

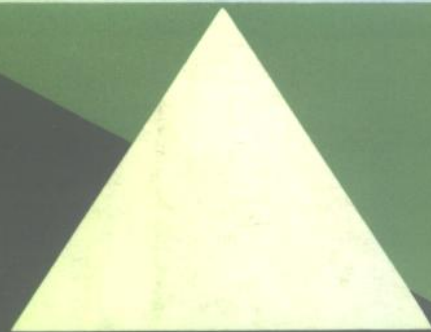
'95 卷

大连理工大学教授学术丛书

# 神经网络 模型

NEURAL  
NETWORK  
MODEL

陈明 著



大连理工大学出版社

大连理工大学教授学术丛书 '95 卷

# 神经网络模型

陈明 著

大连理工大学出版社

**The Professors Academic Works Series  
of the Dalian University of Technology '95**

# **Neural Network Model**

**Chen Ming**

**Dalian University of Technology Press**

(辽)新登字 16 号

**图书在版编目(CIP)数据**

神经网络模型/陈明著. —大连:大连理工大学出版社,1995.12

(大连理工大学教授学术丛书'95卷)

ISBN 7-5611-1150-9

I. 神… I. 陈… III. 神经网络-生物模型  
N. Q811.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 12855 号

大连理工大学教授学术丛书'95卷

**神经网络模型**

陈明著

\* \* \*

大连理工大学出版社出版发行  
(大连市凌水河 邮政编码 116024)

大连海事大学印刷厂印刷

\* \* \*

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.625 字数: 221千字  
插页: 4

1995年12月第1版 1995年12月第1次印刷  
印数: 1—3000册

\* \* \*

责任编辑: 郭学满 责任校对: 蒋浩  
封面设计: 孙宝福

\* \* \*

ISBN 7-5611-1150-9

定价: 14.00元

TP • 105

---

## 前 言

万物之灵的人类对外部世界的认识已达到令人惊叹的高度。在宏观上远及亿万光年的宇宙,在微观上已达层子、夸克世界。然而,具有高度智慧和思维的人类对自身的研究与了解,尤其是对思维和智能的本质认识都相当肤浅。人工神经网络正是人类在认识自身,对生物神经网络的研究基础之上而产生的智能仿生模型。

Fuzzy 逻辑、人工神经网络、进化算法和混沌系统等都属于软计算方法。所谓的软计算是指只求近似而非精确解的有效计算方法的集合。软计算的目的是利用对不精确性、不确定性的容忍来达到问题的可处理性和鲁棒性。

### ● 模糊逻辑(Fuzzy Logic)

在 17 世纪,牛顿和莱布尼兹创立微积分,使数学的发展产生了飞跃。利用数学可以将力学、电磁学等基本规律表示成相应的微分方程,建立起严密完整的数学公式系统。随着计算技术的发展,实现了高精度的数学运算,以致数学被人们看做是严谨、精确的象征与化身。

但是,随着社会的发展,要求数学研究与解决的问题日益复杂,并且很难以精确化。不兼容原理指出:当一个系统的复杂性增大时,则使其精确化的能力就减小,在达到一定阈值(即限度)之上时,复杂性与精确性将互相排斥。另一方面,过去与数学联系较少的学科,例如生物学、心理学等社会和人文学科都迫切要求数学化、定量化,并具有模糊性,经典数学很难进入这些学科的大门。因此,需要研究和处理具有模糊性概念的数学,为这些学科提供新的数学描述语言和工具,这就是模糊数学。

模糊数学与模糊逻辑是用数学与逻辑理论和方法研究模糊性问题,并不是数学与逻辑模糊化。模糊性主要是指客观事物差异的中间过渡中的不分明性,该类事物无明确的外延,可按程度分级描述。

模糊逻辑在模糊控制、模式识别和人工智能方面表现出了巨大潜力和广泛应用前景。

### ● 遗传算法(Genetic Algorithm)

遗传算法是基于自然选择和自然遗传机理提出的一种搜索算法。该算法将最适应的串的信息与随机的信息交换相结合,具有人类搜索的创新思想。遗传算法并不是简单的随机漫步,可以通过对历史信息有效地搜索来推测具有更好的期望性能的新的信息。

遗传算法是由 Michigan 大学的 John Holland 提出,当时他们进行遗传算法研究的目的是:概括并严格解释自然系统的自适应过程;设计人工系统软件,使其能够保持自然系统的某些重要机制。这个方法在自然系统和人工系统科学中均导致了重要发现。

遗传算法的研究热点一直是鲁棒性问题。人工系统的鲁棒性的含义是多方面的。如果人工系统能够被构造得更加健全,则重新设计的费用可以降低或者消除;如果可以得到较高的适应水平,则目前存在的系统可以更好地并且更长久地完成它们的功能。人工系统的软件和硬件设计者们惊叹生物系统的鲁棒性、效率和灵活性,自修复、自导引及再生是生物系统的规则,即使最复杂的人工系统也几乎不具有这些特点。

### ● 混沌(Chaos)

混沌现象是指自然界客观存在的一种运动形态,它是在严格的规律性和基于纯粹偶然的随机性之间的一种行为,混沌普遍存在于我们周围。

关于混沌,目前还无标准定义,其典型特征可概括为:非线性、对初始条件的敏感性、分流行为的持久的无规律性等。

混沌理论可用于理解、操纵和控制变化的系统。

### ● 人工神经网络(Artificial Neural Network)

人工神经网络是基于连接学说构造的智能仿生模型,它是由大量神经元组成的非线性动力学系统。人工神经网络是算法与结构的统一体,也是硬件与软件的混合体。具有非线性、非局域性、非定常性和非凸性等特点,主要研究非程序的、自适应性的和脑模式的信息处理的本质与能力。人工神经网络的研究与发展将对人工智能、认知科学、自动控制等学科产生重大影响。

本书包含六章。第一章为神经网络模型基础,其中包括神经网络产生与发展、神经元数理模型、网络拓扑、学习规则、Fuzzy 逻辑与混沌等。第二章为前馈神经网络,主要包括感知器、前馈层次神经网络及学习算法等。第三章为自组织神经网络模型,主要包括竞争学习、Kohonen 神经网络和 ART 神经网络等。第四章为反馈神经网络模型,主要包括 Hopfield 神经网络和 Hamming 神经网络等。第五章为概率神经网络模型,主要包括 Boltzmann 机和 Cauchy 机等,第六章为视觉神经网络模型,主要包括 Omori 神经网络和 Marshall 神经网络等。

作者在神经网络模型研究中,曾得到了大连理工大学计算机技术研究所所长李明慧教授、信息工程研究所所长、博士生导师王宏禹教授、吉林大学计算机科学研究所所长、博士生导师刘叙华教授的指点、帮助与鼓励。获德国科学联合会 DFG 基金资助在德国与 Tübingen 大学计算机系主任 Rosenstille 教授进行了神经网络综合的研究。与中国科学院计算技术研究所博士生导师沈理教授进行了软计算方面的合作研究(国家 863 高技术基金项目),并与日本国东京大学中野馨教授进行了联想记忆方面的讨论与研究。作者借此机会,向他们表示真挚的谢意。

作者在研究中曾得到国家自然科学基金、国家 863 高技术基金、中国科学院机器人学开放研究实验室基金和德国科学联合会

DFG 基金资助,本书出版又得到了大连理工大学学术著作出版基金的资助,在此一并深表谢意。

陈 明

1995 年 10 月  
于大连理工大学



---

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 神经网络基础</b> .....	1
1.1 神经网络科学发展史 .....	1
1.2 神经网络模型及其特性 .....	4
1.3 生物学基础 .....	6
1.4 神经网络模型基础.....	12
1.5 神经网络计算.....	27
1.6 学习与适应.....	31
1.7 学习规则.....	34
1.8 模糊与混沌.....	46
<b>第二章 前馈神经网络</b> .....	58
2.1 分类模型、特征及范围 .....	58
2.2 判别函数.....	61
2.3 线性机与最小距离分类.....	67
2.4 感知器.....	75
2.5 多层前馈神经网络.....	85
2.6 前馈神经网络的复杂性 .....	109
2.7 映射理论 .....	111
<b>第三章 自组织神经网络</b> .....	115
3.1 竞争学习 .....	115
3.2 Kohonen 神经网络 .....	123
3.3 ART 神经网络.....	136
3.4 CPN 神经网络 .....	153

---

3.5	Linsker 神经网络 .....	157
3.6	认知器模型 .....	160
<b>第四章</b>	<b>反馈神经网络</b> .....	<b>172</b>
4.1	Hopfield 神经网络 .....	172
4.2	Hamming 神经网络 .....	191
4.3	联想记忆神经网络 .....	198
<b>第五章</b>	<b>随机神经网络</b> .....	<b>220</b>
5.1	Boltzmann 机 .....	220
5.2	模拟退火算法 .....	229
5.3	Cauchy 机 .....	233
<b>第六章</b>	<b>视觉神经网络</b> .....	<b>240</b>
6.1	视觉理论基础 .....	240
6.2	Omori 神经网络模型 .....	247
6.3	对应点匹配神经网络 .....	251
6.4	Marshall 神经网络 .....	253
<b>参考文献</b>	.....	<b>258</b>

---

# Contents

## Introduction

<b>Chapter 1 Foundation of Neural Networks</b> .....	1
1.1 The Developing History of Neural Network Science .....	1
1.2 Models of Neural Networks and their properties .....	4
1.3 Fundamentals of Biology .....	6
1.4 Fundamentals of Neural Network Models .....	12
1.5 Neural Network Computing .....	27
1.6 Learning and Adaption .....	31
1.7 Learning Rules .....	34
1.8 Fuzzy and Chaos .....	46
<b>Chapter 2 Feedforward Neural Networks</b> .....	58
2.1 Classification Model, Characteristic and Range .....	58
2.2 Decision Function .....	61
2.3 Linear Machines and Minimum Distance Classification .....	67
2.4 The perception .....	75
2.5 Multilayer Feedforward Neural Networks .....	85
2.6 Complexity of Feedforward Neural Networks .....	109
2.7 The Mapping Theory .....	111
<b>Chapter 3 Self-Organizing Neural Networks</b> .....	115
3.1 Competitive Learning .....	115

---

3.2	The Kohonen Neural Networks .....	123
3.3	ART Neural Networks .....	136
3.4	CPN Neural Networks .....	153
3.5	The Linsker Neural Networks .....	157
3.6	Neocognitron Model .....	160
<b>Chapter 4</b>	<b>Feedback Neural Networks .....</b>	<b>172</b>
4.1	The Hopfield Neural Networks .....	172
4.2	The Hamming Neural Networks .....	191
4.3	Content-Addressable Memory Neural Networks .....	198
<b>Chapter 5</b>	<b>Stochastic Neural Networks .....</b>	<b>220</b>
5.1	The Boltzmann Machine .....	220
5.2	Simulated Annealing Algorithm .....	229
5.3	The Cauchy Machine .....	233
<b>Chapter 6</b>	<b>Vision Neural Networks .....</b>	<b>240</b>
6.1	Fundamentals of vision Theory .....	240
6.2	The Omori Neural Network Model .....	247
6.3	The corresponding point Match Neural Networks .....	251
6.4	The Marshall Neural Networks .....	253
<b>Reference</b>	.....	<b>258</b>

---

# 第一章 神经网络基础

科学就是不断地提出模型并且进行验证的过程。神经网络模型是一种基于生理学的智能仿生模型,是由大量处理单元(神经元)互联组成的非线性大规模自适应动力学系统。它具有自组织、自适应和自学习能力,以及具有非线性、非局域性、非定常性和非凸性等特点。神经网络模型的研究与发展,将对计算机科学与技术以及其相关学科的发展产生重大而深远的影响。

## 1.1 神经网络科学发展史

神经网络科学的研究与发展可以用两次热潮来划分其历史时期。

### 1.1.1 第一次热潮(1943年~1969年)

1943年,W. S. McCulloch 和 W. Pitts 提出了神经元的概念。把神经元看作双态开关,利用布尔函数对神经过程进行数学模拟。

1948年,Wiener 在其控制论的著作中提出了伺服机反馈自稳定系统概念。

1949年,心理学家 Hebb 在其专著中提出神经元群、突触和反响回路的理论概念,成为脑模拟研究的经典理论。

1958年,Rosenblatt 提出了著名的“知觉器”模型,指出了知觉过程具有统计分离性。他所提出的“知觉器”模型具有在外部导师信号的指导下进行学习的功能。

1961年,Caianiello 发表了关于神经网络数学的理论著作,提

出了神经元方程,将神经元作为双态器件,对其机能的动力过程用布尔代数加以模拟,进而分析和研究细胞有限自动机的理论模型。

在上述的数学模拟理论发展的同时,还出现了利用电子器件进行电子模拟的跑迷津的金属老鼠、条件概率机的龟模型,以及会下棋的机器等等,形成了脑模拟研究的第一个热潮。在这段时期人工神经网络大都是单层线性网络。

1969年,美国麻省理工学院出版了一本有关 Perceptrons 的著作,作者 Minsky 和 Papert 以异或问题(exclusive or problem)为例说明单层神经网络无法解决非线性分割这样的简单问题,仅能解决一阶谓词逻辑问题,进而对神经网络研究持悲观态度。基于作者的权威和当时的研究水平,这个问题的提出在理论上给人工神经网络研究以沉重打击,致使美国一些企业家和科学基金组织停止资助脑模拟研究。并使这个研究领域的学者纷纷转向其它研究课题。

人工神经网络研究的第一个热潮冷落之后,对如何解决非线性分割问题很快地有了明确的认识,但此时计算机科学界已为阔步前进的人工智能研究热潮所笼罩。似乎不需要考虑脑功能的网络结构特点,只要把握住输入与输出之间的逻辑关系,就可以实现人工智能,这就是心理学界或科学界称之为黑箱子的方法学原则。

人工智能研究把人类智能活动的物质本体——大脑置之度外。用人的认知规律编写计算机软件,再由计算机运行这些程序,模拟人类认知过程,这就是人工智能研究的宗旨,是认知心理学与计算机科学两个领域的交汇点。虽然人工智能研究仅有不足 30 年的历史,便在专家系统、语音识别和博弈等问题的研究方面取得了引人瞩目的辉煌成果,成为计算机科学的明珠。但是,在其面对复杂的模式识别、景物理解、自然语言理解、不完善知识处理、机器人适应性运动控制、组合优化等任务时,仍常常处于无能为力的窘境。科学工作者是不会停止其前进脚步的,1982年人工神经网络

领域中出现了具有历史意义的事件,这就是 Hopfield 提出的神经网络理论模型,从而拉开了神经网络研究第二个热潮的序幕。事实上 Hopfield 模型的出现并不是偶然的,是在 1969 年~1982 年期间许多人工神经网络研究的基础上提出来的。在这一低潮期间,无论是美国还是欧洲都进行着许多有意义的研究工作。例如, Marr 关于小脑、海马和大脑皮层学习网络的模拟研究, Kohonen, Fukushima 和 Amari 关于认知模型的研究, Grossberg 关于自适应谐振理论的研究,都为下一个高潮的到来做了准备工作。

### 1.1.2 第二次热潮

1982 年,在美国国家科学院的刊物上发表了著名的“Hopfield 模型”理论,这是一个非线性动力系统的理论模型。它引起各国学者的关注,并力图将这一数学模型进行电子学或光学的硬件实现,这就形成了一大批人工神经网络的研究队伍。当代 80% 的各国研究者都是追随 Hopfield 模型而迈入这一学术领域中。这一模型不仅对人工神经网络信息存贮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 模型提出之后,许多学者力图将这一模型扩展,使之更接近人脑的功能特性。1983 年,即 Hopfield 模型提出的第二年,年轻学者 Sejnowski 与其合作者 Hinton 提出了大规模并行网络 (massively parallel network) 学习机,并明确提出隐单元 (hidden unit) 的概念。这种学习机后来称之为 Boltzmann 机。他们应用多层神经网络并行分布地改变各神经元间的连接权,克服了以往神经网络的局限性。此外,Sejnowski 还运用这些原理构造了著名的 NETtalk 程序系统。

Fukushima 在 Rosenblatt 的知觉器网络基础上增加了隐层,构成多层认知器,实现着可塑的反馈联系和更为普遍的前馈联系。这种认知器通过抑制性反馈和兴奋性前馈作用,即使外部刺激停

止以后,也可以继续实现自组织自学习过程。

在 1985 年, Kohonen 发表了人工神经网络的自组织联想记忆的理论专著。1985 年, 认知科学杂志发行专期, 首次使用 PDP 术语。1986 年由 Rumelhart 和 McClelland 主编的《并行分布处理——认知微结构的探索》一书问世, 该书共 2 卷, 由 16 名作者撰写的 26 章组成。这本书问世表明 PDP 理论已达到一个新水平, 在世界各地产生了广泛影响。从 1982 年 Hopfield 模型出现至 1986 年 Rumelhart 和 McClelland 的两卷巨著问世历经 4 年, 新理论、新方法、新模型层出不穷, 终于 1987 年汇成了新的研究高潮。

## 1.2 神经网络模型及其特性

关于神经网络模型, 基于不同角度与背景可有多种定义, 下面阐述两种典型的定义。

### 定义 1.1 神经网络模型

是完成认知任务的算法, 在数学上可定义为具有下述性质的有向图:

- 节点状态变量  $net_i$  与节点  $i$  有关;
- 权值  $w_{ij}$  与两节点  $i$  和  $j$  之间的连接有关;
- 阈值  $\theta_i$  与节点  $i$  有关;
- 节点  $i$  的输出  $o_i = f_i[o_j, w_{ij}, \theta_i, (j \neq i)]$  取决于连接到节点  $i$  的那些节点输出  $o_j, w_{ij}$  和  $\theta_i$  以及作用函数  $f_i$ 。

### 定义 1.2<sup>①</sup> 神经网络模型

是由简单单元组成的广泛并行互连的网络, 能够模拟生物神经系统的真实世界物体所作出的交互反应。

神经网络模型主要包括数学模型与认知模型。数学模型是对

① 定义 1.2 是由著名的神经网络学者 T. Kohonen 教授提出来的。



神经系统生理特征的数学抽象的描述；而认知模型是根据神经系统信息处理过程而建立的，利用它可以模拟如感知、思维、问题求解等过程，且与人工智能密切相关。

目前已出现数十种神经网络模型。最典型的数学模型有前馈神经网络、反馈神经网络以及随机神经网络等。主要的认知模型有自适应谐振理论(简称 ART)、Kohonen 自组织特征映射模型、遗传神经网络、模糊神经网络、认知机以及一些视觉神经网络模型。

人脑信息处理的特点是：大规模神经元并行处理、强大容错能力和自适应能力。脑是最复杂、最完美、最有效的信息处理系统。

为了使神经网络模型能够模拟大脑的一部分智能，应该确定神经网络模型的基本属性。归纳如下：

#### ● 非线性

非线性关系是自然界中各种规律的普遍特征，大脑的智能就是一种非线性现象。神经网络模型是用构造性方法提出的脑功能模型，它具有非线性属性。

#### ● 非局域性

非局域性是自然界中事物间普遍联系的一种表现，一个系统的许多整体行为不仅仅取决于系统单元的个性，而且还由单元之间的相互连接、相互作用所决定。大脑的智能是大脑的整体行为，决定于由神经细胞组成的整个神经网络，这就是大脑的非局域性含义。在神经网络模型中，不使用传统计算机中的局域性记忆方式，而是以单元之间的大量连接模拟大脑的非局域性。这些连接称之为权，由于它是可塑的，进而使神经网络模型具有学习功能。

#### ● 非正常性

自然界万物处于永恒的运动与变化之中，大脑的思维也在不断演化。为了使神经网络模型具有智能，即能够学习、能够发现规律、能够发明创造，就不能处于定常状态，这就必须使神经网络模型在某种程度上是一个能模拟思维运动的动力学系统。由于神经