

神经网络 模糊推理 智能信息融合

及其工程应用

鄂加强 左红艳 罗周全 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

神经网络 模糊推理 智能信息融合

及其工程应用

郭加强 左红艳 罗周全 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

神经网络和模糊推理之间的相似性和互补性是其进行融合的基础。在众多的信息融合方法中,神经网络和模糊推理的信息融合理论方法更是备受世界各国科研工作者的关注。本书针对神经网络和模糊推理信息处理与控制领域中信息处理理论方法现状,着重研究神经网络与模糊推理之间的信息融合关系以及通过其互补性质的相互渗透和促进所形成的智能信息融合处理结构与算法及其在热能工程、动力工程、采矿工程和安全工程上的工程应用。

本著作的读者以控制理论与控制工程、热能工程、动力工程、采矿工程和安全工程等领域的科研工作者与工程技术人员为主;也可供各高等院校以上相关领域的教师、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

神经网络模糊推理智能信息融合及其工程应用 / 鄂加强, 左红艳, 罗周全著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5170-0455-4

I. ①神… II. ①鄂… ②左… ③罗… III. ①人工神经网络—研究 IV. ①TP183

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第303305号

书 名	神经网络模糊推理智能信息融合及其工程应用
作 者	鄂加强 左红艳 罗周全 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 10印张 185千字
版 次	2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

科学技术的飞速发展为人们获取各种信息提供了十分便利的条件，而如何有效地将所获得信息进行综合处理，并得出准确、合理的估计和决策则又成为亟待解决的实际问题。基于满足这种实际需求，进行综合信息处理理论方法——信息融合理论方法便应运而生了。在众多的信息融合方法中，神经网络和模糊推理的信息融合理论方法更是备受世界各国科研工作者的关注。由于神经网络与模糊推理之间存在着许多共性，神经网络的长处主要表现在知识的获取与学习能力，而模糊推理的长处则主要表现在对知识规则的推理能力，研究神经网络与模糊推理之间的关系，目的在于通过其互补性质的相互渗透和促进形成新的处理结构与算法。为此，将神经网络和模糊推理结合起来应用于信息融合，通过取长补短，使得信息融合系统不但有较强的学习能力，而且有较强的知识表达能力、易于理解。

本书的研究以湖南大学“985工程”二期——汽车先进设计制造技术科技创新平台（动力排放与电控子项目）和国家“十一五”科技支撑计划项目——金属矿大范围隐患空区调查及事故辨识关键技术研究2007BAK22B04-08为依托，重点研究了神经网络与模糊推理之间的信息融合关系以及通过其互补性质的相互渗透和促进所形成的智能信息融合处理结构与算法及其在热能工程、动力工程、采矿工程和安全工程上的工程应用等问题。

应该指出，神经网络模糊推理智能信息融合理论与技术是一门涉及信息科学、计算机科学、自动化科学、人工智能技术和控制科学与工程复合型学科，是一个正处于发展中的研究方向，其工程应用领域却更加宽广（如热能工程、动力工程、采矿工程和安全工程、冶金工程等），许多问题尚有待于进一步研究和探索，对其进行完整和系统的研究是一

项艰巨而又困难的工作。因此，本专著仅仅在某种程度上起到抛砖引玉的作用。尤其希望有更多的科技工作者参加到神经网络模糊推理智能信息融合理论与技术的理论研究和工程应用行列中来，以推动它的进一步发展。

由于本书涉及的内容较广泛，加之时间仓促和著者水平有限，难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2012年3月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 信息融合技术的产生与发展	1
1.2 神经网络和模糊推理融合的必要性和可行性	3
1.3 神经网络和模糊推理融合技术研究概述	6
1.4 选题背景和研究意义	10
参考文献	11
第2章 基于神经网络的信息融合理论方法	18
2.1 神经网络信息融合研究现状	18
2.2 神经网络模型	23
2.3 基于神经网络的信息融合理论方法及应用	28
本章小结	37
参考文献	38
第3章 基于模糊推理的信息融合理论方法	43
3.1 模糊推理理论概述	43
3.2 基于模糊推理的信息融合理论方法及其应用	46
本章小结	51
参考文献	52
第4章 神经网络—模糊推理的融合理论与模式	54
4.1 神经网络—模糊推理的信息融合机理	54
4.2 神经网络—模糊推理融合系统的特征	61
4.3 神经网络—模糊推理融合系统结构	64
4.4 神经网络—模糊推理融合模型	68
本章小结	75
参考文献	76

第5章 基于神经网络的信息融合数据有效性模糊综合评判	78
5.1 传统的数据有效性检测方法研究	78
5.2 基于神经网络的模糊综合评判方法	79
5.3 基于神经网络的模糊综合评判在管道煤气流量计量中的应用	83
本章小结	87
参考文献	87
第6章 神经网络与模糊推理融合预测理论方法	89
6.1 神经网络与模糊推理预测方法	89
6.2 基于神经网络的模糊推理预测理论方法	91
6.3 基于模糊推理的神经网络预测理论方法	96
本章小结	104
参考文献	105
第7章 复杂动力系统模糊神经网络模型及其应用	107
7.1 复杂动力系统模糊神经网络辨析模型	107
7.2 复杂动力系统模糊神经网络辨析模型工程应用实例	111
本章小结	128
参考文献	129
第8章 神经元—模糊推理融合的组合控制及其应用	131
8.1 神经元—模糊推理融合模型	131
8.2 基于神经元—模糊推理融合的组合控制器设计	136
8.3 车用发动机空燃比神经元—模糊推理融合的组合控制	139
本章小结	147
参考文献	147
第9章 结论与展望	149
9.1 结论	149
9.2 展望	151

第1章 绪 论

随着现代智能技术的飞速发展,在人工智能系统中模拟并实现各种学习行为的机器(计算机或智能机)学习越来越显得十分重要^[1-2]。一般地,为适应环境的变化,人工智能系统必须通过机器学习产生某种能使其更有效地在下一次完成同一或同类工作的长远变化。因此,机器学习的任务是研究如何根据观测数据得出目前尚不能通过原理分析得到的规律,并采用得到的规律去分析客观现象,或对无法观测的数据和未来数据进行预测。其研究目的是采用计算机来模拟人的学习能力,以达到自动获取知识的目的。研究内容及其研究目标一般包括各种学习理论、学习方法和学习算法的研究,模拟人类学习过程的学习模型建立,学习机制与本质的明晰以及能不断完善学习性能和知识库的智能学习系统研究开发。

模式识别、函数逼近和概率密度估计是三类主要的机器学习问题^[3],而常用于解决机器学习问题的神经网络^[4-5],如BP神经网络(BP Neural Networks, BPNN)、RBF神经网络(RBF Neural Networks, RBFNN)、函数链神经网络^[6-8](Function Chain Neural Networks, FCNN)以及模糊推理系统^[9-10](Fuzzy Logic System, FLS)、贝叶斯网络分类器^[11](Bayes Network Classifier, BNC)、支持向量机^[12](Support Vector Machine, SVM)等软计算方法因其内在的概括性、灵活性以及优良性能而日益受到人们的普遍关注和研究,且各种机器学习的软计算方法性能优劣性比较也日益深受人们的重视。为此,如何确保在不同的环境和条件下学习方法最佳,以及研究各种机器学习方法是否存在一致性等问题的研究与解决显得十分紧迫和重要。

1.1 信息融合技术的产生与发展

1.1.1 信息融合技术的起源

1959年Kolmogorov提出了一条关于信息集成的定理^[13-15]:对于一个系统,将多个单维信息集成多维信息,其信息量必然会比任何一个单维信息的信息量大;Richatdson从理论上证明了增加传感器,原系统的性能不会降低。1973年,美国研究机构在国防部的资助下开始了声呐信号理解系统的研究,信息融合技术在

这一系统中得到了最早的体现^[16]。在现有已公开的文献资料中,多传感器信息融合一词最早出现在20世纪70年代末,自从这个问题一提出,多传感器信息融合技术就被世界上先进的军事大国所重视,并将其列为军事高技术研究和发展领域中的一个重要专题。美国国防部从军事应用的角度将信息融合定义为这样一个过程,即把来自多传感器和信息源的数据和信息加以联合(Association)、相关(Correlation)和组合(Combination),以获得精确的位置估计(Position Estimation)和身份估计(Identity Estimation),以及对战场情况和威胁及其重要程度进行适时的完整评价。根据国外近些年来研究成果,信息融合比较确切的定义可概括为:利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。20世纪80年代以来,信息融合技术得到迅速发展。

1.1.2 信息融合技术的优点

信息融合技术是协同利用多源信息,以获得对同一事物或目标的更客观、更本质认识的信息综合处理技术^[13,15-16]。其中“融合”是指采集并集成各种信息源、多媒体和多格式信息,从而生成完整、准确、及时和有效的综合信息。它比直接从各信息源得到的信息更简洁、更少冗余、更有用途。从目前发展来看,无论是军用系统、还是民用系统,都趋向于采用信息融合来进行信息综合处理。因为信息融合具有如下优点:①可扩展系统的空间覆盖范围;②可扩展系统的时间覆盖范围;③可增加系统的信息利用率;④可提高合成信息的可信度和精度;⑤可改进对目标的检测/识别;⑥可降低系统的投资。

1.1.3 信息融合技术国内外发展现状

国外对信息融合技术的研究起步较早^[17-18]:早在1973年,美国的有关机构就在国防部的资助下,开展了声呐信号理解系统的研究,信息融合技术在该系统中得到了最早的体现。进入20世纪80年代以后,传感器技术的飞速发展和传感器投资的大量增加,使得在军事系统所使用的传感器数量急剧增加,因而要求处理更多的信息和数据,更加强调速度和实时性。美国三军政府组织——实验室理事联席会下面的C³I技术委员会及时发现了解决这一问题的关键,并于1984年成立了数据融合专家组(Date Fusion Subanal, DFS),专门指导、组织并协调有关这一国防关键技术的系统性研究。但在当时,信息融合并不像现在这样受到人们普遍的重视,研究中所使用的概念和定义也很不统一。1988年,美国国防部将多传感器信息融合技术列为20世纪90年代重点研究开发的20项关键技术之一。从1992年起,每年都投资一亿美元用于多传感器融合技术的研究。国际上还专门出版有关期刊并召开专题年会,来统一信息融合的定义,提高人们对信息融合广阔应用前景的认识。

1998 年,成立了国际信息融合学会(International Society of Information Fusion, ISIF),总部设在美国,每年举行一次信息融合国际学术大会。此时,多传感器信息融合技术开始由零星的分散研究转变为一个独立的研究领域。

中国对信息融合技术的研究起步相对较晚,20 世纪 80 年代初,人们开始从事多目标跟踪技术研究,到了 20 世纪 80 年代末期,才开始出现了关于信息融合技术研究的报告。进入 20 世纪 90 年代以后,国内对信息融合这一领域的研究才逐渐形成高潮^[15,19-21],一些高校和研究所开始从事这一技术的研究工作,并出现了一些理论研究成果在工程应用上,一些院所在多传感器识别、定位等同类信息融合的系统进行了研究与开发,但都还处于初级阶段。预计 21 世纪初将会有一批多传感器信息融合系统投入使用。

近 10 多年以来,关于信息融合技术方面的研究总的来说可归纳为信息融合的层次、信息的表示和转换、信息融合的结构以及信息融合的方法等几个方面。虽然信息融合的应用研究已如此广泛,但是信息融合本身却至今仍未形成基本的理论框架和有效的广义融合模型及算法。其绝大部分工作是针对特定应用领域内的问题开展研究,也就是说,目前对信息融合问题的研究都是根据问题的种类,各自建立直观融合准则,并在此基础上形成所谓的最佳融合方案。目前常用的随机类与最小二乘法融合方法有加权融合^[20]、卡尔曼滤波^[21-23]、贝叶斯估计^[24]、统计决策理论^[25]、Shafer-Dempster 证据理论^[26]等,智能型的融合方法主要有带置信因子的产生式规则^[27]、模糊逻辑^[28-29](Fuzzy Logic, FL)方法、神经网络(Neural Networks, NN)方法、遗传算法(Genetic Algorithms, GA)、人工智能方法(Artificial Intelligence, AI)、粗糙集理论^[30](Rough Set Theory, RST)、支持向量机^[9](Support Vector Machine, SVM)等。

1.2 神经网络和模糊推理融合的必要性的必要性

1.2.1 神经网络在实际应用中的优势

20 世纪 80 年代再度兴起的神经网络理论,是为了模拟人脑的功能而提出来的^[31-33]。在实际应用中,神经网络具有独特的优势:

(1) 非线性映射能力。理论证明^[31],通过适当的拓扑结构设计和连接权值的设计,多层前馈神经网络能够用于逼近任意给定的连续映射。

(2) 快速实时性。神经网络作为并行处理机,各神经元具有独立运算、存储、传输的功能,而且在网络中能够协同处理。神经网络在信息处理时,存储与处理兼而有之,不是绝对分离的。因此,可消除软件和算法的“瓶颈效应”,使其实时快

速性得以实现。

(3) 自适应学习能力。由于神经网络拓扑结构具有很大的可塑性,它有很高的自适应能力,主要反映在学习、自组织、推理和可训练性上。

(4) 冗余性、鲁棒性、容错性。神经网络采用的是分布式存储方式,因此即使网络的某个部分受到损害,网络往往仍然工作,并有可能通过再训练恢复其原来的信息,也可能联想出已存储在记忆中的某个完整信息。

1.2.2 模糊推理在实际应用中的优势

为描述客观世界中大量事物和现象的小确定性和模糊性,1965年 Zadeh 提出了模糊集理论^[32],进而引进了隶属度、隶属函数、模糊算子、模糊关系、模糊逻辑、模糊推理(Fuzzy Reasoning, FR)、模糊积分等概念^[32-39]。

模糊推理是模糊理论研究的一个重要分支,是传统的二值逻辑推理的推广,能更好地模拟人的逻辑思维能力。在实际应用中,模糊推理也具有一些独特的优势:

(1) 对模糊信息的处理功能。模糊理论通过定义隶属度和隶属函数,有效地表示模糊信息以及不确定性,使建立的系统模型更贴近生活实际。

(2) 方便易懂,透明度高。模糊推理的核心是模糊规则,这些规则是以人类语言表示的,这些规则易被人们接受。

(3) 是一种反映人类智慧的智能方法。模糊推理的模糊推理规则,是通过不同领域专家的知识而确定的,所以从某种程度来说,模糊规则是人类智慧的结晶。

(4) 非线性映射能力。模糊推理系统也是一种输入-输出映射,通过合成算法也可以实现非线性映射。

1.2.3 神经网络和模糊推理在实际应用中的不足

在实际应用中,神经网络和模糊推理也有一各自的不足之处。

1. 神经网络在实际应用中的不足

利用神经网络进行信息融合时,主要有以下不足之处^[40]:

(1) 应用范围有限。一般来讲,神经网络用于识别、信号处理、相关处理、优化设计等方面,但是当训练样本不清楚或者识别率要求很高时,神经网络很难实现。目前神经网络只适用于解决一些规模比较小的问题,这种局限性决定了目前神经网络只能模拟比较低层次上的智能。

(2) 样本特征提取难。训练样本提取是神经网络应用中最关键、最困难的事情,尤其是训练样本的正交性和完备性较差的时候,难以保证系统的推广(泛化)能力。然而训练样本提取是神经网络设计中必须要做的第一件事情。整个神经网络的性能,尤其是推广能力的好坏主要取决于训练样本之间的正交性和完备性,也就是说,要求训练样本集应充分反映测试集概率分布,即要求训练样本具有一定的完

备性和正交性。在实际问题中,样本本身提取主要存在如下两个方面的问题:①存在性问题,即能否获取样本。神经网络的实现要求一切问题的特征都要用数字表示出来。而并非一切问题的特征都可以形式化与数字化呢,尤其是不确定的信息,如人类思维推理过程中的一些深层次知识是难以用数字表达出来的;②训练样本的数量问题。一般来说,神经网络的推广能力要求构造充分大的训练样本,也就是要求训练样本集应代表实际系统测试集的基本特征。但是对有一些系统来说,人们了解的样本特征太少。实际上,训练样本本身往往是不确定的、模糊的、含有噪声的,甚至难以提取用来学习的特征。由于系统复杂,有时人们根本不知道如何提取初始的训练样本集,更不知道样本的分布情况,这时很难保证网络的推广能力。

(3) 系统行为不可理解,难以充分检验。而对神经网络的学习过程,设计人员看到的只是输入和输出数据,中间的分析演绎过程是小透明的。在神经网络内部结构中,神经元之间没有明确的分界线,它们相互交叉在一起,既相互制约,又互为激励,既相互干扰,又彼此促进:参数调节知识不明确,不知道该修改哪些内部权重、节点以及层次。神经网络是一个非结构化计算的黑箱系统,即不能显示其训练时的记忆知识以及在以后的学习过程中所学会的与所忘记的知识。另外不但不能向用户解释其推理过程和推理根据,也不能向用户提供必要的询问。

(4) 收敛和稳定问题。网络的学习最终要求网络收敛于给定的精度,其收敛速度、精度等都与学习算法有关。但是神经网络有时由于给定不合理的初始值,导致神经网络学习不收敛(或局部收敛)或不稳定。然而如何给定合理的初始值,至今还没有明确的说法。另外,有时在训练过程中,神经网络对某一个样本不收敛,但对其它样本都收敛到给定的精度,这时也不知道如何修正参数。

(5) 容量问题。一般来讲,一个神经网络的联想记忆能力,即稳定存储模式的容量是有限的。如对于 Hopfield 网络,能够稳定存储的模式相互之间要满足一定的条件,若输入模式相互正交,则网络稳定性容易保证。若想以较大的可能性正确回忆已存储的模式,则网络存储模式个数大约与 $N/\ln N$ 成正比。有的文献用存储样本的个数 M 与神经元数目 N 的比值 $a=M/N$ 来表示存储容量。大量的理论分析说明, Hopfield 网络的存储容量 $a \approx 0.15$ 。可见,相对于网络规模 N ,存储容量是相当小的,这是因为反馈网络的吸引子(即稳定点)是有限的。

2. 模糊推理在实际应用中的不足

利用模糊推理进行信息融合主要有以下不足^[40]:

(1) 获取知识比较烦琐。规则的获取和模糊推理是模糊推理系统的两个核心问题,而规则的获取需要经验和专家知识,是最难的部分,并存在 3 个问题:①有时无法用语言描述如“If..., Then...”形式的规则;②这种规则本身不是自动生成的,而是研究人员到现场采访领域专家或者操作人员而得到的,工程实践证明,构

造模糊推理系统过程中,规则获取所需的工作量占整个工作的 $3/4$ 以上;③模糊系统的性能完全依赖于规则的质量和数量,有时规则爆炸导致需要上万条规则来覆盖所需要的空间或函数,尤其是在函数逼近中模糊系统的规则爆炸是最棘手的问题。

(2) 自适应能力差。模糊推理系统缺乏对环境变化的适应能力和学习功能,因而环境变化时精度较低,尤其是隶属函数的量化因子自校正能力很差。当推理路径较长时,其系统精度下降更快。

(3) 规则描述不是万能的。规则作为一种广义的数学模型,虽然它能描述一般的系统模型,但是有一些场合规则是不易归纳或无法描述。

针对神经网络和模糊推理在信息融合应用中各自的独特优点以及不足,必须扬长避短,将两者结合起来用于信息融合。例如,可以把神经网络的学习机制引入到模糊推理系统,使传统的模糊推理系统也具有学习和联想的能力;又如,把模糊推理系统结构引入到神经网络,使神经网络结构更透明,推理能力进一步得到提高。实践证明,通过两者的结合,可以实现功能和结构上的互补,也可以扩展信息空间的定义域和算法的推广性。

1.3 神经网络和模糊推理融合技术研究概述

1.3.1 神经网络与模糊理论的发展现状

人工神经网络起源于 20 世纪 40 年代,早在 1943 年,心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 合作,总结了生物神经元的一些基本生理特性,提出了形式神经元的数学描述与结构方法,即 MP 模型^[41],从此开创了神经科学理论研究的时代。

人工神经网络是一门高度综合的边缘交叉学科,它的研究和发展涉及神经生物学、数理科学、信息科学和计算机科学等众多学科领域。神经网络理论的发展大致经过了五个阶段:奠基阶段、第一次高潮阶段、坚持阶段、第二次高潮阶段和快速发展阶段^[42-43]。

神经网络主要研究神经网络模型、学习算法、思维模型、记忆机制等内容。神经网络,具有大规模并行处理能力、学习能力、容错能力强,还有很强的自适应能力,同一网络因学习方法和内容不同,可以有不同的功能。缺点是表达知识比较困难,学习速度慢。

实际上,神经网络最适合于如下的问题类:①含有大量的原始数据。但数据可能是不精确的、含有噪声的;它所包含的知识信息可能是不完善的;②问题有较大的模糊性,难以建立精确的模型;③问题的影响因素复杂,但具有天然的并行性;④问题的环境随时间变化,但又易于实时化且有一定的自适应倾向。

模糊数学诞生于 1965 年,美国伯克利加州教授扎德 (Zadeh L. A.) 发表了著名论文《Fuzzy Sets》提出了模糊性问题,给出了其定量描述方法,从此模糊理论开始形成并发展起来。模糊理论在 40 年里得到了长足的发展,应用领域已经涉及自动控制、图像和文字识别、决策评价、社会经济等好多方面。模糊控制能以较少的规则来表达知识,系统简单而透明,不足之处在于难以进行学习,难以建立完善的控制规则。

神经网络技术与模糊技术各有自己的优点:人工神经网络以生物神经网络为模拟基础,试图在模拟推理及自动学习等方面向前发展一步,使人工智能更接近人脑的自组织和并行处理等功能。尽管神经网络对环境的变化具有较强的自适应能力,但是单纯使用该技术还无法实现模糊信息的处理,因而不能充分地利用模式的特征信息,识别的精度必然会受到影响;另外,从系统建模的角度而言,它采用的是典型的黑箱 (Black Box) 型学习模式,当学习训练完成以后,所学到的知识全部隐藏在网络的连接权和节点上,神经网络获得的输入/输出关系无法以易于被人们接受的形式表示出来。

模糊技术的特长在于逻辑推理能力,容易进行高阶的信息处理,将模糊技术引入神经网络,可大大地拓宽神经网络处理信息的范围和能力,使其不仅能处理精确信息,也能处理模糊信息或其他不精确性信息。利用模糊技术中的不精确推理技术可以有效地对已经过训练、处于稳态的神经网络进行知识抽取和规则描述。

神经网络与模糊理论结合基本的思想是两者被视为互补理论。二者的结合可形成更强的学习和推理机制,使智能系统具有更强的信息处理能力。事实表明,神经网络与模糊理论的结合顺应了历史发展的潮流,顺应了科学发展的规律,已经成为当前受到广泛瞩目的多学科交叉科学。

1.3.2 神经网络和模糊推理融合技术研究现状

模糊推理和神经网络的融合技术的发展归功于近 30 年来模糊推理与神经网络技术本身的高速发展。符号 (物理符号机制) 和非符号 (联结机制) 处理的联系、不精确处理和精确处理之间的互补成为智能技术领域的热门话题。从互补的观点看,模糊推理与神经网络的融合有助于模糊推理系统的自适应能力的提高,有利于神经网络系统的全局性能改善和可观测性的加强。早在 1974 年 Lee S. C. 和 Lee E. T. 就把模糊集引入神经网络^[44],通过引入介于 0 和 1 之间的中间值将 McCulloch-Pitts 模型广义化^[45]。论述神经网络和模糊推理融合的早期综述文章^[46]是日本学者 Takagi 于 1990 年发表的,但当时有关的研究刚刚起步,仅有 Yager^[47]、Keller^[48] 等将模糊隶属度函数引入感知器的学习算法和 Yamakawa 等人^[49] 提出的模糊神经元,到 20 世纪 90 年代初,模糊推理与神经网络融合研究才能为一个活跃的研

究领域。尤其是近几年来,涌现出大量的模糊神经网络方面的研究文献^[50-53]。

模糊推理与神经网络方法^[54]是一种集成的融合,是一个应用很广的典型的互补系统,可分为串联和并联两种结构。并联结构有:模糊推理与神经网络分别独立控制不同的对象或同一对象不同参数的模型与神经网络的输出作为模糊推理系统输出的修正模型。目前这两种模型在家用电器(如空调、洗衣机)中应用较多。用神经网络作为模糊推理的前端,以改善模糊推理系统的输入样本,或者在神经网络的输入或输出端接模糊推理模块,以增强神经网络的样本特征的提取或者改善神经网络的结果更为合理,如对神经网络的样本进行可能性和必要性分类^[55]。

模糊推理→神经网络方法的研究较少。误差反馈算法的模糊控制^[56],模糊训练步骤^[60],模糊输入向量神经网络^[58]等属于这一类。模糊神经网络模型是模糊推理→神经网络方法的扩展,其基本思想是采用模糊神经元、模糊聚合算子的神经网络。

神经网络→模糊推理方法研究得很多,大都基于模糊数学的原理和系统框架,在实现上采用神经网络的方法。包括用神经网络学习模糊推理的隶属度函数^[59],模糊推理系统的神经网络实现^[60],神经网络驱动的模糊推理系统^[54],最速下降法学习的模糊推理系统(如模糊关系系统的神经网络学习、BP型模糊推理系统^[62],神经模糊协作系统^[63],解模糊神经网络^[64]等)。

模糊神经网络模型是模糊推理→神经网络方法的扩展,其基本思想是采用模糊神经元、模糊聚合算子的神经网络。模糊神经网络又可分为如表1.1所示的4种(FNN₁、FNN₂、FNN₃和HFNN)。

表 1.1 混合式神经网络和各种模糊神经网络的含义

网络名称	特 性	算 子
混合式神经网络(HNN)	实数值输入,实数值权重	用T范或T同范代替乘加算子
模糊神经网络I型(FNN ₁)	实数值输入,模糊权重	
模糊神经网络II型(FNN ₂)	模糊输入,实数值权重	模糊乘加算子
模糊神经网络III型(FNN ₃)	模糊输入,模糊权重	
混合式模糊神经网络(HFNN)	模糊输入或模糊权重	非(模糊)乘加算子

早先的模糊神经元^[65]是FNN₁型的,它们的每一个神经元的每一输入边上都有一组权重和模糊集,学习算法对两者都进行调整。参考文献[66]中,则FNN₂引入了模糊信号、实数值权和模糊门限;参考文献[67]中,FNN₂通过给人信号 α -截集对实数值权进行学习,并由此可以推广到FNN₃。Gupta等在FNN₁、FNN₂、FNN₃模型和学习算法方面做了大量研究工作^[54,68]。FNN学习算法的研究主要针对FNN₃模型开展的,具体情况如表1.2所示。

表 1.2 模糊神经网络各种学习算法和评价

算 法	特 点	优 缺 点
α -截集上的 BP 算法	用 BP 算法更新权重的 α -截集	不能保证输出模糊集与教师输出接近, 算法停止迭代的规则有待改进
模糊 BP 算法	直接对 BP 算法的标准 δ 规则模糊化, 直接更新模糊权重	不能保证新的权重是模糊集, 学习可能失败
基于 α -截集的 BP 算法	对权重和门限的支撑集进行 BP 网络学习	适用于对称三角形模糊数, 对其他类型模糊学习的步骤变得很复杂
随机搜索	采用一些学习算法的误差测度, 随机给定参数初值	很费时
遗传算法	一种直接随机搜索方法, 采用的遗传算法取决于模糊集和误差测度的类型	是处理更一般模糊集的有力工具
模糊混沌	应用模糊混沌映射大致搜索使误差函数具有最小的模糊权重	有利于开展人工生命科学的研究

在诊断领域中, 模糊逻辑和神经网络在知识表示、知识存储、推理速度及克服知识窄台阶效应等方面起到了很大的作用。但模糊逻辑和神经网络分别是模仿人脑的部分功能, 因此, 它们各有偏重: 模糊逻辑主要模仿人脑的逻辑思维, 具有较强的结构性知识表达能力, 神经元网络模仿人脑神经元的功能, 具有强大的自学习能力和数据的直接处理能力, 具体异同如表 1.3 所示。

表 1.3 模糊逻辑与神经网络的对比

名 称	模糊逻辑	神经网络
组成	模糊逻辑模糊规则	神经元互连
映射关系	块与块之间的对应	点与点之间的对应
知识表达能力	强	弱
知识存储方式	规则的方式	连接权重
容错能力	较强	强
学习能力	不能学习	能学习
计算量	少	多
精度比较	较高	高
应用领域	可用于凭经验处理的系统	用于建模、模式识别、估计

从表 1.3 中可以看出模糊逻辑和神经网络各有优缺点, 因此, 有必要将模糊逻辑与神经网络融合起来构成模糊神经网络, 使之能同时具有模糊逻辑和神经网络的优点, 主要表现在既能表示定性知识又能具有强大的自学习能力和数据处理能力。

在众多的信息融合方法中, 智能型的信息融合方法越来越受到重视, 并为传统

的融合方法注入了新鲜的血液,各种智能融合方法之间的交叉、嫁接使用更是成为近年来的热门研究方向。应该指出,目前神经网络-模糊推理信息融合理论与技术尚在不断发展和完善之中。

1.3.3 神经网络和模糊推理融合技术国内外研究发展趋势

近些年来,在信息处理领域中模糊推理、神经网络以及人工智能三大技术的智能型融合研究深受重视^[60-70]。为实现人工智能—神经网络—模糊推理融合系统这一宏伟蓝图,也许需要几代人的持续奋斗。就目前看来,首先要加强基础性工作,加强软计算 SC (Soft Computer) 科学的研究。软计算不是一个单独的方法论,而是各种方法的集合及其融合。主要研究内容有:

(1) 基础性融合系统的深入研究。如神经网络—专家系统^[71]、人工智能—模糊系统、神经网络—模糊推理、GARIC (Generalized Approximate Intelligent Control) 系统、模糊—专家系统、自适应神经网络—模糊推理系统 (ANFIS)、协同作的 ANFIS 等。在众多的智能系统中最引人注目的是神经网络—模糊融合系统,而且它是软计算的关键技术。在软计算中如何引入符号技术 (即 AI 技术) 也是非常活跃的研究方向^[72]。

(2) 各类混合神经网络的研究^[73-76]。如小波神经网络、分形神经网络、混沌神经网络^[77]、鲁棒神经网络、脉动神经网络 (Spiking Neural Network)、模糊-滤波神经网络^[78]、神经信息几何分析^[79-81]、支持向量机 (Support Vector Machine)^[82-84]等。

(3) 学习机理及方法的研究,包括 BP、TBP (Temporal Back Propagation)、L (Differential Competitive Learning)、RL (Reinforcement Learning)、CI (Computational Intelligence)、GA (Genetic Algorithm)、模糊 GA、神经网络 GA、神经网络—模糊推理 GA 和可拓神经网络等^[85-107]。尤其是强化学习算法是很有潜力的框架,如遗传计算的强化学习等。

1.4 选题背景和研究意义

1.4.1 选题背景

本专著以湖南大学“985 工程”二期——汽车先进设计制造技术科技创新平台 (动力排放与电控子项目) 和国家“十一五”科技支撑计划项目——金属矿大范围隐患空区调查及事故辨识关键技术研究 2007BAK22B04-08 为依托,重点研究神经网络与模糊推理之间的信息融合关系以及通过其互补性质的相互渗透和促进所形成的智能信息融合处理结构与算法及其在热能工程、动力工程、采矿工程和安全工