

激光三维遥感的 数据处理与特征提取

刘 春 陈华云 吴杭彬 著



科学出版社
www.sciencep.com

激光三维遥感的数据 处理与特征提取

刘 春 陈华云 吴杭彬 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

激光扫描测距技术是一种快速直接获取地形表面模型的技术。本书汇集了国家自然科学基金项目(40501061)和上海市教育委员会科研创新项目(10ZZ25)的主要成果。先简述了遥感发展的现状,分析了目前LIDAR研究的方向与内容;随后详细介绍了地面激光扫描的原理,总结了已有的地面激光扫描仪的各项指标的检校方法以及误差模型;在三维建模、特征线提取和数据压缩方面分别给出了处理算法;此外,针对机载激光扫描数据的内外业处理流程,详细推导了机载激光扫描的定位模型和误差传播模型;在粗差探测、数据分类、边缘特征提取和数据压缩方面,分别给出了相应的模型和算法;最后融合点云数据和多光谱影像的特征分析,给出了融合数据的分类、三维特征提取、水体提取、海岸线提取的方法。

本书可供从事激光扫描和遥感数据处理方面的研究人员和有关高等学校的师生阅读,也可供从事测绘和地理信息系统的相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

激光三维遥感的数据处理与特征提取/刘春,陈华云,吴杭彬著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025923-3

I. 激… II. ①刘…②陈…③吴… III. 三维-激光扫描-遥感数据-数据处理 IV. TN241

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第198994号

责任编辑:任静 潘继敏/责任校对:宋玲玲

责任印制:赵博/封面设计:耕者设计工作室

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>

西燕印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2010年1月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—3 000 字数:283 000

定价:40.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

激光扫描测距技术 (light detection and ranging, LIDAR) 是一种快速直接获取地形表面模型的技术。和微波以及传统的光学成像不同, LIDAR 传感器采用红外和近红外波长, 直接获得地面特征点在水平和垂直方向上的位置。这种技术直接将各种大型的、复杂的、不规则的、标准或非标准等实体或实景的三维数据完整地采集到计算机中, 从而为快速重构出目标的三维模型, 获得三维空间的线、面、体等各种制图数据提供了极大方便, 同时, 它所采集的三维激光扫描数据还可进行多种后处理工作, 如测绘、计量、分析、仿真、模拟、展示、监测和虚拟现实等。激光扫描测距技术按照平台可以分为地面激光扫描技术、机载激光扫描技术和星载激光扫描技术。

20 世纪 60 年代人类开始利用 LIDAR 技术进行试验, 机载 LIDAR 最早于 60 年代中期用于海道测量, 当时, 最先进可靠的一种设备叫做扫描海道测量机载激光雷达测量 (SHOALS) 系统, 美国等先后对用于深海测深和水道测量的机载激光测距系统进行试验并取得成功; 从 60 年代到 70 年代这段时期, 人们进行了多项试验, 结果都显示了利用激光进行遥感的巨大潜力, 其中包括激光测月和卫星激光测距。美国在 70 年代阿波罗登月计划中就应用了激光测距技术。

机载 LIDAR 技术在最近十几年才取得了重大进展, 研制出了精确可靠的激光测高传感器, 包括航天飞机激光测高仪 (shuttle laser altimeter, SLA)、火星观测激光测高仪 (Mars observer laser altimeter, MOLA) 以及月球观测激光测高仪 (lunar observer laser altimeter, LOLA)。随着机载 LIDAR 技术的不断成熟, 在机载 LIDAR 硬件设备方面, 欧美等发达国家的研究已经取得了大量成果并形成了商业化产品, 特别是机载系统正逐渐走向成熟化。

本书共分 6 章, 从地面激光扫描和机载激光扫描两个部分展开讨论, 全书所涉及的内容均为作者近几年在相关领域研究工作的总结。内容包括:

第 1 章绪论。简述遥感发展的现状, 遥感发展至今经历的几个阶段, 指出 LIDAR 在遥感中的地位, 分析了目前 LIDAR 研究的方向与内容, 明确指出本书的研究内容。

第 2 章地面激光扫描。详细介绍地面激光扫描的原理, 系统地整理国内外已有的地面激光扫描仪, 对各个公司产品的性能做了详细的比较。总结已有的地面激光扫描仪的各项指标的检校方法以及误差模型, 主要介绍六段解析模型、基线比较模型、角度检校模型。以 Leica 公司的 HDS3000 为例进行仪器的检校试验,

分别对三个检校模型进行了精度检校和误差分析。最后详细介绍常见地面激光点云数据格式。

第3章地面激光扫描数据分析和特征提取。详细地介绍地面激光扫描数据的预处理流程,简单地叙述数据预处理时涉及的软件使用,介绍大旋转角的空间直角坐标转换的简便模型,将激光扫描坐标系转化为实际应用中广泛采用的坐标系,并对模型的精度进行简单的分析。在三维建模方面介绍两种建模算法:自适应CS-RBF算法和多尺度的CS-RBF算法,并用实测数据利用自适应CS-RBF算法和多尺度的CS-RBF算法进行建模,对建模结果做了分析。在特征线提取方面,介绍等值线提取与其多分辨率的表达和轮廓特征线提取的算法。在数据压缩方面,对已有的压缩方法进行总结,并详细介绍激光扫描数据的地形压缩方法和基于真三维TIN的激光扫描数据压缩的算法。

第4章机载激光扫描。介绍机载激光扫描的五个硬件组成及四种激光扫描的工作原理,详细介绍机载激光扫描数据的外业获取方法和内外业处理流程,在内业处理过程中,介绍POS数据处理软件POSpac的使用方法,并对机载激光扫描获取的点云数据的存储格式的标准格式做了研究。并详细推导了机载激光扫描的定位模型,在定位模型的基础上进行了误差分析。

第5章机载激光扫描的数据分析和特征提取。研究机载激光扫描数据的处理方法。在粗差探测方面,研究了单一阈值法和活动阈值法。在数据分类方面,研究三种分类的算法:基于高程统计法、基于数据形态学算法和Mean Shift分类法。在边缘特征提取方面,研究图像处理的形态学处理在边缘提取中的应用。在数据压缩方面,研究基于不规则三角网的压缩算法和基于高程方向不均等三维格网的压缩算法。

第6章融合点云数据和多光谱影像的特征分析。在点云数据和多光谱影像融合方面,研究了两种数据几何配准和融合的方法。得到融合数据后,进一步研究了融合数据的分类、三维特征提取、水体提取、海岸线提取的方法。

本书在编写的过程中,得到了博士研究生孙伟伟、施蓓琦和硕士研究生张蕴玲、姚银银、杨璇、贾蓉和杨玲等的大力支持,他们极具价值的工作才使得本书能及时完成。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,请读者谅解并指正。

作者

2009年7月于上海

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感发展	1
1.1.1 遥感传感器的发展	2
1.1.2 国内外遥感新技术	5
1.1.3 摄影测量的研究现状	7
1.2 激光扫描测距技术的发展	12
1.2.1 激光扫描测距技术的发展历程	12
1.2.2 激光扫描测距技术的研究现状	14
1.3 主要研究内容	16
1.3.1 本书主要内容	16
1.3.2 本书结构	19
第 2 章 地面激光扫描	21
2.1 地面激光扫描的原理	21
2.2 部分地面激光扫描仪器性能参数	25
2.3 地面激光扫描仪的检校模型	29
2.4 地面激光扫描仪的精度检校和误差分析	32
2.5 数据格式分析	36
第 3 章 地面激光扫描数据分析和特征提取	41
3.1 激光扫描数据处理流程	41
3.1.1 工作流程	41
3.1.2 外业数据采集	41
3.1.3 内业数据处理	44
3.1.4 数据处理总结	49
3.2 激光扫描数据三维纠正与精度分析	50
3.2.1 激光扫描数据的坐标转换	50
3.2.2 应用实例	52
3.3 基于点云数据的真三维建模	55
3.3.1 RBF 内插原理	56
3.3.2 自适应 CS-RBF 算法	57
3.3.3 多尺度 CS-RBF 算法	59

3.3.4	三维建模效果显示	61
3.4	点云数据的特征提取	63
3.4.1	点云的等值线提取和多分辨率表达	63
3.4.2	轮廓线特征提取	70
3.5	地面三维激光扫描的数据压缩	72
3.5.1	激光扫描数据的地形压缩	73
3.5.2	基于真三维 TIN 的激光扫描数据压缩	78
3.5.3	压缩方法总结	83
第 4 章	机载激光扫描	84
4.1	机载激光扫描硬件系统	84
4.1.1	姿态测量装置 INS	84
4.1.2	精确定位装置 GPS	85
4.1.3	激光扫描系统	85
4.1.4	数码相机	86
4.1.5	系统控制器	87
4.2	机载激光扫描的原理	87
4.3	机载激光扫描的内外业处理流程	92
4.3.1	作业流程	92
4.3.2	机载激光扫描外业数据获取	92
4.3.3	机载激光扫描内业数据处理	94
4.4	机载激光扫描点云存储格式 LAS 分析	105
4.4.1	LAS 1.0 逻辑结构	105
4.4.2	LAS 1.1, LAS 1.2, LAS 2.0 的发展	107
4.5	机载激光扫描数据的精度和误差分析	109
4.5.1	机载 LIDAR 定位模型	109
4.5.2	误差来源分析	116
4.5.3	误差模拟与分析	119
第 5 章	机载激光扫描的数据分析和特征提取	128
5.1	点云数据的粗差探测	128
5.1.1	单一阈值法	128
5.1.2	活动阈值法	130
5.2	基于高程统计方法的点云数据分类	132
5.2.1	点云的高程统计直方图	132
5.2.2	基于最佳阈值分析的点云数据分割	133
5.2.3	示例与分析	136
5.2.4	结论	140
5.3	基于数学形态学的点云数据目标分类和提取	140

5.3.1 三维数字图像原理和三维数学形态学	140
5.3.2 基于三维数学形态学的点云数据目标提取	142
5.4 点云数据 Mean Shift 分类	145
5.4.1 基本 Mean Shift	145
5.4.2 扩展的 Mean Shift	146
5.4.3 Mean Shift 算法	148
5.4.4 实例分析	148
5.4.5 三种数据分类方法总结	150
5.5 点云数据分割和边缘特征提取	151
5.5.1 离散点云数据栅格化	151
5.5.2 数字图像的形态学处理	152
5.5.3 边缘提取	153
5.5.4 地物点分类	153
5.5.5 实例分析	155
5.6 基于点云数据的复杂城市数字地面模型获取	157
5.6.1 点云数据滤波预处理	157
5.6.2 克里金插值建模	158
5.6.3 城市区域数字地面模型提取实例	160
5.6.4 结论	164
5.7 机载激光扫描数据的压缩方法	165
5.7.1 基于不规则三角网的数据压缩方法	165
5.7.2 基于高程方向不均等三维格网的压缩方法	171
第 6 章 融合点云数据和多光谱影像的特征分析	178
6.1 点云数据和多光谱影像的融合方法	178
6.1.1 LIDAR 与影像的几何配准	178
6.1.2 LIDAR 与影像的融合	180
6.2 基于融合结果的 Mean Shift 分类	181
6.2.1 Mean Shift 算法介绍	181
6.2.2 颜色空间的转换	184
6.2.3 聚类参数的选取	185
6.2.4 分类误差与精度分析	188
6.3 基于融合结果的城市三维特征提取	189
6.3.1 点云聚类	190
6.3.2 地面点生成 DEM	191
6.3.3 在 DEM 上构建三维建筑物	192
6.3.4 在 DEM 上表达植被特征	193
6.4 基于融合结果的水体提取	195

6.4.1	研究方法	197
6.4.2	水体特征提取模型	198
6.4.3	结果对比和精度分析	202
6.5	基于融合结果的海岸线提取	205
6.5.1	研究数据介绍	205
6.5.2	研究方法	207
6.5.3	基岩岸线的提取	208
6.5.4	试验结果与精度评估	212
参考文献		216

第 1 章 绪 论

1.1 遥感发展

遥感是指在高空和外层空间的平台上,运用各种传感器获取反映地表特征的数据,通过传输、变换和处理,提取有用的信息,实现研究地面物体的空间形状、位置、性质、变化及其与环境的相互关系的一门现代应用技术学科。

就平台而言,遥感至今已经经历了地面遥感、航空遥感和航天遥感三个阶段。广义地讲,遥感技术是从 19 世纪初期(1839 年)出现摄影术开始的。19 世纪中叶(1858 年),就有人用气球从空中对地面进行摄影。1903 年飞机问世以后,便开始了航空遥感的第一次试验,从空中对地面进行摄影,并将航空影像应用于地形和地图制图等方面,可以说这揭开了当今遥感技术的序幕。1957 年,随着苏联发射第一颗人造卫星,人类便跨入航天遥感阶段。20 世纪 60 年代初遥感技术迅速发展,1972 年美国发射的第一颗陆地卫星是航天遥感的一个重要的里程碑。目前可利用的平台如表 1-1 所示。

表 1-1 各种遥感平台

遥感平台	高度	目的和用途	其他
静止卫星	36000km	定点地球观测	气象卫星(GMS 等)
圆轨道卫星(地球观测卫星)	500~1000km	定期地球观测	Landsat、SPOT 等
航天飞机	240~350km	不定期地球观测空间实验	
无线探空仪	100m~100km	各种调查(气象等)	
高度喷气机	10000~12000m	侦察、大范围调查	
中低高度喷气机	500~8000m	各种调查航空摄影测量	
飞艇	500~3000m	空中侦察、各种调查	
直升机	100~2000m	各种调查、摄影测量	
无线遥控飞机	500m 以下	各种调查、摄影测量	飞机、小型飞行器
牵引飞机	50~500m	各种调查、摄影测量	牵引滑翔机
系留气球	800m 以下	各种调查	
索道	10~40m	遗址调查	
吊车	5~50m	近距离摄影测量	
地面测量车	0~30m	地面实况调查	车载升降台

1.1.1 遥感传感器的发展

遥感技术产生至今,有了突飞猛进的发展,主要体现在传感器的发展。而航天遥感的传感器发展足以说明现代遥感传感器的发展状况。下面介绍几十年来,人类发射的卫星及其所载的遥感传感器。

1959年8月24日,美国发射的一枚“宇宙神C”(Atlas-C)洲际导弹,弹头上装有摄影机,人类首次从太空获得地球形象的影片。1960年11月,“泰罗斯号”试验气象卫星发射,卫星上装有红外波段传感器,可在夜间获得云图,又能测量地表和云顶温度。1968年,美国发射的地球同步观测卫星,安装了世界上第一台海洋雷达高度计,以试验卫星对全球大地水准面的测量能力。1972年7月23日,美国发射“陆地卫星1号”,用于探测地球资源与环境,搭载着用以收集地球信息的星载遥感器有多谱段扫描仪(MSS)和返束光导管摄像机(RBV)。1973年5月14日,美国在“天空实验室”首次装载微波散射计,用以实验测量海面风速、风向和温度,进行太空考察和遥感试验。1974年,美国发射地球同步气象卫星“SMS-1”,卫星上装载世界第一台可见光/红外自旋扫描辐射计,首次在地球同步轨道上实现了地球的昼夜观测。1975年,地球同步业务环境卫星“GOES”发射并投入业务使用,卫星上载有一部雷达高度计,用以测量海面高度,海面测高精度20cm。1978年6月26日,美国发射世界上第一颗海洋卫星“Seasat-A”,卫星上载有雷达高度计(ALT)、风场散射计(SASS)、微波辐射计(SMMR)、合成孔径雷达(SAR)和可见光/红外辐射计(VIRR),四部微波传感器用以全天候定量地提供大量的海洋信息,第一部合成孔径雷达地面分辨率达25m。1986年2月20日,法国在库鲁航天中心用欧洲空间局“阿里亚娜”火箭发射SPOT-1卫星,卫星上的电子耦合组件(charged coupled device, CCD)相机及其独特的倾斜取经方式,属于世界一流水平。1990年2月28日,美国发射了分辨率更高的当今世界上技术最先进的光学照相侦察卫星“KH-12”,采用了大口径光学镜头的CCD相机,应用当今最尖端的自适应光学成像技术,使地面分辨率达到0.15~0.1m,同时具有微光探测能力。1991年7月1日,欧空局(ESA)发射了欧洲遥感卫星1号,卫星在多模态微波传感器——主动微波仪(AMI)具有合成孔径雷达、波浪散射计和风场扫描仪三种模块功能。1992年2月,日本发射“日本地球资源卫星1号”,卫星上载有新一代合成孔径雷达和多波段CCD相机。1994年加拿大、美国、英国合作的“加拿大雷达卫星”(Radarsat)发射升空,采用全天候使用的合成孔径雷达为主要传感器。1999年10月,中巴合作研制的“资源1号”地球环境资源卫星发射升空。卫星上载有CCD相机、红外多光谱扫描仪、宽视场成像仪等。2003年10月17日,“IRS-P6”于印度空间发射中心发射升空,卫星上携带三个传感器:

多光谱传感器 LISS4、LISS3, 以及高级广角传感器 AWIFS, 接收空间分辨率为 5.8m 的全色图像信息和空间分辨率分别为 23.5m 和 56.0m 的多光谱图像信息。2005 年 5 月 5 日, 印度政府发射的遥感制图卫星 “IRS-P5”, 搭载有两个分辨率为 2.5m 的全色传感器, 连续推扫, 形成同轨立体像对。2006 年日本国家空间发展局研制的 “ALOS” 发射成功, ALOS 搭载有三个传感器: 全色遥感立体测绘仪 (PRISM)、可见光与近红外辐射计 (AVNIR-2)、相控阵型 L 波段合成孔径雷达 (PALSAR), 全色、多色图像信息的空间分辨率分别为 2.5m、10m。2007 年, 中巴 “CBERS-02B” 发射成功, 卫星上搭载了 19.5m 的中分辨率多光谱 CCD 相机和高分辨率 HR 相机, 其分辨率高达 2.36m。2008 年, 加拿大 MDA 公司为德国 RapidEye AG 公司设计的商业多光谱遥感卫星 “RapidEye” 成功发射, 搭载着分辨率达 6.5m 的照相机。

经过几十年的发展, 尤其是近三十年来, 遥感传感器发展迅速, 其种类越来越多, 得到数据的分辨率越来越高。目前遥感传感器可分为获取光谱信息的传感器、雷达成像类型的传感器和非图像类型的传感器。

1. 获取光谱信息的传感器

获取光谱信息的传感器属于被动遥感传感器, 是通过探测仪器获取和记录目标物体自身发射或是反射来自自然辐射源 (如太阳) 的电磁波信息的遥感系统。按照工作原理可分为摄影类型的传感器、扫描成像类型的传感器、高光谱成像仪和超光谱成像光谱仪。

摄影类型的传感器有框幅式摄影机、扫式摄影机、全景摄影机和多光谱摄影机。

扫描成像类型的传感器是逐点逐行地以时序方式获取二维图像, 有对物面扫描的成像仪和对像面扫描的成像仪两种形式。

(1) 对物面扫描的成像仪的特点是对地面直接扫描成像, 这类传感器有红外扫描仪、多光谱扫描仪、成像光谱仪、自旋和步进式成像仪及多频段频谱仪等。红外扫描仪是把目标的热辐射通过光电转换器件——红外探测器变成电信号, 然后用磁带记录, 阴极射线管回收图像。陆地卫星上的多光谱扫描仪 (multispectral scanner, MSS) 能对同一地段, 在同一瞬间进行逐行、多行 (6 行) 扫描, 获取多个波段 (4 个) 的影像。Landsat 系列的 TM (thematic mapper) 专题制图仪是一个高级的多波段扫描型的地球资源敏感仪器, 与多波段扫描仪 MSS 性能相比, 它具有更高的空间分辨率, 更好的频谱选择性, 更好的几何保真度, 更高的辐射准确性和分辨率。ETM+ 增强型专题制图仪是一台 8 光谱段的多光谱扫描辐射计, 与 TM 相比, 增加了 PAN (全色) 波段, 分辨率为 15m, 因而使数据采集速率增加, 采用双增益技术使远红外波段分辨率提高到 60m, 也增加了

数据的空间分辨率,改进后的太阳定标器使卫星的辐射定标误差小于5%,精度比 Landsat-5 约提高了一倍。

(2) 对像面扫描的成像仪成像的原理是瞬间在像面上形成一条线图像,甚至是一幅二维影像,然后对影像进行扫描成像,这类仪器有线阵列 CCD 推扫式成像仪、电视摄像机等。典型的对像面扫描成像仪是法国 SPOT 卫星上的 HRV 线阵列推扫式扫描仪。

高光谱成像仪不但具有连续的光谱(Landsat-5 的 MSS、TM, SPOT 卫星的 HRV 接受光谱是离散的)成像特征,而且还能描绘单个地物的光谱曲线,具有高空间分辨率和精细的光谱分辨率的特征。

超光谱成像仪成像的每一个像素都包含连续的波谱,可用于探测目标被反射或直射的本质信号的识别,能识别场景内具体构造,如矿藏、树木、部队的类型以及状况、构成结构等。

2. 雷达成像类型的传感器

雷达成像与航空摄影不同,航空摄影利用太阳光作为照射源,而雷达利用发射的电磁波作为照射源,属于主动式遥感。在进行遥感探测时,系统向被测目标物体发射特定的电磁波,获取目标物体反射此种辐射波的强度等参数。雷达具有全天时、全天候和一定穿透力的特性,雷达成像类型的传感器在遥感发展初期就受到广泛的关注。

雷达成像类型的传感器主要有真实孔径雷达、合成孔径雷达和相干雷达三种。

真实孔径雷达的空间分辨率,在航线方向决定于天线航向孔径尺寸,在斜距方向决定于发射脉冲宽度。波长与斜距确定后,航向分辨率的高低完全取决于雷达天线方位孔径的真实尺寸。真实孔径雷达的空间分辨率低,而且随飞行高度的增加而下降,所以一般只适用于低空飞机。

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)是一种相干成像雷达,利用飞行器与景物的相对运动产生多普勒频移,经过二维相关处理或匹配滤波处理获得高分辨率图像,适用于大面积的地表成像。

相干雷达(INSAR)是利用 SAR 在平行轨道上对同一地区获取两幅或两幅以上的单视复数影像来进行干涉,进而得到该地区的三维地表信息。

3. 激光扫描仪

激光扫描仪与之前的两种传感器不同,它得到的数据不是图像,而是具有三维空间信息和回光强度的点云数据。激光扫描属于主动式遥感,其脉冲信号能部分穿透植被,能快速、高精度和高空间分辨率地测绘森林或山区的真实地形,且

激光扫描仪不需要大量的地面控制点,采集速度快,将信息获取、信息处理及应用纳入同一系统之中,有利于提高自动化及高速化程度。由于具有这些优势,虽然激光扫描仪发展历史不长,但已经引起了人们的广泛关注,成为国际研究开发的热点技术之一。

1.1.2 国内外遥感新技术

1. 高分辨率小卫星

小卫星是指质量在 1000kg 以下、造价只在几十万至上千万美元、集多项高新技术为一体并且具有节约功能的卫星。由于小卫星具有研制周期短、发射方式灵活、成本和发射费用低廉的优势,近年来发展非常迅速。1999 年 9 月 Space Imaging 公司成功发射了第一颗高分辨率商业小卫星“IKONOS”。以色列 1995 年发射分辨率为 1.8m 的“地平线-3”小卫星,到 2007 年,“地平线-7”小卫星也成功升空,分辨率可达到 1m。部分高分辨率小卫星如表 1-2 所示。

表 1-2 部分高分辨率小卫星

国家	卫星	分辨率/m (全色/多色)	研制机构	发射时间
美国	IKONOS	1/4	Space Imaging	1999 年 9 月 24 日
	QuickBird	0.61/2.44	Digital Globe	2001 年 10 月 18 日
	WorldView-1	0.7/—	Digital Globe	2007 年 9 月 18 日
	GeoEye-1	0.41/1.65	GeoEye	2008 年 9 月 6 日
中国台湾	福卫 3 号	2/8	台湾“NSPO”、法国 Astrium 公司	2006 年 4 月
以色列	地平线-7	0.7/—	以色列国防部	2007 年 6 月 11 日
韩国	Kompsat-2	1/4	韩国宇宙航空研究院	2006 年 7 月 28 日
德国	RapidEye	5/—	加拿大 MDA 公司、德国 Rapid-Eye AG 公司	2008 年 8 月 29 日

2. 高光谱成像仪

高光谱遥感是高光谱分辨率遥感(hyperspectral remote sensing)的简称。它是在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内,获取许多非常窄的连续光谱的影像数据技术。其成像光谱仪可以收集到上百个非常窄的光谱波段信息。

20 世纪 80 年代初研制的第一代成像光谱仪——航空成像光谱仪(AIS)有 32 个连续波段,第二代高光谱成像仪——航空可见光/红外光成像光谱仪

(AVIRIS) 是首次测量全部太阳辐射覆盖的波长范围 ($0.4\sim 2.5\mu\text{m}$) 的成像光谱仪。美国宇航局于 1999 年底发射的中等分辨率成像光谱仪 (MODIS) 提供 $0.4\sim 14.25\mu\text{m}$ 的 36 个离散波段的图像。高分辨率成像仪 (HIRIS) 能获取 $0.4\sim 2.5\mu\text{m}$ 波长范围的 10nm 宽的 192 个连续光谱波段。表 1-3 列出了现有的一些成像光谱仪。

表 1-3 高光谱卫星

卫星	国家	探测器	光谱分辨率/ μm
EOS-AM1 EOS-PM1	美国	MODIS	0.42~14.24
EOS-AM1	美国	ASTER	0.52~11.65
EO-1	美国	Hyperion	0.4~2.5
ARIES-1	澳大利亚	ARIES	0.4~2.5

3. 雷达传感器

合成孔径雷达是一种高分辨率、二维成像雷达, 适用于大面积的地表成像。自 1978 年 6 月美国发射了第一颗载有 SAR 的卫星 Seasat 以后, 许多国家分别发射了用于海洋和陆地探测的 SAR 卫星及用于军事的高分辨率 SAR 卫星 (地面分辨率能够达到 1m 以下)。各国发射的 SAR 卫星如表 1-4 所示。

表 1-4 各国发射的 SAR 卫星

发射国	星载 SAR	发射时间/年
美国	Seasat-1	1978
	SIR-A	1981
	SIR-B	1984
	SIR-C	1994
	Lacrosse SAR	1997
	SRTM	2001
欧洲	ERS-1	1991
	ERS-2	1995
	XSAR	1994
	ASAR	2000
加拿大	Radarsat-1	1995
	Radarsat-2	2006
俄罗斯	Almaz-1	1991
日本	JERS-1	1992
	ALOS SAR	2006
印度	IRS-P7	2007
德国	TerraSAR-X	2007

4. LIDAR 传感器

从 20 世纪 70 年代美国宇宙航天激光测距到 1990 年德国 Stuttgart 大学 Ackermann 教授领衔研制的世界上第一个激光断面测量系统,近些年来,激光雷达在此基础上得到了迅猛地发展。TerraSolid 系列软件是第一套商业化 LIDAR 数据处理软件,该软件是基于 Microstation 开发的,运行于 Micorstation 系统上。

1.1.3 摄影测量的研究现状

1. 多光谱发展现状

多光谱遥感是对电磁波的不同波段做同步摄影的遥感,它分别获得各种地物在不同波段上的影像,不仅可以根据影像的形态和结构的差异判别地物,还可以根据光谱特性的差异判别地物,扩大了遥感的消息量。它作为一种有效的地物信息提取与监测的手段,得到了广泛的应用。目前,针对各种不同星载(航天)、机载(航空)的传感器,国内外的研究方向主要集中在以下几个方面。

1) 多光谱影像预处理的研究

多光谱数据的预处理,目前主要集中在几何纠正、图像配准、大气校正等几个方面。刘春等(2004)针对美国高分辨率卫星影像(IKONOS)以几何变形为主的特点,以相似变换作为影像纠正的基本模型,推导了纠正后任意点精度与控制点精度的关系,基于此选择采用空间插值方法,表达影像纠正后任意点不同方向上的点位的精度。卜坤等(2008)以 Delaunay 算法为基础,提出了基于二维平面剖分的、具有局部意义的矢量数据几何纠正算法。Ji 等(2000)针对机载多光谱遥感影像,提出了连续分段的几何纠正方法,改善了传统的多项式方法边缘匹配精度不高的缺点。刘春华(2008)提出了遥感图像的半自动配准,基于初步定位基础,利用模板相关的匹配方法,根据遥感图像之间灰度分布的相关性,选取数量丰富的配准控制点;利用相关系数准则进行图像间的相似性度量,可达到较高的配准精度。Arevalo 等(2008)提出了改进的分段线性变换方法,对影像的三角网进行优化,从而提高了高分辨率卫星的配准精度。Du 等(2009)探讨了影像的大气改正对多光谱数据基于 JPEG2000 标准压缩所产生的影响。

2) 多光谱影像数据压缩的研究

目前多光谱影像数据的压缩包括有损压缩和无损压缩两类,经过改进的小波变换与 SPHIT 算法较为常见,另外, JPEG2000 标准经常作为评判压缩效果的标准。罗建书等(2005)在分析多光谱图像小波变换后的系数特点的基础上,提出了一种基于整数小波变换的三维集合分裂嵌入块编码(3DSPECK)压缩方法,

该方法将小波变换压缩技术中的零树编码推广到多光谱图像压缩中。王菊花等(2001)在研究无失真压缩理论和多光谱图像特性的基础上,提出了一种新的基于波段排序的谱空间预测算法(band reordering spectral and spatial, BRSS),结合 Huffman 编码完成了对多光谱图像的无失真压缩,和其他几种预测方法相比, BRSS 有显著的优越性。Tian 等(2008)提出了基于 YCrCb 变换和整数小波变换的多光谱数据有损压缩方法,压缩后,亮度信息 Y 的扭曲较小,颜色信息 Cr 和 Cb 的扭曲则相对较大。Vladimirova 等(2006)则针对小型卫星上的多光谱图像,提出了基于改良的神经网络压缩方法,在多光谱信息发射回地面之前对其进行压缩。Khelifi 等(2006)基于目前压缩领域的 JPEG2000 标准,探讨了 3D-SPHIT 压缩算法的原理与实际应用该方法压缩的效果,并与 2D-SPHIT 算法进行了对比。

3) 基于实际应用的图像解译研究

多光谱遥感影像的解译方法,集中在目标识别及图像分类两大方面。而多光谱遥感影像的应用主要集中在以下几个方面:地表信息提取和洪水、地震等灾害的监测,需要对水域、山体、建筑等地物的提取;土地利用情况的调研,需要对森林、农作物等植被信息的提取;大气环境检测,则需要对地表大气中的悬浮物如气溶胶等颗粒进行检测。

早期的遥感水体信息提取方法主要利用目视解译,陆家驹等(1992)曾采用山地阴影间接判读方法对 TM 影像和航片进行了流域水系的目视判读,发现 TM 影像对流域水系分析非常有效。Rouse 等(1973)引入归一化植被指数(NDVI)后,多光谱影像中植被、水体等地物的自动提取效率得以大幅度提高。目前,绝大多数的地物目标探测与提取的方法都是基于图像分类的思想,或基于模式识别,或基于人工智能的各种分类方法相继出现。骆剑承等(2001)探讨了地学知识与人工神经网络融合进行遥感影像分类的方法,并与传统方法做了综合比较。蔡晓斌等(2006)以光谱均质单元“图斑”作为空间对象粒度的基本单元,在 ERDAS 专家分类系统中,根据图斑相邻关系以及 DEM 信息对初始分类结果进行了修正,提高了湿地、草地和农业用地的分类精度。Tomosada(2007)提出了一种混合像元的自动分类方法,相比传统的混合像元分类方法,在精度上有了改进,在效率上也有所提高。Pal(2008)采用了决策树分类方法,结合全色波段的纹理信息,对 ETM+ 的多光谱数据进行了分类,获得了比较好的分类精度。Chang 等(2006)采用包含 BGF 和 GPBF 两种算法的监督分类方法对多光谱遥感图像进行分类,来监测山体滑坡。Feng 等(2008)采用多光谱照相机(包括一块黑白 CCD 和 16 条窄波段的光谱仪)对植物病虫害进行监测。Papale 等(2008)则利用搭载了激光测高仪等辅助装置的机载多光谱传感器对硬质小麦的质量进行了评估。Hutchison 等(2008)通过自动云分类的算法,将 VIIRS 算法