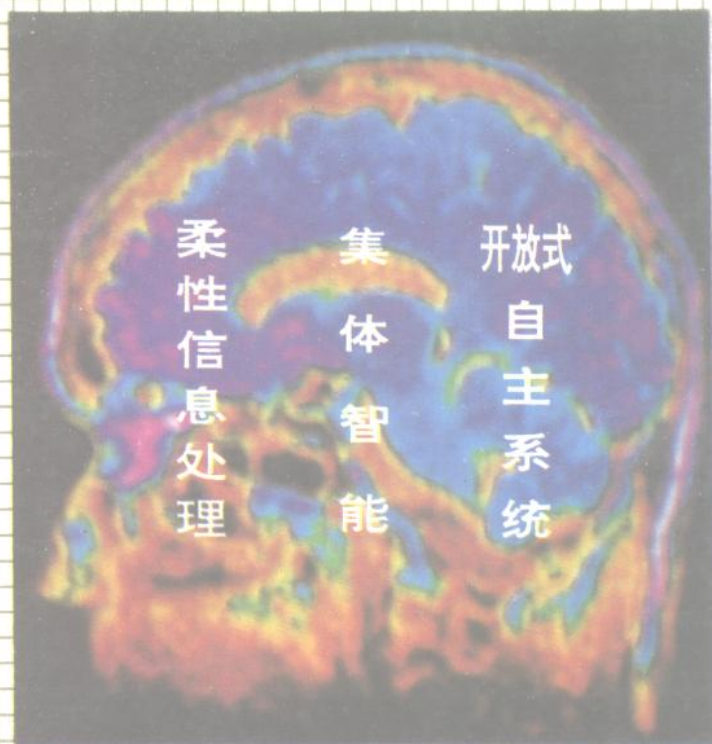




全国高技术重点图书·信息获取与处理技术领域

神经计算

史忠植



电子工业出版社

73.87
167

全国高技术重点图书

神 经 计 算

史忠植



电子工业出版社

9410233

(京)新登字055号

内容简介

神经计算是一门崭新的信息处理学科,研究非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理的本质和能力。它的发展将对人工智能、计算机科学、信息科学、认知科学、自动控制、脑神经科学等产生重要影响。

本书系统地论述神经计算的基本原理、方法、技术和应用。主要内容有神经信息处理的基本原理、神经计算的生物基础、人工神经网络的数学模型、人工神经网络的认知模型、神经动力学、模糊人工神经网络、适应性子波理论、神经计算的应用、神经计算软件、神经计算机、人工思维。每章末附有详细的参考文献。书末附有索引。

本书内容新颖、资料丰富,反映了当前国内外该领域的最新研究成果和动向。可作为计算机、自动控制、电子工程、信息科学、认知科学、神经科学等专业的博士生、硕士生和高年级大学生的教材,对有关领域的科研人员和工程技术人员有重要参考价值。

D030/33/2

神经计算

史忠植

责任编辑 邓又强

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京市顺新印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 532 千字

1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月第 1 次印刷

印数: 0—4000 册 定价: 22.50 元

ISBN7-5053-2337-7/TP·659

6850108

《全国高技术重点图书》出版指导委员会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 杲 卢鸣谷

委 员：(以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 杲	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张钰珍	张效祥	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜	龚 刚
梁祥丰				

总干事：罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书》编审委员会 信息获取与处理技术领域

主任委员：陈芳允

委 员：汪成为 杨震明 袁宝宗 邓又强

前 言

神经计算是一门崭新的信息处理学科, 研究非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理的本质和能力。它的发展将对人工智能、计算机科学、信息科学、认知科学、自动控制、脑神经科学等产生重要影响。

人工神经网络是由大量处理单元组成的非线性大规模自适应动力系统, 具有学习能力、记忆能力、计算能力以及智能处理功能, 并在不同程度和层次上模仿人脑神经系统的信息处理、存储及检索功能。它是在现代神经科学研究成果的基础上提出的, 试图通过模拟大脑神经网络处理、记忆信息的方式设计一种新的机器使之具有人脑那样的信息处理能力。同时, 对这种人工神经网络的研究将进一步加深对思维及智能的认识。为了模拟大脑信息处理的机理, 人工神经网络具有非线性、非局域性、非定常性、非凸性等特点。人工神经网络把算法和结构统一为一体的系统, 可以看作是硬件和软件的混合体。这将对计算机的发展产生重大影响。

自1943年麦克洛奇(McCulloch)和皮兹(Pitts)提出M-P模型之后, 神经计算经过长期的研究, 取得了一定的进展, 成为一种具有独特风格的信息处理学科。但是目前所研究的只是最简单的人工神经网络模型, 尚未建立一套完整的理论体系。许多艰巨而复杂的问题有待深入研究和探讨。目前, 我们正在认知科学、神经生理学等研究成果的基础上, 运用现代的数学工具, 从计算理论的层次研究人工神经网络。采用微分几何(differential geometry)或微分流形对微分动力系统定性分析, 分析视场中的运动物体, 研究混沌现象的内在规律等。一方面研究各种微分空间的拓扑变换, 另一方面研究微分空间的定性结构。把抽象的微分理论用直观的几何形式表示出来。人们已经建立了一些分析统计场之间的变换、投影、正交化等方法。尤其感兴趣的是对统计场理论的研究, 已经涉及到对统计推理的研究。如果在统计场中引入Markov和Bayes关系, 那么我们在经典的逻辑推理方面可能取得重大突破。模糊问题与统计问题在本质上有相似之处, 我们可以定义一种与统计场类似的模糊场, 同样可以用微分几何的方法对模糊场进行处理。由上可知, 可以在微分几何的基础上建立一种新的推理机制, 既可以进行统计推理, 又可以实现模糊推理。这种理论与Shannon建立的信息论很相近, 作为新的信息处理基础可能会有广阔的应用前景。

1989年作者曾在荷兰Erasmus大学讲授人工神经网络, 并编了*Introduction To Neural Networks*的讲义。回国后, 1991年在中国科学技术大学研究生院开设神经计算的研究生课程, 采用作者编著的讲义*Neural Computing*作为教材。在此基础上, 吸收国内外大量最新的研究成果, 包括我们在国家自然科学基金等资助下所取得的结果, 写成本书。系统地论述神经计算的基本原理和方法, 反映该领域的最新进展。

全书共分十一章。第一章是绪论, 概要介绍神经计算的发展过程、基本原理和研究内容。第二章介绍神经计算的生物基础。人工神经网络模型是全书的重点之一, 分为两章: 第三章讨论人工神经网络的数学模型, 包括前向网络、反馈网络、联想网络、霍普菲尔特(Hopfield)模型、玻耳兹曼(Boltzmann)机、递归网络等。第四章讨论人工神经网络的认知模型, 包括相互激励与竞争网络、竞争学习、自适应谐振理论、自组织模型、认知机、遗传神经网络等。五、六、七章给出了神经计算最新研究进展。第五章论述神经动力学。第六章论述模糊人工神经网络。第七章讨论适应性子波理论。第八章简单介绍神经计算的应用。第九章给出神经计算软件的例子, 以说明神经计算软件的结构和方法。第十章扼要讨论神经计算机的体系结构, 给出用电子、光、分子器件实现神经计算机的可能途径。最后一章探讨人工思维, 展望神经计算发展的方向。

作者愿借此机会感谢美国斯华龄先生有益的讨论, 荷兰Erasmus大学Bioch教授的帮助。感谢胡宏、叶世伟、张建等同志的合作研究。中国科学技术大学研究生院的学生曾对本书提出许多宝贵的意见。在写作过程中, 与余志华同志进行了有益的讨论。中国科学技术大学研究生院聘请作者担任兼职教授, 讲授神经计算课程, 并给予优秀课程的奖励。本项研究得到国家自然科学基金资助。电子工业出版社对本书的出版给予大力支持, 在此一并致谢。

史忠植

1993年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 神经计算的研究历史	3
1.3 神经信息处理的基本原理	7
1.4 简单的神经网络模型	16
1.4.1 简单线性模型	16
1.4.2 线性阈值单元	17
1.4.3 盒中脑状态	17
1.4.4 热力学模型	18
1.5 神经计算的研究内容	18
1.6 神经计算的发展趋势	22
参考文献	23
第二章 神经计算的生物基础	25
2.1 脑系统	25
2.2 生物神经元	26
2.2.1 神经元	26
2.2.2 突触	27
2.2.3 化学递质	28
2.3 神经冲动	30
2.4 神经系统	32
2.4.1 中枢神经系统	32
2.4.2 周围神经系统	33
2.5 视觉系统	36
2.5.1 视觉的生理机制	36
2.5.2 视觉系统的基本功能	37
2.5.3 视觉信息加工	38
2.5.4 单色视觉模型	39
2.5.5 彩色视觉模型	40
2.5.6 马尔的视觉计算理论	42
2.5.7 拓扑性质检测的视觉模型	45
2.6 记忆系统	46

2.6.1 记忆类型	46
2.6.2 长时记忆机制	49
2.6.3 动态记忆理论	50
2.6.4 记忆的生理机制	51
参考文献	53
第三章 人工神经网络的数学模型	55
3.1 概述	55
3.2 线性限幅单元	57
3.3 感知机	58
3.3.1 感知机学习算法	58
3.3.2 Pocket 算法	59
3.3.3 最小二乘分类学习算法	60
3.3.4 多层感知机	61
3.4 前向多层神经网络的反传学习算法	65
3.4.1 单样本学习法	65
3.4.2 随机逼近法	69
3.4.3 集中学习法	70
3.4.4 提高反传算法收敛速度的方法	70
3.5 映射网络的容量分析	71
3.6 线性联想器	72
3.7 Hopfield 联想神经网络	75
3.8 反馈联想网络的分析	76
3.8.1 稳定性分析	76
3.8.2 学习规则	79
3.9 双向联想记忆	81
3.10 Hopfield-Tank 连续神经网络模型	83
3.11 玻耳兹曼机	86
3.11.1 概述	86
3.11.2 玻耳兹曼机模型	86
3.11.3 玻耳兹曼机的学习算法	88
3.11.4 模拟退火算法	91
3.11.5 柯西机	94
3.12 稀疏编码联想记忆网络	97
3.13 递归神经网络	98
参考文献	100
第四章 人工神经网络的认知模型	103
4.1 概述	103
4.2 相互激活与竞争网络	104

4.2.1 IAC 网络模型的结构	104
4.2.2 IAC 网络的数学描述	105
4.2.3 IAC 网络的特点	106
4.2.4 IAC 网络模型	108
4.3 竞争学习	108
4.3.1 竞争学习的基本结构	108
4.3.2 竞争学习系统的性质	109
4.3.3 竞争学习的几何解释	110
4.3.4 竞争学习的某些特点	111
4.4 自适应谐振理论	112
4.4.1 概述	112
4.4.2 ART-1 神经网络	112
4.4.3 ART-2 神经网络	114
4.5 ART-3 神经网络	119
4.6 Kohonen 的自组织模型	126
4.7 认知机	128
4.7.1 结构	129
4.7.2 训练	130
4.8 神经认知机	135
4.8.1 结构	135
4.8.2 计算	136
4.8.3 训练	137
4.9 神经认知机模式识别的处理	138
4.10 组合超压缩	141
4.11 遗传神经网络	142
4.11.1 进化策略	143
4.11.2 达尔文进化算法	145
4.11.3 并行遗传算法	146
4.11.4 基因型学习和表型学习	146
参考文献	149
第五章 神经动力学	151
5.1 概述	151
5.2 动力系统的稳定性	152
5.3 吸引子分析	156
5.3.1 矩阵 W 的计算及其吸引域	158
5.3.2 最优系数矩阵	160
5.3.3 能量函数	161
5.4 概率统计的观点	162

5.5	神经网络的熵理论	164
5.5.1	能量与熵	164
5.5.2	同步并行计算	166
5.5.3	异步串行计算	166
5.6	动力系统的分维学	169
5.7	通有神经网络模型	170
5.7.1	通有人工神经网络模型	171
5.7.2	通有神经网络的稳定性	172
5.7.3	通有神经网络延时特性	175
5.8	信息几何	176
5.9	混沌	178
	参考文献	179
第六章	模糊人工神经网络	181
6.1	概述	181
6.2	模糊集合	182
6.3	模糊逻辑	183
6.4	模糊联想记忆	184
6.5	神经模糊推理系统	187
6.6	神经网络近似逻辑	191
6.6.1	近似逻辑	191
6.6.2	神经网络模型	192
6.6.3	从样本中归纳学习	194
	参考文献	196
第七章	适应性子波理论	199
7.1	概述	199
7.2	傅立叶变换	200
7.3	盖博变换	201
7.4	子波变换	203
7.5	子波的建造	206
7.6	神经网络适应性子波	207
	参考文献	209
第八章	神经计算的应用	211
8.1	概述	211
8.2	神经专家系统	212
8.2.1	神经专家系统的基本原理	212
8.2.2	神经专家系统的混合结构	215
8.2.3	面向对象的神经网络专家系统外壳 ONESS	216
8.3	智能控制	222

8.4	组合优化问题求解	226
8.5	图象识别	229
8.6	神经网络系统的设计	232
8.7	神经网络综合的基本方法	233
8.7.1	外积法	235
8.7.2	投影学习规则	236
8.7.3	特征结构法	238
8.7.4	非对称连接矩阵网络综合	240
	参考文献	242
第九章	神经计算软件	245
9.1	概述	245
9.2	并行网络仿真系统P3	246
9.3	PDP神经网络软件	248
9.3.1	相互激活与竞争网络仿真程序	248
9.3.2	竞争学习模型的仿真程序	252
9.3.3	仿真程序的运行	253
9.4	神经网络编程	265
9.4.1	反传网络	265
9.4.2	霍普菲尔特网络	267
9.4.3	玻耳兹曼机	272
9.5	神经网络描述语言AXON	282
	参考文献	283
第十章	神经计算机	285
10.1	神经计算机的体系结构	285
10.2	电子数字神经器件	288
10.3	电压模式神经器件	292
10.3.1	基本器件	292
10.3.2	反馈网络的实现	293
10.3.3	开关电容神经网络	294
10.4	电流模式神经器件	296
10.4.1	有源跨导放大器	296
10.4.2	电流模式神经元模型	297
10.5	电子神经计算机	298
10.5.1	神经网络协处理器	298
10.5.2	并行处理机阵列	300
10.5.3	脉动神经计算机	302
10.5.3	神经计算机开发系统	304
10.6	光神经计算机	305

10.6.1 矩阵处理器	305
10.6.2 空间光调制器	307
10.6.3 光互连	309
10.6.4 光全息存储器	309
10.6.5 电光神经计算机	310
10.6.6 全光神经计算机	310
10.7 分子计算机	311
10.7.1 分子计算的宏—微模式	311
10.7.2 生物芯片	313
10.7.3 分子神经计算机的体系结构	313
参考文献	316
第十一章 人工思维	319
11.1 系统级脑模拟	319
11.2 细胞级脑模拟	321
11.3 分子级脑模拟	322
11.4 思维的层次模型	323
11.5 智能系统	324
11.6 智能系统环境INTSE	327
11.7 人工思维模型	329
参考文献	331
索引	333

第一章 绪 论

神经计算(Neural Computing) 是一门崭新的信息处理学科, 它研究非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理的本质和能力[1.3]。本章主要介绍神经计算的发展历史、基本原理、研究内容、发展方向等问题。

1.1 引 言

从1946 年第一台电子数字计算机(ENIAC) 问世以来直至现在, 几乎全部信息处理都采用程序式计算方式。这种方式解题需要设计算法或规则, 并正确地编制成软件, 然后才能进行问题求解。这种解题方式必须考虑三个因素:

- (1) 问题的形式化;
- (2) 可进行计算的算法;
- (3) 计算的复杂性。

比较计算机和人的计算能力, 其差别是惊人的。一个人能很容易识别脸孔, 理解语言, 而一台巨型机也很难辨别出一棵树来。另一方面, 用计算机进行计算, 可以很快得到答案, 大大超过了人的计算能力。那么数字计算和辨识物体之间究竟有些什么差别?

辨识物体是不能简单明确地加以定义的。要识别一棵树, 就必须给出树的全部定义。作出这样一种定义, 等于要描述树的每一个可以想象到的变量。这类问题构成了随机问题。所谓随机问题, 就是那些需要具备某一系统的实际上每种可能状态的知识才能解答的问题。因此, 为解决一个随机问题, 就要求记忆所有可能的解答, 并给定输入数据时, 从所有可能的解答的集合中迅速选出最合适的答案。而象数学一类的计算问题, 其解答通常可以用一种算法简洁地表示出来, 也就是说, 可以用一个精确的指令系列来表示, 该指令系列规定了如何处理输入数据以得到答案。

信息处理的一种新方法并不需要开发算法和规则, 极大地减少软件的工作量, 这种方法称为神经计算。神经计算是一门崭新的信息处理学科, 它从神经生理学和认知科学研究成果出发, 应用数学方法研究并行分布的、非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理的本质和能力。神经计算中主要的信息处理结构是人工神经网络。

神经信息处理是介于常规处理形式和人脑的中间。一方面, 神经计算企图模仿人脑的功能, 而另一方面许多实现技术又是常规的。表1-1 给出了这三种信息处理范型的主要

表 1-1 信息处理风范

	常规计算机	神经计算	人脑
信息表示	指令 + 数据	网络连接处理单元功能 + 权值	内部神经连接
程序设计	指令 + 初始数据	网络拓扑 + 模式训练	模式训练
处理	数字	数字或模拟	模拟
体系结构	$1-10^4$ 处理器	$1-10^6$ 处理器	10^{11} 神经元
硬件	集成电路	电、光、生物器件	神经元
开关速度	1 ms	1 ns — 1 ms	1 ms
工艺	硅器件	硅器件、光、分子	生物的

特点。神经信息处理许多特性与人脑相似，诸如联想、概括、并行搜索、学习和灵活性。人脑信息处理的特点是：

(1) 大规模并行处理。人脑神经元之间传递神经冲动是以毫秒计的，比普通的电子计算机慢得多。但人们通常能在1秒钟内对外界事物作出判断和决策。这对传统的计算机或人工智能是做不到的。由此可知，人脑的“计算”必定是建立在大规模并行处理的基础上。人善于在复杂环境中作出判断，从整体上识别事物。神经网络的大规模并行处理与多处理机构成的并行系统是不同的。

(2) 具有很强的容错性，善于联想、概括、类比和推广。每天有大量神经细胞正常死亡，但不影响大脑正常的功能；大脑局部损伤会引起某些功能衰退，但不是功能突然丧失。在计算机中，元器件的局部损坏，或者程序中的微小错误都可能引起严重的后果，即表现出极大的脆弱性。人脑与计算机信息处理的巨大差别在于对信息的记忆和处理方式不同。计算机的模式是信息局部存储，按程序提取有关的信息，送到运算器处理。大脑中信息的记忆，特别是长期记忆是通过改变突触的效能实现的，即信息存储在神经元间连接强度的分布上，信息的记忆和处理是合二而一的。这一点，神经计算与大脑信息处理方式极其相似。

(3) 具有很强的自适应能力。人脑功能受先天因素制约，但后天因素，如经历、训练、学习等也起重要作用。这表明人脑具有很强的自适应性和自组织性。神经网络与符号处理不同，前者强调系统的自适应或学习过程，同一网络因学习方法及内容不同，可具有不同的功能；符号处理强调程序编写，系统的功能取决于编写者的知识和能力。

由上可知，脑是最复杂、最完美、最有效的一种信息处理装置，人们正以极大的兴趣研究它的结构和机理。这种研究与20世纪初的物理学和50年代的分子生物学一样，正蕴酿着重大的突破，而这一突破将给整个科学的发展带来巨大而深远的影响。人们对大脑的认识已深入到探索脑的核心问题，鉴定出了一系列涉及脑工作的重要分子，在感知、行为、学习和记忆方面都取得了重要进展。这表明人们将有可能最终揭开大脑这个人体最复杂系统的奥秘，为现代科技发展寻找新的道路。借助大脑工作原理，有可能使信息处理获得新的突破。

正因为如此，神经科学受到世界各发达国家的高度重视。美国国会通过决议将1990年1月5日开始的十年定为“脑的十年”。国际脑研究组织号召它的成员国将“脑的十年”变为全球行动。美国国防部高级研究计划局(DARPA)制定的八年研究计划中，神经网络是重要的方向。1986年日本政府提出了“人类前沿科学计划(HFSP)”研究计划，1992年提出“真实世界计算(RWC)”研究计划。德国从1988年开始执行“神经信息论”的研究计划。

脑科学、神经生理学、病理学主要研究神经网络的生理机理，如神经元、突触、化学递质、脑组织等的构成和工作过程。而认知科学、计算机科学主要探索人脑信息处理的微结构理论，寻求新的途径，解决当前计算机和传统人工智能难以处理的问题。以此为背景，以人工神经网络为基础，形成了神经计算的新学科。

目前，对大脑思维的过程了解仍然很肤浅，人工神经网络模拟的研究还很不充分，我们面临的是一充满未知的新领域。神经计算将在基本原理方面进行更深刻的探索。

神经计算的发展与神经科学、认知科学、计算机科学、人工智能、信息科学、机器人学、微电子学、光计算、分子生物学等有关，是一门新兴的边缘交叉学科。神经计算研究的主要目标是：

- (1) 理解脑系统为何具有智能。这些计算与符号表示的形式操作处理不同，人脑是如何组织和实施这些“计算”。
- (2) 研究各种强调“计算能力”的神经网络模型，并不着重于这些模型的生物学保真程度。
- (3) 研究大规模并行自适应处理的机理。
- (4) 研究神经计算机的体系结构和实现技术。

1.2 神经计算的研究历史

40年代中期，在科技发展史上出现了两种新的计算工具和一种描述神经网络工作的数学模型。以运算放大器为基本部件的模拟计算机，对于求解微分方程特别简单易行，因此在自动控制等领域得到应用。但是，由于实现的困难，对电学模拟量进行运算的模拟机在精度上难以提高。所以模拟计算机只有一个短暂的发展期，随后就很少采用了。而以双稳态触发器为主要运算器件、以布尔代数作为逻辑基础、以中央处理器为控制核心的数字计算机，在与模拟计算机的竞争中逐渐取得上风。原因在于数字计算机的通用性强、精度高，随着程序设计语言和软件的发展，使用和解决具体问题的能力日益增强。由于大规模集成电路的发展，数字计算机的体积缩小、速度提高、成本价格下降。数字计算机系统的面貌日新月异，新产品不断推向市场。

与数字计算机发展的一帆风顺相比，神经计算的发展经历了一条曲折的道路。

1. 麦克洛奇—皮兹(M-P)神经网络模型

现在神经计算的理论准备可追溯到40年代。当时一些神经科学家、生理学家对人脑神经元的电生理方面做了不少工作。1943年，心理学家麦克洛奇(McCulloch)和数理逻辑

辑学家皮兹(Pitts)在《数学生物物理公报(Bulletin of Mathematical Biophysics)》上发表了关于神经网络的数学模型。这个模型,现在一般称为M-P神经网络模型[1.8]。他们总结了神经元的一些基本生理特性,提出神经元形式化的数学描述和网络的结构方法,从此开创了神经计算的时代。

尽管当时年青的数学家皮兹对于能够用数理逻辑工具描述神经网络的活动规律,欣喜若狂,以致耽误了他的博士学位。但是,整个科学界并未予以重视,而认为这仅是一种纯理论上的探索。M-P模型中的形式神经元的性能是简单的,可是网络的计算能力是巨大的。这种巨大的计算潜力来源于神经元之间丰富的联系和整个网络的平行计算。因此,可以认为M-P模型是现代连接主义学派的一个原型。但是,当时的计算机界并不真想构造一个电子模型来实现M-P网络。注意实验的神经科学家也不理解M-P模型的理论价值。只有数学家克里纳(Kleene)把M-P模型整理清楚,抽象发展成一种有限自动机理论。

2. 赫布规则

神经计算机与传统计算机的最大区别之一是它能象动物那样进行学习。动物之所以能学习,原因在于它有日益进化的神经系统。但是,这个学习过程是如何在神经系统中进行的,这一问题至今还没有一个明确的结论。1949年心理学家赫布(Hebb)提出突触联系强度可变的假设[1.9]。这个假设认为学习过程最终发生在神经元之间的突触部位,突触的联系强度随着突触前后神经元的活动而变化。现在,这个规则一般称为赫布规则。赫布提出的学习规则为神经网络的学习算法奠定了基础。现在多数的学习规则遵循这一规则。赫布在《行为的组织》一书中还阐明了另外两个关于神经网络功能的重要论点:一是神经细胞集合的概念,神经元相互连接成可自强化的小集团,从而形成神经系统中信息的表象;二是表象的分布性,即网络中许多细胞参与代表某种事物的表象。

3. 感知机

1957年罗森勃拉特(Rosenblatt)提出的感知机(Perceptron)模型是该领域的一个重要进展,第一次把神经网络研究从纯理论的探讨付诸工程实现,掀起神经计算研究的第一次高潮。感知机由阈值神经元构成,分成若干层神经网络。第一层为视网膜层,接受来自外界的输入,然后投射到第二层。第二层以随机方式连到第三层。最后一层是反应层。罗森勃拉特提出的感知机模型中已经包含了许多现代神经计算机的基本原理。它是一种学习和自组织的心理学模型,整个模型的结构又大体上符合神经生理学知识。模型的学习环境有噪音,内部结构又有随机联系。这些情况符合动物学习的自然环境。感知机中的学习规则是突触强化律。这种机器显然有可能用于模式识别、联想记忆等方面。因此,当时世界上有许多实验室纷纷仿效,设计多种多样的电子装置进行声音识别、文字识别和学习记忆研究。据统计,当时有上百个实验室在研究这类机器。1962年威德罗(Widrow)提出了自适应线性元件(Adaline),它是连续取值的线性网络,主要用于自适应系统。这与当时处于主导地位的以符号推理为特征的传统人工智能途径完全不同,因而形成了神经网络、脑模型研究的高潮。

60年代以后,由于数字计算机的飞速发展,传统人工智能初期研究的巨大成功,吸引了大量专家投入数字计算机的研究。同时发现神经网络极大局限性。明斯基(Minsky)和佩珀特(Papert)仔细分析了以感知机为代表的神经网络系统的功能及局限后,于1969年发表了《Perceptrons》一书,指出感知机仅能解决一阶谓词逻辑,不能解决高阶谓词问题,对神经网络的功能持悲观态度[1.11]。他们的论点极大地影响了对神经网络的研究,使较多的人转去研究当时发展较快的以逻辑为基础的人工智能和知识工程。加上冯·诺伊曼(von Neumann)串行计算机在技术上、规模上、速度上都发展很快,从而掩盖了发展新型计算机和人工智能新途径的必要性和迫切性,致使人工神经网络的研究进入低潮。

4. 霍普菲尔特神经网络模型

70年代末以来,随着人工智能在模拟人的某些认知活动取得很大的进展,专家系统、智能计算机受到重视的同时,人们突出感到了传统的人工智能系统与人的自然智能相比存在一些明显的不足。人工智能在感知能力上的差距很大。人能够毫不费力地识别各种复杂的事物,能从记忆的大量信息中迅速找到需要的信息,人具有自适应、自学习等创新知识的能力。这些都是现有计算机无法比拟的。因此人们又重新将目标转向神经网络的研究上,试图通过对人脑神经系统的结构、信息加工、记忆和学习机制的分析、探索,提出解决上述差距的新思想、新方法。另一方面,学术界对于复杂系统的研究取得了许多进展。普里高京(Prigogine)提出非平衡系统的自组织理论,即耗散结构理论,获得诺贝尔奖。哈肯(Haken)研究大量元件联合行动而产生的有序的宏观表现,创立了协同学(Synergetics)。近年来广泛研究的混沌(chaos)动力学和奇异吸引子理论揭示了复杂系统行为。这些工作,从抽象意义上讲,都是研究复杂行为系统如何通过元件之间的相互作用,系统的结构上由无序到有序,功能上由简单到复杂,类似于生物系统的进化和自组织过程,以及认知系统的学习过程。与此同时,神经科学和脑科学日益受到人们的重视,在感觉系统,特别是视觉研究发现的侧抑制原理、感觉野概念、皮层的功能柱结构,以及信息处理的平行、层次观点,被证明是神经系统处理信息的普遍原则。芬兰电子工程师科霍南(Kohonen)提出了联想记忆理论;日本NHK的福岛邦彦(Fukushima);美国波士顿大学的格罗斯伯格(Grossberg)关于感知觉的共振适应理论;日本甘利俊一(S. Amari)关于神经网络有关数学理论的研究;安德森(Anderson)提出了盒中脑(BSB)模型。这些都是70年代和80年代初进行的工作。

80年代以来,有关神经网络研究进展非常迅速。1982年美国加州工学院物理学家霍普菲尔特(Hopfield)的工作被称为是突破性的[1.13]。他提出了离散的神经网络模型,从而有力地推动了神经计算的研究,标志神经计算研究高潮的又一次到来。他引入李雅普诺夫(Lyapunov)函数(叫做“计算能量函数”),给出了网络稳定判据。1984年霍普菲尔特又提出了连续神经网络模型,其中神经元动态方程可以用运算放大器来实现,因此神经网络可以用电子线路来仿真[1.14]。它与VLSI有直接对应关系,为神经计算机的研制奠定了基础。同时它还可用于联想记忆和优化计算,开拓了神经网络用于计算机的新途径。次年,美国加州理工学院和贝尔实验室合作制成256个神经元和64个可编程的人工神经元。前者由25,000个晶体管和10万个电阻集成在1/4平方英寸的芯片上。