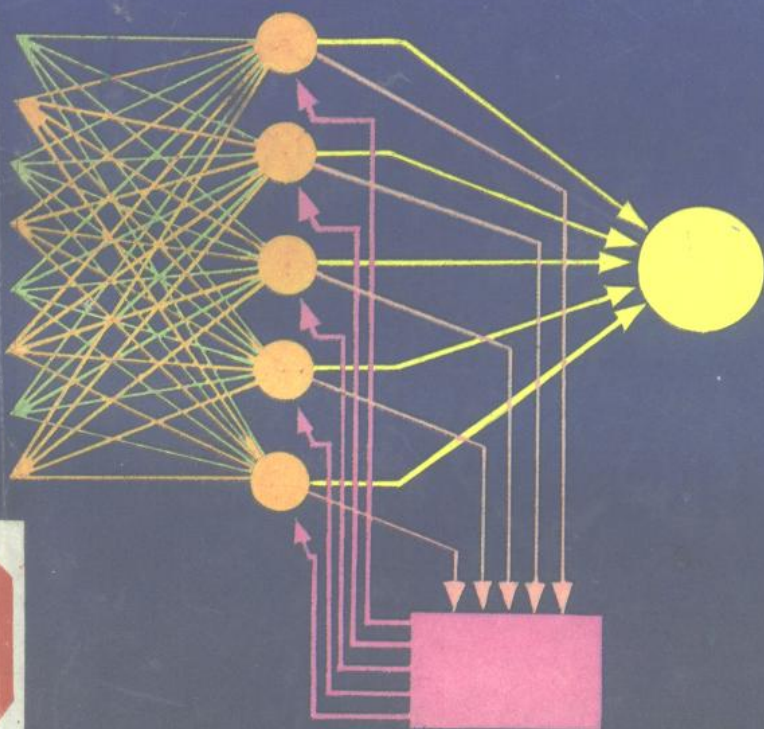


人工神经网络

—模型·分析与应用

阎平凡 黄端旭 编著

安徽教育出版社



人工神经网络

—模型•分析与应用

阎平凡 黄端旭 编著

安徽教育出版社

(皖)新登字03号

人工神经网络

—模型、分析与应用

安徽教育出版社出版发行

(合肥市金寨路 283 号)

新华书店经销 合肥花冲印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 11.875 字数 300000

1993 年 5 月第一版 1993 年 5 月第一次印刷

印数: 2000

ISBN7-5336-1124-5/G·1570

定价: 5.70 元

前 言

本世纪80年代以来,神经网络(NN)的研究引起了许多领域科学家们的重视。工程界对NN的应用也表现了很大的热忱,期望它在解决一些长期以来用传统方法难以解决的问题方面能发挥巨大的突破性作用。目前有关NN的各种杂志、会议很多,也出版了一些很好的书籍,但缺乏从工程应用角度系统讲述NN的书籍。从工程应用角度我们关心下面几个问题:

- (1) 从原理上说NN能否解决所提问题;
- (2) 能否在合理的时间内给出满意的结果;
- (3) 如何选择网络型式并设计具体网络;
- (4) 有效的学习算法及网络的实现。

本书是从工程应用角度系统讲述NN的一个尝试,从NN的模型讲起,着重介绍NN的基本原理、分析方法、设计和应用中应考虑的问题。对计算机科学、信息处理等领域的科学工作者和工程技术人员,它可作为研究NN的自学参考书,也可作为上述专业的高年级本科生和研究生的教材和教学参考书。

NN是模仿生物神经系统构成的一种信息处理模型,所以本书第一章介绍了人脑的工作过程;第二章介绍生物神经元及其数学模型,对照生物神经元,给出了简化的神经元(即人工神经元)模型;第三、四、五、六章和第七章分别介绍了前馈网络、反馈网络及它们用于联想存贮和优化计算的原理;第十章讲述自组织网络模型,这几章组成本书的主要部分。第十二章介绍典型应用。

应当注意,现在的神经网络模型只是生物神经系统的一种高度简化了的近似,本身还有很大的局限性。第十三章从计算复杂

性的角度对NN的局限性、学习能力等方面作了初步的分析,由于这些内容还不成熟,所以把它们放在最后一章。

本书由阎平凡、黄端旭共同撰写。第一章中的1.2节,第二章中的2.1、2.2、2.3、2.4节以及第十章由黄端旭撰写,其余各章节由阎平凡撰写。本书的编写是在国家自然科学基金资助下完成的,在出版过程中得到了安徽教育出版社的大力支持,安徽大学电子工程与信息科学系罗斌同志为本书的出版做了许多工作,在此表示感谢。

欢迎广大读者对书中不当或错误之处提出批评。

编 者

1991年4月

目 录

第一章 绪言	1
§1.1 引言	1
§1.2 人脑的信息机理	4
第二章 神经元模型与神经网络	11
§2.1 生物神经元结构	11
§2.2 信号机制	13
§2.3 神经元内联	16
§2.4 Hodgkin-Huxley方程	21
§2.5 简化的神经元模型	24
§2.6 神经网络的主要连接型式	27
§2.7 神经网络的主要工作阶段和工作方式	29
第三章 前馈型网络及其主要算法	30
§3.1 线性阈值单元	30
§3.2 线性可分性及学习	31
§3.3 感知器学习算法	33
§3.4 梯度算法	35
§3.5 反向传播算法(BP法)	35
§3.6 随机逼近算法	40
§3.7 对BP法的一些改进与变形	41
§3.8 自适应线性单元	43
第四章 前馈网络的映射作用与容量分析	48
§4.1 映射作用	48
§4.2 函数逼近与学习	55

§4.3	前馈网络能实现的线性可分函数数	59
§4.4	前馈网络用于模式识别	62
§4.5	前馈网络设计中的一些问题	71
§4.6	前馈网络用作联想存储器	74
§4.7	前馈网络推广能力的讨论	80
§4.8	时间因素的引入	83
第五章	反馈网络的一般性质	84
§5.1	动力系统的稳定性及其判别	84
§5.2	离散的Hopfield网络	91
§5.3	联想存储与优化计算	97
§5.4	连续时间Hopfield网络	101
§5.5	吸引子分析	105
§5.6	终点吸引子的概念	113
第六章	联想存储器分析	116
§6.1	概述	116
§6.2	AM的一般性质	117
§6.3	外积型网络的一些性质	122
§6.4	反馈网络作为AM时的容量分析	128
§6.5	其它学习规则	132
§6.6	信息存储矩阵	138
§6.7	双向联想存储器(BAM)	141
§6.8	对现有AM的一些改进与变形	153
§6.9	用投影法分析AM的工作过程	167
§6.10	有终点吸引子网络的训练	174
§6.11	多余稳定点问题	181
第七章	神经元网络用于优化计算	186
§7.1	概述	186
§7.2	一些组合优化或线性规划问题的计算	188

§7.3	连续型问题—反问题作为优化问题求解	196
§7.4	一些用于解数学规划问题的专用硬件电路	200
§7.5	神经网络与解码问题	203
§7.6	一些其他寻优算法	204
第八章	多项式阈值函数	211
§8.1	多项式阈值函数	212
§8.2	PT ₁ 可实现的布尔函数数目	222
第九章	神经网络硬件实现中的一些问题	225
§9.1	基于现代计算机的实现	225
§9.2	直接硬件实现	226
§9.3	神经网络与Systolic阵列	228
§9.4	展望	236
§9.5	全硬件实现的神经网络器件举例	238
第十章	自组织网络	242
§10.1	自适应谐振理论(ART)	242
§10.2	自组织特征映射	254
§10.3	Fukushima的神经认知器	258
第十一章	神经网络的宏观研究方法	262
§11.1	概率统计的观点	262
§11.2	统计力学的观点	267
§11.3	神经网络作为自动机	272
§11.4	对系统函数的讨论	274
§11.5	玻尔兹曼机	279
第十二章	神经网络的一些典型应用举例	287
§12.1	在初期视觉问题中的应用	287
§12.2	在自动控制中的应用	296
§12.3	在语音识别中的应用	321
§12.4	NN用于控制的学习方式	327

第十三章 从计算复杂性角度探讨现有

神经网络中的一些问题	332
§13·1 有关计算复杂性的一些基本概念	332
§13·2 神经网络解决实际问题的困难	336
§13·3 模拟计算机能否更有效地解决复杂问题	339
§13·4 可学习性及学习的复杂性问题	343
§13·5 学习复杂性的进一步研究	347
§13·6 简短的讨论	354
附录一 参考习题	356
附录二 主要参考文献	359

第一章 绪 言

§1.1 引 言

揭开人脑工作机制的奥秘是科学家们长期以来追求的目标，这一问题的进展将帮助人们能制造出具有更高智能的机器，从而大大改变我们的物质和文化生活。许多领域的科学家，特别是神经生理学家、心理学家都在这方面做了大量工作。而从工程的角度看，目前更迫切的是利用现有的技术创造出接近人脑功能的装置，以便解决实际问题。正是出于这一动机，早在40年代就对神经元及神经网络开展了研究。1943年，心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 合作提出了形式神经元的数学模型（称为MP模型），它用逻辑的数学工具研究客观世界的事件在形式神经网络中的表达。现代串行机的奠基人 Von Neumann 在50年代就已注意到计算机与人脑结构的差异，对类似于神经网络的分布系统做了许多研究，Weiner 在他的控制论中把工程中的一些概念（如反馈）与生物系统联系起来。Ashby 的生物体动平衡理论和脑功能模型更进一步把工程方法用于生物系统的研究。50年代末，Rosenblatt 设计了三层结构的感知器，试图模拟动物和人脑的感知和学习能力，这是从工程上实现神经网络的早期例子。1962年，Widrow 提出了自适应线性单元（Adaline）。这些在当时引起了许多科学家的兴趣。1962年，人工智能创始人之一的 Minsky 和 Papert 以感知器为名出版了一本书，从数学上深入分析了感知器的原理，指出了它的局限性，加之当时串行计算机正处于全盛发

展时期，早期的人工智能研究也取得了很大成就，从而掩盖了发展新的计算模型的迫切性，使有关神经网络的研究热潮低落下来。在此期间仍有不少科学家坚持这一领域的研究，如：Grossberg提出了自适应共振理论，Kohonen对自组织映射及联想存储器的研究，Fukushima的神经认知网络理论等，这些都对此后的神经网络研究提供了很好的理论基础。

1982年，Hopfield提出了神经网络的一种数学模型，引入了“能量函数”的概念，研究了网络的动力学性质，紧接着又设计出用电子线路实现这一网络的方案，同时开拓了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径，这大大促进了神经网络的研究。特别是80年代以来，传统的、基于符号处理的人工智能在解决工程问题时遇到了许多困难，现代的串行机尽管有很好的性能，但在解决像模式识别、学习等对人来说是轻而易举的问题上显得非常困难，这促使人们怀疑当前的Von Neumann机是否能解决智能问题，也促使人们探索更接近人脑的计算模型，于是又形成了对神经网络研究的热潮。现在神经网络的应用已渗透到各个领域，如智能控制、模式识别、信号处理、计算机视觉、优化计算、知识处理、生物医学工程等。

现在的所谓神经网络，一般是指由大量简单神经元经广泛互连构成的一种计算结构，它在某种程度上可以模拟生物神经系统的工作过程。从工程角度看，兴趣在于其解决实际问题的能力。作为一种工程上的技术，现有的神经网络模型有其本身的优点、缺点及假定条件，在应用时对这些都应当给予足够的注意。

应当看到，除上述原因外，还有一些其它科学背景，70年代后期，非线性科学取得了迅速的发展，学术界对于复杂系统的功能表现有很大兴趣。Prigogine提出非平衡系统的自组织理论（耗散结构理论），Haken研究大量元件集体作用而产生的宏观有序表现并创立了协同论，“混沌”动力学和奇异吸引子理论揭示

了非线性系统的复杂行为，这些工作，从抽象意义上说都是研究复杂系统如何通过单元之间相互作用，系统从结构上由无序到有

表1-1 神经网络的发展过程

阶 段	主 要 贡 献 者	内 容
早期工作 (1940~1960) 基本概念	Mc Culloch & Pitts Hebb Farley & Clark Rosenblatt Steinbuch, Taylor	MP模型 突触学习规则 第一次仿真 感知器 联想存储器
过渡期 (1960~1980) 理论基础	Widrow & Hoff Albus Anderson Von der Malsbug Fukushima Grossberg	LMS算法 小脑模型(CMAC) 线性联想存储 竞争学习 认知机 自适应谐振理论(ART)
复 苏 期 (1980~) 理论生物科学 计算机	Kohonen Feldmann & Ballard Hopfield Hinton & Sejnowski Rumelhart等 Rumelhart & Mc Clelland Edelman, Reeke	特征映射图 联结机制模型 联想存储器理论 Boltzmann机 反向传播算法 PDP(书) DARWINIII

序,功能上由简单到复杂,类似于生物系统的进化过程和智能系统的学习过程。与此同时,神经科学和脑科学日益受到重视,在感觉系统特别是视觉研究中发现的侧抑制原理、感受野概念、皮层的功能柱结构和信息处理的并行、层次观点,被证明是神经系统处理信息的普遍原则。这些原则对于设计新的智能机和构筑神经计算机都有重要的作用。

可以从信息处理角度把神经网络与传统方式作一比较,如表1-2。

表1-2 神经网络与传统方式比较

	方 法	知识的获取	实现形式
系统与信息理论	模型数据, 噪声 物理约束	分析模型, 寻求 最优算法	算法的硬件实现
人工智能、专家 系统	模仿人类专家解 决问题的方式	向人类专家学习	计算机程序
神经网络	用自适应元件 设计网络	用例子对系统 训练	计算机仿真或神 经网络硬件

所谓神经网络计算机,就是试图模仿人脑结构组成一种新的计算机体系结构,要想模仿生物神经系统,建立高速度、大容量、广泛互联的智能化信息处理系统,必须对生物神经系统,特别是人脑的结构,信号机制及内联性有一个较深入的理解,下一节对人脑的信息机理作一简要介绍。

§1·2 人脑的信息机理

现代神经科学认为“行为是大脑机能的反映”,不仅相当简

单的行为(如微笑、行走等)出自于大脑的活动,而且复杂的感情、思考、认识等皆源于大脑的活动。

19世纪末,英国神经学家J. H. Jackson指出,各种运动和感觉局限于大脑的不同区域。稍后,德国神经学家K. Wernicke和西班牙神经组织学家S. R. Cajal(第六届诺贝尔医学奖获得者)作了详尽的论述和发展。Wernicke提出“定位说”,他认为行为受制于大脑的特定区域,并且通过一定的传导路径联系感觉和运动机构。Cajal提出“细胞联系说”,他认为神经元是大脑的信息单元,神经元之间以高度精确的方式相互联系。纵观大脑结构,我们将会对于大脑的“定位”及“细胞联系”学说有一个基本的了解。

中枢神经系统如图1-1所示,其结构基本上是纵向对称的,它主要有六个部分组成。

(1) 脊髓 它接受来自皮肤和肌肉的信息,并且送出运动指令。

(2) 脑干 它是脊髓的喙延伸,其中包括三个部分,即延髓、脑桥及中脑。脑干接受来自皮肤以及头部、颈部肌肉的信息,并且依次控制那些肌肉。大多数头颅神经(如听觉、前庭神经)的细胞存在在脑干中。

(3) 小脑 它同基底神经节一起调节运动的动作。

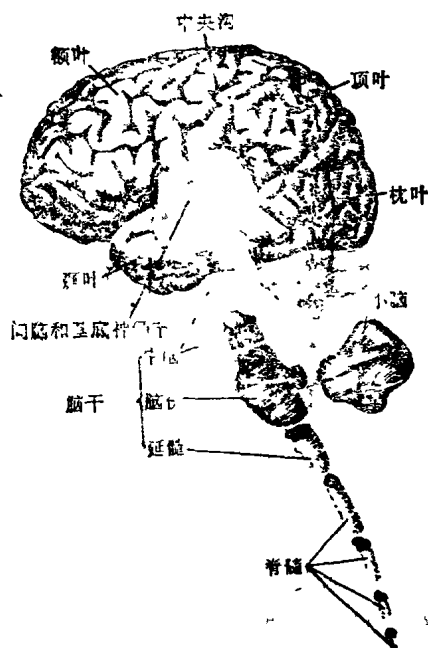


图1-1 中枢神经系统

(4) 基底神经节 由尾状核、壳以及苍白球组成。

(5) 间脑 包括丘脑、下丘脑、底丘脑及上丘脑。间脑是传递感觉和运动信息的关键性中继区域。

(6) 大脑半球 它被大脑皮质覆盖，主宰着高度认知、感觉和运动功能。

大脑皮质是感知、思维及其它高级功能的最重要神经结构。每个大脑半球的皮质有四个区域：前叶、顶叶、枕叶及颞叶。每个大脑半球与对侧躯体的感觉和运动过程有关联。譬如，从身体左侧进入脊髓的感觉信息通过右侧神经系统传入大脑皮质，而一个半球的运动区将控制对侧躯体的运动。此外，两个大脑半球并非完全对称，其功能也不相同。

大脑皮质具有六个细胞层，如图1-2所示。图A为六个细胞层的细胞密度及形状；图B是大脑皮质中各类神经元的胞体、树突及轴突的形状，图中“1”为锥体细胞，“2”为星形细胞，“3”为梭形细胞， α 为锥体细胞的主轴突， r 为锥体细胞的回归轴突。

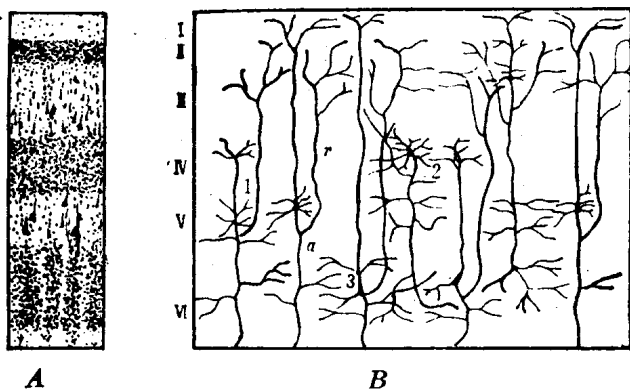


图1-2 大脑皮质中的细胞层及形状

大脑皮质的第 I 细胞层称为“分子层”，该层细胞较少，主要容纳来自深层细胞的树突及其它区域的神经纤维。第 II 层称为“外粒层”。第 III 层称为“锥体细胞层”。II、III 两层存在着密集的锥体细胞

及星形细胞。锥体细胞的树突分为两种,即基底树突和尖顶树突,前者在细胞体附近分叉,后者是垂直于皮质表面上行。Ⅰ、Ⅱ两层的细胞伸展到较深的皮层,且伸向局部皮层的外部,在这两层中的细胞轮流接收来自深层细胞及皮质的其它区域的信息。第Ⅳ层称为“内粒层”,其中含有大量密集的小细胞,且上下伸展,它们担负皮质内初期信息处理任务。第Ⅴ层称为“神经节层”,该层含有运动皮质的大型锥体细胞,这些细胞具有长的尖顶树突,它们可以上行1mm以上至Ⅰ、Ⅱ层。第Ⅵ层称为“梭形细胞层”,该层容纳纺锤形细胞。

19世纪末,Brodmann根据细胞类型、大小、密度以及各层的厚度,将大脑皮质分成约50个不同的细胞筑构区域,它们各自具有不同的功能。譬如,主体感区对应于Brodmann区域的1、2、3区,体感联合区对应于5、7区。

从身体组织诸如皮肤、肌肉、关节和内脏来的感觉信息经过两个不同的途径到达大脑,这两个途径分别由丘系系统和丘外系系统来代表,这两条通路合起来形成了躯体感觉传入系统。丘系系统传递有关机械刺激的模式、强度、空间和时间特征等精确信息,从而能引起触觉、压觉、震动觉及肌肉的悬觉。丘外系传导温度觉及伤害性刺激的信息。此外,对大脑皮质的兴奋性有很强的作用。这两个系统的输出经丘脑中继后传入大脑皮质。

大脑的运动神经系统及其内部关联如图1-3所示。感觉信息送入脊髓,轴突对各部分中间神经元及运动神经元作用,产生受脊髓调节的反应输出。各部分神经网络通过本体脊髓神经元相互联系。未加工的或分节网络加工的信息通过上行路径送至脑干及丘脑核,并经丘脑传入大脑皮质。脑干与大脑皮质由下行路径将信息反馈至分节网络,从而控制肌肉牵张等的机械动作,使负载发生运动,其移位信息送往感觉受体,所产生的排放信息又传至脊髓。运动神经系统中,小脑及基底神经节影响脊髓输出信息,

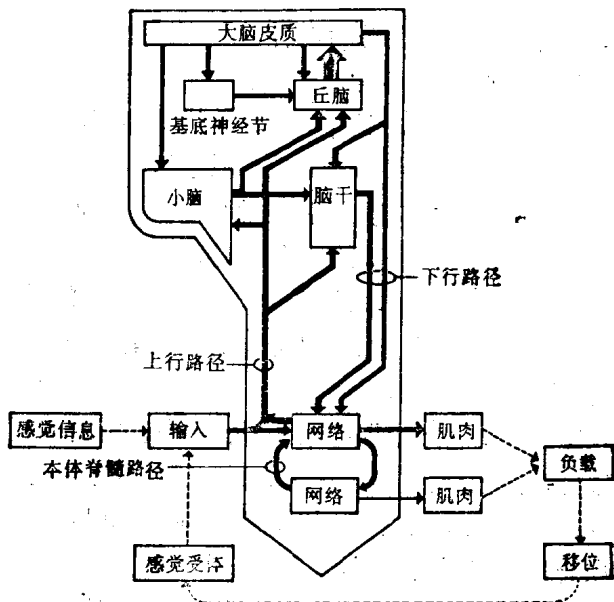


图1-3 大脑运动神经系统

并起整合作用。

视觉信息通路如图1-4所示。右眼颞侧(T)与左眼鼻侧(N)视网膜所接受的信息经视神经传入右边的侧膝状体，侧膝状体核的神经元通过视辐射向纹状皮质传送信息。纹状皮质位于Brodmann 17区，它是视觉信息主要处理区域，该区亦称视区I。信息从17区传送到18区（视

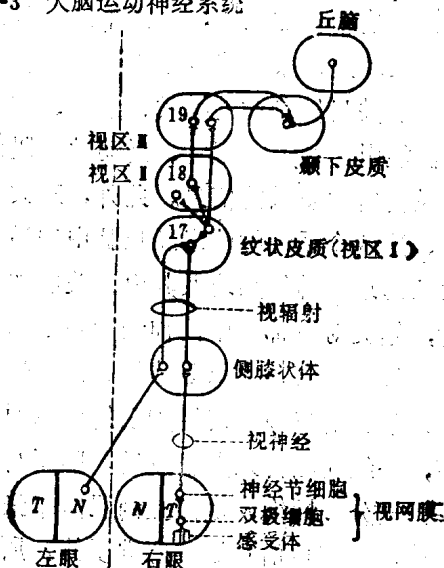


图1-4 视觉信息通路