



中国计算机学会
学术著作丛书

周志华 曹存根 主编

神经网络及其应用



清华大学出版社



中国计算机学会
学术著作丛书

周志华 曹存根 主编

神经网络及其应用

藏书

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书特别邀请国内神经网络及相关领域的知名专家,分别对神经网络的理论基础及典型应用进行了讨论。内容涉及神经网络的学习方法、优化计算、知识理论、流形学习、过程神经元网络、随机二元网络、离散联想记忆神经网络以及神经网络在医学数据处理、汉语认知等方面的应用。文中通过丰富的文献资料和研究工作,对当前的最新进展做出回顾和分析,对学术研究有重要的参考价值。

本书适合计算机和自动化专业的研究生、教师、工程技术人员和研究人員参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

神经网络及其应用/周志华,曹存根主编. —北京:清华大学出版社,2004.9

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 7-302-08650-8

I. 神… II. ①周… ②曹… III. 人工神经网络 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046165 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:薛 慧

封面设计:常雪影

版式设计:肖 米

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:175×245 印张:29 字数:566 千字

版 次:2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08650-8/TP·6203

印 数:1~4000

定 价:49.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

评审委员会

中国计算机学会学术著作丛书

- 名誉主任委员：张效祥
- 主任委员：唐泽圣
- 副主任委员：陆汝钤
- 委员：（按姓氏笔画为序）
 - 王 珊 吕 建 林惠民
 - 李晓明 罗军舟 郑纬民
 - 施伯乐 焦金生 谭铁牛

序

Preface

第

一台电子计算机诞生于 20 世纪 40 年代。到目前为止,计算机的发展已远远超出了其创始者的想像。计算机的处理能力越来越强,应用面越来越广,应用领域也从单纯的科学计算渗透到社会生活的方方面面:从工业、国防、医疗、教育、娱乐直至人们的日常生活,计算机的影响可谓无处不在。

计算机之所以能取得上述地位并成为全球最具活力的产业,原因在于其高速的计算能力、庞大的存储能力以及友好灵活的用户界面。而这些新技术及其应用有赖于研究人员多年不懈的努力。学术研究是应用研究的基础,也是技术发展的动力。

自 1992 年起,清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术与产业的发展,推动计算机科技著作的出版,设立了“计算机学术著作出版基金”,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。时至今日,本套丛书已出版学术专著近 50 种,产生了很好的社会影响,有的专著具有很高的学术水平,有的则奠定了一类学术研究的基础。中国计算机学会一直将学术著作的出版作为学会的一项主要工作。本届理事会

将秉承这一传统,继续大力支持本套丛书的出版,鼓励科技工作者写出更多的优秀学术著作,多出好书,多出精品,为提高我国的知识创新和技术创新能力,促进计算机科学技术的发展和进步做出更大的贡献。

中国计算机学会

2002年6月14日

前言

Foreword

现

代意义上对神经网络（特指人工神经网络）的研究一般认为从 1943 年美国芝加哥大学的生理学家 W. S. McCulloch 和 W. A. Pitts 提出 M-P 神经元模型开始，到 2003 年正好 60 年。在这 60 年中，神经网络的发展走过了一段曲折的道路。1965 年，M. Minsky 和 S. Papert 在《感知机》一书中指出感知机的缺陷，并表示出对这方面研究的悲观态度，使得神经网络的研究从兴起期进入了停滞期，这是神经网络发展史上的第一个转折。到了 20 世纪 80 年代初，J. J. Hopfield 的工作和 D. Rumelhart 等人的 PDP 报告显示出神经网络的巨大潜力，使得该领域的研究从停滞期进入了繁荣期，这是神经网络发展史上的第二个转折。

到了 20 世纪 90 年代中后期，随着研究者们对神经网络的局限有了更清楚的认识，以及支持向量机等似乎更有前途的方法的出现，“神经网络”这个词不再像前些年那么“火爆”了。很多人认为神经网络的研究又开始陷入了低潮，并认为支持向量机将取代神经网络。有趣的是，著名学者 C. J. Lin 于 2003 年 1 月在德国马克斯·普朗克研究所所做的报告中说，支持向量机虽然是一个非常热门的话题，但目前最主流的分类工具仍然是决策树和神经网络。由著名的支持向量机研究者说出这番话，显然有特别的意义。

事实上,目前神经网络的境遇与 1965 年之后真正的低潮期相比有明显的不同。在 1965 年之后的很长一段时期里,美国和前苏联没有资助过任何一项神经网络的研究课题,而今天世界各国对神经网络的研究仍然有大量的经费支持;1965 年之后 90% 以上的神经网络研究者改变了研究方向,而今天无论是国际还是国内都有一支相对稳定的研究队伍。实际上,神经网络在 1965 年之后陷入低潮是因为当时该领域的研究在一定意义上遭到了否定,而今天的相对平静是因为该领域已经走向成熟,很多技术开始走进生产和生活,从而原有的研究空间发生了相应的变化。

在科学研究中通常有这样一种现象,当某个领域的论文大量涌现的时候,往往正是该领域很不成熟、研究空间很大的时候,而且由于这时候人们对该领域研究的局限缺乏清楚的认识,因此其热情往往具有很大的盲目性。从这个意义上说,过去若干年里各领域的研究者一拥而上、各种专业刊物满眼“神经网络”的风光,其实是一种畸形繁荣的景象,而对神经网络的研究现在才进入了一个比较理智、正常的发展时期。在这段时期中,通过对以往研究中存在的问题和局限进行反思,并适当借鉴相关领域的研究进展,将可望开拓新的研究空间,为该领域的进一步发展奠定基础。

出于上述考虑,我们邀请了国内神经网络及相关领域的一些知名专家共同撰写本书,期望对神经网络的发展起到一定的促进作用。需要注意的是,书中各专题的内容仅表达作者本人的见解,并不代表其他学者的学术观点。本书的出版得到了陆汝钤院士的支持和指导,并得到清华大学出版社计算机学术著作出版基金的资助,在此谨表示衷心的感谢。

周志华 曹存根

2003 年 8 月于南京

目 录

Contents

序

前言

专题 1 神经网络的学习方法	张 铃 张 钹 1
1 引言	1
2 基于搜索机制的神经网络学习算法	2
2.1 前向神经网络的 BP 算法	2
2.2 BP 算法的各种改进	5
3 神经网络的规划学习方法	6
3.1 引言	6
3.2 神经网络的规划学习算法	6
3.3 支持向量机的学习方法	9
3.4 当样本集 K 不是线性可分的情况	11
4 神经网络的构造性学习方法	13
4.1 前向网络的 FP 算法	13
4.2 构造性学习方法——覆盖算法	18
4.3 覆盖算法的应用	25
4.4 覆盖算法的改进和扩展	26
5 覆盖算法与 SVM 中核函数法的关系	27
5.1 SVM 中的核函数法	27



5.2 覆盖算法与核函数法的关系	29
5.3 函数覆盖算法的泛化能力	32
6 结束语	33
参考文献	33
专题2 过程神经网络的理论和应用	何新贵 许少华 36
1 引言	36
2 过程神经元模型	38
2.1 生物神经元的启示	38
2.2 过程神经元模型的定义	38
2.3 过程神经元与泛函	39
2.4 过程神经元与复合函数	39
3 过程神经网络模型	40
3.1 前馈过程神经网络模型	40
3.2 关于前馈过程神经网络的基本定理	43
3.3 学习算法	43
3.4 双隐层过程神经网络模型	47
3.5 离散过程神经网络模型	47
4 反馈过程神经网络模型	49
4.1 网络拓扑结构	49
4.2 学习算法	50
4.3 算法描述	51
4.4 仿真实验	51
5 输入输出均为时变函数的过程神经网络模型	52
5.1 网络拓扑结构	52
5.2 网络各层之间的输入输出关系	53
5.3 学习算法	53
6 结束语	55
参考文献	56
专题3 神经计算和优化计算	史忠植 叶世伟 58
1 引言	58
2 凸优化理论	59
3 Hopfield 网络稳定性分析	63
3.1 动力系统简介	63



3.2	连续时间 Hopfield 模型	66
3.3	离散时间 Hopfield 网络模型的稳定性	68
4	非线性梯度下降算法	72
4.1	理论基础	73
4.2	算法设计和分析	75
4.3	结论	80
5	支持向量机对偶规划的优化理论和算法设计及分析	80
5.1	介绍	80
5.2	基于一般惩罚代价函数的 SVM 及对偶规划	82
5.3	对偶规划最优性方程组	83
5.4	建立支持向量机最优性方程组	85
5.5	基于罚函数方法的 SVM 优化算法设计与分析	88
6	结束语	91
	参考文献	91
专题 4	知识理论与神经网络	钟义信 93
1	引言	93
2	知识概念	95
2.1	基本概念	95
2.2	知识的分类	100
2.3	知识的表示	101
3	知识度量	104
4	知识生成	108
4.1	归纳型知识生成	109
4.2	演绎型知识生成	114
5	知识激活	119
6	神经网络与知识理论	122
6.1	神经网络与知识生成	122
6.2	神经网络与知识演绎	124
6.3	神经网络与知识激活	125
7	结束语	126
	参考文献	127
专题 5	人工免疫系统中的克隆选择算法	焦李成 杜海峰 刘若辰 128
1	引言	128

2	人工免疫系统进展	130
2.1	人工免疫系统的历史	130
2.2	人工免疫系统的研究领域	131
2.3	人工免疫系统与其他方法的比较	139
3	克隆选择学说与克隆选择算子	141
3.1	克隆选择	141
3.2	克隆算子	142
4	简单的克隆选择算法及其性能分析	145
4.1	简单的克隆选择算法 SCSA	145
4.2	简单克隆选择算法的收敛性	146
4.3	多克隆算子与单克隆算子的比较	147
4.4	克隆选择算法与进化算法	150
5	改进的克隆选择算法	151
5.1	自适应多克隆规划算法 APPA	151
5.2	自适应动态克隆算法 ADCSA	156
5.3	免疫优势克隆算法 IDCA	159
6	结论	163
7	展望	164
7.1	人工免疫系统存在的问题	164
7.2	人工免疫系统进一步研究的方向	165
7.3	基于人工免疫系统的综合集成	165
	参考文献	166
专题 6	流形学习	张军平 王 珏 172
1	引言	172
1.1	流形学习的研究背景	172
1.2	流形学习的研究意义	175
2	流形学习综述	176
2.1	流形学习的定义	177
2.2	流形学习的方法	178
3	流形学习的应用	190
3.1	可视化	190
3.2	插值	191
3.3	分类	192
3.4	图像处理	195

3.5 数据可听化	196
3.6 其他	196
4 流形学习若干问题的研究	197
4.1 流形概念	197
4.2 流形学习中的算法研究	202
4.3 其他问题研究	204
5 结束语	205
参考文献	205
专题7 模糊蕴涵算子及其构造 李洪兴 尤 飞	208
1 引言	208
2 模糊蕴涵算子及其性质	209
3 模糊蕴涵算子的伴随对	214
4 模糊蕴涵算子的圈乘算子	221
5 三角模、余三角模的定义和性质	227
6 由三角模构造的模糊蕴涵算子	228
6.1 由力迫蕴涵算子、不可分辨蕴涵算子 $E_{\text{Gödel}}$ 构造的模糊蕴涵算子	228
6.2 一类由三角模生成的蕴涵算子和传播算子	229
7 一类由余三角模生成的蕴涵算子和合成算子	230
8 模糊蕴涵算子 $\theta_{122} \sim \theta_{147}$ 的圈乘算子	231
9 模糊蕴涵算子的对偶算子	235
10 结束语	255
参考文献	256
专题8 随机二元网络的理论与应用 赵杰煜	258
1 引言	258
2 时间域数据表示和随机神经元	260
2.1 时间域数据表示	260
2.2 随机神经元	262
3 前馈型随机二元网络	265
3.1 梯度下降学习	265
3.2 VC 维和学习样本数分析	270
4 反馈型随机二元网络	271
4.1 定义	271
4.2 平稳分布	272



4.3	模拟退火	273
4.4	RSBN 与马尔可夫随机场	274
4.5	RSBN 与 Boltzmann 机	275
4.6	RSBN 的学习算法	276
5	量子二元网络	277
5.1	量子联想记忆的实现	278
5.2	量子纠缠的实现	280
6	随机二元网络硬件设计	281
6.1	完全随机序列的产生	281
6.2	通用随机序列产生器	282
6.3	随机神经元的构造	284
6.4	在线学习的硬件实现	285
7	随机二元网络应用	286
7.1	组合优化——图对分问题	286
7.2	模式识别	288
8	讨论	291
	参考文献	291
专题 9	离散联想记忆神经网络研究进展	陈松灿 295
1	引言	295
1.1	联想记忆的定义和分类	295
1.2	联想记忆的研究重点及其设计目标	298
2	联想记忆研究进展	299
2.1	Hopfield 联想记忆	299
2.2	双向联想记忆(BAM)	303
2.3	其他联想模式	312
3	应用	312
3.1	多证据推理	313
3.2	图像压缩	314
4	结束语	315
	参考文献	316
专题 10	神经网络规则抽取	周志华 321
1	引言	321
2	起源和发展	322



3 规则和评价	323
3.1 规则类型	323
3.2 评价体系	324
4 算法分类	325
4.1 ADT 分类学	325
4.2 分解型算法	326
4.3 教学型算法	328
4.4 折中型算法	330
4.5 复合型算法	332
5 讨论	334
5.1 规则抽取与连接主义	334
5.2 “用神经网络抽取规则”和“为神经网络抽取规则”	335
6 结束语	336
参考文献	337
 专题 11 神经网络在医学数据处理中的应用	杨杰 李国正 王永刚 343
1 引言	343
2 医学数据处理中的神经网络	345
2.1 单个的神经网络及其与其他方法的组合	345
2.2 神经网络集成	348
2.3 支持向量机	348
3 医学数据处理分类	350
3.1 分类问题	351
3.2 回归问题	352
3.3 聚类分析	353
4 专题综述	353
4.1 医学图像处理	353
4.2 传统中医的研究	354
5 讨论	356
参考文献	356
 专题 12 汉语认知的脑功能成像与神经网络	
..... 唐一源 唐焕文 Yijun Liu	366
1 引言	366
1.1 揭示脑的奥秘是 21 世纪的最大挑战	366

1.2	为什么研究汉语认知	367
2	脑的结构与功能分区	368
2.1	大脑皮层功能分区	369
2.2	脑的皮层下结构	370
3	脑功能成像技术	371
3.1	脑功能成像技术简介	372
3.2	脑功能成像技术的比较	378
3.3	脑功能成像实验步骤及处理分析技术	379
4	汉语认知研究	380
4.1	汉语认知的脑半球偏侧化	380
4.2	汉语认知加工是否有不同于英文加工的特殊脑区	381
4.3	汉语拼音的对比研究	383
4.4	汉语认知的脑内信息加工模式	384
5	汉语认知脑区间的相互作用及脑内信息加工模式分析示例	388
5.1	研究目标	388
5.2	研究背景	388
5.3	实验材料和方法	389
5.4	数据处理分析	390
5.5	实验结果	393
5.6	结果讨论	394
5.7	初步结论	396
6	本领域研究存在的问题及未来趋势	396
6.1	脑功能成像技术的局限	396
6.2	认知任务的个体差异	397
6.3	认知任务操作中伴随的意识、情绪等成分	397
6.4	神经建模方法的未来	397
6.5	脑研究需要全球性的科研大合作:全球知识管理系统的建立	398
6.6	多学科交叉的神经信息学研究方法	398
6.7	结语	398
	参考文献	399
专题 13	认知心理学与神经网络	余嘉元 406
1	引言	406
2	联结主义认知心理学的基本思想	409
2.1	联结主义的基本含义	409

2.2	亚符号范式	409
2.3	联结主义心理学的若干假设	409
2.4	联结主义心理学的特征	410
3	联结主义对于知觉效应的研究	411
3.1	问题的提出	411
3.2	级连相关模型	412
3.3	实验研究	413
4	Stroop 任务	414
4.1	Stroop 任务的模型框架	414
4.2	神经网络模型	415
5	记忆	416
5.1	联想记忆	417
5.2	语义记忆	417
5.3	记忆和表征	419
5.4	内隐记忆和外显记忆	421
6	语言	422
6.1	关于词汇发音的模型	422
6.2	词汇命名模型和吸引子模型	423
6.3	神经网络对于语言规则的表征和推导	424
6.4	人称代词的获得问题	424
6.5	汉语认知研究	426
7	问题解决的研究	427
7.1	儿童关于“天平问题”的判断	427
7.2	距离、时间和速度问题	428
8	知识的组织	430
8.1	信息加工理论的模型	430
8.2	联结主义理论的模型	431
9	决策	433
9.1	研究设计	433
9.2	实验	433
9.3	模拟	434
9.4	结果和讨论	434
9.5	结论	436
10	认知发展问题	436
10.1	计算发展心理学	436