

神经网络 原理及其应用

程榕君 王喜宁 陈生潭 编著

国防工业出版社

神经网络原理及其应用

程相君 王春宁 陈生潭 编著

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

神经网络原理及其应用/程相君等编著. —北京:国防工业出版社,1995

ISBN 7-118-01297-1

I. 神… II. 程… III. ①神经网络-基础理论②神经网络-模式识别-组合规划 IV. TN945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 04333 号

神经网络原理及其应用

程相君 王春宁 陈生潭 编著

责任编辑 孙中明

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 1/2 172 千字

1995 年 1 月第 1 版 1995 年 1 月北京第 1 次印刷 印数 1—3000 册

ISBN 7-118-01297-1/TN · 205

定价:9.60 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于 1988 年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授、以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金

第一届评审委员会组成人员

主任委员：冯汝明

副主任委员：金朱德 太史瑞

委员：尤子平 朵英贤 刘琯德

(按姓氏笔画排列) 何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘书长：刘琯德

序

人类是否在使用最原始的工具时,就已经设想过这个问题:有没有可能由人加工出来一种物质品,能像人一样,具有思考和学习能力?仿效生物的幻想和企图,至少可上溯到还没有文字的时代。仅仅是幻想和企图是不够的,人类对自己的理解从浅显进入较深的层次花了很多年代。更为重要的是必须有一种可资利用的物质手段。在本世纪中期出现的人工智能就是在这种条件下诞生的。心理学与思维方法规律发展起来了,数字电子计算机也发明了。经过若干年的奋斗,知识工程和专家系统已趋向成熟。

当今人工神经网络的研究与发展,是以神经生理学为基础指向仿生目标的更为雄心勃勃的事业。从19世纪中叶细胞学说确立以后仅30年,人们已开始能分析、图绘动物神经元了。迄今近一百年中,人们对人脑神经元和神经网络的组成和机理有了相当多的认识。尽管在这方面的知识还远远不足以使人能够完全地模仿那怕是很局部的脑神经的功能和机理,然而已经可以构造一些简化而潜在功能很强的模型。它们是现在人工神经网络研究发展的基础,因为目前大量的实验和实用系统正在利用这些模型构造起来;它们是现在人工神经网络理论进一步发展的起跑线,因为我们还必须对脑神经网络更深入的认识,并构造出更为接近原型的新模型;它们是现在人工神经网络研究发展的生长点,因为我们不必要限制自己,拘泥于仿效天然神经网络活动的模式,也完全可以发挥主观能动作用,从现有的研究出发,创造出更为先进的工作模式。

事实上,从事人工神经网络研究的科学工作者已经在所有上述三个可能的范围进行了极大量的或深入的工作。然而这三个可

能范围并不能概括所有的有关工作。比如说相当大量的神经活动中思维与学习并不重要,如视网膜、耳蜗管、触觉系统、嗅觉系统、味觉系统等,在进入大脑皮层之前以至在进入大脑皮层后的前期活动中,可能主要是属于信号处理与模式识别的一般范围,它们是人 与外界交互作用的关键环节,它们也是复杂的神经网络。像视网膜的锥体和柱体共有近两亿个,而进入大脑的神经纤维却只有其百分之一,可见视感觉系统的预处理能力是何等强大。这是大有可为的科技领域,并且有些初步成果已得到极显著的成效。再有,天然神经网络进行的是极大规模的并行、并发的模拟运算。神经元响应和神经纤维传输的速度远比电子电路为低,凭借集体和集成的运动,大脑能以亿万倍于数字计算机的速度处理信息。由此可见,模拟电路具有极大的潜力。然而,可以做出的器件、元件却还没有神经元所具备的某些特殊功能。这样,大量的人工神经网络工作只能依靠数字计算机高度灵活的编程,用数字计算仿真模拟计算,并只能是串行的或很低度并行的。如何发挥模拟电子电路的强大潜力仍然是我们面对的具有广阔远景的研究课题。Carver Mead 的硅视网膜是采用模拟电子技术的极优秀的典范。John Hopfield 采用模拟电子技术的人工神经网络解决 TSP 问题所取得的优秀成就,掀起了近十年来人工神经网络科学技术发展的热潮。我们应当在这个方向上积极开拓前进。可调整权值的模拟器件网络和用数字处理实现离线训练相结合标志着这个方向上的一个重大进展。

人工神经网络的理论研究和实际应用方面的发展已引起我国广大科技工作者的极大热情和关注。参与这方面研究工作的专家数以千计,需要接触了解这方面工作的人则更多。因此,迫切需要能深入浅出地引导人们进入这个领域的出版物。该书正是为满足这个要求而编写的。

本书是作者们从事神经网络教学、科研成果的总结。内容丰富,取材新颖,结构严谨,章节安排合理。体系完整,繁简适宜,在理论和实践上做到了原理和方法的结合,反映了近期国内外研究的动向。本书在叙述上概念清楚、文句流畅,数理推导详尽,力求由浅

入深,循序渐进,通俗易懂,立足于讲清物理概念,注意了理论上严密、系统,而且力求有所创新,是一本不可多得的好教材。适合于研究生、本科生和有关科学技术人员的需要。

严济霖

前 言

近几年来,我国对神经网络感兴趣的人日益增多,并取得了一些可喜的研究成果。为了促进神经网络研究的普及和深入,我们认为,对于大多数研究者,尤其是涉足神经网络研究时间不长的读者,迫切需要一本从基本原理讲起,集原理和应用为一体的著作。基于这一想法,作为一次尝试,我们编写了这本书。

本书内容分为三部分:第一部分为绪论,概括地介绍了神经网络研究的发展过程和现状;第二部分包括第一、第二章,为原理部分,它是在我们给本校研究生开设的“神经网络原理”课讲义的基础上整理而成的;第三部分包括第三至第八章,属于专题研究和应用部分,它是我们一些中青年教师近几年来从事科研的体会总结。

作为导论性的著作,本书不可能全面深入地说明神经网络理论及其在各方面的应用,但可为阅读神经网络的其它专著提供基础。对一些理论概念和技术性问题力求避免引用高深的数学和计算机理论,以利于读者理解和接受。希望本书对神经网络知识的普及和研究的深入能起到一定的促进作用。

本书由程相君主编,王春宁统稿,冯宗哲和郭宝龙参加了部分章节的编写工作。

全书由中科院学部委员罗沛霖教授主审,同时还热情地为本书作序,在此表示衷心的感谢。在编写过程中,曾得到了西安电子科技大学领导和从事神经网络研究的同事们的支持和帮助;在出版过程中还得到中国电子工业部人教司的李雅玲同志的大力协助,在此一并表示谢意。

由于作者水平所限,恳请读者对本书不妥或错误之处给予批评指正。

作 者

于西安电子科技大学

内 容 简 介

本书介绍了神经网络研究的发展概况,讲述了神经网络的基本概念,研究神经网络的数理方法,信息处理的基本原理,以及神经网络在模式识别、组合优化等方面的应用。

本书可作为高等院校的研究生和高年级本科生的教科书,也可供人工神经网络、智能信息处理、机器视觉、模式识别、自适应控制等领域的科研人员参考。

目 录

绪论	1
第一章 神经元	4
1.1 神经元的结构	4
1.2 神经元的动作	5
1.3 神经元的数理模型	7
1.4 离散时间-离散信息模型	10
1.5 离散时间-连续信息模型	11
1.6 连续时间-连续信息模型	13
1.7 引入热噪声的神经元	13
1.8 神经元的学习理论	14
1.9 典型的学习法则	20
1.10 神经场	23
第二章 神经网络及其信息变换	24
2.1 简单神经网的方程式	24
2.2 随机结合网的信息变换	27
2.3 随机网的模式聚类作用	31
2.4 动力学系统及其性质	36
2.5 对称结合网的动力学	41
2.6 思考过程的动力学	44
2.7 联想记忆模型的力学	47
2.8 自旋玻璃	51
2.9 玻耳兹曼(Boltzman)机	52
2.10 自组织神经网络中的信息处理	55
2.11 神经场的结合方式	61
第三章 常用神经网络模型概述	65
3.1 神经网络(NN)的基本特征	65

3.2 联想网络	70
3.3 映射神经网络	77
第四章 视觉神经网络与信息处理	89
4.1 视觉信息处理的特点及神经基础	89
4.2 体视匹配算法	93
4.3 正则化理论与正则化网络	95
4.4 用神经网络检测拓扑性质	101
4.5 视觉神经动力学系统理论	106
第五章 模式识别与神经网络	115
5.1 感知器	116
5.2 联想记忆神经网络	124
5.3 自组织神经网络	130
5.4 福岛邦彦的视觉认知模型	139
5.5 科霍恩(Kohonen)语音打字机	148
第六章 组合优化与神经网络	154
6.1 神经优化计算	154
6.2 旅行推销员问题	158
6.3 多重旅行推销员问题	164
6.4 作业调度问题	170
6.5 模拟退火组合优化算法	174
第七章 人工神经网络(ANN)的实现和应用	179
7.1 ANN 的实现途径	179
7.2 ANN 应用	180
第八章 协同学与神经网络	199
8.1 协同学的一般概念	199
8.2 协同学与神经网络	200
8.3 一种模式识别算法	201
参考文献	204

绪 论

人工神经网络是一门高度综合的交叉学科,它的研究和发展涉及神经生理科学、数理科学、信息科学和计算机科学等众多学科领域。回顾神经网络理论的发展历史,大致可以分为四个时期:探索时期、第一次研究热潮时期、低潮时期和第二次研究热潮时期。

神经网络理论的探索性研究开始于本世纪 40 年代。1943 年,美国生理学家麦克劳(W. S. McCulloch)和数学家匹茨(W. A. Pitts)首次提出了二值神经元模型。他们将神经细胞视为二值开关元件、细胞按不同方式组合连接可以完成各种逻辑计算,认为大脑功能就是依靠脑细胞的不同组合连接来实现的。1949 年,心理学家赫布(D. O. Hebb)根据心理学条件反射机理,指出脑细胞活动时细胞间的联系被加强,这就是后来所称的 Hebb 学习法则。据此,人们可通过调节神经元间的连接强度来实现神经网络的学习功能。

50 年代末到 60 年代初,神经网络理论在前面探索性工作的基础上迎来了第一次研究热潮。1957 年,心理学家罗森布拉特(F. Rosenblatt)设计制作了感知器,试图模拟人脑的感知和学习能力,这是最先提出的一种神经网络模型。1959 年,威德罗(B. Widrow)等提出的自适应线性元件网络,通过训练后可用于抵消通信中的回波和噪声,借以提高长途通信的通话质量和数据通信的可靠性。1962 年,罗森布拉特在他的著作“The Principles of Neurodynamics”中详细介绍了感知器网络。虽然模型比较简单,但已经显示了神经网络的一些主要性质。例如可学习性、分布式存储和连续计算等。这些性质与当时流行的冯·诺依曼型计算机的性质完全不同,因此引起了众多研究者的兴趣与关注。国外许多实验室都展开了感知器在学习记忆、文字识别、声音及声纳信号识别等方面的应用研

9510135

究,并期望能很快获得成功。

第一次研究热潮未能持续很久,自 60 年代末至 70 年代,神经网络研究经历了低潮时期。究其原因,主要是当时传统的计算机技术正处于迅速发展阶段,并在众多领域取得了很大成功,因此就暂时掩盖了发展神经网络理论的必要性和迫切性。其次,限于当时的技术条件,由硬件直接实现神经网络也是非常困难的。此外,明斯基(M. Minsky)等在 1969 年出版了“Perceptron”一书,该书中对感知器功能得出的悲观结论,在当时学术界产生了较大的影响,以至使不少学者从神经网络转向其它研究领域。

然而,即使在低潮时期,仍有一些学者坚持着他们的研究,并获得许多有意义的成果。例如,日本的甘利俊一、美国的阿尔比布(M. A. Arbib)等人对神经网络动态过程的数理分析;德国学者对自组织理论的研究;科霍恩(Kohonen)、安德森(J. A. Anderson)等人提出的联想记忆等等。与此同时,在医学、生物学和脑科学领域也获得了较大进展。

进入 80 年代,神经网络研究开始复兴。1982 年至 1986 年,美国物理学家霍普菲尔德(J · J · Hopfield)陆续发表了几篇有影响的神经网络研究论文。他采用全互连神经网络模型,引入能量函数概念,成功地求解了目前数字计算机难以解决的旅行商问题(简称为 TSP)。1986 年,鲁姆尔哈特(Rumelhart)和麦克劳提出了多层网络的反向传播学习算法(即 B-P 算法)。利用该算法可以求解感知器所不能解决的问题,从而否定了明斯基等人的错误结论。这些突破性的进展,使人们再次认识到神经网络的巨大潜力。1987 年 6 月,首届国际神经网络学术会议在美国圣地亚哥召开,与会代表有一千六百余人。会上成立了国际神经网络学会(INNS)。随后几年,在许多工业化国家,纷纷成立专门研究机构,政府和企业投入大量资金,制定和实施神经网络研究计划。关于人工神经网络理论、模型和算法方面的研究论文大量涌现,神经网络模拟软件和实用芯片不断推出,应用领域不断扩大,标志着世界范围内第二次神经网络研究热潮的全面掀起和蓬勃发展。

人工神经网络是模仿生物脑结构和功能的一种信息处理系统。虽然目前的模仿还处于低级水平,但已显示出一些与生物脑类似的特点:大规模并行结构,信息的分布式存储和并行处理,具有良好的自适应性、自组织性和容错性,具有较强的学习、记忆、联想、识别功能等等。神经网络已经在信号处理、模式识别、目标跟踪、机器人控制、专家系统、组合优化、网络管理等众多领域的应用中获得了引人注目的成果。

在我国,虽然神经网络研究起步较晚,但是发展迅速,形势喜人。可以相信,智慧的中国科学工作者必将为未来人类文明的进步事业作出自己应有的贡献。

第一章 神 经 元

1.1 神经元的结构

神经元是生物体中参与信息处理的各种神经细胞的总称,神经元的大致结构如图 1-1 所示。神经元由五部分组成:**细胞体**,它

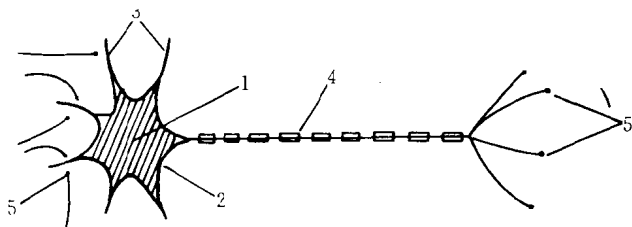


图 1-1 神经元的结构

1—细胞体;2—细胞膜;3—树突;4—轴突;5—突触。

是神经元的本体部分,含有细胞核和细胞质;细胞体由一层外皮包裹,这层外皮叫做**细胞膜**;从膜伸出一些形状复杂的分枝,称为树状突起,简称**树突**;还有一条轴向延伸体,称为**轴突**;轴突的末端又分出许多分枝和别的神经元树突相接触,接触部分称为**突触**。轴突把来自细胞体的电脉冲传给别的神经元;树突通过突触接受来自其它神经元的电脉冲信号;细胞体根据众多的输入信号进行计算,其响应由轴突传给其它神经元。一个神经元与平均一千根,多至数万根轴突相连接。

神经元之间的结合形式,除了上述标准的突触结合方式之外,还有若干种其它形式,在本书中,我们只考虑具有标准的突触结合方式的神经元。

关于神经元的大小,有一种说法,如果从脑中切出边长为