

高分一号卫星相机的辐射交叉定标研究

杨 磊,傅俏燕,潘志强,张学文,韩启金,刘 李

(中国资源卫星应用中心,北京 100094)

摘 要: 利用 Landsat8-OLI 时间序列图像数据对高分一号(GF-1)的 16 m 宽覆盖多光谱传感器进行交叉定标。试验首先通过安排 GF-1 夜间深海成像,确定 GF-1 传感器的定标公式的截距,再选取定标靶标场的双星同步观测数据,利用回归分析得到定标公式的增益。利用交叉定标系数结果计算的 GF-1 辐亮度值与同步观测的 Landsat8 的辐亮度值相关性在 95% 以上,4 个波段定标精度相对误差分别是 4.25%、6.21%、5.83% 和 5.66%。结果表明该方法获得的定标系数精度与 Landsat8 定标数据辐射定标精度相当,GF-1 卫星可以满足定量化应用的要求。

关键词: 交叉定标; GF-1; Landsat8; 夜间深海成像; 时间序列

中图分类号: TP731 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)08-2456-05

Research of radiometric cross-calibration about GF-1 satellite sensors

Yang Lei, Fu Qiaoyan, Pan Zhiqiang, Zhang Xuewen, Han Qijin, Liu Li

(China Center for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100094, China)

Abstract: This paper is about the radiometric cross-calibration method of GF-1 image with landsat8-OLI data. First the cross-calibration was implemented using the night deep sea imaging to obtain the bias of GF-1 cross-calibration coefficient. Then eight times images of two sensors passing through the target place were selected to obtain the gains of the GF-1 cross-calibration coefficient. The correlation between the radiance value calculated by the cross-calibration coefficient and the synchronous observations of the Landsat8 radiance value is above 95%. The accuracy relative errors of the 4 bands are 4.25%, 6.21%, 5.83% and 5.66% respectively. The results show that the calibration coefficients obtained from the method have a similar precision as Landsat8-OLI. The calibration coefficients can satisfy the quantitative applications of GF-1 data.

Key words: cross-calibration; GF-1; Landsat8; night deep sea imaging; time series

收稿日期:2014-12-20; 修订日期:2015-01-22

基金项目:国家 863 计划重点课题(2012AA12A302),国家 863 计划重点项目(2009AA122100)

作者简介:杨磊(1979-),男,高级工程师,硕士,主要从事国产卫星定标与定量应用方面的研究。Email:yanglei@cresda.com

0 引言

高分一号卫星已经开展长期在轨业务运行,已经为监测全球性气候、环境变化研究提供了准确的空间信息源。由于遥感卫星在轨运行期间外部环境发生变化,所以在轨运行期间必须通过绝对辐射定标。我国目前主要通过卫星辐射定标场,对我国的遥感卫星开展场地外定标试验,但由于场地和天气条件的限制,外场定标不能满足 GF-1 业务化定标的需要^[1]。

目前国内外积极开展交叉定标试验,进行多传感器、多时相卫星数据的交叉定标,以满足卫星业务化定标的需求。国外专家^[2]和国内多位专家^[3-6]等学者都开展过利用交叉定标方法对国产遥感卫星绝对辐射定标。Landsat8 卫星得绝对辐射定标精度为 5%^[7],是国际上稳定业务运行、数据广泛应用的高精度遥感卫星。文中利用 Landsat8 卫星的时间序列观测数据对 GF-1 的相机进行交叉定标,建立稳定可靠的 GF-1 与 Landsat8 之间的交叉定标模型,得到可靠的定标系数,以满足 GF-1 号卫星业务化定标的需求。

1 交叉辐射定标原理

交叉定标法是利用定标精度高的传感器作为参考标准,选择相同或相近观测的卫星影像,建立参考传感器入瞳辐亮度与目标传感器之间的关系^[8]。基于 Landsat8 的 GF-1 号交叉定标方法主要分为四个步骤:(1) 数据选取,选择时间、空间和观测几何一致的数据;(2) 分析 Landsat8 传感器和 GF-1 传感器的光谱差异,确定 GF-1 传感器入瞳处的辐亮度值;(3) 通过 GF-1 夜间深海成像,确定 GF-1 传感器的偏移量,即定标截距;(4) 定标计算,将经过挑选和修正的样本数据建立关系,获取定标斜率。利用 Landsat8 标定 GF-1 的流程图如图 1 所示。

利用 Landsat8 的 OLI 相机对 GF-1 卫星相机交叉定标,GF-1 的相机等效辐亮度用公式表示为:

$$L_{GF-1}^*(\lambda_j) = k \times L_{Landsat8}(\lambda_i) \quad (1)$$

式中: $L_{GF-1}^*(\lambda_j)$ 为相机波段 j 等效表观辐亮度; $L_{Landsat8}(\lambda_i)$ 为相机波段 i 的等效表观辐亮度; k 为 GF-1 卫星相机波段 j 和 Landsat8 卫星相机波段 i 之间的

光谱匹配因子,其是两个相机对大气条件、地物的响应差异和不同的观测角度的影响的基础上计算得出,即 GF-1 卫星相机和 Landsat8 卫星相机同时观测同一目标时,在不同观测角度、不同相机响应情况下相应相机波段接收的辐亮度之间的比值,相机波段的光谱匹配因子可以通过 MODTRAN 或 6S 等辐射传输模型模拟计算。

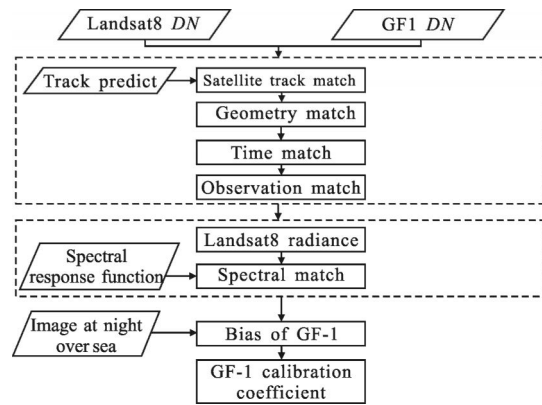


图 1 GF-1 和 Landsat8 交叉定标流程

Fig.1 Flow chart of cross-calibration between GF-1 and Landsat8

GF-1 卫星的相机辐射特性采用线性设计,即具有公式(2)的关系,即可以计算出 GF-1 卫星相机波段 j 的辐亮度和对应波段的计数值 DN ,最后得到相机波段 j 的绝对辐射定标系数 a 和 b ,完成相机的绝对辐射定标。

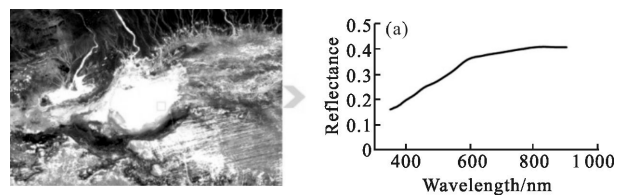
$$L_{GF-1}^*(\lambda_j) = a \times DN_j + b \quad (2)$$

式中: a 为定标增益; b 为定标截距,单位为 $(W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot \mu m^{-1})$; DN_j 为 GF-1 卫星的相机波段 j 的计数值。

2 定标试验与结果

2.1 定标靶区选择

交叉辐射定标的定标靶区一般选用大部区域无植被,场地均匀,地势平坦,地物变化和 BRDF 的影响较小,具有较高的稳定性和均匀性。文中选用的定标靶区的地物的光谱特性如图 2 所示。



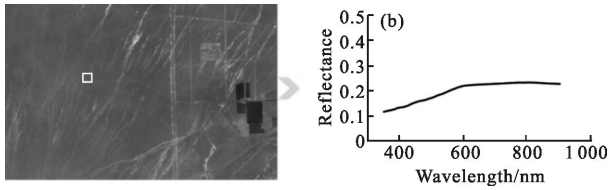


图 2 交叉定标靶区光谱反射率

Fig.2 Spectral reflectance of the cross-calibration targets

Landsat8-OLI 和 GF-1 的相机空间分辨率分别为 30 m 和 16 m,为了降低数据空间分辨率不同引起的误差,空间几何匹配误差要求小于 0.5 像元,同时采样区域要求在定标靶区的大面积均匀地物中选取,面积为 1 km×1 km,取其均值作为 Landsat8 和 GF-1 相机的计数值。

2.2 匹配数据获取

GF-1 和 Landsat8 都是太阳同步轨道,相同地点的过境时间相差约 30 min。综合考虑地面场地条件和卫星观测几何等因素,选出定标靶区的无云影像作为交叉定标数据,双星观测的天顶角基本一致,Landsat8 的观测天顶角都是 0°,GF-1 的观测天顶角范围在 10°以内。

2.3 光谱匹配因子计算

光谱匹配因子计算是交叉定标的关键环节。选择与 GF-1 卫星的相机的 4 个多光谱波段相匹配的 Landsat8 卫星的波段。从图 3 可以看出,GF-1 的通道比 Landsat8 宽,Landsat8 前 3 个通道与 GF1 匹配较好。

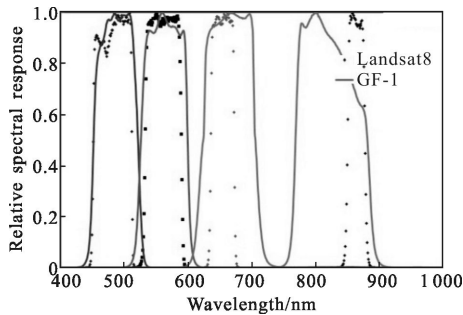


图 3 GF-1 和 Landsat8 卫星相机光谱响应

Fig.3 Spectral response of matched bands of GF-1 and Landsat8

为了比较不同相机光谱响应对表观辐亮度的影响,利用 MODTRAN 辐射传输模型计算 Landsat8 和 GF-1 匹配通道的表观辐亮度,地面光谱数据采用定标场的实测数据,地物及其光谱反射率如图 2 所示。

对于敦煌场的石膏矿和戈壁地物类型。GF-1 和 Landsat8 波段辐射亮度计算结果(见表 1)表明,GF-1 卫星的相机和 Landsat8 相机对应波段的光谱匹配因子对于不同反射率特性的地物变化非常小,变化在 1%左右,匹配因子值接近于 1。

表 1 GF-1 和 Landsat8 波段辐射亮度

Tab.1 Radiance for GF-1 and Landsat8

| Object | Landsat8 | | GF-1 | | | |
|--------|---------------|----------------------|---|-------|----------------------|---|
| | Band | Surface re-flectance | Radiance /W·m ⁻² ·sr ⁻¹ ·μm ⁻¹ | Band | Surface re-flectance | Radiance /W·m ⁻² ·sr ⁻¹ ·μm ⁻¹ |
| Gypsum | Band2-blue | 0.234 9 | 167.4 | Band1 | 0.271 2 | 165.0 |
| | Band3-green | 0.333 3 | 141.0 | Band2 | 0.333 7 | 137.9 |
| | Band4-red | 0.376 8 | 117.9 | Band3 | 0.378 4 | 115.3 |
| | Band4-near IR | 0.401 66 | 72.8 | Band4 | 0.401 0 | 74.7 |
| | Band2-blue | 0.161 6 | 114.8 | Band1 | 0.163 3 | 112.9 |
| Gobi | Band3-green | 0.203 5 | 91.9 | Band2 | 0.203 6 | 89.5 |
| | Band4-red | 0.225 7 | 74.2 | Band3 | 0.227 4 | 72.5 |
| | Band4-near IR | 0.234 9 | 44.1 | Band4 | 0.237 3 | 45.7 |

2.4 截距参数计算

依据公式(2),定标系数的截距表现为传感器自身的暗电流噪声。为了确定传感器的暗电流,利用海水在夜晚在可见光-近红外没有反射能量的特性,通过 GF-1 传感器在夜间对深海成像,获取传感器在无能量输入时传感器的输出值,即传感器自身的暗电流噪声,从而获取传感器的定标截距。试验安排 GF-1 对深海夜间成像。经过对图像的统计计算,各波段的计数值近似为 0,说明 GF-1 号卫星相机的截距可以近似为 0,可以认为 GF-1 的相机在进行相对辐射校正时已经去处发射前测出的暗电流值。

2.5 斜率参数计算

斜率参数计算通过选取定标靶标场的石膏场、戈壁等变化较小、光谱特性稳定的地物样本回归计算得到。通过公式(2),将 Landsat8 传感器入瞳处辐

亮度转换成 GF-1 传感器入瞳处辐亮度, 与对应的 GF-1 传感器的计数值进行拟合, 如图 4 所示。

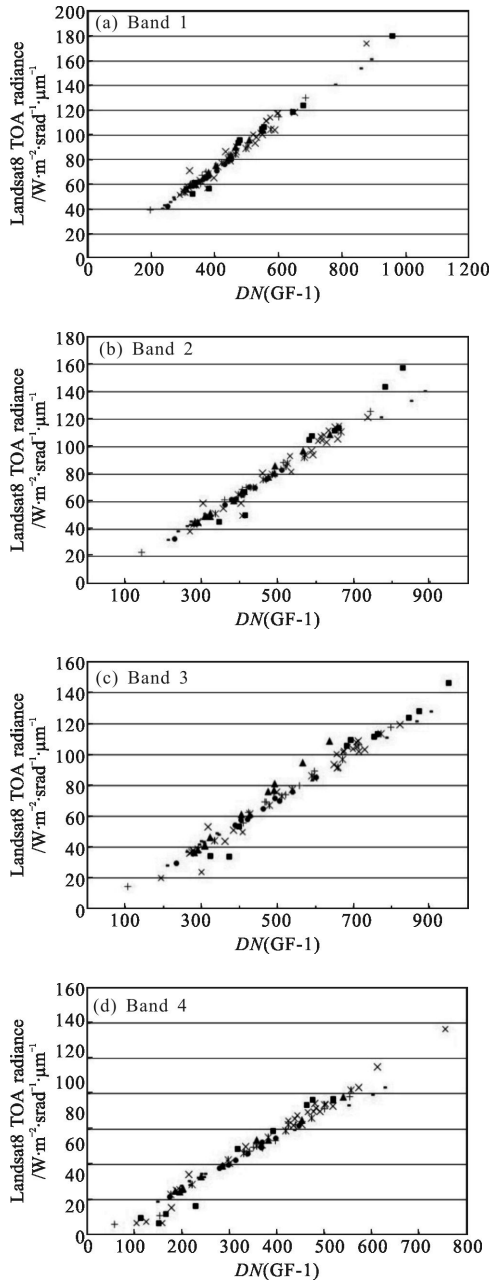


图 4 GF-1 交叉定标系数拟合计算

Fig.4 GF-1 cross-calibration coefficients

3 定标结果验证

为了验证定标的精度, 选取 GF-1 和 Landsat8 的我国西北地区对交叉定标系数进行验证, 在 GF-1 和 Landsat8 分别选取 30 个涵盖不同反射率的 20×20 个像元作为结果验证样本, 以光谱因子修正后 Landsat8 波段辐亮度为真值, 来评价绝对辐射定标

系数的精度。图 5 显示了 GF-1 和 Landsat8 的辐亮度值一致性较好, 经过定标后的 GF-1 卫星相机和 Landsat8 的相机的 4 个波段的辐亮度值的均方根误差分别是 2.85、4.519、4.031 和 4.719 W·m⁻²·sr⁻¹·μm⁻¹, 其对应的相对误差分别是 4.25%、6.21%、5.83% 和 5.66%。因此, 可以认为通过夜间深海成像确定相机的偏移量, 再利用多点线性回归来获得相机增益的交叉定标精度与 Landsat8 传感器的定标精度有很好的 consistency, 达到了业务化运行的定标精度要求。

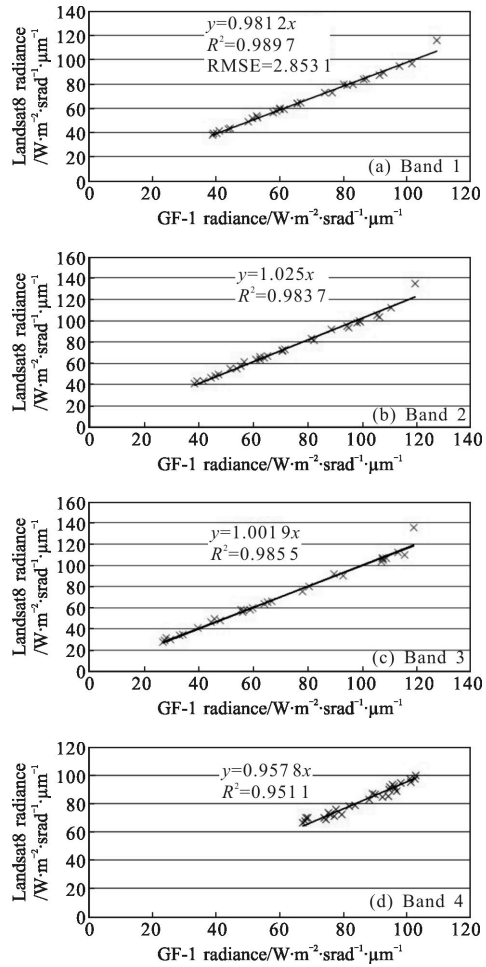


图 5 GF-1 定标系数的验证

Fig.5 Validation of GF-1 cross-calibration coefficients

4 结论

文中研究表明:(1) 基于定标靶标场的大面积均匀场地的交叉定标, 综合考虑光谱响应差异、观测时间获得的交叉定标系数稳定可靠;(2) GF-1 的暗电流经过了相对辐射校正以后, 可以近似认为等于 0, 因此定标只需确定增益一个参数, 提高了交叉定标

精度;(3) GF-1 的基于 Landsat8 的交叉定标系数的精度优于 6%,且主要依赖 Landsat8 的 OLI 相机的定标精度;(4) 利用 Landsat8 可以实现对 GF-1 的长时间序列的绝对辐射定标,定标精度和频次能够满足业务化定标的需求;(5) 通过分析长时间序列的绝对辐射定标可以反映 GF-1 定标变化的规律和趋势,为分析预测卫星的变化提供参考依据。

参考文献:

- [1] Han Qijin, Fu Qiaoyan, Pan Zhiqiang, et al. Absolute radiometric calibration and validation analysis of ZY-3 using artificial targets [J]. *Infrared and laser Engineering*, 2013, 42(S1): 167-173. (in Chinese)
韩启金, 傅俏燕, 潘志强, 等. 资源三号卫星靶标法决对辐射定标与验证分析 [J]. 红外与激光工程, 2013, 42(S1): 167-173.
- [2] Teillet P M, Baker J L. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 78: 39-54
- [3] Sun Ke, Fu Qiaoyan, Qi Xueyong, et al. Radiometric cross-calibration of thermal infrared channel of IRS sensor on HJ-1B satellite [J]. *Infrared and laser Engineering*, 2010, 39(7): 785-790. (in Chinese)
孙珂, 傅俏燕, 亓学勇, 等. HJ-1B 卫星 IRS 传感器热红外通道交叉定标[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(7): 785-790.
- [4] Xu Na, Hu Xueqing, Chen Lin, et al. Cross-calibration of FY-2E/VISSR infrared window and water vapor channels with TERRA/MODIS[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2012, 31(4): 319-384. (in Chinese)
徐娜, 胡秀清, 陈林, 等. 利用 MODIS 对 FY-2E/VISSR 红外窗区和水汽通道的交叉决对辐射定标 [J]. 红外与毫米波学报, 2012, 31(4): 319-384.
- [5] Zhang Yong, Gu Xingfa, Yu Tao, et al. Radiometric cross-calibration of cbers-02 IRMSS thermal channel [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2006, 25(4): 261-266. (in Chinese)
张勇, 顾行发, 余涛, 等. 中巴地球资源卫星热红外通道的交叉辐射定标[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(4): 261-266.
- [6] Han Qijin, Zhang Xuewen, Qiao Zhiyuan, et al. Wide dynamic radiometric calibration of GF-1 PMS sensors using multi-test sites[J]. *Infrared and laser Engineering*, 2015, 44(1): 127-133. (in Chinese)
韩启金, 张学文, 乔志远, 等. 高分一号卫星 PMS 相机多场地宽动态辐射定标 [J]. 红外与激光工程, 2015, 44(1): 127-133.
- [7] U.S. Geological Survey (USGS)/National Aeronautics and Space Administration (NASA). LDCU CAL/VAL algorithm description document[R]. 2013.
- [8] Yang Zhongdong, Gu Songyan, Qiu Hong, et al. Research on the algorithm of cross calibration about IRMSS aboard CBERS-01 [J]. *Infrared and laser Engineering*, 2003, 22(4): 281-285. (in Chinese)
杨忠东, 谷岩松, 邱红, 等. 中巴地球资源一号卫星红外多光谱扫描仪交叉定标方法研究[J]. 红外与激光工程, 2003, 22(4): 281-285.