

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.05.15

高光谱遥感地质灾害信息提取系统设计与实现

叶成名^{1,2}, 李尧², 崔鹏², 梁莉³

(1. 地球探测与信息技术教育部重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059;
2. 中科院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 成都理工大学管理科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 凭借图谱合一优势, 高光谱遥感技术应用日益广泛, 基于高光谱遥感技术的地质灾害信息提取系统研发也显得十分迫切。论文在借鉴现有地质灾害遥感监测系统基础上, 结合高光谱遥感的关键技术与数据处理方法特点, 设计并实现了高光谱遥感地质灾害信息提取系统。该系统选用主流操作系统 Windows7 与 Microsoft Visual C++ 2010 集成开发环境, 充分利用 GDAL、OpenCV 等开源组件库, 基于插件式开发框架进行设计与实现。系统拥有数据读取、光谱操作、图像处理、灾害识别、分析统计、制图输出等主要模块, 模块之间采用插件式松散耦合方式设计, 即相互独立又有流程导向, 是个一体化自动化的灾害信息提取系统。系统在减灾应用示范中得到验证, 可提高地质灾害解译效率与准确性, 节约工程调查成本, 为减灾防灾决策提供科学数据与技术支持。

关键词: 高光谱遥感; 地质灾害; 系统设计; 系统开发

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)05-0089-06

Design and development of geohazard information system based on hyperspectral remote sensing

YE Chengming^{1,2}, LI Yao², CUI Peng², LIANG Li³

(1. Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology of Ministry of Education (Chengdu University of Technology), Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China; 3. College of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: With the integration of image and spectrum, Hyperspectral Remote Sensing (HRS) techniques are widely used in many fields. The development of Geological Disaster Information Extracting System (GDIES) using HRS is in urgent needed. After deeply studying of some geological disaster remote sensing monitoring systems, this paper designs and implement a geological disaster information extracting system which combined the key techniques and HRS data processing methods. Using Microsoft Windows7 computer operating system and Visual C++ 2010 integration development environment, GDIES is developed based on the Plug-in framework by taking full advantage of GDAL and OpenCV, which are open source component libraries. There are data reading, spectrum operation, image processing, disaster identification, analysis and statistics, graphics output and other main modules in GDIES. Different modules are designed with Plug-in framework technique and loosely coupled manner. Therefore, GDIES is not only independent but also process-oriented and automatic software for disaster information extraction using the different modules. Finally, GDIES is verified by one really disaster reduction case. The results indicates that GDIES can improve the efficiency and

收稿日期: 2017-12-02; 修订日期: 2018-01-28

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2008ZDYF1214); 国家重点研发计划项目(2016YFB0502600)

第一作者: 叶成名(1978-), 男, 河南虞城县人, 博士, 副教授, 主要从事地质灾害遥感、遥感地学分析等方面的研究与教学工作。E-mail: rsgis@sina.com

通讯作者: 李尧(1991-), 男, 在读博士, 研究方向为地质灾害遥感。E-mail: LY3400@sina.cn

precision of HRS image interpretation, and save costs of field investigations. Besides, this system can provide scientific data and technical supports for the disaster mitigation and prevention.

Keywords:hyperspectral remote sensing; geological hazard; system design; system development

起源于 20 世纪 90 年代的高光谱遥感技术,具有“图谱合一”的特点,是遥感技术诞生以来的又一重大突破,在地物识别与精确分类方面有独特优势^[1-2],在植被精细分类^[3]、矿产勘探^[4]、环境保护^[5]、农业监测^[6]等领域得到广泛应用。此外,高光谱遥感可以连续获得地面几十个甚至上百个连续波段信息,可为遥感反演物理模型提供丰富数据,有力推动定量遥感应应用研究^[7]。但是,由于谱段较窄,视场角小,以致传感器入射能量较低,造成高光谱遥感数据噪音相对较大,甚至还有条纹与坏线出现,加上水汽与大气影响,其图像处理与信息提取难度变大^[8]。为提高高光谱遥感应应用水平,专家学者研发了一系列针对性技术与方法,比如去条纹坏线、数据降维、光谱重建、端元提取、混合像元分解、光谱匹配等^[9-11],以实现目标检测与目标识别,这些为高光谱遥感地质灾害信息提取系统研发提供了重要基础。

我国地质灾害每年造成社会经济和人民生活财产损失巨大,所以地质灾害应用一直是遥感研究的热点。过去几十年里,研究工作多集中在高空间分辨率和多光谱遥感方面^[12-15]。随着高光谱遥感信息处理技术的不断提升,地质灾害定量信息提取成为可能,比如更详细的灾害体组分信息、建筑物损毁程度^[16]等,灾害损失评估也更准确。但是,由于高光谱遥感应应用复杂,设计一个一体化自动化的灾害信息提取与评估系统并非易事,可以充分利用开源软件基础开发包解决一些通用功能,比如 GDAL 与 OpenCV 等,以减少开发工作量。GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)是一个在 X/MIT 许可协议下的开源栅格空间数据转换库,它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式,可以稍加改造成以支持高光谱数据读取。OpenCV(Open Source Computer Vision Library)是一个基于 BSD 许可(开源)发行的跨平台计算机视觉库,由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成,同时提供了 Python、Ruby、MATLAB 等语言接口,实现了图像处理和计算机视觉方面很多通用算法,但由于 OpenCV 是面向轻量级数据处理,针对高光谱数据,需要借用其图像处理算法思想,利用多级缓存技术来弥补图像快速显示问题。

1 系统设计

1.1 设计目标

目前主要的商业遥感图像处理平台包括 ENVI、ECOGNITION、ERDAS IMAGINE 等,这些处理平台功能强大,在信息提取、遥感图像分类具有较大的优势。但在高光谱遥感地质灾害应用领域其具有以下不足:①缺乏对地质灾害目标专业的认识,只能将其作为一种地物类别进行信息分类。由于地质成像机理复杂,诱因多样化,导致地质灾害目标提取难度较大,需要孕灾基础数据进行约束的方法,提高分类精度。②缺少流程化的地质灾害信息提取功能,导致操作复杂化。③缺少针对地质灾害样本的管理功能,地质灾害样本库不仅需要记录样本基本的影像、成像气候条件等信息,还需管理样本地质条件、诱发因素、地理环境等信息,因此有必要开发符合要求的样本信息库。基于以上缺点及需求研究并开发高光谱遥感地质灾害信息提取系统具有必要性。

发挥高光谱遥感响应波段范围广、光谱分辨率高、信息量丰富、数据描述模型多样等特点,结合地质灾害国家响应机制流程化的工作模式,本文制定了从灾害数据获取到信息提取一体化服务系统。具体功能如下:①高光谱数据基本处理功能,包括影像的去噪、降维、坏线处理、条纹去除、反射率计算(反演)等;②灾害目标识别功能,如滑坡、泥石流、崩塌等目标检测与识别;③多源数据综合分功能,能完成不同数据源数据的叠加、配准、以及图层计算等;④业务流程化操作,针对不同灾种与减灾主要业务,完成灾害信息归类、定名定级、以及信息统计与报表输出等;⑤样本存储管理功能,灾害特征数据/光谱库等存储入库、查询显示、特征计算、统计分析等。

1.2 模块设计

系统按照独立性与相关性原则,设计了 4 个主要模块(图 1)。模块内部算法实现与内存可以共享,比如一个图像处理过程需要其他方法处理,直接可以内存拷贝或赋值于其他方法,而不需要与磁盘交互,以节约时间。

(1)基础功能模块

基础功能模块包含图像交互显示、格式化存储,具

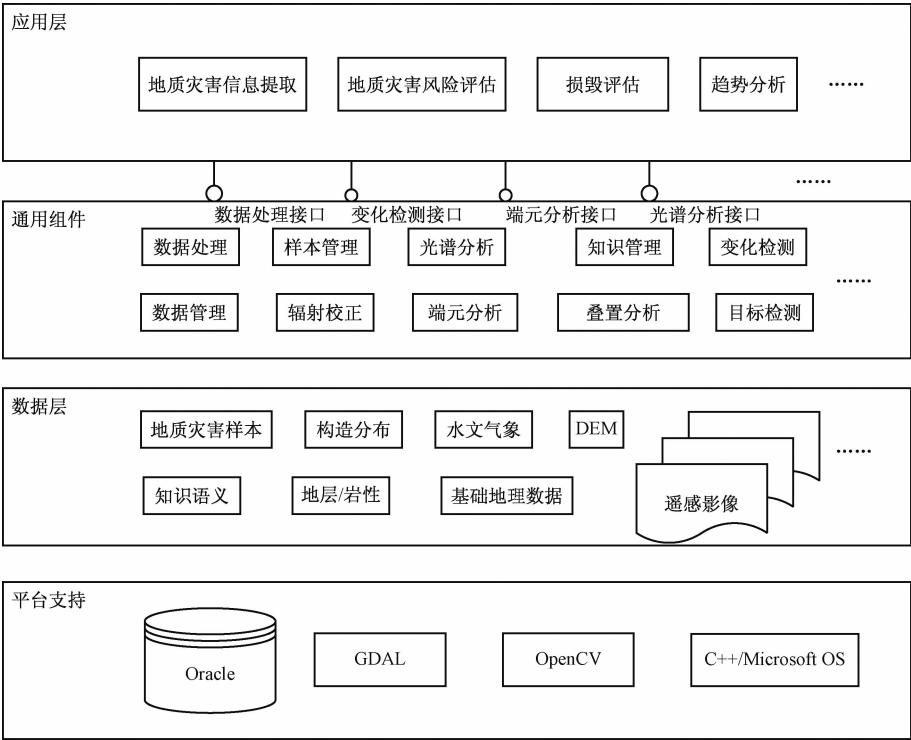


图 1 高光谱遥感地质灾害信息提取系统设计框架

Fig. 1 The framework of geohazard information system based on hyperspectral remote sensing

体包括:影像放缩、漫游平移、波段组合显示、波段裁剪等,便于使用者查看影像细节、对比浏览与可视解译,另外还附加了波段计算、DEM 显示、以及部分指数计算和坡度坡向计算等。

(2) 数据处理模块

数据处理模块主要是针对高光谱影像的特殊处理,比如根据特定传感器的性能固化对某一级别的数据特处理,免除数据分析与评估过程。另外,水汽、大气分子影响波段的剔除也可根据波段直接完成,比如拥有 242 个波段的 EO-1 的 Hyperion 数据,系统直接保留质量较高的 176 个波段^[17]。

(3) 灾害信息提取模块

灾害目标信息提取模块受遥感图像处理流程与减灾部门业务流程控制,从灾害应急响应开始,依次进出数据输入、数据预处理、端元提取(数据库输入)、混合像元分解(光谱匹配)、亚像元定位、样本数据导入、辅助数据决策筛选等,整个过程以可视化交互导引完成(图 2)。

(4) 样本管理模块

除了野外实测光谱样本,以及国际上主流的 USGS、ASTER、Santa Barbara、PDS 等光谱库外,系统在使用过程中会持续引入新的样本与参考特征,这些可

以专设模块进行保存与管理,样本内容主要包括时间、地点、光谱数据、土壤、岩性、天气、海拔等信息。另外,模块支持光谱数据的特征参量化计算,比如光谱斜率与坡向、吸收指数以及吸收位置、宽度、对称性等特征(图 3)。

2 关键技术实现

2.1 端元提取

端元是指高光谱影像中理想的只包含单一地物的纯净像元。地质灾害发生后灾区地表遭到严重破坏,与周围地物的光谱特征、纹理特征等对比明显。可采用 N-FINDR 算法^[18],以寻找最大单形体顶点确定端元,算法来源于凸面几何学理论。

单形体体积:

$$V = \frac{1}{(m-1)!} \text{abs} \begin{vmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ N_1 & N_2 & \cdots & N_m \end{vmatrix} \quad (1)$$

其中 N_i 表示第 i 个端元的光谱向量, $|\cdot|$ 为行列式运算符, m 为初始端元个数。

计算步骤如下:

- (1) 初始化端元个数 m ,并在影像中随机选择端元作为候选段元,计算单形体体积 V_1 。
- (2) 然后重新选择新的像元计算单形体体积 V_2 ,

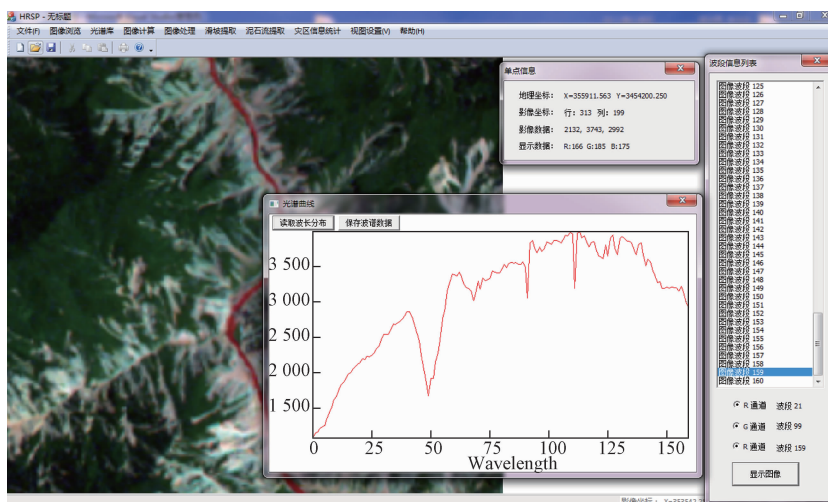


图2 高光谱遥感灾害信息提取系统主界面

Fig. 2 The main interface of Geohazard Information System Based on the Hyperspectral Remote Sensing

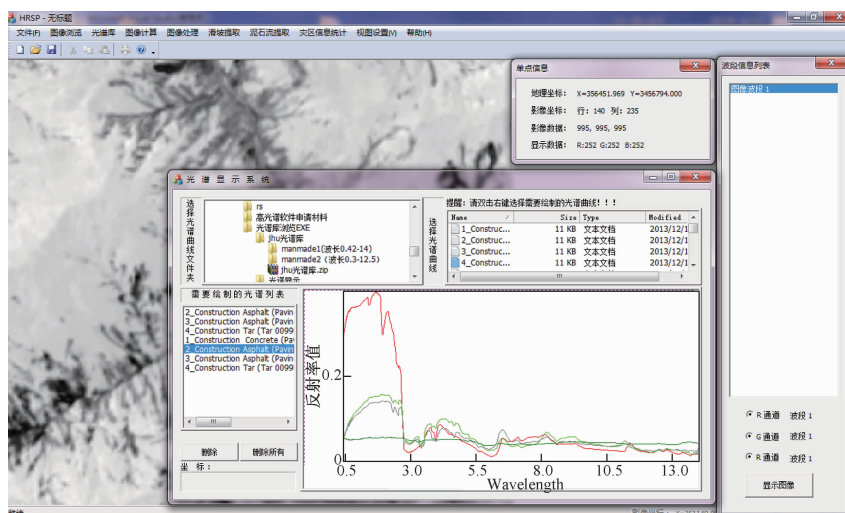


图3 光谱库样本管理界面

Fig. 3 The management interface of spectral library

如果体积 $V_2 > V_1$, 这该像元取代旧候选端元, 成为新的候选段元。

(3) 逐个遍历像元, 重复(2)步骤, 直到形成最大的单形体, 对应的顶点即为端元集。

2.2 混合像元分解

混合像元分解的目的是反演高光谱影像每个像元中混合地物的丰度, 通常将分解模型分为线性混合模型和非线性混合模型。为了便于设计算法和编程实现, 系统采用线性混合模型, 认为像元混合光谱由端元光谱线性叠加合成。具体算法采用基于几何学理论全约束最小二乘算法 (FCLS)^[19], 虽然全约束二乘算法迭代复杂, 但是提取精度高。

线性模型:

$$D = \sum_{j=1}^m a_j e_j + \beta \quad (2)$$

式中 a_j 为 e_j 在像元的丰度, 满足和为 1, 非负两个条件, β 为噪声。

全约束最小二乘算法:

$$A = \operatorname{argmin} \left\{ \frac{1}{2} \|D - EA\|^2 \right\} \quad (3)$$

式中: A 为丰度向量, D 为像元值, E 端元集的光谱矩阵。

2.3 光谱匹配

高光谱分类中特有算法是采用度量光谱之间的相似度的方法, 即判断像元与已知地物光谱之间的关系, 从而决定像元的属性。其中常见的有光谱角匹配和光

谱信息散度 (Spectral Information Divergence, SID)^[20]。

光谱角计算公式:

$$A = \arccos \left[\left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2} \right] \quad (4)$$

其中: A 为影像像元光谱与参考光谱之间的光谱夹角; X_i 为影像像元 X 在每个波段 i 取值; Y_i 为端元或光谱库中的参考光谱在波段 i 的取值。

光谱信息散度:

$$SID(X, Y) = D(X \| Y) + D(Y \| X) \quad (5)$$

其中: $SID(X, Y)$ 为像元 X 和端元 Y 相对信息熵。

2.4 常用地物光谱库

光谱库主要是对地物信息的标准化收集, 以美国研究最为深入和系统, 如 JPL 标准光谱数据库 (160 种矿物样本, 多种粒度测试)、USGS 光谱数据库 (444 个样本, 498 个光谱, 可见光波段 4 nm, 近红外波段 10 nm)、ASTER 光谱数据库 (集成别的光谱数据源)、JHU 光谱库 (主要人工表面光谱) 等均为美国所研制。此外, 还有针对空气质量设计的 AEDC/EPA 和用 HYDICE 建立的森林光谱库等。

3 系统实现与应用

系统全程在 Microsoft Windows7 系统下的 Visual Studio C++ 2010 集成开发环境完成的, 采用了插件式开发框架, 为了提升开发效率, 充分利用了开源库 GDAL 与 OpenCV, 完成完成后对效果进行了初步验证与分析 (图 4)。系统部分界面如下:

在实验区范围内, 利用人工解译的方法对高空间分辨率遥感图像进行了滑坡解译, 以此为准对不同角度下的光谱角匹配方法进行了精度分析 (图 5), 可知在角度控制在 0.33 弧度时精度最高, 达到 87%。经过包络线光谱增强后, 检测精度有所提高, 同种方法的精度可以提高 3% ~ 10%, 最终精度可以超过 90%。

系统以国家减灾委卫星遥感应用中心主持实施的高分重大专项示范为契机, 与项目总体部的系统进行无缝集成, 在四川、云南等地进行了初步应用, 获得不错的效果, 提高野外调查效率, 有力支撑了灾损评估工作。

4 结束语

相比普通遥感监测系统, 高光谱遥感地质灾害系统在数据管理、数据处理、检测识别与统计分析方面都有很大不同, 最主要特点是在图像特征与空间特征基础上, 增加了有无限潜能的光谱特征的利用。本文系

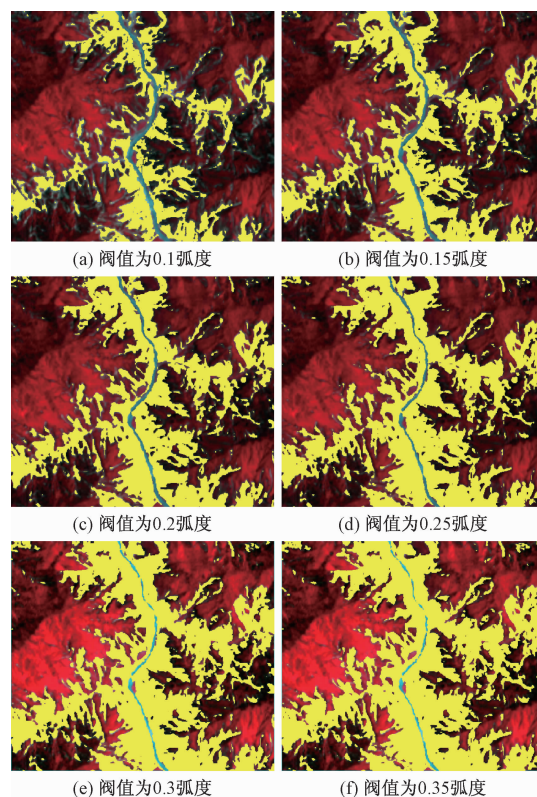


图 4 不同角度下光谱角度法检测滑坡

Fig. 4 The result of SAM in different angle parameters:
(a) - (f): angle ranged from 0.1 ~ 0.35

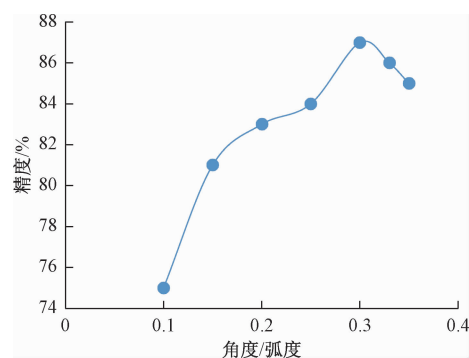


图 5 不同角度下光谱角法检测滑坡的精度

Fig. 5 The accuracy of SAM in different angle parameters

统虽然初步实现了自动化一体化的高光谱遥感地质灾害信息提取业务, 但依然存在一些问题需要解决, 主要有: ①由于“同物异谱、异物同谱”现象, 加之区域地质环境复杂多变, 样本的可重复使用率并不高, 需要做区域特征去除与特征叠加, 实现起来比较困难。②高分辨率与多光谱遥感在地质灾害调查中的作用不可或缺, 好的系统应该是支持多源遥感协同处理。③高光谱数据规模大, 数据计算复杂程度高, 在面临大区域应用时, 系统需要支持并行计算, 以提高运行效率。

参考文献:

- [1] 张良培. 高光谱目标探测的进展与前沿问题[J]. 武汉大学(信息科学版), 2014, 39(12): 1387-1395.
ZHANG Liangpei. Advance and future challenges in hyperspectral target detection[J]. Geomatic and Information of Wuhan University, 2014, 39(12): 1387-1395.
- [2] GOETZ A F H, VANE G, SOLOMON J E, et al. Imaging spectrometry for remote sensing[J]. Science, 1985, 228(4704): 1147-1152.
- [3] GOODENOUGH D G, DYK A, NIEMANN K O, et al. Processing hyperion and ALI for forest classification[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1321-1331.
- [4] KRUSE F A, BOARDMAN J W, HUNTINGTON J F. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 hyperion for mineral mapping[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1388-1400.
- [5] MARLEEN NOOMEN, ANNIKA HAKKARAINEN, MARK VAN DER MEIJDE, et al. Evaluating the feasibility of multitemporal hyperspectral remote sensing for monitoring bioremediation[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 34: 217-225.
- [6] GALVAO, L S, FORMAGGIO, A R, TISOT, D A. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern brazil with EO-1 hyperion data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94: 523-534.
- [7] FABIO CASTALDI, ANGELO PALOMBO, FEDERICO SANTINI, et al. Evaluation of the potential of the current and forthcoming multispectral and hyperspectral imagers to estimate soil texture and organic carbon[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 197: 54-65.
- [8] 童庆禧, 张兵, 张立福. 中国高光谱遥感的前沿进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 689-708.
TONG Qingxi, ZHANG Bing, ZHANG Lifu. Current progress of hyperspectral remote sensing in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 689-708.
- [9] XIONG W, CHANG C I, WU C C. Fast algorithms to implement N-FINDER for hyperspectral endmember extraction[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2011, 4(3): 545-564.
- [10] DOBIGEON N, TOURNERET J Y, CHANG C I. Semi-supervised linear spectral unmixing using a hierarchical Bayesian model for hyperspectral imagery[J]. IEEE Trans. Signal Process, 2008, 56(7): 2684-2695.
- [11] 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感: 原理、技术与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 246-283.
TONG Qingxi, ZHANG Bing, ZHENG Lanfen. Hyperspectral remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 246-283.
- [12] SATO H P, HARP E L. Interpretation of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008, M7.9 Wenchuan earthquake in the Beichuan area, Sichuan Province, China using satellite imagery and Google Earth[J]. Landslides, 2009, 6(2): 153-159.
- [13] MONDINI A C, GUZZETTI F, REIHENBACH P, et al. Semi-automatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(7): 1743-1757.
- [14] FABIO DELLACQUA, PAOLO GAMBA. Remote sensing and earthquake damage assessment experiences, limits, and perspectives[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(10): 2876-2890.
- [15] FIORUCCI F, CARDINALI M, CARLA R, et al. Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using[J]. Geomorphology, 2011, 129(1): 59-70.
- [16] YE M, CUI P, LI J, et al. A method for recognizing building materials based on hyperspectral remote sensing[J]. Materials Research Innovations, 2015, 19(10): 90-94.
- [17] DATT B, MC VICAR T R, VAN NIEL, et al. Pre-processing EO-1 hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indices[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1246-1259.
- [18] WINTER E M. N-finder: an algorithm for fast autonomous spectral endmember determination in hyperspectral data[C]. SPIE: Conference on Imaging Spectrometry V, 1999, 3753: 266-275.
- [19] HEINZ D C, CHANG C I. Fully constrained least square linear spectral unmixing analysis method for material quantification in hyperspectral imagery[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2001, 39(3): 529-545.
- [20] SHANMUGAM S, SRINIVASAPEUMAL P. Review Article Spectral matching approaches in hyperspectral image processing[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(20): 8217-8251.