利用 AIRS 高光谱数据开展 HJ-1B 热红外通道的多点交叉定标及验证

刘李^{①*}, 傅俏燕^①, 史婷婷^②, 韩启金^①

① 中国资源卫星应用中心, 北京 100094;

② 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

* E-mail: liulicugb@126.com

收稿日期: 2014-01-07; 接受日期: 2014-10-28

国家高技术研究发展计划(“863”计划)(批准号: 2012AA12A302)资助项目

摘要 我国热红外传感器在轨辐射定标主要通过基于大面积均匀目标的实测数据开展的单点法场地定标以及高精度中分辨率载荷的多点法交叉定标来实现. 单点法场地定标耗时、费力, 且无法计算定标系数的截距, 与中分辨率载荷的多点法交叉定标受到入瞳辐亮度匹配算法的制约, 两者都影响着我国在轨定标系数精度的提高. 利用 AIRS 高光谱数据的光谱特征, 针对国产 HJ-1B 卫星热红外通道进行多点交叉定标方法研究, 通过选择临近成像时间、选择均匀区域消除时空差异, 同时通过 MODTRAN 辐射传输模型开展逐像元计算, 对不同像元间的观测几何因素进行归一化处理. 通过基于单一均匀区域、不同时间相的时间序列多点法和基于同一时间相、不同均匀区域的均匀目标多点法交叉定标获得 HJ-1B 热红外通道定标系数, 并以基于 HJ-1B 热红外通道查找表法获取的星上定标系数为基准, 对多点法交叉定标所得定标系数进行验证. 经过分析, 通过剔除时间序列多点法中的异常点和调整均匀目标多点法中的匹配因子, 所得定标系数模拟得到的等效离水亮温值与基于星上定标系数反演得到的离水亮温值偏差分别达到 1.81 和 0.92 K. 由结果可知, 基于 AIRS 的 HJ-1B 热红外通道的均匀目标多点法交叉定标结果更精确可信.

关键词

高光谱
热红外
交叉定标
多点法

1 引言

目前, 在轨运行的国产陆地观测卫星主要包括中巴资源卫星系列(CBERS-02, 02B), 环境星系列(HJ-1A/B/C), 资源卫星系列(ZY-1 02C, ZY-3), 以及高分对地观测系统系列卫星中的“高分一号”. 其中, 仅 CBERS-02 和 HJ-1B 卫星分别搭载了热红外谱段的载荷红外多光谱扫描仪(IRMSS)^[1]和红外多光谱相机

(IRS)^[2]. CBERS-02 作为 CBERS-01 星的替代星, 发射于 2003 年 10 月 21 日, 目前处于超期服役状态, 已经停止提供数据. 并且, 随着 2013 年 12 月 9 日 CBERS-03 星的发射失利, 热红外数据的缺少状况在短期内无法得到改善. 因此, 目前仅 HJ-1B 卫星搭载的 IRS 相机能够提供热红外数据, HJ-1B IRS 相机发挥着无法替代的作用.

HJ-1B 卫星自 2008 年 9 月 6 日发射进入预定轨

引用格式: 刘李, 傅俏燕, 史婷婷, 等. 利用 AIRS 高光谱数据开展 HJ-1B 热红外通道的多点交叉定标及验证. 中国科学: 技术科学, 2015, 45: 103–110
Liu L, Fu Q Y, Shi T T, et al. Multi-points cross calibration and validation of HJ-1B and AIRS thermal infrared channels (in Chinese). Sci Sin Tech, 2015, 45: 103–110, doi: 10.1360/N092014-00005

道后, 运行稳定, 其所得数据被广泛应用于旱、涝、火、雪等环境灾害监测方面, 在我国甚至国际的环境减灾监测系统中发挥着关键作用. 传感器在轨辐射定标是其定量化应用的基础保障^[3]. 针对热红外通道, 星上黑体定标是在轨辐射定标方法中精度和可靠性相对较高的方法. 然而由于 HJ-1B 星上定标系统稳定性的下降, 2009 年后未采用星上黑体开展在轨星上定标. 取之以基于青海湖水体的场地定标及基于国外高定标精度载荷的交叉定标^[4,5]. 其中, 场地定标除了受到测量条件、自然因素和人力、物力等影响外, 对定标系数的截距也无法计算. 反之, 针对多传感器, 多时相卫星数据的交叉定标优势明显.

多点法交叉定标以具有较高精度的传感器为参考源, 通过建立两传感器对应通道之间的数据匹配关系, 获取待定标传感器的定标系数. 针对 HJ-1B 热红外通道开展的交叉定标以 MODIS 为主^[5-7]. 主要方式是光谱匹配^[5,6]和线性统计关系匹配^[7]. 线性统计关系匹配是通过大量实际数据直接建立的数学统计关系, 物理意义不清晰, 为结果引入随机误差. 光谱匹配算法由载荷自身的光谱响应特性决定, 为结果引入系统误差. 并且, 目前采用的多点法中“点”的分布相对集中, 对定标系数的拟合存在较大影响. 由于高光谱载荷能够充分反映待定标多光谱载荷的光谱响应函数^[8], 目前国外 GSICS 组织正以 Metop 卫星上搭载的 IASI 载荷作为标准传感器对其组织内的其他载荷进行交叉定标^[9]. 通过 IASI 与 AIRS 的交叉定标, 实现对 IASI 覆盖范围外区域的遥感产品定量化^[10], IASI 与 AIRS 的交叉定标不确定度约为 0.1 K^[11], 因此本文以与 MODIS 搭载于同一卫星平台 Aqua 的 AIRS 高光谱载荷为参考传感器^[12], 减小由 MODIS 多光谱载荷在光谱匹配过程中带来的误差, 同时通过选取时间跨度和辐射特性差异较大的感兴趣区域作为研究目标以减小多点法中“点”集中引起的定标系数拟合误差.

本文主要包括 5 个部分: 引言部分主要介绍了 HJ-1B 热红外通道交叉定标的意义和现状, 并提出本文的研究重点; 第 2 节介绍了基于 AIRS 高光谱数据开展 HJ-1B 热红外通道多点法交叉定标的原理; 第 3 节介绍使用的数据及数据处理过程; 第 4 节得到多点法交叉定标结果; 第 5 节利用 HJ-1B 热红外通道星上定标结果对多点法交叉定标结果进行验证. 最后进行了总结.

2 基于 AIRS 的 HJ-1B 热红外通道多点法交叉定标原理

基于 AIRS 的 HJ-1B 热红外通道多点法交叉定标以具有较高辐射定标精度的 AIRS 为参考传感器, 需要进行 AIRS 与 HJ-1B 对应通道间的光谱匹配、时间匹配、空间匹配及观测几何匹配^[13]. 本文通过选择临近成像时间消除时间差异, 通过选择均匀区域消除空间差异. 利用辐射模型开展逐像元计算, 将不同像元受观测几何因素的影响进行归一化. 结合 AIRS 传感器的光谱特性与 HJ-1B 对应通道开展光谱匹配. 建立两传感器对应通道的数据匹配关系(公式(1)和(2)). AIRS 高光谱传感器, 共有 2378 个热红外波段, 覆盖的光谱范围从 3.75~15.4 μm ^[14], HJ-1B 热红外通道的波段范围从 9.81~13.33 μm , 此范围内包含了 698 个 AIRS 热红外波段, 其中有效波段数为 679 个, 图 1 给出了 2 个传感器的光谱响应曲线示意图.

$$L_{\text{AIRS}}(\lambda) = \frac{\int L_{\text{M}}(\lambda) \cdot RSR_{\text{AIRS}}(\lambda) d\lambda}{\int RSR_{\text{AIRS}}(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

$$L_{\text{HJ}}(\lambda) = \frac{\int L_{\text{AIRS}}(\lambda) \cdot RSR_{\text{HJ}}(\lambda) d\lambda}{\int RSR_{\text{HJ}}(\lambda) d\lambda} = \frac{\int \frac{\int L_{\text{M}}(\lambda) \cdot RSR_{\text{AIRS}}(\lambda) d\lambda}{\int RSR_{\text{AIRS}}(\lambda) d\lambda} \cdot RSR_{\text{HJ}}(\lambda) d\lambda}{\int RSR_{\text{HJ}}(\lambda) d\lambda}. \quad (2)$$

式中, $L_{\text{M}}(\lambda)$ BOMEM M-154 热红外光谱仪实测的热红外光谱, $L_{\text{AIRS}}(\lambda)$ 和 $L_{\text{HJ}}(\lambda)$ 分别为 AIRS 和 HJ-1B 模拟得到的热红外通道等效辐亮度. $RSR_{\text{AIRS}}(\lambda)$ 和 $RSR_{\text{HJ}}(\lambda)$ 分别代表 AIRS 和 HJ-1B 热红外通道的光谱响应函数.

根据研究目标的不同, 可以分为基于单一均匀区域、不同时相的时间序列多点法和基于同一时相、不同均匀区域的均匀目标多点法.

时间序列多点法交叉定标, 针对某一均匀实验区域不同时相的 HJ-1B 热红外通道和 AIRS 对应热红外通道数据, 通过 AIRS 和 HJ-1B 热红外通道的光谱匹配, 计算 HJ-1B 热红外通道的等效入瞳辐亮度, 结合 HJ-1B 热红外通道遥感影像实验区域的计数值, 计算其定标系数.

图1 (网络版彩图)AIRS对应HJ-1B热红外通道光谱响应函数

基于均匀目标的多点法交叉验证, 针对某一幅HJ-1B热红外通道遥感影像自动提取一定约束条件下的, 具有不同计数值, 代表不同类型地物的感兴趣区域, 同时获取对应AIRS热红外通道影像中的入瞳辐亮度, 通过光谱匹配得到对应感兴趣区域的HJ-1B热红外通道等效入瞳辐亮度, 结合感兴趣区域的HJ-1B热红外通道计数值得到其定标系数。其中, 在自动提取感兴趣区域过程中的约束条件, 是在大范围均匀区域的研究范围内, 根据HJ-1B热红外通道空间分辨率300 m和AIRS热红外通道星下点空间分辨率13.5 km的特点^[14], 提出匹配因子。假设均匀区域为正方形, 边长 $d=300n/1000$, $D=13.5$, 其中 n 为HJ-1B热红外通道遥感影像的像素个数, 则匹配因子 $k=d/D$ 。

3 数据选择与处理

3.1 数据选择

HJ-1B星IRS和AIRS光谱响应函数;

2010年1月7日, 4月2日, 7月20日, 8月1日, 8月5日, 10月10日, 11月7日, 12月8日, 共8组HJ-1B卫星IRS L1级数据和AIRS L1B级数据;

2009年9月20日的HJ-1B卫星IRS L1级数据和当天AIRS L1B级数据;

2009年9月14日的星上校正黑体高温点数据和邻近的2009年9月15日星上校正黑体的常温点数据。

3.2 数据处理

1) 时间序列多点法交叉定标

基于AIRS高光谱数据开展的HJ-1B热红外通道时间序列多点法交叉定标, 以青海湖辐射定标实验场为研究对象, 共使用2010年1月到12月份共8组HJ-1B IRS热红外通道影像和AIRS高光谱数据开展交叉定标。

首先, 提取感兴趣区域的HJ-1B热红外通道计数值。继而获取对应区域的AIRS高光谱数据, 经过与HJ-1B热红外通道光谱响应函数的卷积计算, 可以得到HJ-1B热红外通道等效入瞳辐亮度。所得HJ-1B热红外通道的计数值和等效入瞳辐亮度如表1所示。青海湖水体在1~12月分别经历了4个季节, 从固体到液体不同物理状态的变化, 其等效入瞳辐亮度变化范围从5.3773~7.6900 W/(m² sr μm), 随之计数值变化范围从294.36~449.64。

利用表1中的8组样本点拟合得到HJ-1B热红外通道定标系数。

2) 均匀目标多点法交叉定标

在2009年9月20日的HJ-1B热红外通道遥感影像上自动检测一定范围内的均一稳定值, 获取这些区域的DN值和经纬度信息。这些DN值代表了不同种类, 不同温度的像元。利用获取的这些区域的经纬度信息, 在同一天AIRS影像中获取与之相对应的辐亮度值。从而进行多点法交叉定标的线性拟合。

根据HJ-1B热红外通道和AIRS热红外通道的特点, 首先考虑匹配因子 $k=1$ 时选取均匀区域的情况。根据对 k 的定义, 此时 $n=45$, 即选择AIRS热红外通道1个像元内对应HJ-1B热红外波段遥感影像45×45个像元的均匀区域进行交叉匹配, 约束条件设定DN值标准偏差小于1, 得到的结果如下。

由图2可以看出, 当匹配因子 $k=1.0$, 保持约束

表1 时间序列交叉定标数据

日期	辐亮度值 W/(m ² sr μm)	DN	HJ 过顶时间	AIRS 过顶时间
2010/1/7	5.3773	294.36	4:28	7:00
2010/4/2	7.0794	336.6	4:11	5:42
2010/7/20	7.1685	435.48	4:03	6:48
2010/8/1	7.6900	449.64	4:10	7:12
2010/8/5	7.6214	439.96	4:13	6:48
2010/10/10	7.6427	406.72	4:02	6:36
2010/11/7	6.5652	387.12	4:17	7:00
2010/12/8	6.1195	361.48	4:09	6:12

图2 (网络版彩图)HJ-1B 热红外遥感影像 45×45 像素单元均匀区域

条件 DN 值标准偏差小于 1 时, 在 2009 年 9 月 20 日 HJ-1B 热红外通道遥感影像中仅有一块均匀区域满足要求. 由该样本点 DN 值 417.5827, 辐亮度值 $7.0346 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$, 拟合得到定标系数的斜率 59.3617. 该方法无法实现对定标系数截距的检验, 本质上成为单点法无场地替代定标.

因此, 考虑选择当匹配因子 $k=0.5$ 时, 此时 $n=11$, 在 HJ-1B 热红外通道遥感影像中选择 11×11 的像素范围, 约束条件设定 DN 值标准偏差小于 1, 计算结果如下.

由图 3 可知, 基于匹配因子 $k=0.5$, DN 值标准偏差小于 1 的约束条件下, 共有 155 组均匀区域参与了定标系数的线性回归计算.

图3 (网络版彩图)HJ-1B 热红外遥感影像 11×11 像素单元均匀区域

4 定标系数结果

经过数据处理, 分别得到多点法交叉定标拟合定标系数所需的样本点(图 4). 时间序列多点法拟合得到的 HJ-1B 热红外通道定标系数, 斜率 $55.196 \text{ W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$, 截距 -7.625 ; 均匀目标多点法拟合得到的定标系数斜率 $59.80 \text{ W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$, 截距 11.66.

同时可见, 基于均匀目标多点法获取的样本点可决系数 $R^2=0.8299$, 高于基于时间序列多点法获取的样本点可决系数 $R^2=0.695$.

5 基于星上定标系数的验证

5.1 星上查找表法定标

利用 HJ-1B 卫星热红外通道 2009/9/14 的星上校正黑体高温点数据和邻近的 2009/9/15 星上校正黑体的常温点数据, 计算其星上定标系数^[15]. HJ-1B 热红外通道共有 10 个探元, 由于各个探元的响应存在差异, 因此进行了逐探元计算, 并给出了 10 个探元的均值.

根据 HJ-1B 卫星数传系统的设计, 通过处理星上下传的 RCP 文件和 CAL 辅助文件, 获取红外相机星上校正黑体温度数据 T 和观测校正黑体时记录的通道计数值 DN , 分别计算得到高温点和常温点对应的计数值分别为 705.4185 和 438.7871, 结果如图 5 所示.

通过发射前实验室定标建立的温度—辐射量转换经验公式, 实现校正黑体温度对应到此温度下标准面源黑体的辐射量的转换^[4]. 由于 HJ-1B 热红外波段通过双面镜观测成像, 双面镜温度对内部光路系统具有辐射贡献, 因此通过对双面镜的辐射贡献进行纠正, 得到纠正后的辐照度 N_e , 结果如图 6 所示.

由于实验室建立的是整个光路系统辐照度与被

图4 多点法交叉定标系数拟合

图 5 T - DN 探元均值散点图

(a) 高温点; (b) 常温点

图 6 N_c - DN 探元均值散点图

(a) 高温点; (b) 常温点

观测的面源黑体温度之间的关系,而在遥感实际的应用过程中使用的是辐亮度,需要通过公式 $L=N_c/(\Delta\lambda\times\pi)$ 进行转换. 此处 $\Delta\lambda$ 为有效波段宽度. 通过构建辐照度和辐亮度的函数关系建立不同黑体温度下的 HJ-1B 热红外通道有效波段宽度查找表^[16], 结合星上下传数据, 得到高温点和常温点对应的有效波段宽度分别为 2.0153, 2.0109 μm . 据此, 分别计算得到高温点和常温点对应的辐亮度值分别为 12.2351 和 7.7657 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$. 结合 HJ-1B 热红外星上定标系数校正黑体高温点和常温点的辐亮度与计数值, 可以得到其定标系数斜率 59.6559 $\text{W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$, 截距 -24.4794.

5.2 多点法交叉定标系数验证与评价

利用 HJ-1B 热红外星上定标系数验证基于 AIRS 高光谱数据的多点法交叉定标结果, 首先针对 HJ-1B 热红外波段遥感影像中符合条件的实验场地, 提取感兴趣区域 DN 值, 结合 HJ-1B 热红外通道星上定标

的查找法定标系数和多点法交叉定标系数, 转换得到 HJ-1B 热红外通道入瞳辐亮度. 根据辐射传输模型计算大气程辐射和卫星观测路径的大气透过率, 反演得到离表辐亮度, 进而通过 Planck 公式转换得到离表亮温. 最终通过亮温值的差异来评价多点法交叉定标系数.

分别基于星上定标查找表法、时间序列多点法、均匀目标多点法拟合得到的 HJ-1B 热红外通道定标系数, 将 2009 年 9 月 20 日 HJ-1B 热红外通道遥感影像感兴趣区域计数值 $DN=413.68$ 转换为表观辐亮度值, 通过 MODTRAN 辐射传输模拟所得的 HJ-1B 热红外通道大气程辐射为 0.4075 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$, 透过率 0.9229, 得到离表辐亮度, 进而通过 Planck 转换得到离表亮温, 具体结果见表 2.

1) 时间序列多点法交叉验证

从表 2 中可见, 基于 AIRS 高光谱数据时间序列多点法与 HJ-1B 热红外通道查找表法离表亮温差异为 2.66 K.

表 2 不同方法计算的离表亮温(单位: 辐亮度, $W/(m^2 sr \mu m)$; 亮温, K)

通道		表观辐亮度 L	离表辐亮度	离表亮温	差值
星上定标	查找表法	7.3448	7.5168	285.95	—
多点法交叉定标	时间序列多点法	7.6329	7.8290	288.61	2.66
	时间序列多点法(改进)	7.1530	7.3090	284.14	-1.81
	均匀目标多点法($k=0.5$)	7.1120	7.2646	283.75	-2.2
	均匀目标多点法($k=0.1$)	7.2456	7.4093	285.02	-0.92

由于同一地物在不同时相的辐亮度值以及对应的 DN 值不同, 因此多点法交叉验证呈现出高低不同的散点分布, 解决了单点法无场地交叉验证的局限性, 通过高中低多点实现对 HJ-1B 热红外通道星上定标系数的有效验证. 但是从时间序列辐亮度值与计数值的匹配情况可以发现(表 1), 对应于 HJ-1B 热红外通道不同计数值的辐亮度值差异较小, 可以认为由于 AIRS 低空间分辨率的影响, 使得在 HJ-1B 热红外通道相同计数值的区域辐亮度值被高估. 这种现象以 2010 年 4 月 2 日的样本点最为明显. 该样本点的 DN 值 336.6 远低于 11 月, 12 月的样本点, 但辐亮度值 $7.0794 W/(m^2 sr \mu m)$ 反而较高. 剔除该异常点后的定标系数拟合结果为斜率 57.71, 截距 0.880(图 7). 基于该定标系数与 HJ-1B 热红外通道查找表法星上定标系数反演离表亮温差值为 1.81 K.

以青海湖为研究区域的不同时相样本点的辐亮度值更多的集中在中等亮度区域, 并没有理想的分散在相对较宽的辐亮度范围内, 给定标系数的线性拟合引入了误差. 同时, 为了获取青海湖水体辐亮度值较大的变化范围, 需要其物理状态的较大变化, 必须伴随着时间、季节的大范围变化, 而与此同时, 利用较长时间跨度的卫星观测数据开展长时间序列多点法交叉定标, 忽略了传感器自身随着时间变化的衰减.

2) 均匀目标多点法交叉验证

图 7 时间序列多点法交叉定标系数拟合

基于均匀目标的多点法交叉验证在解决单点法无场地交叉无法对定标系数的截距进行有效验证问题的同时, 也避免了长时间序列多点法交叉验证中由于传感器自身随着时间变化对定标系数的影响.

从表 2 中可见, 当匹配因子 $k=0.5$ 时, 基于 AIRS 高光谱数据均匀目标多点法与 HJ-1B 热红外通道查找表法所得离表亮温差异为 2.2 K.

经过分析发现, AIRS 高光谱数据基于均匀目标的多点法所得离表亮温被低估, 主要是由于在自动提取的均值区域周边多为低亮度区域, 在图 5 中, 可以清楚地看到青海湖区域附近有薄云出现. 这造成了 AIRS 低空间分辨率影像受混合像元因素影响出现的离表亮温被低估的现象. 因此, 考虑选择更苛刻的约束条件, 当匹配因子 $k=0.1$ 时, n 取值 5, 在 HJ-1B 热红外通道遥感影像中选择 5×5 的像素范围, 约束条件不变, 计算结果如下.

由图 9 中均匀区域散点值的分布可以看出, 共有 3343 组样本参与拟合, 散点值以 $6 \sim 10 W/(m^2 sr \mu m)$ 范围内的中等辐亮度点为主, 可决系数较好, $R^2=0.7131$.

从表 2 中可见, 而匹配因子 $k=0.1$ 时, 两者离表

图 8 (网络版彩图)HJ-1B 热红外遥感影像 5×5 像素单元均匀区域

图9 (网络版彩图)基于匹配因子0.1的均匀区域多点法定标系数与星上定标系数对比

亮温差异最小, 达到 0.92 K.

分析偏差来源, 主要是集中在 $6 \sim 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ 范围内的部分样本点计数值被高估, 可以认为是由于 AIRS 热红外波段空间分辨率较低, HJ-1B 热红外波段影像中均匀区域对应的 AIRS 热红外波段相应区域的辐亮度值受到混合像元的影响, 造成 HJ-1B 热红外波段影像中部分散点的辐亮度值被低估. 从图 8, 9 中可见, 在符合匹配因子的样本点附近, 存在着不同程度的低计数值区域. 以影像中青海湖区域为例, 通过与遥感影像图的对比分析, 发现在青海湖周边存在薄云, 由于云层的辐射能量较低, 故成为该区域混合像元辐亮度值的“污染源”.

6 结论

以 AIRS 为参考载荷, 利用其高光谱数据的特点, 对 HJ-1B IRS 相机开展多点法交叉辐射定标研究. 根据研究目标的不同, 分别通过以青海湖 2010 年不同时相的均匀区域和 2009 年 9 月 20 日遥感影像中符合交叉定标匹配条件的包括水体、戈壁等不同地物类型的均匀区域为样本点的时间序列多点法和均匀目标多点法获取 HJ-1B IRS 热红外通道定标系数. 利用 2009 年 9 月 14 日 HJ-1B IRS 热红外通道的查找表法

星上定标系数对多点法交叉定标系数开展验证工作. 具体步骤是通过获取 HJ-1B IRS 热红外通道遥感影像的感兴趣区域 DN 值, 由定标系数得到传感器入瞳辐亮度, 经辐射传输计算反演离表辐亮度值, 最终通过比较由 Planck 公式转换得到的离表亮温值进行验证评价. 得到结论如下:

1) 基于 AIRS 高光谱数据的时间序列多点法和均匀目标多点法解决了传统场地定标无法获取定标系数截距的问题, 同时也减少了多光谱载荷交叉定标过程中光谱匹配引入的误差. 所得 HJ-1B IRS 热红外通道定标系数与星上定标系数所得亮温差分别达到 1.81 和 0.92 K, 均匀目标多点法交叉定标精度较高, 达到了 1 K 以内.

2) 基于 HJ-1B IRS 热红外通道查找表法星上定标系数的验证方案切实可行. 通过对时间序列多点法和均匀目标多点法交叉定标结果的验证与评价, 提高了两种方法的定标精度. 分别将两种交叉定标系数与星上定标系数反演所得的亮温差值从 2.66 和 2.2 K 提高了 1.81 和 0.92 K, 相对精度分别提高了 31.95% 和 58.18%.

3) 时间序列多点法中青海湖不同时相的样本点的辐亮度值主要集中在 $6 \sim 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ 范围内的中等辐亮度区域, 给定标系数的线性拟合引入了误差. 同时, 为了获取青海湖水体辐亮度值较大的变化范围, 选择了 2010 年一年的历史数据以满足水体物理状态的较大变化, 较长时间跨度的卫星观测数据忽略了传感器自身随着时间变化的衰减.

4) 均匀目标多点法交叉定标由于 AIRS 热红外波段空间分辨率较低, HJ-1B IRS 热红外波段影像中均匀区域对应的 AIRS 热红外波段相应区域的辐亮度值受到混合像元的影响, 从而使得研究区域的辐亮度值受到错误估计. 原因可归结为匹配因子的设计和选择直接影响着样本点的选择, 针对 AIRS 圆形像元和 HJ-1B IRS 热红外通道的方形像元的几何匹配是后续研究工作的方向之一.

参考文献

- 1 顾行发, 陈良富, 余涛, 等. 基于 CBERS-02 卫星数据的参数定量反演算法及软件设计. 遥感学报, 2008, 12: 546–552
- 2 白照广. 中国的环境与灾害监测预报小卫星星座 A/B 星. 中国航天, 2009, 5: 10–15
- 3 梁顺林. 定量遥感. 北京: 科学出版社, 2009. 130–141

- 4 韩启金, 闵祥军, 傅俏燕, 等. HJ-1B 卫星红外多光谱相机星上定标精度分析. 航天返回与遥感, 2010, 31: 41–47
- 5 孙珂, 傅俏燕, 元学勇. HJ-1B 卫星 IRS 传感器热红外通道交叉定标. 红外与激光工程, 2010, 39: 785–790
- 6 韩启金, 闵祥军, 傅俏燕. “环境一号”B 星热红外通道星上定标与交叉定标研究. 航天返回与遥感, 2009, 30: 42–56
- 7 Liu L, Gu X F, Yu T, et al. Time series of cross-calibration of HJ-1B thermal infrared channel. Proc SPIE, 2011, 8006: 800602-1-800602-6
- 8 Chander G, Hewison T J, Fox N, et al. Overview of intercalibration of satellite instruments. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2013, 51: 1056–1080
- 9 Hewison T J, Wu X, Yu F, et al. GSICS inter-calibration of infrared channels of geostationary imagers using Metop/IASI. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2013, 51: 1160–1170
- 10 Yu F, Wu X, Rama Varma Raja M K, et al. Diurnal and scan angle variations in the calibration of GOES imager infrared channels. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2013, 51: 671–682
- 11 Wang L K, Goldberg M, Wu X Q, et al. Consistency assessment of atmospheric infrared sounder and infrared atmospheric sounding interferometer radiances: Double differences versus simultaneous nadir overpasses. J Geophys Res, 2011, 116: D11111-1-D11111-11
- 12 Gunshor M M, Schmit T J, Menzel W P, et al. Intercalibration of broadband geostationary imagers using AIRS. J Atmos Ocean Technol, 2009, 26: 746–758
- 13 李小英, 顾行发, 闵祥军, 等. 利用 MODIS 对 CBERS-02 卫星 CCD 相机进行辐射交叉定标. 中国科学 E 辑, 2005, 35(增刊): 41–58
- 14 Aumann H H, Chahine M T, Gautier C, et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: Design, science objectives, data products, and processing systems. IEEE Geosci Remote Sens, 2003, 41: 253–264
- 15 李家国. HJ-1B IRS 热红外通道在轨绝对辐射定标与应用研究. 博士学位论文. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2010. 21–39
- 16 李家国, 顾行发, 余涛, 等. HJ-1B B08 在轨星上定标有效波段宽度计算的查找表法. 遥感学报, 2011, 15: 60–72

Multi-points cross calibration and validation of HJ-1B and AIRS thermal infrared channels

LIU Li¹, FU QiaoYan¹, SHI TingTing² & HAN QiJin¹

¹ China Centre for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100094, China;

² Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

On orbit radiometric calibration of thermal infrared sensors in China is mainly based on the single-point method with insitu measurements of large uniform targets and cross calibration with moderate resolution sensors which have high calibration accuracy. The single-point method is time-consuming and laborious, and the intercept can not be calculated. Accuracy of cross calibration with the moderate resolution sensors is restricted by the matching algorithm of entrance pupil radiances. Both of this two methods' insufficiencies have been affected the accuracy of on orbit radiometric calibration in China. According to the characteristics of AIRS hyperspectral data, multi-points cross calibration is performed between the AIRS and HJ-1B thermal infrared channels. The time and spatial varieties are eliminated through the similar imaging times and homogeneous regions. At the same time, radiative transfer calculation by MODTRAN is used for each pixel to normalize the observation geometry. Times series multi-points method with the single target, various times and homogeneous targets multi-points method with the single time, various targets are performed to obtain the calibration coefficients of HJ-1B thermal infrared channel. Onboard calibration coefficients calculated by the Look-up table method is used to validate the multi-points cross calibration results. After the elimination of abnormal points from the time series multi-points method and regulation of match factor with homogeneous targets multi-points method, the differences between the equivalent brightness temperature retrieved by the multi-points cross calibration and onboard calibration coefficients are 1.81 and 0.92 K, respectively. The results indicate that the homogeneous targets multi-points method for cross calibration of AIRS and HJ-1B thermal infrared channels has higher accurate.

hyperspectral, thermal infrared, cross calibration, multi-points method

doi: 10.1360/N092014-00005