



“十二五”科学技术专著丛书

高光谱图像 压缩与融合技术

赵学军 编著

GAO GUANG PU

TUXIANG YASUO

YU RONGHE JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高光谱图像压缩与融合技术

赵学军 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书主要介绍遥感高光谱图像压缩与融合技术的基本概念、原理和常用算法及创新算法,并进行了实验验证、比较分析及评价,探讨了高光谱图像应用于矿产资源评价模型的研究。

本书主要内容包括四大部分。第一大部分(包含第1、2、3、4章)是遥感高光谱图像基础知识,论述了遥感的概念、高光谱图像的基本特征及书中所做实验的数据以及实验平台、高光谱图像压缩基本原理和融合基本技术。第二大部分(包含第5、6、7、8、9章)论述了高光谱图像压缩技术,如基于预测的、基于变换的、基于矢量量化的、基于分布式编码的无损压缩算法及其压缩性能评价。第三大部分(包含第10、11、12、13、14、15章)论述了高光谱图像融合技术,有数据预处理、图像配准与尺度转换、融合基本算法、基于粒子群优化 Contourlet 变换的融合算法、基于 MAP/SMM 模型的融合算法及评价。第四大部分(包含第16、17章)探讨了利用高光谱图像矿产资源评价问题并提出评价模型。

本书可作为信息处理、计算机编码、遥感图像处理、遥感图像解释、矿产评价、卫星遥感等学科的研究生专业教材,也可供上述学科和计算机编码及应用技术、遥感、资源探测及军事侦察等领域的科技工作者和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高光谱图像压缩与融合技术 / 赵学军编著. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2015.7
ISBN 978-7-5635-4363-2

I. ①高… II. ①赵… III. ①遥感图像—图像处理—研究 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 104545 号

书 名: 高光谱图像压缩与融合技术

著作责任者: 赵学军 编著

责任编辑: 崔 珞 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.75

字 数: 288 千字

版 次: 2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4363-2

定 价: 25.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

当今世界航空航天遥感技术发展迅猛,遥感高光谱技术广泛应用于地球资源探测、环境调查及军事侦察等诸多领域。遥感高光谱图像的数据处理技术研究一直以来都是国际国内学术界研究的热点。遥感高光谱图像的压缩、融合技术又是图像处理技术中的两大关键技术。图像压缩与融合质量的优劣直接关系到图像的正确传输和后续的处理、运算、解译及应用等一系列问题,因此大力开展对遥感高光谱图像的压缩、融合技术的创新性研究,具有非常重要的现实意义。

本书撰写历时3年多,以3个国家高技术研究发展计划(863计划)项目为依托。其书中所涉及的研究内容也主要来源于这3个项目的研究,即国家863项目重大专项(编号:SS2012AA120908)全球巨型成矿带重要矿产资源与能源遥感探测关键技术(2012—2015);国家863项目(编号:1212011120222)星空地一体化光谱关键技术研究及设备研发(2012—2015);国家863项目(编号:1212011120221)适用于矿产和能源探测应用的遥感传感器优化设计技术(2012—2015)。

在这3年多的研究过程中,老师和研究生一起深入调研,获取并阅读了大量国内外最新的文献和资料,请教了计算机、遥感、地质界前辈及知名专家,对目前的压缩、融合及评价算法的概念、理论及实验深入分析。在此基础上,提出改进创新的算法,并进行了大量的实验验证,最终得到正确的实验结果,获取了确凿有力的实验数据来支撑改进后新算法的成立,找到适用于高光谱图像的压缩与融合以及资源评价的优秀算法,为星上数据压缩、遥感图像融合处理及矿产资源探测提供了切实可行的方法模型,在科研上开展了创新性研究。这对于高光谱数据压缩、融合及矿产资源评价技术的研究与发展具有一定的推动作用,也对课题的深入研究、创新以及顺利完成都具有极大的贡献,同时有益于研究生科研能力及团队精神的培养,为他们将来步入社会独立从事科研工作能力及素质的提高奠定基础。所以,这本书是对我们师生3年多的工作历程与科研成果的一个很好的记录和总结,是师生团结、进取、奋斗,在科学探索的道路上克服困难、勇往直前的有力见证。“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”!

本书从结构编排上,共分为四大部分。第一大部分(包含第1、2、3、4章)是

遥感高光谱图像基础知识,论述了遥感的概念、高光谱图像的基本特征及书中所做实验的数据以及实验平台、高光谱图像压缩基本原理和融合基本技术。第二大部分(包含第5、6、7、8、9章)论述了高光谱图像压缩技术,如基于预测的、基于变换的、基于矢量量化的、基于分布式编码的无损压缩算法及其压缩性能评价。第三大部分(包含第10、11、12、13、14、15章)论述了高光谱图像融合技术,有数据预处理、图像配准与尺度转换、融合基本算法、基于粒子群优化 Contourlet 变换的融合算法、基于 MAP/SMM 模型的融合算法及评价。第四大部分(包含第16、17章)探讨了利用高光谱图像矿产资源评价问题并提出评价模型。

本书由赵学军编著。书中汇集了几年来不少学生的贡献,包括历届学生的研究开发工作。值得指出的是,学生王晓娟、于凯敏、乔旭、赵殷瑶、武岳先后参加了部分编写工作,提出了许多良好的建议。乔旭、王晓娟、雷书或、滕尚志、赵殷瑶、于凯敏、荆元飞、郭洁娜等研究生为本书提供了实验数据和图片等。借此机会道一声:大家辛苦了!

本书在撰写过程中得到中国地质大学(北京)校领导及老师和中国矿业大学(北京)校领导及研究生院领导、金红老师、苏红旗老师、王振武老师以及北京邮电大学武文斌老师的大力支持与帮助。在此,对大家表示由衷的感谢!对北京邮电大学出版社的密切合作与支持表示衷心的感谢!借此机会对老父母及家人一直以来的鼓励、支持、理解、帮助与关爱表达我最由衷的谢意!

由于水平有限,加之时间较紧,因此错误和问题难免,恳请读者批评指正。

作者

目 录

第一篇 遥感高光谱图像基础知识

第 1 章 遥感概述	3
1.1 遥感的概念与特点	3
1.2 遥感的分类	4
1.3 遥感过程及技术系统	5
1.3.1 遥感实验	5
1.3.2 遥感信息获取	5
1.3.3 遥感信息处理	5
1.3.4 遥感信息的应用	6
第 2 章 高光谱图像概述	7
2.1 高光谱图像	7
2.2 高光谱图像特性	8
2.2.1 空间相关性	8
2.2.2 谱间相关性	8
2.3 实验数据及平台概述	9
2.3.1 实验数据	9
2.3.2 实验平台	11
第 3 章 高光谱图像压缩基本原理	12
3.1 高光谱图像冗余	12
3.1.1 编码冗余	12
3.1.2 像素域冗余	12
3.1.3 视觉冗余	13
3.2 信息论基本概念	13
3.3 信源编码理论	14
3.3.1 无失真编码定理	14
3.3.2 限失真编码定理	14

第 4 章 高光谱图像融合基本技术 16

4.1 高光谱图像预处理技术..... 16

4.2 图像融合及其研究现状..... 17

4.2.1 图像融合基本概念..... 17

4.2.2 高光谱图像融合及研究现状..... 18

4.3 遥感图像融合层次分类..... 19

4.4 高光谱影像与高空间分辨率影像融合过程分析..... 21

第二篇 遥感高光谱图像压缩技术

第 5 章 基于预测的无损压缩算法 25

5.1 基于双向递归预测的高光谱图像无损压缩算法..... 25

5.1.1 双向预测理论..... 25

5.1.2 双向递归预测理论..... 27

5.1.3 改进的双向递归预测理论..... 29

5.2 基于预测的高光谱图像并行压缩算法..... 33

5.2.1 计算机并行原理..... 33

5.2.2 高光谱图像并行压缩算法..... 36

5.3 高光谱图像预测算法实验结果..... 38

5.3.1 双向递归预测算法实验结果..... 38

5.3.2 基于预测的双核并行实验结果..... 39

5.3.3 基于预测的四核并行实验结果..... 40

5.3.4 基于预测的八核并行实验结果..... 41

5.3.5 图像数据压缩前后的图像对比..... 43

第 6 章 基于变换的压缩算法 44

6.1 小波变换的基本原理..... 44

6.1.1 小波的定义..... 44

6.1.2 离散小波与多分辨率分析..... 45

6.1.3 小波变换在图像压缩中的应用..... 46

6.2 整数小波变换..... 47

6.2.1 整数小波变换原理..... 47

6.2.2 整数小波核心算法..... 48

6.3 基于整数小波的高光谱图像无损压缩算法..... 51

6.4 基于 3D-SPIHT 的高光谱有损压缩算法 56

6.4.1 SPIHT 算法原理 56

6.4.2 3D-SPIHT 算法流程 56

6.4.3 SPIHT 的技术内容 57

6.5 基于 PCA 变换与小波变换的组合有损压缩算法	59
6.5.1 PCA 变换的原理	59
6.5.2 PCA 变换与小波变换的组合算法流程图	60
6.6 算法比较	61
第 7 章 基于矢量量化的压缩算法	63
7.1 矢量量化原理	63
7.2 矢量量化基本算法	64
7.3 矢量量化用于高光谱图像压缩	64
7.4 矢量量化算法的改进	66
7.5 改进算法的实验结果及评价	67
第 8 章 基于分布式编码的无损压缩算法	69
8.1 DSC 理论基础	69
8.2 基于陪集码的 DSC 实现	70
8.3 分布式算法实验结果	75
第 9 章 高光谱图像有损压缩性能评价	76
9.1 光谱失真度的度量指标	76
9.1.1 几何度量	76
9.1.2 概率度量	77
9.2 图像压缩质量评价指标	78
9.2.1 压缩比	78
9.2.2 均方误差	78
9.2.3 信噪比	78
9.2.4 峰值信噪比	79
9.3 高光谱无损压缩算法比较和评价	79
9.3.1 小波算法实验结果	79
9.3.2 预测算法实验结果	80
9.3.3 矢量量化实验结果	81
9.3.4 分布式算法实验结果	81
9.3.5 四种算法压缩时间比较	82
9.4 高光谱有损压缩算法的比较和评价	83
9.5 有损压缩算法对于矿产信息波谱的影响分析	86

第三篇 遥感高光谱图像融合技术

第 10 章 高光谱图像融合数据预处理	93
10.1 HSI 数据的预处理	93

10.1.1	HSI 数据的读取	93
10.1.2	HSI 数据的条纹去除	94
10.2	HSI 数据的大气校正	95
10.3	CCD 数据的预处理	97
10.3.1	CCD 数据的读取	98
10.3.2	CCD 数据的大气校正	98
第 11 章	高光谱图像配准与尺度转换	100
11.1	SIFT 配准算法	100
11.1.1	SIFT 算法概述	101
11.1.2	尺度空间和降采样图像的形成	101
11.1.3	特征点的检测	104
11.1.4	特征点的精确定位	104
11.1.5	特征点主方向的提取	104
11.1.6	关键点特征描述及归一化 SIFT 描述子的生成	105
11.2	基于归一化 SIFT 算法的不同光学影像自动配准	107
11.2.1	基于归一化 SIFT 算法的匹配	107
11.2.2	RANSAC 的基本矩阵估计	108
11.3	配准模型解算及尺度转换算法选取	108
11.3.1	配准模型解算	108
11.3.2	尺度转换算法的选取	109
第 12 章	高光谱数据融合的基本方法	111
12.1	基于 IHS 的高光谱图像融合算法	111
12.1.1	基于 IHS 的高光谱图像融合算法原理	111
12.1.2	IHS 融合方法实验效果	112
12.2	基于 PCA 变换的高光谱融合算法	112
12.2.1	基于 PCA 变换的高光谱融合算法原理	112
12.2.2	主成分分析(PCA)融合法实验效果	113
12.3	基于高通滤波的高光谱融合算法	114
12.4	基于 Brovey 变换高光谱融合算法	114
12.4.1	基于 Brovey 变换高光谱融合算法原理	114
12.4.2	Brovey 融合方法实验效果	114
12.5	基于小波变换高光谱融合算法	115
12.6	高通滤波与 IHS 结合高光谱图像融合算法	116
12.7	CRISP 高光谱影像融合算法	117
12.7.1	CRISP 锐化方法简介	117
12.7.2	CRISP 锐化算法过程	117
12.7.3	CRISP 融合实验结果	119

12.8 几种经典融合算法比较·····	120
第 13 章 基于粒子群优化 Contourlet 变换的融合算法 ·····	123
13.1 粒子群算法·····	123
13.2 Contourlet 变换 ·····	124
13.3 基于粒子群优化 Contourlet 变换融合算法 ·····	125
13.4 融合结果及分析·····	127
第 14 章 基于 MAP/SMM 模型的高光谱图像融合 ·····	131
14.1 MAP/SMM 模型高光谱图像融合原理概述 ·····	131
14.2 观测模型建立·····	131
14.3 MAP 估计模型 ·····	133
14.4 随机混合模型·····	135
14.5 模型参数求解·····	136
14.6 MAP/SMM 估计 ·····	137
14.7 简化观测模型·····	139
14.8 光谱响应函数·····	140
14.9 空间点扩散函数·····	141
14.10 高分辨率丰度图的优化 ·····	143
第 15 章 高光谱融合图像评价 ·····	145
15.1 常用遥感融合图像评价方法·····	145
15.1.1 主观评价方法·····	145
15.1.2 客观评价方法·····	145
15.1.3 基于层次分析法的模糊综合评价研究·····	147
15.2 高光谱融合图像的模糊评价实现·····	150
15.3 高光谱图像融合实验结果与分析·····	151
15.3.1 实验数据介绍·····	151
15.3.2 实验结果与分析·····	152

第四篇 高光谱图像矿产资源评价应用研究

第 16 章 高光谱图像的分类 ·····	159
16.1 高光谱图像的分类·····	159
16.2 最大似然分类法·····	160
16.3 K-均值分类法 ·····	161
第 17 章 矿产资源评价模型的研究 ·····	162
17.1 神经网络基本原理·····	163

17.2 粒子群算法原理..... 164

17.3 高光谱数据在矿产资源评价流程及模型中的应用..... 165

17.4 实验结果及分析..... 167

结语..... 171

参考文献..... 172

第一篇 遥感高光谱图像基础知识

开展遥感高光谱图像压缩与融合技术研究,首先要从遥感高光谱图像的基础知识入手,说明遥感的概念、特点以及高光谱图像的特征,理解高光谱图像压缩与融合技术的基本概念、基本理论和方法,为全书的研究内容奠定坚实的理论基础。

第 1 章 遥感概述

1.1 遥感的概念与特点

遥感(Remote Sensing),即遥远的感知,其泛指对地表地物的遥远的感知。遥感是从远处感知物体。借助遥感器等对电磁波敏感的仪器设备,在远离和不接触目标的情况下而对目标地物进行探测,获取其辐射、反射或者散射的电磁波能量信息,并对所获取的信息进行目的性信息提取、处理、分析和应用的综合探测技术。

通常,遥感是空对地遥感。通过从远离地面的不同工作平台,即遥感平台上(如飞机、气球、宇宙飞船、航天飞机、人造地球卫星等)所携带的不同类型的传感器,对地球表面电磁波辐射信息进行探测,然后对所探测到的信息进行传输、处理和判断分析,进而实现对地球资源和环境进行探测与监控目的的多学科技术。

当前,遥感形成了一个由地球表面到空中甚至到空间,从信息数据收集、传输、处理到读分析与应用,对全球进行探测监测的多视角、多层次、多领域的观测体系,已成为获取地球资源和环境信息的重要手段之一。

遥感具有以下主要特点。

1. 感测范围大,具有综合和宏观的特点

从飞机或人造地球卫星上所获取的航空像片或者卫星图像,要比在地面上观察到的范围大得多,而且也不受地形地物阻隔的影响,为人们研究地球表面的各种自然现象、社会现象及其分布规律提供了更为便利的条件。

例如,航空像片可以提供不同比例尺的地面连续像片,并且可以提供空对地立体观测。这种像片图像清晰逼真,信息极为丰富。一张比例尺为 1 : 35 000,大小为 23 cm×23 cm 的航空像片,可以展现出地面 60 多平方千米范围内的景观实况,并可连续像片镶嵌成更大区域面积的像片图,以方便纵观全区进行分析和研究。卫星图像的感测范围比航空像片的感测范围更大,一幅地球卫星 TM 图像可以反映出地面 185 km×185 km(即 34 225 平方千米)的景观实况。500 余张这种卫星图像即可拼接成全国卫星影像图。遥感技术为宏观研究诸如洪灾监控、地质构造等现象及问题,提供了有利条件。

2. 信息量巨大、多视角、技术先进等特点

遥感技术是现代科技的产物,它不仅能获取地物的可见光波段信息,而且可以获取紫外、红外和微波等波段信息。不仅可用摄影方式获取信息,还可用扫描方式获取信息。遥感

所获取的信息量远超过用常规的传统方法获取的信息量。毋庸置疑,遥感技术在很大的程度上扩大了人们的观测范围及感知领域,也加深了人们对诸多事物及现象的认识。

例如,利用红外线能探测地表温度的变化,微波能够穿透云层、冰面和植被等。遥感使人们对地监测和观测达到了多视角及全天候。

3. 速度快,周期短,具有动态监测的特点

遥感为瞬时成像,可以获得同一瞬间大面积范围内的景观相片,具有很好的现实性;并且可以通过不同时间获取的数据资料及相片,进行对比分析并研究地物的动态变化。这为环境监测及地物发展规律的研究提供了条件。

例如,气象卫星可以每天对地球成像一遍,因此可及时发现洪水、污染、地震等自然灾害发生的前兆,为灾情预报、抗灾救灾等工作提供可靠的科学依据。

4. 用途广、效率高

今天,遥感已广泛应用于林业、农业、气象、地质矿产、环境监测、军事侦察和海洋研究等众多军事及民用领域,并在不断的扩展,同时也渗入了其他众多学科。现正以强大的优势展现出广阔的发展前景。

1.2 遥感的分类

遥感的分类方式有很多种。按遥感工作平台的不同,可分为航天遥感、航空遥感和地面遥感;按电磁波的波段分类,可分为红外遥感、微波遥感和可见光遥感;按遥感应用的不同,可分为林业遥感、农业遥感、海洋遥感、环境遥感、地质遥感等。根据记录方式和传感器的不同又可做如下分类,如图 1.1 所示。

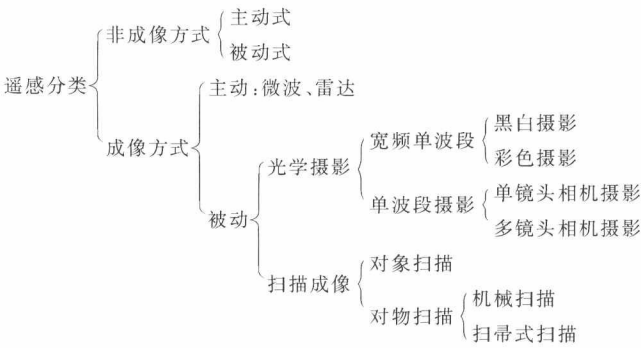


图 1.1 遥感分类

成像方式是将探测到的强弱程度不同的地物辐射,转换成深浅及色调不同的直观图像的遥感资料,如卫星图像和航空相片等。非成像方式是将所探测到的地物辐射转换成相应的模拟信号(如电流或电压信号),或数字化输出,或记录在磁带上构成非成像方式遥感资料。

主动遥感或被动遥感是按传感器工作方式不同而做出的分类。主动遥感是指传感器带有发射信号的辐射源,工作时向目标发射电磁波,与此同时接收反射回来的电磁波进行探

测。所谓被动遥感是指利用传感器直接接收自然辐射源的反射来进行探测。

光学摄影就是通常的摄影,将探测所接收到的电磁波根据不同色调记录在感光的材料上。扫描方式是指将探测的地物划分成面积相等依次顺序排列的像元,传感器按顺序以像元为探测单位,记录它的电磁波辐射强度,经转换、传输、处理或者转换成为图像,显示在胶片或者屏幕上或制作成数字产品。

1.3 遥感过程及技术系统

遥感过程就是遥感信息获取、传输、处理及分析应用的全过程。包括遥感信源的物理性质、分布和运动状态;环境的背景及电磁波的光谱特性;大气干扰和大气窗口;图像处理 and 识别;传感器分辨率性能和信噪比等。遥感过程不但涉及其本身,也涉及了地物景观现象发展演变的过程,以及人们认识的过程。遥感过程当前主要通过地物波谱测量研究和数字统计分析,以及模式识别和模拟验证方法来完成。这一复杂过程的实施主要依赖于遥感技术系统,它主要由以下四部分组成。

1.3.1 遥感实验

遥感实验的主要工作是对地物的光谱特性信息的获取、传输以及处理等技术的实验研究。

实验是遥感技术系统的基础,在遥感探测前,需通过遥感实验来提供地物光谱特性,以方便选择传感器的类型及工作波段;在遥感探测中需要靠遥感实验提供校正所需的信息和数据。

1.3.2 遥感信息获取

信息获取是整个技术系统的中心工作。遥感平台和遥感仪器是遥感信息获取的物质保障,是遥感系统的重要组成部分。

遥感平台是指搭载传感器用以探测的运转工具,例如人造地球卫星、宇宙飞船、飞机等。按照高度的不同可分为近地工作平台,航空平台和航天平台。这三种平台各有不同特点及用途,可根据需要单独使用或者配合使用,以组成立体观测系统。

传感仪器是收集记录地物电磁波辐射能量信息的装置。例如多光谱扫描仪、航空摄影机等。传感器是信息获取的核心部件。传感器搭载在遥感平台上,按照确定的路线飞行或运转,即可获得所需遥感数据和信息。

1.3.3 遥感信息处理

信息处理是通过各种技术手段,对遥感探测获取的信息进行各种处理。如,为消除探测中的各种干扰影响,使得信息更准确、可靠而进行的各种校正,如几何校正,辐射校正等,为了使获取的遥感图像更加清晰便于识别判读、信息提取而进行的各种增强处理等。为确保遥感信息的质量和精度,充分发挥遥感信息的应用,遥感信息的处理显得尤为重要。

1.3.4 遥感信息的应用

遥感信息的应用是遥感的最终目的。遥感应用应根据专业目标的需要,选择适宜的遥感信息及工作方法来进行,以取得更好的社会效益和经济效益。

遥感系统是一个完整的统一整体。它建立在空间技术、计算机技术、电子技术、地学等众多学科基础上,是完整的遥感过程的技术保证。