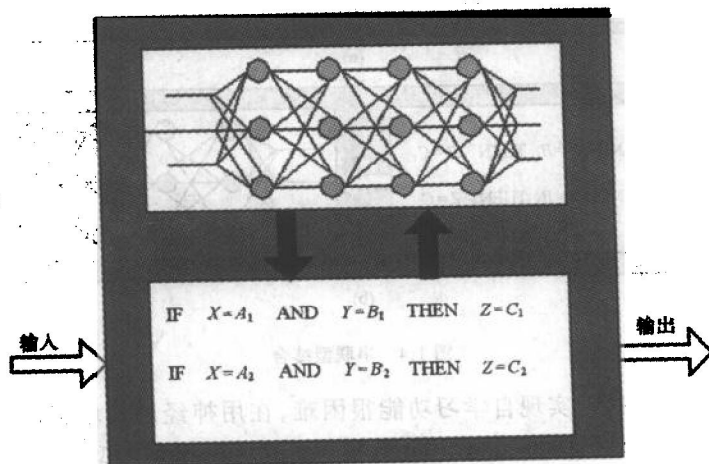


图 1.7 双向知识交换式的模糊系统