doi: 10.6046/gtzyyg.2017.s1.06
引用格式: 崔剑,史鹏会,白潍铭,等. 基于距匹配算法的 GF-2 影像条带噪声去除[J]国土资源遥感,2017,29(s1):34-38. (Cui J, Shi P H, Bai W M, et al. Destriping model of GF-2 image based on moment matching[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(s1):34-38)

基于矩匹配算法的 GF-2 影像条带噪声去除

崔 剑[1], 史鹏会[1], 白潍铭[2], 刘晓静[1]
(1. 河南省地质调查院,郑州 450001; 2. 河南省航空物探遥感中心,郑州 450001)

摘要: 高分二号(GF-2)是我国第一颗空间分辨率优于 1 m 的民用光学遥感卫星,波长范围从可见光到近红外,星下点空间分辨率可达 0.8 m。在工作中发现 GF-2 数据中随机出现条带噪声,影响了数据的解译和信息提取。分析了 GF-2 数据条带噪声特点,选用矩阵匹配算法,对遥感影像中的条带噪声进行去除,并对去除效果进行评价。结果表明,矩匹配算法能有效去除 GF-2 国产卫星数据的条带噪声。

关键词: 矩匹配; 高分二号; 条带噪声; 噪声去除
中图法分类号: TP 79　**文献标志码**: A　**文章编号**: 1001-070X(2017)s1-0034-05

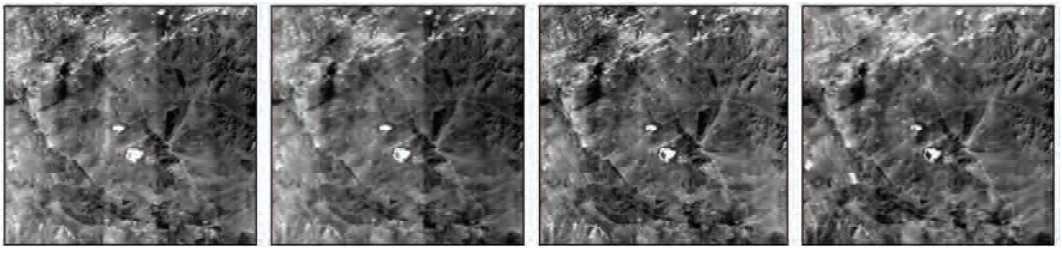
0 引言

高分二号(GF-2)卫星是我国自主研制的首颗空间分辨率优于 1 m 的民用光学遥感卫星,搭载有 2 台高空间分辨率 1 m 全色和 4 m 多光谱相机,全色相机星下点空间分辨率可达 0.8 m,具有亚 m 级空间分辨率、高定位精度和快速姿态机动能力等特点。

GF-2 部分 1A 级数据存在条带噪声,会掩盖了图像的地物特征,影响了数据的应用。近年来,关于星载、机载多传感器和单传感器光谱仪数据,如 TM, MSS, NOAA-AVHARR 和 SPOT 等,条带噪声去除方法有很多研究[1-2],而应用于国产卫星高空间分辨率数据,特别是 GF-2 遥感数据的案例较少。距匹配是常用的有效去除条带噪声的方法[3-6],本文旨在采用距匹配算法,对 GF-2 遥感数据中的条带噪声进行去除,并对去除效果进行评述。

1 GF-2 卫星数据条带噪声特征分析

GF-2 卫星数据条带噪声明显,选取一幅 GF-2 原始影像,其 1—4 波段如图 1 所示。



(a) B1(蓝)　(b) B2(绿)　(c) B3(红)　(d) B4(近红外)

图 1 高分二号原始影像(条带噪声)

Fig. 1 GF-2 raw images(streaking noise)

通过分析现有 GF-2 遥感数据条带噪声发现: GF-2 数据条带噪声垂直于卫星飞行方向排列; 多光谱和全色波段条带噪声同时出现,且分布范围一致; 近红外波段条带噪声强度明显低于其他 3 个波段; 从整体上看,此类条带噪声在各景遥感影像上随机出现,不具有周期性。

GF-2 卫星采用全色和多光谱五谱合一的 TDI CCD,以推扫的方式对地物进行成像。多个 CCD 探测单元间响应不一致是造成条带噪声的主要原因,这种不一致性的产生有多方面原因,主要有: CCD

收稿日期: 2017-06-01; **修订日期**: 2017-07-13
基金项目: 中国地质调查局地质调查项目"国产卫星数据质量改进与地质矿产综合应用示范"(编号: DD20160067)和"河南省矿产资源开发环境遥感监测"(编号: 1212011120035)共同资助。
第一作者: 崔 剑(1983-),男,硕士,工程师,主要从事遥感和地理信息等方面的工作。Email: cuijianxy@qq.com。

暗电流的影响、工作状态引入的非一致性、器件本身的非均匀性、CCD 响应函数矫正的不正确性和不完全,以及其他外界因素的影响等[5-6]。

2　矩匹配算法

传感器在光谱响应范围内为线形响应函数,图像灰度值 D 与接收到的真实辐射亮度 T 的关系可以表达为

$$D = AT + B + \xi \ , \qquad (1)$$

式中: A 和 B 分别为传感器响应函数的增益和偏置; ξ 为噪声。

由于不同传感器对外界同一入射光强度的响应存在差异,图像上产生了灰度的输出偏差,条带噪声就出现了。将不同传感器的输出归一化为同一个值,则可有效去除条带噪声。

对于一景影像,每个传感器生成的灰度值分布概率是相同的,即各个波段真实辐射的均值和标准差差别很小[7]。矩匹配算法假设每个传感器所探测的地物具有均衡的辐射分布[8],图像扫描方向的一行或一列图像具有统计一致性[9],其核心在于通过调整每个传感器的均值、方差到某一参考值来达到去除条带噪声的目的[8]。

矩匹配算法公式为

$$Y = \frac{\sigma_r}{\sigma_i}T + \mu_r - \mu_i \frac{\sigma_r}{\sigma_i} \ , \qquad (2)$$

式中: T 和 Y 分别为传感器成像第 i 个像素校正前、后的辐射亮度值; μ_i, σ_i, μ_r 和 σ_r 分别为传感器成像第 i 个像素和整景图像的均值和方差。

采用 IDL 语言实现该算法,主要代码如下:

```
arrOri_Image = read_image(strOpen_Path)
Image_Mean = Mean(arrOri_Image)
Image_Std = Stddev(arrOri_Image)
fRow_Mean[i, 0] = Mean (arrOri_Image[layer, i, *])
fRow_Std[i,0] = Stddev(arrOri_Image[layer, i, *])
arrPro_Image[i, *] = Image_Std/fRow_Std[i,0] * (arrOri_Image[layer,i, *] - fRow_Mean[i,0]) + Image_Mean
```

3　结果分析

3.1　研究区及其数据预处理

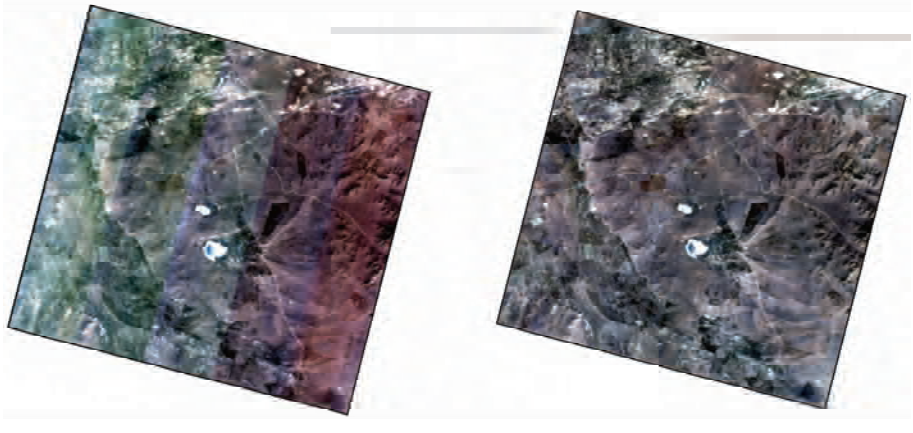
研究区位于内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗苏通地区,属半干旱中低山景观区。该区大地构造上属华北板块北部陆缘增生带,中新生代又受到太平洋板块俯冲的影响。采用数据源为 2015 年 10 月 7 日获取的 GF－2 卫星全色和多光谱影像,范围为 E117.129°～117.498°, N44.320°～44.582°。影像覆盖区域地层发育,岩浆活动较强烈,火山岩发育,受干旱气候影响,土地沙化和盐碱化严重,地物分布均一性较好。

去除噪声前已对 GF－2 影像进行正射校正和影像配准,分别以区内 1∶5 万 DEM 和 1∶5 万地形图为参考,纠正误差控制在 0.5 个像元内,采用双线性插值方法进行重采样。

3.2　结果分析

3.2.1　目视定性分析

原始影像及去除条带后影像合成结果分别如图 2 所示。



(a) 原始影像
GF－2 B3(R)B2(G)B1(B)合成

(b) 去除条带后影像
GF－2 B3(R)B2(G)B1(B)合成

图 2　影像去条带噪声结果

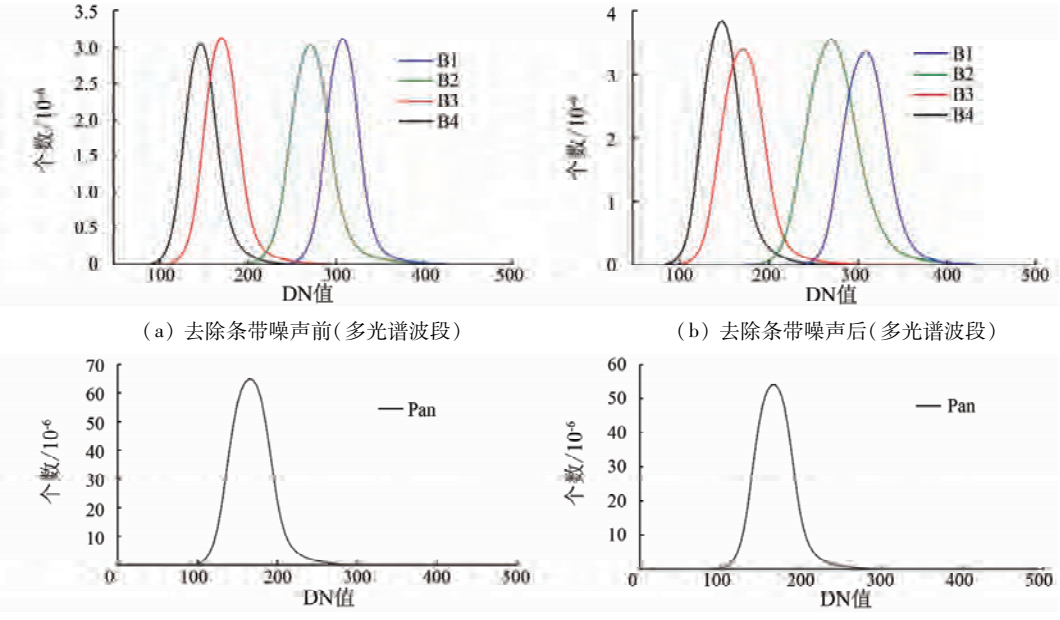
Fig. 2　Destriping results of the image

从图 2 中可以看出,原始影像有明显的条带噪声,各条带之间对比度和亮度明显不一致,色彩突兀,地表信息模糊; 采用矩匹配算法去除条带处理后,影像中条带得到有效改善,整个影像亮度对比度

增强,且色彩、明暗过渡自然,地表信息变得清晰可见。

3.2.2 直方图分析

图像直方图描述图像中每个亮度值(DN)像元数量的统计分布。每个波段的直方图能提供关于图像质量的信息,如其对比度的强弱和是否存在多峰值等。条带噪声去除前后各波段直方图及各波段峰值对应的 DN 值分别如图 3 和表 1 所示。



(a) 去除条带噪声前(多光谱波段) (b) 去除条带噪声后(多光谱波段)

(c) 去除条带噪声前(全色波段) (d) 去除条带噪声后(全色波段)

图 3 条带噪声去除前后各波段直方图对比

Fig. 3 Comparison of histograms of the images before and after destriping

表 1 去除条带噪声前后 GF-2 影像各波段直方图峰值对应 DN 值对比

Tab. 1 Comparison of histograms peak DN of the images before and after destriping

指标	B1	B2	B3	B4	Pan
去除条带前 DN 值	308	270	172	148	165
去除条带后 DN 值	307	269	168	144	163

由图 3 和表 1 可知,利用距匹配算法去除条带噪声后,多光谱波段和全色波段的直方图与去条带噪声前的直方图形态基本一致,并且各波段去除条带噪声前后的直方图峰值所对应的 DN 值基本保持不变。通过对去除条带前后波段直方图的分析,采用距匹配算法不但能有效去除 GF-2 条带噪声,同时还最大限度地保持原始影像的特征不变。

3.2.3 定量参数分析

选取图像均值、标准差、平均梯度和信息熵等统计参数对 GF-2 影像数据去除条带噪声前后进行定量分析,进而对基于矩匹配算法的 GF-2 影像条带噪声去除方法进行评价。

均值是影像像元灰度的平均值,反映了地物的平均反射强度,是对光谱信息转变的度量[10]。影像均值 μ 的计算公式为

$$\mu = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} F(i,j)}{MN}, \tag{3}$$

式中:M 和 N 分别为影像的行列数;$F(i,j)$ 为影像像元(i,j)的像元值。

标准差是影像各像元灰度距灰度平均值距离平方的平均数,是描述像元值与影像灰度均值的离散程度,为衡量影像信息丰富程度的一个重要指标[11]。影像标准差 std 的计算公式为

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[F(i,j)-\mu]^2}{MN}}, \tag{4}$$

平均梯度,即图像的清晰度,体现影像边界及细节部分清晰程度的统计量。清晰度越大,影像视觉效果越佳,识别地物能力越强[12]。影像平均梯度 $\bar{g}$ 的计算公式为

$$\bar{g} = \frac{1}{(M-1)(N-1)}\sum_{i=1}^{M-1}\sum_{j=1}^{N-1}\sqrt{\frac{F(i,j)-F(i+1,j)^2+F(i,j)-F(i,j+1)^2}{2}}, \tag{5}$$

式中 $F(i+1,j)$ 和 $F(i,j+1)$ 分别表示像元(i,j)下方及右方相邻像元值。

信息熵是影像信息量的反映,是衡量影像信息丰富程度的重要指标。单波段影像信息熵越大,则

信息量越丰富[12]。影像信息熵 $H(x)$ 的计算公式为

$$H(x) = -\sum_{i=0}^{bit} p(i)\mathrm{lb}[p(i)] \quad , \qquad (6)$$

式中: bit 为影像量化的最大灰度值; $p(i)$ 为影像像素灰度值为 i 的概率密度。

各波段定量评价参数对比结果如表 2 所示。

表 2　去除条带噪声前后影像定量评价

Tab. 2　Evaluation of the images before and after destriping

指标	原始数据					去除条带噪声后				
	B1	B2	B3	B4	Pan	B1	B2	B3	B4	Pan
最小值	254	194	101	83	46	244	191	95	77	44
最大值	894	926	555	440	1 005	645	681	459	381	816
均值	311.16	273.94	172.24	146.64	170.81	311.50	275.40	173.59	146.70	169.45
标准差	27.39	32.47	21.96	17.20	24.79	18.52	23.14	18.45	15.35	20.79
平均梯度	1.273	1.737	1.891	2.297	2.315	1.491	1.903	1.948	2.335	2.629
信息熵	4.950	5.256	5.392	5.723	5.917	5.303	5.312	5.527	5.773	6.036

从表 2 中可以看出,去除条带噪声后各波段均值均大于原始数据,表现在影像上,图像亮度较原始影像大; 去除条带噪声后各波段标准差均小于原始影像标准差,表明去除条带噪声后各波段灰度值较原始影像更为集中; 去除条带噪声后各波段平均梯度和信息熵均大于原始数据,表明影像噪声得到了控制,影像更为清晰,影像信息量增加。同时也可看到均值和标准差,特别是平均梯度和信息熵,虽有变化但均接近原始影像,这说明采用基于距匹配算法对 GF－2 影像进行去条带噪声处理,不但可以有效去除噪声,而且能很好地保留原有的影像信息。

4　结论

1)采用距匹配算法可以有效去除 GF－2 高空间分辨率遥感影像数据中的条带噪声。通过消除条带前后的图像及评价指标对比可以看出,条带噪声得到了有效处理,图像质量明显改善,且图像原有信息仍然保留。

2)处理结果表明,建立在统计基础上的距匹配算法,对于地物分布较均一的半干旱中低山景观区影像去除条带效果较好。由于数据本身的限制,未将此算法应用于复杂地物景观区,这将是下一步应用研究的方向。

3)本文采用 IDL 语言对距匹配算法进行了实现,无人工干预,且对不存在条带噪声的影像不会引入新的噪声,适合海量数据的自动化处理。

参考文献(References):

[1] Ahern F J, Brwon R J, Cihlar J, et al. Radiometric correction of visible and infrared remote sensing data at the Canada Centre for Remote Sening[J]. International Joumal of Remote Sensing, 1987, 8(9): 1349－1376.

[2] Crippen R E. A simple spatial filtering routine for the cosmetric removal of scan－line noise from Landsat TM P－tape imagery[J]. Photogram－metric Engineering and Remote Sensing, 1989, 55(3): 327－331.

[3] Gadallah F L, Csillag F, Smith E J M. Destriping multisensor imagery with moment matching[J]. International Joumal of Remote Sensing, 2000, 21(12): 2505－2511.

[4] Sun L, Neville R, Staenz K, et al. Automatic destriping of Hyperion imagery based on spectral moment matching[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2008, 34(S1): S68－S81.

[5] 牛生丽,唐军武,蒋兴伟,等. HY－1A 卫星 COCTS 数据条带消除的两种定量化方法比较[J]. 遥感学报,2007,11(6):327－331.
Niu S L, Tang J W, Jiang X W, et al. The comparison of two quantitative striping removal algorithms for HY－1A COCTS data[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(6): 327－331.

[6] 修吉宏,翟林培,刘 红. CCD 图像条带噪声消除方法[J]. 电子器件,2005,28(4):719－721.
Xiu J H, Zhai L P, Liu H. Method of removing striping noise in CCD image[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2005, 28(4): 719－721.

[7] 秦 雁,邓孺孺,何颖清,等. 分段线性动态矩匹配条带去除[J]. 中国图象图形学报,2012,17(11):1444－1452.
Qin Y, Deng R R, He Y Q, et al. Piece－wise linear dynamic moment matching destriping[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(11): 1444－1452.

[8] 贺 霖,潘 泉,邸 韡,等. 一种基于单似然检验的高光谱图像小目标检测器[J]. 光学学报,2007,27(12):2155－2162.
He L, Pan Q, Di W, et al. A small－target detector based on single likelihood test for hyperspectral imagery[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(12): 2155－2162.

[9] Wegener M. Destriping multiple sensor imagery by improved histogram matching[J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11(5): 859－875.

[10] 陈雪洋,袁 超. ZY－1 02C 卫星影像融合方法评价[J]. 测绘与空间地理信息,2013,36(2):50－53.
Chen X Y, Yuan C. Data fusion evaluation of ZY－1 02C satellite images[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2013, 36(2): 50－53.

[11] Chavez Jr P S, Sides S C, Anderson J A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic[J]. Photogrammetric Engineering

and Remote Sensing,1991,57(3):295 - 303.

[12] 崔 璨. 基于对比分析的国产卫星影像质量评价[D]. 长春:吉林大学,2014.

Cui C. The Quality Assessment of Domestic Satellite Images Based on Contrastive Analysis[D]. Changchun:Jilin University,2014.

Destriping model of GF - 2 image based on moment matching

CUI Jian[1], SHI Penghui[1], BAI Weiming[2], LIU Xiaojing[1]

(1. *Henan Institute of Geological Survey*, *Zhengzhou* 450001, *China*; 2. *Henan Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center*, *Zhengzhou* 450001, *China*)

Abstract: Gaofen 2(GF - 2) is China's first civil optical remote sensing satellite with spatial resolution better than 1 m. It has five bands, with wave length range from visible to near infrared light and spatial resolution under star as precise as 0.8 m. Randomly streaking noise was found in the work, which affected interpretation and information extraction. According to the features of GF - 2 image stripe, the destriping of GF - 2 image was carried out by using moment matching. Then, the destriping result was analyzed by qualitative or quantitative analysis methods. The results show that moment matching can effectively eliminate the streaking noise of the GF - 2.

Keywords: moment matching; GF - 2; streaking noise; destriping model

(责任编辑: 陈 理)