



伍世虔 徐军 编著

动态模糊神经网络

——设计与应用



清华大学出版社

动态模糊神经网络——设计与应用

针对一个复杂系统，如何快速构造一个有效的模糊系统或神经网络？模糊规则数或隐层节点数越多则系统性能越好吗？哪条规则最重要？所建模型具有泛化能力吗？这些问题都是技术人员在实际应用中经常遇到的问题。

本书就是要回答上述问题及其相关问题，针对不同的应用对象（系统辨识、预测、实时控制、模式识别等），解决使用者在缺乏对模糊理论、神经网络以及应用对象的全面知识的情况下，如何快速、自动地构造一个有效的模糊神经网络的问题。



本书主要特色：

- 全书自成体系；
- 针对不同应用，提出多个学习算法；
- 在介绍参数学习的同时，特别强调结构的确定；
- 注重在线学习和实时控制；
- 侧重将理论应用于实际问题的解决；
- 提供多个应用实例；
- 附有Matlab程序。

ISBN 978-7-302-15681-9

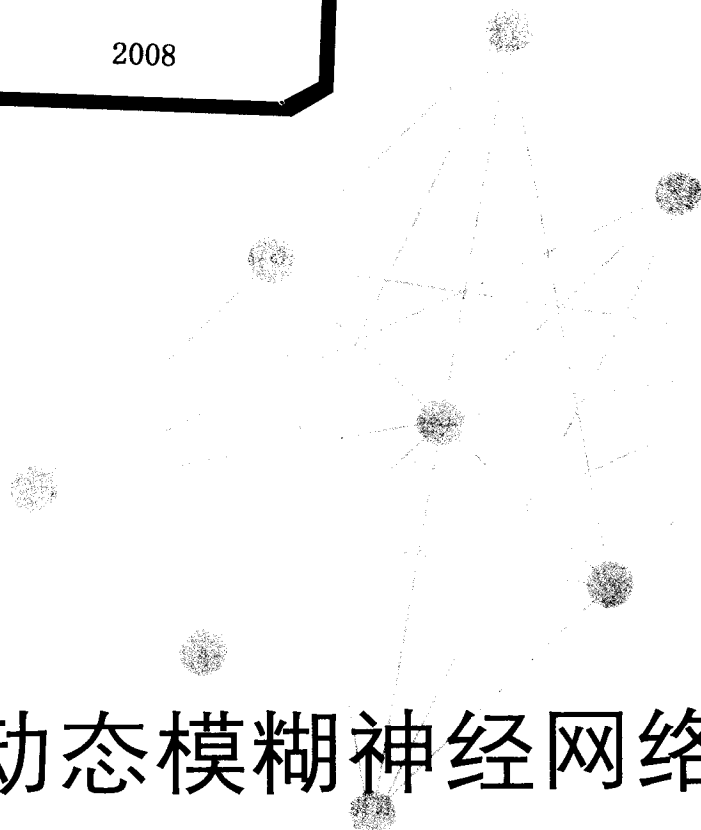


9 787302 156819 >

定价：29.00元

TP183/65

2008



伍世虔 徐军 编著

动态模糊神经网络

——设计与应用

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了动态模糊神经网络理论,目的是要解决使用者在缺乏模糊理论、神经网络以及应用对象的全面知识的情况下,如何快速、自动地构造一个有效的模糊神经网络的问题。因此,本书在提出参数学习的同时,特别强调模糊神经网络结构的确定。

本书针对不同应用对象(系统辨识、预测、实时控制、模式识别等),提出了多个学习算法,这些算法以提高学习速度和增强泛化能力为中心,融合了在线学习、分级学习、动态自组织结构、修剪技术等一系列设计思想,从而使得这些算法既可用于离线训练,也可用于实时学习和控制。

本书内容丰富而详实,书末还附有 MATLAB 程序,可作为人工智能、软计算、数据挖掘、信息处理、数据分析、自动控制及模式识别等领域技术人员的参考书,也可作为相关专业的研究生教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

动态模糊神经网络:设计与应用/伍世虔,徐军编著. —北京:清华大学出版社,2008.1
ISBN 978-7-302-15681-9

I. 动… II. ①伍… ②徐… III. 人工神经元网络 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105495 号

责任编辑:焦 虹 李玮琪

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15

版 次:2008 年 1 月第 1 版

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

字 数:359 千字

印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:023764-01

前 言

模糊系统、神经网络及遗传算法是目前公认的人工智能、软计算和数据挖掘的主要内容,模糊神经网络集模糊系统知识的明显表达和神经网络强大的学习功能于一体,是这些领域的研究热点。

模糊系统是基于规则的设计方法,它由一些形如 IF-THEN 的语言规则组成,而这些模糊规则实际上来自设计者的知识和经验。更准确地说,模糊系统的设计是一种主观行为,以此来表达设计者的知识。由于没有知识获取的统一和有效的方法,因此即使设计者是领域专家,要完成复杂系统所有输入输出数据的检查,以找到一组合适的规则,也是很难的。如果更进一步地问:“哪条规则最重要?”“规则数越多则系统性能越好吗?”等,对这些问题的回答更是不容易。显然这种设计方法效率低、缺乏广义可行性,特别是不能确保可靠性。因此,有必要提出一种客观方法,使模糊系统通过有限训练数据实现建模过程的自动化。

一个基于神经网络的模糊系统,即模糊神经网络系统就是这样一种方法,由于它具有学习功能和自适应能力,因此这种系统不仅吸取了二者的优点,还克服了各自的缺点。一个模糊神经网络无论是从结构上还是本质上来说就是一个神经网络。在现有的模糊神经网络系统中,主要集中在模糊神经网络的表达方式和参数确定研究上,而对模糊神经网络的结构辨识仍然是一个非常耗时、远未解决的问题。一个不合理的结构会导致两个严重的问题:过拟合(overfitting)和过训练(overtraining),从而直接影响到系统的泛化能力。到目前为止,对于如何确定一个具有良好泛化能力的模糊系统、神经网络或模糊神经网络,还没有一个统一的指导理论。在实际应用时,通常的做法是从实际应用系统中搜集数据样本,然后小心地选择模糊系统或神经网络结构,并通过学习算法调整参数,再以测试样本检验系统泛化误差来决定所确定的系统是否合适,其设计过程如下页图所示。一旦确定好结构和参数,就把这个训练好的模糊系统或神经网络用于实际系统,并在运行中进一步调整参数,以达到所谓的自适应学习与控制。综上所述,这是一种试凑方法,具有很大的不确定性。因此,一个对实际应用系统没有较深刻了解及掌握一定模糊系统或神经网络理论的人,是难以设计出一个好的模糊系统或神经网络的。

另一方面,我们也看到,现有的模糊神经网络多采用反向传播学习算法进行训练。众所周知,该方法学习速度慢,容易陷入局部极小点。因此,需要提出一个针对实际应用的快速学习算法。

正是基于上述背景,我们提出了动态模糊神经网络。所谓“动态”是指模糊神经网络的结构不是预先设定的,而是动态变化的,即在学习开始前,没有一条模糊规则,其模糊规则在学习过程中逐渐增长而形成。较之常见的模糊神经网络方法,本方法所得到的模糊规则数并不随输入变量的增加而按指数增长,特别是本方法无须领域的专家知识就可以对系统自动建模及抽取模糊规则(知识)。当然,如设计者是领域专家,其知识也可以直接应用于系统

设计。由于所得到的模糊神经网络具有结构紧凑的特点,避免了过拟合现象,因此可给使用者带来很大的方便。

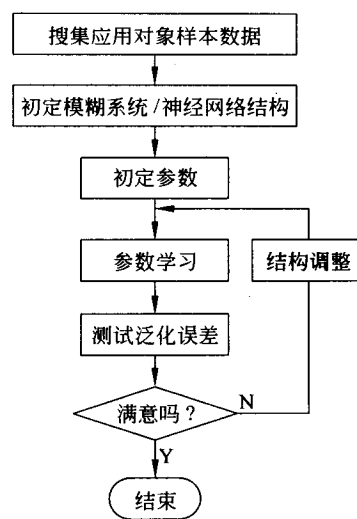
本书共分 12 章。第 1 章简单介绍了模糊神经网络的提出、发展及存在的问题,并对所提出的动态模糊神经网络的含义、特点及应用做了概括性的总结;第 2 章深刻剖析了模糊系统、神经网络及模糊神经网络的思想;第 3 章详细论述了动态模糊神经网络的结构和算法思想;第 4 章提出了用于动态模糊神经网络的各种方法及性能比较;第 5 章描述了动态模糊神经网络在静态函数逼近、动态非线性系统辨识、时间序列预测及人脸识别等方面的应用;第 6 章是动态模糊神经网络在药物输送系统和乳腺癌诊断分类等生物工程上的应用;第 7 章以对噪声消除为例,针对输出不可测量的应用系统,提出了增强型动态模糊神经网络;第 8 章提出了一个广义动态模糊神经网络,该算法不仅可以用于系统建模,也可以用于模糊规则的自动生成或抽取;第 9 章介绍了非线性系统的鲁棒自适应模糊神经控制,并对控制器的收敛性和稳定性做了详细分析;第 10 章以关节型机器人操作臂(SCARA)为例,详细介绍了在 MATLAB 平台下,如何实现快速成型、把动态模糊神经网络实时应用于实际系统控制及开发过程中要考虑的问题;第 11 章提出了如何构造动态径向基神经网络以处理高维、小样本的分类问题,并成功地应用于人脸识别问题中;第 12 章是本书总结及未来展望。为方便读者理解本书内容,在附录中给出了本书部分实例的 MATLAB 程序,这些程序可以在 MATLAB 6.0 以上版本中运行。

模糊神经网络是江西财经大学图像处理与智能信息处理创新团队的研究方向之一,也是我们开设“人工智能及其应用”研究生课程的主要内容之一。本书内容经过两轮研究生教学,得到学生的一致好评。正是学生们的强烈愿望,促使我们把这些内容整理成书。

本书内容由创新团队主要成员徐军博士和我共同确定,并由徐军博士撰写初稿。

本书主要内容是我在南洋理工大学读博士期间所完成的,部分内容发表在 IEEE Transactions on Fuzzy Systems、IEEE Transactions on Neural Networks、IEEE Transactions on Systems、Man and Cybernetics 等国际杂志上。为此,我首先要感谢我的导师余明裕教授,没有他多年的指导和鼓励,本书是不可能问世的。我也非常感谢南洋理工大学为我提供奖学金,让我有机会到新加坡学习。

在我工作的基础上,高扬博士把动态模糊神经网络的思想应用于多输入多输出动态系统的控制中,进一步提出了自适应模糊神经网络控制的设计方法;李峥嵘、蔡华宁及陈琴等把动态模糊神经网络应用于噪声消除,提出了增强型动态模糊神经网络;Mr. Low Chang Boon, Mr. Nah Khuan Holm, Mr. Lim Moo Heng 及 Mr. Ng Shee Yong 等把动态模糊神经网络用于机器人实时控制,我对他们的工作表示十分感谢。此外,本书内容也参考了



模糊系统/神经网络确定过程

Wang Liang 博士有关模糊系统的研究工作,我也非常感谢他的工作。

本书的出版得到了江西财经大学信息管理学院万常选院长、徐升华教授、王正友教授、方志军副教授及全体研究生的大力支持,在此一并向他们表示诚挚的感谢。

最后,作者对本书责任编辑的辛勤劳动及清华大学出版社的大力支持表示深深的谢意。

限于作者水平,不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

伍世虔

2007年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 模糊神经网络	1
1.1.1 模糊神经网络的提出	1
1.1.2 模糊神经网络的发展	2
1.1.3 模糊神经网络的分类	3
1.2 动态模糊神经网络	4
1.2.1 动态模糊神经网络的提出	4
1.2.2 动态模糊神经网络的含义与特点	5
1.2.3 动态模糊神经网络的应用	5
本章参考文献	6
第 2 章 模糊系统与神经网络回顾	9
2.1 模糊系统	9
2.1.1 模糊集	9
2.1.2 模糊规则	9
2.1.3 模糊推理系统	11
2.1.4 模糊系统作为非线性逼近	13
2.1.5 模糊系统存在的问题	14
2.2 神经网络	15
2.2.1 神经网络的特性	15
2.2.2 神经网络的组成	15
2.2.3 神经网络的学习算法	16
2.2.4 神经网络的结构与泛化能力	17
2.2.5 神经网络激活函数的选择	19
2.2.6 径向基(RBF)神经网络	19
2.3 模糊系统与神经网络	21
2.3.1 模糊系统与神经网络的知识处理	22
2.3.2 通用逼近器	22
2.3.3 模糊系统与神经网络的功能等价	23
2.3.4 模糊系统与神经网络的结合	23
本章参考文献	24
第 3 章 动态模糊神经网络	27
3.1 动态模糊神经网络的结构	27

3.2	动态模糊神经网络的学习算法	28
3.2.1	规则产生准则	29
3.2.2	分级学习思想	29
3.2.3	前提参数分配	30
3.2.4	结果参数确定	30
3.2.5	修剪技术	32
3.3	对算法的进一步讨论	35
3.3.1	结构辨识	35
3.3.2	输入空间划分	36
3.4	小结	36
	本章参考文献	37
第4章	动态模糊神经网络不同算法实现及比较	39
4.1	修剪技术的不同方法	39
4.1.1	奇异值分解(SVD)方法	39
4.1.2	特征值分解(ED)方法	40
4.1.3	列主元 SVD-QR 方法	41
4.1.4	总体最小二乘方法	43
4.1.5	不同修剪技术的比较研究	45
4.1.6	小结	48
4.2	参数调节方法及比较	48
4.2.1	扩展的卡尔曼滤波	48
4.2.2	不同参数调节方法的比较研究	49
4.2.3	小结	51
	本章参考文献	53
第5章	动态模糊神经网络的一般应用	55
5.1	函数逼近	55
5.1.1	逼近问题	55
5.1.2	Hermite 函数逼近	56
5.2	非线性动态系统辨识	58
5.2.1	建模问题	58
5.2.2	系统辨识	59
5.2.3	神经网络用于系统辨识	59
5.2.4	仿真	61
5.3	Mackey-Glass 时间序列预测	62
5.4	人脸识别	65
5.5	讨论	65
5.5.1	学习速度、参数优化和泛化性	66

5.5.2	分级学习	67
5.5.3	高维小样本的学习问题	68
5.5.4	D-FNN 与模糊规则提取	68
5.6	小结	68
	本章参考文献	68
第 6 章	动态模糊神经网络在生物工程中的应用	70
6.1	药物注射系统的直接逆控制	70
6.1.1	问题的提出	70
6.1.2	病人的平均动脉血压对 SNP 注射响应的动态建模	70
6.1.3	几个约束条件	71
6.1.4	药物注射系统的直接逆控制	72
6.1.5	仿真结果	73
6.1.6	小结	84
6.2	乳腺癌的分类	85
6.2.1	引言	85
6.2.2	乳腺癌诊断中的分类技术	85
6.2.3	数据获取	86
6.2.4	特征提取	87
6.2.5	分类结果	87
6.2.6	小结	89
	本章参考文献	89
第 7 章	增强型动态模糊神经网络用于实时自适应噪声消除	92
7.1	引言	92
7.2	自适应噪声消除	92
7.3	神经网络用于自适应噪声消除	94
7.4	ED-FNN 学习算法	95
7.4.1	输入空间的划分	95
7.4.2	输出线性权值的确定	96
7.4.3	其他考虑	96
7.5	仿真研究与性能评估	97
7.5.1	第 1 种情况——一阶信道动态特性	98
7.5.2	第 2 种情况——三阶信道动态特性	103
7.6	小结	105
	本章参考文献	105
第 8 章	广义动态模糊神经网络	106
8.1	引言	106

8.2	GD-FNN 的结构	107
8.3	GD-FNN 学习算法	108
8.3.1	规则产生准则	108
8.3.2	前提参数估计	109
8.3.3	输入变量和模糊规则的敏感性	111
8.3.4	高斯宽度修正	112
8.3.5	结果参数确定	113
8.4	仿真研究	114
8.5	讨论	118
8.5.1	模糊规则的 ϵ -完备性	118
8.5.2	模糊划分、模糊规则数和隶属函数的数量	118
8.5.3	学习速度、参数优化和泛化性	119
8.5.4	对训练样本数据的要求	119
8.5.5	接收区域参数的选择和性能	119
8.5.6	椭球区域和宽度估计	120
8.5.7	D-FNN 和 GD-FNN 方法	120
8.6	小结	121
	本章参考文献	122
第 9 章	非线性系统的鲁棒自适应模糊神经控制	123
9.1	引言	123
9.2	Lyapunov 稳定性理论	124
9.2.1	A. M. Lyapunov 和稳定性定理	124
9.2.2	稳定性理论基本定义	124
9.2.3	自治系统	126
9.2.4	LaSalle 不变原理	127
9.2.5	线性时不变系统	127
9.2.6	非自治系统	127
9.3	多输入多输出(MIMO)非线性动力系统	128
9.4	用 GD-FNN 直接建模	129
9.5	非线性系统的鲁棒自适应模糊神经控制	130
9.5.1	RAFNC 的结构	130
9.5.2	RAFNC 的收敛性分析	131
9.5.3	RAFNC 的稳定性分析	133
9.6	仿真研究	134
9.6.1	逆单摆系统的跟踪控制	134
9.6.2	机器人操作臂的跟踪控制	136
9.7	小结	142
	本章参考文献	142

第 10 章 动态模糊神经网络的实时应用与开发	144
10.1 引言	144
10.2 SEIKO TT-3000 型机器人操作臂简介	145
10.3 动态模糊神经网络实时控制设计	146
10.3.1 动态模糊神经网络控制方案	146
10.3.2 权值训练算法	146
10.3.3 运动控制	147
10.4 仿真研究	147
10.4.1 快速原型	147
10.4.2 D-FNN 控制器仿真模型	148
10.4.3 仿真结果	149
10.5 D-FNN 控制器的实时实现	151
10.5.1 控制系统硬件结构	151
10.5.2 硬件条件约束	152
10.5.3 C-Mex S-函数	152
10.5.4 D-FNN 软件	152
10.6 实验结果	154
10.6.1 无扰动情况下的实验结果	154
10.6.2 有扰动情况下的实验结果	157
10.6.3 加入/去除 D-FNN 控制器的实验结果	160
10.7 小结	162
本章参考文献	162
第 11 章 动态径向基神经网络应用于人脸识别	163
11.1 引言	163
11.2 径向基神经网络	165
11.3 人脸特征提取	167
11.3.1 主元分析法 (PCA)	167
11.3.2 Fisher 线性判别式 (FLD)	167
11.4 径向基神经网络的初始化	168
11.4.1 结构确定和参数选择	168
11.4.2 高斯宽度估计	170
11.5 混合学习算法	171
11.5.1 权值调整	171
11.5.2 RBF 节点参数的调整	171
11.5.3 学习步骤	172
11.6 实验结果	173
11.6.1 ORL 数据库	173

11.6.2	学习前的聚类错误·····	173
11.6.3	学习后的分类错误·····	173
11.6.4	性能比较·····	176
11.7	讨论·····	177
11.7.1	人脸特征、分类器和识别性能的关系·····	177
11.7.2	训练样本与识别性能的关系·····	180
11.7.3	神经网络初始化与识别性能的关系·····	180
11.7.4	小样本集问题·····	182
11.8	小结·····	183
	本章参考文献·····	183
第 12 章	总结与进一步研究的课题 ·····	186
12.1	总结·····	186
12.2	进一步研究的课题·····	187
附录 A	MATLAB 程序 ·····	189
A.1	第 3 章程序·····	189
A.2	第 4 章程序·····	193
A.3	第 5 章程序·····	201
A.4	第 6 章程序·····	204
A.5	第 8 章程序·····	216

第 1 章 绪 论

1.1 模糊神经网络

1.1.1 模糊神经网络的提出

在工程应用中,为了得到对所研究问题的理解及参数间的定量关系,就需要对该系统建模。有了系统模型,就可以对该系统进行一系列的分析(如稳定性、敏感性、统计特性等)和有效的控制,从而达到最佳的性能。一般来说,建模方法有两种:一种是实验方法,如给定一个脉冲输入,测出系统的输出响应,从而求出系统的传递函数;另一种是分析方法,即基于物理定律和数学知识,结合所研究的对象和应用环境,得到系统模型。可以这么说,建模是工程应用中的核心问题,一个模型的精确程度直接影响到系统的性能。

然而,在很多情况下,研究对象是极其复杂的,我们不能找出这样一个物理定律从而推出系统准确的模型。模糊逻辑的创始人扎德教授曾说过这样一句话,“随着复杂程度的提高,精确表达就失去了它的意义,而有意义的表达也失去了精确性”。另一方面,有时一个物理量的测量是很困难的,甚至是不可能的,这些问题促使我们采用人工智能的方法来建模^[1]。

不同于传统建模方法,人工智能技术试图模拟人的智能特性,如学习、思考、创造等,结合人的知识表达方式和逻辑推理,对不完全确定的事实进行精确推理。一般来说,人工智能是个含义很广的研究领域,但其核心内容包括专家系统、模糊逻辑、神经网络、遗传算法、混沌系统等技术以及两种或两种以上这些技术相结合而形成的混合智能系统。本书将集中探讨模糊系统和神经网络及其混合系统——模糊神经网络。

数十年来,在模糊逻辑理论和应用研究中,模糊系统已成为最具活力、最富有成果的领域。通过一种推论式的语句形式,模糊系统使逼近人的推理能力并应用到基于知识的系统成为可能。模糊逻辑理论提供了一种用数学方法来获取人的认知过程,如思考和推理,以及有关的某些不确定性的途径。另外,它还以数学形式效仿某些与人类认知有关的感知和语言属性^[2-3]。最近,关于模糊系统在从建模到控制的多个领域的多种应用已有不少的报道,具体参见文献[1]~文献[5]。

作为对传统的基于规则的专家系统的推广,模糊系统是无模型数字逼近器,其中的语言规则定义为基于模糊集的语言变量。这些语言规则不仅表达容易而且可以通过模糊蕴涵与合成进行计算,同时也可以用模糊限制(fuzzy hedge)进行改变和修正。通常,构建一个模糊系统首先要对在现实世界中观察到的事物的种类结构有高度形式化的认识,然后把这种高度形式化的认识作为某种专家知识用模糊 IF-THEN 规则连接起来。规则中的决策是基于语言变量形式的输入,而语言变量来自于隶属函数。隶属函数是一些公式,由这些公式确定某个值属于该集合以及该模糊集合的隶属程度。然后,这些变量就可以以语言形式与 IF-

THEN 规则(模糊逻辑规则)的前提条件相匹配,并且每个规则的响应都是通过模糊蕴涵关系来获得的。为了得到推理的合成规则,每一条规则的响应都是根据输入的置信度与隶属度从而施加不同的权值,而通过计算响应的质心就可以产生合适的输出^[2-3]。

从功能上来说,一个模糊系统可以描述为一个函数逼近器。更确切地说,它是一种从函数 f 中抽取出来的样本数据中获得一种逼近未知映射 $f: \mathfrak{R}^r \rightarrow \mathfrak{R}^s$ 的方法。理论研究已经表明模糊推理系统是一种通用的逼近器^[6-7],即只要具有充分多可选择的模糊规则,模糊推理系统就可以任意指定的精度逼近任意的函数。

从本质上来说,模糊逻辑系统就是一个基于 IF-THEN 规则的系统,而此处的模糊规则实际上来自于人类的学习^[8]。更准确地说,设计一个模糊系统是采用主观的方式来表达设计者的知识。由于在现实生活中不存在一种正式的和有效的知识获取方式,因此对于设计者来说,即使他是领域专家,要完成复杂系统所有的输入输出数据的检查以找到一组合适的规则也是很难的。而且,不同的模糊系统之间也互不相同。实际上划分输入空间和确定合适的规则数仍然是个尚未解决的问题。为了解决这个问题,有必要提出一种客观的方法,以便快速地建立一个有效的模糊系统。

一个基于神经网络的模糊系统,即模糊神经网络就是一种这样的方法。由于神经网络具有学习能力和自适应功能,因而,一个模糊神经网络可以很容易地解决传统的模糊推理中存在的两个问题:(1)由于模糊推理基本上是启发式的,因此缺乏系统的设计隶属函数的方法;(2)在推理环境下,对可能的变化缺乏自适应性。

而从神经网络的角度来看,由于神经网络是一个黑箱,不具有明确的物理意义,因此,专家对研究对象的部分知识无法应用到神经网络中。训练时,只能任选初值,导致训练容易陷入局部极小点。但是,一个模糊神经网络却有明确的物理意义,专家知识很容易结合到模糊神经网络中,这对提高收敛速度、缩短训练时间是很有帮助的。因此,模糊神经网络不仅吸取了模糊逻辑和神经网络二者的优点,还克服了各自具有的缺点。正因如此,模糊神经网络成为当前研究的一个热点,并形成了一个较为完善的体系^[4-5]。

1.1.2 模糊神经网络的发展

模糊神经网络起源于 20 世纪 80 年代后期的日本。在此之前,模糊技术在日本已得到极大的重视和发展,并广泛应用在家电和工业控制中^[9]。自第一届 IEEE 国际神经网络会议召开后,日本研究人员就开始了模糊神经网络研究,并在 1989—1991 年发表了一系列有关模糊神经网络的文章^[10-12]。当时,模糊神经网络研究的热点是如何利用神经网络的学习能力来实现模糊系统的自动设计,并在 1991 年率先推出了模糊神经网络洗衣机,随后,逐渐应用到机器控制、工业过程控制等领域。

受到日本模糊神经网络成功应用的影响,欧美也从 20 世纪 90 年代初开始模糊神经网络的研究,特别是由美国加州大学贝克莱分校的扎德教授领导的软计算创新小组(BISC)在模糊理论和模糊神经网络方面作出了杰出贡献^[2,5,13-16],并极大地推动了模糊神经网络在世界范围内的研究工作。图 1-1 显示了模糊神经网络文献在 2000 年前逐年发表的数量^[17]。与模糊理论经过长时间才被认可相比,模糊神经网络之所以能在短时间内被广泛认可,其魅力就在于简单、实用。到今天,模糊神经网络已不仅应用在消费电子、工业控制,还包括系统

辨识、图像处理、模式识别、数据挖掘、财务工程等诸多领域。

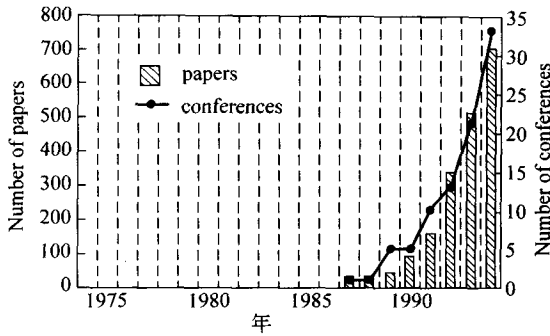


图 1-1 模糊神经网络文献逐年发表情况^[17]

1.1.3 模糊神经网络的分类

研究人员提出了一系列模糊神经网络结构和算法,并成功地应用于实际工程中,从模糊神经网络的结构和功能来看,大致可以把这些方法归纳为以下几类:

- (1) 具有学习功能的模糊系统。
- (2) 基于神经网络的模糊系统。
- (3) 用于模糊推理的神经网络。
- (4) 模糊化的神经网络。
- (5) 其他方法。

第一类模糊神经网络也称为可训练的模糊系统,见文献[10]、文献[12]和文献[18],自适应模糊系统^[19]也可归于这一类。这类模糊神经网络的思想是通过训练数据,利用神经网络的学习算法来得到模糊规则。在这类模糊神经网络中,IF-THEN 规则的形式如下:

$$R^i: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^i \text{ and } \dots \text{ and } x_r \text{ is } F_r^i, \text{ THEN } y \text{ is } b^i \quad i = 1, 2, \dots, u \quad (1.1)$$

在这里, F_1^i, \dots, F_r^i 是模糊变量,而 b^i 是清晰变量。为便于神经网络实现,其所用的模糊推理常用乘法算子:

$$O_p = \frac{\sum_{i=1}^u \mu_1^i(x_1) \dots \mu_r^i(x_r) \cdot b^i}{\sum_{i=1}^u \mu_1^i(x_1) \dots \mu_r^i(x_r)} \quad (1.2)$$

式中, $\mu_1^i(x_1) \dots \mu_r^i(x_r)$ 是 $F_1^i \dots F_r^i$ 的隶属函数, O_p 是模糊系统的实际输出。

乘法算子的模糊推理可用图 1-2 所示的神经网络来表示。在图中,输入变量有两个,采用了 4 个模糊规则,比如:

Rule 1: IF x_1 is Small and x_2 is Small, THEN y is b_1

Rule 2: IF x_1 is Small and x_2 is Large, THEN y is b_2

Rule 3: IF x_1 is Large and x_2 is Small, THEN y is b_3

Rule 4: IF x_1 is Large and x_2 is Large, THEN y is b_4

图中的 S, L 表示 IF 部分的隶属函数。第 3 层的 4 个节点对应 4 条模糊规则,第 3~4

层间的连接权值代表模糊规则 THEN 部分的参数。

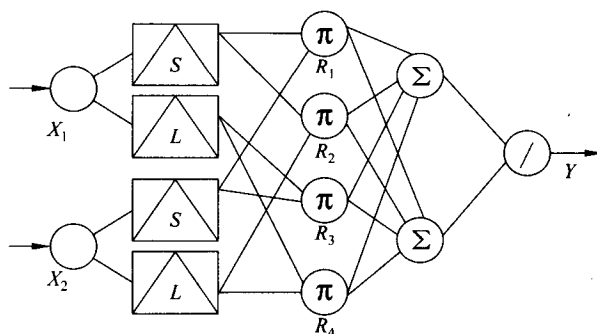


图 1-2 神经网络表示的模糊系统

第二类模糊神经网络中,研究人员提出了各种神经网络结构来表示模糊推理,较为常见的有:基于神经网络的模糊逻辑控制系统^[20]、基于近似推理的智能控制方法 ARIC^[21]及 GARIC^[22]、基于自适应神经网络的模糊推理系统 ANFIS^[15]、基于模糊规则的神经网络^[23]、模糊神经网络^[24]、模糊自适应学习控制网络 FALCON^[25]及其他神经网络结构^[26-28]。图 1-2 是这类模糊神经网络结构中最简单的一种。

第三类模糊神经网络主要用于模糊推理。比如文献 [29]和文献[30]利用标准的前馈神经网络来训练模糊规则,训练好的神经网络用来进行模糊推理。文献[12]提出的神经网络驱动的模糊推理、NDFL^[31]及模糊 MLP^[32,33]等都可以归为这一类。

第四类是模糊化的神经网络,即神经网络的输入输出及连接权值都是模糊值。文献 [34]~文献[36]都可归为这一类。

第五类模糊神经网络是指其他集成模糊系统和神经网络的方案,比如:模糊感知器^[37]、模糊 ART^[38]、模糊 ARTMAP^[39]、最大-最小神经网络^[40]、模糊最大-最小神经网络^[41-42]、OR/AND 神经元^[43]、模糊神经元^[44]等,均属于这一类。

1.2 动态模糊神经网络

1.2.1 动态模糊神经网络的提出

在模糊逻辑理论中,主要有 3 个根本性的问题:知识表达、近似推理及知识获取。前两个问题都取得了很大进展,并反映在有关模糊逻辑理论书籍及有关期刊杂志上,而知识的获取却成为模糊系统的瓶颈。模糊神经网络的提出,为知识获取提供了一条行之有效的途径。但是,在现有模糊神经网络中,无论是上述 5 类中的哪一类,神经网络的作用都只是对模糊系统参数的学习和优化,并对可能的变化在参数上作自适应调整。也就是说,研究人员必须预先划分输入空间,然后确定模糊规则数,从而预先定好神经网络的结构,在此基础上,再利用神经网络的学习功能和自适应能力对系统参数进行优化。但是,它们不能对模糊规则数进行辨识,更进一步地,这些方法都不能回答“模糊规则数如何确定?”“模糊规则数越多越好