

一种高光谱图像条带噪声去除改进算法

郑逢斌¹ 支晶晶^{1,2,3} 高海亮^{2,3} 赖积保^{1,2,3} 潘伟^{1,2,3}

(河南大学数据与知识工程研究所 开封 475001)¹

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)² (国家航天局航天遥感论证中心 北京 100101)³

摘 要 传统的矩匹配方法改变了图像在成像行或列方向的均值分布,使原始图像信息发生了较大改变。在分析 HJ-1-A 星超光谱图像条带噪声的基础上,提出了一种改进的矩匹配方法,将传统矩匹配算法中“参考图像”的平均值和标准差分别用平滑滤波处理后的列均值和方差来代替。实验结果表明,与传统矩匹配方法相比,该方法能减少图像信息的丢失,并能在保持原始图像特征的前提下有效地去除条带噪声。这种方法在其它多传感器遥感图像的条带噪声去除中也有很强的适用性。

关键词 矩匹配,平滑滤波,条带去除,高光谱图像

中图分类号 TP751.1 文献标识码 A

Improved Destriping Algorithm of Hyperspectral Images

ZHENG Feng-bin¹ ZHI Jing-jing^{1,2,3} GAO Hai-liang^{2,3} LAI Ji-bao^{1,2,3} PAN Wei^{1,2,3}

(Institute of Data and Knowledge Engineering, Henan University, Kaifeng 475001, China)¹

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)²

(Demonstration Center for Spaceborne Remote Sensing, National Space Administration, Beijing 100101, China)³

Abstract Traditional moment matching algorithm can change the line average or column average of images and cause the original image information change. After analyzing HJ-1-A satellite hyperspectral images, an improved algorithm of Moment Matching was put forward. The proposed algorithm uses the column average and variance which was processed with smooth filter instead of the average and standard deviation of the reference image in traditional moment matching algorithm. Comparing with the traditional algorithm, it has advantages of less image information loss and effectively destriping the strips under the premise of maintaining the original image features. The method has a strong applicability for destriping other multi-sensor remote sensing images.

Keywords Moment matching, Smooth filter, Destriping, Hyperspectral image

条带噪声是普遍存在于星载、机载多传感器和单传感器光谱仪成像中的噪声现象,即卫星在传感器光、电器件扫描地物的成像过程中,由于传感器响应不均匀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^[1]。条带噪声的存在掩盖了图像中真正的辐射信息,使图像的质量降低,给图像判读带来困难。因此,在图像解译和判读之前,应首先去除该噪声。

1 常用的条带去除方法

目前用于条带噪声去除的方法可以分为两类:一类是空间-频率域滤波法^[2],其缺点是对计算要求高,不容易选择正确的频率成分,对地物分布复杂的地表,在去除条带的同时也去除了某些细节,降低了图像质量,只适用于几何纠正前的数据。另一类是针对图像灰度值特征进行的归一化和匹配方

法。典型的有直方图匹配法、矩匹配方法, Horn 和 Kautsky 等^[3,4]提出的直方图匹配法假设每个传感器所探测的地物必须具有相同均衡的辐射分布,将光谱仪中每个传感器所形成的子图像直方图调整到一个参考直方图(例如整个图像的直方图)来达到去除条带的目的,这种方法有很大的局限性,对于包括不同地物的复杂地表不适用,而且只适用于几何纠正前的图像,不能用于几何纠正后的图像。Gadallah 等^[5]人则针对直方图匹配方法的缺陷提出了矩匹配方法。矩匹配法假设每个传感器所探测的地物具有相同均衡的辐射分布,所记录数据的变化也与辐射校正的增益与偏移成线性关系,通过调整每个传感器的均值方差到某一参考值来达到去条带的目的。

通过分析比较发现,一般情况下,矩匹配可以获得比直方图匹配更好的效果,但是,传统的矩匹配方法改变了图像在成

到稿日期:2009-08-06 返修日期:2009-10-30 本文受国家自然科学基金项目(60973126),国防科工委项目科技三项《HJ-1 卫星数据应用研究(07K00100KJ)(2006-2008)》资助。

郑逢斌(1963-),男,博士,教授,主要研究方向为空间数据处理、自然语言理解等, E-mail: zhengfb@henu.edu.cn; 支晶晶(1985-),女,硕士生,主要研究方向为空间数据处理、计算机网络教育等; 高海亮(1982-),男,博士生,主要研究方向为遥感图像处理等; 赖积保(1982-),男,博士,主要研究方向为信息安全等; 潘伟(1984-),男,硕士生,主要研究方向为空间数据处理等。

像行或列方向的均值分布,使图像灰度在空间分布上产生一定的畸变。针对上述情况,本文在分析 HJ-1-A 星超光谱图像条带噪声的基础上,提出了一种改进的矩匹配方法。该方法将“参考图像”的平均值和标准差分别用平滑滤波处理后的列均值和方差来代替,既能很好地去除条带噪声,又能恢复和保持地物真实反射率空间的分布情况。

2 矩匹配方法

条带噪声由设备产生,可能是由于传感器增益或补偿值变化引起的。这种类型的噪声在原图像上呈水平条带分布,并且没有周期性。当地表反射率信号弱时,条带噪声更明显。噪声一般叠加在信号之上,消除这种噪声的方法一般是根据图像在不同尺度上的统计结果,对噪声进行分离。

式(1)是相对辐射校正的原理,即利用星上定标数据或者图像统计数据计算遥感器的每个探测器的增益和偏移量。

$$DN_{cal,i} = \frac{DN_{raw,i} - B_i}{NG_i} \quad (1)$$

式中, $DN_{cal,i}$ 为相对定标后的探测元件数字计数值; $DN_{raw,i}$ 为原始探测元件采集的数字计数值; B_i 为第 i 个探元归一化后的偏置量,也就是暗电流,单位 DN ; NG_i 为第 i 个探元归一化后的增益,其值通常接近 1,单位 DN 。

矩匹配法把各列入射辐射强度的均值和方差看作近似相等(假设 CCD 沿列方向扫描获取图像)。矩匹配法选取一 CCD 为参考,将其它 CCD 校正到该 CCD 的反射率。

该方法通过计算每个探测器的标准差 σ_i 和整个波段(或者参考探测器)平均标准差 σ_R 来计算增益,即:

$$NG_i = \sigma_i / \sigma_R \quad \sigma_R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sigma_j \quad (2)$$

式中, N 是一排探测元的总数。

通过计算每个探测器采集到的数据的平均值 P_{kj} 和整个波段数据的平均值 P_k 来计算偏置量,即:

$$B_i = P_{kj} - \frac{\sigma_i P_k}{\sigma_R} \quad (3)$$

将式(2)和式(3)代入式(1),得到矩匹配法的校正公式:

$$DN_{cal,i} = \frac{DN_{raw,i} - (P_{kj} - \frac{\sigma_i P_k}{\sigma_R})}{\frac{\sigma_i}{\sigma_R}} = \frac{\sigma_R}{\sigma_i} DN_{raw,i} - \frac{\sigma_R}{\sigma_i} P_{kj} + P_k \quad (4)$$

式中, P_{kj} 为 HSI(Hyperspectral Imager)图像第 k 波段第 j 列的均值。 P_k 为图像某一波段的均值。

3 改进的矩匹配条带噪声去除方法

在常规的矩匹配法中,将“参考图像”的平均值和标准差分别用整个图像的平均值和标准差代替,把行方向原本非一致的各列均值看作近似相等,把所有列的均值和方差都调整到某一个参考列的均值和方差上,导致去条带后图像的列均值近似于一条直线,无法反映列方向下图像灰度的真实均值分布。鉴于此,本文对算法进行了改进。

改进的矩匹配法则未采用整个图像均值,而是对图像均值的列曲线和图像方差列曲线进行平滑滤波处理,得到平滑处理后的列均值和方差,再利用下列公式,得到改进的矩匹配法的校正公式:

$$DN_{cal,i} = \frac{DN_{raw,i} - (P_{kj} - \frac{\sigma_i P_{Gj}}{\sigma_R})}{\frac{\sigma_i}{\sigma_{Gj}}} = \frac{\sigma_{Gj}}{\sigma_i} DN_{raw,i} - \frac{\sigma_{Gj}}{\sigma_i} P_{kj} + P_{Gj} \quad (5)$$

式中, P_{kj} 为 HSI 图像第 k 波段第 j 列的均值。 P_{Gj} 为图像某一波段第 j 列平滑滤波后的均值。 σ_i 为每个探测器的标准差; σ_{Gj} 为第 j 列曲线平滑滤波后的方差。其中,滤波方法可采用平均值法、多项式拟合法和移动窗口滤波法等。本文滤波方法采用平均值法,即将原始图像的列均值和方差分段取平均,再由平均列均值和方差拟合出平滑滤波后的列均值和方差。

改进的矩匹配算法用 IDL 语言进行了实现,取得了良好的去条带效果,程序结构简述如下:

- 1) 初始化有关参数和变量,读入原始图像;
- 2) 读取原始图像的 DN 值,存放于数组 Initial_Image 中;
- 3) 求出图像的列均值、列方差,分别存入变量 Col_Mean, Col_Stdddev;
- 4) 计算出平滑滤波后的列均值 Fit_Mean 和方差 Fit_Stdddev;
- 5) 根据算法,由式(5)计算得到图像处理后的 DN 值;
- 6) 所得图像即为条带噪声去除后的图像,保存图片并显示。

4 仿真实验及结果分析

4.1 实验环境

实验以微机为硬件开发平台,采用 WindowsXP 操作系统,以 ENVI4.3 软件为基础,以 IDL6.3 语言为开发工具。

由美国 RSI 公司开发的 IDL(Interactive Data Language) 第 4 代科学计算可视化语言具有开放性、高维分析能力、科学计算能力、实用性及可视化分析为一体的特点,集成了所有科学计算环境中所需要的工具,使用户可以对任意科学数据进行可视化分析^[6]。

IDL 是对科学数据进行获取、可视化显示、分析及应用开发的理想软件工具。作为面向矩阵的可视化语言,IDL 致力于科学数据的可视化和分析,是跨平台应用开发的最佳选择。它集可视、交互分析、图像处理为一体,为用户提供完善、灵活、有效的开发环境。IDL 语言具有如下特征:高级图像处理能力、交互式二维和三维图形技术、面向对象的编程方式、OpenGL 图形加速、量化可视化表现、集成的数学和统计学算法、灵活的数据输入输出方式、跨平台图形用户界面工具包、连接 ODBC 兼容数据库存取及多种程序连接工具等^[7]。

4.2 改进的矩匹配算法实现

```
Initial_Image = read_image('HJ1A-HSI-28-66-B2-20081020-L10000004685.TIF')
Col_Mean[i,0] = Mean(Initial_Image[layer,i,*])
Col_Stdddev[i,0] = Stddev(Initial_Image[layer,i,*])
Fit_Mean = INTERPOL(Reform_Mean,Reform_XPOS,XPOS)
Fit_Stdddev = INTERPOL(Reform_Stdddev,Reform_XPOS,XPOS)
Processed_Image[i,*] = Fit_Stdddev[i,0]/Col_Stdddev[i,0] * (Initial_Image[layer,i,*] - Col_Mean[i,0]) + Fit
```

5 结果与分析

5.1 条带去除效果评价

敦煌场地地面平坦,地物类型单一,在图像上应显示相同的DN值。因此本文选择2008年10月20日敦煌HJ-1-A星HSI图像为实验数据。由图1(a)可见该图像存在着明显的纵向条纹。图1(b)为利用传统的矩匹配法去除条带后的图像,图1(c)为利用改进的矩匹配法去除条带后的图像。目视结果表明,改进的矩匹配法比传统的矩匹配法去条带后的图像更加清晰。

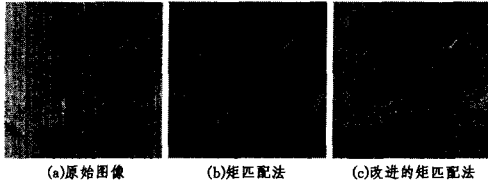


图1 敦煌(沙漠)图像处理结果

5.2 列均值分布对比

图2为原始图像与去条带后图像第20波段列均值分布的对比,原始图像的第20波段几乎没有条带噪声,所以选取图像的第20波段进行比较。去条带后图像的列均值曲线与原始图像的列均值曲线拟合得越好,说明原始图像信息得到了越好的保留。图2中,实线为原始图像列均值,点划线为传统矩匹配方法去条带后图像的列均值,近似于一条直线,可见

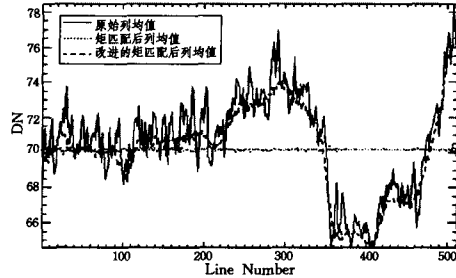


图2 原始图像与去条带后图像列均值分布对比

5.3 图像特征信息保留能力对比

表1通过多种评价指标对利用两种方法去除条带的图像特征信息保留能力进行了评价,对比发现,利用改进的矩匹配法去条带后图像的特征信息与原始图像特征信息更加接近,说明了利用改进的矩匹配法去条带后的图像更好地保持了原始图像信息。

表1 图像特征信息保留能力对比

	Band1			Band6			Band12		
	去条带前	矩匹配	改进的矩匹配	去条带前	矩匹配	改进的矩匹配	去条带前	矩匹配	改进的矩匹配
图像均值	27.38	26.88	26.88	36.72	36.23	36.23	52.23	51.73	51.73
图像方差	4.392	4.400	4.399	4.857	4.859	4.856	5.668	5.670	5.669
直方图偏斜度	0.146	0.051	0.114	-0.201	-0.136	-0.251	-0.619	-0.334	-0.699
直方图陡度	3.210	3.266	3.257	3.430	3.352	3.353	4.196	3.731	4.240
信噪比	15.90	15.72	15.78	17.57	17.45	17.46	19.29	19.20	19.26
信息熵	-4.178	-4.182	-4.180	-4.316	-4.323	-4.320	-4.481	-4.529	-4.516

图1为地物均匀分布状况下成像的图像,图3则选取2008年10月1日广州HJ-1-A星HSI图像为实验数据,此图像为地物非均匀分布状况下成像的图像。由图3去条带前后图像对比可以看出,改进的矩匹配法不仅对于在地物均匀分布状况下成像的图像,既能较好地去除条带噪声,又能恢复和保持地物真实反射率空间分布情况,而且对于地物非均匀分布状况下成像的图像,也能较好地去除条带噪声,又能恢复和保持地物真实反射率空间分布情况。

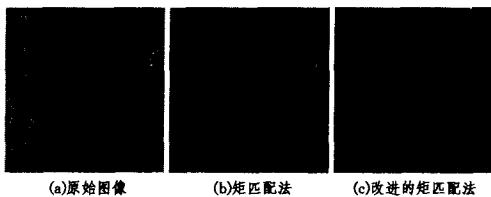


图3 广州(城市)图像处理结果

结束语 本文方法针对矩匹配方法进行了改进,实验结果表明,改进的矩匹配方法比传统的矩匹配方法有较大的优势,既有效地去除了条带噪声,又能恢复和保持地物真实反射率空间分布情况,较好地保持了原始图像信息,使得原始图像中因条带噪声而不能被利用的图像信息,在去条带后可以被进一步应用。但是经过条带去除后的图像仍存在斑点噪声,

这需要以后进一步的研究。

参考文献

- [1] 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
- [2] Srinivasan R, Cannon M, White J. Landsat Data Destriping Using Power Filtering[J]. Opt. Eng., 1988, 27(11):939-943
- [3] Horn B K P, Woodham R J. Destriping Landsat MSS Images by Histogram Modification[J]. Comput. Graph & Image Process, 1979, 10:69-83
- [4] Kautsky J, Nichols N K, Jupp D L B. Smoothed Histogram Modification for Image Processing[J]. Comput. Vis. & Image Process, 1984, 26:271-291
- [5] Gadallah F L, Csillag F, Smitb E J M. Destriping Multisensor Imagery with Moment Matching[J]. Int. J. Remote Sensing, 2000, 21(12):2505-2511
- [6] 黄勤超,罗家融,王华忠,等.基于IDL的等离子体放电电位形数据可视化[J].计算机工程,2006,32(6):230
- [7] 韩培友.基于IDL的医学图像三维可视化系统设计与实现[J].计算机工程,2007,33(6):266
- [8] 陈劲松,邵芸,朱博勤.一种改进的矩匹配方法在CMODIS数据条带去除中的应用[J].遥感技术与应用,2003,18(5):314
- [9] 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):282