

文章编号: 1672-8785(2013)03-0007-05

基于参考波段的去除 HJ-1A 星 HSI 图像中条带噪声的方法

高海亮¹ 顾行发¹ 余 涛¹ 赫华颖² 王 峰² 祝令亚²

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国资源卫星应用中心, 北京 100094)

摘 要: 环境卫星 HJ-1A 搭载的超光谱成像仪自 2008 年 9 月发射以来, 已获取了大量影像数据。由于超光谱成像仪部分波段的图像存在明显的条带噪声, 其图像应用效果受到严重影响。本文针对该图像噪声的特点, 提出了一种基于参考波段的移动窗口条带噪声去除方法。结果表明, 新的噪声去除算法不仅可以有效去除图像的条带噪声, 显著提高图像的清晰度, 而且还保留了原始图像的基本信息。该方法具有处理速度快、适用性广等优点, 是一种理想的条带噪声去除方法。

关键词: 条带噪声去除; 高光谱遥感; 参考波段; 超光谱成像仪

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.03.02

A Reference-band-based Method for Removing Stripe Noise from HJ-1A HSI Images

GAO Hai-liang¹, GU Xing-fa¹, YU Tao¹, HE Hua-ying², WANG Feng², ZHU Ling-ya²

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. China Centre for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100094, China)

Abstract: The Hyper Spectral Imager (HSI) onboard the HJ-1A satellite has acquired a large quantity of image data since its launch in Sep. 2008. However, the effectiveness of those images is greatly limited because of the apparent stripe noise in the images acquired in partial bands of the HIS. According to the features of the image noise, a new method for removing the stripe noise by moving the windows based on a reference band is proposed. The result shows that this new noise removing algorithm can not only remove the stripe noise in the images effectively and improve the definition of the images remarkably, but also can retain the basic information of the raw images. The method has the advantages of fast processing and wide range of application. It is an ideal stripe noise removing method.

Key words: destripe; hyperspectral remote sensing; reference band; HSI

0 引言

环境与灾害监测预报小卫星星座的 A 星

(HJ-1A) 自 2008 年 9 月发射以来, 已经在轨运行四年多, 获取了大量遥感数据。其搭载的超光谱成像仪 HSI, 是我国第一台用于对地观测的

收稿日期: 2013-02-19

基金项目: “十二五”民用航天技术预先研究项目; 国家自然科学基金(41201344); 中国科学院遥感应用研究所知识创新工程青年人才领域前沿项目(Y1S01800CX)

作者简介: 高海亮(1982-), 男, 山西太原人, 博士, 助理研究员, 主要研究领域为辐射定标和高光谱遥感。

E-mail: gaohl@irsa.ac.cn

星载高光谱传感器, 备受广大遥感科研人员的关注。然而, 由于超光谱成像仪部分波段的图像存在严重的条带噪声, 图像非常模糊, 影响了高光谱图像的应用效果。如何在保持图像基本信息的同时, 有效去除高光谱图像的条带噪声, 是高光谱图像预处理工作中不可缺少的一个环节。

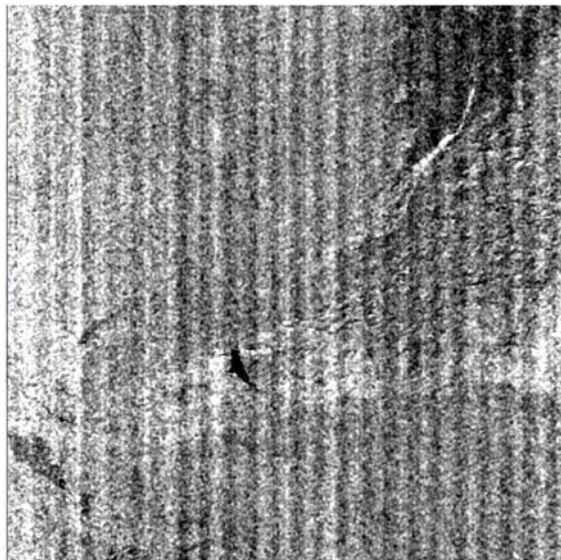
不同的图像具有不同的噪声特征, 要想有效去除条带噪声, 必须先对图像的噪声特征进行分析。尽管现在已经出现了多种条带噪声去除方法, 如直方图匹配法^[1,2]、矩匹配法^[3-5]、小波去噪法^[6]、有限脉冲响应法 (FIR)^[7] 等, 但也有学者针对超光谱成像仪图像的条带噪声去除开展了研究^[8,9]。由于没有对超光谱成像仪的噪声特征进行深入分析, 现有的算法虽然能去除图像的条带噪声, 但图像的清晰度依然很差, 去除效果并不理想。本文在分析超光谱成像仪图像噪声特征的基础上, 提出了基于参考波段的移动窗口条带噪声去除算法; 并给出了多个评价指标, 对噪声去除前后的图像进行了定量化评价, 分析了新算法的去除效果。以敦煌地区遥感影像为例, 实现了条带噪声的有效去除。

1 图像特征分析

环境卫星超光谱成像仪共有 115 个波段, 每个波段的图像大小为 512×512 个像元。图 1 为 2008 年 10 月 20 日获取的一幅敦煌地区超光谱成像仪波段 1 和波段 10 的原始图像。由图可以看出, 这两个波段都具有明显的条带噪声。为了定量评价图像条带噪声的严重程度, 本文提出了一个评价条带噪声的指标即探元一致性指标, 用公式描述为

$$\delta(k) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (\mu_i(k) - \mu_{i-1}(k))^2}}{\bar{\mu}(k)} \quad (1)$$

式中, $\mu_i(k)$ 为第 k 波段第 i 个探元对应的列均值。 $\bar{\mu}(k)$ 为第 k 波段图像所有列均值的均值, 即第 k 波段整个图像的平均值。 N 为图像的探元数, 对于超光谱成像仪图像, $N=512$ 。 $\delta(k)$ 为第 k 波段图像探元一致性指标。



(a) 第 1 波段



(b) 第 10 波段

图 1 超光谱成像仪敦煌地区遥感影像

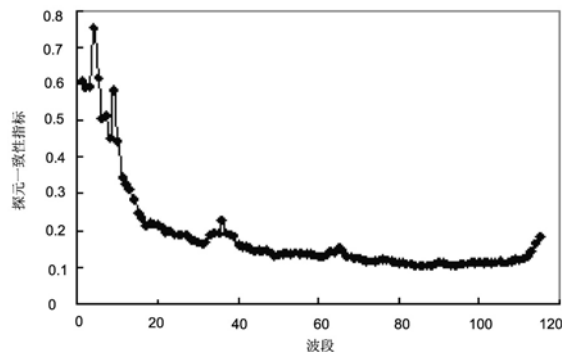


图 2 探元一致性评价指标

图2是超光谱成像仪所有波段对应的探元一致性评价指标。其中,评价指标大于0.2的波段为波段1~21和波段36。由图可看出,这些波段具有显著的条带噪声,需要进行条带噪声的有效去除。

2 去除条带噪声的方法

由图2可以看出,超光谱成像仪图像的前21个波段和波段36具有显著的条带噪声,其他波段的条带噪声不明显。本文提出了一种基于参考波段的移动窗口去噪算法,具体原理如下:首先构建一个固定大小的窗口,计算出这个窗口含噪波段和参考波段图像的均值;然后根据参考波段的灰度值,得到窗口内含噪波段的新灰度值;移动窗口遍历整个图像,即可实现整个图像条带噪声的去除。具体公式为

$$DN_{new}(k, i, j) = DN(ref, i, j) \times \mu_k / \mu_{ref} \quad (2)$$

式中, μ_k 为含噪波段窗口图像的均值; μ_{ref} 为参考波段窗口图像的均值; $DN(ref, i, j)$ 为参考波段窗口图像对应的灰度值; $DN_{new}(ref, i, j)$ 为含噪声波段 k 窗口图像的新灰度值。

利用移动窗口算法去除条带噪声,需要确定对应的参考波段。对于超光谱成像仪的图像,选取计算无条带噪声的波段(波段22~35和波段37~115)和含条带噪声的波段(波段1~21, 波段36)相关性最高的波段作为参考波段。具体相关性计算公式为

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

式中 r 为相关系数, X 和 Y 分别为含噪波段和不含噪波段图像的灰度值, $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 分别为含噪波段和不含噪波段图像的均值。分别计算两类图像的相关系数,找出相关系数最大的波段作为参考波段。具体计算结果见表1。

从表1可以看出,波段1~2、7~8、18~21的最相关波段为波段22;波段3~6、11~12的最相关波段为波段25,波段9~10的最相关波段为

波段23;波段13~14的最相关波段为波段27;波段15的相关波段为28;波段16的相关波段为29;波段17的相关波段为30;波段36的相关波段为37。选择适当大小的窗口,计算出对应窗口含噪波段和参考波段的图像均值,再根据公式1,实现图像条带噪声的去除。

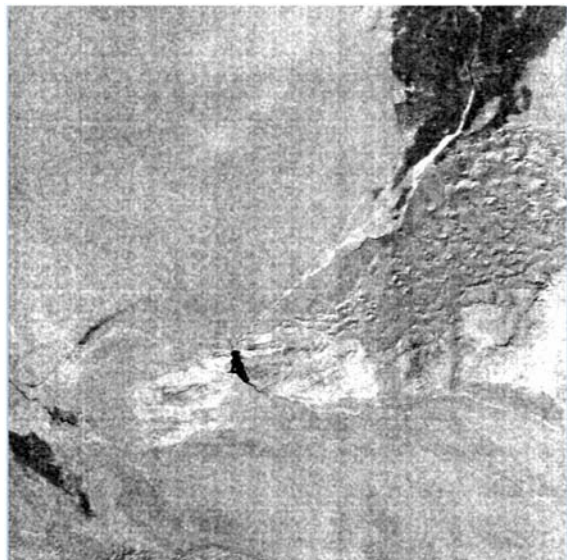
表1 含噪波段图像最相关波段计算结果

含噪波段	最相关波段	相关系数值
1	22	0.44867
2	22	0.476893
3	25	0.507439
4	25	0.494307
5	25	0.556472
6	25	0.606287
7	22	0.630978
8	22	0.697199
9	23	0.653284
10	23	0.717525
11	25	0.763104
12	25	0.786558
13	27	0.801115
14	27	0.815811
15	28	0.82236
16	29	0.831968
17	30	0.846115
18	22	0.861318
19	22	0.892536
20	22	0.931684
21	22	0.976818
36	37	0.989911

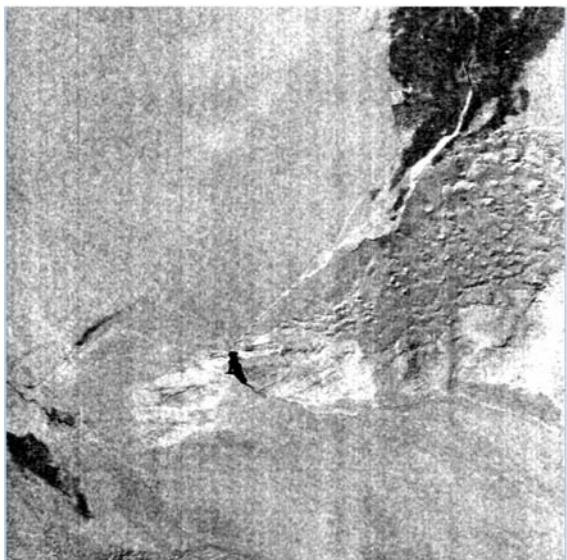
3 条带噪声去除实例

以图1中的超光谱成像仪图像为例,采用本文提出的基于参考波段的条带噪声去除算法,实现图像条带噪声的去除。去除结果如图3所示。

将图3与图1进行比较可发现,利用新的条带噪声去除算法,不仅有效去除了图像的条带噪声,而且图像的清晰度有了明显提高。结果表明该算法是有效的。



(a) 第 1 波段



(b) 第 10 波段

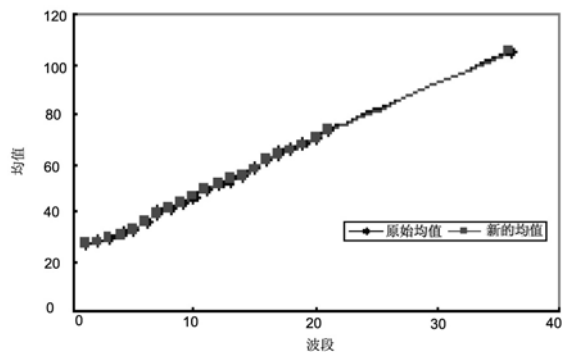
图 3 超光谱成像仪图像条带噪声去除结果

4 条带噪声去除效果的定量评价

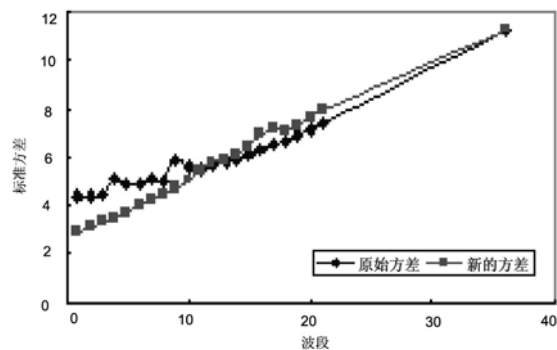
一个好的条带噪声去除算法,不仅能够有效去除图像的条带噪声,减小由于探元响应不一致引起的误差,更关键的是它能保持图像的原始基本信息。为此,本文提出一系列评价指标,以定量评价条带噪声的去除效果。

图像的灰度值均值和标准方差是衡量图像是否改变的两个基本信息。图像均值表明图像

的亮度等级,标准方差表示图像的丰富程度。分别计算条带噪声去除前后图像各波段的均值和标准方差,结果见图 4 所示。



(a) 均值



(b) 标准方差

图 4 条带噪声去除前后图像的均值和标准方差

由图 4(a) 可以看出,校正前后图像的均值未发生变化。图 4(b) 为校正前后图像标准方差,波段 1~11 校正后的图像标准偏差略低于原始图像,波段 12~21 校正后图像的标准偏差略大于原始图像,波段 36 的标准偏差未发生变化。整体而言,其标准方差变化在 1~2 个 DN 值以内。这一结果表明,新的条带噪声去除方法可以有效保留图像的均值和标准方差。

除图像的均值和标准方差外,图像的列均值曲线图也可以有效证明图像中是否存在条带噪声。计算了校正前后图像对应波段的列均值曲线图,并比较分析了图像的校正效果,结果如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,原始图像相邻探元的列均值存在剧烈的变化,在图像上显示为条带噪

声。经过条带噪声去除后, 图像的列均值曲线变得平滑。此外, 经过条带噪声去除后的图像, 其图像的灰度值均值同原始图像非常接近, 保留了原始图像的基本变化趋势, 表明该方法能够在有效去除图像条带噪声的同时, 保留图像的基本信息。

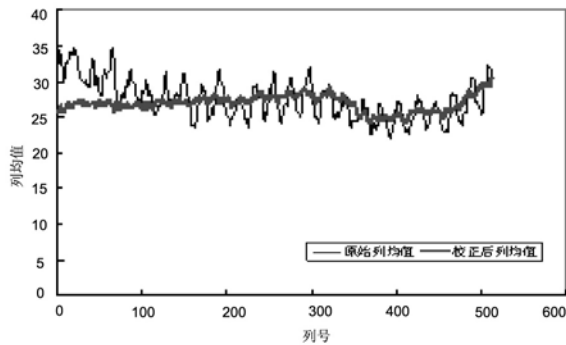


图5 校正前后图像第1波段列均值曲线图

为了能定量分析不同波段噪声的去除效果, 根据式(1), 计算了图像各波段的探元一致性评价指标, 并比较了校正前后图像的探元一致性指标。具体结果如图6所示。

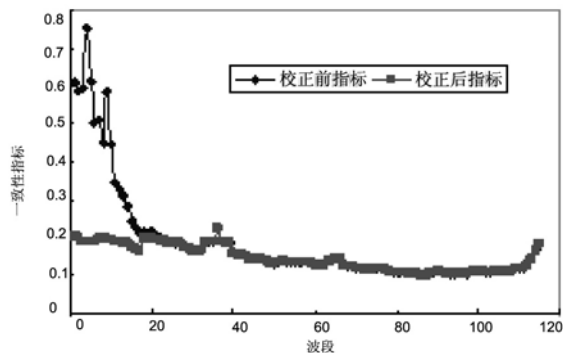


图6 校正前后图像探元一致性评价指标

由图6可看出, 经过校正后, 探元一致性指标明显降低, 所有波段的探元一致性指标均小于0.2, 这表明图像的条带噪声已经被有效去除。

5 结论

本文首先分析了超光谱成像仪图像噪声的特征, 定量计算了探元一致性指标, 确定了存在条带噪声的波段。在此基础上, 提出了基于参考波段的移动窗口校正算法, 实现了图像条带噪声的有效去除。对校正前后的图像进行了定量计算。结果表明, 新的条带噪声去除算法不仅能够保留图像均值和标准方差等基本信息, 而且能够有效去除图像的条带噪声, 显著提高了图像的清晰度。数十幅超光谱成像仪图像的处理结果表明, 该算法具有处理过程简单、适用面广等优点。该算法处理一幅超光谱成像仪图像所需时间不到一分钟, 是一种非常理想的超光谱成像仪条带噪声去除算法。

参考文献

- [1] Horn B, Woodham R J. Destriping Landsat MSS Images by Histogram Modification[J]. *Com Graph Image Process*, 1979, **10**(1):69-83.
- [2] Wegener M, Destriping Multiple Sensor Imagery by Improved Histogram Matching[J]. *Int J Remote Sensing*, 1999, **11**(5):859-875.
- [3] Gadallah F L, Csillag F, Simtb E J. Destriping Multisensor Imagery with Moment Matching[J]. *Int J Remote Sensing*, 2000, **21**(12):2505-2511.
- [4] 刘正军, 王长耀, 王成. 成像光谱仪图像条带噪声去除的改进矩匹配方法[J]. *遥感学报*, 2002, **6**(4):279-284.
- [5] 张辉, Hyperion 高光谱数据条带噪声消除方法研究[J]. *厦门理工学院学报*, 2010, **18**(3):43-47.
- [6] 陈劲松, 朱博勤, 邵芸. 基于小波变换的多波段遥感图像条带噪声的去除[J]. *遥感信息*, 2003, **2**:6-9.
- [7] Simpson J J, Gobat J I, Frouin R. Improved Destriping of GOES Images Using Finite Impulse Response Filters[J]. *Remote sens Environment*, 1995, **52**(1):15-35.
- [8] 兰穹穹, 张立福, 吴太夏. 基于灰度归一化的 HJ-1A 星 HSI 图像条带噪声去除方法[J]. *国土资源遥感*, 2012, **2**:45-50.
- [9] 郭兴杰, 王阳春, 汪爱华, 等. HJ-1A 高光谱数据的条带噪声去除方法研究[J]. *遥感信息*, 2011, **1**:54-58.