

面向土地利用动态遥感监测的成像 光谱数据处理技术研究

尤淑撑^{1,2}, 谢俊奇², 刘顺喜², 李小文¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875; 2. 国土资源部中国土地勘测规划院, 北京 100035)

摘要: 成像光谱数据具有较高光谱分辨率, 在类别细分方面具有一定的优势。该文针对成像光谱数据特点, 研究与成像光谱数据特征相适应的土地利用动态遥感监测技术, 包括边缘辐射纠正技术、影像融合技术和异常光谱检测技术, 该方法在试验区应用中取得了良好效果。

关键词: 成像光谱; 土地利用动态; 异常光谱检测法; 遥感监测

中图分类号: TP79; F301 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2005)02-0035-04

0 引言

1983年美国宇航局(NASA)喷气推进实验室(JPL)开始研制航空可见光/红外光成像光谱仪(AVIRIS), 于1987年获得第一幅AVIRIS图像。1996年美国研制成功高光谱数字图像实验仪(HYDICE)并投入使用, 其探测范围与AVIRIS相同(0.4~2.5 μm), 但后者使用CCD推扫式技术成像, 能同时获取210个波段, 波段光谱分辨率为3~20 nm。与此同时, 一些发达国家竞相投入力量研究成像光谱仪, 如加拿大的FLI/PML、CASI, 澳大利亚的AMSS、Hymap等。中国64波段可见光—近红外模块式机载成像光谱仪(MAIS)于1991年研制成功, 并投入实验与研究;“九五”期间在“863”项目的支持下, 完成了实用型模块化航空成像光谱仪系统(OMIS-iv、OMIS-⊕)和推帚式成像光谱仪(PHI)的研制。

土地利用动态遥感监测是快速获取土地利用变化信息、检查年度土地利用计划和土地利用总体规划执行情况的重要手段, 是耕地保护的必要措施。目前土地利用动态监测以TM和SPOT卫星影像为主, 监测对象主要面向城市建设用地以及农业耕地, 受TM和SPOT卫星的光谱分辨率限制以及“同谱异物, 同物异谱”现象的影响, 不能自动识别土地管理需要的部分一级地类和多数二级地类, 尤其是不能自动识别农业和城市建设用地内部地类, 限制了土地管理的有效开展。针对我国土地资源管理实际应用需要, 开展成像光谱技术在土地利用动态遥感监测中的应用研究具有重要的现实意义^[1-4]。

与多光谱遥感数据源相比, 成像光谱数据最显著

的特点是: 1) 波段多、光谱分辨率高。波段宽度达纳米量级, 从可见光到近红外光谱区间波段数可达几十乃至几百个, 在以波长为横轴、灰度值为纵轴的坐标系中, 高光谱图像上的每个像元点在各通道的灰度值都可形成一条精细的光谱曲线, 即所谓“谱像合一”。2) 波段间相关性强, 相关系数大, 数据冗余现象明显^[5,6]。3) 在航空成像光谱仪数据获取中, 由于飞行方向、扫描角度、太阳方位角和太阳高度几何关系变化及大气的影晌, 扫描图像通常存在辐射畸变^[7-9]。针对成像光谱数据上述特点, 本文以江苏省宜兴市为试验区, 获取OMIS-I航空成像数据(空间分辨率为7 m, 128个波段), 研究与成像光谱数据特征相适应的土地利用动态遥感监测技术方法, 包括边缘辐射畸变纠正技术、影像融合技术和异常光谱检测技术。

1 边缘辐射畸变纠正技术

机载成像光谱图像的边缘辐射畸变与仪器大视场角有关, 主要由大气效应、地物反射非朗伯特性、仪器—太阳—目标相对几何关系等因素综合作用引起, 视觉上表现为图像存在明显的沿扫描方向的辐射亮度不均, 使得无法直接利用机载成像光谱数据进行基于地物光谱特征的地物定量或半定量分析和识别。长期以来, 人们一直为机载遥感扫描图像复杂而严重的辐射畸变所困扰, 也发展了一些机载遥感扫描图像辐射畸变校正方法。例如, 通过建立特定地区、特定条件下的大气传输模型来计算大气透射比和路径辐射率, 以对图像辐射畸变实施校正(需提供地区先验大气数据); 利用多高度、多角度飞行采集数据, 从图像中提取参数计算大气透射比和路径辐射率的图像

收稿日期: 2004-11-15; 修订日期: 2005-02-22

基金项目: 国家“863”项目“对地观测技术在国土资源调查中应用”

作者简介: 尤淑撑(1975-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事土地资源遥感调查与监测应用研究, 发表论文10余篇。

辐射畸变校正方法(费用高);利用具有伪不变特征的地物,结合地面同步或准同步光谱测量建立空地相关的辐射畸变校正方法(地面工作负担重);基于统计理论的相对机下点的辐射度归一化校正方法(量化程度低)等。但是,由于受各种应用条件的限制,这些方法普遍缺乏实用性和通用性^[10-12]。

本文根据土地利用动态遥感监测应用需求,提出基于图像自身辐射特征、实用有效的机载成像光谱图像边缘辐射畸变校正方法。该方法基于以下假设:1)边缘辐射畸变主要由成像几何条件及大气路径差异造成,如太阳高度角、观测高度角、太阳与传感器相对方位角等。2)当扫描列足够长时,每列所包含的地物类型基本相同,即每列的平均反射率和亮度相同。3)由于垂直成像,大气路径最短,辐射畸变较少,扫描中心列(机下点所对应的列)视为无畸变影像,作为其他列纠正的基准。

基于上述假设,建立校正列与中心列像元线性模型:

$$L_{ji} = L_{ci} \times k + b$$

式中: L_{ji} 为第 j 校正列第 i 像素辐射亮度; L_{ci} 为中心列对应像素辐射亮度; k 为乘性影响因子,主要由成像几何条件、大气条件和地物反射率差异等引起; b 为加性因子,主要为程辐射差异和误差项。

$$k \text{ 值由下式估计: } k = \sqrt{\text{Var}(L_j) / \text{Var}(L_c)}$$

其中 $\text{Var}(\cdot)$ 表示列方差,由于假定平均反射率不变,对于特定列,太阳高度角、观测高度角、太阳与传感器相对方位角保持不变,因此每列 k 值可视为不变。

$$b \text{ 值由下式估计: } b = \bar{L}_j - k \times \bar{L}_c$$

试验表明该方法具有较好的应用效果,边缘辐射畸变校正前后影像见图 1。

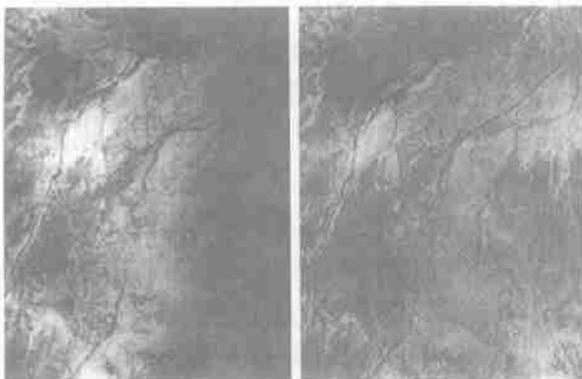


图 1 边缘辐射畸变校正前后影像

Fig 1 Images before and after radiometric distortion correction

2 影像融合技术

成像光谱数据具有较高的光谱分辨率,能满足土地利用主要二级地类和部分三级地类识别要求,

但空间分辨率一般低于 10 m,小图斑遗漏较多,直接影响监测精度。通过多源数据融合可提高地物的空间分辨能力,并通过前、后时相数据的融合达到增强变化图斑的目的。目前主要融合方法有主成分变换融合法、乘积融合法和 IHS 融合法。

主成分变换融合法能较好保留高分辨率图像的纹理,不限参加波段的数量,减少信息损失,但融合后各波段的物理含义发生变化,难以掌握色彩关系,不易获得较好的融合结果;乘积融合法能较好保留多光谱图像的色彩,高分辨率全色数据与较低分辨率遥感数据完全融为一体,生成较好的融合影像,但融合操作降低了影像亮度,给融合后色调调整带来困难,纹理信息相对减弱;IHS 融合法的特点在于运算简单,能较好地保留全色影像的纹理细节,但仅限于 3 个波段参与运算^[13-16]。试验表明,基于 IHS 变换的遥感影像融合较好地保持了色彩信息,适合以制图为目的的影像融合;乘积融合法、主成分变换融合法较好地保持了原始高光谱影像的灰度信息,适合以变化信息提取和定量分析为目的的影像融合。

3 异常光谱检测技术

异常光谱检测法指通过两个时相影像的融合,达到增强变化信息的目的,借助人机交互法选择训练区(不同变化类型及其组合),通过监督分类法确定变化发生的位置、大小和范围,并将其从遥感图像中分离出来。

融合运算时,若全色数据与成像光谱数据为不同时相,变化图斑与未变化同类图斑的波谱曲线存在较大差异,即同一地物反映在全色影像上的信息与其反映在多光谱影像上的光谱信息一一对应,融合影像才能如实显示地物的正确光谱属性;但如果两者信息表现不一致,融合后影像的光谱与正常地物有差别,此时就称地物发生了光谱特征变异。不同融合算法,光谱变化特征有所区别。主成分变换融合法变化地物和未变化地物的光谱形态发生了变化,且差异显著;乘积融合法未变化地物光谱形态基本不变,变化地物光谱形态取决于变化前、后地物的光谱,如由于建设用地光谱整体发射率较高且比较平直,新增建设占用耕地光谱的形态取决于耕地光谱,但整体反射率较耕地高;IHS 融合结果是使影像色调发生变化,由于仅能应用成像光谱的 3 个波段,影像变色调取决于输入波段及其组合,如取 OMIS 第 80、28、8 波段进行 RGB 合成产生的结果影像中,耕地为绿色,建设用地为白色,新增建设为亮绿色(图 2)。

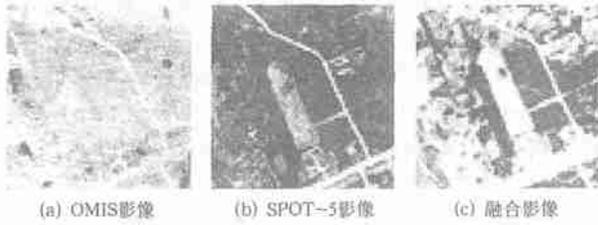


图 2 IHS 融合法影像特征

Fig. 2 Spectrum feature in merging image using IHS method

由上述可知,变化图斑在融合影像中的波谱曲线与未变化图斑不同,即发生了变异,这种变异取决于变化前后的地类,可通过常规分类方法进行信息提取。试验结果表明,光谱角度匹配法在异常光谱检测中应用效果较好,这种方法将图像波谱与参照波谱在 N 维空间进行匹配。两条光谱矢量 $s = [s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 和 $t = [t_1, t_2, \dots, t_N]^T$ 间的夹角 SA 由下式确定(N 为波段数):

$$SA = \cos^{-1} \left(\frac{s \cdot t}{\|s\| \cdot \|t\|} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^N s_i t_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N s_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N t_i^2}} \right)$$

SA 的值域为 $[0, \pi/2]$, 0 表示两个光谱向量完全一致, $\pi/2$ 表示两者完全不相似。分类时综合考虑待识别光谱向量与参照终端单元间的夹角和指定最大夹角,当像素与所有参考向量夹角中的最小值小于指定的最大夹角时,将其分为该类。 SA 需要的参照终端单元波谱可以来自波谱库、统计文件或直接从图像中抽取(如 ROI 平均波谱)。其执行流程为: 1) 从光谱数据库中选择感兴趣的参照终端单元波谱; 2) 对参照终端单元波谱与图像像元波谱进行波谱分辨率匹配; 3) 分别对参照终端单元波谱和图像像元波谱求 n 阶导数; 4) 计算参照终端单元波谱与图像像元波谱向量之间的角度(广义夹角余弦); 5) 根据指定的最大夹角,确定像元波谱所属类别。

4 应用分析与讨论

选择土地利用类型有代表性的江苏省宜兴市作为试验区,试验区位于东经 $119^\circ 32' 00'' \sim 119^\circ 44' 02''$, 北纬 $31^\circ 09' 09'' \sim 31^\circ 36' 32''$, 面积约 $1\ 000\ \text{km}^2$, 共涉及 10 个飞行条带,飞行时间为 2002 年 5 月 20 日。航摄采用中科院上海技物所研制的成像光谱仪(OMIS-1)。采用美国分析光谱仪器公司制造的 ASD Field FR350-2 500 nm 野外光谱辐射仪进行地面同步或准同步测量。应用获取的机载 OMIS-1 成像光谱数据和 SPOT-5 数据(全色 2.5 m, 2003 年 5 月),开展土地利用动态遥感监测应用方法试验和应用效果评价,并与 SPOT 全色波段(10 m 分辨

率)和 TM 多光谱数据监测效果进行对比分析。

首先对成像光谱数据(各波段中心波长最小为 VIS/NIR 455.7 nm, 最大为 TIR 11 981.1 nm)进行波段删除(删除 MIR 和 TIR 的 97~112 共 16 个波段),使之与地物波谱仪的波长范围(300~2 500 nm)相一致。然后利用 ENVI 的动画显示功能,逐波段观察,目视评价各波段质量,剔除 1~15、44~46、61~69、73、91~96 等信噪比极低的波段,保留 78 个波段。通过地面 GPS 坐标,建立地面测量反射率与 OMIS-1 影像的线性回归模型,实现光谱反射率的反演。同时对 SPOT-5 全色数据进行几何纠正,并将 OMIS 成像光谱仪数据与 SPOT-5 全色数据进行精确配准,配准中误差控制在 1 个像元以内。采用主成分融合法和光谱角度填图法对新增建设用地占用耕地、占用未利用地以及耕地、园地、林地、草地之间变化等引起的异常光谱进行检测。应用效果评价采用与土地利用数据库进行逐图斑比较,部分内业难以判断图斑,通过外业调查核实,结果表明基于 SPOT 全色波段 10 m 分辨率和 TM 多光谱 30 m 分辨率数据自动提取图斑边界不够准确,类别噪声或伪变化信息较多,分类后处理工作量较大(图 3); 基于成像光谱与高空间分辨率数据进行变化检测,准确提取图斑边界,类别噪声或伪变化信息较少(图 4),变化信息检测率达 90% 以上,漏提图斑不足 10%,误提图斑约为 15%~20%,最小可检测图斑为 $0.027 \sim 0.040\ \text{hm}^2$,面积相对中误差为 3%~5%,几何点位精度为 6~8 m,满足当前土地利用动态遥感监测精度要求。

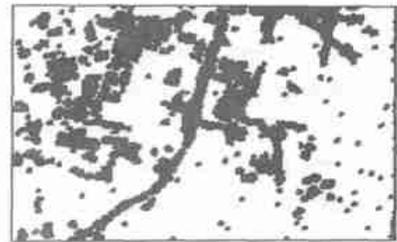


图 3 基于 SPOT 10 m 和 TM 数据自动提取变化信息
Fig. 3 Land use change automatic detecting based on SPOT-10 and TM



图 4 基于 OMIS-1 和 SPOT-5 数据自动提取变化信息
Fig. 4 Land use change automatic detecting based on SPOT-5 and OMIS-1

结果同时表明,异常光谱检测法综合了逐像素比较法和分类后比较法的优势,检测结果既能准确确定变化范围,又能确定变化类型,避免了逐像素比较法无法确定变化类型的缺陷;更避免了分类后比较法前后两时相遥感影像单独分类引起的误差累积。本次试验中,该方法能检测耕地、林地、园地、草地、建设用地和水体之间发生的变化,检测属性精度达 80.1%,其中新增建设占用水体检测精度为 100%,新增建设占用耕地检测精度达 95%,新增建设占用林地、园地、草地等斑斑检测精度为 86%,耕地、林地、园地、草地之间的变化检测精度相对较低,为 75.6%。

参考文献:

- [1] 童庆禧. 卫星遥感与政府决策[M]. 北京: 宇航出版社, 1997. 120- 123.
- [2] 陈宜元, 吴美蓉. 中巴资源卫星数据应用评价文集[C]. 北京: 科学出版社, 2000. 60- 65.
- [3] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 100- 113.
- [4] 张定祥, 刘顺喜, 尤淑撑, 等. 机载成像光谱数据预处理方法研究——以江苏宜兴市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(1): 35- 38.

- [5] 朱述龙, 张占暎. 遥感图像获取与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 135- 141.
- [6] SPOT IMAGE CO. Spot- 4 enter commercial service[J]. SPOT Magazine, 1998, 12(1): 10- 12.
- [7] OSWALD R B. Mission to planet earth task force report[J]. Technical Notes, 1992, 12(8): 110- 112.
- [8] GOETZA F H, ROWAN L C. Geological remote sensing[J]. Science, 1981(211): 781- 791.
- [9] 何挺, 王静, 程焯, 等. OMIS 图像几何校正研究[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 23- 26.
- [10] CURRAN P J. Imaging spectrometry[J]. Progress in Physical Geography, 1994, 18(2): 247- 266.
- [11] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 112- 119.
- [12] 郭小方, 王润生. 机载成像光谱图像边缘辐射畸变校正[J]. 中国图象图形学报, 2000, 12(5A): 21- 28.
- [13] 张永生. 遥感影像信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 65- 66.
- [14] 刘建贵, 郑兰芳, 童庆禧. 遥感影像信噪比的估算[J]. 应用基础与工程科学学报, 1999, 12(7): 32- 40.
- [15] 陈秋林, 薛永祺. OMIS 成像光谱数据信噪比的估算[J]. 遥感学报, 2000, 12(4): 18- 25.
- [16] COUTIS B A. Remote Sensing of Cold Deserts: Spectral Reflectance Properties of Weathered Rock Surfaces[C]. Canada: Proceedings of the Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, ERIM, 1989. 478- 500.

Study on High Spectral Resolution Remote Sensing Data Processing Method for Land- Use Dynamic Monitoring

YOU Shu- cheng^{1,2}, XIE Jun- qi², LIU Shun- xi², LI Xiao- wen¹

(1. Research Center of RS and GIS, College of Geography and RS Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875;

2. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China)

Abstract: It is necessary to obtain high accuracy land changing data annually for land resource management, especially for main land use type such as arable land, forest, orchard etc. However, normal multi- spectral remote sensing data can not meet above requirement because of its wide rang of band width. High spectral resolution remote sensing data provides 10- 100 channels within 0.4~ 2.5 μ m which may solve this problem. This paper provides a practicable method for land- use dynamic change detecting using high spectral resolution remote sensing data, including radiometric distortion correction, image merging method for high spectral resolution remote sensing data and normal high spatial resolution remote sensing data. This paper also provides a land use changing detecting method called anomaly spectral feature detecting which based on the assumption that spectral feature will be anomaly in land use type changing when different temporal remote sensing data is merged. These methods have applied to experiment site successfully. The result shows that high spectral resolution remote sensing data combined with high spatial resolution remote sensing data can improve land use changing accuracy to 90% and the error is less than 10%, which meets the needs of the present land resource management in China.

Key words: high spectral resolution remote sensing data; dynamic change of land use; anomaly spectral feature detecting; remote sensing monitoring