

doi:10.6046/gtzyyg.2012.02.09

基于灰度归一化的HJ-1A星HSI图像 条带噪声去除方法

兰穹穹^{1,2}, 张立福¹, 吴太夏¹

(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. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 针对HJ-1A星HSI图像上的条带噪声,在分析传统条带噪声去除方法的基础上,提出了一种新的基于灰度归一化去除条带噪声的方法。首先,设计孤立点检测窗口,将随机斑点噪声与条带噪声分离;然后,利用灰度归一化方法建立图像各列元灰度级与基准列元灰度级对应的查找表,根据查找表对HSI图像条带噪声进行消除。实验结果表明,该方法在很好地保留图像光谱信息的情况下,能够有效地消除图像条带噪声和随机斑点噪声。

关键词: 成像光谱仪; 遥感图像; 条带噪声; 灰度归一化

中图分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2012)02-0045-05

0 引言

环境与灾害监测预报小卫星星座的A星(HJ-1A)于2008年9月6日在太原卫星发射中心成功发射,其上搭载有我国第一台星载高光谱传感器HSI。受到各种因素的影响,HSI在获取数据时往往会在图像上产生一定的噪声^[1]。条带噪声是其最主要的噪声成分,它是由于传感器响应不均匀而造成的原始数据在一定方向上出现的灰度值连续偏高或偏低^[2-4]现象。由于条带噪声的存在,严重影响了高光谱数据的质量,因此,去除条带噪声的是高光谱图像预处理工作中不可缺少的环节。

常见的条带噪声去除技术主要有基于频率域的低通滤波技术和基于图像空间域的灰度变换技术2种。基于这2种技术,国内外学者做了大量的条带噪声去除方法研究。Horn^[5]和Kautsky^[6]提出了直方图匹配法,这种方法虽然能够起到去除条带噪声的作用,但也有一定的局限性,不适用于地表环境复杂图像的条带噪声去除,而且只适用于在几何纠正前进行;Gadallah^[7]等提出了矩匹配方法,该方法显然比直方图匹配法去噪效果好,但却改变了图像行或列上的均值分布,使图像灰度产生一定的畸变,处理后的图像出现了亮暗交替的现象;刘正军等^[8]对矩匹配方法进行了改进,提出了改进矩匹配方法,收到了较好的效果;石光明等提出了一种基于方向性

滤波器的图像孤立条带噪声消除方法^[2];Weinreb等人提出了利用经验分布函数匹配的条带处理方法^[9],朱小祥等利用该方法对神舟三号成像光谱仪图像条带进行了有效处理^[10]。

本文提出的基于灰度归一化的条带噪声去除方法,首先将图像的随机斑点噪声分离,然后分别对随机斑点噪声和条带噪声进行去除。实验证明,该方法对HJ-1A星HSI图像的条带噪声去除是非常有效的。

1 研究方法

理想情况下,当进入传感器的地物辐射强度相同时,传感器对应输出图像的DN值也应该是相同的。然而,受成像光谱仪复杂的成像过程以及传感器光学敏感元件响应偏差的影响,传感器输出图像上常有交替出现的亮暗条纹,即条带噪声。

假设图像上条带噪声呈周期分布(周期为 k)且地面观测范围较大,地物种类分布较均一,那么在各周期列内,第 $i, i+k, \dots, i+nk$ 列与第 $j, j+k, \dots, j+nk$ 列应该具有相同的辐射级动态分布范围,即

$$P(i, i+k, \dots, i+nk) = P(j, j+k, \dots, j+nk), \quad (1)$$

式中: P 表示辐射级动态分布; $i \geq 1, j \leq k; n$ 为条带周期数。

选择一个信噪比较高、辐射级动态范围大的周期列系列($i, i+k, \dots, i+nk$ 列)作为基准列,将其辐射灰度归一化为 n 级,则

收稿日期: 2011-07-20; 修订日期: 2011-08-31

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(编号: 2010CB434801)和国土资源部公益专项课题(编号: 201011019-07)共同资助。

$$DN_{(x,y)} = DN_m, \quad (2)$$

式中： $DN_{(x,y)}$ 为原始图像坐标 (x,y) 的灰度值； DN_m 为灰度归一化后对应的灰度级 $(m=1,2,\dots,n)$ 。

当把其他周期列序列的辐射值同样归一化为 n 级时，同一个灰度级对应的不同周期列序列的像元灰度值应该相等，即

$$DN_{(x_1,y_1)} = DN_m = DN_{(x_2,y_2)}, \quad (3)$$

式中： $DN_{(x_1,y_1)}$ 为基准周期列序列内某像元的灰度值； $DN_{(x_2,y_2)}$ 为其他周期列序列内对应的像元灰度值。这样， $DN_{(x_1,y_1)}$ 与 $DN_{(x_2,y_2)}$ 是一一对应关系。根据式(3)即可生成每一个周期列序列与基准列序列对应灰度值的查找表。

图1揭示了基准周期列序列灰度与其他周期列序列灰度之间的转换关系。为了复原 (x_2,y_2) 坐标处像元的真实灰度值，首先根据 (x_2,y_2) 处像元的灰度值在查找表中找到对应的归一化灰度级，然后根据归一化灰度级找出对应基准列序列中对应的灰度

值，该基准列序列中对应的灰度值即为 (x_2,y_2) 处像元复原后的灰度值。

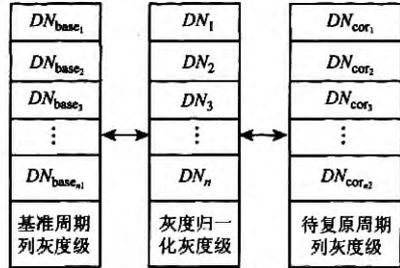


图1 查找表生成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of look-up table generation

2 实验及结果分析

HJ-1A星HSI图像的条带噪声呈明显的周期性列方向分布，如图2所示。

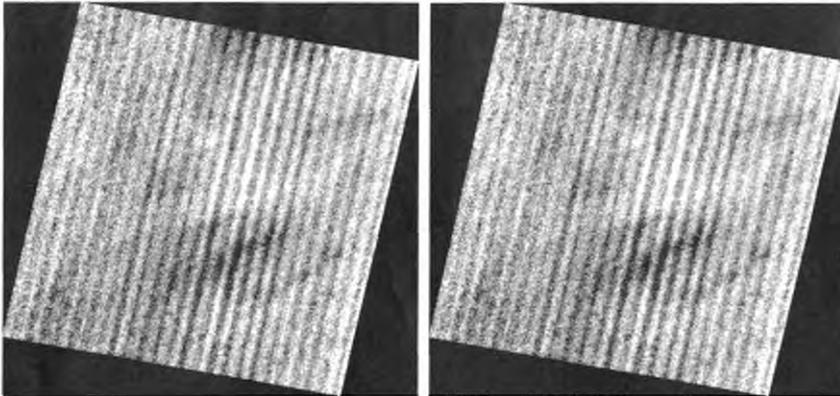


图2 HSI Band5(左)和 Band10(右)原始图像

Fig. 2 The original images of Band5(left) and Band10(right) of HSI data

由于高光谱图像上的噪声随着波段变化非常复杂，因此在研究如何将其消除的过程中，必须采用自适应的方法对每个波段的噪声特性进行分析。本文分析了HSI前20个波段图像的特点，认为这些波段图像上同时具有随机斑点噪声和条带噪声。在计算中，首先要将随机斑点噪声分离出来，使其不参与计算；然后根据图像条带噪声的周期特性建立每一波段、每一周期列序列的归一化查找表，根据查找表得到复原后的灰度值；最后，对具有斑点噪声的图像位置进行线性插值处理，得到复原后噪声处的DN值。整个处理过程基于遥感图像处理软件ENVI和交互式数据语言IDL实现，处理流程如图3所示。

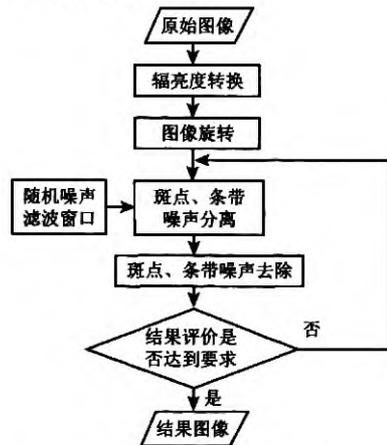


图3 本文方法流程

Fig. 3 Flow chart of the destriping method in this paper

以 Band10 图像为例,具体去噪步骤如下:

1) 辐亮度转换。HSI 是以 16 位有符号的整形数据记录的,在产品的生产过程中,人为地把辐亮度扩大了 100 倍,为此要把原始波段数据除以 100。

2) 图像旋转。图像旋转采用文献[11]所述的方法实现;分析计算旋转后图像条带噪声分布周期为 21 个像素。

3) 斑点与条带噪声分离。如图 4 所示,设计一

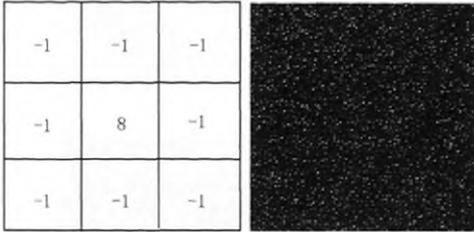


图 4 随机噪声检测窗口(左)与 Band10 被检测出的随机噪声(右)

Fig.4 Filter window to detect the random noise (left) and detected random noise of Band 10 (right)

个 3 像元 × 3 像元的随机噪声检测窗口,对图像做掩模处理;结合图像的信噪比和方差,确定窗口中心滤波阈值;检测随机斑点噪声,并将其与图像条带噪声分离,使其不参与计算。

4) 分析计算前 20 个波段条带噪声的周期,并根据式(1)统计分析出一个波段内每一个周期列序列的原始图像 DN 值分布范围;选择一个信噪比较高、辐射级动态范围大的周期列序列作为基准周期列序列。

5) 压缩图像灰度级,把各周期列序列的灰度值归一化为 64 级;选择第 2 个周期列序列为基准列序列,同时建立各周期列序列对应基准列的查找表。图 5 是 Band10 图像灰度归一化结果。

6) 利用上一步建立的查找表,把各周期列序列的 DN 值校正到基准周期列序列上,并采用邻域线性插值法得到随机噪声处的像元复原值,最终实现图像噪声消除的目的。

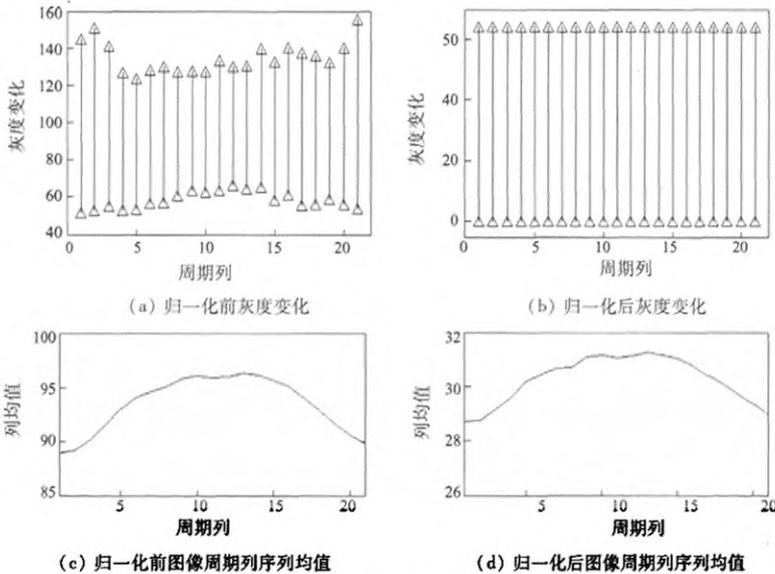


图 5 Band10 图像灰度归一化结果

Fig.5 Normalization results of Band10 image

图 6 是几种条带噪声去除方法的效果。

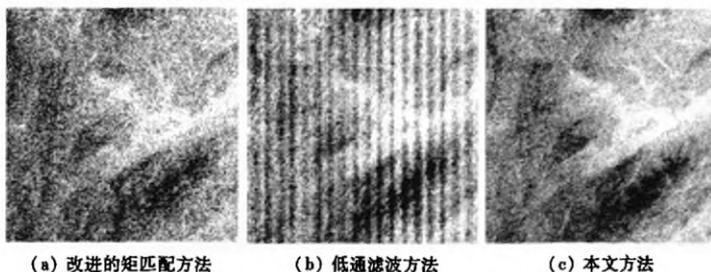


图 6 噪声去除方法效果对比(Band 10)

Fig.6 Comparison of destriping methods(Band 10)

从图 6 可以看出,与传统改进的矩匹配方法和低通滤波方法相比,本文方法消除了随机斑点噪声和条带噪声的干扰,图像质量有了明显的提高。图 7

展示了利用本文方法对其他一些波段图像的条带噪声去除效果。

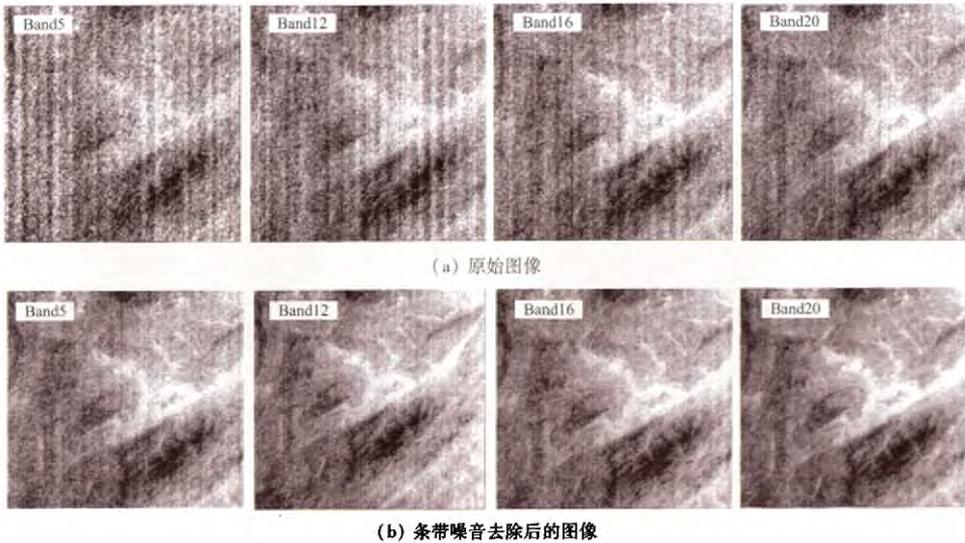


图 7 HSI 原始图像及其去噪处理结果

Fig. 7 Destriping results of HSI original images

3 结果评价

采用图像均值、方差、列方差均值、信噪比及信息熵 5 个指标定性评价噪声去除结果。把原始图像与经本文方法、低通滤波方法和传统改进的矩匹配算法噪声去除结果图像进行了统计,结果如表 1 所示。

表 1 噪声去除统计结果

Tab. 1 Statistical results of destriping methods

统计量	原始图像	本文方法处理后图像	低通滤波方法处理后图像	改进的矩匹配法处理后图像
图像均值	94.11	94.11	94.31	94.13
图像方差	9.70	8.57	8.74	9.75
列方差均值	7.76	7.73	7.92	9.49
信噪比	49.11	77.44	82.62	63.04
信息熵	3.35	3.65	3.32	3.66

可以看出,本文方法较其他方法很好地保留了图像的灰度均值和列方差均值,这说明该方法能够保留原图像的光谱信息和图像的纹理细节信息。图像整体方差、信噪比较低通滤波法有所下降是由于随机噪声和条带噪声消除的原因,并不代表图像真实信息量的下降。图像的信息熵与矩匹配方法接近,且大于低通滤波法的信息量,说明本文方法在去除噪音的同时,很好地保留了图像真实信息。图 8 是 Band10 图像列均值统计结果。

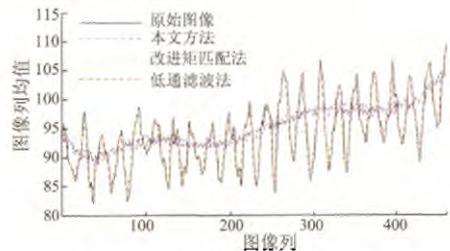


图 8 Band10 图像列均值剖面线

Fig. 8 Profile line of the mean value of the samples of Band 10

由图 8 可以看出,与低通滤波和改进的矩匹配方法相比,应用本文方法处理后的列均值剖面线更接近原始图像列均值剖面线,具有较好的噪声消除效果。

4 结论

本文基于 HJ-1A 星 HSI 数据特点,提出了一种基于图像灰度归一化的条带噪声消除方法。从处理结果和评价参数可以看出,该方法有以下特点:

- 1) 与传统的条带噪声去除方法相比,该方法能够很好地消除图像的随机斑点噪声和周期条带噪声,并且能够保证图像的光谱辐射信息和纹理信息。
- 2) 灰度归一化方法是一种基于灰度值转换映射的方法,在处理时只需要根据查找表找到与待复原像元相对应的标准列的灰度值即可,因此该方法

操作简单,同时,处理后的图像和原始图像灰度值之间可以互相转换,方便得到原始图像的特征。

3)通过对不同时相、不同轨道的 HJ-1A 星 HSI 数据处理研究表明,该方法能很好地去除 HJ-1A 星 HSI 图像上的噪声。

需要说明的是,该方法对条带噪声呈周期性分布且地物种类分布均一的图像去噪效果较好,而对于含有孤立条带噪声、地物类型分布差异较大的图像来说,去噪效果并不理想,并且只适合于几何纠正前的图像去噪。

参考文献:

- [1] 童庆禧,张兵,郑芬兰. 高光谱遥感原理、技术与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2008:7.
- [2] 石光明,王晓甜,张犁,等. 基于方向滤波器消除遥感图像孤立条带噪声的方法[J]. 红外与毫米波学报,2008,27(3): 214-218.
- [3] 相里斌,赵葆常,薛鸣球. 空间调制干涉成像光谱技术[J]. 光学学报,1998,18(1):18-22.
- [4] 计忠瑛,相里斌,王忠厚,等. 干涉型超光谱成像仪的星上定标技术研究[J]. 遥感技术与应用,2004,19(4):280-283.
- [5] Horn B K P, Woodham R J. Destriping Landsat MSS Images by Histogram Modification[J]. Com Graph Image Process, 1979, 10(1):69-83.
- [6] Kautsky J, Nichols N K, Jupp D L B. Smoothed Histogram Modification for Image Processing[J]. Computer Vision Graphic and Image Processing, 1984,26(3):271-291.
- [7] Gadallah F L, Csillag F, Smith E J M. Destriping Multisensor Imagery with Moment Matching[J]. Int J Remote Sensing, 2000, 21(12):2505-2511.
- [8] 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.
- [9] Weinreb M P, Xie R, Lienesch, et al. Destriping GEOS Images by Matching Empirical Distribution Functions[J]. Remote Sens Environ 1989,29(2):185-195.
- [10] 朱小祥,范天锡,黄笠.《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.
- [11] 钮立明,蒙继华,吴炳方,等. HJ-1A 星 HSI 数据 2 级产品处理流程研究[J]. 国土资源遥感,2011(1):77-82.

A Method to Destripe HJ-1A HSI Data Based on Normalized Grey Level

LAN Qiong-qiong^{1,2}, ZHANG Li-fu¹, WU Tai-xia¹

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The first national self-developed Hyper-Spectral Imaging (HSI) sensor was aboard on HJ-1A satellite which was launched on March 30, 2009 successfully. The HSI data quality was influenced by the stripe noise in the first 20 spectral bands severely. It is an urgent need to study the method to destripe the HSI data. In this paper, a new destriping method was developed based on an analysis of the main causes and characteristics of the stripe noise in the hyperspectral images. The method firstly devised a filter window to separate the random noise and stripe noise. Secondly, a look-up table between the gray level of each column and that of the standard column was calculated to destripe the stripe noise of the HSI data. The results indicate that this method can remove the stripe noise and random noise effectively and at the same time keep the spectral radiation information properly.

Key words: spectrometer; remote sensing image; stripe noise; normalized grey level

第一作者简介: 兰穹穹(1987-),男,硕士研究生,研究方向为高光谱遥感。E-mail: lanqiongqiong09@163.com。

通讯作者: 张立福(1967-),男,中国科学院遥感应用研究所研究员,主要从事高光谱遥感理论及应用研究。E-mail: zhanglf@irsa.ac.cn。

(责任编辑:刁淑娟)