

●神经网络丛书●

神经网络导论

胡守仁 余少波 戴 葵 编著

胡守仁 主编

国防科技大学出版社

●国家教委八·五重点图书●

国家教委八·五重点图书

● 神经网络丛书 ●

神经网络导论

胡守仁 余少波 戴 葵 编著

国防科技大学出版社

[湘]新登字 009 号

神经网络导论

胡守仁 余少波 戴葵 编著

责任编辑 胡见堂 曹莉华

责任校对 何晋

*

国防科技大学出版社出版发行

(长沙市砚瓦池正街 47 号)

邮编:410073 电话:4555681

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张:13.125 字数 329 千字

1993 年 10 月第 1 版 1999 年 3 月第 5 次印刷 印数 10101-13100 册

ISBN 7-81024-203-2

TP·40 定价:17.00 元

内 容 简 介

本书系统论述了神经网络研究领域的有关内容,主要包括:神经网络研究的发展概况,脑神经系统及其信息处理机制,神经网络的基本概念,神经网络模型的基本框架,神经网络的计算能力、存储能力和容错能力,Hopfield、BP、Boltzmann 机等多种神经网络模型理论及其应用实例,用传统计算机技术实现神经网络的方法,神经网络的光、电子实现技术,神经网络在知识处理中的应用等。本书还特别介绍了大型通用神经网络模拟系统的组成及其实现方法。在强调基础理论和系统性的同时,着重反映该领域的最新研究成果。

本书适合于从事神经网络研究与开发的科技工作者阅读,也可作为高等院校计算机、电子技术、自动控制、系统工程等有关专业的研究生和高年级本科生的教材。

总 序

近年来,国际上掀起了一股人工神经网络的研究热潮,人工神经网络独特的结构和处理信息的方法,使其在许多实际应用领域中取得了显著的成效,能够解决一些传统计算机极难求解的问题。神经网络的研究主要分为理论、实现技术和应用技术三个方面。这三方面相辅相成,缺一不可,理论研究是基础,实现技术是应用的条件,而应用又为理论研究提出新问题,这些新问题的解决又推动理论研究的发展,所以从神经网络研究总体来看,这三方面都应一起向前发展。

但是当前我国广大的神经网络工作者面临着资料少、理解难以及缺少应用方法这些难题,为了缩短我国与国外的差距,有必要加强理论与实现技术的研究及提高神经网络研究者的应用水平。现阶段,我国神经网络应用正在开展,也有必要对应用技术更好地进行总结分析、更好地指导应用。这套丛书的出版,应读者之所需,将更有利于神经网络的研究与开发。

该套丛书共分三卷,第一卷为《神经网络系统导论》,本书首先系统介绍了神经网络的一些基本概念和研究内容,然后分别对早期的自适应神经网络模型、联想存储器、多层神经网络、Hopfield 神经网络模型、Boltzmann/Cauchy 机、调和理论(Harmony)、竞争学习和侧抑制、自组织特征映射(SOM)模型、重复传播模型、自适应共振模型、域理论和 MAP 框架理论等多种神经网络模型的研究背景、理论基础、算法及性能进行理论上的论述、分析,还给出了部分应用实例。最后三章分别论述了神经网络的实现技术、通用神经网

络模拟系统(GKD-NNSS)、神经网络应用于知识处理等内容。其重点在于人工神经网络的基本概念及其理论,论述各种神经网络模型与学习算法。

第二卷《神经网络实现技术》首先对神经网络系统基本概念及模型进行简要介绍,然后在分析神经网络信息处理的实质及特点的基础上,对神经网络实现进行了需求分析,阐明了神经计算机体系结构的特点。然后,分别按神经计算机的模拟实现、数字实现、光学实现等内容进行论述。在每一部分中,论述了其相应的实现技术基础、基本原理和神经计算机体系结构,并且对其性能作出了一定的理论分析与评价。另外,还给出了典型神经计算机实例。

第三卷《神经网络应用技术》的重点在于论述神经网络在各领域中的应用技术。首先概述了神经网络应用现状,然后按在模式识别中的应用、信号处理中的应用、自动控制中的应用、人工智能中的应用、辅助决策中的应用等领域分别进行论述,在每一部分中,论述了应用于该领域的神经网络模型、特点、算法及其具体的应用技术,并讨论了对其性能测试的方法。同时在每类应用中也给出具体应用实例供读者参考,最后对神经网络应用技术的发展趋势进行了讨论。

该套丛书为国家教委“八五”重点图书,系统地介绍了神经网络系统的有关理论、实现技术和应用技术,集中而又全面地反映了神经网络现阶段的研究成果。该套丛书特别重视理论与实践相结合,许多内容都是结合我们科研实际的总结,具有极大的实际参考价值,总之该套丛书具有系统、全面、理论与实践相结合的特点,读者可以从中了解当前国际、国内的神经网络研究现状,系统学习神经网络各方面的理论知识、实现与应用技术。

该套丛书可作为研究生和高年级本科生的教材,以及广大神经网络研究者的参考书。也适于对神经网络研究感兴趣的读者阅读。

序 言

利用机器模仿人类的智能是长期以来人们认识自然、改造自然和认识自身的理想。从历史上看,在电子计算机诞生以前,就有人提出过机器能不能思维的问题。当然在那个时候提出这样的问题,只能是大胆的设想而已。自从有了能够存储信息、运算,并能进行逻辑判断的电子计算机以来,其功能和性能得到不断的迅速发展,使机器智能的研究与开发日益受到人们的重视。1956年提出了人工智能的概念,从而形成了一个多学科交叉的新兴学科。研究人工智能的目的:一方面探索和模拟人的感觉、思维和行为的规律,进而设计出具有类似人类的某些智能的计算机系统,延伸和扩展人类的智能;另一方面,从主体外面来探讨人脑的智能活动,用物化了的智能来考察和研究人脑智能的物质过程及其规律。这两方面相辅相承,互相促进,提高人们认识世界和改造世界的能力,推动社会的发展。对于人工智能的研究有生理结构的模拟和宏观功能的模拟两种方法。前者是从人脑的生理结构出发,探讨人类智能活动的机理。从生理结构上来模拟,也就是用仿生学的观点,探索人脑的生理结构,把对人脑的微观结构及其智能行为的研究结合起来,这就是人工神经网络的研究方法。后者是从人的思维活动和智能行为的心理学特性出发,利用计算机系统来对人脑智能进行宏观功能的模拟,这就是建立在心理学基础上的研究方法,也即符号处理方法。

1943年 McCulloch 和 Pitts 首先提出神经元的数学模型,随后

Hebb 提出学习算法,兴起了神经网络的研究,许多学者为此开展了多方面的探讨,取得了某些进展,以后碰到了理论上和实现技术上的困难。而以功能模拟为目标的另一分支出现了转机,产生了基于知识处理的知识工程,给人工智能从实验室走向实用带来了希望。同时微电子技术的发展,使传统计算机的处理能力不断提高。这些因素的共同影响,促使人们降低了对神经网络研究的热情,从而使神经网络研究进入低潮。

近年来,虽然以功能模拟为特色的人工智能研究取得了进展,在某些领域得到了有效的应用,但没有像预料那样乐观。知识获取瓶颈一直困扰着人们,问题求解的规模与灵活性、人机交互能力和系统的可扩展性等方面都受到限制。而对人类来说,最简单的、日常的识别和判断能力,比如图像识别和语音识别等等,利用符号处理的方法来实现更显得困难重重。此外,微电子技术的迅速发展,又为研制神经计算机提供了基础。神经网络的理论研究在这一阶段也取得了若干突破性进展,如 Hopfield 模型、Boltzmann 机、并行分布式处理模型和连接机制的提出,以及各种神经网络计算机的研制成功等等,为神经网络的应用带来了希望。以上这些都成为进一步推进神经网络的研究与开发的动力,并重新掀起了神经网络研究的热潮。

人工神经网络的研究主要包括对其理论、实现技术和应用等方面的研究。神经网络的理论研究侧重于神经网络模型和学习算法的探讨。对神经网络模型的研究,是要试图从数学上描述神经网络系统的动力学过程,建立相应的神经网络模型结构及它所适合的应用范围。对于学习算法的研究,是在神经网络模型的基础上,对于给定的学习样本,找出一种能以较快的速度和较高的精度调整神经元间互连权值,使系统达到稳定状态,满足学习要求的算法。神经网络实现技术的研究,主要是探讨利用电子、光学、光电、生物等技术实现神经计算机的途径,包括利用传统计算机技术实

现模拟神经计算机、神经计算加速板以及新型神经计算机体系结构的研究等等。神经网络应用的研究则是探讨如何利用神经网络解决实际问题,即模拟人类的某些智能行为。当前的主要应用领域有:模式识别、故障检测、智能机器人、自适应控制、市场分析、决策优化、物资调运、智能接口,知识处理和认知科学等等。

为促进神经网络研究工作的开展,国外出版了有关神经网络、神经计算、神经计算机体系结构、神经网络应用等论文集和专著,而国内在这方面出版的书很少。为此我们编著了《神经网络导论》这本书,以满足国内高等院校研究生和高年级本科生教学以及从事神经网络研究与开发的科技工作者的需要。这本书系统地论述了神经网络的基本概念、主要的神经网络模型及其应用、神经网络实现技术,其中也包括我们近些年来开展神经网络研究所取得的一些成果。

本书共有十六章。第一章论述了神经网络研究的概况,阐明了神经网络模型的基本框架及基本概念;第二章主要介绍了大脑神经系统的基本组成及其生理化学过程和信息处理的神经机制;第三章到第十三章论述了多种神经网络模型理论和应用实例;第十四章论述了利用传统计算机技术实现神经计算的方法,介绍了神经网络的光学实现和电子实现;第十五章介绍了我们自行研制成功的模拟神经计算机—通用神经网络模拟系统(GKD—NNSS)的系统组成及实现方法;第十六章论述了神经网络在知识处理中的应用。

由于神经网络属于多学科交叉领域,研究范围很广,近年来的研究成果层出不穷,本书难免会挂一漏万。不足之处,敬请广大读者批评指正。

胡守仁 余少波 戴 葵

1992年9月

目 录

第一章 概 述

§ 1.1 什么是神经网络	(1)
§ 1.1.1 神经网络的一般框架	(3)
§ 1.1.2 神经元(处理单元)模型	(4)
§ 1.1.3 神经网络互连模式	(7)
§ 1.1.4 神经网络的学习算法	(10)
§ 1.1.5 神经网络的计算	(14)
§ 1.2 人工神经网络研究的历史	(17)
§ 1.3 神经网络研究的意义	(22)
§ 1.4 神经网络的能力	(27)
§ 1.4.1 神经网络的存储能力	(28)
§ 1.4.2 神经网络的计算能力	(30)
§ 1.5 神经网络的冗余容错特性	(32)
§ 1.6 神经网络的潜在应用	(36)

第二章 大脑神经系统

§ 2.1 大脑组织	(41)
§ 2.2 大脑神经系统的结构与机能	(45)
§ 2.2.1 神经元的结构	(45)
§ 2.2.2 突触	(47)
§ 2.2.3 脉冲的产生	(52)
§ 2.2.4 脉冲在轴突上的传递	(54)
§ 2.2.5 大脑神经系统的结构	(55)
§ 2.3 人工神经网络的信息处理机制	(59)
§ 2.3.1 神经的信息处理过程	(59)

§ 2.3.2 信息表达的分布性	(61)
§ 2.3.3 学习	(63)
§ 2.3.4 神经元模型	(66)
§ 2.3.5 人工神经网络互连结构	(73)

第三章 早期的自适应网络模型

§ 3.1 感知机	(77)
§ 3.2 ADALINE 模型	(82)
§ 3.2.1 学习算法	(85)
§ 3.2.2 对不变性的认知	(91)

第四章 联想存储器

§ 4.1 学习矩阵	(98)
§ 4.2 联想机	(101)
§ 4.3 关联矩阵存储器	(102)
§ 4.4 BAM 模型	(103)
§ 4.5 RCE 模型	(109)

第五章 多层神经网络

§ 5.1 反向传播神经网络	(113)
§ 5.2 新认知机	(121)

第六章 Hopfield 网络模型

§ 6.1 二值 Hopfield 网络	(129)
§ 6.2 连续值 Hopfield 模型	(134)
§ 6.3 Hopfield 网络应用于 TSP 问题	(138)

第七章 Boltzmann 机

§ 7.1 Metropolis 方法	(142)
§ 7.2 松弛搜索(Relaxation Search)	(144)
§ 7.3 Boltzmann 机结构	(149)

§ 7.3.1 结构描述	(149)
§ 7.3.2 一致性函数极大化	(150)
§ 7.4 Boltzmann 机的学习算法	(153)
§ 7.5 Boltzmann 机与推理	(160)
§ 7.6 Boltzmann 机应用于组合最优化	(168)
§ 7.7 Gaussian 机	(170)

第八章 调和(Harmony)理论

§ 8.1 概述	(173)
§ 8.2 调和网络的结构	(179)
§ 8.3 基本结论	(185)
§ 8.4 调和理论的应用	(188)

第九章 竞争学习和侧抑制

§ 9.1 竞争学习结构	(194)
§ 9.2 通过抑制的竞争	(199)
§ 9.3 侧抑制	(201)

第十章 自组织特征映射(SOM)模型

§ 10.1 一维阵列	(206)
§ 10.2 二维阵列	(208)
§ 10.3 Kohonen 学习算法的理论结论	(215)

第十一章 重复传播模型

§ 11.1 网络结构	(216)
§ 11.2 重复传播网络的改进	(222)
§ 11.3 重复传播模型的应用	(226)

第十二章 自适应共振模型

§ 12.1 ART 模型原理	(229)
§ 12.2 ART 模型的数学描述	(234)

第十三章 域理论与 MAP 框架理论

- § 13.1 自组织神经网络的域理论 (240)
- § 13.2 MAP 框架理论 (254)

第十四章 实现技术

- § 14.1 概述 (272)
- § 14.2 在 Systolic 阵列上实现神经网络计算 (284)
 - § 14.2.1 快过程的环形 Systolic 阵列结构 (288)
 - § 14.2.2 学习过程的环形 Systolic 阵列 (292)
- § 14.3 神经网络的光学实现技术 (295)
- § 14.4 电子神经计算机 (302)

第十五章 通用神经网络模拟系统(GKD—NNSS)

- § 15.1 系统结构 (304)
- § 15.2 神经网络描述语言(NNDL) (312)
 - § 15.2.1 神经网络结构描述 (312)
 - § 15.2.2 模拟控制过程描述 (317)
 - § 15.2.3 描述文件的编写 (324)
- § 15.3 描述语言解释的内部表达 (331)
 - § 15.3.1 公共数据结构说明 (332)
 - § 15.3.2 公共变量说明 (346)

第十六章 神经网络在知识处理中的应用

- § 16.1 知识处理的神经网络方法 (348)
 - § 16.1.1 当代知识处理系统的局限性 (348)
 - § 16.1.2 神经网络知识处理系统的一般框架 (352)
 - § 16.1.3 神经网络知识处理方法分类 (355)
- § 16.2 一种神经网络中医诊断专家系统的设计 (357)
 - § 16.2.1 神经网络中医诊断专家系统结构 (359)
 - § 16.2.2 辅助库的构造 (361)

§ 16.2.3	神经网络知识库的构造	(363)
§ 16.2.4	推理	(371)
§ 16.2.5	解释	(376)
§ 16.2.6	系统在线学习	(378)
§ 16.3	一种神经网络产生式系统(NNPS)	(379)
§ 16.3.1	基本逻辑操作的神经网络实现	(380)
§ 16.3.2	优化的神经网络规则表示	(382)
§ 16.3.3	神经网络产生式系统的构造	(385)
§ 16.4	面临的问题和解决的途径	(390)

参考文献

第一章 概 述

自从公元前的亚里士多德时代开始,人们就开始从事思维机器的研究。1946 年第一台电子计算机诞生,标志着人们在这方面的研究有了实质性的进展。1956 年,人工智能技术的出现,使得人们又向思维机器的研究方向跨进了一步。现在,神经网络技术又为我们进一步研究如何模拟人类智能以及了解人脑思维的奥秘开辟了一条新途径。

§ 1.1 什么是神经网络

神经网络系统是由大量的、同时也是很简单的处理单元(或称神经元)广泛地互相连接而形成的复杂网络系统。它反映了人脑功能的许多基本特性,但它并不是人脑神经网络系统的真实写照,而只是对其作某种简化、抽象和模拟,这也是现实情况(当前对脑神经和其智能机理的研究水平以及 VLSI 技术水平)所能做到的,是目前神经网络研究的基本出发点。我们研究神经网络系统的目的在于探索人脑加工、存储和处理信息的机制,进而研制基本具有人类智能的机器。

一般认为,神经网络系统是一个高度复杂的非线性动力学系统。虽然每个神经元的结构和功能十分简单,但由大量神经元构成的网络系统的行为却是丰富多彩和十分复杂的。在研究方法上强调综合而不是分解,因为分解这一步工作已基本完成,即可将神经网络分解为极简单的神经元以及神经元之间的相互连接。剩下的

问题就是如何把这些极简单的神经元构成一个复杂的具备多方面功能的系统。这便是神经网络理论所要研究的问题。

神经网络系统具有一般非线性系统的共性,更主要的是它还具有自己的特点,比如高维性、神经元之间的广泛互连性以及自适应性或自组织性等。在神经网络中发生的动力学过程有两类:一类称之为快过程;另一类称之为慢过程。所谓快过程,即是神经网络的计算过程,它是神经网络的活跃状态的模式变换过程。神经网络在输入的影响下进入一定的状态,由于神经元之间相互联系以及神经元本身的动力学性质,这种外界刺激的兴奋模式会迅速地演变而进入平衡状态。这样,具有特定结构的神经网络就可以定义一类模式变换,而计算(知觉)过程就是通过这类模式变换而实现的。快过程是短期记忆的基础,从输入态到它的邻近的某平衡态的映射是多一对应的映射关系。这种关系可用来实现联想存储等功能,这种信息的存取方法具有一定的推广能力,即可把一组邻近的输入态映射到同一平衡态中去。

神经网络只有通过学习才能逐步具有上述模式变换的能力,神经网络的学习过程即为慢过程。在该动力学过程中,神经元之间的连接强度将根据环境信息发生缓慢的变化,将环境信息逐步存储于神经网络中,这种由于连接强度的变化而形成的记忆是长久的,称之为长期记忆。慢过程的目标不是寻求某个平衡态。而是希望形成一个具有一定结构的自组织系统,这个自组织神经网络与环境的交互作用,把环境的统计规律反映到自身结构上来。即通过与外界环境的相互作用,从外界环境中获取知识。比如联想记忆的建立是一个学习过程,它也是一个慢过程,它要求改变连接强度,以把要学习的模式长期保存下来,而其存取则是一个快过程,它不改变连接强度,不把外界环境提供的模式(或刺激)记下来,这个刺激被系统很快地演变到平衡态,因而对这个刺激的记忆是短暂的。

对于快过程与慢过程的不同处理方法便形成了神经网络理论

研究的两种模式,即所谓的学习神经网络模式和自组织模式。学习神经网络模式的主要特点是把慢过程与快过程分离开。该模式把快过程看作是一个自治的动力学过程,而慢过程则是一个外加的对神经网络的连接强度进行系统调整的过程。神经网络的连接强度只是一个动力学系统的变量,很显然,这种方法是无法实现“干中学,学中干”的。

与之不同的是自组织模式。这种方法则是把慢过程看作是是与快过程同时进行而又相互影响的一个自组织过程。它把神经网络的连接强度也看作为动力学系统的变量而不是参数,它不需要外加在系统之上的调整连接强度的学习算法。而是建立一个统一的自治动力学系统,使得学习与自适应可以自发地进行。即在与外界环境的不断相互作用中达到自组织,因此而积累知识和经验。更为有意义的是,通过这种自组织,系统可以不断地修正自己的知识,修正神经网络中的知识编码。显然,这种系统可以实现“干中学,学中干”。

§ 1.1.1 神经网络的一般框架

图 1.1 表示了一个简单的神经网络,其中每个小圆圈表示一

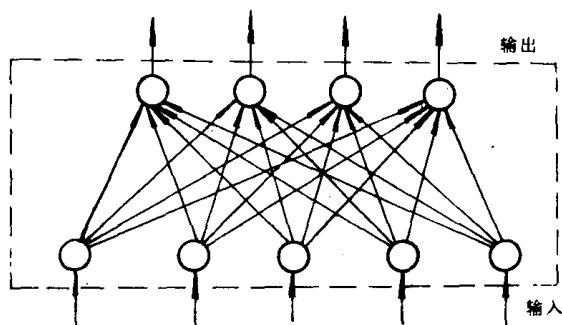


图 1.1 一个简单的神经网络