

文章编号:1004-4213(2010)01-0164-5

改进的插值法用于干涉成像光谱仪 影像条带噪音去除*

李湘眷^{1,2}, 杨建峰¹, 薛彬¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:针对嫦娥一号(CE-1)干涉成像光谱仪影像中的条带噪音,通过常用的频域滤波方法和线性插值法进行了干涉成像光谱仪条带去除试验,并提出结合了三阶插值的改进线性插值方法.对噪音点定位后,根据图像中噪音点上下行相应点的数值差别是否超过预设阈值,确定是采用线性插值还是三阶插值算法,修正噪音点像素值.实验结果的均值和标准偏差以及图像质量因子(IQ 因子)的比较表明:改进的方法 IQ 值达到 13.908 1,而线性插值算法为 9.842 8,改进的线性插值方法在去除干涉成像光谱仪影像条带噪音方面明显优于线性插值方法.

关键词:干涉成像光谱仪;条带噪音;线性插值;傅里叶变换;改进的线性插值

中图分类号:TP751.1

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103901.0164

0 引言

条带噪音在许多星载、机载多传感器和单传感器光谱仪成像中是一种很普遍的现象.它是卫星在传感器光、电器件反复扫描地物的成像过程中,受扫描探测元正反扫描相应差异、传感器扫描机械运动等多种因素扰动下造成的具有一定周期性、方向性且呈条带状分布的一种特殊噪音^[1].高光谱遥感是地面信息获取、地物识别分类、矿物丰度绘制的有力工具,每一像元包含地物在每个光谱波段的反射率的光谱向量^[2-3].但条带噪音严重影响了高光谱数据的解译和定量反演精度.许多学者对于其成因及去噪方法进行了研究,比较具有代表性的方法有:空间-频域滤波、直方图匹配法^[4]、主成分分析法、矩匹配法^[5]以及均衡补偿法^[6].

低通滤波方法(如邻域平均法等)会保留一些残余条带,并且消除了图像的部分细节,使图像变得模糊^[7].直方图调整法将光谱仪中每个传感器所形成的子图像的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.这种方法的前提要求有很大局限性.主成分分析法将含有噪音的 PC(主成分)图像数据值设置为常数再反变换回原图像,来去除条带噪音.但条带噪音往往混杂在各 PC 图像中,很难去除^[8].矩匹配法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目

的^[8],其缺点是改变了原始反射率分布特性,使图像灰度在空间分布上产生一定的畸变,且往往要求图像足够大,地物分布均匀.刘正军等人提出的改进矩匹配方法能较好地去除条带噪音,恢复和保持地物真实反射率空间分布情况.但是它要求图像较小,对于一般条件下成像影像效果不是十分理想^[9-10].

本文提出了一种结合三阶插值的条带去除算法.该算法先对噪音点定位,根据图像中噪音点上下行相应点的数值差别是否超过预设阈值,确定是采用线性插值还是三阶插值算法,修正噪音点像素值.该算法既能有效地去除图像中的条带噪音,又能保留图像的原有信息.

1 干涉成像光谱仪数据介绍

2007 年我国发射的第一颗绕月卫星“嫦娥-1(CE-1)”配备了多种有效载荷,其中包括了由西安光机所研制的干涉成像光谱仪(Imaging Interferometer, IIM). IIM 有 32 个从可见光到近红外的波段,波长范围从 0.48 ~ 0.96 μm .月表成像宽度 25.6 km,地元分辨率 200 m. IIM 数据对于完成分析月球表面矿物类型含量与分布,绘制月球表面岩石分布图等科学任务具有重要意义.本文研究使用的数据是 IIM 的 2A 级数据,即经过光谱辐射校正,利用光谱辐射定标数据进行辐射修正过的数据.通过对该数据各个通道观察可见,第 13 个波段中条带噪音最为严重,如图 1 和图 2.反映到行均值图上则表现为均值变化呈现剧烈且无规则的起伏,严重影响其数据解译和信息提取.

* 国家自然科学基金(40301031)资助

Tel: 029-88887679

Email: xiangjuan_li@126.com

收稿日期:2008-07-22

修回日期:2008-09-09

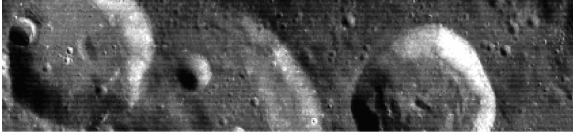


图1 原始图像
Fig. 1 Raw image

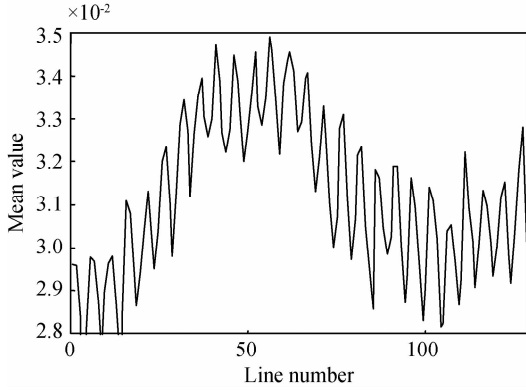


图2 行均值图
Fig. 2 Mean value

2 去除条带方法

2.1 频域滤波条带噪声去除算法

把一幅图像变换到傅里叶频域空间后,其每个区域都代表着空间域中的某一特定成分.由于条带噪声是一种周期性的成分,因此可以在傅里叶频域空间构造一个滤波器来去除这种特定的噪声成分.

对于一幅大小为 $M \times N$ 的图像,其二维快速傅里叶变换可以定义为

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (1)$$

频域空间滤波可定义为

$$F'(u, v) = F(u, v) H(u, v) \quad (2)$$

式中: $H(u, v)$ 为频域滤波器, $F(u, v)$ 是对图像进行频域滤波后的傅里叶能量谱.

噪声去除后的图像 $f(x, y)$ 可以通过傅里叶反变换得到

$$f(x, y) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (3)$$

图像 DN 值均值分布往往呈现出一条平缓变化的曲线,而条带噪声则呈短周期的急剧变化,在频率域内真实均值表现为低频成分信息,而条带噪声则表现为高频.因此,应该选用低通滤波器滤除条带噪声.

2.2 线形插值条带噪声去除算法

该算法只对条带噪声所在行进行去除后再作插

值处理,而不对非条带区域作任何改变.基本思路就是限定条带噪声所处的具体位置,然后用上下两行数据线性插值结果代替条带噪声^[1].

这个算法的关键是能准确而有效地找出条带噪声.一般来说,对于像素点 (i, j) , 值为 $G(i, j)$, 如果该像素属性值相对于上下两个像素的属性的平均值增加的百分比超过某一阈值 T , 即可认为该点为“噪声像素”

$$\begin{cases} \bar{G} = \frac{G_{i-1,j} + G_{i+1,j}}{2} \\ (G_{i,j} - \bar{G}) / \bar{G} > T \end{cases} \quad (4)$$

然而这种方法也会产生对图像细节的误判,如果都去除的话会影响到图像的细节纹理信息,图像趋于平滑.因此针对这一不足,本文提出了改进的插值方法.

2.3 改进的插值算法

改进的图像插值算法,是利用噪声点上一行坐标点处像素值与下一行坐标点处像素值的差值与前者的比值来决定是应用上下两行像素点的线性插值,还是用周围 16 个像素的三阶线性插值的一种图像插值算法^[10].假设第 (i, j) 点为噪声点,上一个点为 $(i-1, j)$, 下一个点为 $(i+1, j)$, 设点 $(i-1, j)$ 处的像素值为 $G(i-1, j)$, 点 $(i+1, j)$ 处的像素值为 $G(i+1, j)$ 这两个点的差值以及绝对误差为

$$F = G(i+1, j) - G(i-1, j) \quad (5)$$

$$\delta = |F| / G(i-1, j) \quad (6)$$

设定一个临界值 d , 如果 $\delta < d$, 说明这两个点的像素值变化不大,此时采用上下两行像素点的线性插值方法.如果 $\delta > d$, 说明这两个点的像素值变化较大,此时采用三阶线性插值算法.临界值 d 的选择直接影响到影像的去噪效果,如果选取过小,则会导致影像细节被平滑,若选取过大,又不能有效地去除条带噪声.经过反复试验,选取 d 的值为 0.25. 三阶插值算法即对周围 16 个点进行线性插值.具体算法为

$$f(i+u, j+v) = [A][B][C] \quad (7)$$

$$[A] = (s(1+u), s(u), s(1-u), s(2-u)) \quad (8)$$

$$[C]' = (s(1+v), s(v), s(1-v), s(2-v)) \quad (9)$$

$$s(w) = \begin{cases} 1 - 2|w|^2 + |w|^3, & |w| < 1 \\ 4 - 8|w| + 5|w|^2 - |w|^3, & 1 \leq |w| < 2 \\ 0, & |w| \geq 2 \end{cases} \quad (10)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} G(i-1, j-1) & G(i-1, j) & G(i-1, j+1) & G(i-1, j+2) \\ G(i, j-1) & G(i, j) & G(i, j+1) & G(i, j+2) \\ G(i+1, j-1) & G(i+1, j) & G(i+1, j+1) & G(i+1, j+2) \\ G(i+2, j-1) & G(i+2, j) & G(i+2, j+1) & G(i+2, j+2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

三阶插值的优点是可以消除锯齿现象,插值质量高,效果好,但缺点是计算量大.因此,利用这种改进后的图像插值算法,既保证了图像变化后的质量,又提高了运算速度^[10].

改进的插值法的条带去除算法可以描述为

1)对含有条带噪音的原始图像按照式(4)进行噪音行的定位;

2)对噪音行上下两行的像素值按照式(5)、(6)进行比较;

3)如果步骤2)中的值超过某一阈值 d ,则用周围16个点的三阶插值代替噪音点处的像素值;如果没有超过,则用上下两个像素的线性插值代替噪音点.

3 实验与结果比较

研究选取的数据是2007年11月26日16时53分31秒至19点01分13秒北京密云站获取的IIM影像的第13个波段,由于图像较大,因此只截取其中 128×544 大小的图像用作实验(图3(a)).可见该图像存在着水平分布的条带噪音.图3(b)为利用频域滤波生成的图像.图3(c)为线性插值之后的图像.图3(d)为改进的线性插值去除条带后的图像,从视觉上看,改进后的线性插值法具有良好的去除条带效果.为了在客观上比较不同方法在条带去除前后图像的质量,选择了另外一种评价方法:图像的行均值图形.采用以上几种方法获得的行均值序列曲线如图4.由图4可见,原始图像由于条带现象引

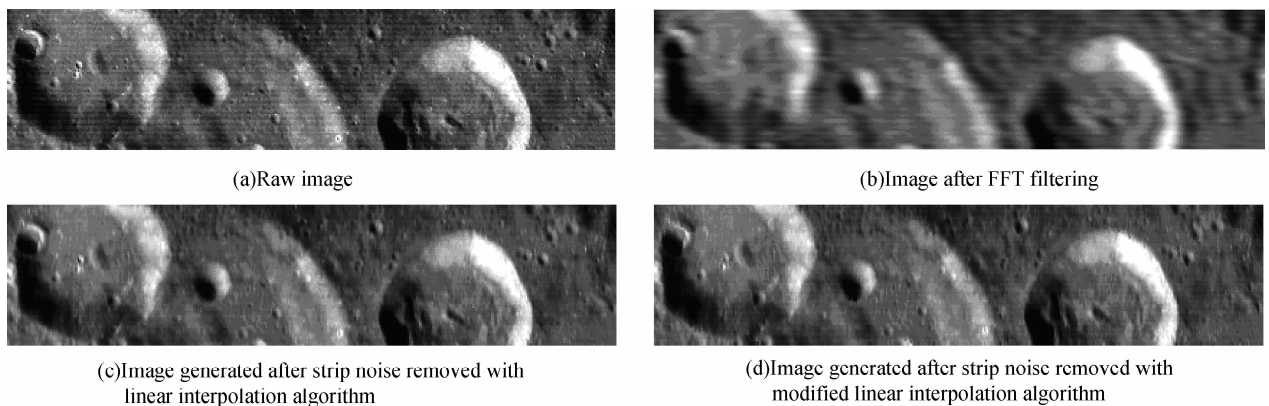


图3 不同方法去除条带噪音图像情况比较

Fig. 3 Comparison of images generated after using different methods

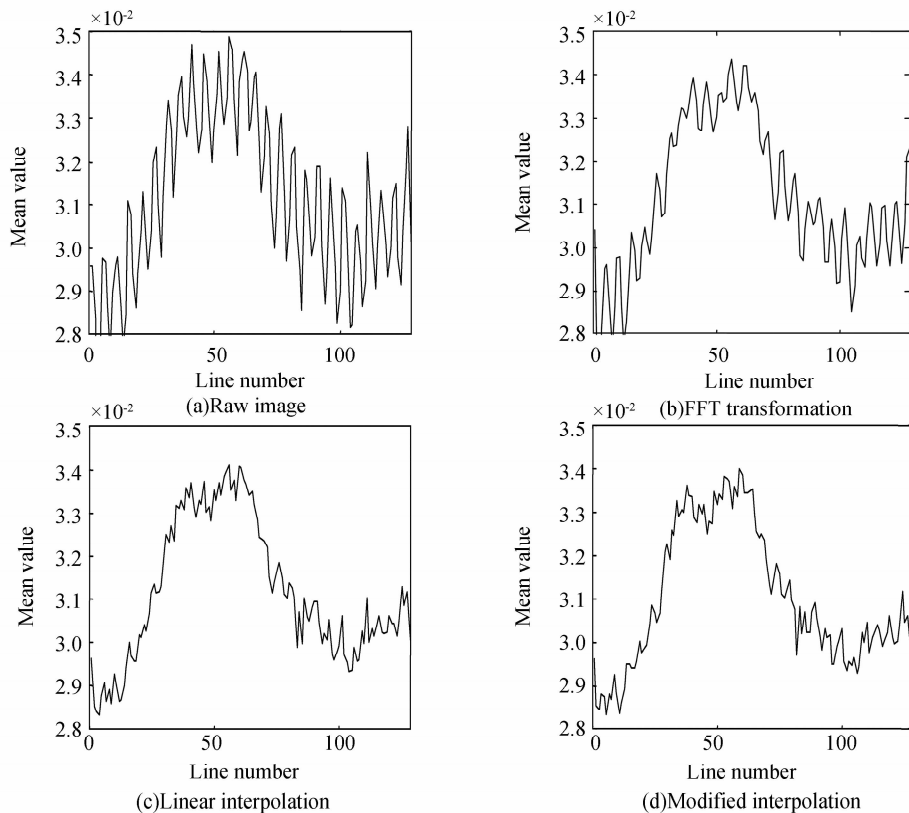


图4 不同方法去条带噪音后图像行均值变化情况比较

Fig. 4 Comparison of mean value with the raw image

起的行均值分布呈无规则起伏,有的起伏大,有的起伏小;从处理后的图像看,FFT 变换后的图像噪音并没有被完全消除,对非条带噪音区域产生了干扰,且图像细节丢失,图像灰度值降低.而经过线性插值后的图像噪音得到了基本消除,图像的行均值变化呈现平缓的一条曲线,几乎没有无规则的起伏.但是由于噪音定位时并没有考虑到图像的纹理,所以图像的一些细节被消除;而改进的插值法不但去除了图像中的条带噪音,图像的大部分信息也得到了较好的保留.为定量比较条带去除前后图像质量的改善,本文采用了均值的保留、标准偏差的减小、边缘的保留三个评价指标和 IQ 评价函数^[11]进行评价(只计算波段 13). IQ 评价函数为

$$IQ = 10 \log_{10} \left| \frac{\sum d_R^2[j]}{\sum d_E^2[j]} \right| \quad (12)$$

式中,

$$d_R = m_{IR}[j] - m_1[j] \quad (13)$$

$$d_E = m_{IE}[j] - m_1[j] \quad (14)$$

式(12)~(14)中, IQ 为图像质量因子, $m_{IR}[j]$, $m_{IE}[j]$, $m_1[j]$ 分别为原始条带图像、去条带后图像、真实月表图像中各行 j 的均值.在此,无法直接获取 $m_1[j]$ 的值,考虑月标具有一定的地域相关性(或均一性),通过选择去除条带效果较好的图像通过 3×3 像素大小的低通滤波器获得的图像作为计算 $m_1[j]$ 值的图像.两种评价指标的计算结果如表 1 和表 2.

表 1 各种方法去噪效果影像的数值统计

Table1 Numerical statistic of images generated after using different methods

Method	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
Raw image	0.002 5	0.079 3	0.031 2	0.008 0
FFT	0.006 4	0.066 5	0.031 2	0.007 4
Linear interpolation	0.004 9	0.072 8	0.031 2	0.007 7
Modified linear interpolation	0.004 2	0.073 3	0.031 1	0.007 7

表 2 图像条带去除质量的比较

Table2 Comparison of IQ values

Method	FFT	Linear interpolation	Modified linear interpolation
IQ value	3.875 9	9.842 8	13.908 1

比较表 1 列出的统计数值,发现傅里叶变换法去除条带后图像像元的均值和标准差有很大的差别,这说明用这种方法处理后,图像的同名像素值变化很大,说明图像的本来信息发生了严重改变.改进的线性插值法去除噪音后的图像的平均值和标准偏差和原图像最为接近.这说明改进的插值法可以最

大程度地保留图像的原有信息.而从表 2 可以看出,改进的插值法去除条带后图像 IQ 质量因子最大,而频域滤波法去条带后图像的 IQ 质量因子最小.两种评价指标得出的结果是一致的,这正说明了改进后的插值法具有比单纯的线性插值更好的效果,可以用于 IIM 影像条带噪音的去除,具有实际应用价值.

4 结论

本文在分析了 IIM 图像波段 13 的条带噪音的分布规律后,针对线性插值法进行了改进.实验结果表明,传统的频域滤波方法并不能完全去除图像中的条带噪音,并且降低了图像质量.线性插值法虽然有较好的去噪效果,但是由于噪音定位时并没有考虑到图像的纹理等信息,因此图像的细节被平滑.而改进后的插值法不仅有效地去除了条带,而且仍然保持了图像原有的波谱特征,图像几乎没有失真,但这种方法的缺陷是算法中包括了三阶插值,因此计算量加大,运算时间变长.另一方面,由于插值是逐行进行,所以有可能将下几行的噪音引入计算过程,对插值结果和图像去噪效果会产生一定影响,值得进一步探讨和研究.

参考文献

- [1] WU Jun, ZHANG Wan-chang. Destriping MODIS images with self-correlation interpolation algorithm [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, **36**(7): 253-257.
吴军,张万昌. MODIS 影像条带噪音去除的自相关插值法[J]. *遥感技术与应用*, 2006, **36**(7): 253-257.
- [2] WANG Zhi-ping, YANG Jian-feng, XUE Bin, et al. Using hyperspectral data for land cover identification and classification [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(3): 562-565.
王志平,杨建峰,薛彬,等.利用高光谱数据进行地物识别分类研究[J]. *光子学报*, 2008, **37**(3): 562-565.
- [3] LUO Xin, GUO Lei, YANG Zhu-sheng. Lossless compression of hyperspectral imagery with reversible integer transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8): 1457-1462.
罗欣,郭雷,杨诸胜.基于可逆整数变换的高光谱图像无损压缩 [J]. *光子学报*, 2007, **36**(8): 1457-1462.
- [4] WEGENER M J. Destriping multiple sensor imagery by improved histogram matching [J]. *Int J Remote Sensing*, 1999, **11**(5): 859-875.
- [5] GADALLAH F L, CSILLAG F. Destriping multisensor imagery with moment matching [J]. *Int J Remote Sensing*, 2000, **21**(12): 2505-2511.
- [6] YANG Jin-hong, GU Song-shan, CHENG Ming-hu. Application of interpolation method in destriping MODIS images [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, **27**(6): 604-609.
杨金红,顾松山,程明虎.插值法在去除 MODIS 遥感影像条带噪音中的应用 [J]. *气象科学*, 2007, **27**(6): 604-609.

- [7] SUN Ying, ZHANG Zhi-jia. Adaptively destriping algorithm based on frequency filtering [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2006, **2**:57-59.
孙颖, 张志佳. 基于条带频域滤波的自适应条带噪声去除算法 [J]. *仪表技术与传感器*, 2006, **2**:57-59.
- [8] CHEN Jin-song, SHAO Yun, ZHU Bo-qin. Destriping CMODIS based on FIR method [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(3):227-233.
陈劲松, 邵芸, 朱博勤. 中分辨率遥感图像条带噪声的去除 [J]. *遥感学报*, 2004, **8**(3):227-233.
- [9] LIU Zheng-jun, WANG Chang-yao, WANG Cheng. Destriping imaging spectrometer data by an improved moment matching method [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, **2**(4):280-283.
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, **2**(4):280-283.
- [10] ZHAO Bao-chang, YANG Jian-fen, CHANG Ling-ying, 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):480-483.
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):480-483.
- [11] LUO Hui-xin, CAO Yan-li. An efficient algorithm of interpolation [J]. *Jisuanji yu Xiandaihua*, 2004, **5**:19-21.
罗会信, 曹艳力. 一种高效的图像插值算法 [J]. *计算机与现代化*, 2004, **5**:19-21.
- [12] CORSINI G, DIANI M, WALZE T. Striping removal in MOS-B data [J]. *IEEE on Geoscience & Remote Sensing*, 2000, **38**(3):1439-1446.

Destriping IIM Images with Modified Linear Interpolation Algorithm

LI Xiang-juan^{1,2}, YANG Jian-feng¹, XUE Bin¹

(1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Aiming at the striping noise existing in IIM (the Imaging Interferometer carried by Chang'E Lunar Orbiter) data, the Fourier transform algorithm and the linear interpolation algorithm are experimentally utilized for strip noise removal in IIM images. A modified linear interpolation algorithm is proposed, which combines low rank algorithm with high rank algorithm. After noise location, high rank interpolation or linear interpolation is used by judging whether the pixel difference between the upper and lower lines goes up to the threshold. Comparison of mean values, standard deviations, and the IQ (Image Quality) factor shows that this modified method is evidently superior to the linear algorithm because the IQ factor of two methods is respectively 13.908 and 19.8428.

Key words: Imaging Interferometer (IIM); Striping noise; Linear interpolation; Fourier transforms (FFT); Modified linear interpolation



LI Xiang-juan was born in 1984. She is pursuing her M. S. degree at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Her research interests focus on remote sensing image processing.



YANG Jian-feng was born in 1969. He received his Ph. D. degree in 1997. Now he is a research fellow and doctor tutor at XIOPM. His research interests focus on optical design and imaging spectroscopy.