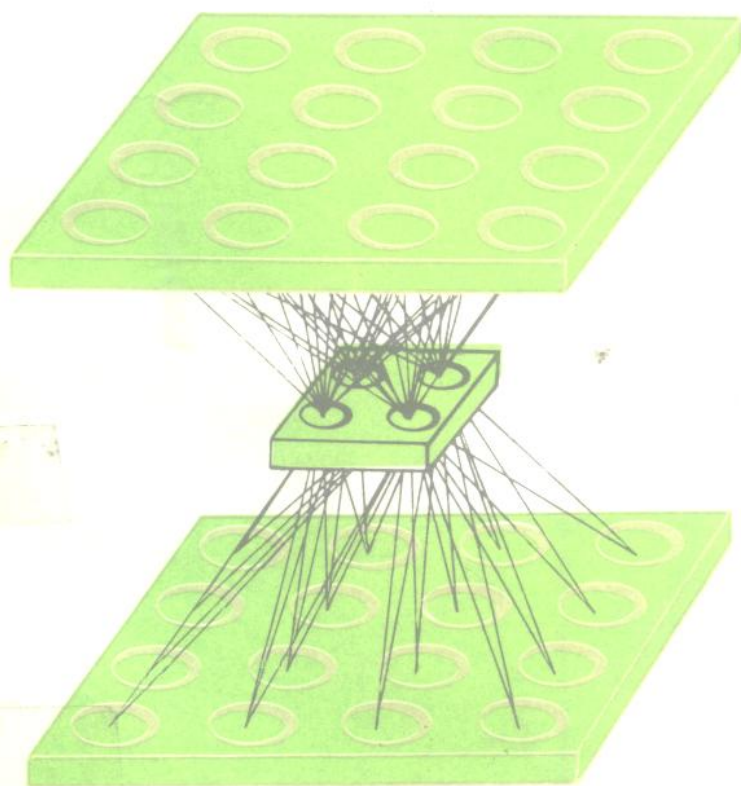


王 伟 编著

人工神经网络原理

——入门与应用



北京航空航天大学出版社

人工神经网络原理 ——入门与应用

王 伟 编著

北京航空航天大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

人工神经网络原理:入门与应用/王伟编著. —北京:
北京航空航天大学出版社, 1995. 11
ISBN 7-81012-587-7

I. 人… I. 王… III. 电子计算机-神经网络 N. TP
393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 07693 号

人工神经网络原理——入门与应用

RENGONG SHENJING WANGLUO YUANLI—RUMEN YU YINGYONG

王 伟 编著

责任编辑 冯学民

北京航空航天大学出版社出版

北京海淀区学院路 37 号(邮编 100083)

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

朝阳科普印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张:8 字数:200 千字

1995 年 10 月第一版 1995 年 10 月 第一次印刷 印数:3000 册

ISBN 7-81012-587-7/TP·172 定价:12.00 元

内 容 提 要

本书是人工神经网络理论的入门书籍。全书共分十章。第一章主要阐述人工神经网络理论的产生及发展历史、理论特点和研究方向；第二章至第九章介绍人工神经网络理论中比较成熟且常用的几种主要网络结构、算法和应用途径；第十章用较多篇幅介绍了人工神经网络理论在各个领域的应用实例。

本书可作为理工科大学及农林医科大学计算机、自动控制、信号与信息处理、电路与系统、系统工程、经济管理等有关专业的博士生、硕士生、高年级大学生的教材，同时也可以作为有关学科领域研究人员及工程技术人员学习人工神经网络理论的入门参考书。

清华选修

陈永日

前言

人工神经网络(Artificial Neural Networks)理论是 80 年代中后期世界范围内迅速发展起来的一个前沿研究领域,其发展已对计算机科学、人工智能、认知科学等领域产生了重要影响。近年来,在欧美和日本等国掀起了人工神经网络研究、开发应用的热潮,有关人工神经网络理论的新的研究成果不断涌现。值得注意的是,目前我国人工智能及其它相关学科领域的专家、学者、工程技术人员在人工神经网络理论和应用研究方面,也做出了许多可喜的成绩。

新
人工神经网络理论是在怎样的科学背景下产生的呢?要回答这个问题,首先要明确什么是“智能”和“智能理论”?虽然到目前为止对“智能”还没有一个统一、确切的定义,但简单说来,智能是指人们认识客观事物并运用知识解决实际问题的能力。它表现为运用知识认识新情况、解决新问题、学习新方法、预见新趋势、创造新思维的能力。智能的高低反映在对客观事物认识的深刻、正确、全面的程度以及运用知识解决实际问题的速度和质量上。有了对什么是“智能”的解释,就不难推而得知什么是“智能理论”。简言之,“智能理论”包括两个基本问题:①探索人类智能的奥秘(研究人类的认识过程)②运用人工手段模仿人类的智能行为。在对后一问题的研究上又有两种主导思想:结构主义——从硬件结构上模拟人脑的构成;功能主义——撇开人脑的具体结构,仅从输出输入关系上构造出与人脑功能相一致的人工智能系统。功能主义成了传统人工智能理论的研究基础。这种理论的核心就是以冯·诺依曼

人工智能 { 结构主义
功能主义 43147

型数字计算机为支持,编制出本领超凡的软件程序,以此达到模拟人脑智能的目的。传统人工智能理论在求解高精度计算问题以及过程模拟、过程控制等方面取得了巨大的成功。但是,这种理论也遇到了许多它无法克服的问题,对此读者可从本书第一章结论中详细了解到。与传统的人工智能理论相对应,以结构主义为主导思想,从分析人脑神经网络的微观结构上入手,抓住人脑结构的主要特征,即大量相对简单的非线性神经元之间复杂而又灵活的联接关系,深刻揭示人脑认识过程的结构作用的研究——人工神经网络理论研究,成为人工智能理论研究的一大分支。正如本书始终贯穿的一个思想,人工智能理论研究的这两大分支,不是相互替代、相互对立的关系,而是相辅相成、相互补充的关系。它们有着共同的研究基础,这就是对信息的处理;所不同的只是处理方法上的差别。

对于人工神经网络理论的研究,从 80 年代开始获得蓬勃发展,但人类对这一理论的探索可追溯到 1943 年,法国心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 合作提出的神经元数学模型,即著名的 M-P 模型。这一模型的提出,开创了人工神经网络这一新兴边缘学科研究的先河。在这之后,有关研究异常活跃,一系列关于神经元及神经网络的模型、计算方法被提出来,并引起学术界的极大兴趣。

但是,到了 70 年代后期,由于当时冯·诺依曼数字计算机出色的性能表现和各种以数字计算为研究基础的人工智能理论的日臻完善,使人们渐渐地对人工神经网络理论的研究失去了以往的热情。特别是 1969 年,人工智能理论界具有权威地位的 Minsky 和 Papert 在《感知机》一书中指出了在当时看来是无法克服的神经元模型的致命缺陷——感知机只能对线性可分模式进行识别,而对象“异或”(XOR)这样简单的非线性逻辑问题却都束手无策。在这之后的 10 多年的时间里,人工神经网络理论的研究一直处于低潮。但是,进入 80 年代以后,由少数坚韧不拔的学者经过 10 多

年的理论研究积蓄,终于在人工神经网络理论的一系列问题上取得了重大突破,给这一理论的研究重新带来了生机。其中尤其值得一提的是美国生物物理学家 Hopfield 于 1982 年提出的一种被人们称为 Hopfield 的模型。他在其建立的网络模型中引入“能量”函数,在理论上解决了网络稳定性的判据问题,并使网络具有联想记忆,自动分类和自动校正记忆误差的能力。他的研究成果开拓了人工神经网络理论研究的新途径,令人耳目一新。当 1984 年他用模拟电子电路实现了这一网络,并用网络计算方法成功地解决了“巡回推销员问题”之后,人工神经网络理论的研究进入了一个崭新的、突飞猛进的时代。当今,比较成熟的网络模型及相应算法有近百种,各种修正和演变的模型、算法就更多。美、日等国还推出了各种类型的神经元集成电路芯片和神经网络计算机。虽然目前还很难预料人工神经网络理论究竟能对世界科学的发展起到何种推动作用,但是,这种以人脑本身组织结构,思维原理为研究基础,并对其进行高度抽象和合理简化、概括的探索,无疑是一个富有挑战性,并将深刻影响对人类认识行为理解的伟大研究工程。

本书是在综合国内外有关理论书籍和文献并结合作者的实际研究工作的基础上编写的。其主要目的是把人工神经网络理论这一新兴的科学理论,以尽可能简明、通俗的语言及尽可能少的预备知识介绍给广大读者。作为一本入门参考书,作者没有过于追求数学推导的严谨和理论阐述的深度,而是以由浅入深、形象生动、通俗易懂的方式,使读者在没有太多理论障碍的情况下,准确地掌握人工神经网络的基本原理、应用方法及发展趋势,并能学以致用,将这一理论与读者所从事的研究工作有机地结合起来,发挥其应有的作用。

北京科技大学博士生导师,中国人工智能学会理事长涂序彦教授对本书给予了热情关怀和悉心指导。国家教委 1994 年度留学回国人员科研基金资助的研究课题,对本书中有关应用实例的写作,提供了很大帮助。在此谨致谢意。

由于作者学术水平所限,加之人工神经网络理论本身还处于不断发展、完善的阶段,书中的错误和不妥之处在所难免。恳切欢迎读者提出批评、指正。

作 者

1995 年 4 月

目 录

第一章 绪 论

1.1 一则现代童话的启示	1
1.2 大脑——一个神秘的世界	3
1.3 神经网络研究、发展的历史	6
1.4 神经网络研究的主要方向	9

第二章 神经网络理论基础

2.1 大脑与生物神经系统	10
2.2 生物神经系统的模型化	16
2.3 M-P 神经元模型与人工神经网络的构成	20
2.4 人工神经网络的学习机理与 Hebb 学习规则	22
2.5 教师示教学习与无教师示教学习	24
2.6 生物神经网络与人工神经网络的比较	25
2.7 模式识别的基本定义与方法	28
2.8 线性分类器	31

第三章 神经网络的初期模型与基本算法

3.1 感知机模型与感知机学习规则	33
3.2 感知机的局限性	41
3.3 自适应线性神经网络	44
3.4 自适应线性神经网络的应用举例	50

第四章 多阶层神经网络与误差逆传播算法

4.1 多阶层网络与误差逆传播算法的提出	52
4.2 误差逆传播神经网络结构与学习规则	53
4.3 误差逆传播学习规则的数学推导	62
4.4 隐含层——特征抽取器的作用	67
4.5 BP 网络应用举例	70
4.6 BP 网络小结	73
4.7 几种改进方案	74

第五章 Hopfield 神经网络

5.1 Hopfield 网络的基本思想	77
5.2 Hopfield 网络的结构与算法	78
5.3 Hopfield 网络运行规则	80
5.4 网络计算能量函数与网络收敛	81
5.5 联想记忆	86
5.6 Hopfield 网络联想记忆的设计方法	89
5.7 Hopfield 网络联想记忆的缺陷	97
5.8 连续时间型 Hopfield 神经网络	100
5.9 Hopfield 网络在优化组合问题中的应用	103
5.10 网络应用与网络能量函数	110

第六章 随机型神经网络

6.1 随机型神经网络的基本思想	111
6.2 模拟退火算法	112
6.3 Boltzmann 机与 Boltzmann 机工作规则	115
6.4 Boltzmann 机学习规则	121
6.5 网络小结	130

第七章 竞争型神经网络

7.1 竞争型神经网络的基本思想	132
------------------------	-----

7.2	基本竞争型神经网络及学习规则	133
7.3	抑制竞争型神经网络及学习规则	138
7.4	自适应共振理论网络的提出及特点	141
7.5	自适应共振理论网络结构及学习、工作规则	142
7.6	自适应共振理论网络特性分析	149
7.7	应用举例	154

第八章 自组织特征映射神经网络

8.1	自组织特征映射神经网络的基本思想	157
8.2	自组织特征映射网络学习、工作规则	159
8.3	SOM 网络的自组织特性	165
8.4	网络的分类精度分析	168
8.5	SOM 网络的局限性	170
8.6	SOM 网络的有教师示教学习规则	171
8.7	SOM 网络应用举例——语音打字机	171

第九章 对向传播神经网络

9.1	对向传播神经网络的基本思想	175
9.2	CP 网络学习、工作规则	176
9.3	网络应用举例	183
9.4	网络的改进与完善	185

第十章 人工神经网络应用

10.1	文字识别	189
10.1.1	文字识别的生理特点	189
10.1.2	印刷体文字识别	190
10.1.3	手写体文字识别	196
10.2	图象处理	199
10.2.1	图象处理概述	199
10.2.2	图象数据压缩	201
10.2.3	图象边缘检测	205

10.2.4	图象自动分类	206
10.2.5	医学自动诊断	207
10.2.6	目标自动识别	207
10.2.7	图象补正	208
10.2.8	工业产品检查	208
10.3	优化组合应用——有价证券的选择	209
10.4	神经网络专家系统	215
10.4.1	神经网络专家系统的基本原理与结构	215
10.4.2	高炉炉温预测专家系统	219
10.4.3	财务评价专家系统	221
10.4.4	医疗诊断专家系统	223
10.5	神经网络在智能控制中的应用	226
10.5.1	神经网络控制系统的特点	226
10.5.2	神经网络控制系统的几种结构形式	227
10.5.3	控制系统中神经网络的学习结构与方法	229
10.5.4	应用神经网络进行系统辨识	234
10.6	神经网络计算机简介	235
10.6.1	神经网络计算机的基本特征	235
10.6.2	神经网络计算机的分类与研究现状	237
10.6.3	神经网络计算机的有关概念	239
参考文献		241

第一章 绪 论

1.1 一则现代童话的启示

“X 队和 Y 队是两支势均力敌的足球劲旅，在新赛季决战之前，两队都摩拳擦掌试图问鼎冠军宝座。其中 Y 队为了做到万无一失，煞费苦心地准备了一件秘密武器：一个装配有高速大容量计算机的机器人——门将 W。然而 W 在绿茵场上的表现却令人大失所望，面对飞速而来的足球，尽管他使尽浑身解数，以每秒百亿次的运算速度，对由视觉传感器获得的足球方位、速度等数据进行计算，以求作出扑球的行动决策。但是屡屡不等他作出正确反应，足球早已破门而入。与此相反，X 队经验丰富的守门员 Q，反应机敏，左右逢源，频频将来自各个方向、风驰电掣般的足球拒之门外，比赛结果可想而知。Y 队机关算尽却大败而归，恼羞成怒的 Y 队教练怒斥 W：你的本事跑哪儿去了？难道凭你脑壳里那台性能高超的计算机还比不上一个四肢发达的 Q 吗？W 无言可对，从此他失业了。”这是一则似乎有些荒唐的现代童话。然而它却包含着一个不可否认的事实——尽管现代数字计算机发展到今天，其运算速度可达每秒数百亿次以上，存贮量和计算精度成倍地扩大和提高，并在数值计算、符号逻辑推理方面显示出巨大的优势，然而面对连续的、模糊的和随机的信息处理问题如：模式识别、图象处理、决策判断等却显得非常迟钝和笨拙。虽然人们习惯地将数字计算机称为电脑，而实际上应该说它只是一个不健全的“大脑”，一个只

有逻辑思维而缺乏形象思维的“大脑”。一个不知道一加一等于二的两、三岁的幼儿却可以一眼从众多的人群中确认出自己的父母，但若让电脑来完成这个对人类来说轻而易举的任务却要花九牛二虎之力，且成功率只有百分之十几。

模糊数学的创始人 L. Zadeh 教授曾举过一个十分有趣的停车例子来说明在寻找问题满意解方面，精确的理论计算和擅长精确数值运算的计算机显得多么死板和低能：把一辆汽车停在停车场中两辆车之间的一个空位上。对于这样一个看起来并不复杂的问题，若让一台计算机来指挥完成，则要大费一番周折。首先要建立问题的数学模型，以便编制计算机程序，求出问题的数值解。其理论计算的步骤是：设 ω 代表车 C 上一个固定的参考点位置， θ 代表 C 的方向，则汽车的状态为 $X = (\omega, \theta)$ ，车的微分方程为 $\dot{X} = f(X, u)$ ，其中 u 是一个有约束的控制矢量，它有两个分量 u_1 和 u_2 ， u_1 是前轮角度， u_2 为车速。两辆停着的车之间的空隙定义为许可的终局状态的集合 Γ ，邻近两辆车定义为 X 执行中的约束，记为集合 Ω 。现在的任务是：寻找一个控制 $u(t)$ ，使在满足各种约束条件下把初始状态转移到 Γ 中去。对于这样一个复杂的运动模型，即使大型计算机也很难胜任。因此，从实用角度来看，这里所谈的问题没有精确解存在。面对同样的问题，即使是一名刚刚掌握驾驶技术的司机，经过前、后、左、右几次移车，就能将车停到两车的空隙之间。这就是说，司机通过一些不精确的观察，执行一些不精确的控制，就能轻易地达到目的。此时，人们不是先去推导汽车运动的数学模型，然后再根据模型加以控制，而是利用诸如直觉推理、经验和知识技巧等智能行为，再加上学习能力来对汽车进行控制的。从这个例子我们可以进一步看出：建立在图灵算法基础上的 Von Neumann 计算机，把对任何性质的问题求解都当作一个计算过程，问题只有转换成算法才能进入计算机，从而求得问题的精确解。从计算机的内部计算过程来看，又是一个串行的信息处理过程，即计算机 CPU 每次从存储器中取出一条数据信息进行计算

和逻辑判断,然后根据事先编排的程序及中间结果决定下一步应该继续执行的指令,同时将本次的计算结果送回到存贮器某个确定的位置存贮起来。这种串行的、被动的信息处理过程,完全集中在 CPU 中进行,使得无法进一步提高计算机的运算速度以满足信息处理量迅猛增长的需要,同时也很难适应大量复杂的计算问题。特别是随着世界科技水平的不断提高,计算机所面临的任务已由单纯的数值计算和一般的信息处理发展到知识处理、模糊识别等高层次的智能处理。人们曾把希望寄托于提高数字计算机的运算速度和增大硬件的集成度,然而无论是速度还是集成度终将达到一定的极限。数字计算机的前途受到了严重的挑战。这不得不使人们用审视的眼光,从信息处理体系的角度重新评价 Von Neumann 计算机,并寻找计算机发展的新途径。

1.2 大脑——一个神秘的世界

著名哲学家罗素曾经说过:没有什么比研究人本身更重要的了。人类在认识自然、改造自然的过程中逐渐体会到,如果没有对人之灵魂的大脑的深刻认识,就很难在更高的层次上揭示客观世界的奥秘。因此,整个人类文明历史的发展,都伴随人类对自身大脑的物质结构、意识活动和生物特征的不懈探索。大脑这一神秘世界的面纱被一层层地揭开。虽然到目前为止人们还不能完全解释大脑思维、意识和精神活动,但已从神经结构、细胞体构成的水平上初步探明了大脑的组织特征,并已可以通过生理实验证明许多大脑的认知机理。这些对于大脑的认识成果,为研究和设计与脑的智能接近的人工智能机器奠定了理论基础。各种实验与研究表明:大脑中存在着由巨量神经细胞(约 100 亿个)结合而成的神经网络,正是大脑的神经网络系统,构成了大脑信息处理的主体,神

神经网络的活动决定了大脑的功能。

神经网络信息处理的基本特性主要有以下几点：

(1) 分布存贮与容错性

信息在神经网络内的存贮是按内容分布于大量的神经细胞之中，而且每个神经细胞实际上存贮着多种不同信息的部分内容。信息的记忆，主要反映在神经元之间的连接强度上。网络的各个部分对学习和记忆具有等势作用，即使个别单元出错，部分信息丢失，但大部分信息仍存在，因而可以使完整的信息得到恢复。事实上，人的大脑平均每天有 10~40 万个神经细胞死亡，但这丝毫不会影响其记忆与处理功能。

(2) 并行处理性

神经元的响应速度很慢，每次约 1ms 左右，比一般的电子元件要慢几个数量级，而且每个神经的处理功能也很有限，但却可以在几百微秒的时间内对一个复杂的过程作出判断和决策。而对于一个工作速度可达纳秒级的数字计算机来说，由于其信息是按串行方式处理的，若要在几百个串行步骤内完成复杂的推理或计算是不可能的。在神经网络中，巨量的神经元可同时进行同样的处理，因而是大规模的并行处理，而且这种并行处理决不是简单地“以空间的复杂性代替时间复杂性”，而是反映了根本不同的操作机理。

(3) 信息处理与贮存的合二而一性

大脑对信息的分布存贮与并行处理并不是相互独立的，而是相互融合的，即每个神经元都兼有信息处理和存贮功能。神经元之间连接强度的变化，既反映了对信息的记忆，同时又与神经元对激励的响应一起反映了对信息的处理。大脑对信息的提取过程，也不象数字计算机那样先找到信息的存贮地址，再由地址提取到信息，而是将信息地址的寻找过程融汇于信息的提取过程之中。

(4) 可塑性与自组织性

人脑发展、进化的本身是在由遗传信息先天确定的结构和特

性条件下的自组织过程。人的大脑在人出生后的有限时间内就形成了良好的可塑性。而现代生育医学的研究又证明：胎教同样可以促进出生后婴儿智力的发育，这说明在大脑形成之日起可塑性也就开始形成了。一个咿呀学语的幼儿，经过半年左右的语言训练，其词汇量的增长速度是十分惊人的，这正说明幼儿的大脑具有良好的可塑性。从生理学的角度看，可塑性主要反映在神经元之间连接强度的可变性。大脑可通过其内部的自组织、自学习能力不断适应外界环境的变化。俗话说“熟能生巧”，正是反映了大脑的自组织能力。当人们反复从事某一项工作时，这件工作的各个技术特征及要领就会“熔化”在大脑的若干群神经元中，而且随着工作的反复进行，使得这些神经元之间的连接强度不断增加，从而提高了神经元对这些技术特征及操作要领反映的灵敏度，也就发生了由“熟”到“巧”的变化。这种自组织、自学习能力，是只能被动地执行程序的数字计算机所无法做到的。

(5) 层次性与系统性

神经网络是个十分复杂、规模庞大的系统。由结构和功能都十分简单、有限的神经元组成的网络系统，通过系统的组合功能效应，可完成各种复杂的信息处理任务。神经生理学研究还表明，大脑对信息的处理过程是分层次进行的。从初级皮层的处理到顶区皮层、最后达到脑前额叶的处理过程，是对信息分层加工的过程。

脑神经的思维活动特征和认识机理，无疑代表了信息处理的一种高层次的模式。归纳起来，数字计算机的信息处理机制是：以串行的、离散的、逻辑符号推理为处理手段，以求得问题的精确解为处理目标；而神经网络的信息处理机制是：以分布存贮、并行处理为处理手段，以求问题的满意解为处理目标。实际上早在世界上第一台数字电子计算机诞生之前，人类对于脑神经细胞、脑神经网络以及对脑神经元模型的研究就已开始，并取得了积极成果。从那时起人们就开始了通过对人脑存贮、处理和搜索信息的机制的研