

神经网络与神经计算机

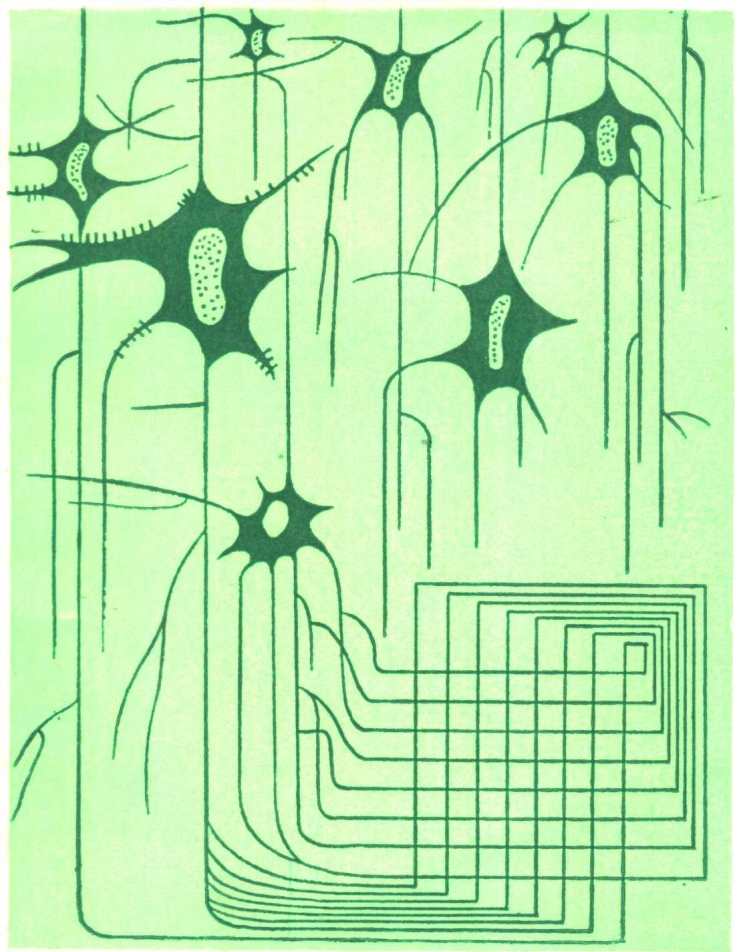
原理·应用

靳 蕃

范俊波 编著

谭永东

西南交通大学出版社



神经网络与神经计算机

原理·应用

国家自然科学基金资助项目

	新 著
编 著	范俊波
	谭永东

西南交通大学出版社

(川) 新登字 018 号

神经网络与神经计算机原理·应用

靳 著 范俊波 谭永东 编著

★

西南交通大学出版社出版发行

(四川 成都九里堤)

四川省新华书店经销

西南交通大学出版社印刷厂印刷

★

开本: 787×1092 1/32 印张: 13.375 插页: 5

字数: 180 千字 印数: 1—4000 册

1991 年 12 月第 1 版 1991 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7—81022—246—5/T·072

定价: 7.90 元

序

二十世纪是科学技术大发展的历史，是人类文明的新篇章。以 VLSI 为基础，Von Neumann 计算机为核心的现代信息科学，是带动各行各业飞速向前发展的火车头。

更为值得高兴的是，经过近半个世纪的努力探索，一门崭新的向人类自身大脑学习的信息新学科——神经网络 (Neural Network)，已经诞生并正在茁壮成长。它是当今全世界关注的高科技热点，并开始显示出美好的广阔应用前景。

1988 年夏，我在东京 IFITA'88 国际会议上结识了中国西南交通大学的靳蕃教授及谭永东君，现在他们与范俊波君一道积极开展神经网络与神经计算机方面的研究，并将有关学术资料系统整理，编著成书，有助于大家了解和掌握神经网络的基本原理和神经计算机的实现及应用，实属有益于信息科学发展的幸事。

衷心祝愿广大的中国读者能从本书中吸取新的思维和信息，并在神经网络技术的进一步发展作出自己的贡献。

日本国东京大学 教授

甘利 俊一



前 言

人为万物之灵。灵就灵在那个据称是宇宙间结构最精巧、机理最奥妙、功能最完善的大脑。

如果说诞生不到半世纪、靠执行人们预编程序而工作的现行 Von Neumann 计算机，已经对生产力的发展和科学技术的进步起着巨大推动作用的话，那么，80 年代中后期在世界范围内掀起的神经网络开发研究热潮，将从向脑神经系统学习中获得前所未有的智慧源泉，创造能够自学习、自适应、高度智能的名副其实的新电脑——神经计算机，从而把人类文明推到一个崭新的高度。

为了促进我国神经网络和神经计算机技术及早起步，迎头赶上差距并不很大的世界先进水平，我们在完成有关神经网络国家自然科学基金项目的同时，广泛收集美、日等有关学术论文、书籍和资料，编写成这本概括神经网络和神经计算机基本原理和应用的书。我们希望，它将为广大感兴趣的读者，起着抛砖引玉的作用。

全书共分七章。第一章绪论中概述了神经网络的发展历史、现况和前景。第二章从生理解剖角度阐明脑神经网络的信息活动机理特征。第三章以借助计算能量函数，用 Hopfield 网络模型求解 TSP 为核心，阐明了神经网络的计算机理。根据作者的最新研究成果，向读者介绍了包含有中国三十一个直辖市、省会和自治区首府的中国旅行商问题 (C—TSP)。并在本书的附录中列出了各城市间的距离参数，

供广大读者共同进行分析研究和比较。第四章综合介绍了神经网络的各种学习规则和功能。第五章讨论了神经计算机的体系结构和实现方法。第六章综述了神经网络和神经计算机在各种专业领域中的应用。第七章重点介绍了学习研究神经网络中常用到的一些数学方法。

为了方便读者查阅国内外有关资料,书末除附有相当数量参考文献外,并将常用的专业名词以中英文对照的方式列出。

在神经网络的研究及本书的写作过程中,西南交通大学曹建猷教授、华南理工大学徐秉铮教授,东南大学何振亚教授,以及西南交通大学出版社编辑部曾经给予大力的支持和鼓励。西南交通大学《神经网络与神经计算机研讨班》的同志们提供了许多有益的建议和资料。对此,作者一并表示诚挚的感谢。

作者还要特别感谢国际著名的神经网络学家、日本东京大学教授甘利俊一博士(Prof. Dr. Shun—ichi Amari)经常赠予最新的研究成果论文,并热情为本书作序。

作者深深知道,神经网络与神经计算机是一门理论性强、实用面广、内容新、难度大的交叉学科,要在较短的时间和有限的篇幅内对它作出系统而完整的阐述,是一件超过作者现有能力和水平的艰巨任务。因而错误、遗漏以及内容取舍等方面缺陷难以避免,作者殷切地希望读者随时提出批评和指正,使本书得到进一步改进和完善。

目 录

第一章 绪 论

§ 1.1 当代信息高科技热点——神经网络	1
§ 1.2 人类自身的探索	3
§ 1.3 神经网络的发展历史	5
§ 1.4 冯·诺依曼机的局限性	11
§ 1.5 脑神经信息活动的特征	16
§ 1.6 神经网络的多学科性	18
1.6.1 神经生理科学	19
1.6.2 认知科学	20
1.6.3 数理科学	20
1.6.4 信息论与计算机科学	21
§ 1.7 今后的研究发展趋势	23

第二章 脑神经系统信息处理

§ 2.1 大脑研究——90 年代的挑战	27
2.1.1 脑与神经计算机	27
2.1.2 神经网络的研究途径	28
§ 2.2 大脑信息处理基础	30
2.2.1 生物与信息处理	30
2.2.2 神经元与长枪乌贼	32

2.2.3 获得诺贝尔奖的神经方程式·····	40
2.2.4 神经元与信息·····	43
2.2.5 从神经元到神经网络、大脑·····	45
§ 2.3 大脑模型·····	48
2.3.1 大脑的模型化研究方法·····	48
2.3.2 神经网络模型·····	50
2.3.3 神经网络的动态特性·····	55
§ 2.4 混沌神经网络·····	59
2.4.1 动力学系统的吸引子与分岔·····	59
2.4.2 混沌·····	61
2.4.3 脑神经系统与混沌·····	65
2.4.4 混沌神经元模型与混沌神经网络 ·····	67
§ 2.5 免疫网络·····	73
2.5.1 免疫系统与生物计算机·····	73
2.5.2 免疫系统概述·····	74
2.5.3 免疫系统的记忆作用·····	75
2.5.4 免疫网络与处理元件·····	76
2.5.5 免疫网络的相互作用·····	76
2.5.6 免疫网络的并行分布体系结构·····	77

第三章 神经网络的计算机理

§ 3.1 脑神经信息处理机制·····	79
§ 3.2 传统并行算法·····	82
§ 3.3 计算复杂性·····	86
§ 3.4 TSP 的经典解法·····	94

§ 3.5	集体计算与连接主义	104
§ 3.6	简单人工神经元模型	106
3.6.1	M-P 神经元模型	106
3.6.2	连续的神经元模型	107
3.6.3	输出脉冲频度模型	109
§ 3.7	感知机模型	111
§ 3.8	Hopfield 网络模型	116
§ 3.9	用神经网络方法求解 TSP	121
§ 3.10	Boltzmann 机模型	128
§ 3.11	随机神经网络模型	131

第四章 神经网络的学习机理

§ 4.1	人工神经网络的学习功能	134
§ 4.2	误差修正型学习	135
4.2.1	感知机的学习	136
4.2.2	Adaline/Madaline 的学习	141
4.2.3	BP 网络的学习	146
4.2.4	盒中脑状态网络的学习	157
§ 4.3	随机型学习	160
4.3.1	Boltzmann 机的学习	161
4.3.2	Cauchy 机的学习	168
§ 4.4	赫布型学习	170
4.4.1	线性联想记忆网络的学习	172
4.4.2	最优线性联想记忆网络的学习	175
4.4.3	稀疏分布式记忆网络的学习	177
4.4.4	模糊联想记忆网络的学习	179

4.4.5	离散自相关器网络的学习	182
4.4.6	离散双向联想记忆网络的学习	185
4.4.7	自适应双向联想记忆网络的学习	190
4.4.8	时间联想记忆网络的学习	192
4.4.9	雪崩匹配滤波器网络的学习	196
4.4.10	模糊认知映射网络的学习	199
§ 4.5	竞争型学习	200
4.5.1	学习矩阵网络的学习	202
4.5.2	加性 Grossberg 网络的学习	203
4.5.3	乘性 Grossberg 网络的学习	205
4.5.4	二值自适应共振理论网络的学习	206
4.5.5	自组织特征映射网络的学习	212
4.5.6	对向传播网络的学习	216
4.5.7	认知机的学习	220

第五章 神经计算机的基本概念

§ 5.1	神经计算机的基本特征	225
§ 5.2	拓扑结构分析	227
5.2.1	基本定义	227
5.2.2	网络互连类型	229
§ 5.3	体系结构的考虑	239
5.3.1	软件模拟与全硬件实现	239
5.3.2	模拟式与数字式	242

5.3.3 并行粒度	244
§ 5.4 联想存储	245
§ 5.5 神经计算机的模拟实现	248
§ 5.6 Transputer 与多处理器系统	253
5.6.1 Transputer 的并行处理功能	253
5.6.2 多处理机系统	257
§ 5.7 神经计算机的电子器件实现	261
§ 5.8 神经计算机的光处理器实现	266
§ 5.9 未来的分子处理器实现方法	270
§ 5.10 神经计算机的前景	273

第六章 神经网络的应用

§ 6.1 神经网络在模式识别中的应用	275
6.1.1 手写体签字证实系统	276
6.1.2 天气预报系统	279
6.1.3 图象边缘检测	284
6.1.4 图象数据压缩	286
6.1.5 NETtalk	290
6.1.6 音节的识别	294
6.1.7 连续语音识别	296
§ 6.2 神经网络在认知科学和人工智能中 的应用	298
6.2.1 数据库回想	299
6.2.2 Schemata 的实现	302
6.2.3 行动控制	307
6.2.4 专家系统	311

§ 6.3 神经网络在最优化问题中的应用	317
6.3.1 图象的半色调化	318
6.3.2 图象恢复	320
6.3.3 几个最优化问题对应的计算能量函数	324

第七章 神经网络中的若干数学方法

§ 7.1 矩阵与矢量空间	333
7.1.1 矢量运算	333
7.1.2 矩阵运算	337
7.1.3 特征值与特征矢量	341
§ 7.2 概率论基础	346
7.2.1 概率论基本公式	346
7.2.2 随机过程	347
§ 7.3 组合论的基本法则	349
7.3.1 排列与组合	349
7.3.2 区组设计	350
§ 7.4 信息与编码	353
7.4.1 信息论的基本概念	353
7.4.2 编码方法	357
§ 7.5 神经网络的统计分析	362
7.5.1 单层神经网络	362
7.5.2 完全随机型网络映射的稳定性	363
7.5.3 联想映射的稳定性	366
§ 7.6 Lyapunov 稳定性判据	368
7.6.1 稳定性定义	368

7.6.2 李雅普诺夫直接方法.....	370
附录 C—TSP(中国旅行商问题).....	375
英汉名词对照表	377
参考文献	383

第一章 绪 论

§ 1.1 当代信息高科技热点 ——神经网络

80年代中后期,在美国、日本等一些工业发达国家里,掀起了一股竞相研究开发神经网络(Neural Networks,有时简写为NN)的热潮。1987年6月,首届国际神经网络学术会议在美国加利福尼亚州召开,到会代表有一千六百余人。在会上成立了国际神经网络学会(International Neural Network Society,简称INNS)。接着于1988年,由当前世界著名的三位神经网络学家,即日本东京大学的Shun-ichi Amari(甘利俊一)教授,美国波士顿大学的Stephen Grossberg教授和芬兰赫尔辛基技术大学的Teuvo Kohonen教授,主持创办了世界第一份神经网络杂志《Neural Networks》。随后,国际电气工程师与电子工程师学会(IEEE)也成立了神经网络协会并出版神经网络刊物。

近几年来,在神经网络这个涉及多种学科的新的科技领域中,吸引了众多的神经生理学家、心理学家、数理科学家、计算机与信息科学家,以及工程师和企业家等。大量的有关神经网络机理、模型、算法、特性分析,以及在各方面应用的学术论文,像雨后春笋一样涌现在报刊杂志上和许多国际学术会议中。一时神经网络以及建立在神经网络原理基础上的神经计算机(Neurocomputer,有时简写为NC),成

为当代高科技领域中方兴未艾的竞争热点。

面对世界各国出现的神经网络开发研究热潮,我国也及时地迈出了急追直赶的步伐。从1986年到1988年,先后在北京召开了脑的工作原理研讨会、神经网络战略研讨会和学习与识别神经网络国际讨论会。1989年10月和11月,分别在北京和广州召开了神经元网络及其应用学术讨论会和第一届全国信号处理—神经网络学术会议。

1990年12月,由我国八个学会(即中国电子学会、计算机学会、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大会”。这个规模空前的盛会,以“八学会联盟,探智能奥秘”为主题,收到了来自各方面的论文300余篇,从而开创了我国神经网络及神经计算机方面科学研究的新纪元。

神经网络信息处理的原理方法和神经计算机的研制开发应用,是一个涉及生物、医学、心理学、认知学、信息论、计算机、数学、物理和微电子技术等多种学科的综合性高科技。以1988年在美国波士顿召开的国际神经网络学会年会为例,会上所研究讨论的中心议题包括:

- 神经计算机 (Neurocomputers)
- 联想学习 (Associative Learning)
- 自组织 (Self-Organization)
- 局部回路神经生理 (Local Circuit Neurobiology)
- 网络动态分析 (Analysis of Network Dynamics)
- 认知信息处理 (Cognitive Information Processing)
- 视觉与图象处理 (Vision and Image Processing)

- 语音与语言 (Speech and Language)
- 传感电机控制与机器人 (Sensory-motor Control and Robotics)
- 模式识别 (Pattern Recognition)
- 组合优化 (Combinatorial Optimization)
- 电子实现 (Electronic Implementation VLSI)
- 光学实现 (Optical Implementation)
- 应用 (Applications)

上述这些会议中心议题，大致覆盖了神经网络这门新兴学科领域中的重点研究方向。

§ 1.2 人类自身的探索

我们人类已经在地球上生活了数百万年，在相当长的一段时期，人类为了生存和发展，主要是对周围环境即大自然进行探索、研究和改造，而对自己本身的研究，则局限于治疗疾病维持健康的医学领域。对于人自身最为灵巧奥妙的脑神经的结构、机制和功能的探索，进而设法构造出与脑的智能接近的机器，则只是近半个世纪才开始的事情。

实际上，人类的认识包括着对周围自然环境的认识和对自身生理心理活动的认识，两者是密切相关的。著名的物理学家马赫 (Mach) 不但以其在声学中的马赫数及对爱因斯坦相对论的影响而闻名于世，而且他在视觉的马赫带方面也作出了卓越的贡献。马赫在 1914 年曾说过：“整个科学的基础，特别是物理学的基础，在等待着来自生物学尤其是感知分析方面的再次巨大阐释……。一方面有心理观察，另

一方面有物理观察，所产生的进展将使它们最终走向一起来，从而可能揭示出一些新的事实。这种研究结果不是二元论的，而是兼容有机和无机的科学，它将能阐明这两部分所共有的一些事实”。这就是说，人类在创建文明的历史过程中，不仅要對周围的客观世界的规律进行始终不渝的观察和思考，而且也应对人自身的生理现象和心理活动进行不断的研究探索。

古希腊的一些哲学家，像帕拉图 (Plato, 427—347 B. C.)，亚里士多德 (Aristotle, 384—322 B. C.)，就曾经对神经和思维过程进行过理论的探讨和阐释。与神经计算机同类的控制机的研究历史也很长，希罗 (Heron) 约在公元前 1000 年，就已经建造了液力自动机。

我国自古以来，就注意观察和归纳人体经络活动的规律，并将其应用于多种疾病的治疗。早在古代医学名著《黄帝内经》中，就描述了人体中存在的经络系统，对经络系统某些特定部位即穴位进行刺激，包括早期的针和灸刺激以及近年来的水针、电针、光针和磁疗（针）刺激，就可以治疗某些用药物无法治愈的疾病。针灸临床经验表明，对于穴位的刺激，必须要达到一定的强度，才能收到通经活络的疗效。

如果我们从当代神经网络理论角度出发，把经络看作为分布式网络，穴位看作为网络结点，把针灸物理刺激看作结点输入信号，而所需达到的一定刺激强度正相当于结点的阈值，这样就有可能把人体的经络系统活动机理用人工神经网络模型来进行模拟研究。

历史上也有一些著名科学家，不仅对外部世界的物理现象和规律进行了成功的实验观察和总结归纳，而且常常对人