

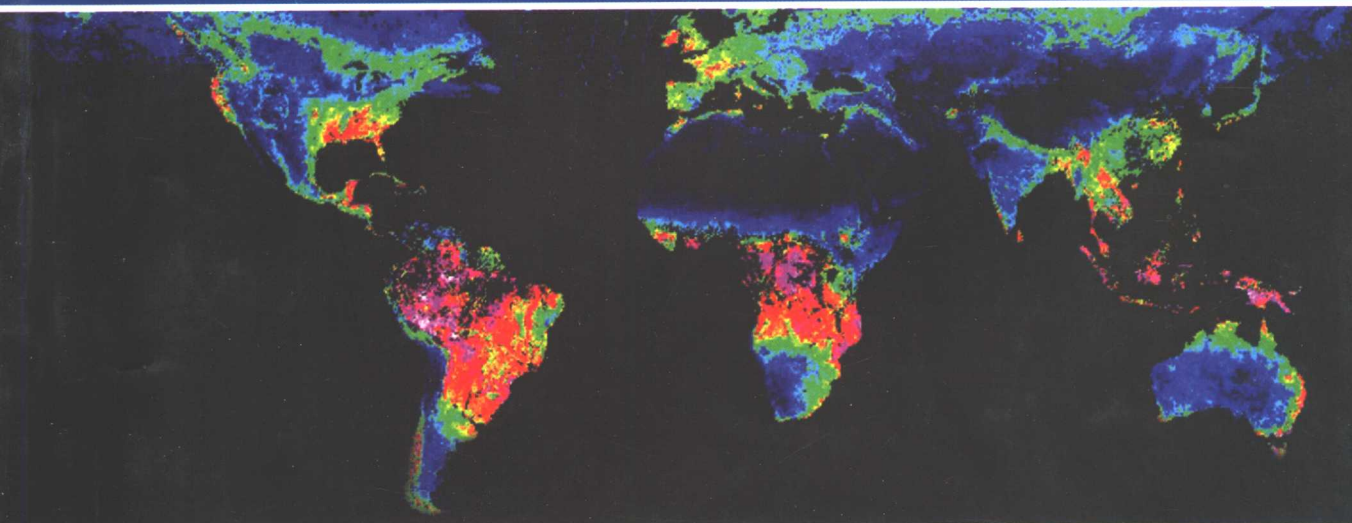
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

高光谱遥感

Hyperspectral Remote Sensing

张良培 张立福 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

73.78331
586

高等学校摄影测量与遥感系列教材

高光谱遥感

张良培 张立福 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高光谱遥感/张良培,张立福编著. —武汉:武汉大学出版社,2005.10
ISBN 7-307-04681-4

I. 高… I. ①张… ②张… III. 光谱分辨率—光学遥感
IV. TP722

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 093399 号

责任编辑:史新奎 责任校对:王 建 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北新华印务有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:10.625 字数:254千字

版次:2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

ISBN 7-307-04681-4/TP·172 定价:18.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

高光谱遥感技术是 20 世纪 80 年代出现的新型对地观测综合技术,始于成像光谱技术的发展。该技术最早由美国加州理工学院喷气推进实验室(Jet Propulsion Lab, JPL)的一些学者提出,并在美国宇航局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的支持下,相继推出了系列成像光谱仪产品。成像光谱仪是新一代“图谱合一”的光学遥感器,它具有获取地球目标详细光谱数据的能力,是当前监测地球环境动态变化、遥感定量反演等遥感应用最有效的空间遥感仪器。高光谱遥感技术是当前遥感技术发展的前沿技术之一。

高光谱遥感技术为遥感信息定量应用开辟了新的前景。高光谱遥感技术的发展得益于卫星技术、传感器技术以及计算机技术的高速发展,随着国内外一系列空间计划的实施以及系列高光谱传感器的研制成功,如机载航空成像光谱仪(Airborne Imaging Spectrometer, AIS)系列,航空可见光/红外成像光谱仪(Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, AVIRIS),星载中分辨率成像光谱仪(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS),高分辨率成像光谱仪(High Resolution Imaging Spectrometer, HIRIS),等等。这些已经投入使用的高光谱传感器以及即将发射的星载系列高光谱传感器,将极大地满足人们对高光谱数据的需求,高光谱遥感数据源有望得以保证,这必将进一步推动遥感信息实用化进程。但是,就目前遥感信息的处理能力来讲,其远远落后于遥感信息的获取能力。高光谱遥感同样面临技术、资金、人才三方面的难题。可喜的是,这方面的难题已经引起有关方面的高度重视,一系列国家重点基础发展计划都将遥感应用列入其中;高光谱遥感研究呈现出了前所未有的新局面,一些关键技术相继得到突破,部分关键技术有望不久得到彻底解决;国内许多高校纷纷成立了各种遥感研究中心和遥感实验室,大量研究成果陆续在各种刊物上发表。可以预见,在不久的将来,高光谱遥感及应用必将在我国国民经济各方面发挥越来越重要的作用。据悉,美国劳动部已经把地球空间技术与纳米技术、生物技术一起确定为新出现的和正在飞速发展中的三大最重要技术。地球空间信息产业的欣欣向荣和地球空间信息技术发展的美好前景使我们对未来高光谱技术的发展充满信心。

目前,高等院校的当务之急是培养大批遥感科学的后备力量。鉴于国内高光谱遥感的发展距离世界先进水平还有一段差距,其应用远没有得到较好的实施和普及,高光谱遥感方面的教材更是凤毛麟角,因此,有必要编写一本系统介绍高光谱遥感原理、高光谱处理技术及传感器定标、辐射纠正、大气校正等内容的教材,以满足高等院校教材建设之需求。

本书的编写是按照高光谱信息的获取、处理和应用为线索组织编写的。全书内容共五章,第一章概论,介绍了高光谱遥感的概念及发展;第二章地物光谱数据的获取与分析,介绍了电磁波、电磁辐射等遥感的理论基础,地物光谱数据的获取仪器及获取步骤,分析了地物的光谱特性;第三章地物光谱数据的重建,介绍了由卫星数据重建地物光谱数据的过程以及涉及的有关知识背景,包括大气及其影响、大气辐射传输理论、传感器的定标、大气校正等

内容;第四章高光谱遥感数据的处理,介绍了高光谱遥感数据处理的关键技术,包括光谱的特征选择与提取、光谱匹配、光谱微分、混合像元分解等技术;第五章高光谱遥感图像分类,介绍了高光谱遥感图像的分类方法,包括使用传统的监督分类、非监督分类的各种方法,以及一些针对高光谱数据的分类方法;第六章高光谱遥感的应用,介绍了高光谱遥感技术在农业、地质、森林、植被等方面的应用实例。

本书可作高等院校遥感专业及相关专业本科、研究生高光谱遥感课的教材使用,也可供从事高光谱遥感研究的人员及工程技术人员参考。

本书的出版得到了武汉大学教材建设经费的资助。武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室岑奕、沈焕锋、吴波、钟燕飞、王毅、赵银娣、黄微同学为本书编写提供了大量帮助,在此表示感谢。

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室高光谱研究室从事高光谱研究已有 10 余年,相继完成了国家重点基础研究发展计划 863 项目、国家重点基础研究发展计划 973 项目、国家自然科学基金项目以及日本宇宙航空研究开发机构 ADEOS-II/GLI 计划国际合作项目等重大课题,取得了一些科研成果,积累了宝贵经验,本书对我们所取得的较成熟的成果和经验进行了总结。为了保证图书体系、结构的完整,书中参考了他人的研究成果,在此表示感谢。由于高光谱遥感在我国的发展时间还不长,可供参考的资料有限,故本书的编写原则是力求系统全面,但由于学识和时间所限,难免顾此失彼。

书中不妥之处,敬请各位专家、同行批评指正。

作 者

2005 年 5 月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 高光谱遥感的发展	1
1.1.1 高光谱遥感的基本概念	1
1.1.2 高光谱遥感发展概况	2
1.2 高光谱遥感的研究现状	4
1.2.1 高光谱遥感影像分析	4
1.2.2 高光谱遥感的应用	6
1.3 高光谱遥感的发展趋势	7
思 考 题	8
第 2 章 地物光谱数据的获取与分析	9
2.1 电磁波与电磁辐射	9
2.1.1 电磁波谱	9
2.1.2 黑体辐射	10
2.1.3 太阳辐射	12
2.2 光谱测量仪器	13
2.2.1 野外光谱仪	13
2.2.2 成像光谱仪	14
2.2.3 非成像光谱仪	23
2.2.4 地物数据的测量	27
2.3 地物的光谱特征	28
2.3.1 地物的反射类别	29
2.3.2 地物的反射波谱	29
2.3.3 典型地物的光谱曲线	30
思 考 题	35
第 3 章 地物光谱数据的重建	36
3.1 大气及其影响	36
3.1.1 地球大气	36
3.1.2 大气成分	38
3.1.3 大气影响	39
3.2 大气辐射传输理论	43

3.2.1	可见光及近红外谱段(0.4~2.5 μm)	43
3.2.2	热红外波段(8~14 μm)	44
3.3	传感器的辐射定标	45
3.3.1	实验室定标	47
3.3.2	天上定标	48
3.3.3	辐射校正场定标	48
3.4	大气校正	51
3.4.1	基于影像特征的校正模型	51
3.4.2	地面线性回归经验模型	52
3.4.3	利用波段特性进行大气校正	53
3.4.4	大气辐射传输理论模型方法	54
3.5	其他辐射误差校正	55
3.5.1	太阳位置引起的辐射误差校正	55
3.5.2	地形起伏引起的辐射误差校正	55
	思考题	57
第4章	高光谱遥感数据的处理	58
4.1	光谱的特征选择与提取	58
4.1.1	特征选择	58
4.1.2	特征提取	60
4.1.3	特征提取算法介绍	61
4.1.4	类别可分性判据	65
4.2	光谱匹配	69
4.2.1	光谱数据库	69
4.2.2	传统模式识别匹配技术	72
4.2.3	基于高光谱数据库的光谱匹配技术	75
4.3	光谱微分	87
4.3.1	光谱微分的概念	87
4.3.2	光谱微分的应用	87
4.4	混合像元光谱分解	87
4.4.1	混合光谱模型的物理基础	87
4.4.2	混合像元光谱分解模型概述	90
4.4.3	线性光谱分解模型	96
4.4.4	混合像元光谱分解实例分析	100
	思考题	101
第5章	高光谱遥感图像分类	102
5.1	非监督分类	102
5.1.1	初始类别参数的选定	103

5.1.2 常用监督分类算法	105
5.2 监督分类	113
5.2.1 平行管道分类	113
5.2.2 最小距离分类	115
5.2.3 最大似然分类	118
5.2.4 神经网络分类	119
5.3 高光谱数据分类方法	122
5.4 分类精度评价	124
思 考 题	126
第 6 章 高光谱遥感的应用	127
6.1 高光谱遥感在植被监测中的应用	127
6.1.1 植被指数的发展	127
6.1.2 几种常见的植被指数	130
6.1.3 利用 MODIS 数据计算植被指数实例	132
6.1.4 利用高光谱估计生物变量	135
6.2 高光谱遥感在地质调查中的应用	143
6.3 高光谱在农业中的应用	146
6.4 高光谱遥感在林业中的应用	149
参考文献	152

第 1 章 概 论

1.1 高光谱遥感的发展

1.1.1 高光谱遥感的基本概念

遥感 (Remote Sensing) 是 20 世纪 60 年代发展起来的对地观测综合性技术,是指通过某种装置,不直接接触被研究目标、区域或现象来获取其有关数据,并对所获取的数据进行分析从而得到所需要信息的一种科学和技术(Thomas 等,1994)。由于它集先进性、科学性、综合性、实用性于一体,涉及信息科学、环境科学、地球科学、空间科学、生物科学等众多科学领域,其发展受到各个部门的格外关注。经过几十年的发展,无论是遥感平台、传感器方面,还是遥感信息处理、遥感应用方面,都获得了飞速的发展。遥感已经成为当今最活跃的科技领域之一。

一般认为,光谱分辨率在 $10^{-1}\lambda$ 数量级范围内的遥感称为多光谱 (Multi-spectral) 遥感,光谱分辨率在 $10^{-2}\lambda$ 数量级范围内的遥感称为高光谱 (Hyper-spectral) 遥感,光谱分辨率在 $10^{-3}\lambda$ 数量级范围内的遥感称为超光谱 (Ultra-spectral) 遥感(陈述彭等,1988)。遥感技术把人们研究地表信息的能力由陆地推向太空,拓宽了人们的研究视野,极大地提高了人们宏观、准确、及时、综合地进行对地观测与监测的能力;成像光谱技术则把遥感波段从几个、几十个推向数百个、上千个。高光谱遥感数据每个像元可以提供几乎连续的地物光谱曲线,使我们利用高光谱反演陆地细节成为可能。高光谱遥感技术已经成为当前遥感领域的前沿技术。

20 世纪 80 年代兴起的新型对地观测技术——高光谱遥感技术,始于成像光谱仪 (Imaging Spectrometer) 的研究计划。该计划最早由美国加州理工学院喷气推进实验室 (Jet Propulsion Lab, JPL) 的一些学者提出,并在美国宇航局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 的支持下,相继推出了系列成像光谱仪产品(叶荣华,2001),如机载航空成像光谱仪 (Airborne Imaging Spectrometer, AIS) 系列,航空可见光/红外成像光谱仪 (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, AVIRIS);星载中分辨率成像光谱仪 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS),高分辨率成像光谱仪 (High Resolution Imaging Spectrometer, HIRIS),等等。它是指在特定光谱域以高光谱分辨率同时获得连续的地物光谱图像,使得遥感应用可以在光谱维上进行空间展开,定量分析地球表层生物物理化学过程与参数。之后,成像光谱技术的研究进入了一个高速发展期,各国纷纷投入资金加大成像光谱仪的研究。加拿大、日本、澳大利亚等国,相继研制出了不同应用目的的成像光谱仪。我国在成像光谱仪的研究开发方面也取得了引人瞩目的成绩,相继成功研制出机载成像光谱仪

MAIS(Modular Airborne Imaging Spectrometer)、航空成像光谱仪 OMIS(Operational Modular Imaging Spectrometer) 系列以及星载高光谱成像光谱仪 C-HRIS(China High Resolution Imaging Spectrometer) 等。

高光谱遥感的基础是波谱学,早在 20 世纪初波谱学就被用于识别分子和原子的结构。由于物质是由分子、原子构成的,组成物质的分子、原子的种类及其排列方式决定了该物质区别于其他物质的本质特征。当电磁波入射到物质表面时,物质内部的电子跃迁,原子、分子的振动、转动等作用使物质在特定的波长形成特有的吸收和反射特征,能够通过物质的反射(或吸收)光谱反映出物质的组成成分与结构的差异,然而这些吸收和反射特征在传统的多光谱遥感数据上很难清楚地体现(童庆禧,1990)。

遥感平台以及传感器技术的发展,推动了遥感技术的快速发展,计算机技术、数据存储以及信息处理技术的发展,使遥感技术应用渗透到国民经济的各个领域,对推动经济建设、社会进步、环境的改善和国防建设起到了重大作用。高光谱遥感硬件及软件技术的发展,推动遥感应用由地表深入到地下,丰富了遥感的内涵,拓宽了遥感的应用领域,给遥感注入了新的活力,推动了遥感理论、技术及应用研究的发展。尤其是近年来遥感技术在生物地球化学方面(徐瑞松,2003)、植被生物量估计(张良培等,1997)、矿产资源探测、环境监测、海洋调查、精细农业(王长耀等,2001)等领域的成功应用,使高光谱遥感技术呈现出美好的应用前景。

尽管遥感信息处理技术在全数字化、可视化、智能化和网络化等方面有了很大的发展,但就目前遥感技术的发展状况来看,硬件技术的发展远远超前于遥感信息的处理,海量光谱遥感信息远没有被充分挖掘和处理,信息处理还远不能满足现实需要。据估计,空间遥感获取的遥感数据,经过计算机处理的还不足 5%(梅安新,2001)。因此,遥感信息处理方法与技术还有待于深入研究和开发。

高光谱遥感具有不同于传统遥感的新特点,主要表现在:(1)波段多——可以为每个像元提供几十、数百甚至上千个波段;(2)光谱范围窄——波段范围一般小于 10nm;(3)波段连续——有些传感器可以在 350 ~ 2500nm 的太阳光谱范围内提供几乎连续的地物光谱;(4)数据量大——随着波段数的增加,数据量成指数增加;(5)信息冗余增加——由于相邻波段高度相关,冗余信息也相对增加(张立福,2005)。因此,一些针对传统遥感数据的图像处理算法和技术,如特征选择与提取、图像分类等技术面临挑战。如用于特征提取的主分量分析方法、用于分类的最大似然法、用于求植被指数的 NDVI 算法等,不能简单地直接应用于高光谱数据。

高光谱分辨率遥感信息的分析与处理,侧重于从光谱维角度对遥感图像信息进行展开和定量分析,其图像处理模式的关键技术有:(1)超多维光谱图像信息的显示,如图像立方体的生成;(2)光谱重建,即成像光谱数据的定标、定量化和大气纠正模型与算法,依此实现成像光谱信息的图像—光谱转换;(3)光谱编码,尤其是光谱吸收位置、深度、对称性等光谱特征参数的算法;(4)基于光谱数据库的地物光谱匹配识别算法;(5)混合光谱分解模型;(6)基于光谱模型的地表生物物理化学过程与参数的识别和反演算法(郭华东,1996)。

1.1.2 高光谱遥感发展概况

光谱分辨率与空间分辨率的提高是遥感技术发展的重要趋势。20 世纪 70 年代初美国

发射的陆地卫星仅有4个波段,其平均光谱分辨率为150nm;80年代的TM则增加到7个波段,在可见光到近红外光谱范围的平均光谱分辨率为137nm;法国SPOT卫星的多光谱波段的光谱分辨率为87nm。高光谱成像遥感技术的发展是20世纪80年代遥感技术的最大成就之一(郑兰芬等,1992)。

美国的光谱成像技术发展较早,从20世纪80年代至今已经研制了三代高光谱成像光谱仪。第一代成像光谱仪为航空成像光谱仪(AIS),是由美国国家航空和航天管理局(NASA)所属的喷气推进实验室设计,并于1984~1986年装在NASA的C-130飞机上使用。这是一台装有二维、近红外阵列探测器的实验仪器,有128个通道,光谱覆盖范围为12~24 μm 。AIS在内华达Cuprite地区的应用中取得很好的效果。1987年研制成功的航空可见光/红外光成像光谱仪(AVIRIS)为成像光谱仪的第二代产品。AVIRIS是首次测量全部太阳辐射光谱范围(400~2500nm)的成像光谱仪,共有224个通道。它已经为科学研究和实际应用提供了大量的图像数据。AVIRIS与AIS相比,在传感器设计以及定标、数据系统、飞行高度等方面都有很大改进,基本满足了科研和应用AVIRIS数据质量的需要。与此同时,加拿大、澳大利亚、日本等国家竞相投入力量研究成像光谱仪,美国GER公司不失时机地研制成功实用型GERIS并投入商业运行,其中63个通道为高光谱分辨率扫描仪,第64通道被用来存储航空陀螺信息。该仪器由3个单独的线性阵列探测器的光栅分光计组成。它与其他仪器的区别是在不同的光谱范围区内,通道的光谱宽度是不同的。第三代高光谱成像光谱仪为克里斯特里尔傅立叶变换高光谱成像仪FTHSI,适合在Cessna-206轻型飞机上使用。它的重量为35kg,采用256通道,光谱范围为400~1050nm,有2~10nm的光谱分辨率,视场角为150°。

与此同时,国内成像光谱仪的发展也取得了长足的进步。“七五”期间研制了各自专题应用扫描仪:IR/UV是为海洋环境航空遥感监测业务系统研制的专用扫描仪;VIS/MIR/IR三波段扫描仪是探测森林火灾的专题扫描仪;早期的6波段红外细分光谱扫描仪FIMS和ATIMS热红外多光谱扫描仪以遥感地质为目标,是识别蚀变岩性的主要工具,在新疆寻找金矿和塔里木石油勘探应用中取得了重要进展,高光谱遥感技术取得了突飞猛进的发展。在此基础上,“八五”期间又发展了71波段的模块化航空成像光谱仪MAIS系统。目前,我国第一台224波段扫帚式高光谱成像仪PHI与128波段实用型模块化机载成像光谱仪OMIS已研制成功并进行了多次成功的航空遥感实验。

另外,中国科学院上海技术物理研究所研制的中分辨率成像光谱仪于2002年随“神舟”三号飞船发射升空,这是继美国1999年发射EOS平台之后第二次将中分辨率成像光谱仪送上太空,从而使中国成为世界上第二个拥有航天载成像光谱仪的国家。我国目前研制的中分辨率成像光谱仪可以一次处理500km范围的信息,精度可以达到500m,光谱通道为34个,图像清晰度和层次与美国EOS平台同类成像光谱仪图像的分辨率相同、通道质量相当,技术已达到了世界先进水平。这台中分辨率成像光谱仪是“神舟”三号飞船轨道舱的主载荷,飞船返回地面后,成像光谱仪在343km高度的非太阳同步轨道上稳定运行了半年,其探测内容包括海洋、大气和陆地三个部分,海洋以海洋水色、水温探测为主,兼顾海冰和海岸带探测,重点探测叶绿素浓度、悬浮泥沙含量、污染物;大气以水汽和气溶胶探测为主;陆地以大尺度土壤和植被分布等地表探测为主。所获得地球目标的不同光谱影像,可以为农业估产、可再生资源的动态调查、实时自然灾害的监测以及海洋环境与海洋初级生产力调查等

提供服务。

经过 20 世纪 80 年代的起步与 90 年代的发展,一系列高光谱成像系统在国际上研制成功并在航空平台上获得了广泛的应用。至 20 世纪 90 年代后期,在高光谱遥感应用的一系列重要技术问题,图像-光谱变换和光谱信息提取、大数据量信息处理、光谱匹配和光谱识别、分类等问题得到基本解决之后,高光谱遥感由实验研究阶段逐步转向实际应用阶段,而在技术发展方面则由以航空系统为主开始转向于航空和航天高光谱分辨率遥感系统相结合的阶段。迄今为止,国际上已有许多套航空成像光谱仪处于运行状态,在实验、研究以及信息的商业化方面发挥着重要作用。

高光谱遥感正由以航空遥感为主转向航空和航天高光谱遥感相结合的阶段。卫星平台方面,装载有 MODIS 传感器的 Terra 卫星已于 1999 年 12 月发射升空。继 Terra 之后,美国 NASA EOS 计划中的第二颗卫星 Aqua 也于 2002 年 5 月顺利进入预定轨道。装有 GLI (Global Land Image)传感器的日本 ADEOS-II (Advanced Earth Observing Satellite-II)卫星于 2002 年 12 月成功发射。澳大利亚不久将发射一颗以地质探测和矿藏资源作为主要遥感对象,具有在可见光和短波、红外波段、全色波段共 65 个通道的高光谱成像小卫星(Australian Resource Information and Environment Satellite, ARIES)。欧洲空间局(European Space Agency, ESA)于 2002 年 3 月发射的 ENVISAT 卫星装载了包括 15 个波段的 MERIS(Medium Resolution Imaging Spectrometer)高光谱成像光谱仪在内的 10 个卫星探测器。美国 EO-1(Earth Observing-1)卫星高级陆地成像仪(Advanced Land Image, ALI)(10 波段)和 Hyperion(220 波段)以及美国 HRST(Highly Reusable Space Transportation)卫星 HRST/COIS 仪(海洋海岸成像光谱仪,210 波段)等这些已发射的与即将发射的高光谱遥感传感器将使人类以更敏锐的眼光洞察世界。人们利用 NASA EOS 计划,以及 ESA 的 ENVISAT 等卫星所提供的丰富的陆地、海洋和大气等信息,配合航空高光谱成像光谱仪所提供的高空间分辨率、高光谱信息,将会给遥感技术及应用带来一场革命性的变革。

1.2 高光谱遥感的现状

1.2.1 高光谱遥感影像分析

自成像光谱技术提出以来,许多国家都积极投身于成像光谱仪的研制和相关软件产品的开发。成像光谱技术极大地推动了高光谱遥感技术的发展,高光谱遥感技术的应用也向纵深方向发展,其应用所覆盖的领域和研究的深度都有了突破性的飞跃。尽管成像光谱仪具有其独特的优越性,但海量数据也为应用和分析带来不便。目前,国内外在成像光谱仪的遥感应用研究中,所采用的分析方法可归纳为两大类。

1. 基于纯像元的分析方法

1) 基于成因分析的光谱分析方法

基于成因分析的方法主要从地物光谱特征上发现表征地物的特征光谱区间和参数,最常用的是各种各样的植被指数。成像光谱仪问世以后,许多研究人员沿用了这种方法,利用成像光谱仪数据的高光谱分辨率,选取影像的波段,发展了许多更为精细的植被指数。与此

相对应的方法,是地物光谱重建和重建的光谱与数据库光谱的匹配识别(Goetz,1990)。这一方法通过对比分析地面实测的地物光谱曲线和由成像光谱仪图像得到的光谱曲线来区分地物。为了提高成像光谱仪数据分析处理的效率和速度,一般要对这些曲线进行编码或者提取表征曲线的参数。“光谱匹配”是利用成像光谱仪探测数据进行地物分析的主要方法之一(Kruse等,1993)。但由于野外实际情况的复杂性,很难建立一个比较通用的地物光谱库,这就限制了其应用。目前仅在比较小的领域内(如岩石成分分析等)取得成功的运用。

2) 基于统计分析的图像分类和分析

基于统计分析的图像分类和分析视每一波段的图像为随机变量,然后利用概率统计理论进行多维随机向量的分类。成像光谱仪图像波段多,分类在很大程度上受限于数据的维数。面对数百个波段的数据,如果全部用于分类研究,在时间上往往是无法接受的。因此在图像分类之前必须压缩波段,同时又要尽可能地保留信息,即进行“降维”的研究。目前,压缩波段有两种途径,一是从众多的波段中挑选感兴趣的若干波段;二是利用所有波段,通过数学变换来压缩波段,最常用的有主成分分析法等。基于统计分析的图像分类和分析在理论上比较严谨,所以需要有充分的地质数据特征,否则得到的结果有时是不明确的物理解释。

2. 基于混合像元的分析方法

由于传感器空间分辨率的限制以及地物的复杂多样性,混合像元普遍存在于遥感图像中,地面地物分布比较复杂的区域尤其如此。如果将该像元归为一类,势必会带来分类误差,导致分类精度下降,不能反映地物的真实覆盖状况。

概括起来,混合模型主要有两类,即线性光谱混合模型和非线性光谱混合模型。线性光谱混合模型是迄今为止最受欢迎且使用最多的一种模型,其突出优点是简单。虽然它只能分离与波段数目相同的类别,但对于有着数百个波段的高光谱数据,采取一些特殊处理方法,已经可以克服这种限制。对于非线性光谱混合模型可以利用某些方法使之线性化,从而简化为线性模型。

近年来,混合像元的研究中比较有代表性的为美国 Maryland 大学的 Chang 等人和英国 Surrey 大学的 Bosdogianni 等人所做的研究。前者于 1994 年提出 OSP(Orthogonal Subspace Projection)法之后,又相继开发和介绍了一系列基于 OSP 的方法,并将 Kalman 滤波器用于线性混合模型中。这种线性分离 Kalman 滤波器不仅可以检测到像元内各种特征丰度的突然变化,而且能够检测对分类有用的目标特征。Bosdogianni 等人利用遥感技术对火灾后的森林及生态环境进行长期监测,建立了高阶矩的混合模型,同时他们也提出了利用 Houghes 变换进行混合像元分类的方法。

总之,与高光谱遥感的硬件发展相比,高光谱数据的处理技术显得相对滞后。但由于高光谱数据的巨大优势,世界各国都将继续加强相关研究。在美国,NASA 已把机载 AVIRIS 作为星载的雏形进行研究,并对高光谱图像所特有的一些难题(如高数据维的减小、算法复杂性等)进行重点攻关,并已研究出智能化比较高的实用高光谱图像处理系统,如成像光谱集成软件包 ISIS,为卫星和航空高光谱遥感数据处理分析而设计的 ENVI 影像处理系统,著名的 ERDASS 影像处理系统等。20 世纪 80 年代中后期,我国开始着手发展高光谱图像处理系统,并积极开展国际合作,承担了一系列成像光谱技术研究,推动了高光谱遥感在国内

的发展。但总体来看,国内高光谱图像的应用研究还处于起步阶段,主要集中于成像光谱仪的定标及一些辐射校正研究,目前还没有比较成形的高光谱图像处理系统。

1.2.2 高光谱遥感的应用

由于高光谱图像具有很高的光谱分辨率,因而能够提供更为丰富的地物细节,有利于地物物理化学特性的反演。高光谱遥感已经在各方面显示出了巨大的应用潜力,正受到国内外专家学者的广泛关注,今后必将在诸多领域发挥越来越重要的作用。

1) 海洋遥感方面

由于中分辨率成像光谱仪具有光谱覆盖范围广、分辨率高和波段多等许多优点,因此已成为海洋水色、水温的有效探测工具。它不仅可用于海水中叶绿素浓度、悬浮泥沙含量、某些污染物和表层水温探测,也可用于海水、海岸带等的探测。

由于海洋光谱特性是海洋遥感的一项重要研究内容,各国在发射海洋遥感卫星前后都开展了海洋波谱特性研究,包括大量的海洋光谱特性测量研究。早期的海洋遥感应应用,所使用的传感器波段少,已满足不了现代定量遥感应应用研究的需要。随着中分辨率成像光谱仪的应用,不仅促进了高维数据分析方法的研究,也将促进海洋高光谱特性研究的发展。它可以使我们更准确地了解海洋光谱结构,识别海水中不同物质成分的光谱特征,掌握近岸水域光学参数的分布、变化规律,为海洋遥感应应用和海洋光学遥感器的评价提供可靠的依据。

2) 植被研究方面

植被中的非光合作用组分用传统宽带光谱无法测量,而用高光谱对植被组分中的非光合作用组分进行测量和分离则较易实现。因此,可以通过高光谱遥感定量分析植被的化学成分,监测由于大气和环境变化引起的植物功能的变化。植被应用方面还有许多成功的实例,如作物类型识别(Collins等,1978),森林树种识别(宫鹏等,1998),植被荒漠化研究(叶荣华等,2001),等等。

3) 精细农业方面

土壤的水分含量、有机质含量、土壤粗糙度等特性是精细农业中重要的信息,而传统遥感技术无法提供这些信息。高光谱遥感凭借其极高的光谱分辨率为精细农业的发展提供了技术保障和数据来源。高光谱遥感应应用于精细农业已经有许多成功的例子,例如,刘卫东(2002)利用高光谱提取了土壤信息。利用高光谱遥感技术,可以快速精确地获取作物生长状态以及环境胁迫下的各种信息,从而相应调整投入物资的施入量,达到减少浪费、增加产量、保护农业资源和环境质量的目的。高光谱遥感是未来精细农业和农业可持续发展的重要手段。

4) 在地质调查方面

地质是高光谱遥感应应用中最成功的一个领域。如利用航空高光谱数据进行地质填图和岩石鉴别,可以识别出地表不同矿物质的诊断性特性,因为一般矿物质的光谱吸收峰宽度为30nm左右,只有利用光谱分辨率小于30nm的传感器才能够识别出来。高光谱遥感已经在地质领域扮演了重要角色。王青华等人仔细分析了国产MAIS光谱仪对河北省张家口地区的高光谱遥感应数据,指出可以借助高光谱丰富的光谱信息,依据实测的岩石矿物波谱特征,对不同岩石类型进行直接识别,达到直接提取岩性的目的。

5) 在大气和环境遥感方面

大气中的分子和粒子成分在太阳反射光谱中有强烈反应,这些成分包括水汽、二氧化碳、氧气、臭氧、云和气溶胶等。常规宽波段遥感方法无法识别出由于大气成分的变化而引起的光谱差异,高光谱由于波段很窄,能够识别出光谱曲线的细微差异。

6) 在军事侦察、识别伪装方面

根据目标光谱与伪装材料光谱特性的不同,利用高光谱技术可以从伪装的物体中自动发现目标。在调查武器生产方面,超光谱成像光谱仪不但可探测目标的光谱特性、存在状况,甚至可分析其物质成分。根据工厂产生烟雾的光谱特性,直接识别其物质成分,从而可以判定工厂生产武器的种类,特别是攻击性武器。

其他方面诸如自然灾害监测、林业遥感、宇宙和天文学等领域,高光谱遥感都有广阔的应用前景。随着科学技术的不断进步,高光谱遥感的应用领域将会进一步拓宽,在各个领域的影响也会进一步增大。

1.3 高光谱遥感的发展趋势

目前,成像光谱仪和成像雷达成为遥感技术与应用领域内的两大热点。但迄今为止,国内外常用的成像光谱仪还是以航空机载为主,要进入实用阶段,需要由航空遥感转向卫星遥感。所以,未来携带更高的光谱分辨率和空间分辨率成像光谱仪的卫星会陆续发射。

硬件上的进步仅仅是成像光谱仪遥感的前提条件,按照目前的数据处理手段,成像光谱仪遥感数据的使用仍然受到很大的限制,主要原因:一是数据的压缩和信息提取方法不成熟;二是缺乏比较通用的成像光谱仪图像处理系统,进行成像光谱数据的存储、显示和分析。可以预见,这两方面问题是目前乃至未来成像光谱仪遥感的主要研究方向。

此外,成像光谱仪和高光谱数据处理技术将会在得到有效改善的基础上,挖掘其地学应用的潜力。根据具体的应用领域和要解决的实际问题的特殊性,建立有效的应用模型也将成为成像光谱仪遥感研究的主要内容之一。

高光谱遥感的发展趋势就是遥感信息定量化和“定性”、“定位”一体化快速遥感技术。

1) 遥感信息量化

将遥感信息量化,实现全球海量观测数据的定量管理、分析和预测、模拟是当前重要的发展方向之一。遥感技术的发展,最终目标是解决实际应用问题。遥感信息量化使高光谱遥感信息的定量分析与应用成为现实。高光谱遥感器的光谱分辨率已达数纳米,空间分辨率仅几米,对应图像任一像元反演的地物光谱,可与地面实测值相比拟,这将便于实验室地物光谱分析模型直接应用到高光谱遥感的处理和分析研究,以及利用计算机自动进行地物的光谱分类和匹配识别研究。遥感信息量化,将使不同种类光学遥感数据的信息复合技术发生质的飞跃,使复合后的信息不仅达到空间分辨率的归一化,而且其辐射值仍保持着目标结构和成分的物理信息,这将在全球变化和全球资源环境状况监测和调查等应用研究中具有重要意义。通过遥感信息的量化,将定量反演的地物光谱与实测值相比较,可对空中遥感器性能进行校验(如波长漂移、增益、信噪比等性能),对遥感数据的精度进行全面的评价。通过遥感信息的量化,使遥感定量分析专题应用模型(如农作物估产、土壤湿度和干旱监测、初级生产力的计算等模型)输出高质量的定量遥感数据作为输入参数,从而使其得到广泛的推广和应用。

2) “定性”、“定位”一体化快速遥感技术

现在的遥感系统,主要以单台传感器为主,仍没有“定性”、“定位”一体化的组合传感器。超多波段、超光谱分辨率的成像光谱仪在目标识别方面具有更强的能力,但目标图像的“定位”问题却留给信息处理阶段。高光谱遥感应用的不断深入,在“动态监测”越来越成为人们共识的情况下,发展高效率的快速遥感技术就成为必须考虑的问题。为此,在利用高光谱成像仪目标识别能力很强的同时,要快速实现图像的同步“定位”,赋予三维坐标,形成“定性”、“定位”一体化快速遥感技术。

总之,随着一系列航空成像光谱仪和卫星成像光谱仪的研制成功,必将进一步推动高光谱遥感的发展,处理高光谱海量数据的技术和算法将得到不断完善和解决,高光谱数据的处理效率、分析研究和应用水平将得到提高。

思考题

1. 什么是高光谱遥感? 它与其他遥感的区别是什么?
2. 高光谱遥感的数据分析方法主要有哪些?
3. 高光谱遥感的主要应用有哪些?

第2章 地物光谱数据的获取与分析

地物光谱数据的获取主要有三种方式,一是通过星载传感器获取;二是通过机载传感器获取;三是地面获取。目前高光谱遥感数据的获取主要是利用机载成像光谱仪获得,星载成像光谱仪(如 MODIS)可以提供中等光谱分辨率的遥感数据。遥感数据经过预处理后,必须结合研究目的,对数据进行分析,进行特征选择与提取。本章首先介绍遥感的电磁波理论基础,然后介绍光谱数据获取使用的设备,包括地面光谱仪、成像光谱仪以及其他一些与遥感有关的非光谱测量仪器。

2.1 电磁波与电磁辐射

2.1.1 电磁波谱

根据麦克斯韦的电磁场理论,变化的电场在其周围产生变化的磁场,而变化的磁场又在其周围产生变化的电场。变化的电磁场在空间以一定的速度传播,就形成了电磁波。电磁波的传播不依赖任何介质,可在真空中以光速传播(见图 2.1)。

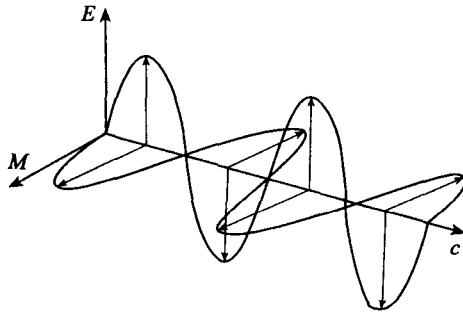


图 2.1 电磁波

电磁波的范围很广,但其本质是相似的,都遵循基本波动理论,只是由于频率(波长)的不同而显示出不同的特性。电磁波包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线等。可见光只是电磁波谱中很小的一部分。按照电磁波在真空中传播的波长或频率递增或递减顺序排列,就构成了电磁波谱。

电磁波谱区段的界限是渐变的,即没有严格的界限划分,一般按产生电磁波的方法或测量电磁波的方法来划分(见表 2.1)。

电磁波在空间的传播也称为电磁辐射。电磁波在传播过程中遇到不同的介质会发生反