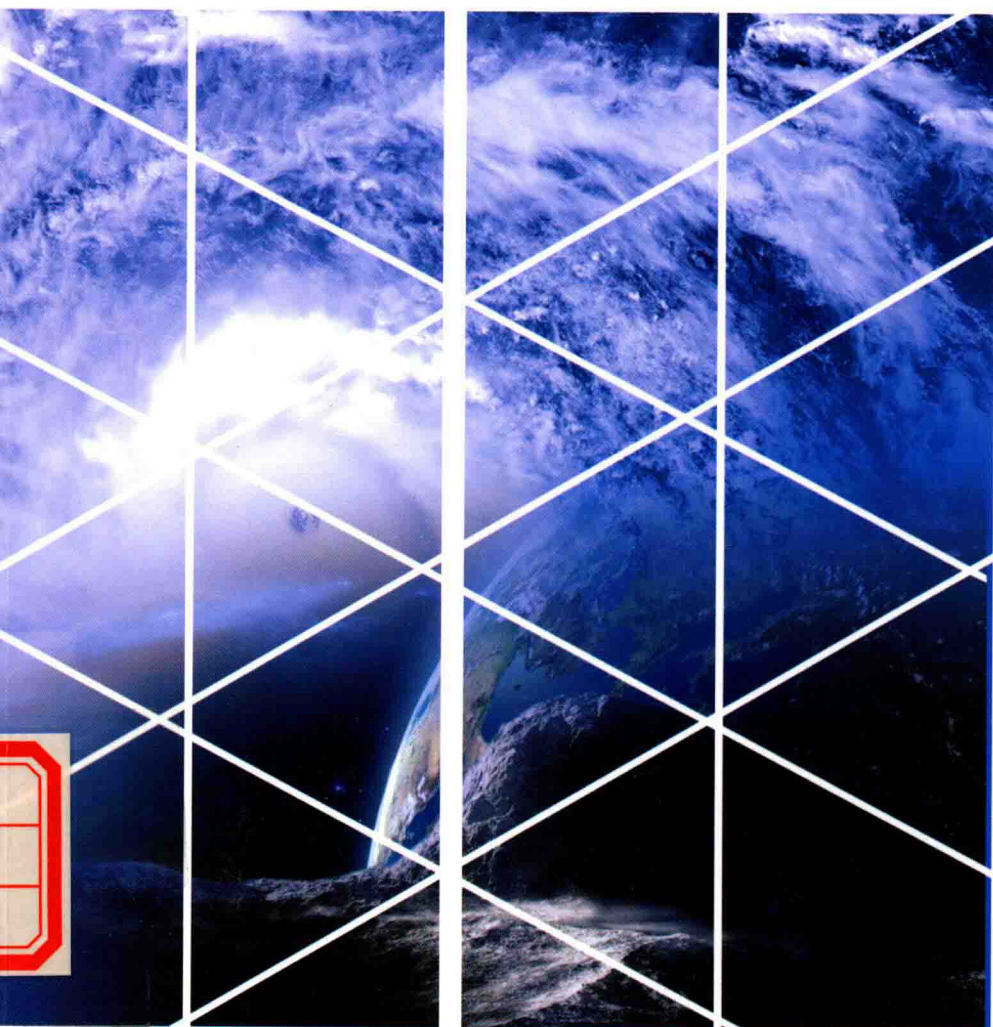




地球信息科学基础丛书

高空间分辨率遥感影像地学计算

◎ 刘建华 杜明义 著



 科学出版社

地球信息科学基础丛书

高空间分辨率遥感影像 地学计算

刘建华 杜明义 著

本书出版由以下项目资助

国家自然科学基金青年基金项目(41301489)

北京市自然科学基金项目(14D30094)

国家重点研发计划(2016YFB0501404)

北京市教委青年英才计划项目(YETP1647)

国家科技支撑计划项目(2012BAJ14B03)

北京建筑大学出版基金(CB2016009)

北京建筑大学建大英才(21082716012)

北京未来城市设计高精尖创新中心项目(UDC2016050100)

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书探讨高空间分辨率光学遥感影像工程化应用中的关键技术环节,包括遥感影像预处理、遥感影像多尺度分割、遥感分割尺度计算以及遥感专题应用,重点描述基于对象影像分析思想的高空间分辨率遥感影像地学计算的工程化方法体系,用实例说明在工程实践环节中存在的科学问题与应对技术。

本书可作为大中专院校遥感资源环境领域的研究生、科研人员、地学教育工作者以及遥感图像工程应用从业人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

高空间分辨率遥感影像地学计算 / 刘建华, 杜明义著. —北京: 科学出版社, 2017.2

(地球信息科学基础丛书)

ISBN 978-7-03-051636-7

I. ①高… II. ①刘… ②杜… III. ①空间分辨率-遥感图像-图像处理 IV. ①TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 020138 号

责任编辑: 彭胜潮 丁传标 赵 晶 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 图阅社

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 278 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

高分辨率遥感对地观测技术的发展日新月异,自 20 世纪 90 年代末美国 IKONOS 及 QuickBird 高空间分辨率遥感商业卫星发射以来,高分辨率卫星遥感发展已近 20 余载,诞生了在诸多行业领域的遥感专题应用系统及标志性创新成果。

进入 21 世纪以来,全球高分辨率遥感对地观测体系得到快速发展和完善。高分辨率遥感对地观测系统的总体发展趋势呈现出空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率、极化分辨率同时发展,对地观测数据质量和精度不断提高,多种分辨率对地观测数据综合应用,短覆盖周期、全天时、全天候观测能力加强,定量遥感技术稳步发展且在各领域的应用不断扩大,产业化发展迅速。高空间分辨率光学遥感影像所描述的地物几何与属性信息十分丰富,可更加直观和精细地表现出地物的空间结构和格局分布信息,它的出现使得在较小的空间尺度上观察地表细节变化、进行大比例尺遥感制图,以及监测人类活动对环境的影响成为可能;其在地图数据生产与更新、变化检测、地籍调查、城市规划、环境评价、精细农业、林业测量、军事目标识别和灾害评估等领域存在巨大的应用潜力,影像信息提取自动化程度低是其应用潜力得不到充分发挥的主要限制因素,是当前理论和应用研究中必须突破的瓶颈。

我国“高分专项”自 2010 年经过国务院批准启动实施以来,在“十二五”期间已经取得阶段性成果。“高分专项”工程是我国中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)的 16 个重大科技专项之一。该工程将统筹建设基于卫星、平流层飞艇和飞机的高分辨率对地观测系统,完善地面资源,并与其他观测手段结合,形成全天候、全天时、全球覆盖的对地观测能力,由天基观测系统、临近空间观测系统、航空观测系统、地面系统、应用系统等组成。目前,随着高分系列与资源系列卫星的陆续发射,以及其他商业遥感卫星观测系统(如“吉林一号”卫星群)统筹协调工作的大力推进,在国家相关遥感空间信息产业发展成果转化、技术扶持等政策的引导下,我国高分遥感商业化增值服务产业发展迅猛。

该书基于作者多年的行业研究实践积累,以及科研项目式教学方法的创新成果,按照基于对象的高分辨率遥感影像分析及工程化应用导向来组织全书的内容结构,涵盖基本概念归纳总结、高空间分辨率遥感影像预处理、高空间分辨率遥感影像多尺度分割、尺度计算最新研究进展,以及高分辨率遥感专题应用等方面,涉及基于对象遥感影像分析内容体系最新研究领域的多个方面,丰富了该领域的研究内容和技术成果。

基于对象的高空间分辨率遥感影像地学计算是一个新兴的研究领域，尚未形成一个完整的学科体系，作者在基于对象的高空间分辨率遥感影像地学计算及工程化应用创新方面寻求更广泛的交流，期望能为促进高分遥感信息服务行业的蓬勃发展助一臂之力。



2016年11月13日

前 言

受国防安全、经济建设、地学研究等多因素的强力推动,遥感对地观测技术日益精进,对地观测系统获取数据的能力和质量均得到大幅度提高,呈现出高空间、高光谱和高时间分辨率的发展趋势,尤其是近年来,随着航空倾斜摄影测量、激光雷达(light detection and ranging, LiDAR),以及高空间分辨率卫星遥感对地观测技术作为更加高效的空間数据采集手段的出现,对地观测系统获取空間数据的空間解析度和地物目标可辨识能力均得到大幅度提高,然而地物信息提取自动化程度低仍是这些数据应用潜力得不到充分发挥的主要限制因素,是理论和应用研究中必须突破的瓶颈。当前,影像数据量爆炸与处理能力严重不足的矛盾日益尖锐,发展更加高效的高空间分辨率遥感影像数据挖掘理论与技术方法迫在眉睫。

近 10 年来,研究人员相继提出了基于对象的遥感影像分析方法(geographic object-based image analysis, GEOBIA)及相关技术。作为“高分辨率对地观测的若干前沿科学问题”——遥感影像理解与信息提取核心技术之一的多尺度影像分割以任意尺度生成几何与属性信息丰富的物理影像基元(满足几何与光谱同质性准则的邻接像元集合),继而以物理影像基元为基本空間分析单元,利用其几何特征与光谱统计信息实现对地物语义影像目标(物理影像基元或由其组合形成的影像区域的地学语义描述)的自动识别与分类。由于空間分辨率高,大量光谱空間异质性大的语义影像目标内部光谱响应变异增大,高空間分辨率遥感影像上普遍存在“同物异谱”与“异物同谱”现象,这也是运用传统基于像元的方法进行分类或识别时精度较低的主要原因。迄今为止,已经实现的作为 GEOBIA 核心技术的多尺度分割方法仍存在不同程度的局限性,如分割尺度参数模型的适应性差、多尺度分割中对对象特征信息的利用与耦合不足、分割参数设置过多地依赖经验,以及多尺度分割对象与现实语义地物目标不一致等问题。因此,基于对象的高空間分辨率遥感影像信息自动提取工程仍停留在实验研究与半生产阶段。

本书初步探讨了基于对象的高空間分辨率光学遥感影像工程化应用中的几个关键技术环节,顾及分割效果的影像预处理、遥感影像多尺度分割、遥感分割尺度计算,以及遥感专题应用等方面,重点突出了基于对象影像分析思想的高空間分辨率遥感影像地学计算的工程化方法体系,实例化说明了在工程实践环节中存在的科学问题与应对技术。全书共分为 5 章。第 1 章简述了高空間分辨率遥感影像地学计算的数据源、存在问题及发展趋势;第 2 章讨论了高空間分辨率遥感影像预处理技术,重点分析了顾及多尺度分割效果的影像融合与滤波技术;第 3 章与第 4 章主要论述了高空間分辨率遥感影像多尺度分割方法,以及尺度计算理论研究进展,创新性地提出了基于对象影像分析思想的语义影像目标、物理影像基元,以及共生尺度计算等概念体系;第 5 章以高空間分辨率遥感影像地学计算的工程化应用为出发点,以工程实例化方式探讨了高空間分辨率光学遥感影像应用的整个过程。

从遥感影像工程的角度出发, 基于影像对象分析的思想, 进行多尺度影像特征高空间分辨率遥感影像地学计算研究, 着力探索遥感影像工程化应用的新技术和新途径, 对于发展和完善基于对象的影像识别与分类技术, 改善高空间分辨率遥感影像分类与目标识别的精度和自动化水平具有重要的理论和现实意义。随着我国“高分专项”重大发展战略的有序推进, 在高分辨率遥感行业诸多科研工作者与工程实践者的大力推动下, 期望 GEOBIA 理论与技术研发成果在我国“资源系列”与“吉林一号”等国产高分辨率遥感卫星数据上得到广泛的工程化应用。

在本书编写和出版的过程中, 得到了许多师长们的关心和支持。感谢毛政元教授、陈崇成教授以及汪小钦研究员的关怀, 感谢中国科学院遥感与数字地球研究所骆剑承研究员的关心, 感谢南京师范大学地理科学学院汤国安教授多年来的帮助。研究生程昊参与了全书文稿的校对工作。

基于对象的高空间分辨率遥感影像地学计算是一个正处于不断发展的新领域, 需要进一步探索的科学工程问题还很多。由于作者知识水平和行业经验有限, 书中难免出现疏漏和不足, 敬请广大读者批评指正。

刘建华

2016年7月于北京

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 高空间分辨率遥感影像	2
1.3 存在问题及发展趋势	4
1.3.1 存在问题	4
1.3.2 发展趋势	6
参考文献	6
第 2 章 高空间分辨率遥感影像预处理	9
2.1 高空间分辨率遥感影像预处理技术	9
2.2 高空间分辨率遥感影像融合处理	10
2.2.1 高空间分辨率遥感影像融合	10
2.2.2 影像融合实验	11
2.2.3 实验结论	18
2.3 高空间分辨率遥感影像滤波处理	19
2.3.1 影像滤波实验	19
2.3.2 实验结论	24
参考文献	26
第 3 章 高空间分辨率遥感影像多尺度分割	28
3.1 概述	28
3.2 高空间分辨率遥感影像分割方法	29
3.2.1 影像分割的相关概念	29
3.2.2 基于像元的分割方法	30
3.2.3 基于边缘检测的分割方法	32
3.2.4 基于区域的分割方法	33
3.2.5 基于物理模型的分割方法	33
3.2.6 结合特定数学理论、技术和方法的分割方法	34
3.3 高空间分辨率遥感影像分割的基本策略	35
3.4 高空间分辨率遥感影像的边缘信息提取	36
3.4.1 改进的 Canny 矢量边缘检测算法	37
3.4.2 改进的 Canny 加权矢量与标量边缘检测算法	39
3.4.3 矢量边缘检测及加权矢量与标量边缘检测实验	39
3.5 基于区域的高分辨率遥感影像分割方法	44
3.5.1 均值漂移向量的基本形式	45

3.5.2 均值漂移算法的扩展	46
3.5.3 多变量核函数密度估计	46
3.5.4 高分影像空值域联合的核密度梯度估计	48
3.5.5 空值域联合的多尺度均值漂移分割算法及流程	49
3.5.6 空值域联合的多尺度均值漂移算法分割实验	50
3.6 边缘区域集成的高分辨率遥感影像分割	64
3.6.1 边缘与区域集成的策略	64
3.6.2 AICMS 算法概述	66
3.6.3 AICMS 算法及流程	67
3.6.4 AICMS 算法分割实验	68
3.6.5 AICMS 与 eCognition®多尺度分割算法对比分析	96
参考文献	106
第 4 章 高空间分辨率遥感分割尺度计算	121
4.1 概述	121
4.2 尺度计算	122
4.2.1 尺度计算与高空间分辨率遥感影像多尺度分割	122
4.2.2 存在问题	124
4.3 遥感影像分割尺度计算分析	126
4.3.1 尺度计算基础理论	126
4.3.2 遥感影像分割尺度计算方法体系	127
4.4 基于矢量边缘的全局尺度计算	138
4.4.1 方法	138
4.4.2 实验与讨论	140
4.5 结论	152
参考文献	153
第 5 章 高空间分辨率遥感专题应用	157
5.1 水体应用	157
5.1.1 概述	157
5.1.2 分割轮廓自适应简化算法	158
5.1.3 实验及讨论	162
5.1.4 结论与展望	171
5.2 街景应用	171
5.2.1 概述	171
5.2.2 井盖目标定位识别算法	173
5.2.3 算法应用与实验结果	175
5.2.4 结论	177
参考文献	177

第1章 绪 论

1.1 概 述

受地学研究、经济建设和国防安全等多种因素的强力推动,遥感对地观测技术日益精进,对地观测系统获取空间数据的能力和质量均得到大幅度提高,呈现出高空间、高光谱和高时间分辨率的发展趋势,并因其几乎不受时空限制而逐渐成为获取空间数据的主流方式,在世界各国得到竞相发展。与此形成鲜明对比的是,受遥感影像数据处理环节的制约,遥感应用严重滞后于遥感技术本身的发展。在我国,航天遥感领域“重上天,轻应用”的现象仍然十分明显,现有国产卫星影像数据应用率偏低,这种现状直接导致了数据爆炸与知识贫乏的矛盾:一方面,大量遥感影像数据没有经过有效处理和充分使用,即被闲置;另一方面,各类应用部门却在为得不到规划、管理和决策所需的空间信息而发愁^[1-2]。近年来,随着遥感数据获取技术(如LiDAR、倾斜摄影测量等)的进一步发展,遥感影像的时、空、谱分辨率越来越高,影像数据量爆炸与处理能力严重不足的矛盾日益尖锐,发展更加高效的遥感影像数据挖掘理论与技术方法迫在眉睫。

高空间分辨率遥感影像是诸多遥感影像数据类型中的一种,它具有地物几何与属性细节信息丰富、目视效果直观等特点,在地图数据生产与更新、变化检测、地籍调查、城市规划、环境评价、精细农业、林业测量、军事目标识别和灾害评估等领域存在巨大的应用潜力,影像信息提取自动化程度低是其应用潜力得不到充分发挥的主要限制因素,是理论和应用研究中必须突破的瓶颈。

由于空间分辨率高,大量光谱空间异质性大的语义影像目标内部光谱响应变异增大,高空间分辨率遥感影像上普遍存在“同物异谱”与“异物同谱”现象,这是运用传统方法进行分类或识别时精度较低的主要原因^[3]。为了克服传统分类方法的不足,提高处理高空间分辨率遥感影像数据的精度和效率,近年来研究人员提出了基于对象的遥感影像分析方法^[4-9],其基本出发点是通过分割以任意尺度生成属性信息丰富的物理影像基元,再以物理影像基元为基本空间分析单元,利用其光谱、形状、纹理等属性信息实现地理对象,以及要素类型的自动识别与分类。目前,该方法已经成为高空间分辨率遥感影像分类与目标识别领域的主要发展趋势^[10-11]。

与传统分类方法(基于像元的遥感数据处理和分析)不同,基于对象遥感影像分析方法首先通过分割得到不同尺度的物理影像基元(也称为影像对象)^[12],再提取分割物理影像基元的各种特征,并在特征空间中对其进行地理对象识别和标识,完成信息提取与分类等工作。其中,影像分割是基于对象高空间分辨率遥感影像处理、分析、识别与理解的关键技术环节。与基于像元的遥感数据处理方法相比,基于对象遥感影像分析方法具有以下优点^[13]:其一,基于影像对象的分类与识别思想更符合人类的认知心理和习惯,

有利于同时利用计算机系统的定量分析功能和人类的直观形象推理能力进行交互式解释,改善影像分析和处理的结果。其二,以影像对象为基本空间单元,在分类与识别过程中可利用更加丰富的属性信息来判断对象间的同质性与异质性,为解决高空间分辨率遥感影像上普遍存在的“同物异谱”和“异物同谱”问题提供科学依据,在改善分类与识别精度的同时提高影像处理和分析的效率。其三,以影像对象为基本空间单元的分类与识别便于在处理过程中调用地理信息系统的空间分析功能,使得遥感影像的分类与目标识别结果可以更加方便地用于更新空间数据库,实现遥感和地理信息系统的集成。但从总体上看,基于对象遥感影像分析方法的相关研究目前仍处于起步阶段,理论和技术尚不成熟,其中最根本的困难或者说最大的阻力正是来自于遥感影像分割这个环节。迄今为止,已经实现的分割算法均存在不同程度的局限性^[14-23],如分割尺度参数模型的适应性差、多尺度分割中对象特征信息的利用与耦合不足、分割参数设置过多地依赖经验,以及多尺度分割对象与现实语义地物目标不一致等问题。因此,基于对象的高空间分辨率遥感影像信息自动提取仍停留在试验研究阶段。

从遥感影像工程的角度出发,基于对象影像分析的基本思想,进行多尺度影像特征高空间分辨率遥感影像地学计算研究,着力探索遥感影像工程化应用的新技术和新途径,对于发展和完善基于对象的影像识别与分类技术,改善高空间分辨率遥感影像分类与目标识别的精度和自动化水平具有重要的理论和现实意义。

1.2 高空间分辨率遥感影像

高分辨率遥感影像,一般是高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率影像的统称,按照传感器成像方式的原理,三者都有雷达影像与光学影像两个子类。如无特别说明,本书所提到的高分辨率专指高空间分辨率光学遥感影像(如 GeoEye、WorldView、QuickBird、IKONOS、航空影像等,亦为本书的主要研究对象)。高空间分辨率光学遥感影像(以下简称为“高空间分辨率遥感影像”或“高空间分辨率影像”或“高分辨率影像”或“高分影像”)所描述的地物几何与属性信息十分丰富,可更加直观和精细地表现出地物的空间结构和格局分布信息,它的出现使得在较小的空间尺度上观察地表细节变化、进行大比例尺遥感制图,以及监测人类活动对环境的影响成为可能。

20 世纪 90 年代“冷战”结束以后,俄罗斯将原苏联解体前从空间拍摄的高分辨率影像以低廉的价格出售给其他国家,美国政府也于 1994 年解除了对高于 10m 空间分辨率卫星遥感数据的商业销售禁令,从而使得高空间分辨率遥感真正走进了应用市场。近年来,高分辨率遥感卫星服务的商业化发展进一步促进了基于高空间分辨率影像数据的科研与应用。

自 1999 年以来,美国 IKONOS II 号 1m 分辨率和 QuickBird 0.61m 分辨率卫星遥感影像数据占据了全球高分辨率遥感影像数据的主要市场,并得到了非常广泛的应用,成为了高空间分辨率遥感影像的代表,大大缩小了卫星影像与航空影像之间分辨能力的差别,打破了较大比例尺测图只能依靠航空遥感的局面。当前空间分辨率最高的商用遥感卫星传感器 GeoEye 的全色影像空间分辨率高达 0.41m。

表 1-1 列出了当前主要的高空间分辨率商业卫星传感器。

表 1-1 当前主要的高空间分辨率商业卫星传感器

卫星/传感器	国家或地区	发射日期 (年-月-日)	空间分辨率	幅宽/km
IKONOS-2	美国	1999-9-24	全色 1m, 多光谱 4m	11
EROSA-1	以色列	2000-12-5	1.8 m	14
QuickBird-2	美国	2001-10-18	全色 0.61m; 多光谱 2.44m	16
SPOT-5	法国	2002-5-4	全色 2.5m, 多光谱 10m	全色 120
OrbView-3	美国	2003-6-26	全色 1m, 多光谱 4m	8
RocSat-2	中国台湾	2004-4-20	全色 2m, 多光谱 8m	24
IRS CartoSat-1	印度	2005-5-4	全色 2.5m	30
Beijing-1	中国	2005-10-27	全色 4m, 多光谱 32m	全色 24
TopSat (SSTL)	英国	2005-10-27	全色 2.5m, 多光谱 5m	全色 10
ALOS	日本	2006-1-24	全色 2.5m, 多光谱 10m	全色 35
IRS CartoSat-2	印度	2006-3-30	全色 1m	10
TerraSAR-X	德国	2006-4-15	1m	
EROS-B	以色列	2006-4-25	全色 0.7m, 多光谱 2.5m	16
COMPSAT-2	韩国	2006-5-1	全色 1m, 多光谱 4m	15
Resurs DK-1 (01-N5)	俄罗斯	2006-5-1	全色 1m, 多光谱 3m	28
RadatSat-2	加拿大	2006-12-15	3m	
COSMO-Sky-Med-1,2,3	意大利	2007-6-8 2007-12-9 2008-10-25	1m	
WorldView-1,2,3	美国	2007-9-18 2009-10-6 2014-8-13	1,2:全色 0.46m, 多光谱 1.8m(8 波段) 3:全色 0.31m, 多光谱 1.2m(8 波段)	1,2:16; 3:13.1
GeoEye-1	美国	2008-9-6	全色 0.41m, 多光谱 1.65m	15.2
资源三号	中国	2012-1-9	前视、后视: 3.5m 正视: 2.1m 多光谱: 5.8m	52
高分一号	中国	2013-4-26	全色 2m, 多光谱 8/16m	60/800
高分二号	中国	2014-8-19	全色 1m, 多光谱 4m	45
吉林一号	中国	2015-10-7	全色 0.72m, 多光谱 2.88m	

进入 21 世纪后, 全球高分辨率遥感对地观测体系得到不断发展和完善。高分辨率对地观测系统的总体发展趋势为空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率、极化分辨率同时发展, 对地观测数据质量和精度不断提高, 多种分辨率对地观测数据综合应用, 短覆盖周期、全天时、全天候观测能力加强, 定量遥感技术稳步发展且在各领域的应用不断扩大, 产业化发展迅速^[1]。

1.3 存在问题及发展趋势

1.3.1 存在问题

随着航空倾斜摄影测量、激光雷达(light detection and ranging, LiDAR)和高空间分辨率卫星遥感对地观测技术作为更加高效的空间数据采集手段的出现,对地观测系统获取空间数据的空间解析度和地物目标可辨识能力均得到大幅度提高,然而地物信息提取自动化程度低仍是这些数据应用潜力得不到充分发挥的主要限制因素,是理论和应用研究中必须突破的瓶颈。

近 10 年来,研究人员^[1, 14, 24-35]相继提出了基于对象的遥感影像分析方法(geographic object-based image analysis, GEOBIA)及相关技术;作为“高分辨率对地观测的若干前沿科学问题”——遥感影像理解与信息提取^[26]核心技术之一的多尺度影像分割以任意尺度生成几何与属性信息丰富的物理影像基元(满足几何与光谱同质性准则的邻接像元集合),继而以物理影像基元为基本空间分析单元,利用其几何特征与光谱统计信息实现对地物语义影像目标(物理影像基元或由其组合形成的影像区域的地学语义描述)的自动识别与分类。目前,基于 GEOBIA 方法且已经初步商业化的多尺度影像分割方法以集成在 eCognition®和 Feature Analysis®软件中的算法为代表;此外,各类文献介绍的影像分割方法及实现的算法很多^[12, 20, 23, 37-39];但这些方法或算法应用于高空间分辨率遥感影像分割时仍明显存在以下 3 方面的局限性。

1. 地物语义影像目标空域尺度与多特征值域尺度的自适应精确计算问题

问题 1 是多尺度影像分割方法研究领域的一个核心问题^[33-37, 40-44]。GEOBIA 中的尺度应该是指,在多尺度影像分割过程中由物理影像基元构成的分割区域所对应的语义影像目标几何与光谱特征模式异质性最小的阈值。一般语义影像目标与有待识别或分类的物理影像基元之间的匹配程度(主要包括几何轮廓与光谱特征两方面)是检验分割算法优劣的最佳准则^[52, 69]。然而,由于地理对象空间分布的尺度差异性,以及高空间分辨率遥感影像数据自身的复杂性(如高分辨率影像是一个多尺度地物分布的复杂统一),很难在一定的分割尺度参数(不能用单一的尺度来描述其特性,并且这些参数都需要人为的确定,有时甚至需要目视解译修改对象的属性等^[26];笔者认为其算法缺乏自适应性)条件下实现语义影像目标与物理影像基元两者的统一。分割参数设置过多依赖经验,导致影像分割与识别过程自动化程度降低且分割精度下降;过度的参数依赖性与不确定性、处理目标的单一性,造成方法普适性较差。分割得到的物理影像基元在当前兴趣尺度下的不合理合并或拆分,是导致不一致性问题的技术根源(其一,物理影像基元存在粗差;其二,合并或拆分规则不合理)。此外,对语义影像目标的定义需要符合影像理解的层次性特点,对已经构成了一个微观复杂格局的语义影像目标群,必须通过空间格局分析等途径给予最终识别与理解,仅寄希望于物理影像基元的归并来获取更高尺度层次的地物语义影像

目标显然是不合理的(类似于地图概括理论)^[47]。显然,目前提出的尺度计算模型或方法均无法有效避免上述问题:①基于光谱值域统计计算获取尺度,这类方法本质上还是基于传统像元光谱特征分析的思想。例如,平均局部方差法^[40]及其改进的方法^[33,41-43,51-53](面积相对差法),基于信息熵的方法^[34]等均存在局限性(忽略或难以自适应量化在光谱值域统计计算时空域尺度差异和统计类别间及类别内地物目标间的尺度差异性)。此外,eCognition®软件集成的多尺度分割算法同时运用光谱异质性统计值和形状异质性指数(紧凑度和平滑度)来约束生成的物理影像基元,但该算法的这些参数值不能自适应定量获取,必须由大量随机性人工尝试来确定。因此,如何从影像自身的性质出发确定合理的分割参数、尽可能地利用先验知识指导分割、通过减少主观因素的制约优化现有算法将成为该研究领域努力的主要方向。②地物语义影像目标尺度与地物类别最优尺度。高空间分辨率遥感影像具有描述地物几何与属性细节信息丰富、目视效果直观等优点,其已具备作为地物识别基础数据的基本潜质。“类内同质性大,类间异质性大”等准则已不适用于高空间分辨率遥感影像精细化尺度计算;显然即便是同类地物之间,其空域尺度差异或光谱值域差异也可能很大(在高空间分辨率光学遥感影像中这类现象十分普遍且无法避免),该类地物目标之间并不具备理想的尺度相似性,地物类别最优尺度将难以达到对同类地物语义影像目标尺度的精细化描述。因此,理论与应用研究中应进一步探讨特定空域尺度条件下邻接物理影像基元间的区分与归并准则,并促使尺度层次实例化到具体地物语义影像目标等级。

2. 特定尺度条件下地物语义影像目标轮廓优化与概括问题

问题2是在问题1的基础上工程化应用面临的最迫切问题,其有效解决需借助问题3。在特定尺度条件下,地物语义影像目标轮廓优化与概括问题将是GEOBIA方法能否工程化成功应用的关键。基于物理影像基元多特征模式识别与分类可借鉴经典的模式识别理论与方法(目标识别方法本身已经较为成熟,可以参考当前人工智能与模式识别领域的最新研究成果),而进行地物语义影像目标轮廓优化与概括存在识别前预处理,以及识别后处理两种思路。eCognition®多尺度分割算法在分割时即运用形状异质性参数(紧凑度和平滑度)来约束生成物理影像基元的轮廓形状。地物语义影像目标轮廓优化与概括将涉及“语义鸿沟”的跨越难题,一般借助地物目标先验知识模型的后处理方式在地物语义影像目标轮廓优化与概括中将更具有优势,并有助于最终实现基于语义影像目标的GIS制图精度级别的轮廓线描述。目前,该方面研究成果主要以特殊地物类型^[14,35,48,53]如建筑物、道路、立交桥、绿地及水体等地物目标信息的提取为主。轮廓优化与概括的研究成果则多见于传统GIS地图综合中^[20,39,53,54],针对语义影像目标几何轮廓特点的优化与概括技术^[55-56]仍有待于更深入的研究,以破解GEOBIA方法工程化应用的瓶颈。

3. 对高空间分辨率光学遥感影像进行多尺度分割时数据自身的局限性问题

问题3是问题1与问题2的数据基础。对于高空间分辨率光学遥感影像(如GeoEye、WorldView、QuickBird等),由于空间分辨率大幅提高,大量语义影像目标内部光谱空间异质性响应变异急剧增大,影像上普遍存在“同物异谱”与“异物同谱”现象^[4,50],这是

运用传统基于像元的方法进行分类与识别时精度较低的主要原因,也是 GEOBIA 方法需着力解决的首要问题。LiDAR 点云数据能提供有助于地物目标识别的高程等信息,且便于对阴影及部分遮挡地物目标的识别,但同时其存在边缘精度问题^[57]及缺乏地物光谱和语义信息的缺点^[60]。最新研究表明^[57-60],将 LiDAR 点云数据与高空间分辨率遥感影像数据相结合是实现两者优势互补的基本途径,并且最新的机载激光雷达系统(如 Optech ALTM 等)大都集成了高分辨率多光谱成像仪,为两者进行联合处理提供了优质的数据源,为问题 1 和问题 2 的有效解决奠定了良好的数据基础。

综上所述,自适应分割尺度粒度计算属于高空间分辨率遥感影像多尺度分割技术的关键,而基于多尺度影像分割的对象获取技术则是 GEOBIA 的核心问题。地理对象空间分布的尺度差异性^[61],以及高空间分辨率遥感影像数据自身的复杂性^[3, 14]增加了该问题求解的难度。

1.3.2 发展趋势

近 10 年, GEOBIA 技术已经得到了长足的发展,通过上述问题分析(简言之,即尺度问题、工程化应用问题,以及多源数据融合问题)可知,围绕这些问题的求解之道将是未来高空间分辨率遥感影像地学计算探索的主要趋势。

在利用 LiDAR 与高空间分辨率遥感影像数据互补优势的基础上,建议开展空域尺度与值域尺度联合的高空间分辨率遥感影像自适应分割尺度粒度计算方法研究。空域尺度能在分割过程中指导性地给出当前在何种影像空间范围内进行计算并获取最优物理影像基元,避免盲目性的全局或局部邻域窗口运算;值域尺度在相对给定空域尺度范围内计算和衡量光谱与高程等信息的同质性,两者的联合计算将对优化多尺度分割算法的自适应性和分割精度具有突破性的提高。

以基于权特征空间矢量边缘信息^[41, 62]空域尺度计算模型^[47]、给定空域尺度范围内空间自相关^[49, 63]多特征值域统计分析、空值域协同的邻域同质性测度为基础,针对自适应分割尺度粒度计算研究中的局限性,建议开展空值域联合的高分辨率遥感影像自适应分割尺度粒度计算方法研究,拓展多尺度分割的尺度计算理论基础,破解基于 GEOBIA 方法工程化应用中的关键技术问题,期望最终为解决高分辨率遥感影像自适应分割及影像信息自动化提取提供新的途径。

参 考 文 献

- [1] 周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 陈秋晓. 高分辨率遥感影像分割方法研究. 北京: 中国科学院. 地理科学与资源研究所博士学位论文, 2004.
- [3] 刘建华, 毛政元. 高空间分辨率光学遥感影像分割方法研究综述. 遥感信息, 2009, 6(9): 95-101.
- [4] Blaschke T, Strobl J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GeoBIT/GIS, 2001, 14:12-17.
- [5] Lobo A, Chic O, Casterad A. Classification of mediterranean crops with multisensor data: per-pixel versus per-object statistics and image segmentation. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(12): 2358-2400.
- [6] Blaschke T, Lang S, Lorup E, et al. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and

- perspectives for environmental applications. *Environmental Information for Planning*, 2000, 2: 555-570.
- [7] Baatz M, Schäpe A. Multiresolution segmentation-an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation// Strobl J, et al. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag, 2000: 12-23.
- [8] Schiewe J, Tufte L, Ehlers M. Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. *GIS-Zeitschrift für Geoinformationssystem*, 2001, (6): 34-39.
- [9] Giada S, Groeve T D, Ehrlich D. Information extraction from very high resolution satellite imagery over Lukole refugee camp, Tanzania. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24 (22): 4251-4266.
- [10] Wang Z, Wei W, Zhao S. Object-oriented classification and application in land useclassification using SPOT-5 PAN imagery. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2004, 5 (5): 3158-3160.
- [11] Hurd J D, Civco D L, Gilmore M S. Tidal Wetland Classification from Landsat Imagery Using an Integrated Pixel-Based and Object-Based Classification Approach. Reno, Nevada: ASPRS 2006 Annual Conference, 2006.
- [12] 章毓晋. 图象分割. 北京: 科学出版社, 2001.
- [13] 蔡银桥, 毛政元. 基于多特征对象的高分辨率遥感影像分类方法及其应用. *国土资源*, 2007, (9): 77-81.
- [14] 宫鹏, 黎夏, 徐冰. 高分辨率影像解译理论与应用方法中的一些研究问题. *遥感学报*, 2006, 10 (1): 1-5.
- [15] Fu K S, Mui J K. A survey on image segmentation. *Pattern Recognition*, 1981, 13 (1): 3-16.
- [16] Pal S K. A review on image segmentation techniques. *Pattern Recognition*, 1993, 26 (9): 1277-1294.
- [17] Skarbek W, Koschan A. Colour Image Segmentation-A Survey. [http://imaging.utk.edu/~koschan/paper/coseg\[2016-7-15\]](http://imaging.utk.edu/~koschan/paper/coseg[2016-7-15]).
- [18] 罗希平, 田捷, 诸葛婴, 等. 图像分割方法综述. *模式识别与人工智能*, 1999, 12 (3): 300-312.
- [19] 王爱民, 沈兰荪. 图像分割研究综述. *测控技术*, 2000, 19 (5): 20-24.
- [20] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition*, 2001, 34 (12): 2259-2281.
- [21] 林瑶, 田捷. 医学图像分割方法综述. *模式识别与人工智能*, 2002, 15 (2): 192-204.
- [22] 林开颜, 吴军, 徐立鸿. 彩色图像分割方法综述. *中国图象图形学报*, 2005, 10 (1): 1-10.
- [23] Zhang Y J. Advances in Image and Video Segmentation: An Overview of Image and Video Segmentation in the Last 40 Years. [http://www.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/3_5.htm\[2016-7-15\]](http://www.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/3_5.htm[2016-7-15]).
- [24] Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010, 65 (1): 2-16.
- [25] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58 (3-4): 239-258.
- [26] 李德仁, 童庆禧, 李荣兴, 等. 高分辨率对地观测的若干前沿科学问题. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42 (6): 805-813.
- [27] 陈述彭. 地学信息图谱的探索研究. 北京: 商务印书馆, 2001.
- [28] 骆剑承, 周成虎, 沈占锋. 遥感信息图谱计算的理论方法研究. *地球信息科学学报*, 2009, 11 (5): 664-669.
- [29] 刘永学, 李满春. 基于边缘的多光谱遥感图像分割方法. *遥感学报*, 2006, 10 (3): 350-356.
- [30] 肖鹏峰, 冯学智, 赵书河, 等. 基于相位一致的高分辨率遥感图像分割方法. *测绘学报*, 2007, 36 (2): 146-151.
- [31] 张学良, 肖鹏峰, 冯学智. 基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法. *中国图象图形学报*, 2012, 17 (1): 142-149.
- [32] 李晖, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 结合光谱和尺度特征的高分辨率图像边缘检测算法. *红外与毫米波学报*, 2012, 31 (5): 469-474.
- [33] 黄惠萍. 面向对象影像分析中的尺度问题. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003.
- [34] 韩鹏, 龚健雅, 李志林, 等. 遥感影像分类中的空间尺度选择方法研究. *遥感学报*, 2010, 14 (3): 507-518.
- [35] Chen G, Hay G J. An airborne lidar sampling strategy to model forest canopy height from QuickBird imagery and GEOBIA. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115 (6): 1532-1542.
- [36] Gang C, Geoffrey J H, Luis M T, et al. Object-based change detection. *International journal of Remote Sensing*, 2012, 33 (14): 4434-4457.

- [37] Yang Jian, Li Peijun, He Yu hong. A multi-band approach to unsupervised scale parameter selection for multi-scale image segmentation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 94: 13~24.
- [38] Monteiro F C, Campilho A C. Performance evaluation of image segmentation. in *Proc. International Conference on Image Analysis & Recognition. ICIAR (1)*, 2006, 4141 (3): 248-259.
- [39] Vantaram S R, Saber E. Survey of contemporary trends in color image segmentation. *Journal of Electronic Imaging*, 2012, 21 (4): 177-187.
- [40] Wondcock C E, Strahler A H. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1987, 21 (3): 311-332.
- [41] Aplin P. On scales and dynamics in observing the environment. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27 (11): 2123-2140.
- [42] Espindola G, Câmara G, et al. Parameter selection for region-growing image segmentation algorithms using spatial autocorrelation. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27 (14/20): 3035-3040
- [43] 何敏, 张文君, 王卫红. 面向对象的最优分割尺度计算模型. *大地测量与地球动力学*, 2009, 29 (1): 106-109.
- [44] 陈春雷, 武刚. 面向对象的遥感影像最优分割尺度评价. *遥感技术与应用*, 2011, 26 (1): 96-102.
- [45] 于欢, 张树清, 等. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究. *中国图象图形学报*, 2010, 15 (2): 352-360.
- [46] Li Z L, Openshaw S. Algorithms for automated line generalisation based on a natural principle of objective generalization. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1992, 6 (5): 373-389.
- [47] 刘建华. 高空间分辨率遥感影像自适应分割方法研究. 福州: 福州大学博士学位论文, 2011.
- [48] 罗伊萍. LiDAR 数据滤波和影像辅助提取建筑物. 郑州: 解放军信息工程大学博士学位论文, 2010.
- [49] 张俊, 汪云甲, 李研, 等. 一种面向对象的高分辨率影像最优分割尺度选择算法. *科技导报*, 2009, 27 (21): 91-94.
- [50] Drägut L, Tiede D, Levick S R. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24 (6): 859-871.
- [51] Addink E, de Jong S, Pebesma E. The importance of scale in object-based mapping of vegetation parameters with hyperspectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73 (8): 905-912.
- [52] 李卉, 钟成, 黄先锋, 等. 集成激光雷达数据和遥感影像的立交桥自动检测方法. *测绘学报*, 2012, 41 (3): 428-433.
- [53] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitised line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 1973, 10 (2): 112-122.
- [54] 王家耀, 李志林, 武芳. 数字地图综合进展. 北京: 科学出版社, 2011.
- [55] Wu J W, Sun J, Yao W, et al. Building boundary improvement for true orthophoto generation by fusing airborne LiDAR data. // Stilla U, Gamba P, Juergens C, et al. JURSE - Joint Urban Remote Sensing Event-Munich. 2011., 1 (2): 125-128.
- [56] Liu J H, Zhang J, Xu F, et al. An adaptive algorithm for automated polygonal approximation of high spatial resolution remote sensing imagery segmentation contours. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 2014, 52 (2): 1099-1106
- [57] 李怡静, 胡翔云, 张剑清, 等. 影像与 LiDAR 数据信息融合复杂场景下的道路自动提取. *测绘学报*, 2012, 41 (6): 870-876.
- [58] 谭衢霖, 王今飞. 结合高分辨率多光谱影像和 LiDAR 数据提取城区建筑. *应用基础与工程科学学报*, 2010, 19 (5): 741-748.
- [59] 张永军, 吴磊. 基于 LiDAR 数据和航空影像的水体自动提取. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2010, 35 (8): 936-940.
- [60] Yogendera K K. Mapping Above Ground Carbon Using Worldview Satellite Image and LiDAR Data in Relationship with Tree Diversity of Forests. Netherlands: The University of Twente, 2012.
- [61] Sadahiro Y. Analysis of surface changes using primitive events. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15 (6): 523-538.
- [62] Liu J H, Mao Z Y. Vector and Scalar Edge Extraction from Multi-Spectral High Spatial Resolution Remotely Sensed Imagery (MHSRRSI) in Weighted Color Space[C]// International Conference on Multimedia Information NETWORKING and Security. IEEE, 2010: 932-935.
- [63] Tobler W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 1970, 46 (2): 234-240.