



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

谢欢 童小华 著

机载激光数据辅助的高光谱遥感影像 面向对象分类和精度分析

Object-based Classification and Accuracy Assessment of
Hyperspectral Image - Using Airborne Laser Scanning
Data as An Aid



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

谢欢 童小华 著

机载激光数据辅助的高光谱遥感影像 面向对象分类和精度分析

Object-based Classification and Accuracy Assessment of
Hyperspectral Image - Using Airborne Laser Scanning
Data as An Aid



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要研究了激光雷达数据的处理与集成方法;改进的面向对象的高光谱遥感影像;遥感分类专题数据精度评价的空间抽样检验方法。本书的主要创新工作在:集成了高光谱信息和高度信息,改进了基于光谱特征和像素的二进制编码方法;提出了基于概率的二进制编码匹配思想,建立了各种特征的概率模型;发现了用于影响目标地物提取的五个主要形状因子参数;提出了遥感数据分类精度评价的多层空间抽样方法,建立了多层空间抽样模型,为遥感数据分类的精度分析与评价提供了一种有效方法。

本书适用于测绘科学与技术、摄影测量与遥感等相关专业和领域的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

机载激光数据辅助的高光谱遥感影像面向对象分类和精度分析/谢欢,童小华著. —上海:同济大学出版社, 2017. 8

(同济博士论丛/伍江总主编)

ISBN 978-7-5608-7027-4

I. ①机… II. ①谢…②童… III. ①遥感图像-图像分析 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 093503 号

机载激光数据辅助的高光谱遥感影像面向对象分类和精度分析

谢 欢 童小华 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 李 杰 胡晗欣

责任校对 谢卫奋 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 12.75

字 数 255000

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-7027-4

定 价 88.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关佑红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何品晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城	莫天伟	夏四清	顾 明	顾祥林	钱梦騄
徐 政	徐 鉴	徐立鸿	徐亚伟	凌建明	高乃云
郭忠印	唐子来	閻耀保	黄一如	黄宏伟	黄茂松
戚正武	彭正龙	葛耀君	董德存	蒋昌俊	韩传峰
童小华	曾国荪	楼梦麟	路秉杰	蔡永洁	蔡克峰
薛 雷	霍佳震				

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姗 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际，喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行，倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时，我曾以《百年同济，大学对社会的承诺》为题作了演讲，如今看到付梓的“同济博士论丛”，我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果，也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色，向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学，历经 110 年历史风云，承古续今、汇聚东西，秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，发扬自强不息、追求卓越的精神，在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行，谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今，同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才，包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生，薪火相传，将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任，她的社会责任就是融入国家的创新体系之中，成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略作出系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首，强调创新是引领发展的第一动力，要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略，以科技创新为核心带动全面创新，以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近20年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学110周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于2016年9月,计划在同济大学110周年校庆之际出版110部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于2005—2016年十多年间的优秀博士学位论文430余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近170篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版110余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版 110 余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017 年 5 月

前言

高光谱遥感数据和机载激光雷达数据是两类不同特性的遥感数据。高光谱遥感数据具有丰富详细的地物光谱信息;而机载激光雷达数据是高密度的地面三维点云数据,具有较高的平面坐标精度和高程精度,但由这些散点描述的地物不连续,对地物的形状和属性等信息表达不足。因此,高光谱遥感数据的光谱信息与机载激光雷达的高程信息相结合,同时结合遥感影像的地物轮廓与形状等其他信息,进行基于特征(对象)的高光谱遥感分类,将有助于更好地实现遥感的地物分类与提取。这是本书研究的主题之一。同时,如何对遥感数据分类的精度进行评价一直是一个难题,特别是当用于精度评价的参考数据较难获取的时候。本书研究的主题之二即是基于空间抽样检验理论的遥感数据分类的精度分析与评价。

本书的主要研究目标包括:

- (1) 综合集成的遥感数据中获取的地物光谱、形状、大小和高程等信息,提出改进的面向对象的高光谱遥感影像分类方法;
- (2) 针对遥感数据分类的精度评价问题,提出评价遥感数据分类的多层空间抽样检验和评价方法。

本书的主要研究内容包括：综述国内外已有的研究并分析存在的问题，实现高光谱遥感数据和机载激光雷达数据的处理与集成方法；研究改进的面向对象的高光谱遥感影像二进制编码分类方法；研究遥感分类专题数据精度评价的空间抽样检验方法。

本书的主要创新工作在于：

(1) 集成了高光谱信息和高度信息等，改进了基于光谱特征和像素的二进制编码法，提出了基于对象的集成多种特征的高光谱遥感数据分类方法，实现了与目前常用方法相比更少的训练样本和更高的分类精度；

(2) 提出了基于概率的二进制编码匹配思想，建立了各种特征的概率模型，实现了二进制编码的最小距离和最大概率匹配算法；

(3) 发现了用于影响目标地物提取的五个主要形状因子参数：长宽比、面积、紧致度、矩形系数、不对称性，提出了基于直方图分析和积分值的形状因子最优编码规则和长度，揭示了编码长度对分类和地物提取的精度影响规律；

(4) 提出了遥感数据分类精度评价的多层空间抽样方法，建立了多层空间抽样的模型，实现了在不改变抽样量的基础上，利用其他辅助信息，提高空间抽样的精度和准确性，在用于精度评价的参考数据难以获取的情况下，为遥感数据分类的精度分析与评价提供了一种有效方法。

本书的主要工作和结论包括：

(1) 研究和提出了一种改进的二进制编码方法(Improved Binary Encoding, IBE)。原有的二进制编码法根据光谱特征进行遥感数据分类，是一种基于像素(Pixel)的分类方法；而本书改进的二进制编码方法以面向对象理论为基础，是一种基于对象(Object)的遥感数据分类方法。同时，改进的编码方法实现了高光谱数据和机载激光雷达数据等多

信息集成。根据提出的 IBE 法的规则、实际经验和用户需求,本书研究了目标地物信息的二进制编码表达方法,建立了 280 位的编码长度的图像对象和地物目标信息表达。

(2) 研究了将概率引入改进的二进制编码法的特征匹配方法。实现了目标编码和图像编码的最小距离匹配方法和最大概率匹配方法,提出了光谱、形状、高度等特征的概率模型,建立了整体概率的计算和权重设置。继而论证了不同的归属概率算法及参数对分类精度的影响,得出了如下结论:形状和高度信息的加入,有效地提高了高光谱遥感数据分类的精度,但若过于强调形状的权重将降低分类的精度。

(3) 定量研究了形状因子对高光谱遥感分类的影响,发现了长宽比、面积、紧致度、矩形系数、不对称性这五个参数是适宜于提取目标地物的重要因子。根据选取的形状因子,研究了改进的二进制编码方法中的形状因子的编码规则和编码长度,提出了依据形状因子直方图分布形状和积分值的最优编码规则,提出了对于每个形状或区域因子,5 位编码是在计算量和分类效率中取得较好平衡的编码长度,而不同形状因子的性质和直方图形状是决定最优编码原则的重要因素。

(4) 基于本书提出的改进的二进制编码方法进行了高光谱遥感影像的分类实验。在同等的实验条件下与最大似然、最小距离、马氏距离、平行六面体、二进制编码等分类方法相比,本书提出的方法没有最小训练样本要求,并且获取了更高的分类精度,精度提高了 4.2%~57.8%,证明了该方法的可行性。

(5) 研究并提出了遥感数据分类精度评价的多层空间抽样方法。建立了多层空间抽样的模型,旨在不改变抽样量的基础上,利用其他辅助信息,提高抽样的精度和准确性。通过对研究区三种不同精度的分类数据的对比实验,结果表明:采用分层随机抽样或空间随机抽样方法提

高了抽样的精度;不同精度的遥感专题数据,其抽样精度受抽样方法的影响程度不同;对于精度情况未知或较差的数据,更适合使用空间格网抽样的抽样方法。对于在用于精度评价的参考数据难以获取的情况下,本书为遥感数据分类的精度分析与评价提供了一种有效方法。

目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 选题背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 高光谱遥感影像信息提取与分类研究现状	3
1.2.2 机载激光数据处理与信息提取研究现状	6
1.2.3 面向对象的分类研究现状	9
1.2.4 遥感数据分类精度评价中的抽样研究现状	10
1.3 目前研究中存在的问题	12
1.4 本书的研究内容与方法	14
1.4.1 研究内容	14
1.4.2 研究方法与目的	16
1.5 本书的结构组织	19

第 2 章	遥感数据集成处理与分类及精度抽样评价理论基础	20
2.1	高光谱遥感影像的处理	21
2.1.1	HyMAP 几何纠正和正射纠正	21
2.1.2	HyMAP 辐射纠正	22
2.2	机载激光数据的处理	23
2.2.1	机载激光数据滤波处理	23
2.2.2	机载激光数据与高光谱遥感影像的影像匹配	24
2.3	集成机载激光数据信息的高光谱遥感影像面向对象分类的理论基础	25
2.3.1	图像直方图理论	25
2.3.2	图像分割与合并	25
2.3.3	二维物体形状表达方法	26
2.3.4	面向对象的影像分析	26
2.4	遥感数据分类精度评价和抽样的理论基础	27
2.4.1	遥感专题数据精度评价方法	27
2.4.2	统计抽样检验理论	27
2.5	本章小结	28
第 3 章	改进的二进制编码法——一种集成高度信息的面向对象的 高光谱遥感影像分类提取方法	29
3.1	概述	29
3.2	二进制编码法	30
3.3	研究方法	32
3.3.1	研究区域简介	32
3.3.2	流程图	33
3.3.3	影像分割	35
3.3.4	图像对象的二进制编码	35

3.3.5	目标对象的标准	39
3.3.6	特征匹配	40
3.4	研究结果	42
3.4.1	分类目标	42
3.4.2	分类实验	43
3.5	本章小结	51
第4章	引入概率的改进的二进制编码法与形状因子及编码长度	
	分析	53
4.1	概述	53
4.2	将概率引进特征匹配度的计算	54
4.2.1	概率的计算	54
4.2.2	实验和比较	58
4.2.3	分析和讨论	65
4.3	如何选取合适的形状因子	66
4.3.1	形状因子介绍	66
4.3.2	实验和分析	69
4.4	如何选择合适的编码长度和规则	76
4.4.1	面积的编码	77
4.4.2	不对称性的编码	80
4.4.3	紧致度的编码	81
4.4.4	长宽比的编码	82
4.4.5	矩形系数的编码	83
4.4.6	高程的编码	84
4.4.7	分析和讨论	85
4.5	本章小结	87