

文章编号:1671-7147(2004)01-0103-08

# 人工神经网络研究现状及其展望

朱大奇

(江南大学 通信与控制工程学院, 江苏 无锡 214036)

**摘要:**回顾了神经网络理论发展的历史和现状。在此基础上,介绍并讨论了20世纪90年代神经网络研究的一些新进展。根据神经网络研究的特点,对人工神经网络今后的发展前景作了一定的评述,人工神经网络的研究与发展必将对现代科学技术产生深远的影响。

**关键词:**人工神经网络;感知器;并行分布处理;模糊神经网络;量子神经网络

**中图分类号:**TP 183

**文献标识码:**A

## The Research Progress and Prospects of Artificial Neural Networks

ZHU Da-qi

(School of Communication and Control Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

**Abstract:** The recent progress of artificial neural networks is reviewed. Its new development in 90's is introduced and discussed in this paper. According to the characteristics of artificial neural networks, the author presents some points of view about the prospects of artificial neural networks in the future. The profound and far-reaching effect can be predicted with development of artificial neural networks research.

**Key words:** artificial neural networks; perceptron; paralleled distributed processing; fuzzy neural networks; quantum neural networks

人类关于认知的探索由来已久。早在公元前400年左右,希腊哲学家柏拉图(Plato)和亚里士多德(Asidtole)等,就曾对人类认知的性质和起源进行过思考,并发表了有关记忆和思维的论述。在此及以后很长的一段时间内,由于科学技术发展水平所限,人们对人脑的认识主要停留在观察和猜测的基础之上,缺乏有关人脑内部结构及工作原理的了解,因而进展缓慢。直到20世纪40年代,随着神经解剖学、神经生理学以及神经元的电生过程等的研究取得突破性进展,人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识,在此基本

认识的基础上,综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑神经网络进行抽象,并建立简化的模型,称为人工神经网络 ANN(Artificial Neural Network),为叙述方便将人工神经网络直接称之为神经网络(以下同)。

目前,关于神经网络的定义尚不统一,按美国神经网络学家 Hecht Nielsen 的观点,神经网络的定义是:“神经网络是由多个非常简单的处理单元彼此按某种方式相互连接而形成的计算机系统,该系统靠其状态对外部输入信息的动态响应来处理信息的”。综合神经网络的来源、特点和各种解释,

收稿日期:2003-06-03; 修订日期:2003-09-04.

基金项目:安徽省教委自然科学基金项目(2002KJ044)资助课题,江南大学自然科学基金项目(0002133)资助课题.

作者简介:朱大奇(1964-),男,安徽枞阳人,工学博士,教授.主要从事故障诊断,神经网络,计算机测控的研究.

它可简单地表述为:人工神经网络是一种旨在模仿人脑结构及其功能的信息处理系统<sup>[1]</sup>。

作为一门活跃的边缘性交叉学科,神经网络的研究与应用正成为人工智能、认识科学、神经生理学、非线性动力学等相关专业的热点。近十几年来,针对神经网络的学术研究非常活跃,且提出上百种的神经网络模型,涉及模式识别、联想记忆、信号处理、自动控制、组合优化、故障诊断及计算机视觉等众多方面,取得了引人注目的进展。

## 1 人工神经网络发展的历史及现状

### 1.1 人工神经网络研究阶段的划分

纵观神经网络的发展历史,其发展过程大致可以概括为如下3个阶段。

**1.1.1 第一阶段——启蒙时期** 这是神经网络理论研究的奠基阶段。1943年,神经生物学家 McCulloch 和青年数学家 Pitts 合作,提出了第一个人工神经元模型,并在此基础上抽象出神经元的数理模型<sup>[2]</sup>,开创了人工神经网络的研究。以 McCulloch 和 Pitts 提出人工神经元的数理模型(即神经元的**阈值模型**,简称 MP 模型)为标志,神经网络拉开了研究的序幕。为了模拟起连接作用的突触的可塑性,神经生物学家 Hebb 于 1949 年提出了连接权值强化的 Hebb 法则<sup>[3]</sup>。这一法则告诉人们,神经元之间突触的联系强度是可变的,这种可变性是学习和记忆的基础。Hebb 法则为构造有学习功能的神经网络模型奠定了基础。1952 年英国生物学家 Hodgkin 和 Huxley 建立了著名的长枪乌贼巨大轴索非线性动力学微分方程,即 H-H 方程。这一方程可用来描述神经膜中所发生的非线性现象如自激震荡、混沌及多重稳定性等问题,所以有重大的理论与应用价值。1954 年,生物学家 Eccles 提出了真实突触的分流模型<sup>[4]</sup>,这一模型由于通过突触的电生理实验得到证实,因而为神经网络模拟突触的功能提供了原型和生理学的证据。1956 年, Uttley 发明了一种有处理单元组成的推理机,用以模拟行为及条件反射。70 年代中期,他把该推理机用于自适应模式识别,并认为该模型能反映实际神经系统工作原理。

1958 年 Rosenblatt 在原有 MP 模型的基础上增加了学习机制<sup>[5]</sup>。他提出的感知器模型,首次把神经网络理论付诸工程实现,他的成功之举大大激发了众多学者对神经网络的兴趣。Rosenblatt 证明了两层感知器能够对输入进行分类,他还提出了带隐层处理元件的三层感知器这一重要的研究方向。

Rosenblatt 的神经网络模型包含了一些现代神经计算机的基本原理,从而形成神经网络方法和技术的重大突破。神经网络的研究迎来了第一次高潮期。

1960 年 Widrow 和 Hoff 提出了 ADALINE 神经网络模型<sup>[6]</sup>,这是一种连续取值的自适应线性神经网络模型,可以用于自适应系统。他们针对输入为线性可分的问题进行了研究,得出期望响应与计算响应的误差可能搜索到全局最小值;在神经元模型中引入了不应期特性;为了研究思维和大脑结合的理论问题, Grossberg 从信息处理的角度,研究了自组织性、自稳定性和自调节规律<sup>[7,8]</sup>;日本科学家 Amari 注重把生物神经网络的行为与严格的数学描述相结合,在数学求解研究上得到一定成果; Willshaw 等人提出了一种称为全息音的模型<sup>[9]</sup>,为利用光学原理实现神经网络奠定了理论基础; Nils-son 对多层机即有隐层的广义认知机作了精辟的论述等<sup>[10]</sup>。上述成果足以表明神经网络研究已获得了广泛的成功。

**1.1.2 第二阶段——低潮时期** 正当一些科学家怀着极大的热情追求神经网络那遥远但并非不可及的目标时,人工智能的创始人之一 Minsky 和 Papert 对以感知器为代表的网络系统的功能及局限性从数学上做了深入研究,于 1969 年出版了轰动一时《Perceptrons》一书,指出简单的线性感知器的功能是有限的,它无法解决线性不可分的两类样本的分类问题,如简单的线性感知器不可能实现“异或”的逻辑关系等。这一论断给当时人工神经网络的研究带来沉重打击,以致美国及前苏联的一些科研机构纷纷停止对此类项目提供资助,而使得这个领域的许多学者不得不转向其他课题的研究,由此出现了神经网络发展史上长达 10 年的低潮期。

使神经网络研究处于低潮的另外一个原因是,20 世纪 70 年代以来,集成电路和微电子技术的迅猛发展,使传统的 Von Neumann 计算机进入全盛时期,基于逻辑符号处理方法的人工智能得到了迅速发展并取得显著成绩,它们的问题和局限性尚未暴露,因此暂时掩盖了发展新型计算机和寻求新的神经网络的必要性和迫切性。

也许 Minsky 的评论是过于苛刻了,不过这一评论一定程度上暴露出当时神经网络研究的局限性,因而有一定的启发性。可喜的是,仍有少数具有远见卓识的科学家持之以恒的继续这一领域的研究,另有一些科学家在此期间新投入到这一领域中,成为低潮期神经网络研究的亮点。

1976 年,美国 Grossberg 教授提出了著名的自

适应共振理论 ART(Adaptive Resonance Theory), 其学习过程具有自组织和自稳定的特征. 其后的若干年中, 他与 Carpenter 一起研究 ART 网络<sup>[11]</sup>, 并有 ART1、ART2 和 ART3 3 个 ART 系统的版本, ART1 网络只能处理二值的输入, ART2 比 ART1 复杂并且能处理连续型输入. ART3 网络纳入了生物神经元的生物电-化学反应机制, 其结构更接近人脑的工作过程.

1972 年, 有两位学者分别在欧洲和美洲发表了类似的神经网络开发结果. 一位是芬兰的 Kohonen T 教授, 提出了自组织神经网络 SOM(Self-Organizing feature map); 另一位是美国的神经生理学家和心理学家 Anderson J, 提出了一个类似的神经网络, 称为“交互存储器”. 后来的神经网络主要是根据 Kohonen T 的工作来实现的<sup>[12]</sup>. SOM 网络是一类无导师学习网络, 主要用于模式识别、语音识别及分类问题. 它采用一种“胜者为王”的竞争学习算法, 与先前提出的感知器有很大的不同, 同时它的学习训练方式是无指导训练, 是一种自组织网络. 这种学习训练方式往往是在不知道有那些分类类型存在时, 用作提取分类信息的一种训练.

低潮期另一位重要人物是日本的福岛邦彦(Kunihiko Fukushima). 他开发了一些神经网络结构和训练算法, 其中最有名的是 1980 年发表的“新认知机”(Neocognitron). “新认知机”是视觉模式识别机制模型, 它与生物视觉理论相结合, 其目的在于综合出一种神经网络模型, 使它像人类一样具有进行模式识别能力.

在整个低潮时期, 上述许多重要研究成果虽然未能得到应有的重视, 但其科学价值不可磨灭, 他们的工作为日后神经网络理论研究的又一次高涨打下了坚实的基础.

**1.1.3 第三阶段——复兴时期** 这是神经网络理论研究的主要发展时期. 1982 年, 美国国家科学院的刊物上发表了著名的 Hopfield 模型的理论<sup>[13]</sup>. Hopfield 神经网络是如下的一组非线性微分方程

$$C_i dU_i/dt = \sum_{j=1}^N T_{ij} f_j[u_j] - u_i/R_i + I_i, \\ (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

其中  $U_i$  是第  $i$  个神经元的膜电位;  $C_i, R_i$  分别是输入电容和电阻;  $I_i$  是电路外的输入电流;  $T_{ij}$  是第  $j$  个神经元对第  $i$  个神经元的联系强度;  $f(u)$  是  $u$  的非线形函数. Hopfield 构造出 Laypunov 函数, 并证明了在  $T_{ij} = T_{ji}$  情况下, 网络在平衡点附近的稳定性, 还将这种模型用电子电路来实现. Hopfield 的

模型不仅对人工神经网络信息存储和提取功能进行了非线性数学概括, 提出了动力方程和学习方程, 还对网络算法提供了重要公式和参数, 使人工神经网络的构造和学习有了理论指导, 在 Hopfield 模型的影响下<sup>[14]</sup>, 大量学者又激发起研究神经网络的热情, 积极投身于这一学术领域中, 神经网络理论研究很快便迎来了第二次高潮.

同年, Marr 开辟了视觉和神经科学研究的新篇章, 他对视觉信息加工和过程进行了全面、系统和深刻的描述, 并与神经实现机制联系起来<sup>[15]</sup>. 1983 年, Kirkpatrick 等人认识到模拟退火算法可用于 NP 完全组合优化问题的求解<sup>[16]</sup>, 这种模拟高温物体退火过程来找寻全局最优解的方法最早于 1953 年由 Metropli 等人提出. 1984 年, Hinton 与年轻学者 Sejnowski 等合作提出了大规模并行网络学习机, 并明确提出隐单元的概念, 这种学习机后来被称为 Boltzmann 机<sup>[17]</sup>. Poggio 等人以 Marr 视觉理论为基础, 提出了初级视觉的正则化方法<sup>[18,19]</sup>. 中国生物物理学家汪云九提出了视觉神经元的广义 Gabor 函数模型以及有关立体视觉、纹理检测、运动方向检测、超视觉度现象等的计算模型.

1986 年, 由 Rumelhart 和 McClelland 主编的有 16 位作者参加撰写的《Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructures of Cognition》<sup>[20]</sup> 一书出版, 在该书中, 他们建立了并行分布处理理论, 主要致力于认知的微观研究, 同时对具有非线性连续转移函数的多层前馈网络的误差反向传播算法即 BP 算法进行了详尽的分析, 解决了长期以来没有权值调整有效算法的难题. 可以求解感知机所不能解决的问题, 回答了《Perceptrons》一书中关于神经网络局限性的问题, 从实践上证实了人工神经网络有很强的运算能力, BP 算法是目前最引人注目、应用最广泛的神经网络算法之一. 该书的出版表明 PDP 理论已达到一个新水平, 在世界各地产生了广泛的影响.

在神经网络的物理实现方面, Mead 和 Conway, Mahowald 等人合作, 研制一种动物神经系统的电子电路模拟, 即硅神经系统, 他们以人的视网膜中锥体细胞的方式来连接一块 VLSI 芯片. 1988 年, Chua 和 Yang 提出了细胞神经网络(CNN)模型<sup>[21,22]</sup>, 它是一个细胞自动机特性的大规模非线性计算机仿真系统; Ksko 建立了双向联想存储模型(BAM)<sup>[23,24]</sup>, 它具有非监督学习能力.

20 世纪 90 年代中后期, 神经网络研究步入了一个新的发展时期, 一方面已有理论在不断深化和

得到进一步推广,另一方面,新的理论和方法也从未停止过其不断开拓的步伐. Edelman 提出的 Darwinism 模型在 20 世纪 90 年代初产生了很大的影响,他建立了一种神经网络系统理论,以 Darwinism III 为例,其组成包括输入阵列、Darwin 网络和 Nal-lance 网络,而这两个网络又包含一些功能不同的子网络等;1991 年, Haken 把协同学引入神经网络,在他的理论框架中,他认为,认知过程是自发的,并断言模式识别过程即是模式形成过程;后来,中国学者吴佑寿等人提出了一种激励函数可调的神经网络模型,试图对先验知识加以利用. 1994 年,廖晓昕关于细胞神经网络的数学理论与基础的提出,带来了这个领域新的进展<sup>[25]</sup>. 这一时期,另一些新的发展方向也非常的引人关注.

以光学方法来实现神经网络,即光学神经网络,由于能充分发挥光学强大的互连能力和并行处理能力,因而受到重视. Wunsch 在 1990 OSA 年会上提出一种光电 ART,它的主要计算强度由光学硬件完成. 1995 年, Jenkins 等人研究了光学神经网络(PNN),建立了光学二维并行互连与电子学混合的光学神经网络系统<sup>[26]</sup>. 其他还有 McAulay 等学者致力于将电子俘获材料用于光学神经网络等等<sup>[27,28]</sup>.

鉴于非线性系统控制问题的复杂性,一些学者试图通过神经网络方法来解决此类问题. 1990 年 Narendra 和 Parthasarathy 提出了一种推广的动态神经网络系统即其连接权的学习算法<sup>[29]</sup>,增强了非线性系统控制的鲁棒性. 戴先中等人提出了连续非线性系统的神经网络( $\alpha$  阶逆系统控制方法)<sup>[30]</sup>. Miller 等人在小脑模型关节控制器(CAMC)基础上,提出的非线性系统控制方法<sup>[31]</sup>,具有局部逼近和修改权极小的特点,但存在由于采用间断超平面对非线性曲面进行逼近而有时会出现精度不够的

问题. 1993 年 Bulsari 提出以乘积 Sigmodial 函数作为激发函数<sup>[32]</sup>,给出了非线性系统用神经网络逼近的构造性描述等等.

随着人们发现人脑中存在着混沌现象,一些科学家进而又提出了混沌神经网络理论. 1991 年 Aibara 等在前人推导和实验的基础上,给出一个混沌神经元模型<sup>[33]</sup>. 1991 年 Inoue 等提出用耦合混沌振荡子作为单个神经元构造混沌神经网络模型的方法<sup>[34,35]</sup>. 耦合混沌振荡子的同步和异步分别对应神经元激活和抑制两个状态. 虽然混沌是由简单的确定性规则产生的,但它包含规则性和不规则性两个方面,耦合的混沌振荡子的同步来自规则性,而不规则性可产生随机搜索能力.

考虑到人的思维及表达上常具有模糊性,一些学者把神经网络的研究与模糊系统联系起来,从而导致了模糊神经网络的产生<sup>[36,37]</sup>. Hiroyuki Qkada 等人把模糊神经网络模型用于金融风险评估,他们提出了由 Sigmoid 型节点和线性节点构成的模糊神经网络模型<sup>[38]</sup>,其中的模糊规则由领域专家给出. 该模型具有网络结构简单、模糊规则易于理解、有学习能力及能充分利用专家知识等特点,不足在于该网络连接结构及其权值的确定过分依赖领域专家的知识,而专家知识的获取、有时会比较困难. Cai Yaling 等人提出了由 3 种不同类型节点构成的模糊神经网络模型<sup>[39]</sup>,该网络具有能够对学习样本快速记忆,不需要领域专家知识指导等优点,但在学习样本较多时,规则数量较大时应用不理想. 模糊神经网络在工业控制、金融时间序列分析、风险评估等方面预计有较大的应用潜力.

经过多年的发展,目前已有上百种的神经网络模型被提出,表 1 列出了神经网络发展过程中起过重要作用的十几种著名神经网络,它也是神经网络发展史的一个缩影.

表 1 重要影响神经网络  
Tab. 1 Important Neural Networks

网络名称	发明者	时间	特点	局限性	典型应用领域
感知器 (Perceptron)	Frank Rosenblatt (康奈尔大学)	1958	最早的神经网络,有学习能力,只能进行线性分类	不能识别复杂字符,与输入模式的大小、平移和旋转敏感	文字识别、声音识别和学习记忆等
自适应线性单元 (Adaline)	Bernard Widrow (斯坦福大学)	1960~1962	学习能力较强,较早开始商业应用	要求输入-输出之间是线性关系	雷达天线控制、自适应回波抵消等

网络名称	发明者	时间	特点	局限性	典型应用领域
小脑自动机 (Cerellatron)	Marr D. (麻省理工学院)	1969~1982	能调和各种指令系列,按需要缓慢地插入动作	需要复杂的控制输入	控制机器人的手臂运动
误差反传网络 BP (Back Propagation)	Werbs P. (哈佛大学) Rumelhart D. (斯坦福大学) McClelland(斯坦福大学)	1974~1985	多层前馈网络,采用最小均方差学习方式,是目前应用最广泛的网络	需要大量输入-输出数据,训练时间长,易陷入局部极小	语音识别、过程控制、模式识别等
自适应共振理论 ART (Adaptive Resonance Theory)	Carpenter G. Grossberg S. (波士顿大学)	1976~1990	可以对任意多个和任意复杂的二维模式进行自组织学习	受平移、旋转和尺度的影响;系统较复杂.	模式识别,长于识别复杂、未知模式
盒中脑 BSB 网络 (Brain State in a Box)	James Anderson (布朗大学)	1977	具有最小均方差的单层自联想网络,类似于双向联想记忆,可对片断输入补全	只能作一次性决策,无重复性共振	解释概念形成、分类和知识处理
新认知机 (Neocognition)	Fukushima K. (日本广播协会)	1978~1984	多层结构化字符识别网络,与输入模式的大小、平移和旋转无关,能识别复杂字型	需要大量加工单元和联系	手写字母识别
自组织特征映射网络 SOM (Self-Organizing feature map)	Tuevo Konhonen(芬兰赫尔辛基技术大学)	1980	对输入样本自组织聚类,可映射样本空间的分布	模式类型数需要事先知道	语音识别、机器人控制,图像处理等
Hopfield 网络	John Hopfield (加州理工学院)	1982	单层自联想网络,可从缺损或有噪声输入中恢复完整信息	无学习能力,权值要预先设定	求解 TSP 问题,优化计算及联想记忆等
玻尔兹曼机 (Boltzman machine); 柯西机(Cauc-hy machine)	Hinton J. (多伦多大学) Sejnow-ski T. (霍布金斯大学)	1985~1986	采用随机学习算法的网络,可训练实现全局最优	玻尔兹曼机训练时间长;柯西机在某些统计分布下产生噪声	图像、声纳和雷达等的模式识别
双向联想记忆网 BAM (Bi-directional Associative Memory)	Bart Kosko (南加州大学)	1985~1988	双向联想式单层网络,有学习功能,简单易学	存储的密度低,数据必须能编码	内容寻址的联想记忆
双向传播网 CPN(Counter Propagation)	Robert Hecht-nielsen(美国)	1986	一种在功能上作为统计最优化和概率密度函数分析的网络	需要大量处理单元和连接,要高度准确	神经网络计算机,图像处理和统计分析

### 1.2 人工神经网络国内外研究状况

随着人工神经网络 20 世纪 80 年代在世界范围内的复苏,国内也逐步掀起了研究热潮. 1989 年 10 月和 11 月分别在北京和广州召开了神经网络及其应用讨论会和第一届全国信号处理—神经网络学术会议;1990 年 2 月由国内八个学会(中国电子学会、人工智能学会、自动化学会、通信学会、物理学会、生物物理学会和心理学会)联合在北京召开“中国神经网络首届学术会议”. 这次大会以“八学会联盟,探智能奥秘”为主题,收到了 300 多篇学术论

文,开创了中国人工神经网络及神经计算机方面科学研究的新纪元. 经过十几年的发展,中国学术界和工程界在人工神经网络的理论研究和应用方面取得了丰硕成果,学术论文、应用成果和研究人員逐年增加.

在国际上,1987 年,在美国加洲召开了第一届国际神经网络学会. 此后每年召开两次国际联合神经网络大会(IJCNN). 不久,该学会创办了刊物 Journal Neural Networks,另有十几种国际著名的神经网络学术刊物相继问世. 至此,神经网络理论

研究在国际学术领域获得了其应有的地位。

## 2 神经网络的发展与展望

经过近半个世纪的发展,神经网络理论在模式识别、自动控制、信号处理、辅助决策、人工智能等众多研究领域取得了广泛的成功。关于学习、联想和记忆等具有智能特点过程的机理及其模拟方面的研究正受到越来越多的重视。目前神经网络研究与发展主要集中在以下5个方面。

### 2.1 神经生理学、神经解剖学研究的发展

通过神经网络研究的发展,人们对人脑一些局部功能的认识已经有所提高,如对感知器的研究,对视觉处理网络的研究,对存储与记忆问题的研究等都取得一定的成功。遗憾的是,这些成功一方面还远不够完善,另一方面,在对人脑作为一个整体的功能的解释上几乎起不到任何作用。科学家已经积累了大量关于大脑组成、大脑外形、大脑运转基本要素等知识,但仍无法解答有关大脑信息处理的一些实质问题<sup>[40]</sup>。

整体功能决不是局部功能的简单组合而是一个巨大的质的飞跃,人脑的知觉和认知等过程是包含着一个复杂的动态系统中对大量神经元活动进行整合的统一性行动。由于人们对人脑完整工作过程几乎没有什么认识,连一个稍微完善的可令人接受的假设也没有,这造成神经网络研究始终缺乏一个明确的大方向。这方面如果不能有所突破,神经网络研究将始终限于模仿人脑局部功能的缓慢摸索过程当中,而难以达到研究水平的质的飞跃。

### 2.2 与之相关的数学领域的研究与发展

神经元以电为主的生物过程在认识上一般采用非线性动力学模型,其动力学演变过程往往是非常复杂的,神经网络这种强的生物学特征和数学性质,要求有更好的数学手段<sup>[42,43]</sup>。而对解决非线性微分方程这样的问题,稍微复杂一些的便没有办法利用数学方法求得完整的解<sup>[41]</sup>。这使得在分析诸如一般神经网络的自激振荡、稳定性、混沌等问题时常常显得力不从心,更不用说,当我们面对人脑这样的由成千上万个神经元网络子系统组成的巨系统,而每个子系统(具有某种特定功能)又可能由成千上万个神经元组成,每个神经元本身是一个基本的非线性环节。

因此,笔者认为,当今神经网络理论的发展,已经客观要求有关数学领域必须有所发展,并大胆预期一种更简洁、更完善和更有效的非线性系统表达与分析的数学方法是这一领域数学发展的主要目

标之一。

### 2.3 神经网络应用的研究与发展

从神经网络发展过程看,理论研究经常走在前列,有时会超出实际使用阶段。虽然说理论研究和实际应用可以相辅相成,但实际需求总是科技发展的主要推动力。目前,在神经网络实用上,虽然有不少实际应用成果报道,如智能控制、模式识别及机器人控制等。但真正成熟的应用还比较少见。在这方面,作者重点研究了神经网络在故障诊断领域的应用,如将神经网络与信息融合技术相结合,构造出一神经网络信息融合分类器,并将其应用于电子设备故障诊断之中,取得了比较好的应用效果<sup>[48~50]</sup>;

### 2.4 神经网络硬件的研究与发展

要真正实现神经网络计算机,则神经网络芯片设计与生产技术必须有实质性的进展。目前,在单片上集成数百个神经元的制作技术已经没有困难,但这种水平与神经网络实际应用的要求尚有较大距离。神经网络硬件设计和理论研究相比,要落后很多<sup>[42]</sup>。因此,这也是神经网络研究发展的重要方向之一。在这方面,光学技术是实现神经网络及神经计算机的一个比较理想的选择。因为光学技术具有非常好的固有特性,主要体现在:高驱动性、较高的通信带宽、以光速并行传递信息等。虽然光学神经计算机实现技术目前还不成熟,其商品化大规模实现还有待时日,但一些光学神经元器件、光电神经计算机研究已表现出广阔的发展和应用潜力,并引起相应领域的充分关注。

### 2.5 新型神经网络模型的研究

为了推动神经网络理论的发展,除了期待神经生理学等研究突破外,将神经网络与其他理论交叉结合,研究新型神经网络模型,也是神经网络研究发展方向之一。如将之与混沌理论相结合产生的混沌神经网络理论<sup>[34,35]</sup>;再如将量子力学与神经网络的结合,研究量子神经网络<sup>[44~47]</sup>,实现功能强大的量子神经计算就是目前神经网络研究的热点之一。在模型研究方面,作者将模糊集合论(Fuzzy)与小脑神经网络(CMAC)相结合,研究了模糊小脑神经网络(FCMAC)的组织运行原理,并将其应用到动态非线性系统的在线故障辨识之中<sup>[51,52]</sup>,较好地解决了非线性动态系统容错控制问题。

## 3 结 语

在回顾了人工神经网络发展历史的基础上,结合作者的研究工作和体会,对人工神经网络学科的

发展作出了进一步的展望. 虽然神经网络理论研究有着非常广阔的发展前景,但历来这个领域的研究就是既充满诱惑又不乏挑战的. 没有人能肯定它的发展不会再经受挫折,也没有人知道一旦成功实现

其最终目标会给科技界带来多大的辉煌和巨变. 有理由相信,只要坚持不懈地努力,来自神经网络理论研究的一些新理论和新方法必定会给 21 世纪科学研究带来源源不断的动力.

## 参考文献:

- [1] 董军,胡上序. 混沌神经网络研究进展和展望[J]. 信息与控制,1997,26(5):360—368.
- [2] MCCLOCH W S, PITTS W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity[J]. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, 1943,10(5):115—133.
- [3] HEBB D O. The Organization of Behavior[M]. New York:Wiley,1949.
- [4] ECCLES J C. Cholinergic and inhibitory synapses in a pathway from motor-axon collaterals to motorneurons[J]. **Journal Physiology**,1954, 126:524.
- [5] ROSENBLATTT F. The perception: A probabilistic model for information storage and organization in the brain[J]. **Psychological Review**,1958, 65:386—408.
- [6] WIDROW B, HOFF M E. Adaptive Switching Circuits[A]. IRE WESCON convention record:part4. Computers; Machine Systems[C]. Los Angeles:1960,96—104.
- [7] GROSSBERG S. On the serial learning of lists[J]. **Bio-science**,1969,10(4):201—253.
- [8] GROSSBERG S. Some networks that can learn, remember and reproduce any number of compialted space-time patterns II [J]. **Study Applied Mathematics**, 1970,11(49):135—166.
- [9] WILLSHAW D J, BUNEMAN O P. A holographic neural networks[J]. **Nature**,1969, 222:960.
- [10] NILSSON N J. Learning Machines; Foundations of Trainable Pattern Classifying Systems[M]. New York: McGraw-hill, 1965.
- [11] CARPENTER G A, GROSSBERG S. The ART of adaptive pattern recognition by self-organizing neural network[J]. **Trans IEEE on Computer**,1988,15(1):77—88.
- [12] KOHONEN T. Self-organization and associative memory[M]. New York: third Edition Spring-Verlag,1989.
- [13] HOSPFIELD J. Neural networks and physical systems with emergent collective computer abilities[J]. **Proc Natl Acad Sci**, 1982, 79(6):2554—2558.
- [14] HOPFIELD J. Computing with neural circuits: A Model[J]. **Science**, 1986,233:625—633.
- [15] MARR D. Vision and neural networks[M]. San Francisco: W H Freeman,1982.
- [16] KIRKPATRICK S, GELLAT JR C D, VEECHI M P. Optimization by simulated annealing[J]. **Science**,1983, 220, (4598):671—681.
- [17] HINTON G E, SEJUOWSHI T J, ACKLEY D H. Boltzmann Machines; Cotraint Satisfaction Networks that Learn[R]. Carnegiemellon University Tech, Report CMU-CS-84-119,1984.
- [18] PIGGIO T. An analog model of Computation for III -posed Problems of Early Vision[R]. **Artificial Intelligence Lab Memo**,783,MIT,1984.
- [19] PIGGIO T. Computational vision and regularization theory[J]. **Nature**,1985,21(3):314—319.
- [20] MCCLELLAND J L, RUMELHARD D E. Exploration in parallel distributed processing, A Handbook of Models, Programs, and Exercises[M]. Cambridge: MIT Press, 1986.
- [21] CHUA L O, YAND L. Celluar Neural Networks: application[J]. **IEEE Transactions on Circuits and Ssystems**,1988,28 (35):1257—1272.
- [22] CHUA L O, YAND L. Celluar Neural Networks: Theory[J]. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, 1988, 28(35): 1237—1290.
- [23] KOSKO B. Adaptive bidirectional associative memories[J]. **Applied Optical**, 1987, 26(23):4667—4680.
- [24] KOSKO B. Bidirectional associative memories[J]. **IEEE Transactions On Man, System and Cybernitics**, 1988, 26(18):49—59.
- [25] 廖晓昕. 细胞神经网络的数学理论( I )、( II ) [J]. 中国科学(A 辑), 1994, 24(9):902—910; 24(10):1037—1046.
- [26] JENKINS B K, A R TANGUAY. Jr Optical Architectures for Neural Network Implementation, Handbook of Neural Computing and Neural Networks[M]. Boston: MIT Press, 1995:673—677.

- [27] MCAULAY A D, WANG, MA C. Optical hetero-associative memory using spatial light re-broadcasters[J]. **Applied Optical**, 1990, 29(14):2067—2073.
- [28] 阮昊,陈述春,戴凤妹,等. 利用电子俘获材料实现 IPA 神经网络[J]. 光学学报, 1997,17(6):766—771.
- [29] NARENDRA K, PARTHASSARTHY K. Identification and control of dynamical systems using neural networks[J]. **IEEE Transactions on Neural Networks**,1990, 1(1): 4—27.
- [30] 戴先中,刘军,冯纯伯. 连续非线性系统的神经网络  $\alpha$  阶逆系统控制方法[J]. 自动化学报, 1998,24(4):463—468.
- [31] MILLER W T. Real-time Application of neural networks for sensor- based control of robotts, With Vision[J]. **IEEE, Transactions on Man, System and Cybernitics**, 1989, 27(19):825—831.
- [32] BULSARI A. Some Analytical solutions to the general approximation problem for feedback neural networks[J]. **Neural networks**, 1993, 28(6):991—996.
- [33] AIBARA K. Chaotic neural networks[J]. **Physical Letter A**, 1991, 158(8):373—376.
- [34] INOUE M, NAGAYOSHI A. A Chaos Neural-computer[J]. **Physical Letter A**, 1991, 158(8):373—376.
- [35] INOUE M, NAKAMOTO K. Epilepsy in a chaos neural -computer model, chaos in biology and medicine[J]. **SPIE**, 1993, 236, :77—84.
- [36] SATORU ISAKA. On Neural Approximation of Fuzzy System[A]. In: Proceedings of INCNN'92[C]. New York: IEEE, 1992,1263—1268.
- [37] JOKINEN PETRI A. On the Relations Between Radial Basis Function Networks and Fuzzy System[A]. In: Proceedings of INCNN92[C]. New York: IEEE, 1992. 1220—1225.
- [38] OKADA HIROYUKI. Initializing Multilayer Neural Network with Fuzzy Logic[C]. In: Proceedings of INCNN'92, New York: IEEE, 1992. 1239—1244.
- [39] CAI YALING, HON KEUNG KWAN. A Fuzzy Neural Network with Fuzzy Classification[A]. In : proceedings of ASME SCI94[C]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 1994. 894—899.
- [40] 胡守仁,余少波,戴葵. 神经网络导论[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1992.
- [41] 冯纯伯,费树岷. 非线性控制系统分析与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 1998.
- [42] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2002.
- [43] 廖晓昕. 论 Hopfield 神经网络中物理参数的数学内蕴[J]. 中国科学(A 辑), 2003,33(2):127—136.
- [44] PERUS M. ECIMOVIC P. Memory and pattern recognition in associative neural networks[J]. **International Journal of Applied Science and Computation**, 1998(4):283—310.
- [45] VENTURA D, MARTINEZ R. Quantum associative memory[J]. **Information Sciences**, 2000,124:147—148.
- [46] VENTURA D. Quantum computing and neural information processing[J]. **Information Sciences**, 2000,128:273—296.
- [47] 解光军,杨俊安,庄镇泉. 基于量子双缝干涉实验的神经网络模型[J]. 模式识别与人工智能, 2003,16(1):28—33.
- [48] ZHU DAQI, XU ZHENPING, YU SHENGLIN, *et al*. The studies of analog circuit fault diagnosis based multi-sensors neural network data fusion technology[J]. **International Journal on Dynamics of Continuous, Discrete and Impulse Systems**, 2003,10(3):1560—1563.
- [49] 朱大奇,于盛林. 电子电路故障诊断的神经网络数据融合算法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2001,31(6):87—90.
- [50] 朱大奇,于盛林. 应用模糊数据融合实现电子电路的故障诊断[J]. 小型微型计算机系统, 2002,23(5):633—636.
- [51] 朱大奇,陈小平. 计算机过程控制技术[M]. 南京:南京大学出版社, 2001.
- [52] 朱大奇. 航空电子设备故障诊断新技术研究:[博士学位论文][D]. 南京:南京航空航天大学, 2002.

(责任编辑:戴陵江,彭守敏)



作者：[朱大奇](#)  
作者单位：[江南大学, 通信与控制工程学院, 江苏, 无锡, 214036](#)  
刊名：[江南大学学报\(自然科学版\)](#)   
英文刊名：[JOURNAL OF SOUTHERN YANGTZE UNIVERSITY\(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)  
年, 卷(期)：2004, 3(1)  
被引用次数：35次

参考文献(52条)

1. [WILLSHAW D J;BUNEMAN O P A holographic neural networks](#)[外文期刊] 1969
2. [Grossberg S Some networks that can learn, remember and reproduce any number of compialted space-time patterns II](#) 1970(49)
3. [Grossberg S On the serial learning of lists](#)[外文期刊] 1969(04)
4. [Widrow B;HOFF M E Adaptive Switching Circuits](#) 1960
5. [朱大奇 航空电子设备故障诊断技术研究](#)[学位论文] 2002
6. [朱大奇;陈小平 计算机过程控制技术](#) 2001
7. [朱大奇;于盛林 应用模糊数据融合实现电子电路的故障诊断](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2002(05)
8. [朱大奇;于盛林 电子电路故障诊断的神经网络数据融合算法](#)[期刊论文]-[东南大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(06)
9. [Zhu Daqi;XU ZHENPING;YU SHENGLIN The studies of analog circuit fault diagnosis based multi-sensors neural network data fusion technology](#) 2003(03)
10. [解光军;杨俊安;庄镇泉 基于量子双缝干涉实验的神经网络模型](#)[期刊论文]-[模式识别与人工智能](#) 2003(01)
11. [VENTURA D Quantum computing and neural information processing](#)[外文期刊] 2000
12. [VENTURA D;MARTINEZ R Quantum associative memory](#)[外文期刊] 2000(1/4)
13. [Perus M;ECIMOVIC P Memory and pattern recognition in associative neural networks](#) 1998(04)
14. [廖晓昕 论Hopfield神经网络中物理参数的数学内蕴](#)[期刊论文]-[中国科学A辑](#) 2003(02)
15. [韩力群 人工神经网络理论、设计及应用](#) 2002
16. [冯纯伯;费树岷 非线性控制系统分析与设计](#) 1998
17. [胡守仁;余少波;戴葵 神经网络导论](#) 1992
18. [Cai Yaling;HON KEUNG KWAN A Fuzzy Neural Network with Fuzzy Classification](#) 1994
19. [OKADA HIROYUKI Initializing Multilayer Neural Network with Fuzzy Logic](#)[外文会议] 1992
20. [JOKINEN PETRI A On the Relations Between Radial Basis Function Networks and Fuzzy System. In:](#) 1992
21. [ROSENBLATTT F The perception: A probabilistic model for information storage and organization in the brain](#)[外文期刊] 1958
22. [ECCLES JC Cholinergic and inhibitory synapses in a pathway from motor-axon collaterals to motoneurones](#) 1954
23. [Hebb D O The Organization of Behavior](#) 1949
24. [MCCLOCH W S;PITTS W A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity](#) 1943(10)
25. [SATORU ISAKA On Neural Approximation of Fuzzy System](#) 1992
26. [Inoue M;NAKAMOTO K Epilepsy in a chaos neural -computer model, chaos in biology and medicine](#) 1993
27. [Inoue M;NAGAYOSHI A A Chaos Neural-computer](#)[外文期刊] 1991(08)

28. [AIBARA K Chaotic neural networks](#) 1991(08)

29. [Bulsari A Some Analytical solutions to the general approximation problem for feedback neural networks](#) 1993(06)

30. [Miller W T Real-time Application of neural networks for sensor- based control of robotts, With Vision](#)[外文期刊] 1989(19)

31. [戴先中;刘军;冯纯伯 连续非线性系统的神经网络  \$\alpha\$  阶逆系统控制方法](#)[期刊论文]-[自动化学报](#) 1998(04)

32. [NARENDRA K;PARTHASSARTHY K Identification and control of dynamical systems using neural networks](#) [外文期刊] 1990(01)

33. [阮昊;陈述春;戴凤妹 利用电子俘获材料实现光学IPA神经网络模型](#)[期刊论文]-[光学学报](#) 1997(06)

34. [Mcaulay A D;WANG MA C Optical hetero-associative memory using spatial light re-broadcasters](#)[外文期刊] 1990(14)

35. [JENKINS B K;A R TANGUAY Jr Optical Architectures for Neural Network Implementation](#) 1995

36. [廖晓昕 细胞神经网络的数学理论\( I \)](#) 1994(10)

37. [Kosko B Bidirectional associative memories](#) 1988(18)

38. [Kosko B Adaptive bidirectional associative memories](#) 1987(23)

39. [Chua L O;YAND L Celluar Neural Networks](#) 1988(28)

40. [Chua L O;YAND L Celluar Neural Networks: application](#) 1988(28)

41. [MCCLELLAND J L;RUMELHARD D E Exploration in parallel distributed processing, A Handbook of Models](#) 1986

42. [PIGGIO T Computational vision and regularization theory](#)[外文期刊] 1985(03)

43. [PIGGIO T An analog model of Computation for III-posed Problems of Early Vision](#) 1984

44. [Hinton G E;SEJUOWSHI T J;ACKLEY D H Boltzmann Machines:](#)

45. [Kirkpatrick S;GELLAT JR C D;VEECHI M P Optimization by simulated annealing](#)[外文期刊] 1983(4598)

46. [MARR D Vision and neural networks](#) 1982

47. [Hopfield J Computing with neural circuits: A Model](#) 1986

48. [HOSPFIELD J Neural networks and physical systems with emergent collective computer abilities](#)[外文期刊] 1982(06)

49. [Kohonen T Self-organization and associative memory](#) 1989

50. [Carpenter G A;GROSSBERG S The ART of adaptive pattern recognition by self-organizing neural network](#) 1988(01)

51. [Nilsson N J Learning Machines: Foundations of Trainable Pattern Classifying Systems](#) 1965

52. [董军;胡上序 混沌神经网络研究进展和展望](#) 1997(05)

**本文读者也读过(1条)**

1. [李飞, 郑宝玉, 赵生妹 量子神经网络及其应用](#)[期刊论文]-[电子与信息学报](#)2004, 26(8)

**引证文献(35条)**

1. [孙妍姑 基于BP神经网络的图像识别技术研究](#)[期刊论文]-[淮南师范学院学报](#) 2010(5)

2. [徐红升, 张瑞玲 ART与概念相似在电子商务推荐系统中的应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2010(7)

3. [王光芦, 徐明, 李大鹏 飞机飞行振动预计技术](#)[期刊论文]-[航空工程进展](#) 2010(3)

4. 王光芦, 徐明 飞机飞行振动预计技术研究[期刊论文]-装备环境工程 2010(6)
5. 段波 人工神经网络在尿石症诊疗中的应用现状[期刊论文]-国际泌尿系统杂志 2010(2)
6. 李会玲, 柴秋燕 人工神经网络与神经网络控制的发展及展望[期刊论文]-邢台职业技术学院学报 2009(5)
7. 杨霞 基于神经网络的加固计算机振动仿真系统[期刊论文]-计算机工程与设计 2009(24)
8. 基于主动进化的神经网络优化算法[期刊论文]-计算机工程与科学 2009(12)
9. 改进模糊神经网络无刷直流电机控制系统设计[期刊论文]-计算机仿真 2009(10)
10. 汤素丽, 罗宇锋 人工神经网络技术的发展与应用[期刊论文]-电脑开发与应用 2009(10)
11. 李世超, 石秀华, 崔海英, 许晖 基于遗传小波神经网络的双余度电机故障诊断[期刊论文]-振动、测试与诊断 2009(2)
12. 徐红升, 王听忠 基于形式概念分析与评分机制的本体查询系统[期刊论文]-洛阳师范学院学报 2009(2)
13. 刘淑英, 邹燕飞 神经网络与模式分析的典型应用[期刊论文]-福建电脑 2009(8)
14. 黄自强, 杨建国, 项前, 吕志军 基于MCR和远程处理的神经网络计算服务[期刊论文]-微计算机信息 2008(36)
15. 肖毅, 张辉 中国乒乓球队奥运攻关研究报告——基于人工神经网络的乒乓球比赛诊断模型研究[期刊论文]-体育科研 2008(6)
16. 杨艳 人工神经网络和支持向量机在剪接位点识别上的应用[期刊论文]-科技资讯 2007(22)
17. 郭文生 基于数据挖掘的假日旅游状态预测和分析方法研究[学位论文]博士 2007
18. 蔚东晓, 贾霞彦 模糊控制的现状与发展[期刊论文]-自动化与仪器仪表 2006(6)
19. 王红 基于ART神经网络的中文文档分类识别方法研究[期刊论文]-情报理论与实践 2006(5)
20. 谷小青, 易当祥, 刘春和 遗传算法优化神经网络的拓扑结构与权值[期刊论文]-广东工业大学学报 2006(4)
21. 吴宴华 改进的神经网络算法在故障诊断模型中的应用[学位论文]硕士 2006
22. 许楠 基于神经网络的在线手写签名验证方法研究[学位论文]硕士 2006
23. 方彩婷 基于BP神经网络的图像识别与跟踪研究[学位论文]硕士 2006
24. 李靖 基于BP神经网络的水力旋流器工作参数的预测研究[学位论文]硕士 2006
25. 王志斌 水力旋流器分离过程非线性随机特性研究[学位论文]博士 2006
26. 薛梅 基于模糊神经网络的开关磁阻电机自适应控制[学位论文]硕士 2005
27. 李志强 基于RBF神经网络在线辨识的永磁无刷直流电机单神经元自适应PID控制[学位论文]硕士 2005
28. 秦文波 基于人工神经网络的知识冲突识别模型[学位论文]硕士 2005
29. 罗一忠 大面积采空区失稳的重大危险源辨识[学位论文]博士 2005
30. 吕金平 集成计算智能方法的研究及其在线切割加工中的应用[学位论文]硕士 2005
31. 汤承林 基于模糊推理和神经网络理论的畜禽疾病诊断专家系统的研究与实现[学位论文]硕士 2005
32. 宋玉玲 粗晶材料超声检测信号的小波神经网络处理研究[学位论文]硕士 2005
33. 冯云 一种基于神经网络和多元统计分析的动态预测建模方法[学位论文]硕士 2005
34. 彭淑敏 神经网络图像识别技术研究[学位论文]硕士 2005
35. 王明超 基于RBF神经网络的开关磁阻电机无位置传感器控制及单神经元PID控制[学位论文]硕士 2004

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jiangndxxb200401027.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jiangndxxb200401027.aspx)