

● 神经网络丛书 ●

神经网络 实现技术

戴 葵 编著

● 国家教委八五重点图书 ●

国防科技大学出版社

013609

国家教委八五重点图书

● 神经网络丛书 ●

神经网络实现技术

戴 葵 编著

国防科技大学出版社

· 长沙 ·

图书在版编目(CIP)数据

神经网络实现技术/戴 葵. —长沙: 国防科技大学出版社,
1998. 7

ISBN 7-81024-478-7

- I. 神经网络实现技术
- II. 戴 葵
- III. 神经网络-实现技术
- IV. TP18

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4555681 邮政编码:410073

E-mail:gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:张静 何晋 责任校对:石少平 潘生

新华书店总店北京发行所经销

湖南大学印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张:20.625 字数:517 千

1998年7月第1版第1次印刷 印数:1—5000册

*

定价:23.00元

内 容 简 介

本书系统论述了神经网络实现技术研究领域的有关内容,主要包括:神经网络实现技术概论、神经网络计算系统、神经网络软件实现、神经网络软件开发环境、神经计算协处理器、并行神经计算机实现基础、几种并行神经计算机系统、面向对象神经网络描述语言、OONL 并行编译器、神经计算映射算法、NeuroC 控制系统、基于 Transputer 的并行实现、Systolic 并行实现技术、神经网络模拟 VLSI 实现、神经网络数字 VLSI 实现技术、光学神经网络实现技术基础、神经网络光学实现技术、生物分子神经网络实现技术等。本书还特别介绍了我们近年来研制的大型通用神经网络模拟系统、通用高速可变结构并行神经计算机系统和一种 Systolic 结构的并行神经计算机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,着重全面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。

3105/2

总 序

近年来,国际上掀起了一股人工神经网络的研究热潮,人工神经网络以其独特的结构和处理信息的方法,在许多实际应用领域中取得了显著的成效,解决了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和应用的发展,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。

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,我国的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《神经网络导论》,该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。其重点在于论述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,分别对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,然后分别论述在组合优化、模式识别、图像处理、自动控制、机器人、信号处理及人工智能等领域的应用。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,许多内容都是结合作者科研实际的总结,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。

前 言

人类当前所面临的重大科技研究课题之一,是要揭示大脑活动的机制和人类智能的本质,制造具有类似人类智能活动能力的智能机器,开发智能应用技术。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、进行运算,并能作出逻辑判断的电子计算机,而且其功能和性能不断地完善和提高,机器智能的研究与开发日益受到人们的重视。

在过去几十年里,先驱们不懈探索,在神经生理学、心理学、控制论、信息论和认知科学等一大批基础学科的研究成果基础上,从信息处理的角度来研究脑和机器的智能,并取得了许多可喜的进展。这些智能信息处理研究成果不仅对智能机器研究的本身具有重要的意义,而且推动了一大批相关学科的发展,研究成果的应用也促进了国民经济建设和国防科技现代化建设。

智能信息处理的研究并不是始于今日的新鲜事物,这项研究至少可以追溯到 50 年代人工智能的初创期,更早些可以追溯到图灵自动机理论。从历史上看,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。这两方面相辅相成,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,并把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,即符号处理方法。概括地说,对智能信息处理的研究主要是沿着两条途径展开的:一条是基于心理学的符号处理方法(强调对脑的功能模拟);另一条是基于生理学的模式处理方法(即神经网络研究方法,强调在模拟脑的神经系统结构的基础上实现的功能)。

符号处理方法主要是用计算机模拟人脑的思维功能,重点研究的是机器的思维问题,解决问题的关键在于知识的表示、获取、存储和使用。由于各种专家系统相继问世,并得到一定应用,看上去机器智能的研究有着美好前景,但是在其发展过程中也碰到了许多难以克服的困难,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。而对人类的最简单的、日常的识别和判断能力,比如图像识别和语言识别等等,利用符号处理的方法来实现更显得困难重重。

实际上,脑对外部世界的时空客体的描述和识别,乃是认知的基础。认知问题离不开对低层次信息处理的研究和认识。虽然符号处理在脑的思维功能模拟等方面取得了很大进展,但它对诸如视听觉、联想记忆和形象思维等问题的处理往往感到力不从心。所以符号处理不可能全面地解决认知问题和机器智能化问题,它对高层次脑功能的宏观模拟很有效,而对一些低层次的模式处理则至今还有许多困难。

神经网络采用自下而上的方法,从脑的神经系统结构出发来研究脑的功能,研究大量简单的神经元的集团信息处理能力及其动态行为。神经网络的理论研究取得了若干突破性进展,如 Hop-

field 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。现在神经网络对 30 多年来一直困扰计算机科学和符号处理的一些难题可以得到比较令人满意的解答,特别是对那些时空信息存储及并行搜索、相联存储、时空数据统计描述的自组织,以及从一些相互关联的活动中自动获取知识,更显示出了其独特的能力,由此而引起了智能研究者们们的广泛关注,普遍认为神经网络方法适合于低层次的模式处理。

神经网络实现技术是神经网络研究的一个重要方面。在国家 863 高技术研究计划、国家自然科学基金等的资助下,我们开展了神经网络实现技术的相关课题研究工作。结合我们的研究工作,我们编著出版了《神经网络实现技术》这本书,旨在全面系统地介绍如何利用电子、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、神经计算加速器以及新型神经计算机体系结构等等,以促进神经网络研究工作的开展,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。

本书共有十八章。第一章论述了神经网络实现技术的研究概况;第二章主要介绍了神经网络计算系统,使读者对当前广泛使用的多种神经网络模型有一个全面的认识;第三章和第四章分别论述了神经网络软件实现和神经网络软件开发环境;第五章介绍了神经计算协处理器;第六章到第十三章论述了多种基于传统计算机技术的神经计算并行实现技术,包括神经计算并行实现方法、神经网络语言及其编译器、神经计算任务映射分配算法、多种并行神经计算机系统的体系结构和样机实例等等;第十四章和第十五章分别论述了神经网络模拟 VLSI 实现技术和数字 VLSI 实现技术;第十六章和第十七章论述了神经网络光学实现技术;第十八章介绍了生物分子神经网络实现技术。

由于神经网络实现技术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,加之作者水平有限,本书难免会挂一漏万,不足和错误之处,敬请广大读者批评指正。值此对为该书的编写提供素材的广大同仁表示衷心的感谢。

作 者

1998 年 3 月

目 录

第一章 神经网络实现技术概论

§ 1.1 神经网络实现技术概述	(1)
§ 1.1.1 神经网络实现技术研究内容和意义	(1)
§ 1.1.2 神经计算机与电子计算机的区别和联系	(3)
§ 1.2 神经网络实现技术的研究历史	(5)
§ 1.3 神经网络虚拟实现技术研究概述	(8)
§ 1.3.1 基于传统计算机系统的软件仿真	(8)
§ 1.3.2 神经网络并行多机系统	(13)
§ 1.3.3 带加速板的电子神经计算机	(17)
§ 1.4 神经网络全硬件实现技术概述	(18)
§ 1.4.1 神经网络 VLSI 实现	(19)
§ 1.4.2 神经网络的光学实现	(22)
§ 1.4.3 神经网络的分子/化学实现技术	(26)

第二章 神经网络计算系统

§ 2.1 人工神经网络基本概念	(28)
§ 2.1.1 神经网络模型的基本组成	(28)
§ 2.1.2 神经网络的分类及典型的神经网络模型	(36)
§ 2.1.3 神经网络结构及神经计算特点	(38)
§ 2.1.4 神经计算的稳定性	(42)
§ 2.2 前馈神经网络模型	(46)
§ 2.2.1 自适应线性元模型(ADALINE)	(46)
§ 2.2.2 感知机	(50)
§ 2.3 反馈神经网络模型	(55)

§ 2.3.1 Hopfield 神经网络模型	(55)
§ 2.3.2 海明神经网络模型	(59)
§ 2.3.3 双向联想存储器(BAM)	(61)
§ 2.4 自组织神经网络模型	(65)
§ 2.4.1 自适应谐振理论(ART)	(65)
§ 2.4.2 自组织映射神经网络模型(SOM)	(71)
§ 2.4.3 对流神经网络模型(CPN)	(76)
§ 2.4.4 认知机	(80)
§ 2.5 随机神经网络模型	(84)
§ 2.5.1 模拟退火算法	(84)
§ 2.5.2 Boltzmann 机	(87)
§ 2.5.3 谐和理论	(90)

第三章 神经网络软件实现

§ 3.1 概述	(94)
§ 3.2 神经网络在微机上的实现	(95)
§ 3.2.1 编程语言的选择	(95)
§ 3.2.2 BP 神经网络模型在微机上的实现	(96)
§ 3.3 神经网络软件实现中的一些问题	(119)
§ 3.3.1 神经网络输入数据的组织	(119)
§ 3.3.2 神经网络计算的显示	(120)
§ 3.3.3 翻译和编译	(121)
§ 3.3.4 存储器容量限制	(122)
§ 3.3.5 神经网络应用程序的调试	(122)

第四章 神经网络软件开发环境

§ 4.1 神经网络软件开发环境概述	(123)
§ 4.1.1 概述	(123)
§ 4.1.2 神经网络软件开发环境研制背景	(125)
§ 4.2 神经网络模型的描述	(127)
§ 4.2.1 概述	(127)

§ 4.2.2	神经网络模型的描述	(129)
§ 4.3	神经网络软件开发环境	(132)
§ 4.3.1	概述	(132)
§ 4.3.2	Case Net: 一种神经网络软件开发环境	(134)
§ 4.4	大型通用神经网络模拟系统	(140)
§ 4.4.1	系统结构	(141)
§ 4.4.2	神经网络描述语言(NNDL)	(148)
§ 4.4.3	描述语言解释的内部表达	(169)
§ 4.4.4	系统的特点及其与国外同类系统的比较	(184)

第五章 神经计算协处理器

§ 5.1	ANZA 协处理器	(186)
§ 5.2	Odyssey 协处理器	(189)
§ 5.2.1	Odyssey 系统的设计思想	(190)
§ 5.2.2	Odyssey 系统结构	(192)
§ 5.2.3	软件环境	(195)
§ 5.2.4	Odyssey 系统的应用	(199)
§ 5.3	Delta 神经计算协处理器	(201)

第六章 并行神经计算机实现基础

§ 6.1	并行实现神经计算的方法	(207)
§ 6.1.1	概述	(207)
§ 6.1.2	并行实现神经计算方法的评价	(210)
§ 6.2	并行神经计算机实现需求分析	(211)
§ 6.2.1	神经计算过程的分析	(211)
§ 6.2.2	单个处理单元的基本操作分析	(214)
§ 6.2.3	一种并行实现神经计算的模型	(216)
§ 6.2.4	对处理单元计算速度的要求分析	(220)
§ 6.2.5	对处理单元个数的要求	(222)
§ 6.2.6	对通信带宽的要求	(225)
§ 6.2.7	对存储容量的需求	(226)

§ 6.3 神经计算机系统设计的一些问题	(228)
§ 6.3.1 前端机和后端机的连接方式	(228)
§ 6.3.2 前端机和后端机的交互协议	(231)
§ 6.3.3 并行神经计算机系统的模拟规模	(231)
§ 6.3.4 并行神经计算机系统的通用性	(232)
§ 6.3.5 并行神经计算机系统的处理单元	(233)
§ 6.3.6 神经计算机系统的机器字长	(235)
§ 6.3.7 神经计算机系统软件的接口能力	(235)
§ 6.3.8 神经计算机系统的可移植性和可扩展性	(236)

第七章 几种并行神经计算机系统

§ 7.1 IBM NEP 并行神经计算机系统	(237)
§ 7.2 TI NETSIM 并行神经计算机系统	(239)
§ 7.3 MARK 系列并行神经计算机	(240)
§ 7.3.1 MARK-Ⅲ 并行神经计算机系统	(240)
§ 7.3.2 MARK-Ⅳ 神经计算机	(243)
§ 7.4 通用高速变结构并行神经计算机概述	(247)
§ 7.4.1 NeuroC-I 硬件系统构成	(248)
§ 7.4.2 后端机处理单元的选择及其结构	(249)
§ 7.4.3 后端机存储器模块的结构	(250)
§ 7.4.4 系统通信控制器的结构	(251)
§ 7.4.5 后端机与前端机的接口	(253)
§ 7.4.6 硬件系统的工作方式	(253)
§ 7.4.7 系统变结构机制	(255)

第八章 面向对象神经网络描述语言

§ 8.1 神经网络语言设计需求分析	(257)
§ 8.2 面向对象神经网络语言概述	(260)
§ 8.2.1 面向对象方法学思想的引入	(260)
§ 8.2.2 面向对象神经网络描述语言概述	(262)
§ 8.3 神经网络模型和神经计算过程描述	(265)

§ 8.3.1 神经网络模型描述	(265)
§ 8.3.2 神经网络计算过程描述	(269)
§ 8.4 面向对象神经网络语言的特点分析	(271)

第九章 OONL 并行编译器

§ 9.1 OONL 编译实现概述	(273)
§ 9.1.1 OONL 的编译流程	(273)
§ 9.1.2 OONL 各个编译过程的功能	(275)
§ 9.2 并行编译第二遍扫描中的关键技术	(277)
§ 9.2.1 拓扑结构和处理特性的内部描述的形成	(277)
§ 9.2.2 神经计算并行执行拓扑图的形成	(281)
§ 9.3 并行编译第三遍扫描中的关键技术	(284)
§ 9.3.1 五个并行执行的 C 语言应用程序的形成方法	(284)
§ 9.3.2 神经网络描述到数据结构定义的转换	(288)
§ 9.3.3 含神经计算语句的等价变换及其分割方法	(289)
§ 9.4 过程数据流程分析	(298)
§ 9.4.1 基本定义	(299)
§ 9.4.2 不带参数的过程数据流程分析	(300)
§ 9.4.3 一般情形的数据流程统计	(302)
§ 9.4.4 数据流程分析的应用	(305)
§ 9.5 神经网络信息存储组织方法	(306)
§ 9.5.1 概述	(306)
§ 9.5.2 两种基本的神经网络信息存储方法	(307)
§ 9.5.3 两种改进的神经网络信息存储方法	(309)

第十章 神经计算映射算法

§ 10.1 神经计算映射算法研究概述	(314)
§ 10.2 神经网络映射算法基础	(316)
§ 10.3 层次交叉分割映射算法	(318)
§ 10.3.1 层次交叉分割映射算法基础	(318)
§ 10.3.2 层次交叉分割映射算法及其实现	(319)

§ 10.4 基于模拟退火思想的映射算法	(336)
§ 10.4.1 通用神经计算并行模型 NCPM 概述	(336)
§ 10.4.2 神经计算映射相关概念的形式化描述	(338)
§ 10.4.3 基于模拟退火思想的通用神经计算映射算法 ...	(342)
§ 10.5 基于时间标记的神经网络映射算法	(347)
§ 10.5.1 基于时间标记的神经网络映射算法开发基础 ...	(347)
§ 10.5.2 基于时间标记的神经网络映射算法	(349)
§ 10.5.3 基于时间标记的神经网络映射算法的分析	(351)
§ 10.5.4 基于时间标记的神经网络映射算法的测试结果	(356)
§ 10.6 神经网络映射算法评述	(360)

第十一章 NeuroC 控制系统

§ 11.1 概述	(363)
§ 11.1.1 并行神经计算机系统中交互作用分析	(363)
§ 11.1.2 NeuroC 并行神经计算机控制系统概述	(365)
§ 11.2 NeuroC 用户集成环境	(367)
§ 11.2.1 概述	(367)
§ 11.2.2 NeuroC 用户集成环境的功能及其实现	(367)
§ 11.3 后端机处理单元的监控系统	(374)
§ 11.4 通信控制系统的设计与实现	(375)
§ 11.4.1 系统中数据信息的发送和接收	(375)
§ 11.4.2 前后端机命令的发送和接收	(377)

第十二章 基于 Transputer 的并行实现

§ 12.1 概述	(379)
§ 12.2 基于 Transputer 的实现基础	(381)
§ 12.2.1 Transputer	(381)
§ 12.2.2 多 Transputer 并行处理系统	(387)
§ 12.2.3 Transputer 配套的语言	(389)
§ 12.3 KD-GP ² N ² S ² 并行神经计算机系统	(392)

§ 12.3.1	KD—GP ² N ² S ² 系统组成	(392)
§ 12.3.2	KD—GP ² N ² S ² 系统实现关键技术	(396)

第十三章 Systolic 并行实现技术

§ 13.1	概述	(403)
§ 13.2	神经计算 Systolic 实现一般方法	(404)
§ 13.2.1	神经计算映射方法	(404)
§ 13.2.2	回忆过程的环形 Systolic 阵列结构	(408)
§ 13.2.3	学习过程的环形 Systolic 阵列	(412)
§ 13.3	一种 Systolic 并行神经计算系统	(417)
§ 13.3.1	硬件体系结构	(417)
§ 13.3.2	软件体系结构	(427)
§ 13.3.3	神经计算的实现	(428)

第十四章 神经网络模拟 VLSI 实现

§ 14.1	神经网络模拟 VLSI 实现基础	(435)
§ 14.1.1	当前模拟 VLSI 研究现状	(435)
§ 14.1.2	神经网络电压模式模拟 VLSI 实现基础	(438)
§ 14.1.3	神经网络电流模式 VLSI 实现基础	(445)
§ 14.1.4	神经网络模拟 VLSI 单元	(454)
§ 14.1.5	模拟 VLSI 互连矩阵的实现	(466)
§ 14.2	J. Héroult—C. Jutten 神经网络的模拟实现	(473)
§ 14.2.1	J. Héroult—C. Jutten 神经网络简介	(473)
§ 14.2.2	J. Héroult—C. Jutten 网络模拟 CMOS 实现概述	(477)
§ 14.2.3	J. Héroult—C. Jutten 网络的 CMOS 实现	(480)
§ 14.3	通用模拟神经计算机 VLSI 部件的设计和制造	(485)
§ 14.3.1	概述	(485)
§ 14.3.2	神经元模块的 VLSI 实现	(487)
§ 14.3.3	突触模块的 VLSI 实现	(492)
§ 14.3.4	开关模块	(495)