

# 高分辨率遥感影像智能解译

方涛 霍宏 马贺平等著



科学出版社

# 高分辨率遥感影像智能解译

方 涛 霍 宏 马贺平等 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书论述了高分辨率遥感影像从像素到对象解译过程中面临的问题与挑战,重点阐述了从数据到信息转换的一些理论与方法,以及自动化、智能化处理技术。涵盖了构成面向对象高分辨率遥感影像解译基础的阴影检测与分割技术;影像对象的特征提取、选择与降维;影像对象词包表示与主题模型;面向影像相似性检索的特征对比模型;面向目标检测与识别的影像显著性与随机森林;面向影像分类的特征线、压缩凸包到仿射包方法以及条件纹元森林方法;从面向对象影像分析的角度,讨论了影像分割与影像对象分类精度评价方法的适宜性。此外还介绍了自主开发的面向对象的高分辨率遥感影像智能解译系统——“ELU 译陆”。这些内容贯穿高分辨率遥感影像智能解译的整个过程。

本书可供遥感、测绘、国土资源等领域的科技人员和研究生阅读参考,也可供从事图像处理、模式识别、计算机视觉等智能信息处理领域的读者阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高分辨率遥感影像智能解译/方涛等著. —北京:科学出版社,2016. 3

ISBN 978-7-03-047913-6

I. ①高… II. ①方… III. ①高分辨率-遥感图像-图像处理-研究  
IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 058826 号

责任编辑:彭胜潮 李 静 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张 倩 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张:32 1/4 插页:6

字数:765 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

地球信息科学的技术体系主要包括对地观测技术、地理信息系统技术和互联网通信技术及其综合集成。航空和航天遥感是空间对地观测技术的重要组成部分。

在遥感科技领域，“高分辨率”一词蕴涵着非常丰富的内容。当今，卫星遥感技术发展的特点主要表现为“高空间分辨率”“高光谱分辨率”与“多时相/高时相”遥感。自从 20 世纪 80 年代提出高光谱分辨率的概念模型之后，国际上研制和发射了多颗装载有成像光谱仪的遥感卫星，高光谱遥感技术与应用日新月异。同时，高空间分辨率遥感技术水平不断提高、应用领域日益广阔，形势喜人。1999 年首颗 1m 分辨率 IKONOS 光学遥感卫星成功发射，2006 年以来，多颗安装有高分辨率 SAR 新型传感器的遥感卫星陆续升空。如今，卫星的重访周期大大缩短到以天或小时为单位。对地观测已进入以高光谱卫星遥感、高空间光学卫星遥感和高分辨率星载 SAR 遥感为基本格局和主要特征的遥感技术新时代。成像光谱，尤其是高光谱/超光谱的出现带动了遥感光谱分析技术的发展。目前，比较系统的定量遥感理论和方法正在建立，已能提供商业化的数据产品，环境监测、生态、全球气候变化等领域的应用研究也正蓬勃开展。随着地表参数高精度反演研究的深入及社会需求的旺盛，必将进一步推动定量遥感理论与技术的发展。与定量遥感相比，高分辨率光学卫星遥感影像处理技术的发展历史不太长。从 1999 年提出面向对象的高空间分辨率遥感影像分析(OBAI)技术以来，国际上形成了以对象概念为研究思想的热潮。目前，在高光谱、高空间分辨率卫星遥感影像处理的理论和技术研究中，高分辨率 SAR 新型传感器影像的处理技术显得更为落后。众所周知，土地利用、资源调查、环境调查、生态恢复、灾害防治、城市建设、国家安全等诸多领域对高分辨率卫星遥感影像数据的需求非常大。随着传感器技术的不断发展，今后可望获得更丰富的海量高分辨率卫星遥感影像数据，以满足社会经济发展和国防安全应用的各种需求。遗憾的是，目前国际上还未形成面向高分辨率卫星遥感影像处理比较系统的理论和方法。我国在高分辨率卫星遥感影像处理的理论和技术方面还比较落后，自动化、智能化程度不高，高分辨率卫星遥感影像的业务化应用水平较低，导致高分辨率卫星遥感影像数据的应用效率不高。在这一领域，中国与国际上发达国家，尤其是美国、俄罗斯、法国等国家相比还有较大的差距，然而，随着国家中长期规划“高分辨率对地观测系统”重大专项的实施，逐步改变了我国没有自己的高分辨率卫星遥感数据而受制于他国的局面，正形成我们自己的机载、星载、多平台及高分辨率的一系列对地观测系统。这就要求我们必须加快、深入地开展高分辨率遥感影像的成像机理及其解译、信息提取和应用理论与技术方法的研究。

近十年来，作者先后承担并完成了多项国家及上海市支持的科研项目，取得了较满意的理论和实用成果，本书则是这些成果的部分结晶。本书拟以多源高分辨率卫星遥感影像数据，尤其是高空间分辨率遥感影像为基本数据源，以影像数据的智能解译和目标

识别为主线,力求全面、系统地论述其中一些基础性的、共性的、关键性的理论和技术方法问题,从而为“遥感影像智能解译科学与技术”提供一个比较系统、全面和创新性的雏形体系。本书的基本脉络是从视觉认知的视角出发,论述高分辨率遥感影像从像素-patch-对象的转化机制与原理、影像对象的特征分析和提取、影像对象识别与分类的理论和方法,并利用高分辨率遥感影像数据进行验证和分析评价。本书的主要内容如下:

(1) 国内外图像处理和遥感影像处理的研究概况和存在的主要问题,高空间/高光谱分辨率卫星遥感影像数据和高分辨率星载 SAR 数据获取的发展现状与趋势。

(2) 高分辨率遥感影像解译面临的问题与发展趋势。在高分辨率遥感影像智能解译过程中,如何精细地描述影像的内容,影像解译和信息提取的相关理论与方法。基于面向对象的思想,以认知为基础,论述了综合视觉与非视觉特性的卫星遥感影像数据——空间信息转化的机理与转化过程,实现自动化、智能化转化的技术和方法。讨论了影像及影像对象层、影像对象描述层与影像对象解译层的目标、任务,需要解决的基础理论和关键技术方法。

(3) 面对高分辨率卫星遥感数据普遍存在阴影的实际问题,作为影像解译的一种辅助信息的论点,论述了阴影形成机制以及阴影检测的研究现状,提出了综合多特征和自适应特征选择的阴影检测新方法。另外,重点论述了面向对象分析的重要基础——影像分割。针对基于聚类的图像分割结果常常呈现椒盐结果,在研究 FLICM 方法综合特征信息和空间邻域信息的基础上,提出了一种模糊 C-均值的空间聚类(EFLICM)方法,不仅有效地解决了区域内像素的孤立和随机分配的问题,而且获得了较高的边缘提取精度。综合现有的遥感影像纹理、光谱(颜色)与形状度量模型,提出了一种基于纹理聚类约束的高分辨率遥感图像分割方法,还讨论了影像分割评价以及对象的尺度选择与融合等。

(4) 在影像对象特征提取方面,论述了图像块特征信息量、中等复杂度的图像“块特征”以及层次“块特征”的提取技术。研究了高分辨率遥感影像纹理的稀疏表示和应用、高维影像纹理矩阵的低秩矩阵估计方法;以生物视觉慢特征变化原理及其慢特征提取方法为基础,初步分析了样本类内可变性对特征提取以及解译性能的影响。在利用高分辨率遥感影像研究土地覆盖与利用分类中,从大类与小类之间关系角度,提出了共享特征新概念,发展了基于特征映射的共享特征提取方法,为研究土地覆盖与利用提供一个新的视角。论述了高分辨率遥感影像存在训练样本非平衡和小样本等问题,分析了类内/类间特征向量之间的约束关系,提出基于图模型的局部加权判别投影(LWDP),以及面向半监督学习的非对称局部判别选择(ALDS)的特征选择方法。此外,与高维影像对象特征选择不同,提出了层次流形学习的降维方法。

(5) 讨论了当前影像视觉单词研究的现状与发展趋势,从文本单词模型出发,研究了遥感影像对象视觉单词的构造。分析了基于 BOW 表示的遥感影像分类,借鉴文本歧义处理的思想与方法,对图像块量化中的歧义性及视觉单词之间的歧义性作了分析。介绍了三种主题模型,如 pLSA 模型、LDA 模型和 hLDA 模型等。在深入分析视觉单词的空间关系以及多尺度视觉单词构造的基础上,提出了基于多尺度视觉单词的层次主题发现,并在无监督的遥感影像对象类别层次性发现中加以应用。结合主题模型的监督与无

监督形式,通过多条件学习理论,研究了基于主题模型的半监督学习算法。实验表明,该方法在标签样本很少的情况下能够获得相对较好的分类精度。

(6) 在遥感影像的相似性及其检索方面,论述了心理学相似性度量方法及其模型,尤其是特征相似性模型。根据特征相似性理论的特征诊断性原理,分析了模糊特征对比模型中特征强度与相似性之间的强相关性,提出集成语义和视觉特征的图像特征比率模型。该模型不仅能够视觉特征相似性度量时削弱特征强度与相似性之间的强相关性,而且能协调语义和视觉特征在图像整体相似性度量中的作用。从遥感光谱反射和吸收特性出发,研究了集成光谱反射和吸收特征的光谱特征对比相似性模型。

(7) 在影像目标检测方面,首先,论述了生物视觉选择注意机制、视觉空间注意、抑制机制以及自底向上和自顶向下选择注意等内容。介绍了计算机视觉及视觉选择注意计算模型的研究现状,重点讨论了经典的自底向上选择注意计算模型。应用变换域的影像显著性原理,开展了基于离散余弦变换相位谱的方向显著性模型、基于小波变换的方向特征显著性模型、两种新方向显著图生成模型以及基于小波低通金字塔颜色显著性模型的研究。分析比较了场景理解和遥感影像目标检测与识别的特点,顾及遥感影像目标的全局特征、局部特征和上下文特征,提出了多种线索引导的自顶向下的基于视觉注意机制的目标检测与识别方法。随机森林作为一种新兴的机器学习方法,具有坚实的理论基础和准确、方便、快速并能分析数据内部结构等优点。在图像处理领域,作为随机森林的一种重要扩展,纹元森林能更好地利用图像中确定的邻域关系,使得分类更精确、稳健。作为这部分另一个重要内容,提出了一种颜色增强的旋转不变的霍夫森林(CRI-HF),并用于遥感影像目标检测。

(8) 分类识别是自动解译的重要技术方法之一,为进行影像的特征分类,创新性地提出“尺寸可调”特征流形和“数量可调”局部原型样本的概念,研究了 $k$ 局部约束线(kLCL)、最邻近压缩凸包(NRCH)、局部压缩凸包(LRCH)以及局部软性仿射包(LSAH)等扩大训练样本容量分类的方法,以提高分类器的泛化性能和控制计算复杂度。在GIS技术支持下,与其他地学信息相集成,提出了基于条件纹元森林的遥感影像分类方法。面向对象分析已经成为高分辨率遥感影像分析主要方法,针对面向对象分类的精度评价一直还沿用基于像素的方法,提出了基于拓扑权重的面向对象分类精度评价,综合像素级和区域级精度,更准确地度量不同形状区域的精度,满足面向对象方法的要求。

(9) 以土地利用与变化检测为例,全面介绍自主研发的面向对象的影像解译技术的层次体系结构,以及面向高空间分辨率卫星遥感数据的影像智能解译系统——“译陆”(ELU V2.0)的主要功能、特色和应用领域,并以土地利用与变化检测的实际图像数据案例作了验证。本书的特点是相关理论、模型与方法、算法的紧密结合,并配合实例和图像处理验证、分析,图文并茂。

本书的研究工作得到了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“对地观测数据—空间信息—地学知识转化机理”——课题“高性能的遥感影像网格计算与信息解译的智能方法”(2006CB701303)、国家高技术研究发展计划(863计划)项目“基于内容的遥感影像相似性检索及关键技术研究”(2001AA135091)和“高空间分辨率遥感影像精细分类

及其变化检测关键技术研究”(2006AA12Z105),以及上海市科委重点项目“基于空间影像信息的智能引擎技术”(025115023)和“基于影像内容的自动搜索和特定目标的变化检测与更新技术研究”(055115018)、上海市教委曙光学者项目“面向对象的高分辨率遥感影像变化检测关键技术研究”(05SG14)等科研项目的资助,在此表示感谢!

本书是对我们近十年来在高分辨率遥感影像分析与处理研究取得的部分成果的总结,也是对我们研究团队近几年发表在 *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*、*IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*、*International Journal of Remote Sensing*、*Journal of Applied Remote Sensing*、*Image and Vision Computing*、*Soft Computing*、*Pattern Recognition*、*Optics Communications* 等国际杂志上发表的 20 余篇 SCI 论文成果的一次加工和整理。本书的完成凝结了上海交通大学电子信息与电气工程学院自动化系图像处理与模式识别研究所遥感科学实验室的老师、博士研究生和硕士研究生等多年的心血与科研的贡献。

本书第 1 章 1.1 节由马贺平撰写,1.2 节及 1.3 节由方涛和霍宏等撰写;第 2 章主要由方涛与霍宏等撰写;第 3 章 3.1 节和 3.2 节主要由柳稼航博士撰写,3.3~3.6 节由李楠博士撰写;第 4 章 4.1 节主要由方涛、霍宏以及陈曦博士撰写,4.2 节主要由刘扬闻硕士撰写,4.3 节主要由步晓亮与钱康硕士撰写,4.4 节主要由鄢圣黎硕士撰写,4.5 节主要由黄红兵博士撰写,4.6 节主要由陈曦博士撰写,4.7 节、4.8 节主要由黄红兵博士撰写;第 5 章除了 5.4 节主要由刘扬闻硕士撰写外,其余节主要由徐盛博士完成;第 6 章 6.1 节主要由方涛与霍宏撰写,6.2 节主要由唐宏博士撰写,6.3 节由唐宏博士与杨政武博士撰写,6.4 节、6.5 节主要由唐宏博士撰写;第 7 章 7.1 节主要由霍宏与李志强博士撰写,7.2 节、7.3 节主要由李志强博士撰写,7.4 节主要由朱巨莲硕士与霍宏撰写,7.5 节主要由雷震博士撰写;第 8 章 8.1 节主要由霍宏与卿建军博士撰写,8.2~8.5 节由卿建军博士撰写,8.6 节由雷震博士撰写,8.7 节由李楠博士撰写;第 9 章 9.1 节、9.2 节主要由方涛、霍宏与马贺平共同撰写,9.3 节主要由马贺平撰写。此外,已经毕业的尹波、李武跃、阳松、周秀华、周君和田野等硕士对本书研究也作出了自己的贡献;郑来文、万里红、郭艺友博士研究生与储宇瞳硕士也参加了相关的工作。全书由方涛与霍宏统稿。

本书的完成与许多专家学者的关爱是分不开的。武汉大学李德仁院士、973 首席科学家龚健雅院士多年来给予的关心与指导;中国测绘科学研究院林宗坚教授在影像解译方面提供了宝贵的建议;本书成稿过程中,中国矿业大学郭达志教授对本书组织审校付出了大量的心血;973 第三课题组武汉大学舒宁教授、刘艳芳教授,以及中国测绘科学研究院张继贤研究员、燕琴研究员、张永红研究员等 5 年来在课题研究、交流提供的宝贵的支持;还有香港理工大学李志林教授、香港浸会大学周启明教授和美国中密歇根大学李斌教授等多年来在一起的交流与帮助;上海盛图遥感信息技术有限公司赵细元、储美华高级工程师等在遥感数据解译、野外调绘、应用验证等给予了大量的帮助;上海交通大学施鹏飞教授、同济大学陈映鹰教授也给予了很多的鼓励与支持;原上海市科委袁智德、何军等多年来也提供了很多支持与帮助;还有徐州市国土资源局局长李钢、电子科技大学何彬彬教授也给予了很大帮助。在此,一并表示衷心的感谢!

本书结合高分辨率遥感影像的特点,对遥感影像数据的信息转化机理进行比较系统、深入的理论与方法研究。在影像对象的形成、特征提取、描述与检索、分类与识别等多角度、多层面上,提出了实现这些转化机理的自动化、智能化技术与方法,在理论和方法上比较新颖、富有创新思想,对提升高分辨率遥感影像的处理水平具有重要的理论与实用价值,对于我国正在开展的高分辨率对地观测系统重大专项,实施遥感影像的自动化、智能化处理也具有重要意义。

高分辨率遥感影像解译是遥感应用的最重要环节之一。本书以影像对象为线索,比较全面地论述了从像素-影像对象建立、综合视觉/非视觉特性的影像对象的表达与描述、高维影像对象特征分析与降维到影像自动检索、影像对象自动分类识别等高分辨率遥感影像智能解译的全过程。虽然在相关理论、方法和技术方面取得了一定的进展,但是我们的研究还是初步的,还有不少理论问题、关键技术与方法需要继续深入研究。由于种种原因,本书成文历时多年,随着计算机视觉、机器学习与当前深度学习为核心的人工智能等飞速发展,有些内容可能已经更新,但是,对国内从事高分辨率遥感影像处理研究的读者来说,期望本书的出版能够起些抛砖引玉作用。限于作者的水平以及有些内容仍在继续研究,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

方 涛 霍 宏 马贺平

2015年5月于上海交通大学闵行校区致远湖畔



# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 高分辨率卫星遥感影像数据获取进展	1
1.1.1 高空间分辨率光学卫星遥感影像获取	1
1.1.2 高光谱分辨率卫星遥感影像获取	4
1.1.3 高分辨率星载 SAR 遥感影像获取	5
1.2 高分辨率遥感影像智能解译研究概述	7
1.2.1 遥感影像解译理论与方法研究进展	7
1.2.2 高分辨率遥感影像智能解译的发展趋势	9
1.3 高分辨率遥感影像智能解译的难点与挑战	10
1.3.1 精细描述高分辨率遥感影像内容面临的挑战	11
1.3.2 高分辨率遥感影像解译面临的挑战	13
本章小结	15
主要参考文献	15
第 2 章 高分辨率遥感影像解译基础	18
2.1 高分辨率遥感影像智能解译机理	18
2.1.1 遥感影像目视解译原理	18
2.1.2 视觉信息处理机制	19
2.2 高分辨率遥感影像数据——信息转化的理论与方法	21
2.2.1 综合视觉与非视觉特性的对地观测数据——信息转化	21
2.2.2 影像及影像对象层	24
2.2.3 影像对象描述层	24
2.2.4 影像对象解译层	25
2.3 影像对象与地理实体	26
2.3.1 从像素、影像块到影像对象	26
2.3.2 目标的检测与智能定位	28
2.3.3 地球空间对象的提取及面临的问题	29
2.4 影像对象的特征提取与内容描述	30
2.4.1 影像对象特征提取与描述方法	30
2.4.2 影像块及其视觉单词的描述与表达	31
2.4.3 生物视觉启发的影像特征提取与描述	33
2.4.4 影像对象的特征提取与内容描述面临的问题	36

2.5 遥感影像的智能解译	36
2.5.1 影像对象的识别与分类	37
2.5.2 影像的相似性检索	38
2.5.3 影像目标的检测与识别	38
2.5.4 遥感影像智能理解面临的几个问题	39
本章小结	42
主要参考文献	43
<b>第3章 面向对象的影像分析基础</b>	<b>47</b>
3.1 高分辨率遥感影像阴影检测技术研究现状	47
3.1.1 阴影形成的物理机制	47
3.1.2 主要阴影检测技术概述	48
3.2 高分辨率遥感影像的阴影检测	50
3.2.1 遥感影像的阴影特征分析	50
3.2.2 基于 MFI 的阴影检测	56
3.2.3 基于 SAFS 的阴影检测	60
3.2.4 实验分析与评价	67
3.3 影像分割技术及其发展	83
3.3.1 影像分割的概念	83
3.3.2 影像分割技术的发展现状	84
3.3.3 影像分割在遥感中的应用	85
3.4 基于边缘信息的邻域 FCM 聚类分割方法	88
3.4.1 EFLICM 聚类方法	88
3.4.2 边缘信息的获取	90
3.4.3 邻域模板权重	93
3.4.4 加权空间邻域聚类算法	94
3.4.5 实验分析与讨论	95
3.5 综合纹理、形状和光谱信息的遥感影像分割	108
3.5.1 基于图模型的影像分割框架	109
3.5.2 纹理、形状和光谱信息的距离模型	111
3.5.3 基于距离模型的影像分割算法	116
3.5.4 实验结果与分析	118
3.5.5 定量评价	120
3.6 分割精度评价与影像对象的尺度选择	123
3.6.1 基于对象的精度评价方法	124
3.6.2 对象的尺度选择与融合	126
本章小结	130
主要参考文献	131

第 4 章 影像对象特征提取技术	135
4.1 高分辨率遥感影像特征提取、选择与降维	135
4.1.1 低层次特征提取研究现状	135
4.1.2 特征选择研究现状	138
4.1.3 流形学习与降维概述	140
4.2 中等复杂度的图像块特征提取及分析	141
4.2.1 图像“块特征”的信息度量	142
4.2.2 中等复杂度的图像“块特征”提取	144
4.2.3 层次“块特征”的提取	145
4.3 高分辨率遥感影像纹理的稀疏表示与分析	146
4.3.1 稀疏表示的数学基础	147
4.3.2 一种经典的稀疏表示算法——K-SVD	148
4.3.3 基于过完备字典和重构误差的遥感影像分类	150
4.3.4 高维影像纹理矩阵的低秩矩阵估计	153
4.4 影像对象的慢特征分析	157
4.4.1 慢特征分析原理	157
4.4.2 慢特征分析的数学基础	157
4.4.3 慢特征提取算法	159
4.4.4 遥感影像对象的慢特征分析	160
4.5 共享特征及其提取	164
4.5.1 共享特征概念	164
4.5.2 基于 AdaBoost 的共享特征提取	165
4.5.3 基于特征映射的共享特征提取	168
4.6 影像对象特征选择	171
4.6.1 局部加权判别投影特征选择	172
4.6.2 非对称局部判别的特征选择	179
4.6.3 局部加权判别投影特征选择实验分析与评价	181
4.6.4 非对称局部判别的特征选择实验分析与评价	188
4.7 层次流形学习与降维	194
4.7.1 层次流形思想	194
4.7.2 层次流形基本框架	197
4.7.3 监督的层次流形学习	200
4.7.4 层次邻接矩阵	201
4.7.5 最优非线性映射	203
4.8 层次流形学习分析与评价	205
4.8.1 监督流形学习面临的问题	205
4.8.2 样本外点学习	205

4.8.3	监督的层次流形学习算法	207
4.8.4	实验数据集及其设置	208
4.8.5	层次流形学习的参数分析与评价	211
4.8.6	影响层次流形监督分类的参数	214
4.8.7	对比实验分析与评价	217
	本章小结	221
	主要参考文献	223
<b>第5章</b>	<b>影像对象词包表示与主题模型</b>	<b>228</b>
5.1	从文本单词到视觉单词的发展	228
5.1.1	影像语义信息提取研究进展	228
5.1.2	文本信息处理与文本单词模型	229
5.1.3	影像视觉单词研究现状与进展	229
5.2	基于词包模型的遥感影像对象表达	231
5.2.1	图像块提取	232
5.2.2	图像块特征提取	233
5.2.3	视觉单词构造	234
5.2.4	视觉单词的直方图表示	234
5.2.5	基于视觉单词的遥感影像分类	234
5.3	多尺度视觉单词	238
5.3.1	视觉单词的空间与尺度关系	238
5.3.2	多尺度视觉单词的构造	241
5.3.3	实验分析与评价	242
5.4	BOW模型的歧义性分析	246
5.4.1	歧义性来源	247
5.4.2	视觉单词的歧义性	247
5.4.3	图像块量化的歧义性	249
5.4.4	稳健的遥感影像视觉单词构造方法	250
5.4.5	有监督的视觉单词及其遥感影像分类	253
5.5	主题模型及其基础	256
5.5.1	主题模型概述	256
5.5.2	相关的基本概念	257
5.5.3	模型求解	258
5.5.4	多条件学习	261
5.6	三种不同类型的主题模型	262
5.6.1	无监督主题模型	262
5.6.2	监督主题模型	268
5.6.3	半监督主题模型	269

5.7 遥感影像层次性主题发现分析与评价 .....	275
5.7.1 基于多尺度视觉单词的主题层次性 .....	275
5.7.2 实验分析与讨论 .....	276
5.8 半监督主题模型分析与评价 .....	280
5.8.1 实验数据 .....	280
5.8.2 模型设置 .....	281
5.8.3 半监督分类结果 .....	282
5.8.4 参数评价 .....	284
5.8.5 计算复杂度分析 .....	285
本章小结 .....	286
主要参考文献 .....	286
<b>第6章 遥感影像的相似性及其检索 .....</b>	<b>290</b>
6.1 概述 .....	290
6.1.1 相似性度量 .....	290
6.1.2 基于空间/光谱特征的遥感影像检索 .....	291
6.2 心理学相似性及其度量模型 .....	292
6.2.1 相似性与认知 .....	292
6.2.2 相似性量度公理 .....	294
6.2.3 几何相似性 .....	294
6.2.4 匹配相似性 .....	297
6.2.5 变换相似性 .....	298
6.2.6 特征相似性 .....	298
6.3 心理学相似性度量分析及其相似性检索 .....	302
6.3.1 心理学相似性度量分析 .....	302
6.3.2 相似性检索及其问题 .....	305
6.4 图像特征比率模型及其相似性检索 .....	306
6.4.1 诊断性模糊特征对比模型 .....	307
6.4.2 弱语义及其嵌入方法 .....	309
6.4.3 图像特征比率模型的特点 .....	310
6.4.4 实验与分析 .....	311
6.5 基于光谱特征对比相似性模型的相似性检索 .....	314
6.5.1 核 PCA 去除波段间的强相关性 .....	315
6.5.2 光谱的集合表示 .....	316
6.5.3 光谱相似性度量模型 .....	317
6.5.4 实验分析 .....	317
本章小结 .....	318
主要参考文献 .....	319

<b>第7章 遥感影像目标检测与识别技术</b> .....	322
7.1 概述 .....	322
7.1.1 图像目标检测与识别技术 .....	322
7.1.2 遥感影像目标检测与识别技术 .....	323
7.2 视觉选择注意机制及其计算模型 .....	325
7.2.1 视觉选择注意的生物学机制 .....	325
7.2.2 视觉选择注意的特性 .....	326
7.2.3 视觉选择注意计算模型的研究现状 .....	328
7.2.4 经典的自底向上的视觉注意计算模型 .....	330
7.3 变换域中的影像显著性分析 .....	333
7.3.1 基于离散余弦变换相位谱的方向显著性模型 .....	334
7.3.2 基于小波变换的方向特征显著性模型 .....	338
7.3.3 基于小波低通金字塔的颜色显著性模型 .....	349
7.4 基于自顶向下视觉注意机制的目标检测与识别 .....	351
7.4.1 基于全局特征线索的显著性 .....	352
7.4.2 基于局部特征线索的显著性 .....	358
7.4.3 基于上下文线索的显著性 .....	362
7.4.4 多线索引导的目标检测与识别 .....	368
7.5 旋转不变霍夫森林与遥感影像目标检测 .....	373
7.5.1 随机森林及其变种 .....	375
7.5.2 旋转不变霍夫森林方法 .....	377
7.5.3 颜色不变梯度及其随机森林判识能力增强 .....	380
7.5.4 基于CRIHF的遥感地物目标检测方法 .....	383
7.5.5 机场目标检测实验分析与评价 .....	384
7.5.6 住宅目标检测实验分析与评价 .....	389
本章小结 .....	392
主要参考文献 .....	393
<b>第8章 高空间分辨率遥感影像分类</b> .....	399
8.1 概述 .....	399
8.1.1 遥感影像分类方法研究现状 .....	399
8.1.2 高空间分辨率遥感影像分类研究现状 .....	400
8.2 基于特征分类器的模式分类 .....	403
8.2.1 图像分类存在的问题 .....	403
8.2.2 特征分类器原理 .....	405
8.2.3 典型特征分类器 .....	407
8.3 可调节的 $k$ -局部特征线分类方法 .....	411
8.3.1 最近邻特征线算法的缺点 .....	412

8.3.2	特征线的几个基本概念	413
8.3.3	局部约束线的分类与泛化分析	415
8.3.4	实验与结果分析	416
8.4	基于压缩凸包的遥感影像分类	419
8.4.1	引言	419
8.4.2	压缩凸包的几个基本概念	421
8.4.3	最近邻压缩凸包分类方法	425
8.4.4	局部压缩凸包分类方法	435
8.5	基于局部软性仿射包的遥感影像分类	441
8.5.1	软性仿射包的几个基本概念	442
8.5.2	局部软性仿射包	447
8.5.3	遥感影像分类实验	449
8.5.4	LSAH 与其他特征分类器的对比实验	453
8.5.5	特征流形与特征分类的关系	455
8.6	基于条件纹元森林的遥感影像分类	456
8.6.1	马尔可夫随机场	457
8.6.2	纹元森林	459
8.6.3	条件纹元森林	460
8.6.4	实验与分析讨论	463
8.7	基于拓扑权重的面向对象分类精度评价	468
8.7.1	综合像素级和对象级的精度评价方法	469
8.7.2	面向对象分类精度评价实验	472
	本章小结	476
	主要参考文献	477
<b>第 9 章</b>	<b>高空间分辨率遥感影像智能解译系统</b>	<b>484</b>
9.1	“译陆”系统概述	484
9.1.1	主要特色	484
9.1.2	主要应用领域	486
9.2	“译陆”系统(ELU V2.0)的主要功能	486
9.2.1	遥感影像预处理功能模块	486
9.2.2	遥感影像多尺度地块边界精确分割及提取功能模块	486
9.2.3	多种特征提取与定量分析功能模块	487
9.2.4	多种地块分类与分析功能模块	489
9.2.5	地块边界精确提取与人机交互编辑功能模块	489
9.2.6	分类后遥感影像变化图斑快速检测功能模块	489
9.2.7	多种格式的输入和输出、统计与自动评估功能模块	490
9.2.8	分割与分类工程的保存和打开功能模块	490

9.2.9 地块地类遥感影像样本库管理模块	490
9.2.10 灵活、方便的可视化和操作功能	491
9.3 实例分析与应用	491
9.3.1 土地利用分类标准	491
9.3.2 面向土地利用高分辨率遥感影像分类应用	492
9.3.3 基于影像图和调查成果数据库的变化监测应用	497
9.3.4 实例应用示范总结	500
本章小结	500
主要参考文献	500

彩图



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 高分辨率卫星遥感影像数据获取进展

高分辨率(very high resolution, VHR)遥感的发展是空间科技进步与军事需求的共同产物,20 世纪 90 年代以后逐渐进入商业和民用领域。1993 年美国商务部开始发放经营高分辨率遥感卫星的许可证。1994 年美国前总统克林顿批准间谍卫星可用于商业目的。随后,发达国家相继开展了“空间高分辨率遥感卫星”的研制和生产。1999 年 9 月,美国空间成像公司(Space Imaging)成功发射了世界上第一颗 1m 分辨率的遥感卫星——IKONOS 卫星。2001 年 10 月美国数字全球公司(Digital Globe)成功发射了首次突破米级(61cm)分辨率的“快鸟”(QuickBird)高分辨率遥感卫星,从此开启了全球高分辨率卫星遥感研制、军民两用的新时代。20 世纪 70 年代末 80 年代初,美国提出高光谱遥感概念模型并研制出成像光谱仪。此后,美国、加拿大、欧盟等发达国家和地区在高光谱遥感技术与方法方面做了大量工作,已形成涵盖不同光谱波段、不同空间分辨率、不同平台的高光谱遥感技术体系。而随着高分辨率遥感的发展,高空间分辨率的 SAR(synthetic aperture radar)卫星也已进入实用化阶段,2009 年美国已宣布放开 1m 分辨率 SAR 商业卫星的限制。现在,随着遥感卫星所携带传感器的工作波段覆盖从可见光、红外到微波的全波段范围,已经形成高空间分辨率光学卫星遥感、高光谱分辨率卫星遥感,以及新型的高分辨率星载 SAR 传感器对地观测的多体制、多分辨率的格局,能够提供覆盖全球的不同类型的高分辨率卫星遥感影像数据。

本章将以高空间光学、高光谱、SAR 等新型传感器的影像获取为主,介绍当今高分辨率遥感技术的发展及其最新进展,同时,随着新型卫星传感器重访周期大大缩短甚至达到 1 天左右,获得高时间分辨率的卫星遥感影像数据也将更加便捷。

### 1.1.1 高空间分辨率光学卫星遥感影像获取

自 2000 年以来,高空间分辨率遥感卫星逐渐成为商业遥感卫星的主流,也成为高空间分辨率遥感影像的重要数据源。除了 QuickBird 与 IKONOS 卫星外,早期的高分辨率遥感卫星还有:法国 SPOT 公司 2002 年 5 月 3 日发射的 SPOT-5 遥感卫星,可提供 2.5m 分辨率的影像数据;美国轨道成像公司(OrbImage)2003 年 6 月 27 日发射的 OrbView-3,能够提供 1m 分辨率的全色影像和 4m 分辨率的多光谱影像。中国台湾 2004 年 5 月 21 日发射的 2m 分辨率的福卫 2 号卫星(Formosat-2);印度 2005 年 5 月 5 日发射的 2.5m 分辨率的遥感制图卫星 IRS-P5(Cartosat-1);日本 2006 年 1 月 24 日发射的先进对地观测卫星 ALOS,携带了多种卫星传感器,其中 PRISM 传感器可以提供星下点空间分辨率为 2.5m 的立体影像数据,主要用于建立高精度数字高程模型;以色列成像卫星