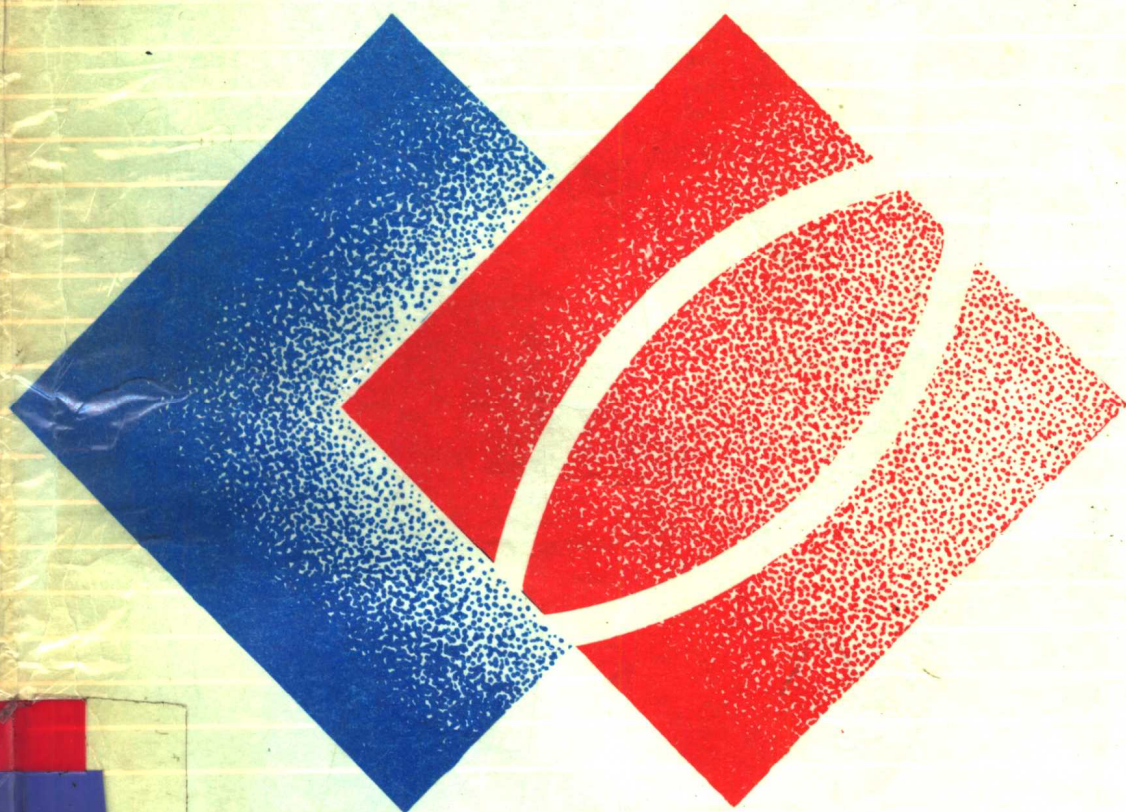


神经计算

原理·语言·设计·应用

(国家自然科学基金资助项目)



何明一 著

西安电子科技大学出版社

687
536

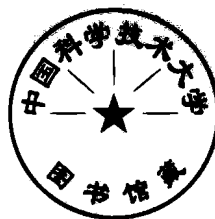
社

神经计算

原理·语言·设计·应用

(国家自然科学基金资助项目)

何明一 著



西安电子科技大学出版社

1992. 11

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书用统一的观点阐述人工神经网络计算系统(简称神经计算)的理论与实践。全书 14 章,分原理、语言、设计与应用 4 个部分。原理部分论述神经计算的基本概念、模型与方法,重点阐述双并联前向神经网络的工作原理和有限精度实现理论;语言部分用实例和语法图描述神经计算设计的 AXON 语言,它是神经计算从原理到编程实现的桥梁;设计部分阐述用智能语言实现神经计算的智能体系结构和神经计算系统的模块及其关键设计技术;应用部分着重叙述神经计算理论与技术应用于卫星遥感多谱图分类、智能反卷积、安全检查及飞行状态监控等的实践结果。本书的特点是:全书采用统一的观点和理论体系,各部分联系密切、相互呼应,实践性强。

本书可作为电路与系统、信号与信息处理、计算机、自动控制、系统工程等专业的研究生及大学高年级学生的教材、自学参考书,或神经计算应用研究指南,同时对相关领域的研究人员和工程技术人员具有重要参考价值。

神经计算

原理·语言·设计·应用

何明一 著

责任编辑 徐德源

西安电子科技大学出版社出版发行

西安空军工程学院印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1 092 1/16 印张 13 12/16 字数 323 千字

1992 年 11 月第 1 版 1992 年 11 月第 1 次印刷 印数 1—5 000

ISBN-5606-0212-6/TP·0075

定价: 10.00 元

前言

一个多世纪以来,思想家和科学家一直在探究人的大脑构筑函数与思维运转机制。尤其是近二十年来,人们在对与大脑有关的感觉器官的仿生方面做了不少工作。然而,至今我们还在寻求其中的奥妙。人脑含有数亿个神经元,并以特殊的复杂的方式组织在一起,它能够在“计算”某些问题时比目前最快的计算机还要快许多倍。生物系统的时间常数在1~100ms,传输率不超过100Hz,而VLSI硅器件的时间常数为10ns,传输率相当30MHz。虽然单个神经元要比电子元件慢数百万倍,然而生物系统处理速度要比电子系统处理速度快许多倍,人们自然会想到生物系统组织的构筑方式和思维的运转机制绝非平常。人工神经网络是模仿生物神经系统的处理方式、组织结构和系统功能的简化系统。有权威人士说,神经网络是自晶体管出现以来科技界又一最大的进展。近几年以来在世界范围内出现的Neural Wave(神经热)将这一领域推进到一个新的里程碑。越来越多的人意识到,神经网络将在众多学科、领域得到广阔的不同深度的应用。人类对自身大脑构筑方式与思维运转机制的理解在今天仍是有限的,而且当今的人工神经网络还仅仅是基于这些认识对大脑神经元系统的高度简化的工程计算模型。人工神经网络有效模型的建立有赖于对大脑思维过程的正确理解,然而这还是一个长期的、艰难的积累过程。神经网络理论体系的建立还需要解剖学、心理学、认知科学、生物控制论、电子学、计算机科学、思维科学、非线性科学等学科不懈的奉献;人工神经网络的工程应用则是大量和迫切需要的。因而,当前国际上关于神经网络研究的主要领域在工程应用。神经网络实现技术是使神经网络系统投入广泛应用的关键,然而这还取决于超大规模集成电路设计、制造工艺的进展。因此,目前基于数字技术对神经网络计算系统的运转功能进行简化的仿真方案是现实的。在这种背景下,本书把神经网络统一理解为一种由人工

神经计算元件组成的并基于数字技术实现的计算系统,简称神经计算。神经计算系统的内容包括:模型、理论、设计与实现方法及应用等方面。这里模型与理论是基础,实现方法是使神经网络投入广泛应用的关键,而应用是目标。这些内容彼此相对独立,又紧密联系,犹如一个环形阵。从应用的观点,需要从理论、设计到应用都通用的、深思熟虑的统一处理。正是出于这一动机,本书力图用统一的观点论述神经计算系统的原理、软件实现的AXON智能语言、设计的体系与程式和应用实例。

本书由原理、语言、设计与应用4个部分共14章组成。原理部分论述神经网络计算的基本概念、模型与方法,重点阐述双并联前向网络的系统理论和有限精度实现的理论基础;语言部分以实例和语法图描述神经网络设计的AXON语言,它是由系统理论到编程实现的中间媒介;设计部分阐述用智能语言实现神经计算的智能体系结构、神经计算系统的模块及其设计,实现技术是使理论转化成应用的关键;最后一部分着重介绍神经网络理论与技术应用于卫星遥感多谱图分类、智能反卷积、安全检查系统及飞行状态监控等的实践结果。这4部分,原理是基础,语言是神经计算从理论到实现的中间媒介,设计是关键,应用是目的。

第1章回顾神经网络研究的发展历程,根据人工神经网络研究的两条途径,给出了神经网络的更一般性的定义:神经计算元件网络,简称神经计算。

第2章概括性地介绍了人工神经网络的基本概念、模型、特点、方法等。

第3章着重阐述双并联前向神经网络(DPFNN)的结构、学习算法等理论问题,DPFNN具有比多层前向网络更优异的性能,具有重要的实用意义。

第4章分析了双并联前向网络在有限精度输入和权值作用下的影响,为基于数字技术实现特别是基于数字计算机的程序实现提供了重要的参考依

据。

第5章至第10章用实例和语法图描述了AXON语言,其中包括语言基本要素、数据及其类型、运算符与表达式、语句、函数和编译。这是新颖的高级智能语言,它使神经网络软件设计更加简洁、准确和高效。

第11章给出了神经计算系统设计的智能体系结构,它由一级模块、二级和三级子模块组成。这为神经网络智能环境的研制提供了一个新的蓝本。

第12章以DPFNN等为例,给出了若干关键模块的设计。第13章列出了DPFNN应用软件的基本流程并介绍了部分用户接口。

最后,第14章以较大的篇幅,叙述了神经计算技术在卫星遥感多谱图分类、智能反卷积、安全检查、飞行状态监控等问题中应用的部分成果,还探索了神经网络在新一代航空电子系统中的应用前景。

在进行本书所述研究过程中,中科院学部委员、西安电子科技大学保铮教授给予了热情的关怀和悉心的指导,并详细审阅了全书;澳大利亚阿德莱德大学(The University of Adelaide) R. E. Bogner教授也给予了热情关怀、指导和鼓励;西北工业大学林崇平教授、陈鑫根教授及董光明教授给予了热情的关怀、鼓励与支持,借此机会向他们表示衷心的感谢。陕西省神经网络——人工智能专业学会主任焦李成博士后仔细阅读了本书并提出了一些宝贵的建议。感谢西北工业大学神经网络研究室的同事们的帮助和西北工业大学参加“神经网络原理、设计与应用”课程学习的博士生硕士生的建议和讨论。在读硕士生张文峰同学参加了X光机多能图像分类的部分实验并帮助校阅了部分章节,在此感谢。航空航天部总

工程师、全国信号处理学会理事长张彦仲教授,中科院学部委员、自动化所戴汝为研究员,中国神经网络委员会主席清华大学吴佑寿教授,中国神经网络委员会副主席东南大学何振亚教授等都曾表示过热情的鼓励,作者向他们表示诚挚的谢意。感谢西北工业大学领导、科研处、电子工程系、电子科学技术研究所和电路与系统教研室的领导和各位老师的热情关怀与支持。西安电子科技大学出版社的领导、编辑和有关同志对本书出版给予了热情的支持并为之负出了辛勤的劳动。在出版过程中,西北工业大学出版社及西工大角楼电排复印中心全体同志对本书的出版给予了大力支持,特此感谢。我还要特别感谢我的妻子李锻炼,她在抄誊手稿和校阅部分样稿过程中还对文字作了润色,没有她的理解、支持与帮助,此书现在还难以同读者见面。本书所述部分研究得到了国家自然科学基金(6882020, 69171025)、航空科学基金(91F53035)、航空航天部自选课题(BJ061001)、西北工业大学青年科学基金(X061070)等的部分资助。书中还包含了作者在澳大利亚Adelaide大学参加澳国家研究基金(ARC)、国防科学技术部(DSTO)基金项目 and 参加为DSTO组建基于HNC产品的神经计算系统的开发研究工作的部分结果。西北工业大学、西安电子科技大学电子工程所雷达与信号处理国家重点实验室和澳大利亚Adelaide大学电气电子工程系提供了优越的研究条件。公安部第一研究所提供了X光机多能图像实验数据和有关硬件设备。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免会有一些不当之处,殷切希望广大读者批评指正。

何明一

1992年8月

目 录

第一部分 原理

第 1 章 绪言	3	3.1.2 多层式前向网络.....	28
§ 1.1 神经网络研究的历史与背景.....	3	3.1.3 双并联前向网络.....	30
§ 1.2 神经网络的基本概念.....	6	§ 3.2 工作原理.....	30
§ 1.3 神经网络设计的 AXON 语言.....	8	§ 3.3 映射功能与误差曲面.....	30
§ 1.4 神经网络设计与应用.....	9	§ 3.4 学习.....	32
§ 1.5 主要符号表.....	10	3.4.1 学习复杂性与网络结构复杂性.....	32
第 2 章 神经网络概述	16	3.4.2 广义学习算法.....	33
§ 2.1 网络参数.....	16	3.4.3 最速下降算法.....	35
§ 2.2 网络功能层次.....	16	3.4.4 高斯-牛顿算法.....	35
2.2.1 输入层.....	17	3.4.5 并行预测误差算法.....	36
2.2.2 中间层.....	17	3.4.6 递推预测误差算法.....	36
2.2.3 输出层.....	17	§ 3.5 双并联前向网络的误差后向	
2.2.4 训练层.....	17	传播学习算法.....	38
2.2.5 辅助层.....	17	3.5.1 信息前向传播处理.....	38
§ 2.3 前向网络与反馈网络.....	17	3.5.2 误差后向传播调整.....	40
§ 2.4 学习.....	18	3.5.3 学习率、惯性参数、光滑因子	
§ 2.5 功能神经网络.....	19	与批处理.....	43
2.5.1 误差后向传播网络.....	19	第 4 章 有限精度实现理论	47
2.5.2 反馈联想网络.....	20	§ 4.1 概述.....	47
2.5.3 竞争网络.....	21	§ 4.2 收敛性对初始权值的敏感现象.....	48
2.5.4 自适应共振网络.....	25	§ 4.3 前向网络的有限精度实现理论	
2.5.5 其它网络.....	26	初步.....	50
§ 2.6 神经计算网络的统一处理.....	26	4.3.1 分析条件.....	50
第 3 章 双并联前向网络	28	4.3.2 隐层有限精度分析.....	50
§ 3.1 网络结构.....	28	4.3.3 一般层有限精度分析.....	55
3.1.1 级联式前向网络.....	28	§ 4.4 输入编码的影响.....	55
		§ 4.5 双并联前向网络有限精度分析.....	56
		§ 4.6 信噪比分析.....	57
		§ 4.7 比特数的影响.....	58

第二部分 AXON 语言

第 5 章 语言基本要素 63

- § 5.1 关键字 63
- § 5.2 标识符 64
 - 5.2.1 句法 64
 - 5.2.2 作用域 64
 - 5.2.3 用法 65
 - 5.2.4 生存期 65
- § 5.3 常数 66
 - 5.3.1 整数 66
 - 5.3.2 浮点常数 66
 - 5.3.3 枚举常数 66
 - 5.3.4 字符常数 67
 - 5.3.5 字符串常数 68
- § 5.4 运算符 68
- § 5.5 标点符号 69
- § 5.6 注释 70

第 6 章 数据及其类型 71

- § 6.1 数据说明 71
 - 6.1.1 存储范围 71
 - 6.1.2 类型说明 72
 - 6.1.3 标识符 73
 - 6.1.4 标识符的初始值 74
- § 6.2 组合数据类型 74
 - 6.2.1 枚举型 74
 - 6.2.2 记录与联合型 75
 - 6.2.3 用户自定义数据类型 76
 - 6.2.4 用户自定义类型名 77
- § 6.3 类型转换 78

第 7 章 运算符与表达式 80

- § 7.1 结构运算 81
- § 7.2 单目运算 82
 - 7.2.1 逻辑非运算 82
 - 7.2.2 按位取反运算 82
 - 7.2.3 增 1 和减 1 运算 83
 - 7.2.4 间址运算 84
 - 7.2.5 取地址运算 84
 - 7.2.6 长度计算 84

- § 7.3 算术运算 84
- § 7.4 字位逻辑运算 86
- § 7.5 关系运算 87
- § 7.6 逻辑运算 88
- § 7.7 条件运算 88
- § 7.8 赋值与自反赋值运算 89
 - 7.8.1 赋值运算 89
 - 7.8.2 自反赋值运算 89
- § 7.9 逗号运算 90
- § 7.10 计算顺序和优先级 90
- § 7.11 表达式的形式定义 91
- § 7.12 小结 91

第 8 章 语句 92

- § 8.1 基本格式 92
- § 8.2 表达式语句 93
- § 8.3 条件语句与开关语句 93
 - 8.3.1 IF 语句 93
 - 8.3.2 CASE 语句 95
- § 8.4 循环语句 96
 - 8.4.1 WHILE 语句 96
 - 8.4.2 REPEAT 语句 97
 - 8.4.3 FOR 语句 97
 - 8.4.4 ITERATOR 语句 98
- § 8.5 流程控制语句 98
 - 8.5.1 GOTO 语句 99
 - 8.5.2 CONTINUE 语句 99
 - 8.5.3 BREAK 语句 99
 - 8.5.4 RETURN 语句 100
- § 8.6 网络语句 100
 - 8.6.1 数据更新语句 UPDATE 100
 - 8.6.2 构造语句 BUILD 101
- § 8.7 连接语句 CONNECT 和选择函数 101

第 9 章 函数 103

- § 9.1 函数定义 103
- § 9.2 传递函数 104
- § 9.3 选择函数 105
- § 9.4 网络控制函数 105
 - 9.4.1 构筑函数 CREATE 105
 - 9.4.2 运转函数 OPERATE 106
- § 9.5 内部函数及库函数 106

第 10 章 AXON 文件编译	107
§ 10.1 概述	107
§ 10.2 安装编译器	107
§ 10.3 建立 AXON 文件	108
§ 10.4 编译 AXON 神经网络软件	108
§ 10.5 目标码的连接	108
§ 10.6 平滑窗神经网络	109

第三部分 设计

第 11 章 网络模块及其设计	115
§ 11.1 网络组成	115
§ 11.2 网络常数记录模块	115
§ 11.3 网络定义模块	118
11.3.1 处理元件定义	118
11.3.2 处理层说明	121
11.3.3 控制函数说明	121
§ 11.4 处理域	122
11.4.1 处理域说明	122
11.4.2 处理元件组与处理元件域	122
§ 11.5 双并联前向网络 DPFNN 的 基本模块设计	123
11.5.1 DPFNN 的常数记录	124
11.5.2 DPFNN 的网络定义	125
第 12 章 运算功能设计	128
§ 12.2 构筑函数设计	128
12.2.1 构筑函数	128
12.2.2 构造语句	129
12.2.3 连接语句	129
§ 12.2 运转函数设计	131
12.2.1 传递函数设计	132
12.2.2 函数循环设计	132
§ 12.3 学习循环设计	133
§ 12.4 综合设计	135
12.4.1 网络结构	135
12.4.2 连接方式	135
12.4.3 常数记录	135
12.4.4 构筑函数常数确认	136
12.4.5 运转函数与学习开关	136
12.4.6 传递函数	136
§ 12.5 DPFNN 的运算功能设计	137

12.5.1 构筑函数设计	137
12.5.2 运转函数设计	139
12.5.3 传递函数设计	141
第 13 章 用户接口与应用软件	146
§ 13.1 系统工作方式	146
§ 13.2 用户接口子程序库命令	147
13.2.1 环境设置命令	148
13.2.2 读取初始权值命令	148
13.2.3 装入网络命令	148
13.2.4 装入数据命令	148
13.2.5 迭代命令	148
13.2.6 读取结果命令	148
13.2.7 修改运行参数命令	148
13.2.8 存贮命令	148
13.2.9 网络内存清除命令	149
13.2.10 清除神经计算系统内存命令	149
§ 13.3 应用软件组成	149
§ 13.4 高级用户接口 NetSet	150
§ 13.5 基于 C 语言的 Windows 接口	151

第四部分 应用

第 14 章 神经计算系统的应用	155
§ 14.1 概述	155
§ 14.2 神经网络应用领域	156
§ 14.3 神经计算在卫星遥感多谱图像 分类中的应用	157
14.3.1 概述	157
14.3.2 目的与目标	159
14.3.3 问题的描述	159
14.3.4 网络设计	159
14.3.5 实验及其结果	162
§ 14.4 神经计算系统在智能反卷积中 的应用	166
14.4.1 引言	166
14.4.2 广义逆群	166
14.4.3 广义逆群的神经网络实现	169
14.4.4 基于 Hopfield 网络的反卷积	170
14.4.5 基于信号的多脉冲逆的反卷积	172
§ 14.5 神经计算在安全检查中的应用	173

14.5.1 概述	173	14.6.3 航空电子系统智能化发展趋势	180
14.5.2 多能 X 光机安全检查系统	173	14.6.4 神经网络用于飞行故障模式检测与 状态监控的仿真研究	181
14.5.3 基于热中子激励的防爆系统	175	§ 14.7 小结	186
14.5.4 神经网络技术在 X 光机多能 图像分类中的应用	175	附录 A AXON 词汇	187
14.5.5 讨论	177	附录 B 内部函数目录	190
§ 14.6 神经网络技术在新一代航空电子 系统中的应用	178	附录 C 数学子程序库目录	191
14.6.1 概述	178	附录 D FWA 测试程序	193
14.6.2 国外神经网络技术在航空电子 系统中应用的简况	178	参考文献	201

第一部分

原 理

绪 言

§ 1.1 神经网络研究的历史与背景

纵观人类科技史，在世纪转折时期，有许多的科学家为交叉学科作出了不可磨灭的贡献。仅在上一个世纪，就出现了许多著名的交叉学科科学家，如高斯（Gauss）、麦克斯韦（Maxwell）、亥姆霍兹（Helmoltz）、马赫（Mach）等。在这些 19 世纪的交叉科学学者中，Helmoltz 关于电方面的工作无可争议地为今天的神经网络（Neural Network）研究作出了贡献；他通过对神经轴突（Axon）的电传导性研究总结和完善了能量守恒原理，他利用当时的光学知识为我们今天关于视觉系统的理论做出了重要贡献，他利用声学知识促进了听觉理论……，Helmoltz 关于非线性失真的学说（虽然后来发现并不正确），曾在科学界受到近 100 年的尊重……

在本世纪初期，心理学、生物学与数学、物理学的分离日趋明显，交叉学科陷入了困境。这种分离导致了两个明显的趋势：首先，物理学得到迅速发展，并有随之发展的数学的支持，这样吸引了一大批科学家去探索真实世界的理论，而放弃还不精确的内省的心理王国。其次，生物学和心理学的非线性数学模型的分析 and 计算遇到了极大的障碍。Helmoltz 的著作特别指出了需要工具来解决大脑计算中的非线性和非局域特性问题。由于缺乏工具，生物学家和心理学家放弃了数学的严密性，而寻求更为直觉（虽然不太严格）的处理方式。

到了本世纪中叶，科学家又再次试图把数理科学和认知科学结合起来，并作了不少工作。McCulloch 和 Pitts 的著作（1943）融汇了生物物理学和数学，提出了第一个神经计算模型（即 MP 模型）。Hebb 通过对大脑神经细胞、学习与条件反射的观察与研究，描述了学习的数学程序（Organization of Behavior, 1949），这便是至今仍有重要意义的 Hebbian 规则。Frank Rosenblatt 发展了 MP 模型，提出了感知器（Perceptron）模型（1957），给出了两层感知器的收敛定理（Principle of Neurodynamics, 1962），并提出了引入隐层处理元件的三层感知器这一重要的研究方向，虽然他未能解决训练三层感知器的算法问题，但后来的一大类神经网络模型都是感知器模型的变形。因此，Rosenblatt 被称之为神经网络之父。1962 年 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。这些与当时占主导地位的以顺序离散符号推理为基本特征的人工智能大相径庭，因而既引起了不少人的兴趣，也在学术界引起了很大的争议。当时在美国麻省理工学院（MIT）的 Pa-

pert 和 Minsky 教授对感知器 (Perceptron) 的功能及其局限性从数学上作了深入的研究, 于 1969 年在 MIT 出版社发表了他们的论著《Perceptrons》(感知器), 他们在书中指出了双层感知器的许多局限性, 使相当多的人都认为人工神经网络的研究前途渺茫。加之, 当时数字计算机正处在发展的全盛时期, 基于数字计算机进行推理的人工智能得到迅速发展并取得了显著的成果, 导致美国有关部门在此后的 15 年里未曾资助过任何神经网络研究课题, 苏联有关研究机构终止了已资助的神经网络研究课题。此后相当长一段时间, 神经网络研究处于低潮。

但是, 庆幸的是仍有不少学者在极端艰难的条件下致力于这一研究, Grossberg 等提出了自适应共振理论; 芬兰的 Kohonen 提出了自组织映射网络模型; Fukushima 提出了神经认知网络理论; Amari 致力于神经网络数学理论的研究; Anderson 提出了 BSB 模型; Werbos 提出了 BP 理论, Widrow 发展了 Adaline 模型。这些为神经网络研究的发展奠定了理论基础。然而他们的工作并未引起当时公众的承认和科技界的关注, 甚至连他们的论著也难以得到发表。(只是到最近几年才越来越意识到其重要性)。

本世纪 70 年代后期, 设计制造计算机的科学家发现前面有不可逾越的线路微型化的物理极限, 研究和试图模拟视觉与听觉的人工智能专家发现, 人们习以为常的普通知识和经验难以传授给计算机。如一只鸽子能在几分钟内学会识别一个特定的物体, 而迄今为止, 使用任何数字计算机, 用现有的任何算法都无法达到期望的水平。另一方面, 工程中的问题变得更加复杂化, 计算上的非线性, 组合上的“爆炸性”, 信息中的模糊性, 都给数字计算机、计算技术、人工智能技术提出了新的挑战。这一切迫使人们去思考, 是否存在更好的计算处理模型? 是否人脑的智能可以在机器中再现?

因此, 从模仿人脑功能的角度出发来探寻新的信号信息表示与存贮方式, 设计全新的计算结构模型, 研究新的计算技术, 制造新的智能化软、硬件系统具有非常重要的应用意义和科学意义。这一切使人们回想起当年的神经网络研究。

1982 年, 美国加州工学院化学家与物理学家 Hopfield 提出了一个用于联想记忆和优化计算的新途径。Feldmann 和 Ballard 的连接网络模型指出了传统的人工智能“计算”与生物“计算”的不同点, 给出了并行分布处理的计算原则; Rumelhart 和 McClelland 等人提出了 PDP (并行分布处理) 理论致力认识微观结构的探索, 同时发展了今天广泛使用的 BP 算法。继此, 一大批科学家又被吸引到神经网络这一研究领域。理论上不断取得进展的同时, 硬件实现研究工作也在积极开展并已取得可喜成果。从上一个世纪的转折时期以来, 不断积累起来的神经网络理论和技术对今天和今后, 尤其是现在 (本世纪的转折期) 的神经网络研究提供了良好的基础与工具。

现在, 神经网络理论的应用已经渗透到各个领域, 并在信号处理、智能控制、模式识别、机器视觉、非线性优化、自动目标识别、知识处理、传感技术等方面取得令人鼓舞的进展。

美国国防部预研计划管理局 (DARPA) 于 1987 年 8 月组织了一批教授、专家进行调研, 走访了 3 000 多位有关研究人员和学者, 于 1988 年 2 月完成了一份长达 600 多页的神经网络研究计划的论证报告。DARPA 于 1988 年 11 月开始执行一项发展神经网络及其应用的 8 年计划, 投资数亿美元。此后相继出现了日本的 HFSP 计划, 法国的“尤里卡”计划, 德国的“欧洲防御”计划, 苏联的“高技术发展”计划和澳州的“高技术”计划等, 并拨专款

用于神经网络研究。美国 NASA 的老板说,他们对神经网络的研究有如当年搞原子弹一样重视。

从 IJCNN91 (西雅图) 论文集内容看,神经网络的应用领域达到了前所未有的广度,一些新生长的应用领域给人以深刻印象。心电图分类、在工业生产监控方面的玻璃缺陷检测、管道故障诊断、自动工业检验的机器视觉系统、识别结构系统的内力、工业上的再利用设计、防震控制系统、统计质量控制;在预测预报方面有在肯尼迪空间中心预测闪电、化工厂预测模型、制造设备中的投资决策;在分析和处理方面的高能物理中粒子跟踪、模式分类和函数近似、质谱分类、金属表面性质分类、DNA 序列分析;在邮政通信及信息服务方面有大信息库的自动检索、邮政编码的区分与识别、文字识别、数据压缩、通信业务量的控制、通信网动态路由选择、通信控制器;在军事方面有多目标跟踪、战斗机飞行控制、声源定位、汽车自动驾驶、战场管理;其他领域,如神经网络作图、语音识别等。此外,在展览会上一些公司还推出了其它应用产品,如财政风险分析,原油价格预报、股票行情分析、支票及收据查验等。

按照 IJCNN91 大会主席 D. Rumelhart 在开幕词中的说法,神经网络的发展已到了转折关头,它的范围正在不断扩大,其应用领域几乎包括各个方面。INNS 主席 P. Werbos 也指出,过去几年至过去几个月神经网络的应用使工业技术发生了很大变化,特别是在控制领域有突破性进展。这些说法是对当前神经网络应用状况的很好概括,就是说,神经网络在近年的应用无论在广度方面还是在深度方面都有了新的发展。

我国神经网络研究起步于 1988 年前后,并在基础与应用领域开展了一些工作,这些反映在 1989 年全国第一届神经网络——信号处理会议,1990 年 12 月(北京)中国第一届神经网络学术大会,1991 年 12 月(南京)的中国第二届神经网络学术大会和第二届全国神经网络——信号处理学术会议联合会议等。我国神经网络研究的工作已引起国际神经网络学会(INNS)的重视,已决定 1992 年国际神经网络学会和 IEEE 神经网络委员会联合学术会议 IJCNN 将于 1992 年 11 月在北京召开。此外国家自然科学基金委员会、国防基金委、国家 863 计划和攀登计划等都于近几年开始资助神经网络研究。在迟惠生等的“从 IJCNN91—Seattle 看神经网络的发展动向”一文结尾有这样一段话:

(1) 神经网络的发展正在走向成熟,它的发展已经到了一个转折点,我们正处在神经网络大规模应用的前夜。

(2) 在神经网络的未来发展中,神经网络与其他计算技术及信号处理技术的紧密结合,充分发挥各自的所长而成为性能更强的系统将是一个重要方向。

(3) 神经网络的各种实现的发展步伐要比预想的快,并且灵活的、针对性强、易于使用的小规模神经网络软、硬件产品的发展应用规模也会越来越大,相对而言,理论和基础研究的发展则相对平稳,需要不断积累成果以求新的突破。

“科学技术是生产力”,而且是“第一生产力”。生产的需要又是科学技术发展的巨大动力,军事和国防的需要是加速这种进程的“催化剂”。因此,众多学科和工农业生产的需要、海湾战争对国防建设的启示,都必将加速神经网络的发展。美国政府在他的有关规划中称 90 年代是大脑的 10 年,中科院院长周光召在“90 年代世界科学技术发展趋势展望”系列讲座中提出的第一个趋势是:90 年代是信息和智能的时代。无疑神经网络在本世纪的最后年代里将有一个飞跃的发展。

§ 1.2 神经网络的基本概念

到目前为止,对人工神经网络(Artificial Neural Networks 简称 ANN)尚未有一个准确的定义,但大多数人容易接受的观点是:人工神经网络是指由大量与自然神经系统的神经细胞类似的(人工)神经元互联而成的网络。根据这一观点,神经网络研究可分成两条途径,如图 1.1 (a) 和 (b) 所示。

第一途径:从生物神经系统的低级处理能力出发,即利用解剖、生理学手段研究生物神经细胞结构、特性,进而提出人工神经元模型(处理单元),再由人工神经元设计人工神经网络,以期 ANN 具有生物神经系统的某些特性。

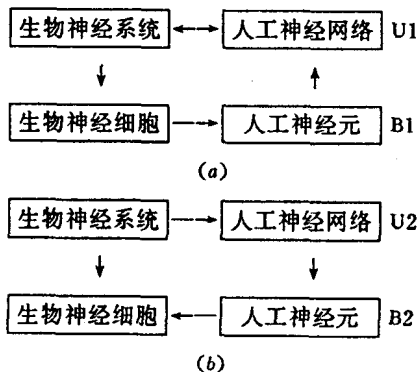


图 1.1 神经网络研究途径 (a) 第一途径; (b) 第二途径

第二途径:从生物神经系统的高级处理能力出发,利用心理学、数学等手段,提炼人工神经网络应具备的功能、特性,再基于生物(或自然)神经细胞的结构、功能特点,设计其基本处理单元。

感知器(Perceptron)和 BP 网络都可视为沿第一途径研究得到的模型。PDP 中的协同与竞争(IAC)及、CPN、ART 改进型的“良心机理”(Conscience)等都是沿第二研究途径取得的成果。

从广义上讲,人工神经网络可以理解成,由大量像生物神经元的处理单元高度并联、互联而成的,具有某些智能功能的系统。其智能功能既可是低级处理能力(如单个神经元的阈值特性),也可以是高级处理能力(如 IAC 的竞争机理、“良心机理”)。

基于以上认识,本书所述神经网络既包含标准人工神经网络,也包含广义人工神经网络,简称神经网络或神经计算系统。本书中,神经网络、人工神经网络、神经计算系统、神经计算没有本质性的差别,将交替使用。

神经网络是分布信息处理结构。其节点称为处理元件(简称 PE)或称神经元,连线称为联结(connection)。图 1.2 是人工神经网络的抽象化模型。注意,网络的输入与网络的输出是分别指外界加到网络的所有信号与网络输出的信号,它们由所处理的具体问题来决定。

处理元件 PE 是构成人工神经网络即神经计算系统的基本积木块。单个处理元件可以有多个输入联结,但只有一个输出。输出端可以分成若干分枝并经不同的联结与其它处理元件相连。处理元件的输入可以具有任意数据类型,如整型、实型、复数型,或混合型

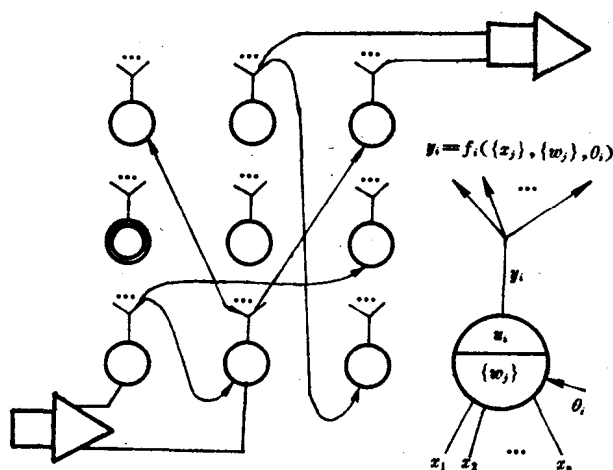


图 1.2 神经网络的一般结构的抽象化模型

(即整型、实型、复型排列成阵)。由于处理元件的输出是单一的，因此要求与某一处理元件相连的所有其它处理元件都能接收与该处理元件输出具有同一类型的输入。但是，一处理元件接收的多个输入信号不必具有相同的类型。

处理元件与大量的数据相联系，这些数据构成处理元件的内部构造，它们是联结权值、输出联结值即处理元件的输出或状态、局部存贮变量和传递函数。图 1.3 给出了处理元件的内部构造。

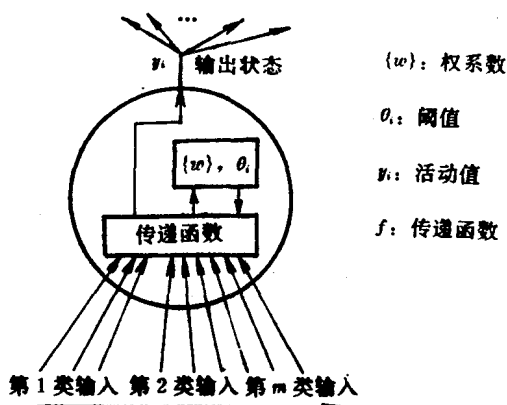


图 1.3 处理元件模型及其内部构造

用户输入数据是以数据阵列形式加给网络的，其阵列形式由网络模型决定。输入数据阵列的值实际上变成第一层处理元件的状态值。因而，被处理的诸如感觉、听觉或其它模式必须用数值表示。当一个用像元（像素）阵表示的光样本（即图像）送入网络时，它便首先被转换成浮点数阵列。

到一个处理元件的输入联结又是分成若干输入类别的。输入信号类别由网络结构设计

员决定。功能类似的输入联结属于同一输入类别。也就是说来自同一功能区的信号划分为同一输入类。每一个联系由输入信号和相应的权值共同决定,权值为0意味不存在联系。对于每一处理元件,权值类型由相应的输入信号类型决定。

属于同一输入类别的输入信号具有完全相同的数据类型。类似地,对于一个给定的输入类的联系的所有权值必须具有相同的数据类型。但是权值类型与输入数据类型不必相同。

处理元件有一个内部数据表示,即局部记忆或局部存贮。局部存贮器是一组变量,处理元件使用这些变量来修改其自身的输出以及相连的权值。每一个处理元件只有一组局部存贮器。并不要求局部存贮器结构的所有单元具有相同的数据类型。

处理元件的运算功能由其传递函数决定。传递函数是处理元件根据其联系权值、输入信号和它的局部存贮器之值来确定其输出状态的处理方程。

传递函数通常都有一个称为学习律的子函数。学习律是用来调整在一定时间范围内作用在该处理元件上输入/输出响应关系的,通常都是靠修改权值和局部记忆值来实现的。

上面的叙述把神经网络视为处理元件和联结值(包括联结信号和联结权值)的集合。然而,大多神经网络还有其它一些显著结构特点。如众所周知的神经网络结构可表示成若干叫做层的子集。每一子集内,处理元件具有相同的传递函数。此外,一般同一层的所有处理元件之输出具有同一数据类型,所有输入属于同一输入类别。对一个给定层,处理元件的每类的输入联系数据又可是各不相同的。图1.4示出了一个具有5层的神经网络。每一层含有2维阵列排列的处理元件。如图所示,除了不同层间处理元件间有联结外,同一层内不同处理元件间也可以有联结。

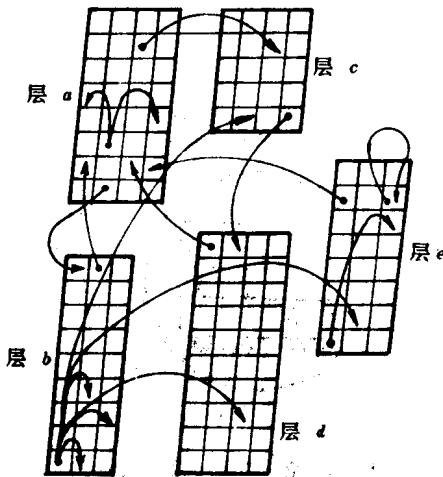


图 1.4 一个具有5个处理层的神经网络模型。每一层都是由2维阵列的神经元组成的。不同层间的神经元有联结,同一层内不同神经元之间也可以有联结。

§ 1.3 神经网络设计的 AXON 语言

AXON 语言是美国神经网络计算机公司 (HNC) 于 1988 年首次推出的,它是用来描述和设计神经网络的第二代高级编程语言。AXON 一词本意是指生物神经元中传递信息的神