

文章编号:1004-4213(2011)04-0587-4

推扫型干涉成像光谱仪去除条带非均匀性的方法

曹玮亮,廖宁放,崔德琪,谭博能

(北京理工大学 光电学院 颜色科学与工程实验室,北京 100081)

摘 要:分析了推扫型干涉成像光谱仪的结构特点和工作原理,指出了由于加工误差导致入射狭缝的宽度不均匀,使干涉图像沿狭缝方向存在亮度差异,复原后的光谱立方体图像上出现平行于推扫方向的非均匀性条带,影响了光谱立方体的图像质量和光谱精确度.采取校正系数法去除条带,讨论了获取校正系数的方法,并使用仪器的定标干涉数据提取成像面上沿狭缝方向的不均匀特性,获得了校正系数,对干涉图像进行处理以消除条带.结果表明:校正系数法能够去除大部分条带.根据处理后残余条带的情况,在没有在轨定标数据的情况下,使用均匀景物的光谱立方体数据提取不均匀特性,修改了校正系数,有效地消除了残余条带.

关键词:推扫;干涉成像光谱仪;狭缝;去除条带

中图分类号:TP751

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114004.0587

0 引言

基于推扫式工作原理的成像光谱仪,由于成像器件各个像元的响应存在差异^[1-2]、狭缝的宽度不均匀等原因,导致其最终获得的光谱立方体图像上出现沿某一固定方向分布的、亮暗不均匀的条纹,以下简称“条带”.条带影响遥感图像的质量和可视性,对光谱的定标处理造成困难.

已有文献中对遥感图像条带的描述多为^[1]:采用多个探测器并列扫描如美国中分辨率成像光谱仪(Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)或者 CCD 线阵推扫方式的仪器,各个探测器或像元的响应存在差异,导致图像沿探测器阵列方向出现条带.处理方法有矩匹配法、直方图均衡法、均匀区法、傅里叶变换法、插值法等^[3-4].

本文从当前应用较多的采用 Sagnac 棱镜作为干涉器件的成像光谱仪结构出发,分析了狭缝作为重要器件,其加工误差导致的光通量差异对干涉图像造成的影响,阐述了沿狭缝方向使用一维数组作为校正系数对原始干涉图进行处理的思路,并讨论了校正系数的获取方法.针对处理后存在残余条带的情况,推测了可能的原因,并尝试了从均匀景物图像提取信息对校正系数进行修正以进一步去除条带,处理结果更为理想,验证了该方法的实用性.

1 条带产生的原因

图 1 为某卫星搭载的推扫式高光谱成像仪采集的干涉数据经过光谱复原后的图像,其中水平方向为狭缝方向,垂直方向为轨道方向即推扫方向,大量的条带沿推扫方向分布.

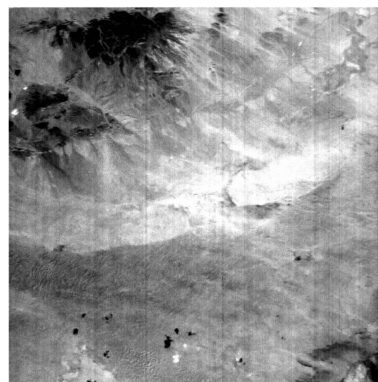


图 1 带有明显条带的遥感图像

Fig. 1 The remote image with stripe noise

本文认为,采用狭缝结构的推扫型干涉光谱仪,入射狭缝宽度的不均匀性是导致图像出现条带的主要原因.图 2 所示为当前应用较多的基于 Sagnac 棱镜横向剪切的推扫型干涉成像光谱仪的结构,以狭缝为界,系统分为前置光学系统和干涉光学系统两个部分^[5-6].

基金项目:国家高技术研究发展计划(No. 2006AA12Z124)资助

第一作者:曹玮亮(1983-),男,博士研究生,主要研究方向为成像光谱仪及图像处理. Email:df4dk5157@163.com

导师(通讯作者):廖宁放(1960-),男,教授,主要研究方向为颜色科学及高光谱图像技术. Email:liaoanf@bit.edu.cn

收稿日期:2010-08-13;修回日期:2010-10-29

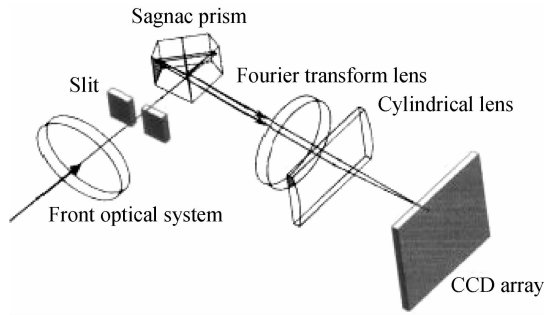


图2 基于 Sagnac 结构的推扫型干涉光谱仪结构
Fig.2 The structure of the imaging spectrometer with sagnac

若光源的光谱强度分布为 $B(\nu)$, 则仪器像面上的干涉光强分布为^[7]

$$I(l) = \int dI(l, \nu) = \int_0^{\infty} 2B(\nu) [1 + \cos(2\pi\nu l)] d\nu \quad (1)$$

式中某点处的光程差 $l = d\xi/f$, d 为 Sagnac 棱镜的横向剪切量, ξ 为像面上某点到零光程差点的距离, f 为干涉光路聚焦透镜的焦距。

对于后续的干涉光学系统, 狭缝等效为一个线状光源, 经过分光器件的剪切与再成像之后, 与成像器件构成共轭像, 干涉图上每一行干涉维方向的像元接受到的光通量为^[8]

$$\Phi = E' dS' = E'_0 \cos^4 \omega' dS' \quad (2)$$

式中 E' 为狭缝处轴外点的照度, E'_0 为狭缝处轴上的照度, dS' 为狭缝宽度。

限于加工准确度, 实际的狭缝边缘存在误差, 狭缝的宽度在沿狭缝方向上并非处处均匀^[4], 如图 3。

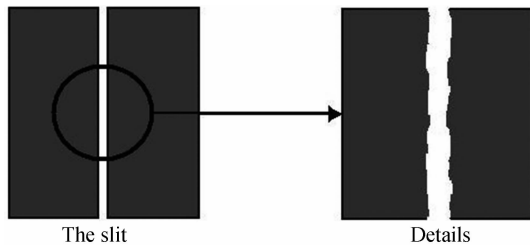


图3 入射狭缝宽度不均匀示意图
Fig.3 The sketch map of the non-uniform of the slit

狭缝宽度不一致导致像面对应处的干涉条纹光强叠加了一种固定分布的非均匀性分布(初始的非均匀性为目标沿狭缝方向的亮暗分布)。经过光谱复原后, 干涉图像相对固定的亮度非均匀性表现为光谱立方体图像上垂直于狭缝方向出现的条带状的亮度非均匀性, 狭缝宽度较大处对应为亮条纹、狭缝宽度较窄处对应为暗条纹。

2 去除条带的步骤

本文根据狭缝宽度不均导致出现条带的情况, 采用一维数组作为校正系数以去除条带。

2.1 去除条带的原理

由式(3), 沿狭缝方向的光强度, 除了狭缝宽度不均匀带来的影响, 还有轴外点亮度降低造成的影响, 综合考虑两种因素, 使用一个校正系数对干涉图在狭缝维方向进行校正。校正系数为一个一维向量, 元素个数与狭缝长度上对应的像元数量相等。

操作时将干涉图上的某一整数数据(某个点的干涉条纹)乘以校正系数的对应元素, 从而消除由于狭缝宽度不均匀导致的干涉图 DN 值差异

$$DN'_{i,j} = k(i) DN_{i,j} \quad (3)$$

式中 i 为干涉图像的行号, j 为干涉图像的列号。

2.2 校正系数的生成

首先输入针对均匀目标的干涉图像, 求出干涉方向上每一行的能量之和 $a(i) = \sum_j DN_{i,j}$, 然后将所有行的能量再求和后除以行数, 得到平均能量, 除以每一行的能量之和后即为该行的校正系数

$$k(i) = \frac{\sum_i a(i)}{a(i) \times i_{\text{MAX}}} \quad (4)$$

2.3 均匀目标的生成方法

1) 实验室定标: 采用受照射的积分球作为光源, 采集仪器像面的数据进而提取校正系数, 是各种类型的推扫成像光谱仪在正式工作前必须要进行的一项定标工作;

2) 星上定标: 对于卫星搭载的推扫式成像光谱仪, 发射过程中以及在轨运行后, 工作环境的不同可能导致狭缝出现新的变化, 有必要利用星上定标系统(如积分球)重新进行定标, 采集均匀目标的数据提取校正系数;

3) 根据实际获取的均匀景物数据, 由于仪器全视场范围内的实际景物难以做到绝对均匀, 且需要设定阈值, 该方法有一定的局限性, 一般作为上述两种方法的补充。

3 处理效果与改进方法

使用地面定标数据生成的校正系数, 对图 1 对应的原始干涉数据进行校正计算后的光谱复原结果如图 4。

进行去除条带操作后, 图像的条带有较大程度的减轻, 但是残余的条带仍对地物目标的判别和光谱的准确度存在不良影响。

残余条带可能产生于卫星发射过程中产生的强烈震动, 以及仪器在轨运行时与地面测试环境存在的巨大差异。

仪器在轨运行的情况下, 更新校正系数的最合

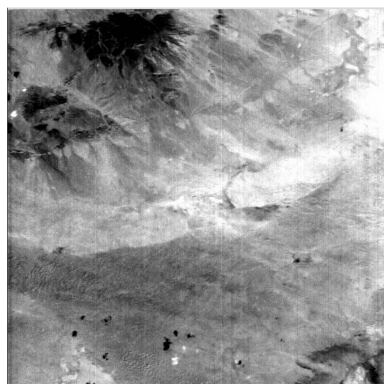


图4 初步校正的处理结果

Fig. 4 The processing result by initial coefficient

理方法是使用星上定标设备进行定标,对照度均匀的积分球采集图像,重新生成校正系数.若不具备此条件,则可通过在复原后的图像中选取地面均匀景物图像提取条带信息:

1)从遥感数据中选取地面景物大片均匀分布的图像,如大片的沙漠、戈壁,或者海面,最好无云、雾分布.

2)设选取的光谱立方体图像为 $S(m, n, \lambda)$,其中图像宽度 m 与干涉数据的行数 i 相等.将输入文件的所有波段的图像进行累加后取平均,得到单帧图像

$$S(m, n) = \frac{\sum_{\lambda} S(m, n, \lambda)}{\lambda_{\text{MAX}}} \quad (5)$$

取 $S(m, n)$ 每一列的值累加再平均,得到一个长度为等于干涉维行数的一维数据,记为数据 $A(i), 1 \leq i \leq n$,

$$A(i) = \frac{\sum_{j=1}^m S(j, i)}{m} \quad (6)$$

将数据 A 进行中值滤波,再进行邻域平均,得到新的数据记为数据 B ,将 B 中的每个值与 A 进行比较,令 $k2(i) = B(i)/A(i)$,将 $k2(i)$ 与上节得到的校正系数 $k(i)$ 的值逐点相减,若某点的差值大于阈值,则采用 $k2(i)$ 的值代替原来 $k(i)$ 的值;若差值小于等于阈值,则保留 $k(i)$ 的值.

图5显示了使用修正后的校正系数进行去条带处理的效果.

对比图4,图5中的非均匀条带得到了进一步的消除,达到了较为理想的效果.

图6为前后校正系数的对比,二者差别非常小.

修正后的系数降低了初始系数中某些过大的峰值和起伏.由此证明通过地面定标数据已经获取了大部分条带信息,根据实际采集图像的情况加以修正即可取得良好效果.

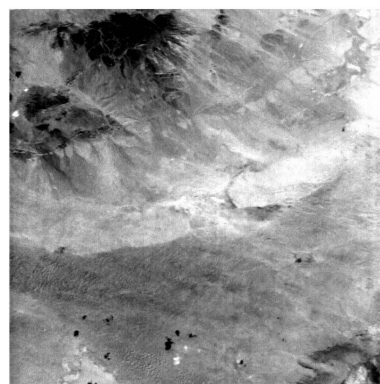


图5 系数修正后的处理结果

Fig. 5 The processing result by modified coefficient

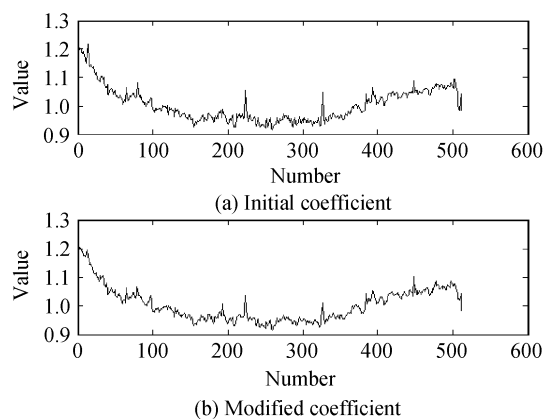


图6 前后两次校正系数的比较

Fig. 6 The comparison of two coefficients

4 结论

根据推扫型干涉成像光谱仪的工作原理与结构特点,分析了产生条带的主要原因,从定标数据提取校正系数对干涉图像进行处理,并根据处理结果,对校正系数进行修正,较好地去除了图像上的条带,证实了使用基于狭缝维的校正系数进行去除条带操作的方法是可行的.下一步的工作是结合成像器件的响应与噪音特性,更全面地分析条带产生的机理尤其是某些只在较小波段范围内出现的异常条带的根源.

参考文献

- [1] 李小文,刘素红.遥感原理与应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 童庆禧.高光谱遥感——原理、技术与应用[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [3] ZHU Xiao-Xiang, FAN Tian-Xi, HUANG Qian. Method to destripe imaging spectroradiometer data of SZ3[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2004, 23(6): 451-454.
朱小祥,范天锡,黄签.《神舟三号》成像光谱仪图像条带消除的一种方法[J]. *红外与毫米波学报*, 2004, 23(6): 451-454.
- [4] LIU Zheng-jun, WANG Chang-yao, WANG Cheng. Destripping imaging spectrometer data by an improved moment matching method[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(4): 279-284.
刘正军,王长耀,王成.成像光谱仪条带噪音去除的改进矩匹配方法[J]. *遥感学报*, 2002, 6(4): 279-284.

- [5] ZHAO Bao-chang, YANG Jian-feng, CHANG Ling-yin, *et al.* Optical design and on-orbit performance evaluation of the imaging spectrometer for chang'e-1 lunar satellite[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(3): 479-483.
赵葆常, 杨建峰, 常凌颖, 等. 嫦娥一号卫星成像光谱仪光学系统设计及在轨评估[J]. *光子学报*, 2009, **38**(3): 479-483.
- [6] XIANG-LI Bin, WANG Zhong-hou, LIU Xue-bin, *et al.* Hyperspectral imager of the environment and disaster monitoring small satellite[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, **24**(3): 257-262.
相里斌, 王忠厚, 刘学斌, 等. “环境与灾害监测预报小卫星”高光谱成像仪[J]. *遥感技术与应用*, 2009, **24**(3): 257-262.
- [7] 谢敬辉, 廖宁放, 曹良才. 傅里叶光学与现代光学基础[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [8] LIANG Min-yong. All-reflective fourier transform imaging spectrometer with high resolution [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2008.
梁敏勇. 全反射式高分辨率傅里叶成像光谱仪关键技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2008.

Stripe-reduction of the Push-broom Interferential Imaging Spectrometer

CAO Wei-liang, LIAO Ning-fang, CUI De-qi, TAN Bo-neng

(National Color Science and Engineering Laboratory, School of Photoelectric, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The structure and work principle of push-broom interferential imaging spectrometer was analyzed. It was found that the brightness of interferential data was non-uniform along the slit direction by the processed error of slit, the stripe noises along the push-broom direction were added on the restored spectral-image cube, image quality was degraded, and spectral information was difficult to evaluated. The corrected coefficient method was used to reduce stripes, and several coefficient-extracted methods were discussed. The non-uniformity of interferential data was extracted from the calibration of instruments, and the corrected coefficient was multiplied by the interferential data to reduce the stripes. The results show that numerous stripes are reduced. Without the on-orbit calibration data, the coefficient is modified by the spectral-image cube contained uniform targets, and the remanent stripes are reduced efficiently by the modified coefficient.

Key words: Push-broom; Interferential imaging spectrometer; Slit; Stripe-reduction