

高等学校教材



遥感数字图像处理与分析

——ENVI 5.x 实验教程

杨树文 董玉森 罗小波 詹云军 等编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



含DVD光盘1张

高等学校教材

遥感数字图像处理与分析

——ENVI 5.x 实验教程

杨树文 董玉森 罗小波 詹云军 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书结合业内流行软件ENVI详细介绍遥感数字图像的处理与分析过程,分为基础篇和增强篇。基础篇内容包括导论、ENVI 5.x窗口组成、图像预处理、图像增强、图像分类、矢量数据处理、高分辨率遥感图像分割、遥感制图与三维可视化;增强篇内容包括高光谱分析技术、雷达图像处理、地形特征提取、多特征信息提取与分析。全书重点介绍了遥感数字图像处理中常用的基本功能和部分增强功能,并针对遥感专题提取建模做了较为详细的实例说明,注重基本能力与专题应用能力的共同提高。

本书可作为遥感科学与技术、地理信息科学、测绘工程、城乡规划、地理学等专业的本科生实验教材,也可供地图学、地理信息系统、摄影测量、遥感等专业的研究生及相关研究人员、应用工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像处理与分析: ENVI 5.x 实验教程 / 杨树文等编著. 北京: 电子工业出版社, 2015.7

ISBN 978-7-121-26222-7

I. ①遥… II. ①杨… III. ①遥感图像—数字图像处理—高等学校—教材 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 120205 号

策划编辑: 谭海平

责任编辑: 谭海平 特约编辑: 王 崧

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 15 字数: 336 千字

版 次: 2015 年 7 月第 1 版

印 次: 2015 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元(含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

编 撰 委 员 会

- | | |
|-----|------------------|
| 杨树文 | 兰州交通大学测绘与地理信息学院 |
| 董玉森 | 中国地质大学地球科学学院 |
| 罗小波 | 重庆邮电大学计算机科学与技术学院 |
| 詹云军 | 武汉理工大学资源与环境工程学院 |
| 韩 惠 | 兰州交通大学测绘与地理信息学院 |
| 李名勇 | 华北水利水电大学资源与环境学院 |
| 张志华 | 兰州交通大学测绘与地理信息学院 |
| 高松峰 | 河南城建学院测绘工程学院 |

前 言

ENVI (The Environment for Visualizing Images) 是目前遥感领域应用最为广泛的遥感影像处理软件之一。ENVI 遥感图像处理平台包含齐全的遥感影像处理功能, 包括常规处理、几何校正、辐射定标、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、矢量应用、神经网络分析、区域分析、GPS 联接、正射影像图生成、三维图像生成、丰富的可供二次开发调用的函数库、制图、数据输入/输出等。ENVI 5.0 开始采用全新的软件界面, 如菜单项、工具栏、图层管理、工具箱、状态栏等, 且所有操作都集成在一个窗口下。ENVI 5.1、ENVI 5.2 等版本延续了 ENVI 5.0 的界面风格, 但功能更为强大, 个性化更强。

目前, 一方面, 针对 ENVI 5.1 及更高版本的中文实验教程仍较少, 给广大用户学习和应用该软件带来了不便; 另一方面, 现有版本多侧重常规基础操作, 而针对专题建模的集成应用涉及较少。为此, 结合多年遥感数字图像处理等课程教学、实践的经验及科研项目研究、应用需求, 我们组织了一批具有多年相关教学和科研经验的高校教师, 共同编写了本教材。

全书分为基础篇和增强篇两部分, 共计 12 章。第 1 章介绍遥感数字图像处理与分析的基本概念、研究内容及 ENVI 5.x 的功能和特色; 第 2 章介绍 ENVI 软件的基本设置和基础知识; 第 3~8 章系统介绍 ENVI 图像处理的常规操作, 包括图像预处理(辐射定标、大气校正、几何校正、图像裁剪、图像镶嵌、彩色合成和图像融合等)、图像增强处理(图像变换、滤波增强和纹理增强等)、图像分类、矢量数据处理、图像分割、遥感制图与三维可视化等。第 9 章介绍高光谱分析技术, 包括波谱重采样、图像波谱分割等; 第 10 章介绍雷达图像处理技术, 包括雷达图像基本处理、地理编码和极化处理等; 第 11 章介绍地形特征提取, 包括地形建模、地形特征提取、DEM 自动提取等; 第 12 章介绍多特征信息专题建模提取与分析, 详细介绍了水体、植被和高分辨率影像中阴影的建模方法与具体提取实验步骤。书中所有实验数据都在随书附赠的 DVD 光盘中, 便于读者参照书中内容进行学习。

本书由兰州交通大学杨树文博士拟定编撰大纲, 并以其长期讲授的“遥感技术与数字图像处理”课程上机实践为蓝本, 经编委会反复论证, 增加了部分项目研究中的最新成果, 形成本书的基本框架和内容。其中, 第 1 章、第 4 章、第 7 章及第 12 章由杨树文编写, 第 2 章由高松峰编写, 第 3 章由李明勇编写, 第 5 章由罗小波编写, 第 6 章及第 11 章由韩惠编写, 第 8 章由张志华编写, 第 9 章由詹云军编写, 第 10 章由董玉森编写。全书由杨树文主持编写和统稿、校对。此外, 兰州交通大学的姚花琴、雍万铃、杨猛、杨兴旺、卢鑫、黄艳艳等研究生对各章节的文稿和实验进行了反复检查和测试, 在此一并致以诚挚的谢意。

本书可作为遥感科学与技术、地理信息科学、测绘工程、工程地质遥感等专业本科生、研究生的 ENVI 上机实践参考用书，亦可以供相关专业的科研人员参阅。

本书在编写过程中虽然对涉及的实验反复验证，数易其稿，但是由于编者水平所限，错误与不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2015 年 5 月

目 录

第一部分 基础篇

第 1 章 导论	2
1.1 遥感数字图像处理与分析	2
1.1.1 基本概念	2
1.1.2 遥感数字图像处理的主要内容	2
1.1.3 遥感图像理解与分析	3
1.1.4 遥感数字图像处理技术与发展	4
1.2 ENVI 5.x 概述	4
1.2.1 ENVI 软件特色	4
1.2.2 ENVI 5.x 高级版本新增功能	4
第 2 章 ENVI 窗口组成	7
2.1 主菜单	7
2.1.1 文件	7
2.1.2 调整图层顺序	15
2.1.3 显示	15
2.1.4 视图	19
2.1.5 帮助	20
2.2 工具栏	20
2.3 图层管理	20
2.4 基础工具	21
2.4.1 图层叠加	21
2.4.2 图像大小调整	22
2.4.3 感兴趣区定义	24
2.4.4 掩膜	25
2.4.5 直方图匹配	28
2.4.6 波段运算	29
第 3 章 图像预处理	31
3.1 自定义坐标系	31

3.1.1	地图投影的基本参数	32
3.1.2	ENVI 中的自定义坐标系	32
3.2	图像校正	36
3.2.1	辐射定标	36
3.2.2	大气校正	39
3.2.3	几何校正	44
3.3	图像融合	61
3.3.1	RGB 图像的融合	61
3.3.2	多光谱图像的融合	63
3.4	图像镶嵌	64
3.4.1	基于像元的图像拼接	64
3.4.2	无缝拼接	66
3.5	图像裁剪	68
3.5.1	规则分幅裁剪	68
3.5.2	不规则分幅裁剪	69
3.6	图像合成	71
3.6.1	伪彩色合成	71
3.6.2	彩色合成	72
第 4 章	图像增强	73
4.1	图像变换	73
4.1.1	拉伸	73
4.1.2	色彩空间变换与拉伸	74
4.1.3	色彩拉伸	76
4.1.4	交互式直方图拉伸	79
4.1.5	主成分分析	80
4.1.6	缨帽变换	82
4.2	滤波增强	83
4.2.1	卷积增强	83
4.2.2	形态学滤波	85
4.2.3	自适应滤波	86
4.2.4	傅里叶变换	88
4.3	纹理分析	92
4.3.1	基于概率统计 (Occurrence-Based) 的滤波	93
4.3.2	基于二阶概率统计 (Co-occurrence-Based) 的滤波	93
第 5 章	图像分类	95
5.1	遥感图像分类简介	95

5.2	非监督分类	96
5.2.1	IsoData 分类	96
5.2.2	K-Means 分类	98
5.2.3	类别定义与子类合并	99
5.3	监督分类	101
5.3.1	选取训练样本	101
5.3.2	执行监督分类	104
5.4	决策树分类	110
5.4.1	定义分类规则	111
5.4.2	构建决策树	112
5.4.3	执行决策树	114
5.5	分类后处理	115
5.5.1	聚类 (clump) 统计	115
5.5.2	过滤 (Sieve) 分析	115
5.5.3	Majority/Minority 分析	116
5.5.4	分类统计	116
5.5.5	分类结果转矢量	118
5.6	精度评价	118
5.6.1	分类结果叠加	118
5.6.2	混淆矩阵	120
第 6 章	矢量数据处理	123
6.1	新建矢量数据	123
6.2	编辑矢量数据	124
6.3	数据格式转换	126
第 7 章	高分辨率遥感图像分割	127
7.1	基于规则的房屋信息提取	127
7.2	基于样本的农田信息提取	131
7.3	基于规则的道路信息提取	135
第 8 章	遥感制图与三维可视化	140
8.1	遥感制图	140
8.1.1	快速制图	140
8.1.2	自定义制图元素	142
8.2	三维可视化	144
8.2.1	生成三维效果	144
8.2.2	三维场景窗口	145

第二部分 增强篇

第 9 章	高光谱分析技术	148
9.1	标准波谱库	148
9.2	创建波谱库	153
9.3	交互浏览波谱库	155
9.4	波谱重采样	157
9.5	图像波谱分割	158
9.6	波谱立方体	160
第 10 章	雷达图像处理	161
10.1	雷达图像的基本处理	161
10.1.1	数据读取	162
10.1.2	图像增强	163
10.1.3	图像滤波	163
10.2	雷达图像的地理编码	164
10.3	SIR-C 极化雷达数据处理	166
10.3.1	数据多视处理 (Multi-Look)	166
10.3.2	标准极化合成 (Synthesize SIR-C Data)	167
10.3.3	非标准极化合成	168
10.3.4	SIR-C 地理编码	170
第 11 章	地形特征提取	172
11.1	地形建模	173
11.1.1	地形菜单	173
11.1.2	地形建模	174
11.1.3	三维地形可视化	175
11.2	地形特征提取	177
11.3	立体像对 DEM 自动提取	178
11.3.1	DEM 自动提取操作步骤	179
11.3.2	编辑 DEM	185
11.3.3	立体 3D 量测工具	187
11.3.4	核线图像 3D 光标工具	187
11.4	等值线插值生成 DEM	189
11.4.1	矢量等高线插值 DEM	189
11.4.2	高程点文件插值 DEM	191
第 12 章	多特征信息提取与分析	194
12.1	水体提取建模与分析	194

12.1.1	TM 影像水体特征及水体提取模型	194
12.1.2	基于 TM 影像的水体提取实验	196
12.1.3	水体提取后处理	198
12.1.4	水体提取结果对比分析	201
12.2	植被提取建模与分析	202
12.2.1	典型的植被提取模型	202
12.2.2	基于 TM 影像的植被提取实验	203
12.2.3	植被覆盖度的估算	205
12.3	高分辨率影像阴影提取建模与分析	218
12.3.1	QuickBird 影像阴影特征及检测模型	218
12.3.2	基于 QuickBird 的阴影检测实验	220
12.3.3	阴影提取后处理	222
	参考文献	225

第一部分

基础篇

第 1 章 导论

第 2 章 ENVI 窗口组成

第 3 章 图像预处理

第 4 章 图像增强

第 5 章 图像分类

第 6 章 矢量数量处理

第 7 章 高分辨率遥感图像分割

第 8 章 遥感制图与三维可视化

导 论

本章主要内容:

- 遥感数字图像处理与分析
- ENVI 5.x 概述

1.1 遥感数字图像处理与分析

1.1.1 基本概念

遥感是指应用现代技术和先进的工具,不与目标物体相接触,而从远距离接收目标物体的电磁波谱信息,并对所搜集的信息进行加工、传输、处理、存储,最后对其进行分析与解译的一门新兴的综合性科学技术^[1]。

遥感数字图像处理是遥感技术的核心内容之一。遥感数字图像是以数字形式记录的二维遥感信息,即其内容是通过遥感手段获得的,通常是地物不同波段的电磁波谱信息。其中的像素值称为亮度值(或称为灰度值、DN值)。

遥感数字图像处理是指利用计算机对遥感数字图像进行一系列操作,从而获得某种预期结果的技术^[2]。

1.1.2 遥感数字图像处理的主要内容

遥感影像数字图像处理的内容主要有:

(1) 图像恢复:即校正成像、记录、传输或回放过程中引入的数据错误、噪声与畸变,包括辐射校正、几何校正等。

(2) 数据压缩:采用栅格数据编码、分形等技术减少冗余数据,以改进传输、存储和处理数据效率。

(3) 影像增强:针对性地突出影像的某些特征,同时抑制或去除某些不需要的信息,以提高影像中某些地物的可识别性。常用的方法包括空域增强、频域增强、彩色增强、信息融合、K-L增强、K-T增强及比值运算等。

(4) 图像分割: 把图像分成若干特定的、具有独特性质的区域, 并提出感兴趣目标的技术和过程。图像分割是深入进行图像识别、分析和理解的基础。常见的方法包括基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法、基于边缘的分割方法和基于特定理论的分割方法等。

(5) 变化检测: 根据不同时间的多次观测来确定一个地物的状态变化或确定某现象的变化过程。根据遥感图像分析和变化信息获取的不同层次, 将变化检测方法分为基于像素级、基于特征级和基于目标级三类。

(6) 图像分类: 把图像经过某些预处理(复原、增强等)后, 对图像进行分割和特征提取, 从而实现地物类别的分类。常见的方法有非监督分类、监督分类、模糊分类、人工神经网络分类及决策树分类等。

1.1.3 遥感图像理解与分析

图像理解就是对图像的语义理解, 是以图像为对象, 以知识为核心, 利用计算机系统研究图像中有什么目标、目标之间的相互关系、图像是什么场景以及如何应用场景的一门学科^[3]。图像理解所讨论的问题是为了完成某一任务需要从图像中获取哪些信息, 以及如何利用这些信息获得必要的解释^[4]。

王润生^[5]、章毓晋^[6]和孙显^[7]等均对图像处理、图像分析及图像理解的层次模型进行了论述, 三者的抽象程度和数据量成反比, 如图 1.1 所示。

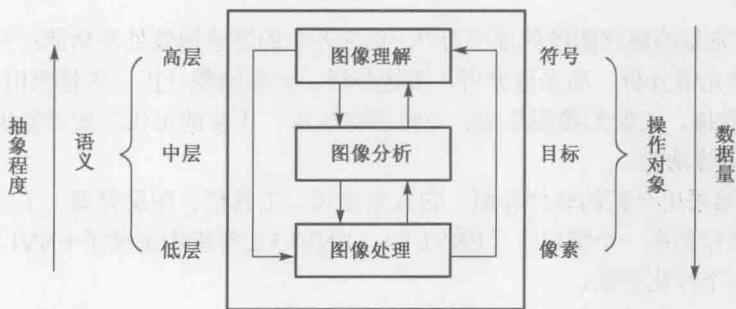


图 1.1 图像处理、分析和理解的层次模型(孙显, 2011)

其中, 图像处理是低层操作, 数据量大, 抽象度低, 主要针对图像像素进行处理, 强调图像的变换及其之间的相互转换; 图像分析是中层操作, 数据量减小, 抽象度提高, 主要针对图像中感兴趣的目标信息, 通过检测来实现图像分割和特征提取, 并用简洁的数据形式来描述图像; 图像理解是高层操作, 数据量小, 抽象度高, 主要针对从描述抽象出来的符号进行运算, 进而研究图像中各目标的性质及其之间的相互联系, 用以理解图像的内容。

遥感图像理解是图像理解的范畴, 是图像理解理论的一个重要分支。其研究内容主要涉及三个方面, 即对场景中的感兴趣地物目标进行检测识别, 对整个场景进行描述和解译, 对图像及目标空间语义的分析和计算。

遥感图像理解的研究方法包括遥感图像特征信息的表达与提取, 以及遥感分析模型的构建。信息的表达与提取是研究如何选取典型的影像特征和目标描述因子, 遥感分析模型是研究基于统计分析等专题分析下的符合实际需求的目标识别、分类模型。

1.1.4 遥感数字图像处理技术与发展

依靠专家进行人工目视解译和分析的方法虽然简单方便,但是存在工作效率、人为等影响因素。遥感数字图像处理技术的出现,从根本上改变了传统遥感图像的处理方式与识别方式,为遥感技术系统的完善,实现对地物高效、快速识别以及多源信息的数字化融合处理创造了良好的条件(汤国安, 2004)。

目前,遥感数字图像处理技术主要是基于像素级别的光谱、纹理和上下文环境等特征设计的处理算法。这些算法针对中低分辨率影像一定程度上能解决目标信息的识别和提取,具有较高的精度,但是针对高分辨率影像往往精度不够,难以提取图像中的细节信息。因此,近年来基于对象(基元)的图像分析技术逐渐被大家所关注和研究。该方法以含有更多语义信息的多个相邻像素组成的对象为处理单元,根据目标信息分类或提取的要求,检测目标地物的多种图像特征(如光谱、纹理、形状、大小、阴影及空间位置等)(孙显, 2011),从而达到对遥感图像进行分类或目标信息提取的目的。

总之,遥感图像处理技术在向高速、高分辨率、立体化和智能化的方向发展。

1.2 ENVI 5.x 概述

ENVI 是一个完整的遥感图像处理平台^[8],包含齐全的遥感影像处理功能:常规处理、几何校正、辐射定标、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、矢量应用、神经网络分析、区域分析、GPS 联接、正射影像图生成、三维图像生成、丰富的可供二次开发调用的函数库、制图、数据输入/输出等功能。

ENVI 5.0 开始采用全新的软件界面,它有菜单项、工具栏、图层管理、工具箱、状态栏几个组成部分,所有操作都在一个窗口下。ENVI 5.1、ENVI 5.2 等版本延续了 ENVI 5.0 的界面风格,但功能更为强大,个性化更强。

1.2.1 ENVI 软件特色

ENVI 5.x 具有以下特点:

- (1) 简单易用。具有灵活、友好的界面,使其简单易学、便于操作和使用。
- (2) 性能可靠。将主流的图像处理过程集成到流程化(Workflow)图像处理工具中,提高了图像处理的效率;具有先进、可靠的影像分析工具,尤其具有突出的专业光谱分析能力。
- (3) 易于拓展。底层 IDL 语言可以帮助用户轻松地添加、扩展 ENVI 的功能,甚至开发/定制自己的专业遥感平台。
- (4) 与 ArcGIS 的“无缝融合”。为遥感与 GIS 一体化集成提供最佳的解决方案。

1.2.2 ENVI 5.x 高级版本新增功能

ENVI 5.1、ENVI 5.2 等高级版本在 ENVI 5.0 的基础上,增加了一些新的功能^[9],具体如下。

(1) 支持更多的传感器和文件格式

1) 支持新传感器数据, 包括 IRSResourceSat-2、NigeriaSat-1/2、GeoEye-1 数据的.til 文件, SSOT (FASat-Charlie)、KOMPSAT-3、RASAT&Göktürk-2、RapidEyeLevel-3B 和 NPPVIIRS 等传感器数据。

2) 新增了对 GIF、ECRG、SICD 和 HDF5 等数据格式的支持, 提供通用的 hdf5 数据的浏览工具, 可以从.h5 的不同数据集中新建一个栅格数据。

3) 64 位的 ENVI 5.1 直接支持 JPIP 和 IAS 流。

4) 全面支持 Landsat 8 数据, 如_MTL.txt 元数据文件的读取、太阳高度角自动校正及 Landsat 8 OLI 的大气校正等功能。

(2) 改进了光谱曲线显示工具

采用全新的光谱曲线显示工具, 可浏览波谱库数据和绘制新的波谱曲线图, 内置植被指数图例。支持属性的修改, 支持多个显示窗口的拖放, 可显示 X、Y、Z 及任意方向的剖面图。

(3) 增加了无缝镶嵌工具

新增了流程化的图像镶嵌工具, 在一个流程化的界面中集成了所有功能。新增功能如下。

1) 控制图层的叠放顺序。

2) 设置忽略值, 显示或隐藏图层或轮廓线, 重新计算有效的轮廓线, 选择重采样方法和输出范围, 可指定输出波段和背景值。

3) 可进行颜色校正、羽化/调和。

4) 提供高级的自动生成接边线功能, 也可手动编辑接边线。

5) 提供镶嵌结果的预览。

(4) 强化了 ROI 感兴趣区工具

强化后的感兴趣区工具包含所有经典 ROI 工具的功能, 可定义各种形状和类型的感兴趣区, 亦可根据矢量某一属性的条件建立 ROI。同时, 感兴趣区文件带有坐标, 可用于任何与之有地理重叠的栅格数据, 支持坐标自动重投影。

(5) 强化了个性化特征

强化了个性化特征, 如快捷键的增加、工程化的管理、缩放速度的控制、光标所在像素值及坐标的显示、可在图层管理器中对数据重命名等功能的使用。同时, 支持多视窗之间的数据层的拖放, 以及从数据管理器到多视窗的数据拖放, 并增强了矢量数据的显示性能。

(6) 新增了自带数据

1) 自带了最新的波谱库数据, 新增超过 6500 个新的波谱, 更新了 ASTER 波谱库和 USGS 波谱库。这些数据的存放位置是“...\\ProgramFiles\\Exelis\\ENVI51\\data\\”, 它们的坐标系都是 GCS_WGS_1984 坐标系。

2) 提供全球自然地理栅格、矢量数据集, 可直接使用。包括 GMTED 2010 全球 DEM (30 角秒空间分辨率)、全球自然地形渲染图、全球小比例尺 shapefile 矢量数据。

(7) 提高了数据处理效率

采用高速缓存技术极大地提高了处理效率。如改进的正射校正工具, 使处理效率提高了 25 倍,

自带 GMTED2010DEM 数据用于正射校正，可以自定义输出像元的大小，GLT 校正加入了蝴蝶结效应的校正，对 MODIS 做几何定位处理时可校正双眼皮效应。

(8) 改进了高光谱物质识别工具

改进后的高光谱物质识别工具新增了 ACE 光谱匹配算法，可基于贝叶斯统计计算概率得分来解释识别的结果。

(9) 拓展了 API 功能

拓展后的 API 功能包括感兴趣区 (ROI)、事件模型 (鼠标事件)、坐标转换库、数据采集、定义&查询 GCPs、RPC 正射校正、辐射定标、无缝镶嵌及蝴蝶结效应校正的选项等，同时新增了批处理程序。