

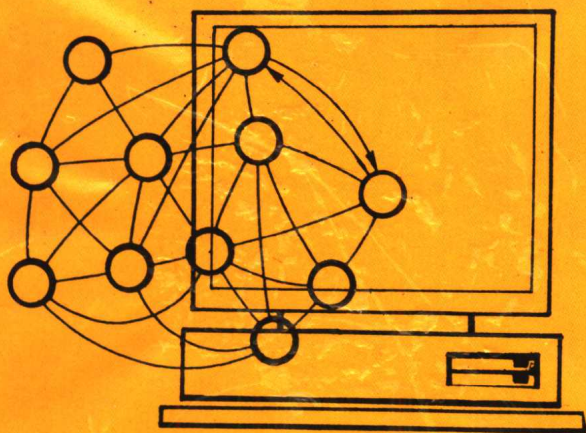
DANGDAIKEXUECONGSHU

神经计算机

王煦法 庄镇泉 王东生 编著

当代科学丛书

SHENJINGJISUANJI



上海科技教育出版社

神经计算机

王煦法 庄镇泉 王东生 编著

上海科技教育出版社

神经计算机

王煦法 庄镇泉 王东生 编著

上海科技教育出版社出版发行

《上海冠生园路393号 邮政编码200233》

各地新华书店经销 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张4 字数88000

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印数1-3000

ISBN 7-5428-1129-0/G·930

定价：4.40元



王煦法,江苏丹阳人,1948年生,1970年毕业于中国科技大学无线电系。现任中国科技大学教授、博士生导师。近年来主要研究方向是计算智能、图象处理、模式识别和自动控制等。出版有关专著六部,发表学术论文近四十篇。



庄镇泉，福建泉州人，1938年生，1960年毕业于浙江大学电机系。现任中国科技大学教授、博士生导师。主要研究方向是智能信息处理、多媒体技术和智能CAD。近年来出版的著作有神经网络与神经计算机、大规模集成电路CAD等专著七种，论文五十多篇。

王东生，安徽芜湖人，1958年生，1970年获中国科技大学工学硕士学位，现任中国科技大学副教授。主要研究方向是智能信息处理和多媒体技术。出版有关专著四部，发表学术论文三十篇左右。目前正在美国加州大学伯克利分校工作。

目 录

第一章 人脑和电脑	1
第二章 神经计算学的兴起	10
第三章 神经网络模型和学习算法	17
§ 3.1 神经元的数理模型	17
§ 3.2 分层网络模型和 B-P 学习算法	21
§ 3.3 Hopfield模型	27
§ 3.4 波尔兹曼机	30
第四章 神经器件	35
§ 4.1 神经器件概述	35
§ 4.2 简单神经元电路	39
§ 4.3 神经器件的设计方法	40
§ 4.4 联想存储器	44
§ 4.5 神经器件展望	46
第五章 神经计算机	51
§ 5.1 神经计算机概述	51
§ 5.2 KD Neuron	61
第六章 光神经计算	65
§ 6.1 神经网络和光技术	65
§ 6.2 光神经计算的基本原理	66
第七章 神经网络在组合优化问题求解中的应用	73
§ 7.1 神经网络应用概述	73
§ 7.2 神经网络与组合优化问题	76

第八章 神经网络在智能机器人控制中的应用	81
§ 8.1 机器人结构	81
§ 8.2 结构化神经网络模型	82
§ 8.3 多阶段学习过程	84
第九章 神经网络在模式识别和模式变换中的应用	96
§ 9.1 概述	96
§ 9.2 汉字字符识别	99
§ 9.3 不变识别	100
§ 9.4 图像压缩编码	109
第十章 神经网络在人工智能中的应用	114
§ 10.1 神经网络在人工智能领域中的作用	114
§ 10.2 神经网络专家系统的基本原理	116

第一章 人脑和电脑

当今信息时代，人们往往喜欢把计算机称为“电脑”，并期待它能像人脑一样聪明。

现在，先进的电脑已经学会了读、听、看和说话。各种各样的智能机器人能够模仿人的动作，在流水作业线上装配机器；高级的智能计算机能弈胜99%的棋手，而仅仅下不过世界冠军；无人驾驶的汽车在电脑的操纵下能寻路；电子看门人通过视频镜头能识别出它曾经记忆住的人，甚至扮鬼脸、戴假胡子都迷惑不了它。

日本制造的电脑音乐系统，能自动采谱，自动识谱，会演奏难度很大的乐曲，整个电脑系统相当于一个乐队，能提供旋律和节奏乐器、几百种音色，能产生极佳的音响效果。

近年来，人们还发现如果能够将各个领域专家头脑中的知识，特别是那些通过长期实践摸索出来的鲜为人知的经验知识形式化，并很好地组织起来，存入计算机，再配备较为完善的推理方法和搜索策略，就能建立起一个能向人们提供保存、复制和使用知识的专家系统。现在，这种专家系统已广泛应用于医疗诊断和工程设计领域。先是在大规模集成电路(VLSI)设计和机械零件设计中，进而发展到船舶、汽车、飞机的设计，以及大型软件和计算机本身的设计。专家系统解决问题的能力可以达到专家的水平。

十多年前，日本提出了“第五代计算机”的研究计划，现在已经结束。其他国家也推出了类似的计划。例如美国的

~~DAD 74/03~~

DAD 31/03

DARPA, 英国的ALVEY, 欧共体的ESPRIT等都已结束或即将完成。人们在智能计算机方面的研究取得了令人瞩目的成就。

但是, 也应该看到, 智能计算机的研究毕竟任重而道远。这是因为这种新型的智能计算机与传统的计算机有着重大的区别, 它不仅应能处理信息, 而且要能处理知识; 不仅要有计算能力及一定的演绎推理能力, 而且要在一定程度上能进行创造性思维, 如类比推理, 科学发现等。这就需要研究创造性思维过程能否用符号表征, 并用计算过程进行模拟; 还需要研究用计算模型来获取、表示、处理和应用定量及定性的知识。在硬件及系统软件上需要改变按单一语义存储信息的体系结构, 改变信息存取基于一维顺序的冯·诺伊曼 (Von Neumann) 体系; 要研究计算的平均复杂性和机器的学习复杂性; 要使声、图、文识别及自然语言理解进入实用化阶段; 要改变现已高度商品化的VLSI芯片的结构, 研制适合于新型计算模型的芯片或新的器件。所有这些都是高难度的研究开发工作, 每一次实质性突破都会对现有的理论和技术带来一次重大的变革。

这些计划所覆盖的研究领域, 或者说它们所需要的理论及技术支持, 要比发展传统计算机系统更加广阔, 更加深入。各种研究课题纵横交错, 形成一个错综复杂的尖端科学与高技术网络, 从而构成了智能计算机研究的广阔背景。

在众多的研究课题中, 模仿人脑神经系统的人工神经网络和神经计算机则是其中一个十分诱人的研究方向。人们希望通过对神经网络的研究, 发明一种能够仿效人脑信息处理模式的智能计算机。

生物的脑神经系统是自有生命以来, 经历了亿万年漫长

的进化过程的结果。大脑的发达导致高等动物的出现。其后，约在200万年前，人类由于直立步行的缘故，使得大脑更加发达，并终于具有高度的智能。

人脑从外部观察，可分为左、右两个半球，称为大脑。另外，其后部的一小块称为小脑。大脑担负认知、语言、记忆等高级功能，与大脑密切联系的小脑则担负高级运动控制等功能。

人脑神经系统是一个有高度组织和相互作用的群体。例如，中枢神经系统，包括脊髓和脑，就由大约100亿($10^{10} \sim 10^{11}$)个神经元组成。

神经元(Neuron)即神经细胞，是神经系统的基本单元。复杂的神经网络就是由数目众多的各种类型的神经元按不同的结合方式所构成。正是神经元的可塑特性，使人脑具有学习、记忆、认知等各种智能。

神经元的主要结构如图 1.1 所示。它由细胞体和由细胞体发出的一个或多个突起所组成。大部分突起起感受作用，其中用于接受其他神经元来的信息的突起，称为树突。通常还有一个用来传递和输出信息的突起，称为轴突。

树突可以看作是细胞体的延伸部。它自细胞体发出后逐渐变细，其全长各点都可接受其他神经元的轴突末梢，形成突触。

突触(Synapse)是一个神经元的轴突末梢与另一个神经元所形成的功能性接触点。根据神经元学说，在突触处两个神经元的细胞质并不连通，仅仅是彼此发生功能联系的界面。

突触大约可分为两大类：一类称为化学性突触，其神经冲动传递需借助于化学递质的作用；另一类称电突触，其冲动传递不需化学递质起中间作用，而是借助于相邻两细胞间

的低电阻通道，迅速交换离子，引起突触后膜的电位发生变化。

电生理的研究表明，突触可分为兴奋性的或抑制性的，这取决于突触前部的“活性”是否能使突触后膜的电位超过引起神经冲动的阈值。复杂的神经网络就是依靠众多突触所建立的链式通路和反馈环路来传递信息，并在神经元之间建立密切的形态和功能联系。

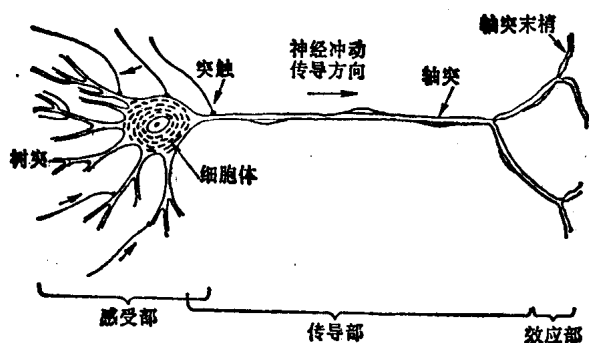


图 1.1 神经元构造

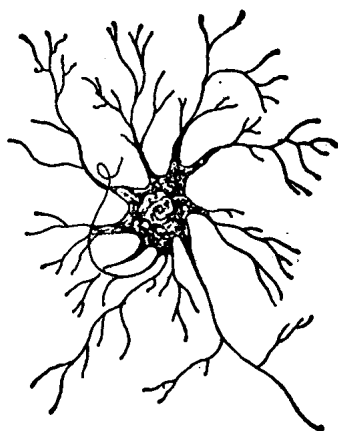
神经元的大小，形状以及突触的数目和分支方式差别很大。一般而言，执行相似功能的神经元或分布于神经系统特定区域的神经元，其形态彼此相似。

最简单的神经元为单极神经元和双极神经元。图1.2(a)就是一个双极神经元，这种神经元胞体的形状较对称，由椭圆形或细长形胞体的相对两极发出一个轴突和一个树突。

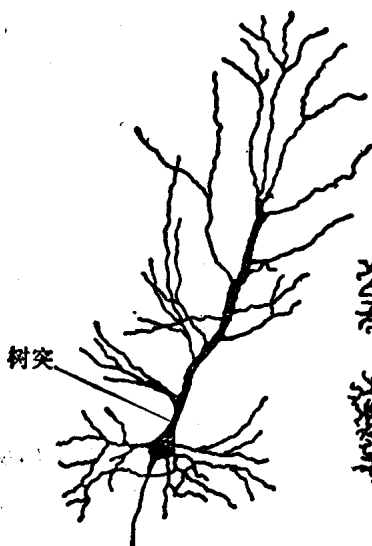
大多数神经元是多极神经元，即胞体发出的树突不止一



(a) 双极神经元



(b) 多极神经元



(c) 大脑皮质锥体细胞



(d) 小脑皮质浦肯野细胞

图 1.2 各种神经元形式的模式图

个，如图1.2(b)。这类神经元通常只有一个轴突。在多级神经元中，许多种细胞具有固定的形状和特定的名称。有些名称是表示细胞的形态特点，有些则是为了纪念首先描述这些神经元的学者。例如图1.2(c)的神经元按其形状称为大脑皮质锥体细胞(Pyramidal Cell)，图1.2(d)则称为小脑皮质浦肯野细胞(Pukingz Cell)。

神经元的大小，相差也很悬殊。最小的神经元胞体直径只有3~4微米，其树突也相当小。较大的如大脑皮质运动区的巨锥体细胞，胞体直径可在120微米以上。其轴突长度超过50厘米。最大的轴突可长达1米以上，胞体直径可达15~20微米。它们所接收的突触数目相差也很大。例如小的神经元，只有细短的轴突，树突也少，只能接受少量的突触。而脊髓前角的大运动神经元约可接受10000个以上的突触。上述小脑皮质的浦肯野细胞可接收多达200000个左右的突触。

由神经生理学的研究可以了解到，每一个神经细胞膜的两侧，都存在着由多种离子组成的电解质溶液，膜内外离子分布的情况是：膜内 K^+ 离子浓度比膜外高20~40倍，膜外 Na^+ 离子浓度比膜内高7~12倍。当神经元未受到外界刺激时，即在细胞处于安静状态时，此时只有 K^+ 有通透性， K^+ 由膜内向膜外扩散，并在细胞膜的内外两侧之间产生一定的电位差，称为静息电位(内负外正)，哺乳类动物神经细胞的静息电位约为-70~-90毫伏。

当神经细胞受到外界一定强度信号的刺激时，会引起反应，称为兴奋性，并出现一次可传导的动作电位(即神经冲动)。这是因为当膜外有外向电流通过时，由于膜本身具有一定的电阻，于是在细胞膜的两侧会产生一个内正外负的电压降，这个电压降刚好与原有的内负外正的静息电位方向相反。

因此，将使得静息电位数值减少。

当这个细胞膜电位下降到某一临界值时，将引起膜的通透性的改变。这时膜对 Na^+ 的通透性会突然增大(约为静息时的500倍左右)，大大超过了膜对 K^+ 的通透性，并使膜外 Na^+ 快速内流，引起膜两侧电位的倒转，出现上述的动作电位。这个能够造成膜对 Na^+ 通透性突然增大的临界膜电位的数值就称为阈电位。实验表明，不仅是电刺激，机械、化学等其他各种刺激，只要达到一定的强度，都能产生一个动作电位。

动作电位可以通过突触，由一个神经元传播到另一个神经元。但是，通过实验可以证明，这种传递具有如下的两个特性：

(1) 单向性传递：即只能由前一级神经元的轴突末梢传向下一级神经元的树突或细胞体，而不能作相反方向的传递。

(2) 时间延迟：即这种通过突触的传递，一般至少会产生0.5~1.0毫秒的延迟。

这些现象说明了兴奋性在神经细胞之间的传递是十分复杂的。另外，大量实验证明这其中还会有一些特殊的化学递质的参与，即当动作电位传递到神经末梢处时，将引起贮存在该处的某些化学递质的释放。被释放的化学递质通过细胞之间的间隙，扩散到突触后的神经元膜表面，与膜上的特殊受体相结合，并引起突触后膜某些离子通道的开放。这些离子的运动，会引起该处膜的静息电位数值下降。也就是说在实际的生理过程中，这些化学递质在动作电位的传递过程中是起一定作用的。

人类大脑皮质的全部表面积约有20万平方毫米，平均厚度约2.5毫米，皮质的体积约为50万立方毫米。如果皮质中突触的平均密度是每立方毫米约6亿个左右，则可得到皮质中

的全部突触数为300兆个。如果再按上述人脑所含的全部神经元数目为100亿~200亿个计，则每个神经元平均的突触数目可能有1.5万~3万个左右。

人脑作为一个智能的信息处理系统，有其固有的特征。第一个特征是并行分布处理的工作模式。实际上，单个神经元的处理速度是很慢的，每次约1毫秒，比通常的电子元件如门电路等要慢几个数量级。每个神经元的处理功能也很有限，估计不会比计算机的一条指令更复杂。但是人脑对某一复杂过程的反应却是很快的，一般只需几百微秒。例如，要判定人眼看到的两个图形是否一样，实际约需400毫秒，而在这个处理过程中，与脑神经系统的一些主要功能——如视觉、记忆、推理等都有关。按照上述神经元的处理速度，如果采取串行工作模式，就必须在几百个串行步内完成，这实际上是不可能办到的。因此，只能把它看成是一个由众多神经元所组成的超高密度的并行处理系统。

脑信息处理的第二个特征是神经系统的可塑性和自组织性。例如，人在幼年时期，约9岁左右，学习语言十分容易，说明在幼年时期大脑的柔软性和可塑性是特别良好的。从生理学的角度看，它体现在突触的可塑性和连结状态的变化，同时还表现在神经系统的自组织特性。例如，当给小猫看一个圆球，猫的视觉中枢的若干神经细胞，就会对“圆球”有所反应，其结果将使得连结这些细胞的突触结合强度增强。如此重复多次，这些神经细胞对“圆球”的反应就会比以前灵敏，这说明视觉神经系统有可塑现象。也说明大脑功能既有先天的制约因素，又可通过后天的训练和学习而得到增强。神经网络的学习机制就是基于这种可塑现象，并通过修正突触的结合强度来实现的。

脑信息处理的第三个特征是它具有很强的系统性，即对于神经系统的研究，必须从复杂的大规模系统的角度进行理解。单个的元件(例如神经元)的功能，不能体现作为全体宏观系统的功能。实际上，可以将大脑的各个部位看成是一个大系统中的许多子系统，各个子系统之间具有很强的相互联系。一些子系统可以调节另一些子系统的行为。例如，视觉系统和运动系统就存在着很强的系统联系，并相互协调各种信息处理功能。

脑信息处理的第四个特征是系统的恰当退化。根据神经生物学知识，每天人脑中平均约有几万个神经细胞死亡。但是，认知功能并不会因此而出现突然的降低。神经系统由于疾病或脑损伤，其功能将随着损伤的神经元越来越多而逐渐变坏，但并不会由于某个神经元的损坏，而使得某一特定的认知功能丢失。这说明了人脑中信息的存贮和表示是分布式的，具有很强的容错能力。信息不是存贮(记忆)在单个神经元内，而是分布存贮于整个神经网络中，并体现在神经元之间突触的结合强度上。这样当少量神经元受到损伤时，通过自组织功能，其他众多神经元所组成的总体模式将依然使网络的总体功能继续有效。

第二章 神经计算学的兴起

神经网络的研究由来已久(见表2.1)。40年代初, McCulloch 和Pitts首先从信息处理的观点采用数理模型的方法对神经细胞的动作进行了研究,并于1943年提出了二值神经元阈值模型。1949年心理学者Hebb提出了今天称为Hebb学习法则的——即由改变神经元之间结合强度来实现学习的方法,其基本思想至今仍在各种神经网络研究中起着重要的作用。

1960年前后,许多人从工程的角度研究用于信息处理的神经网络模型以及具有学习能力的模式识别装置。其中以1962年Rosenblatt所提出的感知机(Perceptron)最具代表性。这个模型虽然比较简单,但已经具备神经网络的一些基本性质,例如可学习性、并行处理、分布式存贮、连续计算等。这些性质与当时流行的串行、离散的、符号处理的电子计算机及其相应的人工智能技术完会不同,面貌一新,引起了众多研究者的兴趣。60年代,掀起了神经网络研究的第一次热潮。

70年代以后,神经网络经历了近十年的低潮时期。其起因是Minsky和Papert在1969年发表了一本有较大影响的名为《Perceptron》的书。该书对感知机的功能及其局限性进行了深入的分析,得出了较为悲观的结论。但今天再回过头来看,当时之所以产生低潮的更为主要的原因是:自60年代后期开始,由于集成电路和微电子技术的日新月异,使得电子计算