



中国计算机学会
学术著作丛书

模糊理论和 神经网络的 基础与应用

赵振宇 徐用懋 著

模糊理论和
神经网络的
基础与应用

赵振宇 徐用懋 著

.97
9
88.9

术出版社



清华大学出版社
广西科学技术出版社

中国计算机学会学术著作丛书

模糊理论和神经网络的基础与应用

Introduction to Fuzzy Theory and
Neural Networks and Their Application

赵振宇 徐用懋 著

清华大学出版社
广西科学技术出版社

(京)新登字 158 号

(桂)新登字 06 号

内 容 简 介

模糊理论和神经网络是近年来得到迅速发展的新兴学科,它们的应用和影响已经遍及人工智能、计算机科学、自动控制、专家系统、信息科学、CAD/CAM、医疗诊断、经济等部门和领域。

本书系统地论述了模糊理论和神经网络的基本理论、方法,从统一的工程角度综合分析了两大学科的最新成果、研究动向以及两者交叉部分中的前沿研究,并介绍了高技术的应用实例。全书共 14 章,分三大部分。第一部分为模糊理论的基础、建模方法和实际应用;第二部分为神经网络的基本理论、网络学习方法和典型实例;第三部分讨论了模糊系统和神经网络系统的异同、融合和相互转换方法。本书还提供了大量例题,以便读者自己模仿实践,加深理解。

本书可供自动控制、计算机、信号与信息处理、电路与系统、系统工程等专业的高校师生和科技人员选用。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

模糊理论和神经网络的基础与应用=INTRODUCTION TO FUZZY THEORY AND NEURAL NETWORKS AND THEIR APPLICATION/赵振宇,徐用懋著. —北京:清华大学出版社,1995.19

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 7-302-02061-2

I. 模… I. ①赵… ②徐… II. ①模糊数学-应用-计算机网络 ②神经网络-应用-计算机网络 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 23616 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

广西科学技术出版社(广西南宁河堤路 14 号,邮编 530021)

印刷者:北京市清华园印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:324 千字

版 次:1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02061-2/TP·958

印 数:0001—4000

定 价:16.00 元

JS442/207

清华大学出版社 广西科学技术出版社
计算机学术著作出版基金

评 审 委 员 会

主 任 委 员 张效祥

副主任委员 周远清 汪成为

委 员	王鼎兴	杨芙清	李三立	施伯乐	徐家福
	夏培肃	董韫美	张兴强	徐培忠	

出版说明

近年来,随着微电子和计算机技术渗透到各个技术领域,人类正在步入一个技术迅猛发展的新时期。这个新时期的主要标志是计算机和信息处理的广泛应用。计算机在改造传统产业,实现管理自动化,促进新兴产业的发展等方面都起着重要作用,它在现代化建设中的战略地位愈来愈明显。计算机科学与其它学科的交叉又产生了许多新学科,推动着科学技术向更广阔的领域发展,正在对人类社会产生深远的影响。

科学技术是第一生产力。计算机科学技术是我国高科技领域的一个重要方面。为了推动我国计算机科学及产业的发展,促进学术交流,使科研成果尽快转化为生产力,清华大学出版社与广西科学技术出版社联合设立了“计算机学术著作基金”,旨在支持和鼓励科技人员,撰写高水平的学术著作,以反映和推广我国在这一领域的最新成果。

计算机学术著作出版基金资助出版的著作范围包括:有重要理论价值或重要应用价值的学术专著;计算机学科前沿探索的论著;推动计算机技术及产业发展的专著;与计算机有关的交叉学科的论著;有较大应用价值的工具书;世界名著的优透翻译作品。凡经作者本人申请,计算机学术著作出版基金评审委员会评审通过的著作,将由该基金资助出版,出版社将努力做好出版工作。

基金还支持两社列选的国家高科技重点图书和国家教委重点图书规划中计算机学科领域的学术著作的出版。为了做好选题工作,出版社特邀请“中国计算机学会”、“中国中文信息学会”帮助做好组织有关学术著作丛书的列选工作。

热诚希望得到广大计算机界同仁的支持和帮助。

清华大学出版社
广西科学技术出版社

计算机学术著作出版基金办公室

1992年4月

丛书序言

计算机是当代发展最为迅猛的科学技术,其应用几乎已深入到人类社会活动和生活的一切领域,大大提高了社会生产力,引起了经济结构、社会结构和生活方式的深刻变化和变革,是最为活跃的生产力之一。计算机本身在国际范围内已成为年产值达 2500 亿美元的巨大产业,国际竞争异常剧烈,预计到本世纪末将发展为世界第一大产业。计算机科技具有极大的综合性质,与众多科学技术相交叉而反过来又渗入更多的科学技术,促进它们的发展。计算机科技内容十分丰富,学科分支生长尤为迅速,日新月异,层出不穷。因此在我国计算机科技尚比较落后的情况下,加强计算机科技的传播实为当务之急。

中国计算机学会一直把出版图书刊物作为学术活动的重要内容之一。我国计算机专家学者通过科学实践,做出了大量成果,积累了丰富经验与学识。他们有撰写著作的很大积极性,但相当时期以来计算机学术著作由于印数不多,出版往往遇到不少困难,专业性越强越有深度的著作,出版难度越大。最近清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术及产业的发展,推动计算机科技著作的出版工作,特设立“计算机学术著作出版基金”,以支持我国计算机科技工作者撰写高水平的学术著作,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。我们十分重视这件事,并已把它列为学会本届理事会的工作要点之一。我们希望这一系列丛书能对传播学术成果、交流学术思想、促进科技转化为生产力起到良好作用,能对我国计算机科技发展具有有益的导向意义,也希望我国广大学会会员和计算机科技工作者,包括海外工作和学习的神州学人们能积极投稿,出好这一系列丛书。

中国计算机学会

1992 年 4 月 20 日

Introduction to Fuzzy Theory, Neural Networks, and Their Applications

by Zhen-Yu Zhao and Yong-Mao Xu

The fields of fuzzy sets and neural networks have made rapid progress in recent years. This book gives a comprehensive presentation on recent developments in both theory and applications. Special emphasis is placed on basic concepts, system design, analysis and development methods of fuzzy systems and neural network systems.

This book consists of three major parts. The first two parts present the fundamentals and real world applications of fuzzy sets theory and neural networks, respectively. The last part addresses various state-of-the-art techniques to combine fuzzy logic with neural networks eliminating the disadvantages of each of these technologies while effectively combining their advantages.

This book can be used as the text for an advanced course on fuzzy theory and neural networks. It is also a valuable reference to all researchers and engineers interested in these subjects.

序

非常高兴得知赵振宇博士和徐用懋教授已完成他们的合著《模糊理论和神经网络的基础与应用》。

近年来,模糊理论和神经网络提供了行之有效的方法来解决在特定环境以及采用定性描述方式的多目的设计中的各种问题。这本书从模糊理论和神经网络的基础出发,综合分析和归纳了两领域的研究成果,并附有大量的应用实例。赵博士和徐教授对模糊系统和神经网络研究较深,这次他们对此专题的合著正合时宜。此外,赵博士还利用他精通日语和英语的特长,充分收纳了这两大领域的最新发展和动向。

二十余年前,L. A. Zadeh 教授提出的模糊集合理论已在工程的众多领域中得到广泛深入的研究。对于实际操作人员,即使没有精确的数据和过程模型,他也能操作和控制复杂的过程。而模糊理论正是将操作人员的操作经验转换成可以在计算机上运行的控制算法,以便实现模糊控制。模糊控制已广泛应用于水质控制、地铁操作、汽车减震和牵引以及摄象机聚焦等系统中。

人工神经网络是由大量并行分布、有机相联的神经元构成的计算机构,对这种计算机构的研究受启于生物神经网络的学习能力和并行机制。近年来,对神经网络方面的研究受到愈来愈密切的关注,特别在人工智能、心理学、工程学和物理学等学科中显得空前的活跃。另外,应用神经网络技术的商业产品亦愈来愈多,典型的例子如:语言识别系统、爆炸检测器和飞机座位订票系统等。

结合模糊理论、神经网络以及其它智能算法(如人工遗传算法)的研究和应用将有非常广阔的前景。一个明显的例子就是结合神经网络的学习能力来训练基于模糊规则的系统。此书在这方面已有深刻的反映。作者正从统一的角度综合阐述了模糊理论和神经网络的重大课题和应用。我相信,此书对有志于模糊理论和神经网络研究的读者是有裨益的。

Masayoshi Tomizuka

美国加州柏克莱大学机械系教授

FOREWORD

I am very pleased that Dr. Zhen-Yu Zhao and Professor Yong-Mao Xu have completed their book, "Introduction to Fuzzy Theory, Neural Networks, and Their Applications." In recent years, the fuzzy theory and neural networks have demonstrated their values for providing solutions to problems in uncertain and imprecise environments as well as to those with multi-design objectives, which may be stated in a qualitative manner. This book starts with fundamentals of fuzzy theory and neural networks, develops the ideas for comprehensive coverage of the two subjects, and presents their applications. Having rich research experience in fuzzy systems and neural networks, Dr. Zhao and Professor Xu make an ideal team to write a book on these subjects. Dr. Zhao has taken an advantage of his mastery of two languages, Japanese and English. Many recent important developments in fuzzy theory and neural networks have been reported in these two languages.

The theory of fuzzy sets, established by Professor L. A. Zadeh about 20 years ago, has been extensively studied in various fields of engineering. It is well known that human beings have an ability to operate and control complicated processes without having precise data and plant models. Fuzzy theory has been shown to translate such knowledge of human beings into computer implementable control algorithms, which are commonly called "fuzzy control." Fuzzy control has been used in many practical applications such as water quality control, subway operation systems, automotive suspension and traction control and camcorder focusing and stabilization.

Artificial neural networks are computing architectures that consist of massively parallel interconnections of simple neural processors. The study of such architectures has been inspired by the learning abilities and parallelism of biological nervous systems. In recent years, neural networks have received considerable attention and are now being actively explored in the fields of artificial intelligence, psychology, engineering and physics. Neural networks have been applied to many commercial products such as speech recognition systems, explosive detectors and airline seat allocation systems.

Combined use of fuzzy theory, neural networks, as well as other computational intelligence algorithms such as genetic algorithms, has been recognized as being promising. An obvious example is the training of fuzzy rule-based systems by using the learn-

ing ability of neural networks. Such expositions are made in the book by Dr. Zhao and Professor Xu. They present the two important subjects and their applications in a coherent manner, and readers will have the benefit of jump-starting their research and development effort in this challenging area.

Masayoshi Tomizuka
Professor of Mechanical Engineering
University of California at Berkeley

前言

目前媒体热门报导之一的“信息高速公路”(Information Superhighway)已成为 90 年代最热门的话题,对它的研究正以空前的广度、深度和速度在各个现代科学领域内交叉展开。这条高速公路是一个将各种科技集成起来的网络,传输的是 90 年代乃至 21 世纪最重要的商品——信息。经一条线路,就可传送文字、声音和图象,或是三者的组合。将来,电话、电视和电脑将三位一体,打电话时在荧光屏上可看到和你通话的人,另外,除看电视外,还可整理储存资料等。信息高速公路这一热潮,将使以信息(多媒体)处理为主的产品——信息处理机——进入人们的生活之中。

信息处理机需要人机对话。人机对话技术不仅需要处理速度快,成本低,而且必须能实现人和人之间那样的自然对话。要实现人机的自然对话,信息的“软处理”是关键。这种软处理和通常的信息处理的不同之处在于它既处理像信号、模式那样的低层次信息,又处理像概念、符号那样的高层次信息。模糊理论和人工神经网络是当前能用来进行信息软处理的最新技术。

目前的电子计算机虽有极强的算术和逻辑运算功能,但它的形象思维能力和人相差甚远。人的思维擅长于定性分析,能理解像“轻”、“大概”等这样的模糊信息,并据此进行直接思维和判断。模糊理论可实现将人的定性思维和判断方法定量化以适合计算机处理的过程。而模拟人脑智能特点和结构的人工神经网络能处理信号、模式,并具有自适应学习、联想记忆等功能,能广泛应用于各种信息处理系统。

近年来,模糊理论和神经网络的研究不仅在各自的学科里取得了引人注目的进展,而且在这两大学科的边缘开辟了众多的研究新领域。两者的相互渗透和有机结合必将引起电子产业和信息科学的新的革命,对包括人工智能、计算机科学、自动控制、专家系统、信息处理、模式识别、CAD/CAM、机器人、医疗诊断、经济等学科和领域,将起不可估量的作用。

虽然目前有关模糊数学的书籍不少,有关神经网络的专著也在相继出版,但还缺少从统一的工程角度来阐述这两大学科的论著。有鉴于此,我们试编本书,以作为理工科大学自动控制、信号和信息处理、系统工程、计算机等专业博士生、硕士生和高年级大学生的选修教材,以及有关研究人员和工程技术人员的参考书。在写作中,我们力求注意以下几点:

- (1) 对两大学科的基础部分作全面的介绍,以保证本书的系统性,但取材着重于基本概念、基本理论和基本方法;
- (2) 收集总结两大学科的最新动向、最新课题和最新成果,将重点置于两者的交叉部分中的前沿研究和一些有潜力的新思想、新方法和新技术;
- (3) 设专章专节阐述应用问题,介绍和分析一些高技术的应用实例;
- (4) 给出大量例题,提供学习模仿的蓝本,以便读者自己模仿实践,加深对理论的理解,体会模糊理论和神经网络的有效性和实用性。

全书共 14 章,其基本内容如下:

- 第一章为绪论,简要回顾了模糊系统和神经网络研究的历史,讨论了两者的基本

特征。

- 第二章及第三章主要阐明了模糊系统理论的研究基础,包括模糊集、模糊关系和模糊逻辑。
- 第四章和第五章着重讨论了模糊控制及其应用。第四章论述了模糊控制的基本概念、设计方法等;第五章具体分析了三个典型的应用实例。
- 第六章主要讨论了模糊系统的建模问题,分析比较了各种建模方法。
- 第七章和第八章简要给出了神经网络理论的研究基础。第七章讨论了各种典型的网络模式及其性质。网络模式包括前向网络、反馈网络和自组织神经网络;在前向网络中,除熟知的感知器和 BP 网络外,还讨论了实用的 GMDH 网络和 RBF 网络。第八章综合讨论了网络中的学习算法和实用技巧,并介绍了 GA(遗传算法)等最新的学习方法。
- 第九章和第十章讨论了神经网络理论的应用。第九章研究了在自动控制中的应用,着重讨论了非线性系统建模和控制的问题。第十章分析了在模式识别、图象处理、预报、组合优化和人工智能等方面的应用。
- 第十一章至第十三章论述模糊系统和神经网络的融合问题,这是目前最受注目的问题之一。第十一章主要讨论了两者的等价性和融合形态;第十二章研究了两之间互相转换的方法;而第十三章分析了基于神经网络的模糊系统。
- 第十四章为结束语,指出了今后的研究发展方向。

附录给出了供阅读正文的有关章节时所需的参考资料。

全书内容比较多,读者不一定要遍读全书,其中第一→二→三→六→七→八→十一→十四章是本书的基本阅读路线,其它的路线读者可根据自己的实际情况并参阅各章的内容加以选择。例如,对自动控制感兴趣的读者,可加读第四、九章,对应用感兴趣的读者可加读第五、十、十二、十三章。另外,考虑此书的特点,最好能亲自完成一、两个上机实验,以加深对内容的理解。例如,比较模糊系统建模的各种方法(参考第六章),用 BP 算法训练前向网络(参考第七章、第八章有关部分),仿真模糊控制(参考第四章),等等。

在本书的编写过程中,美国加州柏克莱大学的 M. Tomizuka 教授、日本福岡工业大学的相良节夫教授给予了第一作者热情的关怀和悉心指导,借此机会表示由衷的敬意和感激。第一作者在柏克莱期间,从 L. A. Zadeh 教授的讲课和演讲中受到不少启发,并常和“Fuzzy Group”的成员进行有益的讨论。日本松下电器产业的高木英行博士提供了许多的宝贵资料和建议,本书的第十三章就是取材于他的博士论文。美国 Fisher-Rosemount Systems 公司的秦泗钊博士阅读了大部分原稿,提供了许多宝贵的意见。日本 Omron 公司的大八木所长和井坂晓博士等也给了作者众多的关怀和支持。在本书编写的过程中,作者还得到清华大学方崇智教授的热情支持和鼓励。在此,作者向他们表示诚挚的谢意。

本书得到清华大学出版社和广西科学技术出版社联合设立的计算机学术著作出版基金的资助,在此,作者一并表示衷心的感谢。

由于学识和水平所限,不当之处在所难免,欢迎读者批评指正。

赵振宇
于美国加州

徐用懋
于北京

目 录

序	V
前言	VII
第一章 绪论	1
1.1 研究历史的回顾	1
1.2 模糊系统	2
1.3 神经网络系统	3
1.4 机器智能	4
第二章 模糊数学的基础	5
2.1 模糊的定量化	5
2.2 模糊集	5
2.3 模糊集的运算	6
2.4 模糊数及其运算	8
第三章 模糊关系和模糊逻辑推理	14
3.1 模糊关系	14
3.2 模糊关系的运算	15
3.3 模糊逻辑推理	17
3.4 模糊回归分析	19
3.4.1 基于实数输出值的模糊回归分析	20
3.4.2 基于模糊输出值的模糊回归分析	22
第四章 模糊控制	25
4.1 引言	25
4.2 模糊控制系统	25
4.3 模糊逻辑推理法和非模糊化	27
4.4 模糊控制器的设计	32
4.5 自适应模糊控制	38
第五章 模糊控制的应用	47
5.1 引言	47
5.2 PID 参数整定	47

5.3	列车运行自动控制	52
5.3.1	列车运行 PID 控制	52
5.3.2	预测模糊控制	53
5.3.3	日立的模糊控制系统	54
5.4	净水工厂药剂投量控制	57
第六章	模糊系统的建模	61
6.1	引言	61
6.2	模糊系统模型的建立	63
6.3	模糊系统的学习	68
6.3.1	梯度下降法	68
6.3.2	MF 和模糊规则的增加法	73
6.4	多层次的模糊模型	77
6.5	模糊模型的评价	78
第七章	神经网络基础	80
7.1	神经网络模型	80
7.1.1	生物神经元模型	80
7.1.2	人工神经元模型	80
7.1.3	神经网络模型	82
7.2	前向网络	83
7.2.1	感知器	83
7.2.2	BP 网络	85
7.2.3	GMDH 网络	86
7.2.4	RBF 网络	88
7.3	反馈网络	89
7.3.1	CG 网络模型	90
7.3.2	盒中脑(BSB)模型	90
7.3.3	Hopfield 网络模型	91
7.3.4	双向联想记忆(BAM)	93
7.3.5	回归 BP 网络	95
7.3.6	Boltzmann 机网络	96
7.4	自组织神经网络	97
7.4.1	自适应共振理论(ART)	97
7.4.2	自组织特征映射	100
7.4.3	CPN 模型	101

第八章 神经网络的学习方法	103
8.1 引言	103
8.2 Hebb 学习规则	103
8.3 梯度下降法	104
8.3.1 δ 规则	104
8.3.2 BP 算法	105
8.3.3 回归 BP 算法	106
8.4 最优化算法	107
8.4.1 模拟退火算法	107
8.4.2 单纯形法	108
8.4.3 遗传算法	110
8.5 网络学习的技巧	113
8.6 网络学习前的数据处理	114
第九章 神经网络控制系统	116
9.1 引言	116
9.2 动态 BP 算法	117
9.3 系统辨识和控制	119
9.3.1 系统模型	119
9.3.2 系统辨识	120
9.3.3 系统控制	124
9.4 NNPLS 建模法及质量指标预报	127
9.4.1 部分最小二乘法	128
9.4.2 NNPLS 建模法	130
9.4.3 产品质量指标预报	132
9.5 遗传 BP 算法及油品质量估计	134
9.5.1 遗传 BP 算法	135
9.5.2 GA-BP 用于建立常压塔质量估计模型	136
9.6 机器人运动控制	140
第十章 基于神经网络的信息处理	144
10.1 模式识别	144
10.1.1 高炉炉顶烟气温度分布的识别	144
10.1.2 文字识别	146
10.2 图象处理	149
10.3 股票市场变化的短期预测	150
10.4 组合优化问题	151

10.5	人工智能	153
第十一章	模糊系统和神经网络的融合	156
11.1	引言	156
11.2	模糊系统和神经网络的等价性	156
11.3	模糊系统和神经网络融合的形态	160
11.4	专家系统	162
第十二章	模糊系统和神经网络的互相转换	165
12.1	结构等价的模糊系统和神经网络	165
12.2	神经网络的实现	167
12.2.1	隶属函数的实现	167
12.2.2	网络的学习	168
12.3	应用实例	169
12.4	小结	171
第十三章	基于神经网络的模糊系统	173
13.1	系统描述	173
13.2	系统建立	174
13.3	应用实例	178
13.4	小结	181
第十四章	结束语	182
附录一	K-NN 算法	183
附录二	稳定性 Lyapunov 第二方法	185
附录三	机器人动态数学模型及控制	187
附录四	模糊 C-平均法	189
	参考文献	190

第一章 绪 论

1.1 研究历史的回顾

模糊理论的创始人,美国加州大学柏克莱分校的 L. A. Zadeh 教授在 1965 年发表了关于模糊集的开创性论文。他在研究人类思维、判断过程的建模中,提出了用模糊集作为定量化的手段。但是在当初的十年中,除了极少数的专家外,模糊理论并未受到世人的注目。在 1974 年,英国 Queen Marry College 的 E. H. Mamdani 教授首先将模糊逻辑应用到蒸汽发电机的压力和速度控制中,取得了比常规的 PID 控制更好的结果。随后不久,丹麦的 F. L. Smith 公司于 1980 年成功地将模糊控制应用到水泥窑的自动控制中,为模糊理论的实际应用开辟了崭新的前景。从此以后,模糊理论的应用,特别是在工业控制中的应用,得到了迅速的发展。特别是在日本,日立制作所研制了地铁自动操作的模糊控制系统,将其投入到仙台市的地铁运行中;富士电机公司开发了净水工厂药剂投量的自动控制系统,立石电机公司向市场投放了最早的模糊控制器硬件,三菱电机开发了电梯群运行的管理系统,松下电器推出了全自动的模糊洗衣机、电饭锅等,三洋电机研究所开发了高质量的彩色复印机的颜色再现控制技术……。据日本外贸省报道,日本在 1992 年生产的和模糊技术有关的产品约有 20 亿美元。目前,在日本得到空前发展的模糊理论的应用正在向北美、欧洲蔓延。模糊理论在应用中愈来愈受到人们的肯定,与此同时,在学术界也受到不同专业的研究工作者的重视。1984 年,国际模糊系统学会(IFSA)正式成立,并于 1985 年在西班牙召开了第一次国际年会。在日本,由通产省组织的国际模糊工程研究所(LIFE)也在 1989 年诞生,开创了官、学、商相结合搞技术研究开发的范例。目前,有关模糊理论和应用的杂志、特刊有数十种,论文数千篇;另外还有数以百计的应用实例,超过一百件以上的商品。

和模糊理论的发展一样,神经网络的研究发展也不是一帆风顺的。早在 1943 年,心理学家 W. McCulloch 和数学家 W. Pitts 合作提出了神经元最早的数学模型,开创了神经科学理论研究的时代。1958 年, F. Rosenblatt 首次引进了模拟人脑感知和学习能力的感知器概念,引起了人们的注意;感知器是由阈值性神经元组成的层状网络,具有学习功能。但是,它的局限性,如不能产生复杂的逻辑函数,被 M. Minsky 和 S. Papert 的《Perceptron》一书所指明,由于 Minsky 在学术界的地位和影响,这一研究方向在该书发行(1969 年)后若干年内一直处于低潮。幸甚的是, B. Widrow 在 1962 年提出的自适应线性元件(Adaline),由于它是线性网络,且具有自适应学习功能,在信号处理、模式识别等方面受到普遍的重视和应用。此外,在这冷遇时期(1967 年~1982 年),仍有不少学者致力于神经网络的研究,如 S. Amari(甘利)致力于数学理论方面的研究, J. Anderson 提出了 BSB 模型, K. Fukushima(福岛)发表了神经认知网络理论, S. Grossberg 提出了自适应共振理论, T. Kohonen 提出了自组织映射网络, D. Willshaw 等提出了联想记忆网络。这些人的努力