

文章编号:1007-1180(2011)11-0048-04

成像光谱仪光谱定标

裴 舒

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘 要: 成像光谱仪是谱像合一的新型光学遥感器。成像光谱仪的光谱定标是辐射定标的基础, 准确的光谱定标是获得地物正确光谱信息的必要条件。介绍了成像光谱仪光谱定标的原理和几种光谱定标方法, 并对国内成像光谱仪光谱定标技术进行了展望。

关键词: 成像光谱仪; 光谱定标

中图分类号: O433.1 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112811.0048

Spectral Calibration of Imaging Spectrometer

PEI Shu

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Imaging spectrometer is a new type remote sensor which can collect both the image and the spectral information of the scene. The spectral calibration of the imaging spectrometer is the basis of the radiometric calibration. The correct spectral information is gotten as long as the accuracy spectral calibration is performed. The principle of the spectral calibration of the imaging spectrometer and the method of the spectral calibration are introduced, and the orientation of the development of the spectral calibration of the imaging spectrometer is proposed.

Keywords: imaging spectrometer; spectral calibration

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.60538020)

1 引言

成像光谱仪把传统的二维成像遥感技术和光谱技术有机地结合在一起,在成像系统获得景物空间信息的同时,通过光谱仪系统把景物的光谱辐射分解成许多相互邻接的狭窄光谱波段的辐射,获得每个景物像元的光谱信息^[1]。成像光谱仪获得地物光谱特征并从背景中识别物体的能力,已经应用于从自然环境监测到军事目标识别的遥感各个领域^[2]。

遥感信息量化通过实验或物理模型将采集到的遥感信息和观察目标参量联系起来,并反演或推算出地学、生物学和大气等观测目标参量,它是遥感当前重要的发展方向之一。遥感信息量化要求对成像光谱仪进行精确的光谱定标,利用光谱定标结果通过辐射定标获得各光谱通道中心波长处的光谱响应函数,从而由成像光谱仪观测图谱数据反演出观测目标参量^[3]。本文介绍了成像光谱仪光谱定标的原理和现有光谱定标方法,并对未来成像光谱仪光谱定标技术进行了展望。

2 光谱定标原理

成像光谱仪光谱定标就是确定成像光谱仪各光谱通道的中心波长和光谱带宽,成像光谱仪的光谱响应函数可以表示为如下形式:

$$f(\lambda-\lambda_0)=\exp\left[-4\ln 2\cdot\frac{(\lambda-\lambda_0)^2}{\Delta\lambda^2}\right] \quad (1)$$

式(1)中, $\Delta\lambda$ 为光谱响应函数的半峰值全宽。实验室中通常使用光谱带宽小于成像光谱仪光谱带宽 1/10 的单色仪对成像光谱仪进行光谱定标,同一光谱通道不同景物像元的中心波长也会不同,这种成像光谱仪像面上的光谱记录误差就是 smile^[4],表现为沿穿轨方向中心波长的偏离,光谱曲线的峰值通常位于图像的中心,所以叫 smile 或 frown 效应。smile 效应是由于色散元件(光栅、棱镜)的空间畸变和准直、成像光学系统的像差引起的。光谱定标和 smile 测定过程如图 1 所示,图中一个光谱通道有 1 024 个像元, $T_1\sim T_5$ 表示数据不同采集时刻, λ_i 为相应中心

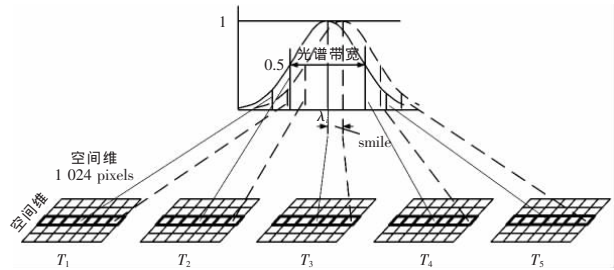


图1 光谱定标过程及smile的测量

波长。通过单色仪在待定标波长附近区域扫描波长,得到某一光谱通道对一系列单色波长的响应,把得到的数据点做高斯曲线拟合,相对最大值作归一化处理,两端响应最大值的 1% 作为波段的响应带宽,两端响应 50% 的波长差作为光谱带宽,光谱带宽的中间值作为谱段的中心波长。

3 光谱定标方法

成像光谱仪的光谱定标通常将宽带光源发出的辐射耦合进单色仪中,经准直镜产生单色平行光对成像光谱仪进行光谱定标。图 2 和图 3 分别为中科院上海技术物理研究所研制成功的中分辨率航空多光谱扫描仪 MAIS^[5] 和美国航空航天局地球观测一号上搭载的 ALI^[6] 的光谱定标示意图,MAIS 的准直扩束系统采用球面镜,ALI 的准直扩束系统采用抛物面镜,二者都存在中心遮拦,不能实现对仪器视场的

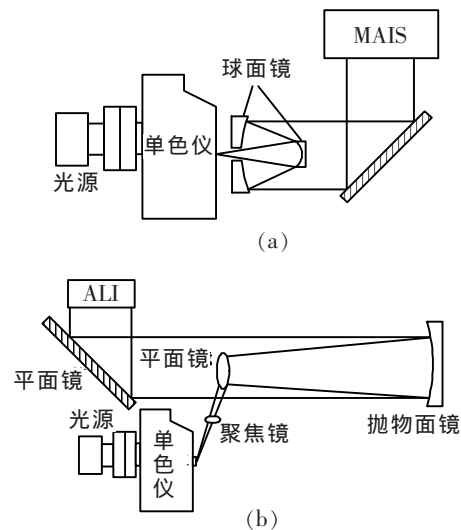


图2 MAIS (a) 和 ALI (b) 的光谱定标示意图

均匀照明。

为了实现对遥感器的均匀照明, 机载可见近红外成像光谱仪 (AVIRIS)^[7-8]在进行光谱定标时对上装置进行了改进, 采用离轴抛物面镜作为准直扩束镜, 消除了中心遮拦。但对于高精度的光谱定标, 由于单色仪出缝出光不均匀造成的单色平行光不均匀对

定标结果会产生 1 nm 的影响, 因此需要对单色仪出射光进行匀光。地球观测一号上的 Hyperion^[9-10]进行光谱定标时是在单色仪出缝处放置一个匀光的光管和漫反射板进行匀光, 而超光谱成像仪 COMPASS^[11]光谱定标时在单色仪后引入积分球产生均匀单色光。

利用物质特征谱线对成像光谱仪进行光谱定标

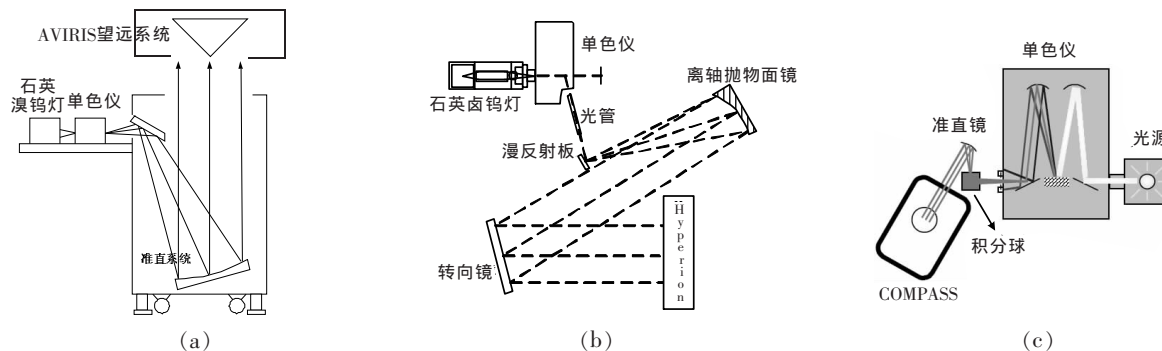


图3 AVIRIS (a)、Hyperion (b) 和 COMPASS (c) 光谱定标示意图

是另一类方便快捷的光谱定标方法。欧空局环境卫星搭载的遥感器 MERIS^[12-13]采用掺杂稀土元素的漫反射板进行光谱定标, 光谱定标时 MERIS 分别对准掺杂稀土元素的漫反射板和光谱反射率接近 100% 的漫反射板, 通过二者数据的比较对 MERIS 进行光谱定标。便携弱光成像光谱仪 PHILLS^[14]利用气体发射光谱灯特征谱线进行光谱定标, PHILLS 对准由气体发射光谱灯照射的漫反射板, 对采集到的数据取平均, 得到一帧有每个位置的光谱数据的图像。发射光谱灯的数据可以在很多资料中找到, 通过对比采集到的数据和参考资料中的数据, 就可以得到通道中心波长和通道数之间的关系。

4 光谱定标方法比较与展望

采用物质特征谱线的光谱定标方法在中心波长

和光谱带宽确定上不如采用单色仪和离轴抛物面镜组合的光谱定标方法准确, 但比较容易实现。要实现高精度光谱定标, 在单色仪和离轴抛物面镜组合的方法中需在单色仪出缝后加入匀光装置, 但限于国内大面阵探测器研制水平, 能够购买到的国外产品光谱响应度不够高, 探测不到匀光后的弱信号; 国内图像处理水平也与国外有一定差距, 所以光谱定标时单色仪出缝后通常不加漫反射板或积分球, 这样就不能实现较高精度的光谱定标。采用新方法和新技术进行高精度光谱定标, 提高自主研发大面阵探测器能力和图像处理水平是实现高精度光谱定标的重要途径, 也是国内实现高精度光谱定标过程中急需解决的问题。

参考文献

- [1] Goetz F H, Alexander. Imaging spectrometry for earth remote sensing[J]. *Science*, 1985, 228: 1147.
- [2] 万庆余. 高光谱遥感应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 30-44.
- [3] 李幼平, 禹秉熙, 王玉鹏, 等. 成像光谱仪辐射定标影响量的测量链与不确定度[J]. *光学精密工程*,

2006, 14(5): 822-828.

- [4] Fisher J, Baumbach M, Bowles J, *et al.* Comparison of low-cost hyperspectral sensors[J]. *SPIE*, 1998, 3438: 1-8.
- [5] 李家仓. 遥感仪器的实验室定标: 概述与探讨[J]. *红外*, 2003(7): 16-22.
- [6] Jeffrey G A, Alexander P C. Spectral calibration of the EO-1 advanced land imager[J]. *SPIE*, 1999, 3750: 109-116.
- [7] Chrien T G, Green R O. Accuracy of the spectral and radiometric laboratory calibration of the airborne visible infrared imaging spectrometer AVIRIS[J]. *SPIE*, 1990, 1298: 37-49.
- [8] 郑玉权. 超光谱成像仪的精细光谱定标[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(11): 2347-2354.
- [9] Liao L, Jarecke P, Gleichauf D, *et al.* Performance characterization of the hyperion imaging spectrometer instrument[J]. *SPIE*, 2004, 4135: 264-275.
- [10] Jay P, Carol S, Liao L. Development and operations of the EO-1 hyperion imaging spectrometer[J]. *SPIE*, 2004, 4135: 243-253.
- [11] Zadnik J, Guerin D, Moss R, *et al.* Calibration procedures and measurements for the COMPASS hyperspectral Imager[J]. *SPIE*, 2004, 5425: 182-188.
- [12] Hedman T R, Beach R, Jarecke J P. Hyperspectral imaging spectrometer spectral calibration: US patent, 6111640[P]. 2009-08-29.
- [13] Didier R, Richard S, Philippe D. MERIS in-flight spectral calibration in O₂ absorption using surface pressure retrieval[J]. *SPIE*, 2003, 4891: 505-514.
- [14] Curtiss D O, Jeffrey B, Robert L A, *et al.* Ocean PHILLS hyperspectral imager: design, characterization, and calibration[J]. *Optics express*, 2002, 10(4): 210-221.

作者简介: 裴舒 (1952-), 男, 吉林长春人, 高级工程师, 主要从事光学检测方面的研究。E-mail: zc11_1981@126.com