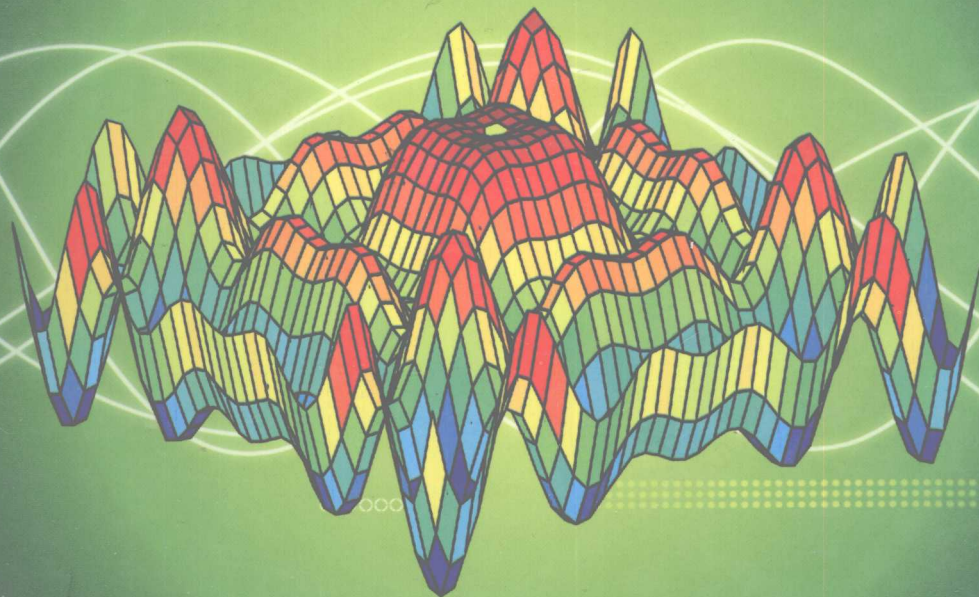


智能科学与技术丛书

自然计算、机器学习 与图像理解前沿

Advances in Natural Computation,
Machine Learning and Image Understanding

焦李成 公茂果 王爽 侯彪 著
Licheng Jiao Maoguo Gong Shuang Wang Biao Hou
刘芳 张向荣 周伟达
Fang Liu Xiangrong Zhang Weida Zhou



西安电子科技大学出版社
<http://www.xdph.com>

TP18
650
1

智能科学与技术丛书

自然计算、机器学习 与图像理解前沿

Advances in Natural Computation,
Machine Learning and Image Understanding

焦李成 公茂果 王 爽 侯 彪
Licheng Jiao Maoguo Gong Shuang Wang Biao Hou 著
刘 芳 张向荣 周伟达
Fang Liu Xiangrong Zhang Weida Zhou

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书对自然计算、机器学习、图像自动理解与解译三个前沿领域进行了详细的论述。主要内容包括进化计算、人工免疫系统、量子计算智能、多智能体系统、进化多目标优化、核机器学习、流形学习与谱图学习、集成学习、非线性逼近理论、多尺度几何分析、多尺度变换域图像感知与识别、图像的高维奇异性检测、图像去噪的阈值方法、SAR 图像理解与解译。

本书着重对上述领域的国内外发展现状进行总结,阐述作者对相关领域未来发展的研究与思考。本书可以作为计算机科学、信息科学、人工智能自动化技术等领域从事自然计算、机器学习、图像处理研究的相关专业技术人员的参考书,也可以作为相关专业高年级本科生和研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

自然计算、机器学习与图像理解前沿/焦李成等著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2008.8

(智能科学与技术丛书)

ISBN 978-7-5606-2100-5

I. 自… II. 焦… III. ①人工智能-计算 ②机器学习 ③图像处理
IV. TP183 TP181 TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 115599 号

策 划 高维岳

责任编辑 张 玮 高维岳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 22.375

字 数 451千字

印 数 1~500册

定 价 44.00元(精装)

ISBN 978-7-5606-2100-5/TP·1076

XDUP 2392001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

本书相关研究得到了国家自然科学基金(批准号: 60703107, 60703108, 60703109, 60702062)、国家863 项目(批准号: 2006AA01Z107, 2007AA12Z136, 2007AA12Z223)、973 项目(批准号: 2006CB705700)以及教育部长江学者和创新团队支持计划(批准号: IRT0645)资助

前 言

信息技术已经成为当今社会的核心技术，它影响并决定了现代科技的走向。随着计算机的普及，人们获知的信息越来越多，促使信息处理技术逐渐向智能化方向发展。从信息的获取到信息处理的各个环节，人工智能技术扮演了越来越重要的角色。目前，越来越多的科学家坚信，人工智能将为人类社会带来第三次技术革命。

随着人工神经网络、进化计算、人工免疫系统等受自然现象启发的人工智能方法的不断完善，模仿自然界的智能行为成为令机器显现智能的新途径。近年来，人工智能研究者习惯将受自然现象启发而发展起来的智能算法统称为自然计算(Natural Computation)。它以自然界中生物体的功能、特点和作用机理为基础，研究其中所蕴含的丰富的信息处理机制，构造相应的计算模型，设计相应的算法并应用于各个领域。自然计算不但是人工智能研究的新热点，也是人工智能发展思路的新思考，更是方法论转变的新成果。其研究成果包括人工神经网络、进化计算、人工免疫系统、模糊逻辑、量子计算和复杂自适应系统等。自然计算能够解决很多传统计算方法难以解决的复杂问题，在大规模复杂优化问题求解、智能控制、计算机网络安全等领域具有很好的应用前景。

学习能力是智能行为的基本特征，随着人工智能的深入发展，让机器具有学习能力逐渐成为人工智能研究的核心内容之一。自从1980年在卡内基-梅隆大学召开第一届机器学习研讨会以来，机器学习的研究引起了越来越多人工智能研究者的兴趣。机器学习的研究是根据生理学、认知科学等对人类学习机理的了解，建立人类学习过程的计算模型或认识模型，发展各种学习理论和学习方法，研究通用的学习算法并进行理论上的分析，建立面向任务的具有特定应用的学习系统。它的应用已遍及人工智能的各个分支，如专家系统、自动推理、自然语言理解、模式识别、计算机视觉、智能机器人等领域。

图像的自动理解与解译，是模拟人类的视觉和分析过程，用计算机来完成图像分析和理解的过程，最终实现相关信息的获取。早期的图像处理和分析都是通过目视解译，后来发展为人机交互方式。随着计算机技术和大规模集成电路的发展，使我们有可能设计合适的算法通过计算机实现图像的自动解译。目前，非线性逼近、多尺度几何分析、机器学习等方法已经逐渐应用于图像理解，并成为当前图像处理的研究热点，其相应成果已在遥感图像、医学图像等复杂图像的特征提取、去噪、重构、分类、分割、边缘检测、目标识别等领域获得了成功应用。

自然计算、机器学习和图像自动理解是智能信息处理的前沿领域，理论和算法都还处于迅速发展时期。在国家“九五”、“十五”、“十一五”国防预研项目，国家“863”计划

(863 - 306 - ZT06 - 1, 863 - 317 - 03 - 99, 2002AA135080, 2006AA01Z107, 2007AA12Z136, 2007AA12Z223), 国家“973”子项(2001CB309403, 2006CB705707), 国家自然科学基金重点项目(60133010), 国家自然科学基金面上项目(60472084, 60073053, 60372045, 60672126, 60673097, 60575037, 60505010, 60502043, 60603019, 60201029, 60602064, 60607010, 60702062, 60703107, 60703108, 60703109), 博士点基金(2000070108, 20060701007, 20050701013, 20070701022, 20070701016), 高等学校科技创新工程重大项目培育资金(706053), 教育部“长江学者”计划创新团队, 国家“111”创新引智基地及国家“211”工程等项目的资助下, 我们从1997年开始展开了相关课题的研究, 在免疫计算、进化计算、量子计算智能、核机器学习、流行学习、集成学习、非线性逼近理论、多尺度几何分析、SAR图像理解与解译等领域取得了一定的研究成果。本书试图将这些前沿领域以高度概括的形式展现给广大研究者, 希望通过我们的总结, 引起更多研究者对这些新兴领域的关注。由于这些理论本身尚处于起步阶段, 很多方面还没有发展完善, 书中许多看法是我们在进行科学研究中的一己之见, 难免有失偏颇, 欢迎广大读者批评指正。

本书是西安电子科技大学智能信息处理研究所和智能感知与图像理解教育部重点实验室近10年集体智慧的结晶。特别感谢保铮院士多年来的悉心培养和教导; 感谢中国科技大学的陈国良院士, IEEE进化计算杂志主编、英国伯明翰(Birmingham)大学的Yao Xin教授, IEEE知识与数据挖掘杂志主编、美国佛蒙特州(Vermont)大学的Wu Xindong教授, 新加坡南洋理工大学的Wang Lipo教授, 英国曼彻斯特(Manchester)大学的Yin Hunjun教授和澳大利亚昆士兰(Queensland)大学的Li Xue教授的指导和帮助; 感谢国家自然科学基金委信息科学部的大力支持; 感谢田捷教授、高新波教授、石光明教授、梁继民教授的帮助; 感谢刘静、李阳阳、刘若辰、钟桦、杨淑媛、马文萍、谭山、孙强、贾建、尚凡华、张立宁、杨咚咚、杨杰等智能所同仁所付出的辛勤劳动。该书得到了西安电子科技大学出版社的关心和支持, 特别是高维岳老师所付出的辛勤劳动, 在此深表谢意!

感谢作者家人的大力支持和理解。

由于作者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。

著 者
2008年3月

目 录

第 1 章 进化计算	1	2.4.1 免疫优化算法研究的主要进展 ...	58
1.1 从人工智能到计算智能	2	2.4.2 免疫优化计算理论分析的主要进展	63
1.2 从进化论到进化计算	4	2.5 问题与展望	65
1.2.1 现代进化论	5	参考文献	66
1.2.2 生物进化与优化	7	第 3 章 量子计算智能	75
1.3 进化计算基础知识	8	3.1 量子计算原理	75
1.3.1 进化计算的主要分支	9	3.1.1 状态的叠加	76
1.3.2 进化计算的数学基础	12	3.1.2 状态的相干	76
1.3.3 进化算法的收敛理论	13	3.1.3 状态的纠缠	76
1.3.4 进化计算的应用	18	3.1.4 量子并行性	77
1.4 协同进化计算	19	3.2 量子计算智能的几种模型	77
1.4.1 协同进化的生物学基础	20	3.2.1 量子人工神经网络	77
1.4.2 协同进化的动力学描述	24	3.2.2 基于量子染色体的进化算法	78
1.4.3 协同进化算法的发展现状	25	3.2.3 基于量子特性的优化算法	78
1.5 非达尔文进化理论与密母计算	28	3.2.4 量子聚类算法	79
1.5.1 非达尔文进化的主要理论	29	3.2.5 量子模式识别算法	79
1.5.2 密母计算的研究进展	30	3.2.6 量子小波与小波包算法	80
参考文献	32	3.2.7 量子退火算法	80
第 2 章 人工免疫系统	44	3.2.8 其它	80
2.1 从免疫系统到人工免疫系统	44	3.3 量子进化算法	81
2.2 人工免疫系统的研究领域	46	3.3.1 量子进化算法的提出	81
2.2.1 人工免疫系统模型的研究	46	3.3.2 量子进化操作	82
2.2.2 人工免疫系统算法的研究	48	3.3.3 量子进化算法的结构框架	86
2.2.3 人工免疫系统方法的应用研究	52	3.4 问题与展望	88
2.3 人工免疫系统与其它方法的比较	55	参考文献	89
2.3.1 人工免疫系统与进化计算	55	第 4 章 多智能体系统	93
2.3.2 人工免疫系统与人工神经网络 ...	55	4.1 复杂适应系统	93
2.3.3 人工免疫系统与一般的确定性优化算法	57	4.1.1 复杂适应系统概述	93
2.4 免疫优化计算研究的新进展	58	4.1.2 复杂适应系统的适应性与生物	

进化过程	95	6.2.1 支撑矢量机及统计学习理论	144
4.1.3 生物进化过程的数学模型	97	6.2.2 支持矢量新颖发现	147
4.2 多智能体系统	99	6.2.3 核匹配追踪学习机	148
4.2.1 智能体的基本概念	100	6.2.4 Mercer 聚类方法	150
4.2.2 智能体形式化描述	102	6.2.5 Mercer 核主分量分析	151
4.2.3 多智能体系统的主要研究 内容	105	6.2.6 Mercer 核 Fisher 判别分析	152
4.2.4 面向问题解决的多智能体系统 研究现状	108	6.2.7 SVMs 用于排序学习	153
4.2.5 多智能体系统与分布式 人工智能	110	6.2.8 学习	154
4.2.6 多智能体系统与人工生命	111	6.2.9 用于结构化数据识别的 核方法	154
4.2.7 多智能体系统与进化计算	114	6.3 核机器学习方法的优势与不足	155
参考文献	115	6.3.1 Mercer 核技术的优势	155
第 5 章 进化多目标优化	119	6.3.2 Mercer 核技术的不足	156
5.1 多目标优化问题的数学描述	120	6.4 推广 Mercer 核函数的主要研究 方向	157
5.2 进化多目标优化的主要算法	121	参考文献	159
5.2.1 第一代进化多目标优化算法	121	第 7 章 流形学习与谱图学习	166
5.2.2 第二代进化多目标优化算法	122	7.1 流形学习的基本概念	166
5.3 当代进化多目标优化算法及 研究趋势	124	7.2 流形学习的降维方法分类	167
5.3.1 基于粒子群优化的多目标 优化	125	7.2.1 构建关系矩阵的方法	167
5.3.2 基于人工免疫系统的多目标 优化	125	7.2.2 基于局部模型的全局坐标 对齐方法	172
5.3.3 基于分布估计算法的多目标 优化	126	7.2.3 十二种流形降维方法的比较	175
5.3.4 新型占优机制研究	126	7.3 谱聚类	177
5.3.5 高维多目标优化研究	127	7.3.1 谱图划分算法	177
5.4 几种典型进化多目标优化算法的 性能比较	128	7.3.2 谱聚类算法	179
5.4.1 实验设置	129	参考文献	180
5.4.2 NSGA-II、SPEA2、PESA-II 和 NNIA 的性能比较	132	第 8 章 集成学习	184
5.5 总结与展望	136	8.1 集成学习系统的结构	184
参考文献	136	8.1.1 集成学习中多样性个体的 构造	185
第 6 章 核机器学习	143	8.1.2 集成方法的系统结构	187
6.1 Mercer 核	144	8.1.3 集成学习算法中的合并方法	187
6.2 核机器学习的主要方法	144	8.2 集成核匹配追踪学习机	188
		8.2.1 集成核匹配追踪学习机的理论 分析	188
		8.2.2 集成核匹配追踪学习机的 建立	191
		8.3 谱聚类集成	191

8.3.1 无监督集成问题	191	11.2.1 隐马尔可夫模型	250
8.3.2 具有多样性的个体谱聚类的 构造	192	11.2.2 小波域隐马尔可夫模型概述	251
8.3.3 多个谱聚类结果的合并	193	11.3 变换域的十种统计模型	252
8.3.4 谱聚类集成的流程	195	11.3.1 小波域的八种模型	253
参考文献	196	11.3.2 复小波域模型	257
第9章 非线性逼近理论	199	11.3.3 Contourlet 变换域模型	258
9.1 函数逼近简述	199	11.4 基于变换域统计模型的图像感知 与识别	258
9.2 非线性逼近	200	11.4.1 图像恢复和重建	258
9.2.1 基本概念	200	11.4.2 图像分割	260
9.2.2 希尔伯特空间中的非线性 逼近	202	11.4.3 边缘检测	261
9.2.3 小波逼近	203	11.5 问题与展望	261
9.3 高度非线性逼近	205	11.5.1 面向应用的模型设计和 算法构造	261
9.3.1 研究背景及其意义	205	11.5.2 变换域的拓展	263
9.3.2 正交基库中最优基的选择	207	11.5.3 应用领域的推广	264
9.3.3 函数字典中最优原子的选择	208	参考文献	264
9.4 问题与展望	215	第12章 图像的高维奇异性检测、 学习与理解	271
9.4.1 关于数据的多尺度几何表示	215	12.1 图像识别与理解中存在的主要 问题	271
9.4.2 关于基的学习问题	217	12.1.1 高维奇异性特征提取问题	271
参考文献	218	12.1.2 多元特征选择问题	272
第10章 多尺度几何分析	224	12.1.3 特征学习中的“维数灾难” 问题	273
10.1 概念的产生	224	12.1.4 相对小样本问题	275
10.2 从傅立叶分析到小波分析	225	12.1.5 计算复杂度问题	275
10.3 小波图像逼近	227	12.1.6 特征提取与相似性测度定义和 学习问题	275
10.4 人类视觉模型	229	12.1.7 无监督和半监督学习问题	276
10.5 图像的多尺度几何分析	230	12.2 解决高维数据奇异性检测、学习 与理解的关键技术	277
10.5.1 自适应几何逼近	231	12.2.1 高维数据奇异性检测、学习 与理解概述	277
10.5.2 Bandelet 变换	231	12.2.2 多尺度几何分析与高维奇异性 稀疏逼近及方向信息检测	280
10.5.3 脊波及单尺度脊波变换	234	12.2.3 非线性映射技术	283
10.5.4 Curvelet 变换	236	12.2.4 假设空间容量控制	283
10.5.5 Contourlet 变换	237	12.2.5 无监督和半监督学习	284
10.6 问题与展望	240		
参考文献	243		
第11章 多尺度变换域图像感知 与识别	248		
11.1 小波变换的三级统计特性及其 机理分析	248		
11.2 小波域隐马尔可夫模型	250		

参考文献	287	14.2.2 频域滤波技术	320
第 13 章 图像去噪的阈值方法	294	14.3 SAR 图像分割	321
13.1 基本概念	294	14.3.1 阈值分割方法	322
13.1.1 空间滤波	294	14.3.2 基于像素特征的分割方法	322
13.1.2 小波去噪	295	14.3.3 统计分割方法	323
13.1.3 噪声估计	296	14.4 图像融合	323
13.2 阈值函数	297	14.4.1 SAR 图像和 TM 图像的 融合	324
13.3 阈值规则	298	14.4.2 SAR 图像不同波段和不同极化 图像的融合	324
13.3.1 塔形分解中的尺度内相关 法则	299	14.4.3 极化 SAR 图像和超光谱 图像的融合	325
13.3.2 小波分解中的尺度内相关 法则	301	14.5 特征提取	325
13.3.3 尺度间相关法则	302	14.5.1 边缘特征提取	325
13.3.4 高维数据处理法则	305	14.5.2 纹理特征提取	326
13.4 阈值方案	306	14.5.3 形状特征提取	327
13.4.1 全局阈值	307	14.5.4 方向特征提取	327
13.4.2 SURE 规则	307	14.6 识别与分类	328
13.4.3 假设检验	308	14.6.1 最近邻和 k 近邻	329
13.4.4 Bayes 阈值	308	14.6.2 决策树	329
13.5 问题与展望	309	14.6.3 贝叶斯分类器	329
13.5.1 图像的恢复和重构	310	14.6.4 神经网络	330
13.5.2 系数独立性假设	310	14.6.5 支撑向量机	330
13.5.3 系数建模	311	14.6.6 Boosting 和 Bagging	331
13.5.4 变换域的拓展	312	14.7 SAR 图像特殊目标检测	331
参考文献	312	14.7.1 舰船检测	332
第 14 章 SAR 图像理解与解译	317	14.7.2 路网检测	332
14.1 SAR 图像自动理解与解译的系统 组成	317	14.7.3 其它目标检测	332
14.2 相干斑抑制	319	14.8 问题与展望	332
14.2.1 空域滤波技术	319	参考文献	333

Contents

Chapter 1 Evolutionary Computation	1
1.1 From artificial intelligence to computational intelligence	2
1.2 From evolutionary theory to evolutionary computation	4
1.2.1 Modern evolutionary theory	5
1.2.2 Biological evolution and optimization	7
1.3 Foundation of evolutionary computation	8
1.3.1 Main branches of evolutionary computation	9
1.3.2 Mathematical foundation of evolutionary computation	12
1.3.3 Convergence theory of evolutionary algorithms	13
1.3.4 Applications of evolutionary computation	18
1.4 Coevolutionary computation	19
1.4.1 Biological foundation of coevolutionary computation	20
1.4.2 Dynamics in coevolution	24
1.4.3 Advances in coevolutionary algorithms	25
1.5 Non-Darwinism and memetic computing	28
1.5.1 Basic theory of non-Darwinism	29
1.5.2 Advances in memetic computing	30
References	32
 Chapter 2 Artificial Immune Systems	 44
2.1 From immune system to artificial immune systems	44
2.2 Contents of artificial immune system research	46
2.2.1 Artificial immune system models	46
2.2.2 Artificial immune system algorithms	48
2.2.3 Artificial immune system applications	52
2.3 Comparisons of artificial immune systems with other methods	55
2.3.1 Artificial immune systems and evolutionary algorithms	55
2.3.2 Artificial immune systems and artificial neural networks	55
2.3.3 Artificial immune systems and general deterministic methods	57
2.4 Advances in immunological computation for optimization	58
2.4.1 Advances in algorithm design	58
2.4.2 Advances in theoretical analysis	63

2.5 Problems and prospects	65
References	66
 Chapter 3 Quantum Computational Intelligence	75
3.1 Basic theory of quantum computing	75
3.1.1 Superposition of states	76
3.1.2 Coherence of states	76
3.1.3 Entanglement of states	76
3.1.4 Quantum parallelism	77
3.2 Modeling of quantum computational intelligence	77
3.2.1 Quantum neural network	77
3.2.2 Quantum-inspired evolutionary algorithms	78
3.2.3 Quantum-inspired optimizaiton algorithm	78
3.2.4 Clustering algorithm based on quantum mechanics	79
3.2.5 Pattern recognition algorithm based on quantum mechanics	79
3.2.6 Quantum wavelet and wavelet packet algorithms	80
3.2.7 Quantum annealing algorithms	80
3.2.8 Others	80
3.3 Quantum-inspired evolutionary algorithms	81
3.3.1 Basic theory of QEA	81
3.3.2 Quantum-inspired evolutionary operators	82
3.3.3 Framework of QEA	86
3.4 Problems and prospects	88
References	89
 Chapter 4 Multi-Agent System	93
4.1 Complex adaptive system	93
4.1.1 Complex adaptive system	93
4.1.2 Adaptation in CAS and biological evolution	95
4.1.3 Mathematical model of biological evolution	97
4.2 Multi-agent system	99
4.2.1 Basic concepts of agent	100
4.2.2 Formal description of agent	102
4.2.3 Contents of multi-agent system research	105
4.2.4 Advances in multi-agent system for problem solving	108
4.2.5 Multi-agent system and distributed artificial intelligence	110
4.2.6 Multi-agent system and artificial life	111
4.2.7 Multi-agent system and evolutionary computation	114
References	115

Chapter 5 Evolutionary Multi-objective Optimization	119
5.1 Basic concepts	120
5.2 Main algorithms for evolutionary multi-objective optimization	121
5.2.1 The first generation	121
5.2.2 The second generation	122
5.3 Advances in evolutionary multi-objective optimization	124
5.3.1 MO based on particle swarm optimization	125
5.3.2 MO based on artificial immune systems	125
5.3.3 MO based on estimation of distribution algorithm	126
5.3.4 New dominance relationship	126
5.3.5 Many-objective optimization	127
5.4 Performance evaluations of typical multi-objective optimization algorithms	128
5.4.1 Experimental setup	129
5.4.2 Comparisons of NSGA-II, SPEA2, PESA-II and NNIA	132
5.5 Conclusions and prospects	136
References	136
 Chapter 6 Kernel Machine Learning	143
6.1 Mercer kernel	144
6.2 Main methods of kernel machine learning	144
6.2.1 Support vector machine and statistical learning theory	144
6.2.2 Support vector novelty detection	147
6.2.3 Kernel matching pursuit learning machine	148
6.2.4 Mercer clustering method	150
6.2.5 Mercer kernel principal component analysis	151
6.2.6 Mercer kernel fisher discriminant analysis	152
6.2.7 SVMs used in sequential learning	153
6.2.8 Transduction learning	154
6.2.9 Kernel method for structured data recognition	154
6.3 Advantages and disadvantages of kernel machine learning	155
6.3.1 Advantages of Mercer kernel technology	155
6.3.2 Disadvantages of Mercer kernel technology	156
6.4 Main research directions of generalization Mercer kernel function	157
References	159
 Chapter 7 Manifold Learning and Spectral Graph Learning	166
7.1 Basic concepts of manifold learning	166
7.2 Dimension reduction methods based on manifold learning	167
7.2.1 Methods based on constructing relationship matrix	167

7.2.2	Methods based on global coordinate alignment of local model	172
7.2.3	Comparison of twelve manifold-based dimension reduction methods	175
7.3	Spectral clustering	177
7.3.1	Spectral graph partition algorithms	177
7.3.2	Spectral clustering algorithms	179
References		180
Chapter 8	Ensemble Learning	184
8.1	Structure of ensemble learning system	184
8.1.1	Construction of components in ensemble learning	185
8.1.2	System structure of ensemble method	187
8.1.3	Combination method in ensemble learning algorithm	187
8.2	Kernel matching pursuit classifier ensemble	188
8.2.1	Theoretical analysis of kernel matching pursuit classifier ensemble	188
8.2.2	Establishment of kernel matching pursuit classifier ensemble	191
8.3	Spectral clustering ensemble	191
8.3.1	Unsupervised ensemble problem	191
8.3.2	Generation of diverse component spectral clusterings	192
8.3.3	Combination of multiple clustering results	193
8.3.4	The procedure of spectral clustering ensemble	195
References		196
Chapter 9	Nonlinear approximation theory	199
9.1	A brief introduction to function approximation	199
9.2	Nonlinear approximation	200
9.2.1	Basic concepts	200
9.2.2	Nonlinear approximation in Hilbert space	202
9.2.3	Wavelet approximation	203
9.3	Highly nonlinear approximation	205
9.3.1	Background and significance	205
9.3.2	Selection of optimal bases in orthogonal bases	207
9.3.3	Selection of optimal atoms in function dictionaries	208
9.4	Problemss and prospects	215
9.4.1	Data multiscale geometric representation	215
9.4.2	Base learning problems	217
References		218
Chapter 10	Multiscale Geometric Analysis	224
10.1	Basic concepts	224

10.2	From fourier analysis to wavelet analysis	225
10.3	Wavelet image approximation	227
10.4	Human vision model	229
10.5	Multiscale geometric analysis of image	230
10.5.1	Adaptive aeometric approximation	231
10.5.2	Bandelet transform	231
10.5.3	Ridgelet and monoscale ridgelet	234
10.5.4	Curvelet transform	236
10.5.5	Contourlet transform	237
10.6	Problems and prospects	240
References		243

Chapter 11 Perception and Recognition of Image in Multiscale Transform Domain 248

11.1	Three-level statistical characteristic and mechanism analysis of wavelet transform	248
11.2	Wavelet-domain hidden markov model	250
11.2.1	Hidden markov model	250
11.2.2	Wavelet-domain hidden markov model	251
11.3	Ten statistical models in transform domain	252
11.3.1	Eight models in wavelet domain	253
11.3.2	Complex-wavelet-domain models	257
11.3.3	Contourlet-domain hidden markov models	258
11.4	Image perception and recognition based on transform-domain models	258
11.4.1	Image restoration and reconstruction	258
11.4.2	Image segmentation	260
11.4.3	Edge detection	261
11.5	Problems and prospects	261
11.5.1	Application-oriented model design and algorithm construction	261
11.5.2	Extension of transform domain	263
11.5.3	Applications	264
References		264

Chapter 12 High-dimension Singularity Detection, Learning and Understanding of Image 271

12.1	Key problems of image recognition and understanding	271
12.1.1	High-dimension singular feature extraction	271
12.1.2	Multi-feature selection	272
12.1.3	Dimensionality curse of feature learning	273
12.1.4	Relatively small samples	275
12.1.5	Computational complexity	275

12.1.6	Feature extraction and definition and learning of similarity measure	275
12.1.7	Unsupervised and semi-supervised learning	276
12.2	Key techniques for solving high-dimension data singularity detection, learning and understanding	277
12.2.1	Summary of high-dimension data singularity detection, learning and understanding	277
12.2.2	Multiscale geometric analysis and high-dimension singularity sparse approximation and anisotropic information detection	280
12.2.3	Nonlinear mapping technique	283
12.2.4	Hypothesis space capacity control	284
12.2.5	Unsupervised and semi-supervised learning	284
References		287

Chapter 13	Image Denoising based on Threshold Method	294
13.1	Basic concepts	294
13.1.1	Spatial filter	294
13.1.2	Wavelet denoising	295
13.1.3	Estimation of noise level	296
13.2	Threshold function	297
13.3	Threshold rule	298
13.3.1	Intra-scale rules in pyramid decomposition	299
13.3.2	Intra-scale rules in wavelet decomposition	301
13.3.3	Inter-scale rules	302
13.3.4	Rule of high-dimension data processing	305
13.4	Threshold scheme	306
13.4.1	Unified threshold	307
13.4.2	SURE rule	307
13.4.3	Hypothesis testing	308
13.4.4	Bayesian threshold	308
13.5	Problems and prospects	309
13.5.1	Image restoration and peconstruction	310
13.5.2	Independence hypothesis of coefficients	310
13.5.3	Coefficients modeling	311
13.5.4	Extension of transform domain	312
References		312

Chapter 14	SAR Image Understanding and Interpretation	317
14.1	System composition of SAR image automatic understanding and interpretation	317
14.2	Despeckling	319

14.2.1	Spatial filter	319
14.2.2	Frequency-domain filter	320
14.3	SAR image segmentaion	321
14.3.1	Threshold segmentation	322
14.3.2	Pixel feature based segmentation	322
14.3.3	Statistical segmentaion	323
14.4	Image fusion	323
14.4.1	Fusion of SAR image and TM image	324
14.4.2	SAR image fusion of different bands and different polarization mode	324
14.4.3	Fusion of polar SAR image and hyper-spectral image	325
14.5	Feature extraction	325
14.5.1	Edge feature extraction	325
14.5.2	Texture feature extraction	326
14.5.3	Shape feature extraction	327
14.5.4	Directional feature extraction	327
14.6	Recognition and classification	328
14.6.1	Nearest neighbor and k near neighbor	329
14.6.2	Desicion trees	329
14.6.3	Bayesian classifier	329
14.6.4	Neural network	330
14.6.5	Support vector machine	330
14.6.6	Boosting and bagging	331
14.7	Special Object Detection of SAR Image	331
14.7.1	Ship detection	332
14.7.2	Roadnet detection	332
14.7.3	Detection of other objects	332
14.8	Problems and prospects	332
References		333