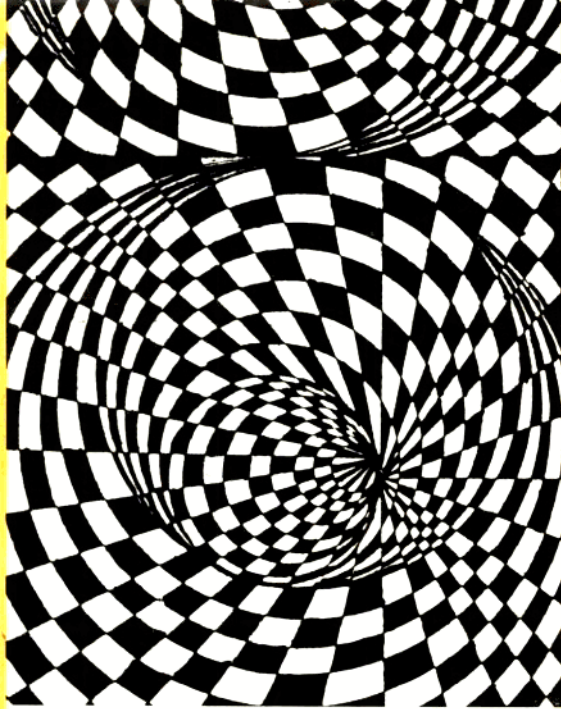




神经计算 导论

任志纯 常义林 康耀红

世界图书出版公司

序 言

神经网络是当前的一个热门研究领域,吸引了许多学科的研究人员。本书的目的是向有兴趣的读者介绍神经网络的基本知识,内容涉及神经网络的整个领域,包括神经网络技术所采用的所有主要方法及其重要结果。

我们假设读者对神经网络一无所知,并尽可能以一种清楚的、合乎逻辑的顺序来组织本书的内容。对每一个主要方法的基本概念的介绍是结合其历史发展进行的。这样做,读者不仅能清楚地看到每一种模型的基本特点,也能深刻地体会到为什么要建立这样一种模型的理由。神经网络的研究要大量地使用数学。数学的精确的公式化描述能够说明许多仅用语言难以说明的问题。即使是介绍神经网络的基本知识,也难免要使用一些必要的数学工具。此外,我们还给出了一些重要的推导和证明,因为这些推导和证明是神经网络理论和技术发展的一个重要组成部分,指出了在神经网络理论和技术发展的过程中所碰到过的一些看起来难以逾越的障碍以及这些障碍是如何被克服的。对每一个重要方法,除了给以必要的数学描述之外,我们还给出了其基本算法。如果读者能够把这些算法转换成计算机程序,定能获益非浅。但是,对于不能使用计算机的人来说,这些算法也是很有用的,因为它们明白无误地列出了实现某一个模型所要求的步骤,也进一步阐明了文字

说明所没有讲清楚的问题。

本书共分九章。第一章是导论,介绍有关神经网络的背景知识。第一节从哲学的角度探讨人和计算机的差别。第二节描述真实大脑的一个简化模型。第三节以火柴盒可教育三连游戏机为例说明机器是如何学习的。第四节对人工神经网络和生物神经网络进行了类比。

第二章介绍模式识别的基本概念和思想。其所以要在一本讲述神经网络的书里用一章的篇幅介绍模式识别,是因为神经网络所要完成的大部分任务都要涉及到模式识别。通过对模式识别的主要方法的介绍,可以使我們更清楚地理解神经网络系统的用途和功能。

第三章介绍神经元的基本模型及其学习规则、运行方式和特点及其对模式空间的划分方式,并指出其局限性——不能对异或问题和其他非线性问题进行有效的分类。

第四章是在第三章所介绍的神经元基本模型的基础上建立多层感知器的模型,讨论后向传播算法、广义 δ 规则、梯度下降算法、由隐蔽层单元进行特征抽取等概念,并借助能量地形对能量极小化和局部极小值问题进行了形象化描述。本章最后一节介绍该方法的实际应用例子。

第五章介绍神经网络的另一种模型,即能够进行无导师学习的科霍南网络。我们将讨论自组织拓扑图的形成,并对神经网络技术的最有影响的应用之一——声控打字机——作详细的介绍。

第六章是霍普菲尔德网络。在这一章,我们将讨论充分连接的霍普菲尔德网络和波尔兹曼机,并将其与物理系统进行类比。

第七章介绍自适应共振理论,重点是对格罗斯博格受生物神经系统的启发提出的方法进行解释,阐明该系统与前面介绍过的系统的差别。

第八章介绍联想存贮,阐述联想存贮器和联想神经网络(包括亚历山大的RAM网络,威尔肖的矩阵存贮方法以及ADAM系统),并对联想存贮器与其他神经网络的联系进行了探讨。

第九章展望神经网络的发展前景,对预示神经网络发展方向的最新进展作了说明。

在每一章最后都有一个简短的小结,对每一章的主要内容进行概括。

本书既可作为向大学高年级学生和研究生讲授神经网络的教材,也可作为广大科技工作者学习了解神经网络的一个入门读物。

本书序言和第一、三、四章由任志纯同志编写,第五、六、八、九章由常义林同志编写,第二和第七章由康耀红同志编写,最后由任志纯同志负责全书的统稿。

虽然我们在编写过程中作了很大努力,但由于水平和时间所限,仍可能有不妥当之处,敬请专家与读者批评指正。

本书在出版过程中得到世界图书出版公司西安分公司编辑李丹同志的热情支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

任志纯 常义林 康耀红

1995年1月于西安电子科技大学

目 录

序 言.....	(1)
----------	-----

第一章 导 论

1.1 人和计算机	(1)
1.2 大脑的结构	(5)
1.3 机器学习.....	(10)
1.4 计算机与大脑的区别.....	(12)
小结	(14)

第二章 模式识别

2.1 引言.....	(15)
2.2 模式识别的概念.....	(15)
2.3 模式识别的定义.....	(16)
2.4 特征向量和特征空间.....	(17)
2.5 判别函数.....	(18)
2.6 分类方法.....	(20)

第七章介绍自适应共振理论,重点是对格罗斯伯格受生物神经系统的启发提出的方法进行解释,阐明该系统与前面介绍过的系统的差别。

第八章介绍联想存贮,阐述联想存贮器和联想神经网络(包括亚历山大的 RAM 网络,威尔肖的矩阵存贮方法以及 ADAM 系统),并对联想存贮器与其他神经网络的联系进行了探讨。

第九章展望神经网络的发展前景,对预示神经网络发展方向的最新进展作了说明。

在每一章最后都有一个简短的小结,对每一章的主要内容进行概括。

本书既可作为向大学高年级学生和研究生讲授神经网络的教材,也可作为广大科技工作者学习了解神经网络的一个入门读物。

本书序言和第一、三、四章由任志纯同志编写,第五、六、八、九章由常义林同志编写,第二和第七章由康耀红同志编写,最后由任志纯同志负责全书的统稿。

虽然我们在编写过程中作了很大努力,但由于水平和时间所限,仍可能有不妥当之处,敬请专家与读者批评指正。

本书在出版过程中得到世界图书出版公司西安分公司编辑李丹同志的热情支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

任志纯 常义林 康耀红

1995 年 1 月于西安电子科技大学

2.7 线性分类函数.....	(26)
2.8 统计方法.....	(31)
小结	(34)

第三章 基本神经元

3.1 引言.....	(35)
3.2 单个神经元模型.....	(36)
3.3 简单神经元是如何学习的.....	(41)
3.4 从向量的角度看感知器.....	(47)
3.5 感知器学习规则的证明.....	(49)
3.6 感知器的局限性.....	(54)
3.7 结论.....	(56)
小结	(57)

第四章 多层感知器

4.1 引言.....	(58)
4.2 改变感知器的模型.....	(58)
4.3 新模型.....	(61)
4.4 新的学习规则.....	(62)
4.5 多层感知器算法.....	(69)
4.6 重温异或问题.....	(70)
4.7 网络行为的形象化描述.....	(76)

4.8	用多层感知器作为分类器	(79)
4.9	多层感知器的概括能力	(85)
4.10	多层感知器的容错能力	(86)
4.11	多层感知器在学习时可能遇到的困难 及其解决办法	(87)
4.12	多层感知器的应用	(89)
	小结	(95)

第五章 科霍南自组织网络

5.1	自组织的概念	(96)
5.2	科霍南算法	(98)
5.3	生物学证据	(100)
5.4	权值训练	(102)
5.5	权值的初始化	(104)
5.6	邻域	(105)
5.7	减小邻域	(108)
5.8	声控打字机	(109)
	小结	(116)

第六章 霍普菲尔德网络

6.1	引言	(117)
6.2	霍普菲尔德模型	(120)

6.3	能量地形	(121)
6.4	波尔兹曼机	(130)
6.5	约束条件满足问题	(140)
	小结	(146)

第七章 自适应共振理论

7.1	引言	(148)
7.2	自适应共振理论—ART	(149)
7.3	ART 网络的结构与运行	(150)
7.4	ART 算法	(156)
7.5	ART 网络的训练	(157)
7.6	分类	(161)
7.7	结论	(163)
7.8	ART 网络总结	(165)
	小结	(166)

第八章 联想存贮器

8.1	标准计算机存贮器	(168)
8.2	如何实现联想存贮	(170)
8.3	联想存贮在随机存取存贮器(RAM)中的实现	(173)
8.4	RAM 和 N 元组	(177)

8.5 威尔肖(Willshaw)网络	(179)
8.6 ADAM 系统	(181)
8.7 Kanerva 稀疏分布式存贮器	(185)
8.8 双向联想存贮器	(189)
8.9 结论	(191)
小结	(191)

第九章 前景展望

9.1 概述	(193)
9.2 硬件和软件实现	(193)
9.3 光计算机	(196)
9.4 光计算机和神经网络	(197)

第一章 导 论

1. 人和计算机

人比计算机更具有智能。为什么这样说呢？是不是因为我是一个人因而不愿意认为一堆硅片和金属块就能干我能做的所有事情？或者是从运行方式上看计算机和我们不同？例如，求几百个九位数字之和对计算机来说是一件微不足道的事情，但对一个即使是很擅长计算的专家来说也不是一件轻松的任务。这是不是说计算机比我们更有智能呢？初看起来似乎是这样，但是让我们考虑纵横字谜游戏。有些人在填纵横字谜上表现很出色，有些人则很蹩脚。但是，对于容易填的纵横字谜，我们大家通常都能发现某种线索。而对于计算机来说，这一类型的任务却是非常困难的。为解出一个纵横字谜通常要弄清楚一个隐隐约约给出的线索究竟暗示着什么，并以我们所称之为的直觉的飞跃和猜想的形式来完成这一任务。在这一点上计算机无法与人相比。再来看视觉。对人来说，视觉是一件非常合乎逻辑的活动——看见某种东西，认出它是什么，叫什么名字，并且可能的话（针对它）做出某种反应。如果我们所看到的是一杯茶，就会认出这是一杯茶，并拿起来

喝。如果我们所看到的是一个朝我们迅速飞来的足球，我们就会决定采取更为复杂一些的行动。但是，计算机在执行这些简单的视觉任务时是非常蹩脚的。即使是区分简单的物体，对计算机来说，也是一件复杂的任务。而如果要控制一个机械手去把看到的東西拿起来或作出其它的反应，就需要特别复杂的技术了。

问题可能是因为计算机能够在很短的时间内完成我们能够做的某些事情，例如，把一些数字加起来，精确地记得几个月前告诉它的人名及其住址，我们就指望它能在其它的许多方面也象人一样，而当它不象我们所期望的那样时，我们就感到失望。使计算机具有象人一样的智能是人工智能领域的工作人员所想要解决的问题。但是，在经过了 30 多年高质量的研究工作之后，他们仍然不能声称已经开发出了得到普遍承认的真正智能化的计算机系统。人工智能的目的可以概括为努力使计算机象科幻电影中的机器人一样不停地工作并明显地胜过在其周围工作的人。但实际情况并非如此。

计算机并不象我们所预期的那样工作，与所投入的研究力量和资金比较起来，人工智能研究取得的进展是很不相称的。

那么，为什么计算机不能干人能干的一些事情呢？原因之一在于计算机的设计特点。如果我们观察一个计算机的内部，就会看到许多包含有微观电路和部件的硅片插在带有电阻和其它元件的电路板上。如果我们观察一个大脑的内部，则看不到这样的有序结构。大脑初看起来不过是一堆纤曲而均匀的灰色物质。进一步的研究表明，大脑是由许许多多错综复杂排列的神经细胞组成的，每一个神经细胞与成千上万个其它的

神经细胞相连接。也许是设计上的这种区别导致了两种系统功能上的差异。计算机被设计成能以极快的速度顺序执行一系列的指令,而我们的大脑则是借助于许多速度低的单元进行工作的。一般的计算机每秒能执行几百万次运算,而大脑中神经细胞的响应速度大约是十分之一秒。但大脑可同时干许多不同的事情,而计算机则不行。计算机是一个高速串行处理机器,并且是作为串行处理机器来使用的。大脑的运算速度虽然低,却具有高度并行处理的特点。知道了这些情况,计算机不能以和大脑同样的方式进行工作就毫不奇怪了。计算机和大脑都能干好适合各自特点的事情:计算机是一个串行处理机器,因而执行计算任务计算机总是胜过大脑;视觉和语言识别是一个需要进行高度并行处理的问题,因而在看东西和理解语言上大脑总是把计算机远远地抛在后面。

解决智能性的问题需要处理大量的、相互作用的信息。解决这些问题所需要的知识来自许多不同的来源,每一个都对问题的最后解决作出自己的贡献。大脑由于其并行设计特点,所以能够以一种可存取的方式表示和存储这些知识,并且能够把这些知识与它所接收到的许多不同的刺激一起进行处理。在这里,速度并不重要,并行性才是最重要的因素,而大脑正好适于完成这样的任务。

神经计算的方法就是把大脑解决这些问题的指导原则用到计算机系统上。我们不知道大脑是如何表示高层次信息的,因而不能模仿它,但我们确实知道它使用了许多广泛相互连接的、速度低的单元。在建立大脑的基本系统模型时,我们的目标是使其具有适合于进行并行处理而不是串行处理的固有属性。这些并行模型必须能够以并行方式表示知识,并能以相

同的方式对其进行处理。虽然我们可以以串行的方式来模拟这种结构,因而不必制造新的计算机,但是人工神经网络系统固有的并行特点确实使其更加易于在并行机上实现。

在以后的各章里,我们将考察对真实神经系统的研究如何启发我们建立起存在于大脑中的并行模型的人工神经网络。这些人工神经网络的性能虽然还不很理想和完善,但却是朝我们所真正希望的方向前进的。在模仿大脑的并行性的同时,注意真实神经系统的其它有用特点,并考虑能否把这些特点也包括到人工神经网络中去,也是我们所要讨论的问题。

大脑最重要的特点是其学习能力——自己教自己的能力。通过例子进行学习是我们从孩提时起学习说话、写字、吃饭和形成我们的道德标准的重要途径。对传统的计算机来说则不是这么回事。要使计算机干一件事,通常需要一个长而复杂的程序,给出每一个操作步骤的具体指令。每一步干什么,如何干,都要明确地告诉计算机。显然,大脑完全不是按这种方式工作的,因为当我们写这种程序的时候,需要费力耐心地花费很长时间才能以一种计算机能够理解的方式详细准确地写下我们的想法和意图。对于大的程序,这些指令可能有几百万行,一个错误就可能造成各种预想不到的后果。这些错误被称作程序中的纰漏。这种纰漏会对一个计算机科学家的声誉和前途产生极为不利的影响。但是,这些错误是很难完全避免的,因而大部分大的程序都包含很多纰漏。如果你打算买一辆新车,你可以指望它不会有什么毛病,但如果你买了一个新的软件,经过使用发现其没有一点毛病时,你将会感到非常惊奇。纰漏被承认为生活中的严酷现实。但是,如果能让计算机通过观察一个任务是如何完成的而学会干这件事,因而不需

要写一个如何完成这件任务的程序,那该有多好啊!在开始的时候,也可能会犯这样那样的错误,但它可以从此些错误中吸取教训而不再重复同样的错误。

1.2 大脑的结构

人的大脑是我们仔细研究过的最复杂的事物之一,但总体上说,对它的理解仍然相当贫乏。对于“我的大脑究竟是个什么东西?”和“我是如何思想的?”这些最根本的问题,我们还没有一个满意的回答。但是,我们确实在一个低的层次上对大脑是如何工作的有了一定的基本的了解。大脑大约包含 100 亿 (10^{10}) 个被称作神经元的基本单元。每一个神经元与大约 1 万 (10^4) 个其它的神经元相连接。 100 亿是一个多大的数目呢?请想象一个标准尺寸的没有放水的游泳池。为了把该游泳池填满所需要的水滴的数目大约是 100 亿个。如果你想与一万个其它的人进行联系,也至少需要十几本书来记载这些人的详细住址和电话号码。

神经元是大脑的基本单元,并且是一个独立的模拟逻辑处理单元。神经元有两种主要类型:进行局部处理的中间神经元和输出神经元。中间神经元的输入和输出的连接长度大约为 100 微米,而输出神经元则把大脑的不同区域相互连接起来,把大脑与肌肉和感觉器官连接起来。神经元的工作方式是一个复杂的还没有被充分理解的微观过程,尽管对其基本的细节已经比较清楚了。一个神经元同时接受许多输入并以某种方式把这些输入加起来。如果接收到足够的激励输入,该神

神经元就被激活并被“点燃”。如果没有接收到足够的激励输入，该神经元就维持非激活的、安静的状态。神经元的基本特征示于图 1.1。

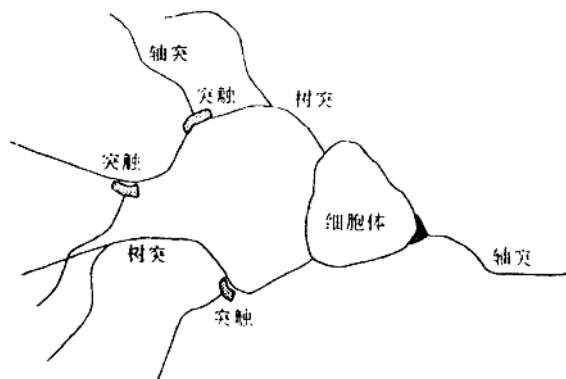


图 1.1 生物神经元的基本特征

细胞体是神经元的主体。附着于细胞体的是长的、形状不规则的丝状体，被称作树突。这些直径通常小于 1 微米的神经突起具有复杂的分枝形状。它们错综复杂的形状象冬天的没有树叶的树枝，不断地分岔。树突是所有输入到达神经元的通道。神经细胞能够执行比把它们接收到的输入简单地加起来更加复杂的功能，但是把其功能考虑成把多个输入简单相加是一个合理的近似。

附着于细胞体的另一种类型的神经突起是轴突。与树突不同，轴突具有电活性，是神经元的输出通道。轴突常常出现在输出神经细胞上，而在内部神经细胞上则很少见。内部细胞的输入和输出都是通过树突传送的。轴突是一个非线性阈值

装置。当细胞体内的静止电平升高到超过一定的临界阈值时，轴突会产生一个延续大约一毫秒的被称作动作电位的电压脉冲。这一动作电位，事实上是一系列的尖峰电压信号。

轴突的末端被称作突触，一个神经元的轴突在此与另一个神经元的树突耦合。耦合不是一个穿过突触结点的直接连接，而是一个短暂的化学过程。当在动作电位的作用下突触的电位升高到一定程度时，它就释放一种被称作神经传递素的化学物质。在突触被触发之前，可能需要接收到不止一个动作电位。由突触释放的神经传递素穿过突触与树突之间的间隙进行扩散，并通过化学方式激活树突上的门。而当这些门打开后，就允许带电离子流过。正是这种离子流改变了树突的电位并在树突上建立起一个电压脉冲，该电压脉冲然后沿着树突传导到神经元的细胞体。每一个树突可以有许许多个突触作用于其上并由此形成神经元的广泛连接。在突触结点上，在树突上打开的门的多少取决于突触所释放的神经传递素的数目。有些突触激活它们所作用的树突，另一些则抑制它们所作用的树突。这取决于是在正的方向还是在负的方向改变树突的局部电位。一个神经元有许多个突触输入作用在其树突上，也可以有许多个突触输出将其与其他的神经元相连。

1.2.1 生物神经系统的学习过程

学习被认为是对一个神经元与另一个神经元在突触结点的耦合强度进行修改。图 1.2 更加详细地描述了突触的主要特点。为了加强一个神经细胞与另一个神经细胞在其交会的突触上的耦合强度，可以通过使突触释放更多的神经传递素来实现。这样做的效果是在突触结点的树突一侧打开更多的