

计算智能信息处理技术 及其应用

Computational Intelligent
Information Processing
Technology and
Applications

王耀南 编著

湖南大学出版社

内 容 简 介

本书从信息科学的角度出发,系统地介绍了计算智能信息处理的基础理论及各种新的处理技术。全书共分十章,内容包括计算智能信息处理技术综述、模糊计算、模糊信息处理、神经计算、模糊神经网络信息处理、进化计算的基本方法、进化计算的信息处理、混沌与分形计算、混沌与分形信息处理、计算智能信息处理技术的应用实例。

本书涉及了目前国内外计算智能信息处理的研究成果,综合了作者近年来的教学心得与科研成果,取材新颖、内容丰富,注重理论与实践相结合,论述深入浅出,力求使读者较快掌握和应用这门高新技术。本书可作为自动化、计算机应用、人工智能、图像处理与模式识别、智能控制与信息处理、电子工程、机械工程、系统工程等专业研究生或高年级本科生的教材和参考书,也可供有关工程技术人员和科学研究工作者参考。

计算智能信息处理技术及其应用

Jisuan Zhineng Xinxi Chuli Jishu jiqi Yingyong

王耀南 编著

☐责任编辑 戴东宁

☐出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙岳麓山 邮码 410082

电话 (0731) 8821315 (0731) 8821691

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 国防科学技术大学印刷厂

☐开本 787×1092 16开 ☐印张 25 ☐字数 640千

☐版次 1999年7月第1版 ☐1999年7月第1次印刷

☐印数 1-5 000册

☐书号 ISBN 7-81053-180-8/TP·17

☐定价 32.00元

(湖南大学版图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

前 言

当今社会正面临着一场信息革命,信息是今天乃至 21 世纪最重要的商品。在信息处理中,信息的获取、传输、存储、加工处理及其应用所采用的技术、理论方法和系统都需要由计算机来完成。目前的电子计算机硬件虽有极强的算术和逻辑运算功能,但它的逻辑推理、判断、并行计算、联想记忆、自适应学习、模糊信息处理等能力仍有很大的局限性,要模拟人的信息处理能力还很困难。因此,人们需要研究一种新的“软处理”“软计算”的理论方法和技术,来弥补电子计算机硬件系统的不足。

多年来,人们一直在探索新一代的信息处理技术。自 20 世纪 90 年代以来,国际上掀起了一股强劲的研究模糊逻辑系统、神经网络、遗传算法、混沌与分形理论与技术的热潮,推动了软计算、软处理技术的深入发展。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了第一届计算智能会议。这次大会的一个明显特点是越来越多的论文讨论把模糊逻辑、神经网络和进化算法相结合的方法,首次提出了计算智能(Computation Intelligence)学科。大会决定计算智能会议每三年召开一次。

近年来,模糊计算、神经计算、进化计算、混沌与分形计算、小波变换、人工生命科学等新一代智能信息处理技术的研究,不仅在各自的学科领域取得了引人注目的进展,而且它们之间的相互渗透和有机结合必将引起计算机的软智能信息处理技术的革命,对人工智能、智能控制、模式识别、智能机器人、专家系统、图像识别理解与机器视觉、智能网络通信、多媒体计算机、信息高速公路、计算机集成制造系统(CIMS)、智能制造、实时分布式并行处理、自然语言理解、综合自动化系统、系统工程等学科的发展,将起着不可估量的作用。

计算智能信息处理技术是一门新兴的交叉学科。它与人工智能、人工生命科学、自动控制、运筹学、计算机科学、信息论、应用数学、仿生学、非线性科学、脑科学、生物工程、认识心理学等有着密切的关系,是相关学科相互结合与渗透的产物,具有广阔的应用前景。它的研究内容十分广泛,是当今国内外电子工程、自动化、计算机科学等领域研究的热门前沿课题之一。为了推动这一研究领域的深入发展,很有必要编撰一本这方面的专著,以供广大的读者参考和学习。目前,国内外尚无一本专门介绍计算智能信息处理技术方面的著作,本书撰写的目的就是想弥补此方面的不足。为此,作者于 1996 年获得了湖南省自然科技专著出版基金资助。

本书是作者在近年来为自动化专业博士、硕士研究生讲授《计算智能与信息处理》课程的讲稿基础上,结合自己的科研成果,吸收、采纳和借鉴国内外有关文献资料编著而成的,其目的在于向相关专业的研究生、高年级大学生及广大科技人员系统地介绍计算智能信息技术,使这一学科在我国能够得到蓬勃的发展。

全书系统论述了计算智能信息处理的理论方法和应用技术,共分成十章。第一章综述了计算智能信息处理的主要技术、发展和应用前景;第二、三章介绍了模糊计算基础和模糊信息处理;第四、五章介绍了神经计算基础和神经网络信息处理;第六、七章介绍了进化计算

基础和进化计算的信息处理；第八、九章介绍了混沌与分形的计算和信息处理；第十章介绍计算智能信息处理技术的应用实例。其中第四章由宋明博士撰写，第六章由张大方副教授撰写。笔者负责撰写其余各章，并负责统编全书。

本书得到了国家 863 计划项目、湖南省自然科技专著出版基金和自然科学基金、中科院模式识别与智能机器人国家重点实验室基金等多方面的资助。国防科技大学计算机系沈清教授、自动控制系王正志教授、湖南大学电气工程系童调生教授、中南工业大学信息工程学院蔡自兴教授对本书的出版给予了极大的支持，并提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。最后，我要对湖南大学出版社的戴东宁在编辑过程中所付出的辛勤劳动，对余群明、李树涛、孙炜、魏育成、刘治、谭天乐研究生帮助校对样稿表示衷心的感谢。

由于计算智能信息处理技术是一门新兴交叉学科，很多理论方法与应用技术问题还有待进一步深入探索和发展，加上作者学识所限，写作时间又十分仓促，因而书中一定存在不足之处，敬请专家和读者们批评指正。

作 者

1998 年 1 月于湖南大学

目次

第一章 绪论

1.1 计算智能信息处理的产生及其发展	(1)
1.1.1 计算智能的产生	(1)
1.1.2 计算智能信息处理技术的应用和现状	(3)
1.2 计算智能信息处理的主要技术	(5)
1.2.1 模糊计算技术	(5)
1.2.2 神经计算技术	(8)
1.2.3 进化计算技术	(10)
1.2.4 混沌计算技术	(12)
1.2.5 分形计算技术	(16)
1.3 计算智能技术的综合集成	(18)
1.3.1 模糊系统与神经网络结合	(18)
1.3.2 神经网络和遗传算法的结合	(19)
1.3.3 模糊技术、神经网络和遗传算法的综合集成	(20)
1.3.4 神经、模糊和混沌的融合	(20)
1.3.5 分形与混沌：孪生兄弟	(21)
1.3.6 计算智能展望	(21)
参考文献	(21)

第一篇 模糊计算 (Fuzzy Computing)

第二章 模糊集合与模糊逻辑

2.1 普通集合及其运算	(24)
2.1.1 集合的概念	(24)
2.1.2 集合的表示方法	(24)
2.1.3 集合的基本运算	(26)
2.1.4 集合运算规则	(26)
2.1.5 特征函数	(27)
2.1.6 集合的直积	(28)
2.1.7 关系矩阵	(29)
2.2 模糊集合及其运算规则	(29)
2.2.1 模糊集合与隶属度	(29)
2.2.2 模糊集合的表示	(31)
2.2.3 隶属函数及其确定	(32)
2.2.4 模糊集合的基本运算	(37)
2.2.5 模糊集合运算的基本规则	(38)
2.3 模糊关系	(39)

2.4 模糊逻辑和模糊推理	(43)
2.4.1 模糊逻辑	(43)
2.4.2 模糊推理	(44)
2.4.3 几种常见的模糊推理图形解释	(47)
参考文献	(50)

第三章 模糊信息处理

3.1 模糊逻辑控制的信息处理	(51)
3.1.1 模糊控制的基本结构和组成	(51)
3.1.2 基本模糊控制器的设计方法	(52)
3.1.3 基本模糊控制器设计实例	(54)
3.1.4 多变量模糊控制器的信息处理	(59)
3.1.5 自组织模糊控制系统	(61)
3.1.6 模糊系统辨识	(66)
3.2 模糊模式识别信息处理	(68)
3.2.1 模糊聚类分析	(68)
3.2.2 模糊等价关系与聚类分析	(71)
3.2.3 基于模糊相似关系的模式分类	(72)
3.2.4 基于最大隶属原则的识别	(76)
3.2.5 基于择近原则的识别	(79)
3.3 模糊集在图像信息处理中的应用	(80)
3.3.1 图像的模糊特征平面	(80)
3.3.2 图像的模糊增强	(80)
3.3.3 图像的模糊性指数和模糊熵	(83)
3.3.4 图像边缘检测中的模糊方法	(84)
3.3.5 图像的模糊聚类分割	(87)
参考文献	(88)

第二篇 神经计算 (Neural Computing)

第四章 神经网络信息处理

4.1 神经网络的基本原理	(90)
4.1.1 神经网络处理单元	(90)
4.1.2 神经网络的拓扑结构	(96)
4.2 前馈型神经网络	(98)
4.2.1 多层感知器神经网络	(99)
4.2.2 BP (Back-propagation) 神经网络模型	(100)
4.2.3 几种 BP 算法的改进方法	(103)
4.3 反馈型神经网络	(107)
4.3.1 离散型 Hopfield 网络	(107)
4.3.2 连续型 Hopfield 网络	(109)
4.3.3 Hopfield 网络用于联想记忆	(110)

4.4	径向基函数网络 (Radial Basis Function Network)	(116)
4.5	自组织神经网络	(118)
4.5.1	自组织特征映射网络	(118)
4.5.2	自适应共振理论模型	(120)
4.6	双向联想记忆网络	(123)
4.6.1	网络拓扑结构	(123)
4.6.2	学习规则及联想回忆	(123)
4.6.3	网络的稳定性及扩展形式	(124)
4.7	脑模型控制器 (Cerebellar Model Articulation Controller)	(125)
4.8	小波神经网络	(128)
4.8.1	小波分析简介	(128)
4.8.2	小波基神经网络	(129)
4.8.3	用于信号分类的小波神经网络	(130)
4.9	细胞神经网络	(131)
4.9.1	CNN 网络的模型	(131)
4.9.2	CNN 网络系统的分析	(134)
4.9.3	CNN 网络的应用	(135)
4.10	B 样条神经网络	(142)
	参考文献	(146)

第五章 模糊神经网络信息处理

5.1	模糊信息处理与神经网络的融合	(147)
5.2	模糊逻辑神经网络信息处理器	(150)
5.2.1	模糊逻辑神经元	(150)
5.2.2	神经网络实现模糊化、反模糊化	(155)
5.3	模糊推理网络模型	(160)
5.3.1	直接推理网络模型	(160)
5.3.2	模糊信息处理神经网络	(161)
5.3.3	模糊推理网络系统	(164)
5.4	基于模糊规则系统的神经网络模型	(166)
5.5	基于模糊神经网络的模型参考自适应控制	(169)
5.6	神经网络的模糊识别应用	(173)
	参考文献	(176)

第三篇 进化计算

第六章 进化计算的基本方法

6.1	进化计算的简要概念	(178)
6.1.1	进化计算的诞生	(178)
6.1.2	进化计算的主要特点和分类	(178)
6.1.3	进化计算的理论研究与应用现状	(181)
6.2	遗传算法的描述	(181)

6.3 遗传算法的基本原理和方法	(185)
6.3.1 遗传算法的基本原理	(185)
6.3.2 模式理论	(192)
6.3.3 遗传算法的算子	(196)
6.4 遗传规划的基本原理和方法	(200)
6.4.1 遗传规划的一般方法步骤	(201)
6.4.2 遗传规划基本原理	(201)
6.4.3 辅助算子	(209)
6.4.4 控制参数	(212)
6.4.5 模式理论	(212)
6.5 进化策略的基本方法和模式	(214)
参考文献	(216)

第七章 进化计算的信息处理

7.1 遗传算法在优化中的应用	(217)
7.1.1 遗传算法在非线性优化中的应用	(217)
7.1.2 背包问题 (Knapsack problem)	(218)
7.1.3 基于 GA 的多机阶段的 Flow Shop 问题	(221)
7.2 进化算法与神经网络、模糊系统的结合	(225)
7.2.1 遗传算法与神经网络的结合	(225)
7.2.2 遗传算法与模糊系统的结合	(233)
7.3 遗传算法在神经网络控制器中的应用	(236)
7.3.1 改进型的遗传算法	(236)
7.3.2 基于 GA 的神经网络自适应控制系统	(237)
7.4 遗传算法在图像处理中的应用	(239)
7.4.1 GA 在图像恢复中的应用	(239)
7.4.2 图像分割的遗传算法方法	(241)
7.5 遗传算法在人工生命中的应用	(243)
7.5.1 人工生命的研究内容和方法	(243)
7.5.2 遗传算法与人工生命进化模型	(244)
7.5.3 人工生命与遗传信息处理	(245)
参考文献	(248)

第四篇 混沌与分形计算

第八章 混沌信息处理

8.1 混沌的基本概念	(250)
8.2 混沌与智能信息处理	(251)
8.2.1 复杂动力学与信息处理功能	(252)
8.2.2 混沌松弛与多输入输出功能	(252)
8.2.3 混沌吸引子	(253)
8.2.4 混沌学习	(253)

8.2.5	混沌与 $1/f$ 起伏	(253)
8.2.6	混沌在信息处理中的其他应用	(254)
8.2.7	混沌工程学	(254)
8.3	混沌动力学	(256)
8.3.1	Logistic 映射	(256)
8.3.2	圆周映射	(262)
8.3.3	分支	(263)
8.3.4	Lyapunov 指数	(269)
8.4	混沌神经网络模型	(277)
8.4.1	混沌神经网络	(277)
8.4.2	自组织映射混沌神经网络模型	(280)
8.5	混沌在优化中的应用	(286)
8.6	混沌在智能控制中的应用	(288)
	参考文献	(291)

第九章 分形信息处理

9.1	分形的定义	(292)
9.2	分形理论基础	(296)
9.2.1	分形空间	(296)
9.2.2	迭代函数系统	(297)
9.2.3	拼贴原理	(304)
9.2.4	分数布朗运动的建立	(308)
9.2.5	分形插值	(310)
9.2.6	分数维	(312)
9.3	分形神经网络信息处理	(317)
9.4	分形图像压缩的基本方法	(322)
9.5	图像中分数维的提取及应用	(326)
9.6	分形变换在图像压缩中的应用	(329)
	参考文献	(336)

第十章 计算智能信息处理技术的应用实例

10.1	神经计算在图像信息处理中的应用	(337)
10.1.1	卫星遥感图像的神经网络自动分类	(337)
10.1.2	自联想神经网络的遥感图像主分量提取	(342)
10.1.3	神经网络图像压缩编码	(347)
10.2	基于神经网络的机器人控制	(350)
10.3	语音的神经网络识别技术	(355)
10.3.1	基于玻耳兹曼机的音素识别	(355)
10.3.2	基于矢量化器 (LVQ) 方法的音素识别	(357)
10.4	小波神经网络信息融合故障诊断处理	(359)
10.5	复杂工业过程的综合集成智能控制	(363)
10.5.1	复杂大系统的工业自动化	(363)

10.5.2 基于遗传算法与模糊神经网络集成的智能控制系统	(366)
10.5.3 神经网络自适应模糊控制在复杂工业过程控制系统中的应用	(370)
10.6 神经网络在线性规划中的应用	(376)
10.6.1 不等式条件的LP(线性规则)	(376)
10.7 混沌动力学系统的控制	(379)
10.8 分形变换在图像噪声平滑中的应用	(384)
10.9 短时分形维数的模糊控制滤波应用	(387)
参考文献	(390)

第一章 绪 论

本章简要地介绍了计算智能信息处理技术的发展过程,计算智能的相关技术,如模糊逻辑、神经网络、进化计算、混沌和分形技术的概念、基本特点和应用,对计算智能信息处理技术的应用、现状和发展趋势进行了讨论。

1.1 计算智能信息处理的产生及其发展

1.1.1 计算智能的产生

20 世纪 90 年代以来,在智能信息处理研究的纵深发展过程中,人们特别关注到精确处理与非精确处理的双重性,强调符号物理机制与联接机制的综合,倾向于冲破“物理学式”框架的“进化论”新路,一门称为计算智能(computational Intelligence)的新学科分支被概括地提出来了,并以更加明确的目标蓬勃发展。1994 年 IEEE 为了促进多学科渗透和结合,把模糊系统(Fuzzy systems)、神经网络(Neural Networks)和进化计算(Evolutionary computation)三个年会合并举行,于 1994 年 6 月 25 日至 7 月 3 日在美国佛罗里达州(Florida)的奥兰多(Orlando)召开全球第一届计算智能大会(WCCI),出版了《计算智能、模仿生命》的论文集。大会决定计算智能会议每三年召开一次。此次会议是计算智能的第一次综合性大会,共收集了来自世界各国学者的约 1 600 篇论文,大会的主题是计算智能。人们会提出这样的问题:人工智能和计算智能有什么不同,又有什么关系呢?

首次给出计算智能定义的是美国学者 James C. Bezdek。1992 年,他在近似推理的国际杂志上论道:计算智能依靠生产者提供的数字材料,而不是依赖于知识,而人工智能使用的是知识精华。Bezdek 还说:人工神经网络应称为计算神经网络,即“人工”两字应改为“计算”。在人工智能 AI 和计算智能 CI 的关系上,Bezdek 认为 CI 是 AI 的子集,即 $CI \in AI$ 。而这次大会主席 Jacek. M. Zurada 却认为 $CI \notin AI$,两者只有部分重合。J. C. Bezdek 在题为“什么是计算智能”的报告中讲到:智能有三个层次,第一层是生物智能(Biological Intelligence,简称 BI),它是由人脑的物理化学过程反映出来的,人脑是有机物,它是智能的物质基础。第二层是人工智能(Artificial Intelligence,简称 AI),它是非生物的,是人造的,常用符号表示,AI 的来源是人的知识精华和传感器数据。第三层是计算智能(Computational Intelligence,简称 CI),它是由数学方法和计算机实现的,CI 的来源是数值计算和传感器。以上三者第一个英文字符取出来称之为 ABC。显然,从复杂性看有三个层次,即 B(有机)、A(符号)、C(数值),而且 BI 包含了 AI,AI 又包含了 CI。

按 Bezdek 的看法,AI 是 $CI \rightarrow BI$ 的中间过渡,因为 AI 中除了计算算法外,还包含符号表示和数值信息处理。模糊集和模糊逻辑是 $CI \rightarrow AI$ 的平滑过渡,因为它包含了数值信息和语义信息。他还认为:计算神经网络 CNN 是一个最底层最基本的环节,也是 CI 的一个重要基石,

主要用于模式识别。CNN 由以下四个点决定:功能、结构(联接拓扑和更新策略)、形式(集成和传递的节点函数式)、数据(用于训练/测试的数据)。按以上几点,CNN 有多种形式,如前馈、自组织以及与 Fuzzy 结合的模糊神经网络等。

目前国际上提出计算智能就是以人工神经网络为主导,与模糊逻辑系统、进化计算以及信号与信息处理学科的综合集成。我们认为新一代的计算智能信息处理技术应是神经网络、模糊系统、进化计算、混沌动力学、分形理论、小波变换、人工生命等交叉学科的综合集成。

尽管对计算智能的定义、内容以及与其他智能学科分支的关系尚没有统一的看法,但计算智能的下列两个重要特征却是人们比较共同的认识:

第一,计算智能与传统人工智能不同,主要依赖的是生产者提供的数字材料,而不是依赖于知识;它主要借助数学计算方法(特别是与数值相联系的计算方法)的使用。这就是说,一方面,CI 的内容本身具有明显的数值计算信息处理特征;另一方面,CI 强调用“计算”的方法来研究和处理智能问题。需强调的是,CI 中计算的概念在内涵上已经加以拓广和加深。一般地,在解空间进行搜索的过程都被称为计算。

第二,计算智能这个概念的提出(1992 年由美国学者 James C. Bezdek 首先使用),显然远不止于具有科学研究分类学的意义。其积极意义在于促进基于计算的或基于计算和基于符号物理相结合的各种智能理论、模型、方法的综合集成,以便在计算智能这个主题下发展思想更先进、功能更强大、能够解决更复杂问题的大系统的智能科学成果。

由此看来,当前计算智能发展的重要方向之一就是不断引进深入的数学理论和方法,以“计算”和“集成”作为学术指导思想,进行更高层次的综合集成研究。这种综合集成研究不仅不局限在模型及算法层次的综合集成的框框,而且还进入了感知层次及认知层次的综合集成。

一般来说,智能信息处理可以划分为两大类^[1],一类为基于传统计算机的智能信息处理,另一类为基于神经计算的智能信息处理。基于传统计算机的智能信息处理系统包括智能仪器、自动跟踪监测仪器系统、自动控制制导系统、自动故障诊断系统等。在人工智能系统中,它们具有模仿或代替与人的思维有关的功能,通过逻辑符号处理系统的推理规则来实现自动诊断、问题求解以及专家系统的智能。这种智能实际上体现了人类的逻辑思维方式,主要应用串行工作程序按照一些推理规则一步一步进行计算和操作,目前应用领域很广。基于计算机(包括高速信号处理器开发系统)和人工智能的智能信息处理系统仍在继续向高新技术发展,但其发展速度已不太适应社会信息数量增长速度的需求,因而促使人们注意到新型智能信息处理系统的研究。

人工神经网络是模仿延伸人脑认知功能的新型智能信息处理系统。由于大脑是人的智能、思维、意识等一切高级活动的物质基础,构造具有脑智能的人工智能信息处理系统,可以解决传统方法所不能或难以解决的问题。以联接机制为基础的神经网络具有大量的并行性、巨量的互连性、存储的分布性、高度的非线性、高度的容错性、结构的可变性、计算的非精确性等特点,它是由大量的简单处理单元(人工神经元)广泛互连而成的一个具有自学习自适应和自组织性的非线性动力系统,也是一个具有全新计算结构模型的智能信息处理系统。它可以模仿人脑处理不完整的、不准确的信息,甚至具有处理非常模糊的信息的能力。这种系统能联想记忆和从部分信息中获得全部信息。由于其非线性,当不同模式在模式特征空间的分界面极为复杂时,仍能进行分类和识别。由于其自适应自学习功能,系统能从环境及输入中获取信息来自动修改网络结构及其连接强度,以适应各种需要而用于知识推广及知识分类。由于分布式存储和自组织性,而使系统连接线即使被破坏了 50%,它仍能处在优化工作状态,这在军事电子系统设备

中有着特别重要的意义。因此,基于神经计算的智能信息处理是模拟人类形象思维、联想记忆等高级精神活动的人工智能信息处理系统。

总的来说,上述两类智能信息处理系统有何不同呢?可以由传统计算机与神经计算机(即人工神经网络信息处理系统)的主要特征来看出其本质上的区别。

(1) 神经计算机由大量简单神经处理系统连成,解剖学表明人脑有 10^{11} 个神经元,每个神经元相当于一个处理器,神经网络是以网络形式进行计算的并行处理系统。而传统计算机是以冯·诺依曼计算机思想设计的,即使用并行机连接成超高速的信息处理系统,但每个分机仍按一系列指令串行计算工作,且并行机之间的信息运算很少有相互协作关系,故在计算原理上两者有本质的差异。

(2) 从存储记忆功能来看,冯·诺依曼计算机中信息与知识是存储在与处理器分开的独立存储器中的,而神经计算机是以各处理器本身的状态与它们的联接形式分布存储信息的,这使神经计算机具有强的自学习性、自组织性和高的鲁棒性(Robustness)。

(3) 传统计算机和人工智能采取逻辑符号推理的途径去研究人类智能的机器化,其智能信息处理系统可具有人类的逻辑思维功能,而神经网络计算机则以神经元联接机制为基础,从网络结构上去直接地模拟人类的智能,有人类的联想思维功能。其智能信息处理系统可具有形象思维、灵感,当然也有推理意识诸功能。

(4) 从知识处理来看,在处理能明确定义的问题或运用能明确定义的概念作为知识时,计算机一般具有极快的速度和很高的精度。但是对于无法将知识用明确的数学模型表达,或者解决问题所需的信息是不完整的或局部的,或者问题中许多概念的定义是非常模糊的,例如从人群中迅速识别出一个熟人,从车辆繁忙的马路上迅速决定自己能否通过等,这类智能处理,即使用超级计算机也显得无能为力或相当笨拙,而模仿人脑功能的新型智能信息处理系统就能极快地处理。

1.1.2 计算智能信息处理技术的应用和现状^[1]

从智能产生的定义演化,认知科学认为神经计算给人工智能带来一场革命。国际上非常重视研究神经网络,相继成立了 IEEE 神经网络委员会、国际神经网络学会、欧洲神经网络协会、亚太地区神经网络联合会和中国神经网络委员会、日本神经网络学会、俄罗斯神经网络协会等,每年召开神经网络会议,发表论文数千篇。还有 IEEE 电路系统学会、信息处理学会等年会,也有多个分组会发表许多神经网络论文,反映并推动了神经网络理论和应用的发展。在理论上,神经网络模型学习算法以及结构是相关联的,由于脑系统(生物模型)十分复杂,人工神经网络并不是脑系统的逼真描写,而只是它的某种简化抽象和模拟。现在已有 30 多种模型可作为神经计算的人工智能信息处理系统的各种工程应用,已取得了许多引人注目的突破性成果。例如美国研制出一种能辨认人的面孔的神经网络新型智能机器或神经计算机,只要让它看一下某人或他的照片,就能记住描述此人面貌的 256 个数字参数,在人群中就能认出这个人。这种神经计算机是由许多神经元组成的,可以记住达 500 人,思考辨认时间总共约 1/10s。把它安装在机场、火车站等人群进出口,可以辨认真被搜寻的罪犯。美国 HNC 公司研制出的神经计算机,其性能远超过目前国际上巨型超级计算机,而且具有体积小、鲁棒性高等特点。

从 1995 年 IEEE 国际声学、语言及信号处理会议所发表的神经网络理论与应用方面的论文情况也可了解到当前神经网络研究的动态,神经网络和智能信息处理理论研究仍在向纵深方向发展。美国 MITRE 公司 Jarrin K. M. 等利用新的子波神经网络树结构和不同模比函数

给以不同信号分辨率来选择最佳子波系统,使子波神经网络能精确地检测非平稳信号。美国匹兹堡大学计算神经科学实验室 Tsui F. C. 等提出用回归神经网络(RNN)与离散子波变换混合模型的新方法来观察和预测病人的生理状态,其效果比单用RNN大有提高。美国代顿大学信号处理实验室 Jemi H. K. 等用于波变换与径向基函数神经网络作自适应估计时变的诱发电位,能很好地抑制不断变化发生的脑电波(EEG)干扰。美国圣地亚哥海军指挥中心和海军监视中心 Kundu A. 等用集成混合神经网络(IHNN)和隐马尔柯夫模型(HMM)做分类器,可具有超分辨能力,分类精度可达 98.7%。加拿大 McMaster 大学 Haykin S. 等利用混沌神经网络做伪随机序列发生器,将其用在直接序列相干的 BPSK 通信系统中,具有很大的优越性,克服了常规信息处理方法用大量反馈移位寄存器构成伪噪声发生器的缺点。我国台湾省海洋大学 Chang S. H. 等研究了一种新的酉分解神经网络(Unitary Decomposition ANN, U-NIDANN)和广义 Hebb 算法,可以快速求解信息处理中计算量大的特征结构分解和主分量分析问题,且有引人注目的特点。在语音识别与信号分离方面,神经网络应用成果较多,这里只能简单介绍几项:瑞士 ETH 计算机工程与网络实验室 Hutter H. P. 提出了一个混合联接主义与半连接 HMM(简写成 SCHMM)模型方法和以多层感知器代替 SCHMM 通用码书的新方法,它的识别率为 93.2%,高于语音元素码书用 LVQ3 最佳化结果(92.9%)。德国慕尼黑工业大学人机通信研究所 Reiche W. 等用径向基函数神经网络与 HMM 混合系统作连续语音识别,以 Viterbi 算法来计算个别的混合语音模型的贝叶斯概率,用最小分类误差目标函数训练混合系统,用广义概率下降(GPD)算法使分类器具有最小误差概率,从而使混合系统具有与最大似然估计相比拟的性能,对非特定人的连续语音识别其音素的识别率较优,约 63.8%。美国加州 LaJolla 计算神经生物学实验室 Bell A. J. 等利用静态非线性理论和信息论目标函数拟合导出一个新的算法,它能近于完善分离 10 位讲话者的话音。当它用作盲解卷积时,可自动抵消回波和混响,并消除低通滤波效应。此外,神经网络在信道均衡、图像处理与识别、数据压缩等方面的应用也有较多的创新研究成果。这充分表明神经网络在信号处理学科有很大的应用潜力,不仅能解决常规信号处理方法难解决的问题,而且使信号与信息处理系统能向神经计算的新型智能信息处理系统上发展,把信息高速公路与多媒体通信等推向最高级的水平。

总的来说,具有神经计算的智能信息处理正朝着生物智能方向发展,“计算智能”是其重要的理论基础。一般认为计算智能包括神经网络、模糊系统和进化计算三个主要方面,其积极意义在于促进了基于计算和基于物理符号相结合的各种智能理论、模型、方法的综合集成,有利于发展思想更先进、功能更强大并能够解决更复杂系统问题的智能行为。目前国际上计算智能研究正注意几个结合:神经网络与模糊系统和进化计算的结合;神经网络与模糊及混沌三者的结合;神经网络与近代信号处理方法子波、分形等的结合,以更有效地模拟人脑的思维机制,使人工智能导向生物智能。神经网络本身又分为人工神经网络(ANN)、生物神经网络(BNA)及计算神经网络,即所谓 ABC 神经网络。总之要研究的内容非常丰富,正向纵深方向发展。

我国也很重视计算智能的研究^[1]。国家攀登计划重大关键项目“认知科学前沿领域中若干重大问题的研究”有一个分项目就是神经网络理论与应用基础研究。开展神经网络理论研究,包含神经网络模型、神经网络基本理论、神经网络智能系统理论模型以及神经网络实现方法四个课题。由此分解为 18 个子课题,分别由东南大学、北京大学、清华大学、复旦大学等 10 个单位承担研究。参加人员 112 名中有院士 3 人、教授 30 人、青年博士 23 人。三年来,每年都发表高水平论文百余篇,已取得了较多的创新研究成果,不少是有突破性的。在神经网络模型研究方面,提出了具有独创性的视、听觉神经网络的计算模型以及生物似然模型、多模式神经网络

模型、模糊神经网络模型,研究了多种改进型模型,包括动态神经元模型的若干形式的现实性模型,在一定程度上体现了生物智能的特点。在神经网络基本理论方面,提出了多种优化的联想记忆、模式分类模型,建立了一种极高速信号处理的神经网络体系结构,给出了模糊感知器的严格定义及相应的学习算法,定义了一种组合优化设计的满意度的概念,研究和提出了前馈神经网络对非线性函数逼近能力、神经网络收敛性、联想记忆容量、容错性的定理,发现了细胞神经网络中新型的混沌吸引子,拓宽了混沌神经网络动力学方程模型参数,给出了混沌同步和混沌控制的新方法。在神经网络智能系统理论方面,建立了一种抗噪声的神经网络语音压缩和识别系统,提出了神经网络用于图像复原的新方法,成功地将分形和神经网络理论运用于图像编码和识别,提出了有效的编码和识别方法;集模糊逻辑推理的结构性知识表达能力与神经网络的强大学习能力于一体构成异步传输模式(ATM)网络的业务量管制系统,提出了用神经网络自动提取模糊系统的隶属函数和模糊规则的新方法,并研制了一个自动生成工具软件 PolynFuz,其主要功能比目前国际上最先进的同类系统 NeuFuz4 强。在神经网络实现方法上,构成一种虚拟神经计算系统和高性能的 PC 机仿真处理系统,提出了一种新型联想记忆 VLSI 电路阵列结构。用 5 片 3009 系列 FPGA 研制成具有 64 个神经元的离散时间细胞神经网络。提出了两种新的双极性光互连编码方案,已基本建成一台 1024 元光电混合可编程和可重构的光互连神经网络处理器,这是我国光神经网络计算机的第一代样机,在国际上也是先进的。此外,我国也注意到基础性课题的应用研究,开展神经网络智能信息处理系统在高炉滑料、电力系统调度、铁路货运及安全检查等方面也取得了一定的成果。

1.2 计算智能信息处理的主要技术

计算智能信息处理是一多学科交叉技术,迄今尚未建立起完整的理论体系。

1.2.1 模糊计算技术

1965 年,美国加州大学伯克莱分校 L. Zadeh 教授发表了著名的论文“Fuzzy Sets”(模糊集),开创了模糊理论。经历近三十年的曲折,这一领域已取得长足的进步,Zadeh 也被国际上誉为“模糊之父”。最近十年来,模糊理论又在实际应用中获得重大突破,作为一种高新技术正在迅速发展,预计 21 世纪它将成为信息科学中的核心技术之一。

Zadeh 教授当初曾提出过一个著名的不相容原理:“随着系统复杂性增加,人们对系统进行精确而有效地描述的能力会降低,直至一个阈值,精确和有效成为互斥”。其实质在于:真实世界中的问题,概念往往没有明确的界限,而传统数学的分类总试图定义清晰的界限,这是一种矛盾,一定条件下会变成对立的東西。从而引出一个极其简单而又重要的思想:任何事情都离不开隶属程度这样一个概念。这就是模糊理论的基本出发点。

因此可以这样认为,随着系统越来越复杂,当其复杂性达到与人类思维系统可比拟时,传统的数学分析方法就不适应了。模糊数学或模糊逻辑更接近于人类思维和自然语言,因此模糊理论为复杂系统分析,进而为人工智能研究提供了一种有用的方法和工具。

模糊技术发展过程中有一些重要的里程碑,现仅列出其中若干项如下:

1965 年模糊集	美国 Zadeh
1973 年语言方法(模糊逻辑)	美国 Zadeh
1974 年蒸汽涡轮机控制实验	英国 Mamdani

1985 年第一个模糊推理芯片问世

美国 Togai

1987 年仙台地铁机车全自动驾驶

日本日立公司

1990 年家用电器“模糊热”

日本

(1) 什么是模糊逻辑

Zadeh 把普通的集合论推广到模糊集合论是基于真实世界中的概念往往是没有清晰界限这一事实的。

普通的集合:集合中的成员是具有精确特性的对象。例如:“8 到 12 的实数集合”是一个清晰的集合 $C, C = \{\text{实数 } r | 8 \leq r \leq 12\}$ 。用特征函数 $M_C(r)$ 表示成员 r 隶属于集合 C 的程度 (图 1.2.1)

$$M_C = \begin{cases} 1, & 8 \leq r \leq 12 \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

这个特征函数是惟一的,且只有两个答案:“是”和“否”,对应于传统的二值逻辑。

模糊集合:集合中成员的特性是模糊的。例如:“接近于 10 的实数集合”是一个模糊集合 F :

$$F = \{\text{接近于 10 的实数 } r\}$$

这时,特征函数 $M_F(r)$ 不是惟一的。譬如用一个等腰三角形来表示 (图 1.2.2)。那么成员 10 隶属于该模糊集的程度可定义为 1,9 和 11 的隶属度是 0.75,7.2 和 12.8 的隶属度是 0.275 等。因此,特征函数在 0 和 1 区间取值,这种函数称隶属函数,所对应的逻辑是多值逻辑,更确切地说是一种连续值逻辑或称模糊逻辑。

这里说到隶属度 $[0,1]$,往往就使人们联系到概率理论中的概率值 $[0,1]$ 。尽管它们取值一样,又都是研究事物的不确定性问题,然而它们的含义是不同的。

概率性:事件本身是清晰的,只是事件出现频数具有不确定性。例如,在一个群体中“老年人得心脏病”的机会一般可用统计方法得到。

模糊性:事件本身是含糊不清的,而事件出现是确定的(当然也可以是不确定的)。例如,年龄分组,“青年”,

“老年”等,这是一些模糊的概念,且是确实存在的,它们不一定通过统计来规定。在一定的社会背景下,完全可以人为确定其年龄段来定义“幼年”“青年”“中年”“老年”等概念。

最后要提一下有关的术语。“逻辑”原本用于思维学,从狭义上说“逻辑”是一种推理的形式化理论,例如“数理逻辑”。但如今计算机学科中,“逻辑”已具有更广泛的含义,例如“数字逻辑”等。同样,对于“模糊逻辑”,从狭义上说,它是基于模糊集进行近似推理的形式化理论;而从广义上讲,它是基于模糊集的一种决策支持理论,包括推理、控制、模式识别、综合评判、规划等人类思维决策过程。

(2) 模糊逻辑控制技术^[4]

复杂的工业控制过程往往是很难进行自动控制的,原因在于它们的非线性,时变特性以及可利用测量手段的局限性。然而熟练的操作工却能将生产过程控制得很好。利用计算机构造过程的数学模型,可以实现自动控制。但是常常由于数学模型不精确,或者需要大量计算时间,过程运行仅在一定条件范围内有效,超越条件或受到偶然的扰动控制就很难保证稳定。因此对

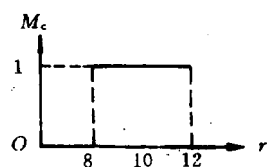


图 1.2.1 特征函数

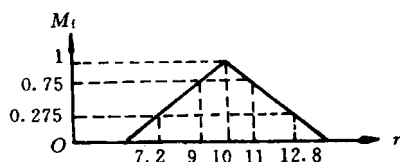


图 1.2.2 特征函数

于复杂过程的控制,另一种途径是研究操作工所用的控制策略,即利用直觉上可理解的操作术语和规则来构造任意复杂的线性或非线性过程模型。模糊逻辑是非常适合于实现这类控制途径的一种方法,也是近十年来模糊逻辑应用最成功的一个领域,即模糊逻辑控制 FLC(Fuzzy Logic Control)。

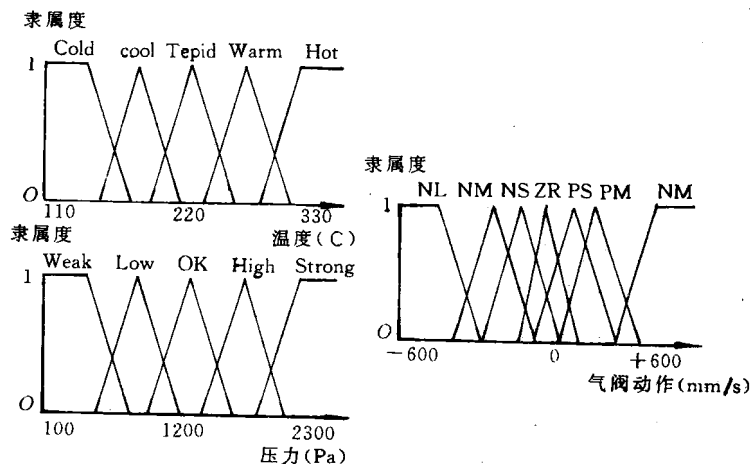


图 1.2.3 模糊隶属函数分布

一般基于微机的控制也可用术语和规则来描述过程控制功能,但它与模糊逻辑控制的重要差别在于,前者计算的只是“真”和“假”两个值,而模糊逻辑控制中,模糊术语表达的是集合的隶属程度,而模糊规则结论的真值或可能性是一个连续的范围。

那么模糊逻辑是如何用来进行控制的呢?以蒸汽轮机的工作过程为例:涡轮机的汽阀动作取决于两个控制变量:温度和压力。首先每个控制变量要分解成一些控制区(集合),输出变量(动作)也要定义一些模糊区(集合)。如图 1.2.3 所示,温度的模糊集分为 Cold(冷)、Cool(凉)、Tepid(不冷不热)、Warm(暖)、Hot(热);压力分为 Weak(弱)、Low(低)、OK(压力适中)、High(高)、Strong(强);汽阀动作为 NL(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZR(零)、PS(正小)、PM(正中)、PL(正大)。然后构造一个概念上的控制模型,即根据控制变量的每种组合,编写描述控制动作的规则。例如如下一些规则:

- ①If(温度是 Cool)And(压力是 Weak)Then(汽阀动作为 PL)
- ②If(温度是 Cool)And(压力是 Low)Then(汽阀动作为 PM)
- ③If(温度是 Cool)And(压力是 OK)Then(汽阀动作为 ZR)
- ④If(温度是 Cool)And(压力是 High)Then(汽阀动作为 NM)

现在剩下的问题是如何从输入模糊集和规则得到输出模糊集,再转换成清晰的输出去控制汽阀。注意,模糊逻辑控制实际上是一个并行处理(推理)机,所有规则中只要其条件项有一定“程度”的真值,就会被同时激励,并对输出模糊集有所贡献。

例如,给定时间 t_0 , 涡轮机温度为 $T(t_0)$, 压力为 $P(t_0)$ 。 $T(t_0)$ 落入模糊区 Cool, $P(t_0)$ 对应 low 和 OK 两个区。这一组合引起规则 2 和 3 被激励,然后用一定的合成方法形成单一的系统输出。譬如:

- 对于用 And 连接的每个前提表达式,取最小的真值作为规则前提的真值。
- 用该最小前提真值截取输出模糊集。