基于历史数据的 HJ-1B/IRS 热红外通道定标与分析

杨红艳[1,4], 李家国[1*], 朱 利[2], 殷亚秋[1], 张永红[1,4], 雷秋良[3], 陈宜金[4]

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;
2. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
4. 中国矿业大学(北京), 北京 100083)

摘 要: 为获取 2013 年 HJ-1B/IRS 热红外通道(B08)绝对辐射定标系数, 以 TERRA/MODIS 为参考传感器, 以青海湖为研究区域, 采用双通道差分模型进行交叉定标。对比分析不同观测角度、成像时差对定标精度的影响, 结果表明, 参考传感器观测角度 30°以内、成像时差 1 h 左右交叉定标条件最佳, 且回归拟合的定标系数精度最高。通过采用 2013 年 10 月 26 日宁德附近海域星地同步实验数据进行精度验证, 结果表明, 此定标系数得到的表观辐亮度误差在 0.02 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$ 以内, 表观亮温误差在 0.15 ℃以内。同时, 通过与历年辐射定标系数(2008~2012 年)进行对比, 所得定标系数精度分别提高 98.50%、98.24%、90.21%、20.87%和 98.31%。总之, 此文定标系数精度较高、结果可靠, 可应用于 IRS B08 通道。

关键词: 定标; 历史数据; MODIS; IRS

中图分类号: TP732.2 **文献标志码**: A **DOI**: 10.3788/IRLA201645.0304004

Calibration and analysis of HJ-1B/IRS thermal infrared channel based on the historical data

Yang Hongyan[1,4], Li Jiaguo[1*], Zhu Li[2], Yin Yaqiu[1], Zhang Yonghong[1,4], Lei Qiuliang[3], Chen Yijin[4]

(1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China;
3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China;
4. China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: To obtain the absolute radiation calibration coefficient of IRS B08 in 2013, TERRA/MODIS was used as the reference sensor, Qinghai lake was taken as the research object, twin-channel difference model was applied to cross-calibration. By comparing the influence of different observation angles and different of imaging receiving time on calibration precision, it can be concluded that the best cross-calibration condition is the observation angle within 30° and the difference of imaging receiving time about 1 hour. Under this condition, calibration accuracy of regression fitting is the highest. According to the precision verification using satellite-ground synchronous experiment data around Ningde area on 26, October, 2013, result shows that error of apparent radiance and brightness temperature is within 0.02 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$ and 0.15 ℃ respectively. Besides,

收稿日期: 2015-07-10; **修订日期**: 2015-08-13

基金项目: 国家自然科学基金(41301388)

作者简介: 杨红艳(1990-), 女, 硕士生, 主要从事辐射定标与温度反演方面的研究。Email: yanghongyan90@126.com

导师简介: 李家国(1982-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事传感器辐射校正与温度反演方面的研究工作。Email: jacoli@126.com

compared with the historical calibration coefficients from 2008 to 2010, the new calibration coefficients of 2013 increased by 98.50%, 98.24%, 90.21%, 20.87% and 98.31% respectively. Overall, the obtained calibration coefficient has a high accuracy, that can be used to the IRS B08.

Key words: calibration; historical data; MODIS; IRS

0 引 言

2008 年 9 月，国内成功地发射 HJ-1 环境保护和灾害监测小卫星星座。其中 HJ-1B 卫星搭载的 IRS 红外多光谱相机第 4 通道 (IRS B08) 为红外波段，在地表温度反演、林火监测、旱灾监测等领域具有广泛的研究和应用价值。HJ-1B/IRS 在轨设计寿命 3 年，由于相关硬件超过预期使用寿命和受到加热定标方式的限制，中国资源卫星应用中心自 2013 年起停止了 HJ-1B/IRS 定标系数的发布。国内学者韩启金(2010)利用 MODIS 第 31、32 通道辐亮度对 HJ-1B/IRS 星上定标结果进行精度检验，结果表明 HJ-1B 红外相机发射以后，星上定标系统相对精度下降了 1.5%左右[1]。

无论是利用星上定标、场地替代定标还是交叉定标，定标系数的回归至少需要高温点、常温点或低温点(即冷空间)中的 2 个，通过线性回归拟合得到绝对辐射定标系数[2]，即增益和偏移。

因此此文通过对长时间序列历史数据的筛选，获取分布于低温和高温之间的 IRS 影像，通过高精度交叉定标模型获取基于不同参照温度的 IRS 表观辐射参量，进而通过对时间序列数据的回归，构建 HJ-1B/IRS 传感器在轨绝对辐射定标系数，从而补充当前 HJ-1B/IRS 数据应用中辐射定标系数存在的空白。

1 交叉定标模型及时序数据选取

1.1 交叉定标模型

当前交叉定标主要有 3 种方法，即光线匹配法 (RM)、辐射传输模拟法 (RTM) 和高光谱卷积法 (HSC)。RM 法和 HSC 法的定标精度虽高但对交叉影像的要求也高[3-4]；RTM 法可以利用历史数据资料进行光谱匹配因子的模拟，且对交叉影像的要求较低，适用范围较宽，定标成本低[5]。Li Jiaguo[6](2012)基于 RTM 法，建立了辐射传输模拟法的双通道差分模型交叉定标，该差分模型避开了大气分层温度和密度对定标过程的影响，同时不需要额外的观测参数。因此此文选取该模型获取 HJ-1B/IRS 表观辐射参数。

MODIS 以其优秀的辐射定标精度著名，其 B31 和 B32 通道对应的中心波长分别为 11.030 μm、12.020 μm，与 HJ-1B/IRS 热红外波段接近 (如图 1 所示)。万正明等[7](2002)在玻利维亚的 Titicaca 湖对

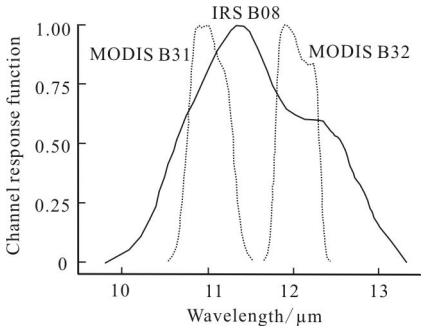

图 1 MODIS B31、32 与 IRS B08 通道响应函数

Fig.1 Channel response function of TERRA MODIS band 31, 32 and HJ-1B/IRS B08

MODIS 热红外通道的定标系数进行了误差估计和真实性检验，结果表明，MODIS B31、32 通道在白天过境时有很好的一致性，定标精度可达 0.4%。此外，MODIS 与 HJ-1B 过境中国的时间通常相差在 1 h 时左右，最小可达几分钟，在定标过程中可降低由于传感器拍摄时间不同造成大气状况和地物温度等因子变化而产生的定标误差。因此，此文以 MODIS B31、32 通道作为参考通道，对 HJ-1B/IRS B08 进行交叉定标，两者相结合的交叉定标双通道差分模型如式(1)所示。

$$T_{hj}(\mu_{hj})=a_1(\mu_{31})+a_2(\mu_{31})T_{31}+a_3(\mu_{31})(T_{32}-T_{31}) \quad (1)$$

式中：$T_{hj}(\mu_{hj})$为 HJ-1B 卫星在传感器观测角度为 μ_{hj} 时的表观亮温；T_{31}、T_{32} 分别为 MODIS B31、32 通道

的表观亮温;(μ_{31})为 MODIS 传感器 B31 通道在观测角度为 μ_{31} 时的差分模型交叉定标系数[8]。

1.2 研究区和数据

交叉定标方法的关键在于两个传感器对目标区域的选择及匹配。在进行目标区域匹配时,TERRA/MODIS 热红外通道数据空间分辨率与 HJ-1B/IRS 的差异很大,需要选择大面积均一的目标作为定标靶区才能保证匹配精度[5]。此文选择青海湖作为定标靶区,不仅能够保证一定时间段内地物表面温度分布的稳定,还可以保证在不同的空间分辨率下地物单一易于识别。图 2(a)、(b)分别为 IRS B08 影像、MODIS B31 影像。图(a)、(b)中的白色方块分别为 IRS 目标传感器、MODIS 参考传感器定标靶区。

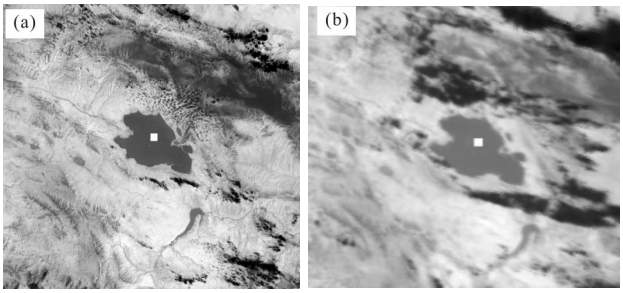

图 2 研究区及定标靶区位置

Fig.2 Study area and calibration target position

此文选择 2013 年 1 月至 12 月,IRS 和 MODIS 研究靶区影像作为实验数据,剔除有云覆盖和海冰的影像得到可用影像共 27 组。根据双通道差分模型的精度分布特点,进一步剔除 MODIS 传感器观测角度大于 50°的数据,将其余 18 组数据按传感器观测角度不同划分为 30°以内、40°以内以及 50°以内(即全部实验数据)3 组进行实验。此外,为获取更高精度的定标系数,根据传感器成像时差不同进行分组实验,分析传感器成像时差不同对定标结果的影响,最终选择最佳条件下的数据拟合获得 2013 年 HJ-1B/IRS 辐射定标系数。

2 基于时序数据定标与分析

2.1 交叉定标流程

利用双通道差分模型对传感器进行交叉定标的流程如图 3 所示。

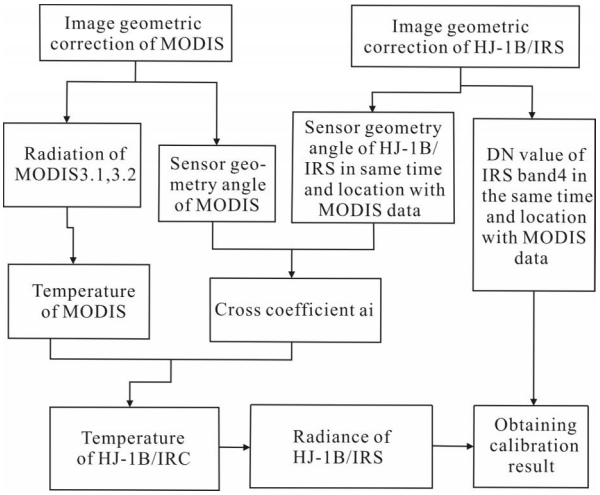

图 3 双通道差分模型交叉定标流程

Fig.3 Flow chart of dual channel difference model cross-calibration

2.2 时序数据拟合

根据参考传感器观测角度的不同,将实验数据按 30°以内、40°以内、50°以内(即全部数据)进行分组,线性拟合得到 3 组绝对辐射定标系数,结果如表 1 所示。

表 1 不同观测角度拟合结果

Tab.1 Fitting results of different observation angles

Observation angle	*g*	*b*	Linearly dependent
Within 30°	50.285	59.110	0.987 6
Within 40°	49.360	64.891	0.989 6
Within 50°	50.086	59.777	0.989 6

根据传感器成像时差的不同,对成像时差 1 h 左右、12 h 左右的实验数据分别进行拟合,拟合结果如表 2 所示。

表 2 传感器不同成像时差数据拟合结果

Tab.2 Results of data fitting in different sensor imaging time lag

Sensor imaging jet lag	*g*	*b*	Linearly dependent
1 hour or so	51.618	48.253	0.991 6
12 hours or so	49.328	65.466	0.988 1

2.3 基于地面观测数据的误差分析

此文选择 2013 年 10 月 26 日宁德地区采用 CE312 多光谱热红外地面辐射计进行星地同步实验获得的 20 个地面表观辐亮度反演的星上表观辐亮度数据作为验证数据，对定标结果进行误差影响分析及精度检验。实验随机选择其中 10 个数据作为定标结果误差影响分析的依据，其余 10 个数据则作为后文精度检验与比对分析的依据。

2.3.1 参考传感器观测角度影响分析

利用不同观测角度下获取的定标系数计算的 IRS B08 星上表观辐亮度与 CE312 参考表观辐亮度做差值比较，结果如图 4 所示，表观辐亮度结果误差均在 0.10 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$ 以内，相应的表观亮温误差在 0.8 ℃以内。且传感器观测角度在 30°以内的数据拟合得到的结果明显优于 40°以内、50°以内数据拟合结果，最大辐亮度误差为 0.03 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$，相应的表观亮温误差为 0.25 ℃，整体精度分别提高 69.48%，82.09%。由此说明参考传感器观测角度在 30°以内时，获得的辐射定标系数效果较好。

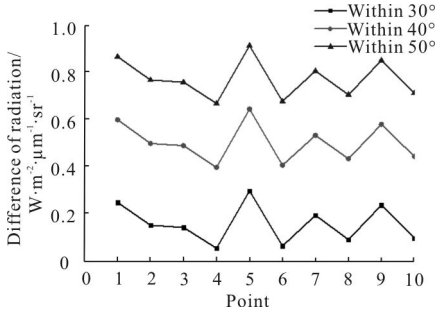

图 4 不同定标系数获得星上表观辐亮度与参考表观辐亮度差值比较

Fig.4 Difference radiance values comparison between different calibration coefficients inversion on the star and reference

2.3.2 传感器成像时差影响分析

由传感器不同成像时差拟合得到的定标系数计算的 IRS B08 星上表观辐亮度与 CE312 参考表观辐亮度数据做差值比较，结果如图 5 所示，最大表观辐亮度结果误差在 0.1 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$ 以内，相应的最大表观亮温误差在 0.8 ℃以内。通过比较分析表明，传感器成像时差在1 h 左右的数据拟合结果相比 12 h 左右、不分观测时差精度分别提高 49.93%、49.09%。其中观测时差在 12 h 左右数据拟合结果相较于全部数据精度降低 1.69%，由此说明参考传感器观测时差在 1 h 左右时，获得的辐射定标系数效果最好。

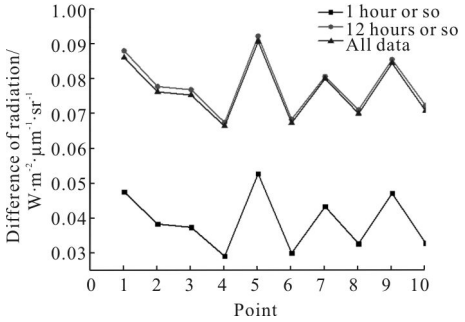

图 5 不同定标系数获得星上表观辐亮度与参考表观辐亮度差值比较

Fig.5 Difference radiance values comparison between different calibration coefficients inversion on the star and reference

据前文数据比较分析结果，选择传感器观测角度在 30°以内和成像时差在 1 h 左右条件下的数据进行拟合，获得 IRS B08 通道 2013 年最优辐射定标系数，结果如表 3 所示。

表 3 传感器最佳观测条件下拟合结果

Tab.3 Fitting results of sensor optimal observation conditions

Optimal observation conditions	*g*	*b*	Linearly dependent
Within 30°& 1 hour or so	52.397	43.417	0.990 5

3 精度检验与比对分析

通过此文最佳定标结果所得星上表观辐亮度、亮温数据与参考表观辐亮度、亮温数据分别做差值比较，表观辐亮度误差在 0.02 $Wm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$ 以内(如图 6 所示)，相应的表观亮温误差在 0.15 ℃以内，误差均较小，说明此文采用最佳条件获取的定标系数具有很高精度。

自 2008 年 HJ-1B 卫星发射以来，中国资源卫星应用中心发布了 2008~2012 年以来每一年的 HJ-1B/IRS B08 通道辐射定标系数。通过历年的辐射定标系数及此文定标结果分别对 2013 年的影像进行定标，所得星上表观辐亮度与参考表观辐亮度数据进行误差比较分析表明(如图 7 所示)，此文所得定标系数精度相较于历年分别提高 98.50%、98.24%、

90.21%、20.87%、98.31%。由此不仅说明此文定标系数精度可靠，同时表明由于传感器受到在轨空间环境和元器件老化等影响，探测性能发生衰变，定期开展卫星传感器在轨辐射定标的必要性，以提高遥感影像定量应用的质量。

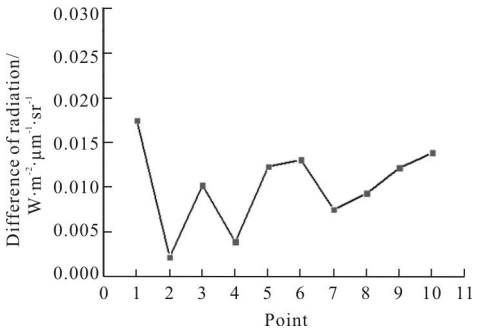

图 6 定标所得星上表观辐亮度与参考表观辐亮度差值比较

Fig.6 Difference radiance values comparison between calibration coefficient inversion on the star and reference

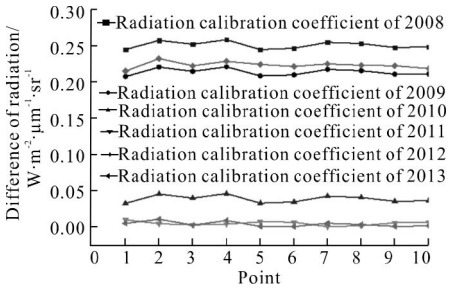

图 7 历年不同定标系数所得星上表观辐亮度与参考表观辐亮度误差比较

Fig.7 Difference radiance values comparison between Calendar year different calibration coefficients inversion on the star and reference

4 结 论

此文基于 2013 年 TERRA/MODIS 以及 HJ-1B/IRS B08 通道遥感影像数据，采用历史数据，对 2013 年 HJ-1B/IRS B08 通道进行绝对辐射定标。根据差分模型的精度分布特点及传感器成像时差对实验数据进行分组分析，结果表明参考传感器观测角度在 30°以内的数据拟合结果相比 40°以内、50°以内数据，精度分别提高 69.48%，82.09%，而传感器成像时差在 1 h 左右的数据拟合结果相比 12 h 左右、同一天内不分时间间隔数据，精度分别提高 49.93%、49.09%。并根据误差分析结果选取最佳条件下的数据进行系数拟合，获取 2013 年 IRS B08 通道辐射定标系数。最后通过采用 2013 年 10 月 26 日宁德附近海域星地同步实验数据进行精度验证及历年辐射定标系数比较分析表明，文中拟合定标系数精度较高且结果可靠，可用于 HJ-1B/IRS B08 通道 2013 年的辐射定标使用。

参考文献：

[1] Liu Li, Fu Qiaoyan, Shi Tingting, et al. Cross-validation of HJ-1B infrared channels onboard calibration coefficients using MODIS [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43(11): 3638-3645. (in Chinese)

[2] Sun Zhiyuan, Chang Songtao, Zhu Wei, et al. Radiation calibration of infrared system by amendment of inner and outer calibrations [J]. ***Optics and Precision Engineering***, 2015, 23(2): 356-362. (in Chinese)

[3] Jiang G M, Yan H, Ma L L. Intercalibration of SVISSR/FY-2C infrared channels against MODIS/Terra and AIRS/Aqua channels [J]. ***IEEE Trans Geosci Remote Sensing***, 2009, 47: 1548-1558.

[4] Doelling D R, Nguyen L, Minnis P. Calibration comparisons between SEVIRI, MODIS, and GOES data [C]//Proceeding 2004 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 2004, 6738.

[5] Asem A, Deschamps P Y, Ho D. Calibration of METEOSAT infrared radiometer using split-window channels of NOAA AVHRR[J]. ***J Atmos Oceanic Tech***, 1987, 4(4): 553-562.

[6] Li Jiaguo, Gu Xingfa, Yu Tao, et al. A twin-channel difference model for cross-calibration of thermal infrared band [J]. ***Science China Technological Sciences***, 2012, 55(9): 1-9.

[7] Wan Zhengming, Zhang Yulin, Li Zhaoliang, et al. Preliminary estimate of calibration of the moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared data using Lake Titicaca [J]. ***Remote Sensing of Environment***, 2002, 80: 497-515.

[8] Sun Ke, Fu Qiaoyan, Qi Xueyong. Radiometric cross-calibration of thermal infrared channel of IRS sensor on HJ-1B satellite[J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2010, 39 (5): 785-790. (in Chinese)