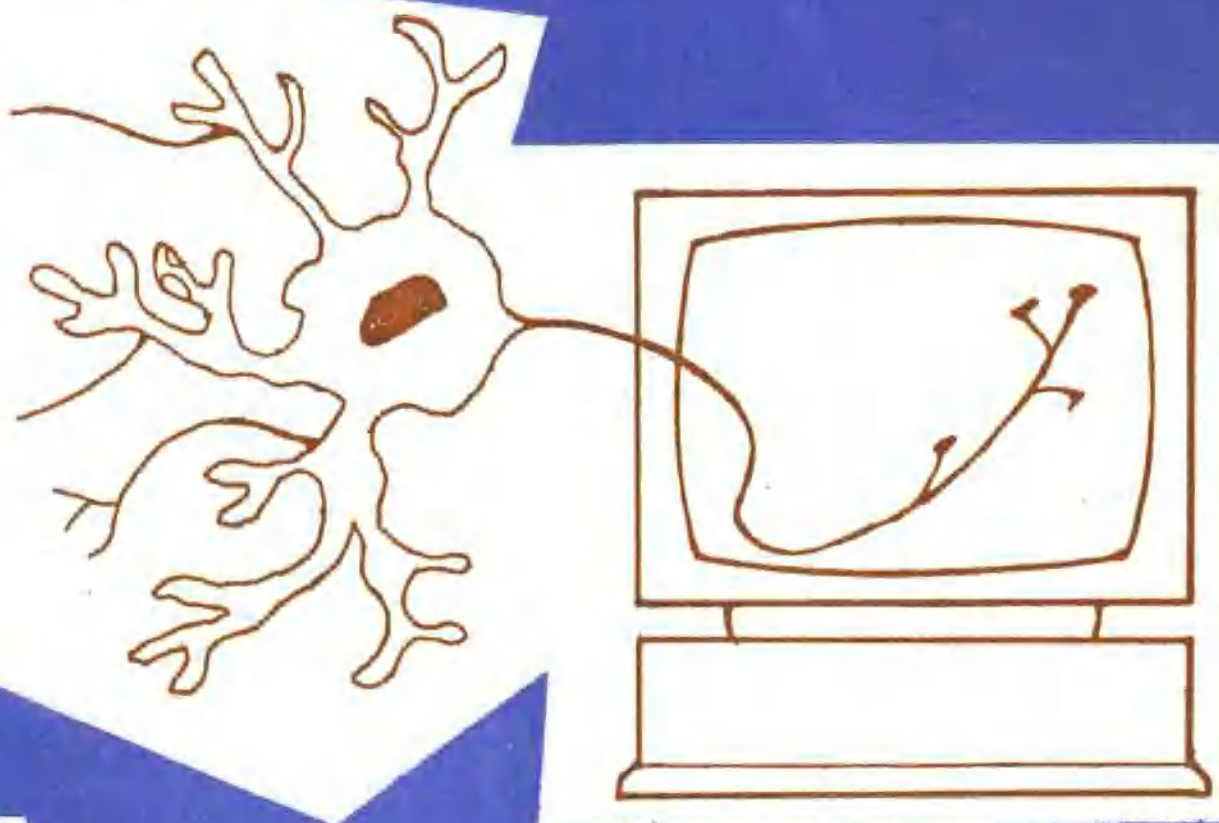


# 微机 神经网络

徐卢生 主编



中国医药科技出版社

# 微机神经网络

主 编 徐 彦 生  
编 者 徐 彦 生 高 永 晟  
叶 志 前 翁 剑 岭

中国医药科技出版社

登记证号 (京) 075 号

### 内 容 提 要

本书是论述微机神经网络的专著。全书共分十五章,约 36 万字,插图 52 幅。该书前六章主要介绍神经网络的基础知识,在 PC 微机上开发神经网络的设计方法、步骤、软件编程、开发环境、硬件支撑等。第七、八章讨论开发出的神经网络性能测试标准与分析。第九章专门描述专家神经网络。第十章到第十五章是神经网络应用研究的 6 个实例。书后有 4 个附录及参考文献。

本书可供从事微机应用的科技及教学人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

微机神经网络/徐庐生主编. —北京: 中国医药科技出版社, 1996. 10  
ISBN 7-5067-1585-6

I. 微… II. 徐… III. 微机网络: 神经网络 IV. TP393  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09702 号

中国医药科技出版社 出版  
北京海淀区文慧园北路甲 22 号  
(邮政编码 100088)  
北京市昌平精工印刷厂 印刷  
全国各地新华书店 经销

\*

开本 787×1092mm<sup>1</sup>/16 印张 15.5  
字数 358 千字 印数 1—2000  
1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

定价: 45.00 元

# 夺天工之巧 创人工之奇

(代序)

从1946年第一代电子管计算机诞生至今已整整半个世纪了。计算机冲击开了史无前例的五光十色、绚丽多彩的信息时代序幕，可谓历尽人间风骚，创造极顶辉煌。

这些令人眩目的丰功伟绩应归功于冯·诺依曼计算机体系。冯·诺依曼体系却是在符号主义哲学基础上构建的。符号主义认为人类认识对象是由概念构成的，概念是可以符号表达的，推理是可以布尔代数的逻辑运算来体现的，也是可以形式化的。所以冯·诺依曼计算机体系正是思维可形式化体系的物化装置。这一体系回避了人脑原型仿真的困难，为人工智能创造了一条捷径。恰如赖特兄弟避开了飞鸟翱翔原型，用螺旋桨或后来的喷气式设计了现代飞机，取得超越原型的更高成就。

以符号主义为基础的计算机取得了“四色问题”、“定理证明”、“战胜跳棋冠军”等等举世瞩目的胜利，然而在进一步处理难以形式化、找不到算法的对象时，比如：在图象识别、语音分析等领域中，冯·诺依曼体系计算机却显得异常笨拙，而且遇到了“组合爆炸”、“收敛困难”等难以逾越的障碍。这时候一度消沉的“连接主义”人工智能学派，偏偏在这些领域中重露头角，使人工智能从“山穷水尽疑无路”的境地转入了“柳暗花明又一村”。人们终于领悟到以简单的神经元，通过大规模连接，组成复杂网络的人脑结构在处理信息时不需要用先验知识编程，只要通过学习、反复训练会自动构建识别模式，在形象思维领域更具优越性。从而再次掀起“人工神经网络”研究的热潮。并在手写字母识别、图象自动分类、文字到语音转换等方面确实显示出它的优异潜力。

我们仍应清晰地看到：目前的人工神经网络只是大脑原型极肤浅的、粗略的仿真。而且目前还是在冯·诺依曼体系的计算机上，按数学模型通过算法实现的。大脑的运行机制对我们仍然是个大黑箱，甚至我们还不理解为什么由同样神经元组成大脑神经网络，右脑擅长于形象思维，而左脑却擅长于逻辑思维？

因而摆在我们面前的重要任务是进一步探索生物神经网络 (Biological Neural Networks)，通过它来启发、来构建人工神经网络 (Artificial Neural Networks)，即所谓 ANN 向 BNN 学习的问题。

对 BNN 的研究必然是多学科、多层次的综合研究，要从微观层次的神经元生理到宏观层次的认知科学。尽管这两个层次各自都有很大发展，但目前我们还不清楚这两个层次之间的映射关系。人工神经网络的研究正为沟通这两个层次，探索两者映射关系提供了最好的途径。人工神经网络的研究对深入理解大脑操作规律性同样具有深远意义。

迄今为止符号主义的冯·诺依曼体系计算机和正在迅速成长的“连接主义”的人工神

神经网络计算机将在各自领域中继续发挥自己的独特优势。“连接主义”的人工神经网络计算机的发展毕竟向大脑原型更靠近了一步。等到人工神经网络大规模芯片的商品化或生物芯片人工神经网络的实现，人工智能领域必将攀登更高的颠峰，再建至今我们还难以想象的、更加灿烂的人间辉煌。

在此我感谢作者给我先睹为快的机会。我深感本书言简意赅、深入浅出，是一本适合非计算机专业读者学习人工神经网络很好的教科书和入门书。也该感谢中国医药科技出版社尤成发编审给予热情支持，使本书得到尽早出版的机会。

华蕴博

于浙江医科大学

## 前 言

自 1946 年世界上第一台电子计算机问世,数十年来,计算机已迅猛发展。它在运算速度、精度和可靠程度等方面,都是无可比拟的。然而人们也发现基于冯·诺依曼体系的计算机的形象思维能力与人相差甚远。80 年代以来,随着神经学家对大脑功能的深入了解,以及计算机科学和人工智能发展的需要,以非线性大规模并行分布式处理为主流的神经网络系统得到了迅速发展。1987 年以后,国内的一些院、校和科研院、所,均已先后投入大量人力积极开展神经网络方面的研究。虽然目前已有几部有关神经网络方面的专著,但其中有比较深奥的推论与描述,令我国以微机应用为基础的广大计算机工作者及工程技术人员,总有些“深奥难懂”的“神秘感”。

然而以并行分布式处理为主流的神经网络系统,在计算机的体系结构上与传统的冯·诺依曼式的串行计算机有本质上的不同。有人将神经网络计算机称为最新一代——第六代计算机。也有人说,计算机的出现标志着信息时代的到来,而神经网络的出现将标志着一个新的人工智能时代的来临。无论如何,近几年来神经网络已在计算机领域中受到极大的关注。神经网络的微机实现或许对神经网络的开发应用与研究会带来新的局面。为了帮助应用 PC 微机的我国广大计算机工作者及工程技术人员也能领略到这方面的初步知识,我们以 Russell C. Eberhart 和 Roy W. Dobbins 写的《神经网络 PC 工具》(Neural Network PC Tools)一书为主线,根据我们学习应用的情况及综合国内有关资料,编译了这本书。

我们选用《神经网络 PC 工具》一书作为主线,主要原因在于原书是根据 PC/XT286,386 微机的硬件系统和 DOS 操作系统而写的,其中模拟神经网络计算的程序主要是以 C 语言写成。这正与我国目前微机应用的状况相适应。阅读本书与其说要对生物学、心理学、数学、人工智能等不同领域知识有较深入的了解(这通常是了解神经网络经典著作所不可缺少的),倒不如说应具备有计算机硬件、软件及应用方面的基础。我们希望本书出版对推动我国神经网络的推广应用与研究起到一点作用。

本书共分十五章。前六章主要介绍神经网络的基础知识,在 PC 微机上开发神经网络的设计方法、步骤,软件编程、开发环境、硬件支撑等。第七、八章讨论开发出的神经网络性能的测试标准与分析。第九章专门描述专家神经网络。从第十章到第十五章是神经网络应用研究的 6 个实例。其中第一、二、八、十二章由徐庐生撰写,第四、五、七章由高永晟撰写,第十、十一、十三、十四、十五章由叶志前撰写,第三、六、九章由翁剑岭撰写。

本书在编写过程中曾得到浙江医科大学生物医学工程研究所、生物医学工程系包家立、洪晓莉、雍泰巍等老师的热忱支持,生物医学工程研究所所长华蕴博教授为本书作序。在此作者一并表示感谢!

由于作者的水平有限,书中错误在所难免,欢迎读者批评指正!

作者于 1995. 9.

# 目 录

夺天工之巧创人工之奇 (代序)	(1)
前 言	(1)
第一章 绪论	(1)
1.1 神经元与神经网络	(1)
1.1.1 神经元与神经网络	(1)
1.1.2 生物学的神经网络结构与人工神经网络之间的区别	(2)
1.2 人工神经网络理论与技术的发展	(4)
1.2.1 启蒙时期	(4)
1.2.2 低潮时期	(8)
1.2.3 恢复时期	(13)
1.2.4 新时期	(16)
第二章 两种常用的微机神经网络	(18)
2.1 反向传播网络	(18)
2.1.1 反传网络的拓扑结构与符号表示法	(18)
2.1.2 反传网络输入与归一化	(19)
2.1.3 反传网络的前馈算法	(20)
2.1.4 反传网络的训练算法	(22)
2.2 Kohonen 自组织网络	(25)
2.2.1 自组织网络的拓扑结构与符号表示法	(26)
2.2.2 自组织网络训练前的准备	(27)
2.2.3 自组织网络的训练算法及测试运行	(28)
第三章 神经网络系统总体设计	(32)
3.1 神经网络的适用范围	(32)
3.2 系统设计过程	(34)
3.2.1 系统总图	(34)
3.2.2 系统需求分析文档	(35)
3.3 神经网络系统的需求分析文档	(38)
3.4 神经网络系统的设计	(39)
3.5 神经网络与专家系统比较	(41)
3.6 小结	(43)
第四章 神经网络的软件编程	(45)
4.1 神经网络软件的定义与编程语言	(45)
4.2 反向传播网络的软件编程	(45)

4.3	Kohonen 自组织网络的软件编程 .....	(50)
4.4	神经网络软件运行 .....	(51)
4.4.1	神经网络的输入输出 .....	(51)
4.4.2	输入模式 .....	(52)
4.4.3	神经网络的应用 .....	(52)
4.4.4	数据归一化 .....	(53)
4.4.5	连接权 .....	(53)
4.4.6	设定特性 .....	(54)
4.4.7	均方误差 .....	(54)
4.4.8	神经网络的运行状态监测 .....	(55)
4.5	神经网络软件实现的要点 .....	(56)
4.5.1	解释和编译 .....	(56)
4.5.2	代码优化 .....	(58)
4.5.3	内存的限制 .....	(58)
4.5.4	浮点运算 .....	(61)
4.5.5	协处理器 .....	(61)
4.5.6	神经网络的调试 .....	(62)
<b>第五章</b>	<b>神经网络的高级开发环境 .....</b>	<b>(64)</b>
5.1	什么是神经网络开发环境 .....	(64)
5.2	开发环境的理想特征 .....	(65)
5.3	为什么需要开发环境 .....	(66)
5.4	神经网络模型语言概述 .....	(68)
5.5	神经网络模型描述 .....	(69)
5.6	几种神经网络开发环境简介 .....	(72)
<b>第六章</b>	<b>微机神经网络的硬件支撑 .....</b>	<b>(80)</b>
6.1	引言 .....	(80)
6.2	Transputer 协处理板 .....	(80)
6.3	并行使用 Transputer .....	(86)
6.4	一个小实例: 船只图象识别 .....	(92)
6.5	小结 .....	(93)
<b>第七章</b>	<b>神经网络运行标准 .....</b>	<b>(94)</b>
7.1	百分比正确率 .....	(94)
7.2	均方误差 .....	(95)
7.3	归一化误差 .....	(96)
7.4	接收操作特性曲线 .....	(97)
7.4.1	回忆度与精度 .....	(100)
7.4.2	灵敏度、特异度、阳性预测率和虚警率 .....	(100)
7.5	卡方检验 .....	(101)



第八章 神经网络分析	(103)
8.1 文本朗读机	(103)
8.2 被三整除问题	(104)
8.3 一个方块中的方块问题	(109)
8.4 反传网络的其他分析	(110)
第九章 专家神经网络	(112)
9.1 基于规则的专家系统	(112)
9.2 专家神经网络	(116)
9.2.1 模糊数学	(116)
9.2.2 模糊认知图	(118)
9.2.3 一个信用评估专家系统	(120)
9.2.4 专家网络中的知识	(122)
9.3 专家网络特性	(123)
9.4 组合专家网络	(125)
第十章 实例研究一：脑电棘波的检测	(127)
一. 引言	(127)
二. 系统设计中的问题	(127)
三. 数据预处理	(128)
四. 网络实现	(130)
五. 测试结果	(131)
第十一章 实例研究二：致癌物分子结构识别	(134)
一. 引言	(134)
二. 分子结构编码	(134)
三. 样本模式建立	(136)
四. 网络实现	(137)
五. 结果与讨论	(138)
第十二章 实例研究三：雷达信号处理	(140)
一. 引言	(140)
二. 雷达设备的说明	(140)
三. 数据收集	(141)
四. 网络设计与实现	(141)
五. 结果与讨论	(144)
第十三章 实例研究四：期货预测	(150)
一. 引言	(150)
二. 历史数据的描述	(151)
三. 期货市场模型	(152)
四. 结果与讨论	(159)
第十四章 实例研究五：光学字符识别	(161)

一. 引言.....	(161)
二. 神经网络工具.....	(161)
三. 处理过程.....	(163)
四. 结果.....	(164)
第十五章 实例研究六: 作曲.....	(165)
一. 引言.....	(165)
二. 网络实现.....	(165)
三. 讨论.....	(171)
附录一: 反传网络的源程序代码.....	(173)
附录二: 自组织网络的源程序代码.....	(184)
附录三: OCR PASCAL 源程序代码 .....	(208)
附录四: 作曲演示程序.....	(216)
参考文献.....	(234)

# 第一章 绪 论

“神经网络”一词，已从生物学、医学领域扩展到计算机、微电子学，甚至更深远的方面。本书不全面系统和深入地讨论神经网络。这里的神经网络主要是指一种能在微机上实现并用作分析处理现实问题的人工神经网络或神经网络工具——Neural Network Tools (NNT)。本书讨论的神经网络能在 CPU 为 80286, 80386 或 68000 的主机支持下实现。

不言而喻，计算机领域中的神经网络是从人们对人脑处理信息的深入了解中，模仿人脑的大规模并行处理结构面引伸出来的。因此在详细介绍人工神经网络之前，首先认定它是一种分析工具，是一种模仿具有许多相互关连的简单独立处理单元——神经元组成的高级互连的并行计算结构。

神经网络有三方面的特点。第一，神经网络的结构是以特定方式互连的神经“板块”(Slab)所组成。这些“板块”又由单独的神经元聚集而成。其中有些神经“板块”能接收外界的输入(输入“板块”)，也有的能提供输出(输出“板块”)或者兼有输入、输出，但只与其他“板块”相连的内部“板块”。第二是神经“板块”的信息传输功能。也就是一神经元(也称结点)的输出是根据它的输入来描述的。第二是网络的学习训练方式。这三方面的特点总起来表现神经网络的高级属性。

本章首先从生物学的角度简要说明人工神经网络的由来。也用一定的篇幅回顾人工神经网络理论与技术的发展历史。

## 1.1 神经元与神经网络

### 1.1.1 神经元与神经网络

近几十年来研究人脑和神经系统的结构及运转机理取得卓有成效的进展。根据这方面研究，认为神经系统的基本结构是神经元(神经细胞)。神经元的主要部分包括中心细胞体、树突和轴突。图 1-1 是一种典型的神经元结构原理图。注意如图所示，信息流从左到右是单向传送的，即从树突输入，通过细胞体到轴突输出。信息从一个神经元传到另一个，依靠第一个神经元的轴突与第二个神经元的树突之间的链接。轴突往往链接到树突的躯干，但也能链接到细胞体。大量神经元相互彼此链接成神经网络系统。

当一脉冲信号(动作电位)传到某一突触，神经元中的信息传递就开始了。受到电脉冲刺激的前一神经元(键前神经元)的轴突释放出化学物质，在轴突与树突之间的神经键间隙中扩散，并与后一神经元(键后神经元)树突中的固有受体相结合；打开离子通道，流过离子电流，使后一神经元的膜电位发生变化。也就是前一神经元的动作电位脉冲，引起

后一神经元的膜电位变化,因而信息被传递。神经键传送信号,需要 0.5ms 至数 ms 的时间,这叫做神经键延迟。

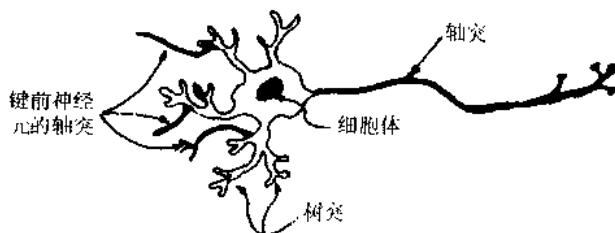


图 1-1 神经细胞结构原理图

在信息传递中,有一类神经键是键前神经元使键后神经元的膜电位升高,称为兴奋性神经键。另一类使其下降,称为抑制性神经键。神经键到底是兴奋的,还是抑制的是由键前神经元传递物质的种类,键后神经元受体机构的综合效果所决定的。

受兴奋性神经键的刺激,后一神经元的膜电位升高,使得它易于兴奋。受抑制性神经键的刺激,使后一神经元受到抑制,难于兴奋。有时,某个兴奋性神经键上还连接有其他神经键产生的键前抑制,使得传输效率降低。反之,有时产生键前促通,使传输效率提高。当接收信号的神经元的膜电位超过阈值时,该神经元被激活,输出动作电位。否则,它将被不被激活。

简单地说,进入轴突的脉冲信号作为神经元的输入,它们通过轴突而被“加权”,有些信号比原来强,起兴奋作用;有些起抑制作用。神经元接收信号的总效果是所有加权输入之和。如果总和值大于或等于神经元阈值,该神经元激活,处于兴奋状态。否则,不被激活,处于抑制状态。

人脑估计有  $(1\sim 50) \times 10^{10}$  个神经元<sup>[10]</sup>。神经元大约可归类成 1000 种不同类型。大约有 500 个神经网络,每一网络有序地排列约 10<sup>5</sup> 个神经元。每一种神经元的轴突连接到大约几百个(有时甚至几千个)其他神经元。当它们链接在一起传输信息时,总体上说每个神经元要么处于兴奋状态,要么处于抑制状态。

人们在生活中,每天都要完成大量的工作,并在人脑中留下许多踪迹(记忆)。那怕是比较简单的动作。例如,拿一杯水,打个电话,都包括许多已记忆、已学习的和物理上并行的片断。这种简单动作的复杂性,通常人们从来不去想它。但如果要让机器人去完成这些动作,那时将会体会到它们的复杂与困难程度。然而人们却可以通过机体内由神经元组成的神经系统(网络)“不加思索”地实现。

### 1.1.2 生物学的神经网络结构与人工神经网络之间的区别

生物神经网络及其结构与人工神经网络有明显的差别。在人工神经网络中的神经结点或处理单元只是生物神经元的极简单的模仿。有时甚至要用一个完整的神经网络才能模拟

一个生物神经元。为了让读者了解这方面的差别，下面列出人工神经网络与生物神经网络结构的一些区别。

1. 生物神经元的兴奋或抑制，在人工神经网络中用神经结点之间正或负的连接权来表示。

2. 在生物神经网络中，一神经元受刺激被激活，以脉冲电的方式通过生物键传到其它神经元。脉冲的交变频率或重复频率，一般对应于刺激的大小。刺激强度大，产生较高的交变频率，但关系甚为复杂，有许多例外。而在人工神经网络中，结点的激活状态只根据直流电平（结点数值上）的大小。

3. 在生物神经中，神经元有许多种类。而在人工神经网络中，一般只用一种神经结点，偶尔也用两种、三种。虽然作为神经网络工具的各种开发技术，多数在实现时允许使用多种不同的结点类型。然而结点类型的增多势必增加复杂性。某些研究表明<sup>[10]</sup>，实现任何要求的人工神经网络，能用少到两种神经结点来完成。

4. 在生物神经网络中，神经元的典型操作动作的单个周期约为  $10\sim 100\mu\text{s}$ 。而 80286 或 80386 处理器的基本时钟频率是  $10\sim 30\text{MHz}$ ，基本周期时间在  $0.03\sim 0.1\mu\text{s}$ 。即使用累加操作进行计算，并对处理单元（结点）传送一个新的数据（约为  $10\sim 100$  周期），一个结点的基本工作周期也只有约  $1\sim 10\mu\text{s}$ 。当然这样类比并非十分恰当，因为在某些情况下，人脑完成任务由于它的大规模并行结构的缘故，在速度的数量级上要比当今最快的数字计算机快得多。

5. 在一般人工神经网络中，神经结点数与生物神经网络为完成任何动作所涉及到的神经元数目都有很大差别。虽然实现人工神经网络，一般至少要有几十个到几百个结点。但由 Stubbs 叙述的人脑中 1000 个左右的神经类型中，每一种都包含约  $5\times 10^8$  个神经元<sup>[11]</sup>，而且肯定其中的主要类型在任何简单的动作中都会涉及到。显然，对现实的应用至少目前还不会有人去建造一个  $5\times 10^8$  个结点的神经网络。

如上所述，人工神经网络与生物神经网络有如此之不同，为什么还把它们称为神经网络呢？一个可解释的理由也许是要追溯到首先提出此名称的人们的知识背景。这些人的大多数不属于工程和计算机领域，而是属于生物学、生理学和心理学领域的。

例如，描述并揭开神经网络分析的最重要的论著之一是一部三卷有关并行分布处理——Parallel Distributed Processing (PDP) 的书<sup>[12,13,14]</sup>。它由一些训练有素的 PDP 研究组成员所著。该研究组的成员多数是认知学家和心理学家，少数是计算机工作者，甚至没有工程师。

随后“大规模并行处理”的概念由电子和计算机的工程技术人员所实现。这些工程技术人员按他们的习惯用语可能会用“大规模并行匹配滤波器”来代替“神经网络”，或者用其他与“神经”无关的名称来代替它。

神经网络在技术上原先与模拟计算及信号处理也有姻缘关系（至少要回溯到电子管时期），这将在下节中提到。

## 1.2 人工神经网络理论与技术的发展

本书将神经网络理论与技术的发展分为四个时期(阶段)。第一个时期,称它为启蒙时期。开始于约一个世纪前 William James 所处的年代,结束于 1969 年。Minsky 和 Papert 发表了《感知器》(Perceptions)这本书。接着是低潮时期。开始于 1969 年,结束于 1982 年 Hopfield 发表著名的文章“神经网络和物理系统”(Neural Network and Physical System)。第三个时期为恢复时期。开始于 Hopfield 的文章,结束于 1986 年 Rumelhart 和 McClelland 发表了《并行分布式处理》(Parallel Distributed Processing)这本书的一、二卷。第四个时期称为新时期,自 1987 年至今。

本书叙述神经网络发展的这四个阶段与其他书略有不同。本书着重有贡献的学者及相应著作,并对他们提到的网络理论作些说明。这里也不是详尽地列出所有有贡献的人与他们的工作。只是简单地提及与某些有名的神经网络研究有关的人,并以年代顺序来讨论。这难免有些偏面。本书这样来介绍神经网络的发展史,目的在于使读者在了解神经网络的发展过程中看到它与生物学、神经生理学、数理学科以及电子、信息与计算机工程学科之间的千丝万缕的联系,也使读者对神经网络的某些概念有粗略地了解。

### 1.2.1 启蒙时期

本书以美国心理学家威廉·詹姆斯(William James)作为神经网络启蒙期的开始。James 也是一位生理学家。自从他发表《心理学原理》(Principles of Psychology)及其精简版的《心理学简明教程》(Psychology Briefer Course)已经有整整一个世纪了。James 首先发表了一些关于大脑结构和功能的事实。例如,他首先提出相关学习与联想记忆的某些基本原理。James 在说明他的基本原理时这样说:“让我们假设所有我们的后继推理的基础遵循这样的规则:当两个基本的脑细胞曾经一起或者立即连续激活过,其中一个受刺激重新激活时会将刺激传播到另一个。”这一点与联想记忆和相关学习关系最密切。他曾预言,神经细胞激活是细胞所有输入叠加的结果。这些输入带有与过去相关的先前连接权。他认为,在大脑皮层上任意点的刺激量是其他所有发射点进入该点刺激的总和。

半个世纪后,1943 年生理学家麦克劳(W. S. McCulloch)和数学家匹茨(W. A. Pitts)发表了一篇神经网络方面的有名文章<sup>[15]</sup>。这篇文章中他们提出的神经系统理论,基于下列五点假设:①神经元的激活(活化)过程是一个“开”或“关”(all-or-none)的过程。②任何时候刺激神经细胞,一定数目的神经键,必须在一潜在的附加周期内兴奋,并且此数目是与神经元先前的动作与状态无关的。③只是在神经系统内的有意义延迟,才是神经键的延迟。④任何抑制性神经键的动作要无条件地阻止在这一动作期间内神经元的兴奋。⑤网络结构不随时间改变。所谓潜在的附加周期是当神经元能探测出表现在输入突触上刺激大小的时间。这段时间 McCulloch 和 Pitts 指出典型值小于 0.25ms。突触延时是感知输入并作用在突触上,到传送出一个输出脉冲之间的时间;McCulloch 和

Pitts 认为在 0.5ms 量级。

建立在这五点假设上的神经元称为 McCulloch-Pitts 神经元,也称 M-P 模型。他们提出的理论之所以得到重视是基于这样的事实:即任何有限逻辑表达式能由 M-P 模型组成的人工神经网络来实现。McCulloch 和 Pitts 是从 William James 以来介绍大规模并行神经模型的最早作者。

虽然这篇文章非常重要,但是很难读懂。事实上由 McCulloch 和 Pitts 所发表的理论,其中有些方面后来已经被不止一位工程师在他们的工作中证明不可行。因此,不是这篇文章中的所有概念仍在今天的神经网络中都有用。这里不对 McCulloch 和 Pitts (包括以后提及的其他学者)的理论或结论与当今神经生物学理论之间作比较。而着重他们的观点是否能被人工神经网络实现。

M-P 模型的第一点是 all-or-none 神经元。简单地说,组成神经网络的神经结点(神经元)具有开或关(on or off)的特点。这只是象用在波尔兹曼(Boltzman)机那样的人工神经网络中,而今天多数人工神经网络不用这种结点特性。一般神经结点的输出值能在 0 到 1 或者 -1 到 +1 之间连续变化。

第二点是关于刺激神经元活化的信号要求。首先,因为神经结点的输出一般随输入信号连续变化,而不出现输出的阈值。虽然在某些神经网络中用的神经结点会在某一阈值上被激活,但本书中叙述的多数神经网络并不如此。对神经结点无论是连续输出或阈值输出,都没有固定的必须兴奋的“神经键”数目。神经结点的网络输入一般与它先前结点输出及这些输出结点对该结点的连接强度是有关的。

第三点,一般在人工神经网络中神经结点连接在一起是没有延时的。神经结点的输出状态(动作电位)是同步形成的。即一板块(Slab)或一层在同一时间内更新。有时,象在波尔兹曼机中它们的形成以随机确定的次序异步更新。从一结点到另一结点似乎从来都没有延时。

第四点,单一的抑制性连接动作往往不激活与它连接的神经元。任何抑制性连接有相同的负作用,即起相减作用,而具有相同绝对值的正连接起相加作用。

M-P 模型的第五点是正确的。通常人工神经网络的结构不会随时间改变。但有两点要说明。其一,在使用神经网络如反传网络、自组织网络之前往往先要“训练”网络。在训练过程中,网络的结构往往是不变的,但相互之间的连接权是变化的。其二,一旦训练完成,神经结点及彼此互连的权往往不再改变。训练中权的改变,当然也可认为是网络结构的改变。

尽管 M-P 模型的五点假设对大多数的神经网络只有第五点是完全正确的。那么为什么要如此详细地介绍他们 1943 年的文章呢?首先,他们所提出的神经网络能表示任意有限逻辑的表达式。第二,他们用了大规模并行处理结构。第三,他们奠定了网络模型和以后开发神经网络步骤的基础。正如,今天的人工神经网络虽然不能全面反映当今所了解的有关生物神经网络的情况,但不能因此就说人工神经网络不好那样,也不能因为当今的人工神经网络虽不都反映 M-P 模型就说 McCulloch 和 Pitts 的工作不出色。

启蒙期该提到的另一位学者是心理学家 D. O. 赫布(Hebb),他在 1949 年出版一本名为《行为的构成》(Organization of Behavior)的书。在此书中他首先建立了人们现在称为

Hebb 算法的连接权训练算法。他也是首先提出“连接主义”(Connectionism)这一名词的人之一。这一名词的含义为大脑的活动是靠脑细胞的组合连接实现的。Hebb 在他书中“认识的第一阶段”组合连接的增长这一章，作为一种“神经生理假设”，描述如下：

当细胞 A 的轴突足以激励细胞 B 和重复不断地参与激励时，某些生长过程或同化变化发生在一个或两个细胞中，象刺激 B 细胞的其他细胞一样，A 细胞的效果也是增加的。简单地说，如果源和目的神经元均被激活兴奋时，它们之间突触的连接强度将会增强。这就是最早、最著名的 Hebb 训练算法的生理学基础。Hebb 对神经网络理论作出四点主要贡献：

第一，他指出在神经网络中，信息存储在连接权中。

第二，他假设连接权的学习(训练)速率正比于神经元各活化值之积。注意到他假定活化值是正的，因为他没有提出连接权下降的方法，因此理论上会无限的增高。而今天的 Hebb 算法包含有负活化值的神经结点的训练算法。这在 Hebb 原先的公式中是不包括的，是原先公式逻辑上的扩展。

第三，他假定连接是对称的，也就是从神经结点 A 到神经结点 B 的连接权与从 B 到 A 的是相同的。虽然这一点在神经网络中未免过于简单化，因此也可能对，也可能不对。但它往往应用到人工神经网络的各种现实方案中。

第四，他提出细胞连接的假设。并指出，当学习训练发生时，连接权的强度和类型发生变化，且由这种变化建立起细胞间的连接。他也指出，如果一些微弱连接的细胞多次重复同时发生激动，这些细胞会更强的连接在一起。

Hebb 提到的这四点看法，在当今的人工神经网络中至少在某种程度上都得到了实现。

1958 年由计算机学家 Frank Rosenblatt 发表一篇有名的文章<sup>[16]</sup>，提出了一种具有三层网络特性的神经网络结构，称为“感知机”(Perception)。这或许是世界上第一个真正优秀的人工神经网络。这一神经网络是在 Conell 航空实验室里用一台 IBM704 计算机模拟实现的。这篇文章尽管它的数学证明、分析与描述不够严密，但它抓住了工程师和物理学家的想象，对人工神经网络的实现提出了中肯的意见。读过这篇文章中各种系统和构造的模型，会理解到“感知机”有学习的能力，通过改变连接权，将类似的或不同的模式分类出来。因此也称它为“学习的机器”。

Rosenblatt 用生物学的视觉机构作为他的网络模型。输入结点群由在视网膜上某一范围内细胞的随机集合组成。每前一层连到下一更高层内的单个联合单元(Association Unit, AU)。AU 双向连接到第三层(最高层)中的响应单元(Response Unit, RU)。感知机的目的是对每一实际的输入去激活正确的 RU。每一 RU 一般反过来与许多 AU 相连。他用两种方法实现从 RU 到 AU 的反馈。第一种，被激活的 RU 会把兴奋传给激励 RU 的 AU(正反馈)。第二种负反馈，也称抑制连接。它存在于 RU 与兴奋的 AU 补集之间。即在那些不传给 RU 兴奋的 AU 中，激励被抑制。Rosenblatt 对他的大多数系统采用第二种方法。此外，他假设两种方法中所有 RU 之间的连接都是抑制型连接。

Rosenblatt 利用他的感知机模型说明两个问题。第一是信息存储或记忆用什么形式？第二是如何存储影响认知和行为的信息？他的回答如下<sup>[16]</sup>：

……信息被包含在相互连接或联合之中，而不是反映在拓扑结构的表示法中。…自从存储的信息在神经网络系统内开始形成新的连接或传送链路(或者建立功能上等于新的连



接条件)后,接着新的刺激将会通过这些新建立的链路自动地激活适当的响应部分,而不要求任何识别或鉴定它们的过程。

这种原始的感知学习机在激励-响应特性方面是“自组织”或“自联合”的。在“自组织”响应中被响应的结点,起初是随机的,然后逐渐地成为支配的统治地位,即通过彼此竞争而形成的。当然, Rosenblatt 也叙述了系统的训练和“强迫响应”的发生。

这篇文章提出象今天分别在反传网络和 Kohonen 网络中看到的有指导和无指导这两类训练算法。因此 Rosenblatt 所发表的网络基本结构是有活力和良好的,尽管后来它遭到 Minsky 和 Papert 的抨击。

本书以 Bernard Widrow 和 Marcian Hoff 作为启蒙期的结束。他们是两位电机工程师。在 1960 年他们发表了一篇题为“自适应开关电路”(Adaptive Switching Circuits)的文章<sup>[17]</sup>。尤其从工程技术的角度看,这篇文章成为神经网络技术发展中极为重要的文章之一。Widrow 和 Hoff 不仅设计了在计算机上仿真的人工神经网络,而且也用硬件电路实现了他们的设计。他们研制的“Way back then”的机器今天仍能工作。

Widrow 和 Hoff 提出一种称为“Adaline”的模型,即自适应线性单元(Adaptive Linear)。图 1-2 的 Adaline 示出具有任意数目,能取值在 +1 或 -1 的输入的单个结点。这个结点还有一个总是为 +1 的基本输入。在结点的加法器相加之前,每一输入包括基本输入由唯一的可调整权所调整。这种权 Widrow 和 Hoff 称它为增益(Gain)。他们用这一名称反映他们工程学的背景。因为增益是指电信号通过放大器所放大的倍数。这比一般称为权也许更能说明它所起的作用,且更容易被工程技术人员所理解。图中加法器输出接到数字转换器。如果加法器(计及基本输入)输出大于零,则转换器输出 +1;而加法器输出小于或等于零,则转换器输出为 -1。

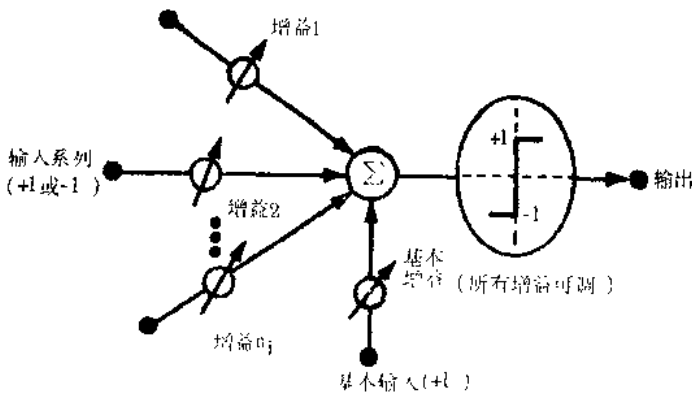


图 1-2 Adaline 可调的神经结点

Adaline 精巧的地方是它的训练算法。感知机的主要问题之一是它们学习分类模式所需的时间太长。Widrow-Hoff 的学习训练算法的速度较快且更准确。这种算法是有指导学习的一种形式。它根据加法器输出端误差大小来调整权(增益)。Widrow 和 Hoff 指出,他们