文章编号:1001-5078(2016)11-1375-04

·光电技术与系统 ·

宽视场推扫式成像光谱仪杂散光校正方法研究

张腾飞^{1,2},黄小仙¹,危峻¹,王宏博^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所,上海 200083;2. 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:为了满足海洋水色宽覆盖与高灵敏度探测的遥感需求,正在研制一台宽视场推扫式成 像光谱仪原理样机,针对该仪器存在的杂散光现象展开了研究。由于推扫式成像光谱仪穿轨 和沿轨方向上视场存在巨大差异,这导致穿轨方向上的杂散光远大于沿轨方向,并明显地表现 在图像中。为了避免杂散光影响海洋水色的定量化反演,建立了杂散光模型,并以此为基础提 出了杂散光校正的方法,同时给出了校正效果的定量化表征。结果表明,该方法可以利用实验 数据有效地消除成像光谱仪视场内杂散光的影响。

关键词:推扫式;成像光谱仪;杂散光;线扩散函数

中图分类号:TP751.1 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2016.11.015

Research on correction method of stray light in large field push-broom imaging spectrometer

ZHANG Teng-fei^{1,2}, HUANG Xiao-xian¹, WEI Jun¹, WANG Hong-bo^{1,2}

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to satisfy the needs of ocean color wide coverage and high sensitive detection, the large field pushbroom imaging spectrometer is developed, and its stray light is studied. Due to the great differences of field of view at across orbit and along orbit direction in push-broom imaging spectrometer, stray lights at across orbit direction are more than those at along orbit direction, which leads to significant differences in images. In order to reduce the effect of stray light on ocean color quantitative inversion, a stray light model is set up, and a correction method of stray light is proposed. The quantitative characterization of the correction is given. Experiment results show that this method can effectively reduce the impact of stray light.

Key words: push-broom; imaging spectrometer; stray light; line spread function

1 引 言

海洋水色遥感是指利用航天器上搭载的遥感仪 器获取海洋表层离水辐射量来研究海洋现象或海洋 过程的遥感技术^[1]。

成像光谱仪具有"图谱合一"的特点,在对地物 成像的同时,可以获得地物的连续光谱信息,从而可 以定量地分析目标的物理和化学特征^[2]。本文研究 的一台基于光栅分光的成像光谱仪原理样机主要应 用于海洋水色遥感。海洋水色的探测要素主要包含 在离水辐射量中,其能量微弱。对于海洋水色遥感这 种弱信号提取的应用而言,杂散光的存在会影响水色 的定量化反演。并且海洋遥感图像中往往有大量的 云,云等高亮目标带来的杂散光影响不可忽略^[3]。在 成像光谱仪的设计阶段,会对整个系统进行杂散光的

基金项目:国防科工局预研项目(No. Y5X77329NOX)资助。

作者简介:张腾飞(1987-),男,博士研究生,主要从事可见近红外成像光谱仪成像及图像处理技术的研究。E-mail:zhan-gtengfeiflame@foxmail.com

收稿日期:2016-02-19;修订日期:2016-04-27

仿真计算并进行相关的杂散光抑制设计^[4]。但一般 的杂散光抑制设计并不能完全消除成像光谱仪的杂 散光,尤其是本文所讨论的视场内杂散光,因此必须 找到合适的方法校正杂散光的影响。

对于成像光谱仪杂散光的校正,张军强等人通 过单色仪测量得到不同波长位置的杂散光影响矩阵 并由此实现杂散光的校正^[5]。尚杨等人通过激光 器测出成像光谱仪的点扩散函数,并在线性波长移 不变的前提下构建杂散光校正矩阵并实现校正^[6]。 但上述杂散光校正方法主要针对成像光谱仪光谱维 的杂散光,与本文讨论的空间维的杂散光有很大的 不同。欧空局的成像光谱仪 MERIS 是利用光学分 析软件 ASAP 仿真计算,并用其输出模型实现杂散 光的校正^[7]。但本文讨论的仪器无法得知其分光 组件的光学模型,因此无法使用软件建模的方法,必 须通过实验测量来建立模型。崔毅等人通过实验测 量建立模型实现杂散光校正^[2]。但本文研究的原 理样机采用了杂散光水平较低的改进型分光组件, 其杂散光表现有所不同。

2 成像光谱仪杂散光表现及成因

为了满足海洋水色遥感对仪器的高灵敏度要求, 本仪器采用了推扫式成像方式。由于观测目标是广 阔的海洋,为了满足覆盖能力的要求,仪器采用了长 狭缝和大像素面阵探测器,实现了较大的穿轨视场。

本成像仪某次外场成像结果如图 1 所示。图中 水平方向是仪器的沿轨方向,竖直方向是仪器的穿轨 方向,当沿轨方向上存在着亮度剧烈变化的景物时 (例如图中所示楼宇边缘),在其穿轨方向的周围一 块原本亮度均匀的矩形区域,也产生了类似的亮度变 化(矩形区域内图像经过自动增强处理以明显地反映 这种效应),就像是景物的影子。经过大量的实验证 实,该现象产生的主要来源是光学系统的杂散光。并 且由于仪器在沿轨和穿轨方向上视场之比约为 1/1000,这导致仪器穿轨方向上的杂散光远远大于沿 轨方向,从而在成像结果中表现出图中所示的现象。



图 1 成像光谱仪杂散光的表现 Fig. 1 Stray lights performance of the imaging spectrometer

3 成像光谱仪杂散光模型及校正方法

光学遥感仪器往往用点扩散函数(PSF)来描述 其成像模型,而本文讨论的推扫式成像光谱仪穿轨方 向的成像模型可以用线扩散函数(LSF)来描述。在 某一个像元 x 被单位强度的有效光照亮时,理想情况 下只有该像元有响应,但在本仪器中由于存在穿轨方 向的杂散光分布,该光源对穿轨方向上其他像元 y 也 有影响,称之为杂散光分布 $d_x(y)$ 。由于绝大部分能 量依然分布在目标像元上,所以目标像元的响应 $d_x(x)$ 是接近于1的常数 a。在获得成像光谱仪穿 轨方向上 N 个像元的响应分布后即可构建杂散光校 正矩阵 D:

$$D = \begin{bmatrix} a & d_2(1) & d_3(1) & \cdots & d_N(1) \\ d_1(2) & a & d_3(2) & \cdots & d_N(2) \\ d_1(3) & d_2(3) & a & \cdots & d_N(3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_1(N) & d_2(N) & d_3(N) & \cdots & a \end{bmatrix}$$
(1)

由于杂散光的存在只是造成能量的重新分配,并 未有能量损失,因此对于该矩阵的每一列:

$$\sum_{y=1}^{N} d_x(y) = 1$$
(2)
那么假设 N 个像元的理想输出结果为:
 $I = [i(1) \quad i(2) \quad \cdots \quad i(N) \quad]^T$
(3)
仪器输出端实际测得的结果为:

$$O = [o(1) \ o(2) \ \cdots \ o(N) \]^{T}$$
 (4)
 $M \leq R H_{E}$:

$$O = D \cdot I \tag{5}$$

$$= D^{-1} \cdot O \tag{6}$$

即可利用杂散光校正矩阵 D 实现成像光谱仪杂 散光的校正。

4 成像光谱仪杂散光模型的构建

4.1 测量实验

基于上述理论,为了建立杂散光校正矩阵,需要 测量本成像光谱仪的线扩散函数。测量系统原理图 如图2所示。



图 2 成像光谱仪线扩散函数测量系统



的卤素灯。光源经过非常窄的靶标调制后,只能照亮 CCD 的3个像元。调制后的光通过平行光管,进入成 像光谱仪,成像结果通过数据采集系统传输并保存到 上位机上。

本成像光谱仪穿轨方向上有 1024 个像元,为 了得到不同像元位置处的杂散光分布及线扩散函 数,通过调节仪器的角度,从使有效光照射到第 10 个像元开始,每次间隔 50 个像元,一直到第 1010 元,最终得到 21 个像元位置的全帧及分通道图 像。对于获取的数据进行多帧累加平均、扣除暗 电平等预处理后,对所有像元响应进行归一化处 理,从而获得近似的线扩散函数。以位于仪器中 心视场附近的第 510 个像元为例,归一化后的各 像元响应如图 3 所示。被有效信号照亮的三个目 标像元的响应之和即为 d_x(x) =0.95。



4.2 杂散光校正矩阵构建

为了构建上文中的杂散光校正矩阵 D,需要得 到 1024 个像元位置的线扩散函数,而实验中只获得 了其中的 21 个,对 1024 个位置全部测量是不现实 的。通过对这 21 个线扩散函数的观察,发现它们的 分布很相似,区别只在于中心像元的位置,可以据此 认为本仪器的 LSF 以及杂散光分布是空间移不变 的。因此 1024 个不同位置的响应可以通过对视场 中心位置第 510 点像元的线扩散函数的平移来获 取,并用此构建杂散光校正矩阵 D。

5 成像光谱仪杂散光校正结果

成像光谱仪杂散光的存在造成能量的重新分 配。校正之后,无法获得准确的原始图像来定量 地评价图像校正的效果。可以通过杂散光影响的 客观表现来进行评价。图1经过杂散光校正之后 的结果如图4所示。可以看出由于杂散光导致的 均匀区域的灰度突变的现象已经基本消失,杂散 光校正效果良好。



图4 成像光谱仪杂散光校正结果 Fig.4 The result of stray light correction of imaging spectrometer 对图 5 中校正前后矩形框中所选区域,分别获 取其沿轨方向的相对灰度变化曲线,如图 6 所示。



(a)校正前均匀区域(b)校正后均匀区域图 5 校正前后均匀区域图像的变化





矩形框内区域沿轨方向上灰度本应是均匀 不变或者变化很小,但由于杂散光的影响,校正 前左右两部分灰度值均值存在14的阶跃,校正 之后,左右两边灰度值均值的差减小到1左右, 从这个角度来看,校正后,杂散光的影响减小了 92.8%,这可以作为成像光谱仪杂散光校正效果 的量化表征。

对不同时间地点获取的图像,选取了类似的 八块沿轨方向灰度本应均匀但受杂散光影响较大 的区域,利用上述方法校正之后的结果如表1 所示。

Tab. 1 The fesult of stray light confection			
区域编号	校正前左右 灰度均值差	校正后左右 灰度均值差	杂散光影响 衰减百分比
1	13	1.5	88.5%
2	14	1	92.8%
3	12	1	91.6%
4	14	2	85.7%
5	6	0	100.0%
6	12	1	91.6%
7	10	1	90.0%
8	10	1	90.0%

表1 杂散光校正结果

Tab. 1 The result of stray light correction

由表1结果可以看出,所有区域杂散光的影响 都大大减小,这也说明杂散光校正效果良好。

6 结束语

初步分析了推扫式成像光谱仪视场内杂散光产 生的原因,并设计相关实验测得数据建立杂散光模 型,以此为基础提出了杂散光校正的方法,同时提出 了一种杂散光校正效果的定量化表征。结果显示, 该方法可以有效地消除成像光谱仪视场内杂散光的 影响。同时该方法也有以下可以改进的方向:①建 立杂散光校正模型时假设系统具有空间移不变性, 事实上系统不一定满足,但仍然可以建立空间移变 的模型并用本文提出的矩阵法实现校正;②本文提 出的方法并未考虑系统光谱维杂散光的影响,但可 以利用类似的方法建立多维度的杂散光模型实现 校正。

参考文献:

 LIU Liangming, ZHU Jiadong. Preliminary study on trend of ocean color sensor development [J]. Remote Sensing Information, 2011, (2):111-119. (in Chinese) 刘良明,祝家东.海洋水色遥感器发展趋势初探[J]. 遥感信息,2011,(2):111-119.

[2] CUI Yi, WEI Jun, HUANG Xiaoxian. Image restoration of imaging spectrometer based on line spread function martix
[J]. Infrared Technology, 2014, 36(2):115 - 119. (in Chinese)
崔毅,危峻,黄小仙. 基于线扩散函数矩阵的成像光谱

仪图像矫正方法[J]. 红外技术, 2014, 36 (2): 115-119.

- [3] ZHANG Tengfei, WANG Hongbo, HUANG Xiaoxian, et al. Research on using frame transfer CCD smear correction channel to restore saturated image channels[J]. Infrared Technology, 2016, 38(1):41-46. (in Chinese) 张腾飞,王宏博,黄小仙,等.采用帧转移 CCD 的 Smear 校正通道恢复饱和图像通道的方法研究[J]. 红外技术, 2016, 38(1):41-46.
- [4] LI Jianhua, LI Zhifeng, LIU Jiaqi, et al. Stray light analysis and suppression for space infrared detecting system
 [J]. Laser & Infrared, 2015, 45(2):185 188. (in Chinese)
 李建华,李志峰,刘佳琪,等. 空间红外探测系统外部
 空散光分析与抑制[I] 激光与红外 2015, 45(2).

杂散光分析与抑制[J]. 激光与红外, 2015, 45(2):
185-188.
[5] ZHANG Junqiang, WU Qingwen, YAN Changxiang. Meas-

- [5] ZHANG Junqiang, wo Qingwen, TAN Changxiang. Measurement and correction of stray light of space borne high resolution imaging spectrometer[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(3):552 560. (in Chinese) 张军强, 吴清文, 颜昌翔. 星载成像光谱仪杂散光测量 与修正[J]. 光学 精密工程, 2011, 19(3):552 560.
- [6] SHANG Yang, HAN Jun. Correction of stray light of imaging spectrometer with grating dispersion [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2012, 31 (2):43 46. (in Chinese)
 尚杨,韩军. 光栅型成像光谱仪杂散光校正技术研究
 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(2):43 46.
- Bourg L, Delwart S. MERIS instrument calibration [J].
 Second Working Meeting on Meris & Aatsr Calibration & Geophysical Validation, 2006:615.