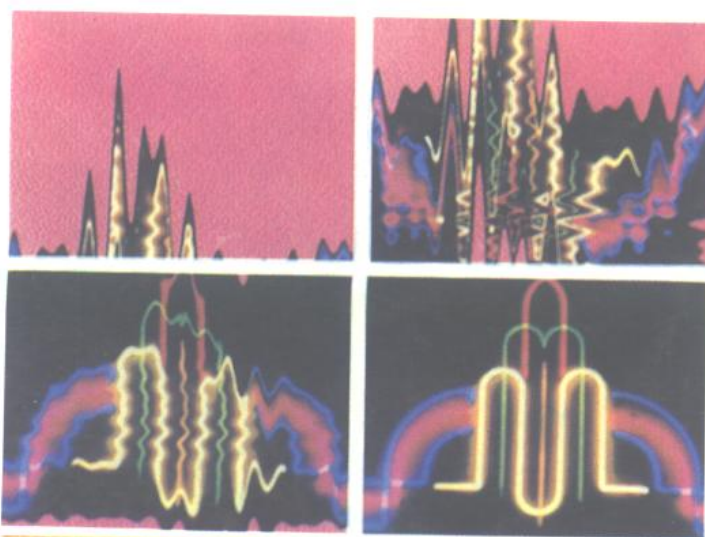


第六代计算机

——人工神经网络计算机

王汝笠 章明 周斌 著



7.1
/1

71.89.1
175.1

第六代计算机

——人工神经网络计算机

王汝筌 章 明 周 斌 著

科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

本书围绕人工神经网络计算机主题,以计算机神经学、视觉心理物理学、光电子神经网络和生物分子计算机近几年来所取得的重大成果作为基础,全面深入地论述了第六代计算机的理论、方法和系统。全书共六章,分别论述了计算机神经学、人工神经网络理论基础、电子人工神经网络、光学人工神经网络计算机、生物分子计算机及人工神经网络工程若干应用。该书不仅理论严谨、取材精炼,而且其思路新颖,颇有创见。

本书可供从事计算机科学、人工智能、人工神经网络工程、信息获取与处理、自适应控制与机器视觉等方面的科技人员阅读,也可供高等院校专业的教师、研究生等参考。

第 六 代 计 算 机 ——人工神经网络计算机

王汝筌 章 明 周 斌 著
科 学 技 术 文 献 出 版 社 出 版
(北京复兴路 15 号 邮政编码: 100038)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

787×1092 毫米 16 开本 15 印张 363 千字
1992 年 12 月第一版 1992 年 12 月第 1 次印刷
印数: 1-4000 册

科技新书目: 281—107
ISBN 7-5023-1814-3/TP·97

定 价: 9.70 元

前 言

20 世纪, 电子计算机的问世, 对人类社会产生了重大和深远的应响。但一直被誉爲“电脑”的电子计算机, 除记忆功能与人脑有相同之处外, 其它工作机理完全与人脑不同。直至 1982 年, 美国加利福尼亚工学院的霍普菲尔德教授提出了仿效人脑工作的人工神经网络模型以后, 美国、日本、欧洲都掀起了一股人工神经网络计算机热。IBM、贝尔实验室、三菱、日本电气、富士通等大公司已试制出各种人工神经网络芯片, 利用光学及生物分子等人工神经网络计算机都争先问世。这些都为 21 世纪人类大规模地进入智能信息社会作了必要的准备。人工神经网络计算机是一种能够模拟人脑功能的超分散和超平行处理信息的计算机, 即第六代计算机。它具有自我组织功能, 实现自学习和联想记忆, 特别适合于模式识别、声音处理、运动控制等领域。本书的目的是为这一代计算机科学的重大突破而作出的一种积极的响应, 同时也记述了我们近几年的探索与追求。

尽管本书不能包罗第六代计算机研究的所有内容, 然而它却已构划出了人工神经网络计算机崭新的理论框架和独创的技术途径。因此, 本书也是为那些拼搏于人工神经网络计算机领域里的多学科(计算机科学、认知心理学、材料科学、生物物理学、生物电子学、光学与光电子学等等)科技工作者所写的, 以期起到抛砖引玉的作用。

本书共有六章, 第一章介绍了人工神经网络计算机的基本概念和社会背景; 第二章论述了人工神经网络的理论基础; 第三章讨论了电子人工神经网络; 第四章从工程技术出发, 论述了光学人工神经网络计算机; 第五章简要介绍了生物分子计算机; 最后在第六章中介绍了几项人工神经网络工程的应用实例, 还列出了三层人工神经网络的权值学习程序, 可应用于任何三层人工神经网络。

本书承蒙北京文献服务处曾民族研究员、北京邮电学院梁雄健教授及北京机械工业学院程少庚教授、陈默子副教授等专家们的审阅和指正, 陈默子副教授还为本书补充了 § 6.8 节, 在此一并感谢。

由于作者才疏学浅, 加上时间紧迫, 错误和不妥之处, 敬请读者不吝指正。

著 者

1992 年 11 月

目 录

第一章 计算神经科学	(1)
§ 1.1 人工神经网络计算机的突起	(1)
§ 1.2 人工神经网络计算机、计算神经科学与信息社会	(2)
§ 1.3 计算神经科学和第六代计算机相互间的影响	(4)
1.3.1 大脑视觉平行信息处理功能	(4)
1.3.2 神经元与神经网络	(5)
1.3.3 脑模型	(6)
§ 1.4 人工神经网络的定义与结构	(8)
1.4.1 概述	(8)
1.4.2 人工神经网络的定义	(9)
1.4.3 人工神经网络的一般结构	(9)
§ 1.5 计算神经科学的地位与展望	(11)
第二章 人工神经网络理论基础	(14)
§ 2.1 PDP 模式	(14)
2.1.1 PDP 思想的提出	(14)
2.1.2 人脑与计算机的差别及其原因	(15)
2.1.3 认知微结构	(16)
2.1.4 PDP 模式的表示方法	(20)
2.1.5 PDP 模式质疑	(21)
§ 2.2 容限空间	(23)
2.2.1 容限空间描述方法	(23)
2.2.2 二维图形拓扑差异的视觉敏感性	(27)
2.2.3 三维景物的视觉认知	(28)
§ 2.3 网络理论	(32)
2.3.1 连接制网络模型	(32)
2.3.2 分层网络结构	(33)
2.3.3 网络拓扑	(36)
2.3.4 网络的容错及语义距离	(42)
§ 2.4 混沌理论	(43)
2.4.1 分岔与混沌	(44)
2.4.2 普适性与普适常数	(45)
2.4.3 奇怪吸引子	(46)

2.4.4 混沌理论与人工神经网络	(49)
第三章 电子人工神经网络	(50)
§ 3.1 人工神经元	(50)
3.1.1 人工神经元构态	(50)
3.1.2 人工神经元模型	(52)
§ 3.2 典型人工神经网络	(53)
3.2.1 BP 人工神经网络和 BI 人工神经网络	(53)
3.2.2 霍普费尔德人工神经网络	(57)
§ 3.3 人工神经网络视觉模型	(61)
3.3.1 富库薪马人工神经网络视觉模型	(61)
3.3.2 马歇尔人工神经网络视觉模型	(66)
3.3.3 欧莫理人工神经网络视觉模型	(69)
3.3.4 布莱克博姆人工神经网络视觉模型	(73)
§ 3.4 重要人工神经网络	(78)
3.4.1 自组织人工神经网络	(78)
3.4.2 晶体机人工神经网络	(85)
3.4.3 高阶关联人工神经网络	(87)
3.4.4 联想线性人工神经网络	(88)
第四章 光学神经网络计算机	(90)
§ 4.1 从希望走向现实	(90)
4.1.1 ONNC 研究的重大突破	(90)
4.1.2 ONNC 功能器件研究	(91)
4.1.2.1 半导体光学双稳态器件	(92)
4.1.2.2 自电光效应器件(SEED)	(94)
4.1.2.3 面发光元器件	(95)
4.1.2.4 面输入 / 输出光电复合器件 (VSTEP)	(97)
4.1.2.5 空间光调制器 (SLM)	(98)
4.1.2.6 新型元器件研究	(102)
4.1.3 ONNC 与光技术	(102)
4.1.3.1 光互连	(102)
4.1.3.2 光计测智能化	(105)
4.1.4 ONNC 和复杂性科学	(106)
4.1.4.1 光学混沌系统	(106)
4.1.4.2 非线性光学材料的自组织过程	(107)
§ 4.2 光学神经网络计算机雏形	(108)
4.2.1 二维图像联想存贮的光学神经网络计算机	(108)
4.2.1.1 光学全息关联存贮器	(108)

4.2.1.2 光联想存贮人工神经网络试验装置	(110)
4.2.1.3 应用举例	(111)
4.2.2 二维可编程光学神经网络计算系统装置	(113)
4.2.2.1 可编程光学神经网络	(113)
4.2.2.2 应用举例	(114)
4.2.3 混合式人工神经网络计算系统	(114)
4.2.3.1 混合式人工神经网络装置基本结构	(114)
4.2.3.2 光学神经网络制作与模拟	(115)
§ 4.3 光学神经网络学习系统、光学神经元和光突触技术	(117)
4.3.1 引言	(117)
4.3.2 非线性光学现象	(118)
4.3.2.1 基本原理——光折变效应	(118)
4.3.2.2 双光束耦合	(118)
4.3.2.3 相位共轭	(120)
4.3.2.4 体全息存储及光控	(122)
4.3.3 量子阱光电子器件的研究	(124)
4.3.3.1 一维限制-量子阱器件技术	(124)
4.3.3.2 量子线和量子点器件技术	(129)
§ 4.4 光学神经芯片研究	(130)
4.4.1 光纤互连式光学神经网络处理装置	(130)
4.4.2 三层集成结构光学神经芯片的研制	(133)
4.4.3 可编程光学神经芯片研究	(135)
§ 4.5 先进光学神经网络体系结构	(138)
4.5.1 视觉信息与处理功能	(138)
4.5.2 视觉信息高速平行处理的体系结构——视觉信息联想处理器	(139)
4.5.3 光学三维智能传感系统	(144)
4.5.3.1 光学三维智能传感系统基本概念与要素	(145)
4.5.3.2 光学三维智能传感系统	(148)
第五章 生物分子计算机	(149)
§ 5.1 发展由来	(149)
§ 5.2 分子计算模型	(149)
§ 5.3 分子计算机初探	(150)
5.3.1 分子/原子级的平版印刷术	(151)
5.3.2 数字分子计算机	(152)
5.3.3 感触式分子计算机	(156)
第六章 人工神经网络工程应用	(160)
§ 6.1 人工神经网络型基准非线性信号发生器	(160)

§ 6.2 人工神经网络型信号波形非线性变换器	(167)
§ 6.3 人工神经网络智能信号处理器	(175)
§ 6.4 人工神经网络智能传感器	(190)
§ 6.5 人工神经网络模式识别器	(193)
§ 6.6 认知器的人工神经网络模拟	(194)
§ 6.7 可编程人工神经网络	(199)
§ 6.8 人工神经网络在机器人位置控制中的应用	(203)
§ 6.9 光电混合人工神经网络实时模式识别器	(213)
§ 6.10 CONNECTION 人工神经网络计算机	(218)
结尾语	(224)
参考文献	(225)

第一章 计算神经科学

第六代计算机——人工神经网络计算机是一门涉及计算神经科学的新兴学科。计算神经科学可以通过生理学或工程学对大脑如何获取及处理信息进行计算方法的研究。近几年来,神经网络计算机研究发生了突破性的进展,使我们有更大的兴趣了解大脑的计算性能,认识形成研制人工神经网络计算机热潮的背景,评估第六代计算机将对计算神经科学以及智能工业兴起的积极作用。

§ 1.1 人工神经网络计算机的突起

1987年6月风和日丽,在太平洋西海岸的美国加州圣地亚哥市正举行第一届国际神经网络会议(International Conference on Neural Networks)。当大会执行主席格罗斯贝格(S.Grossberg)通告参加大会者中有1982年首次提出Hopfield网络模型的物理学家霍普菲尔德(J.Hopfield)、设计世界上第一个智能微处理器的范吉(F.Faggin)教授和著名半导体理论专家米德(C.Mead)时,全场掌声四起,在这长久不息的欢呼中仿佛还有人们对半个世纪前开创计算神经科学理论研究的心理学家麦克库路奇(W.Mcculloch)和数学家匹茨(N.Pitts)的称颂。

1987年,美国加州理工学院阿勃-茅茨塔法(Y.S.Abu-mostafa)和伯萨埃底斯(D.Psaltis)博士利用全息存储器的2-D联想存储功能,建立实验型的光学模式识别系统,这一系统甚至在仅输入一幅图像的局部内容时,它仍能正确地辨认出这幅图像。这样的一种联想过程完全是模拟人脑的记忆和联想的重要特征。这是向光学神经网络计算机迈出可喜的一步。

1988年,美国电话电报公司的贝尔实验室在亚特兰大的COMDEX 88年春季会议上展出了一种大型的人工神经网络系统,它由 120×120 个光敏连接元件组成,利用投影在元件上的物像去控制全部元件。对于运用一般电子计算机难以解决的随机模式识别和模糊数学快速求解都十分需要这种人工神经网络系统。

1989年7月末,日本的三菱电机株式会社研制成功世界上第一片由光二极管、互连矩阵与光电二极管组成的光学神经网络芯片。它可以模拟32个神经元,具备三层反向传播(BP)学习功能,已具备实时识别26个字母的能力。

1989年9月,日立制作所试制成功世界上最大的神经网络LSI,它是在5英寸硅片上集成576个神经元的基础上成功地开发LSI数据。该项研究成果将导致人工神经网络计算机面向商业证券领域的实用化。

1990年1月29日,美国贝尔实验室又传喜讯——以美籍华裔科学家黄庭珏为首的研究小组制成了世界上第一台数字光学处理器。它基于一种“对称自光电效应”的光晶体管(S-SEED),其开关速度每秒达10亿次。它不同于数字电子计算机,即没有软件,而处理器的运算程序直接安排在由激光器、透镜与空间光调制器等光路器件所组成的硬件里。目前展示的光学处理器运算速度是每秒100万次,预计不久将能制成每秒几亿次的光学神经网络计算机。

不难发现,在今天这个充满竞争的世界里,尽管电子计算机的性能价格比,以每 10 年提高 100 倍的速度增长。但是,由于受到冯·诺依曼计算机结构模型瓶颈的限制,它的软件与硬件的改善不能再以目前的速度继续发展下去。然而,一种模拟人脑神经网络工作原理的新型计算机——第六代计算机正以前所未有的速度兴起、推进。

§ 1.2 人工神经网络计算机、计算神经科学与信息社会

计算神经科学的目标是要定量描述出人类大脑是如何通过各种信号(如,电、化学信号等)来表达信息和处理信息的。人工神经网络计算机则是一种模拟人脑的超分散与超并行信息处理系统。它不仅具有自学习和自组织功能,而且还不需要用复杂程序启动。所以人工神经网络计算机可以成为神经科学研究中涌现的更强有力、更富有代表性的计算装置。

我们简单回顾一下计算机的发展史,世界上第一台电子计算机是 1946 年在美国的宾夕法尼亚大学里诞生。它是由 18800 个电子管组成的重三十多吨的庞然大物,这是第一代电子计算机。60 年代初,生产出第二代晶体管的电子计算机。到 60 年代中期,人们又生产出第三代半导体集成电路的电子计算机。70 年代,第四代大规模集成电路的电子计算机问世。在 1981 年 5 月,以日本为首等国家宣布进行开发超大规模集成电路的,即智能化的第五代电子计算机。正当日本科学家全神致力于研究第五代计算机之际,美国的教授们已把眼光集中到了第六代计算机的设计研究上。这一神速的发展,使人们不得不要静心客观地分析一下人类社会和人工神经网络计算机之间存在的相互作用以及计算神经科学对信息社会的影响。

现在,至少有四个因素正在积极促进着第六代计算机技术从概念走向现实。

第一,以下一代信息为基础的技术将是能实时、大容量处理信息,还具备人脑运算、识别、学习、记忆、联想等功能。依靠这种崭新技术可以推动自然科学的变革,概念的更新和新的方法论的建立。例如,非线性科学和复杂系统理论的研究,使人们能够探索到复杂行为里的一般模式和规律。耗散结构理论、协同学与突变论是非线性复杂系统的三个重要方面。系统的耗散结构实质属于一种“活”的结构形式,它通过不断地摄入负熵来维持其自身的“新陈代谢”。所谓“耗散结构”则是一种远离平衡状态的非线性的开放系统,能够形成自组织结构。协同学提出开放系统的自组织过程是由于子系统的协同作用。有序结构在相空间的目的点或目的环是行为的目标。在给定环境中,系统只有到达目标之后才是稳定的。突变论便是以突变方式描绘在非线性的复杂系统演变过程中,新质、旧质以突变形式替代的过程。

由于要用目前的数字计算机来快速解决非线性复杂系统中的数学问题还存在着障碍,故许多科学家试图依靠第六代计算机来完成这些问题的求解。一旦在计算上有所突破,必将会给自然科学中各个学科的发展带来意想不到的影响。

第二,全球变化计划(IGBP)和世界气候研究计划(WCRP)是直接关系到人类生存的至关重要的大问题。由于,人口的大幅度增长而带来消费不断上升,以及生态环境逐年不断地遭受破坏,再加上近十年来世界范围的气候异常,导致水资源、能源出现危机,大片土地干漠化,粮食减产。据有识之士估计到 2000 年后,地球上所有物种的百分之十五

至二十有可能将会灭绝。所以,发展世界范围的气候动力学和气候预测的理论研究,开展人与资源、生态环境系统研究实为当今人类的紧迫任务。

从一定意义上分析,人口问题,生态系统,大气/海洋环流和自然灾害的诱发起因都是开放系统的行为,如分岔、混浊、突变、自组织、孤立子等等。只有深入进行非线性复杂系统的研究,才能使人类站在更高的层次上认识资源的人口承载能力,人与资源环境系统的失调问题,气候系统的本质,未来生存环境的变化预测与对策以及生物群落的信息分析与优化管理……。

第三,世界高科技竞争已成为多国争雄的新势态。目前以美、日间最为激烈,西欧也积极参予。当然,不仅发达国家在认真制定高技术发展战略,而且发展中的国家也竭力寻找开发高技术、跟踪高科技的途径。因为,从政治家到各界有识之士都已经树立起了一个不容疑惑的观念——一个国家的实力与国际地位的衡量标志,便是本国高技术的发展水平。正如1986年,美国商业部在一份报告中所分析的那样:“高技术的优势地位,保证了美国在世界政治和经济中的领导地位。失去这种优势地位,就有可能给美国的经济、政治和国家安全造成无法估量的影响。”

纵观世界各国的高技术计划,尽管研究目标各不相同。如美国的“星球大战(SDI)”计划是一个以宇宙空间为主要基地的多层次、多手段空间反弹道导弹防御系统,以军事目的为主。而法国提出一个“尤里卡”计划,它联合西欧十七国,重点研究开发信息与通信、机器人、激光、生物技术等等。它的目的是对美国的抗衡和缩短西欧与美、日之间在尖端技术领域里的差距。然而,智能计算机技术的研究(包括人工神经网络计算机的基础及应用研究)均为各国制定高技术计划的核心项目。可以这样断言:智能计算机的发展将是决定高技术成功与否之本。

第四,高技术的成果能形成新的产业,创造出新的经济财富。现在人们根据信息领域的发展已预测到,21世纪将会有有一个特别引人注目的新产业诞生,即智能产业。它由智能计算机和智能应用系统两大部分组成,单就智能计算机的产值而言,估计它会超过2500亿美元。无怪乎,美国斯坦福大学教授、人工智能的奠基者之一——费根鲍姆(Feigenbaum)指出:这是在争夺金山,决定着下一世纪的力量对比,它如同60~70年代争夺中东石油一样重要。

应该看到,这一场全球性以技术为基础的贸易竞争早已拉开序幕。日本是最有长进的国家,她立足于原有技术的巧妙运用和改进,走出一条失误较少的技术开发之路。从战后到80年代初期,日本的电子计算机硬件技术已超过美国,一些技术密集型产品(精密机械、电气机械、精细化学等)出口额达70%,也大大超过了欧美各国。但是,竞争仅是开始。80年代后期,美、日又在第六代计算机研究上展开了激烈的“争夺战”,互相投入了大量的资金和大批优秀科研人才。比如,美国国防部的“高级研究计划局”(DARPA)宣布从1988年11月起执行一项发展人工神经网络计算机的计划,投资4亿美元。而日本通产省各民间企业(富士通、日立、东芝、三菱等公司)一起投资了300亿日元,由1989年开始研究一种超分布、超并行的人工神经网络计算机。

十年以后真实的结局如何?我们在此很难预料。可是,根据人工神经网络计算机如此快的发展,以及又有数理基础科学和高技术的支撑,全球性研究和对新产业、新产品的需求刺激下,第六代计算机一定能够克服重重困难,成为推进即将来临的智能革命的巨大动

力。其社会意义决不亚于历史上曾因引起工业革命而留名的“机器”。

§ 1.3 计算神经科学和第六代计算机相互间的影响

众所周知,计算神经科学的进展,使我们对大脑的信息处理进程与机制有了一定的了解,为第六代计算机的研究奠定了基础。反之,人工神经网络计算机的发展,也促进了多学科(如神经生理学、计算机科学、生理物理学、心理物理学、数学、物理学、系统工程等)联合起来研究脑模型。我们认为,人工神经网络计算机并不是大脑的简单仿真,而是基于认知科学和人工智能成就,运用光信息处理、生物分子计算和超大规模集成电路等技术来展开“智能本质”的研究。因此,讨论计算神经科学和人工神经网络计算机之间的相互关系应该着重在以下三个方面:大脑视觉平行信息处理功能、神经元与神经网络以及脑模型。

1.3.1 大脑视觉平行信息处理功能

虽然,迄今为止人类离开了解大脑的全部功能还存在很大的差距。但是,为确认人的视觉系统(包括眼睛与大脑)是一个超平行信息处理系统却已提供了许多宝贵而可靠的科研数据与资料。

例如,现代社会有许多精巧的传感器,比如电视摄像机、红外热成像仪和激光雷达等等,但是,它们只能将其所见的物像拍摄下来,并不能对其所获取的图像进行识别与处理。然而,人的视觉系统则不然,它不仅能真实地看到眼前的一切,而且还能够分辨出图

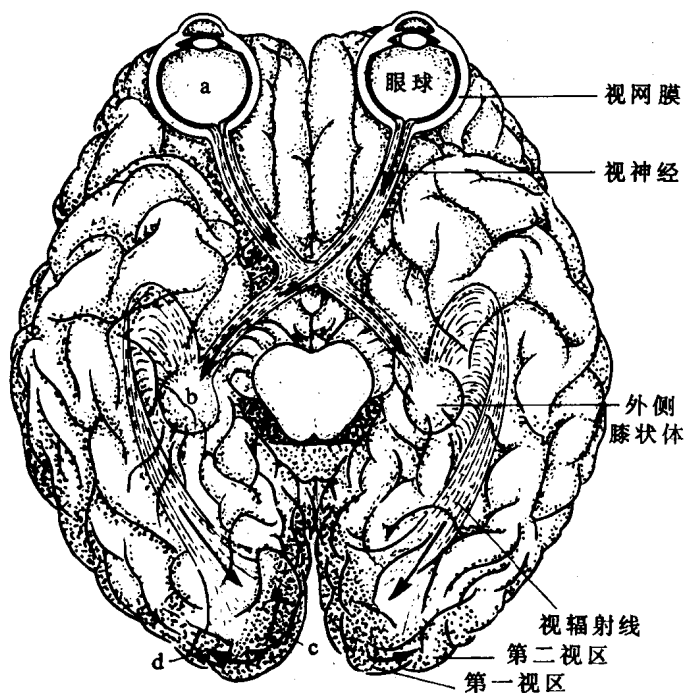


图 1-1 人的视觉系统

像中千变万化的目标与背景;理解及分析图像中所包含的丰富意义和联想起各种有关联的知识。这一些能力都是由于人脑具有同时平行处理大量信息的功能。

美国哈佛医学院神经生物学教授列富英斯通 (M.S.Livingstone) 近来有新的发现,可进一步说明上述观点。具体地讲,视觉信息不是由单一的阶层系统进行处理,而是被馈送到脑的若干个各有独特处理功能的独立系统中去。现在的研究表明,物体的形状、颜色和空间信息在大脑中是沿着三条独立的通道实行处理的,如图 1-1 所示。当射入眼球 a 的光,照射到视网膜上时,它立刻转换成电信号脉冲,并沿着视神经向脑传输过去。在外侧膝状体 b 处完成第一次信息处理上的分离,即在这里,小系统的小细胞运载颜色对比的信息;大系统的大细胞运载亮度对比的信息。大系统的大细胞把信息传送到第一视区的 c;然后再向第二视区的宽条 d 发送。在那里,这些信息经过分析可得出运动的和深度的判决。而小系统输入的信号被送到第一视区的斑团间区然后再输送到第二视区的淡条,在那里可得出形状信息分析。大小系统的输入在斑团中合并,进行颜色和亮度的综合处理,最后再转移到第二视区的窄条,由那里输出转送到第四视区。

由于大脑约有 140 亿个神经细胞,而且每个神经细胞又与大约 1000 个神经细胞相联系。所以,尽管神经冲动的传递速度只与声速 (300m/s) 的量级相当,然而它能够圆满地处理各种信息,这一特点完全是受惠于神经网络细胞的超平行以及能进行模糊信息处理的能力。不言而喻,神经网络计算机要具备实时处理图像信息和快速进行模式识别的特性,其关键技术之一是要建立不少于 1000 个神经元的神经芯片。在这些人工神经元组成的系统中,突触的最大数要有 100 万个。利用最新的 VLSI 技术来完成这样规模的连线也是不易的,如果采用光电混合信号处理方法可能是当前最见成效的一种技术途径。

1.3.2 神经元与神经网络

生理物理学家认为,神经元是大脑的基本加工单元。它们从形态上可以分为神经末梢和由细胞核、细胞体与树突组成的三部分,如图 1-2a 所示。树突是神经元的输入器,它可以呈现为树枝状的若干分枝作为多路输入;轴突是连结上述两部分的细长纤维管体,其长度约 1mm 到 1m 之间不等,直径在 $0.1\mu\text{m}$ 到 1mm 之间,传导率约为 100m/s 。

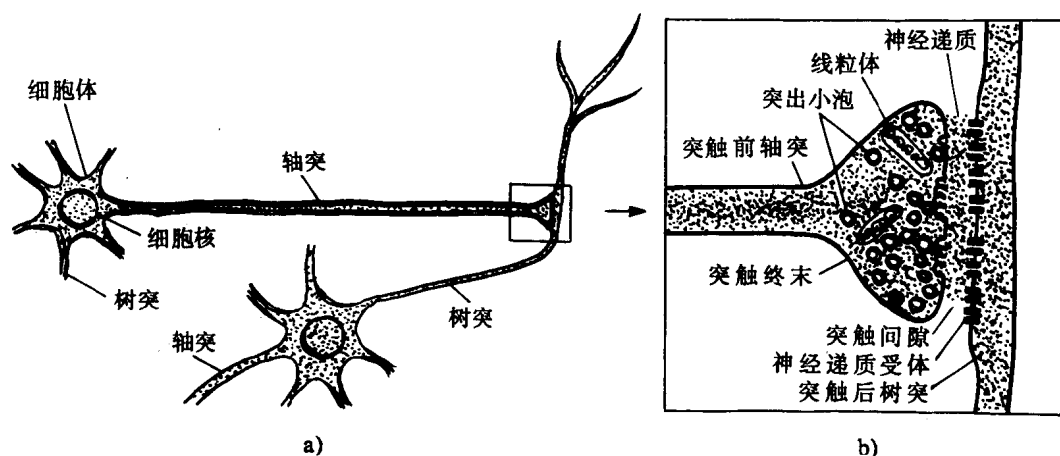


图 1-2 神经元的结构及信息传递

图 1-2b 显示出神经信号是如何通过连接两个神经元的突触进行传递的:当信号产生,即一种极微小的“动作电位”从细胞体发出,经过细长的轴突到达神经末梢,触及一个烧瓶形状结构——突触终末。该终末的小泡能够释放出一种神经递质,递质可以穿过突触间隔扩散,使突触后的树突(一种容受性纤维)与受体结合,诱发出一个新的电信号。

神经网络则是一种具有“有向图拓扑”结构形式的动态联结系统,它利用连续的及周期性输入的状态响应来实现信息处理。因此,神经网络是大脑对各种感觉所提供的信息进行筛选与分析理解的基础。复杂的神经网络可能会对脑的运行带来重要意义。

根据美国华盛顿大学圣路易斯医学院神经生物学家戈特列布(D.I.Gottlieb)教授介绍,“神经细胞不但能使邻近的细胞兴奋,也能使之受到抑制。这种兴奋及抑制活动常常是由一种称做为 γ -氨基丁酸(简称 GABA)传递,能激励神经网络,使成为一切行为的基础”。诚然,人们对抑制性神经网络的了解不如对兴奋性网络的认识清楚。但是,现已用有趣的科学实验结果表明,“GABA 能神经元”赋予神经节细胞以方向选择性,见图 1-3。神经网络的灵敏度完全可由“GABA 能神经元”来调节。如图 1-3 所示,视网膜中的感光细胞能够对光强度的变化作出响应并且向两极细胞传送信号。来自许多两极细胞的输入被神经节细胞收集起来,继续传送。例如在图 1-3a 中,有一个刺激从左向右运动,,第一个感光细胞就会使一个两极细胞兴奋,而这个细胞又会触发一个 GABA 能无长突细胞。这个“GABA 能神经元”使其他的两极细胞停止活动。当然,这个两极细胞也能够使神经节细胞进入兴奋状态。但是单个的输入是很不够的,要使其兴奋必须要有许多的这种兴奋输入。还有一种情况,该神经网络另一侧的两极细胞并没有与无长突细胞连接,如图 1-3b 所示。因此,一个从右向左运动的视觉刺激就会产生一个“脑输出”。不难理解,“GABA 能神经元”的反应性可以形成网络,从而和兴奋通路一样有效地成为原始感觉与行为的基础。

为了研究人工神经网络计算机,首先要考虑其硬件的发展,即神经元、突触等元件的研制。其次还要顾及到低功耗,快速响应和工艺技术条件的保证作用等等。按照生物神经网络的工作模式来设计的人工神经网络应由下面五个环节组成:

- (1) 有一组结构类同的基本加工单元,即神经元;
- (2) 在两个加工单元之间存有带权重的联接;
- (3) 每一个加工单元都存在一个激励电平或称状态;
- (4) 工作时,每一加工单元将本级的所有输入乘上联接权重,并输出一个非线性函数;
- (5) 通过改变联接权重可以进行学习。

目前,人们正在积极研制可动态控制突触连接强度的光学元器件,或称作为空间光调制器(SLM)。利用量子阱与量子线拉伸的精细制作工艺技术有可能在不太长的时间里制造出量子神经器件。毫无疑问,从工程技术角度出发,不断分析与应用计算神经科学研究中的新成果对人工神经网络计算机的开发研究定会带来新概念、新思想与新方法。

1.3.3 脑模型

经过数十年对大脑的研究,已发现神经系统的分子层次和系统层次之间还存在很多难以掌握的组织层次。而且这些层次各有特定的功能。例如,在低层次的结构成分中找不到的一种特性,通过它们之间的相互作用和自组织过程,可以在高层次上产生出来。另外,

从心理物理学方法研究得知,感觉能力则是在大脑内,位于一系列不同通道和核团上的功能单位里大量的神经元共同活动的结果。因此,只采用研究单个神经元的办法企图探索大脑神经网络结构的性能和某一神经元的活动与感知之间的联系,显然是不现实的。

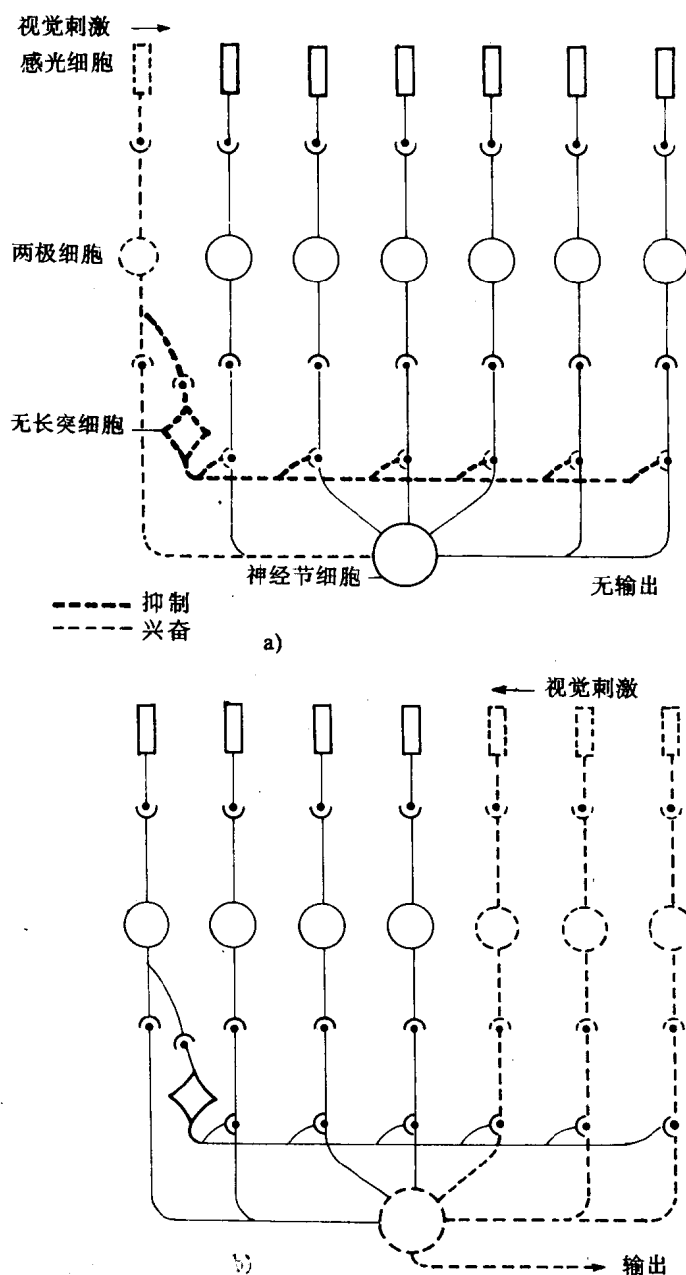


图 1-3 神经节细胞的方向选择性

为了有效地揭示大脑的信息处理功能,计算神经科学的一个主要内容便是建立脑模型。依靠脑模型来完成一些在活体上不能实现的或难以实现的科学实验。例如,研究突触、神经元或通路做选择性损伤试验等等。现在,在单个神经元层次上,模拟的事例是枪

鸟贼巨轴突中动作电位的霍奇金—赫胥黎 (Hodgkin-Huxley) 模型。这一动作电位是沿轴突传递从而完成长路程信息通讯的瞬时间里的电活动。霍奇金和赫胥黎认为:“由于动作电位是膜通道的电压依赖关系与时间依赖关系的产物, 因此对膜通道的动力学, 可以用一组非线性微分方程组来建模, 并计算出它的数值解。”

然而, 在网络层次上的真实模型的范例是鲨眼的哈特林-雷蒂夫 (Hartline-Ratliff) 模型。这个模型表明视网膜中的相邻光感受器之间存在侧抑制突触的相互作用, 因而光照增强了明暗边缘之间的反差。由于这种相互作用接近于线性关系, 所以该网络模型也能用数学作详尽的分析。

应该指出的是, 建立各种层次的真实脑模型是一种研究途径, 但不是唯一的。认知科学就解释脑的基本计算问题和揭示 (指导神经系统设计的) 计算约束为目标建立起简化的脑模型, 例如联结式模型、并行分布处理模型等等。的确, 简化的脑模型和真实脑模型一样重要, 它们都是指导我们开拓神经网络计算科学领域的理论基础。尽管模型在于其本身的局限性而导致不完整的预测或判断, 甚至其中有一些细节是错误的, 但是应该相信那些是在可靠的实验数据基础上所提出的模型, 它们会随着实验进程的深化, 发展而完善, 其指导研究的积极作用则会自趋明显。

阐明人脑的信息处理机制, 探讨人类的认知活动, 是认知心理学、脑科学、计算机科学、物理学、数学、神经生物学、科学语言学和哲学等学科的一个新兴交叉学科。目前, 更多的事实证明, 冯·诺依曼 (Von Neumann) 计算机不是人类智能的恰当模型。第六代计算机把人工神经网络的工作原理引入探索形象思维模型与体系结构, 从而达到重现人类的智能行为。所以, 人工神经网络计算机的研究使人工智能与认知科学这两大领域的工作真正作到了相互交融, 互为补充的地步。

§ 1.4 人工神经网络的定义与结构

1.4.1 概述

人工神经网络计算机的数学基础研究工作应追溯到 1940 年, 美国芝加哥的麦克库洛奇 (W.McCulloch) 教授和匹茨 (W.Pitts) 博士所提出的“形式神经元”数学模型 (简称 M-P 模型)。在 60 年代, 康乃尔的罗西伯莱特 (F.Rosenblatt) 教授设计了一种感知机模型; 斯坦福的韦特罗 (B.Widrow) 教授提出自适应线性神经元模型, 和德国的斯坦恩巴赫 (K.Steinbuch) 教授都在自学习神经网络计算理论方面做出了贡献。70 年代至 80 年代, 有更多科学家相继在神经网络的生理学机制研究、心理学与神经生理学等方面作了大量的有代表性的工作, 其中涉及到计算数学理论工作的是由以下一些人完成的: 美国的麻省理工学院的马尔 (D.Marr) 教授、波士顿大学的格罗斯贝格 (S.Grossberg) 教授、芝加哥大学的考恩 (J.Cowan) 教授、Brown 大学的安徒生 (J.A.Anderson) 和库珀 (L.N.Cooper) 教授、南加利福尼亚大学的阿比勃 (M.A.Arbib) 教授、贝尔实验室的朱利兹 (B.Julesz) 博士、日本东京大学的阿玛列 (S.Amari) 教授、NHK 的福岛邦房 (K.Fukushima) 博士、英国伦敦大学的亚历山大 (I.Aleksander) 教授以及芬兰的科荷内 (T.Kohonen) 教授。

80 年代初期, 由于美国的生化系教授霍普菲尔德 (J.J.Hopfield) 提出了结点全互联的

人工神经网络计算结构,这种结构具有类似大脑的记忆、联想、分类/识别、容错和集体运算的能力,并在两年以后,他用电子元件组成了一个能完成上述运算功能的电路,认为采用这种人工神经网络可以解数学上著名的“旅行推销员问题”(TSP)。因此,可以认为霍普菲尔德的研究工作是具有突破性意义的,它重新唤起了人们对人工神经网络研究的热情。以后,许多学者开展了对这一算法的扩充与创新,提出了反向传播(Back propagation)学习算法、双向联想存储(BAM)模式、博尔茨曼(Boltzmann)机、联结模型(Connectionist Models)、并行分布处理模型(PDP)、神经形态学系统(Neuromorphic Systems)等等。时至今日,许多新的数学模型研究正利用电子、光学和生物分子计算机方法被描述和实现。在此,先就概貌、定义与一般结构加以介绍。

1.4.2 人工神经网络的定义

虽然,人工神经网络的研究才起步,而多种学派又持有各自对“人工神经网络”的不同定义。但为了适应目前研究发展及应用的需求,我们在这里引用科荷内(T.Kohonen)教授的定义,即:“人工神经网络就是由简单单元(通常为适应性)组成的广泛并行互连的网络,它的组织能够模拟生物神经系统的真实世界物体所作出的交互反应。”

1.4.3 人工神经网络的一般结构

现在,博尔茨曼机、反向传播法等常用的计算模式都基于希布(Hebb)学习律。这一学习律表达了突触前后同时兴奋将会引起该突触联系强度的增加。目前实验结果证明,希布关于自学习的突触机制的假设是合理的,然而人脑中的实际学习、记忆过程还远未掌握。换言之,现阶段开发的学习机制属于初级与简单的层次。所以,要预言真正的人工神经网络计算机是怎样的结构还为时过早。这里,尽管只是提出一般的计算结构,但它起码能说明第六代计算机在数学结构上是完全不同于前几代计算机的。从计算机研究者的立场看,人工神经网络是根据某一目的将许多人工神经元连接在一起的网络。

人工神经元

人工神经元是人工神经网络计算机的基本单元。它的原理如图 1-4 所示。图中 $x_i(i=1,2,\dots)$ 为外部输入信号; $W_i(i=1,2,\dots)$ 为输入端的联接权重; y_o 为输出信号。 S_i 为控制信号,在它的作用下可以调整神经元的某些联接权重。 S'_i 为向其他神经元输出的控制信号。

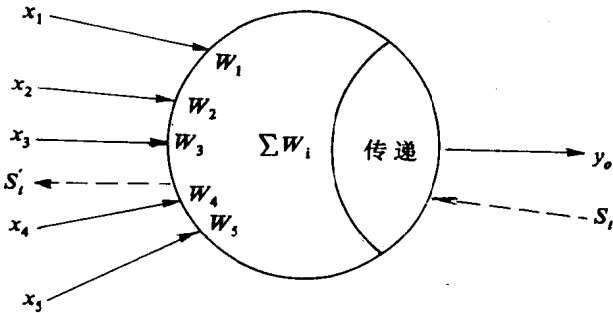


图 1-4 人工神经元基本工作原理图