

文章编号 1004-924X(2010)09-1972-09

FY-3A 中分辨率光谱成像仪 热红外通道的多探元辐射定标

胡秀清^{1,3}, 张里阳¹, 郑照军¹, 张勇¹, 孙凌¹, 丁雷², 黄小仙²

(1. 中国气象局 中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室 国家卫星气象中心, 北京 100081;
2. 中国科学院 上海技术物理研究所, 上海 200083; 3. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: FY-3A 中分辨率光谱成像仪(MERSI)红外通道采取 40 探元跨轨并行扫描方式, 针对其辐射定标要比传统单元探测器的辐射定标复杂的问题, 研究了 MERSI 红外通道的多探元辐射定标方法。首先, 基于星上黑体观测进行逐探元的辐射定标处理, 消除探元辐射响应差异条纹; 然后, 利用各探元与基准探元光谱响应对不同温度黑体光谱辐亮度建立比值关系, 基于其随着辐亮度呈非线性变化的关系, 对逐探元定标后图像进行探元光谱差异的辐亮度归一化补偿, 从辐射机理上最大限度地消除图像条纹, 实现了多探元观测目标辐射信号的光谱响应差异归一化。为了验证 MERSI 红外通道辐射定标精度, 文中还利用同时过星下点观测(SNO)交叉定标方法, 将 MERSI 定标结果与美国 Terra 中分辨率成像光谱仪(MODIS)定标结果进行比对, 结果显示, 相对于后者, MERSI 的红外通道亮温高 1 K 左右, 认为这可能与两者的通道带宽不同有关。

关键词: 中分辨率光谱成像仪; 热红外通道; 多元辐射定标; 光谱差异补偿

中图分类号: V443.5; TH744.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101809.1972

FY-3A multi-detector radiometric calibration for infrared band of medium resolution spectral imager

HU Xiu-qing^{1,3}, ZHANG Li-yang¹, ZHENG Zhao-jun¹,
ZHANG Yong¹, SUN Ling¹, DING Lei², HUANG Xiao-xian²

(1. *Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;*
2. *Shanghai Institute of Technological Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;*
3. *Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: As the FY-3A Medium Resolution Spectral Imager(MERSI) takes a cross-track scanning by 40 detectors in a thermal Infrared Window band, its radiometric calibration is more complicate than those of traditional single detectors. Therefore, this paper investigates a multi-detector radiometric calibration method for the MERSI. Firstly, the operational calibration algorithm for the IR band of MERSI based on onboard blackbody detector-by-detector is proposed to eliminate the radiometric response difference strips. Then, based on the radiance ratios of each detector to reference detector at dif-

收稿日期: 2009-09-11; 修订日期: 2009-11-17.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2007AA12Z145); 全球变化重大科学研究计划 973 资助项目(No. 2010CB950802)

ferent blackbody temperatures, this algorithm conducts the normalization processing for SRF-different bias (spectral normalization) to alleviate the image strips by radiometric mechanism. To verify the accuracy of MERSI calibration, the inter-calibration between MERSI and Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) is performed by using Simultaneous Nadir Observation (SNO). Experiments show that the difference of their brightness temperatures is about 1.0 K, which may come from their different bandwidths.

Key words: Medium Resolution Spectral Imager (MERSI); infrared band; multi-detector calibration; spectral difference compensation

1 引言

随着FY-3A卫星2008年5月27日发射入轨,中分辨率光谱成像仪(MERSI)可见光通道于6月3日开机进行对地观测,红外通道于7月1日开机,利用20个通道进行全球观测。中分辨率光谱成像仪是FY-3A最主要的光学成像载荷,具备从可见光到热红外20个通道的探测能力^[1-3],其在热红外波段设置了一个250 m空间分辨率、光谱较宽的窗区通道。MERSI热红外通道观测地气系统的热发射,不仅可用于地表及海洋温度遥感,同时可为云检测和其它遥感产品生成提供热红外图像。由于该通道空间分辨率较高,还可用于用于城市热岛监测,2008年北京奥运期间已成功为北京市提供了热岛监测服务。

为了实现较高分辨率对地观测成像,MERSI热红外通道采用跨轨40探元并扫方式。探测器为长线列光导碲镉汞器件,由2条20探元线列器件按品字形排列组成40探元探测器,其单元尺寸为0.10 mm×0.10 mm,对应的瞬时视场为0.3 mrad。红外信号输出采用探测器与低噪声前置放大器一一对应方式,直接耦合输出。MERSI红外探测器由辐射制冷器二级冷块制冷,在100 K低温下工作,可实现较高灵敏度的红外探测。FY-3A/MERSI热红外通道仪器性能指标为:光谱波段10.0~12.5 μm,探测灵敏度0.4 K(300 K),目标探测温度180~330 K,定标精度1 K,MTF≥0.25。

为了实现MERSI红外通道实时定标,MERSI在获取地球目标信号的同时,还扫描冷空信号和星上黑体信号,利用冷暖两个目标进行MERSI线性辐射定标,非线性辐射响应项采用发射前真空定标的结果。由于MERSI红外通道采用40

探元并扫模式,辐射定标是逐探元分开进行的,因此能基本消除原始图像的严重条纹。然而,在发射前对MERSI红外通道40探元的光谱响应测试发现,不同探元之间的光谱响应差异较大,各探元中心有效波长存在偏移,因此在逐探元辐射定标基础上,还需要进行多探元光谱响应归一化处理,这样才能使红外通道整幅图像探测的是一个波段范围。本文论述了一种不同探元的光谱差异归一化补偿方法,利用辐射机理消除因探元光谱响应差异带来的图像条纹。

2 定标基本原理

参考国外同类遥感器红外通道的定标方程^[4-8],并分析MERSI实验室真空定标试验数据和结果,FY-3A MERSI红外通道的定标方程采用非线性二次项形式表述,仪器的输出DN与观测辐亮度L之间的表达式为:

$$L = a_0 + a_1 \times DN + a_2 \times DN^2, \quad (1)$$

其中 a_0, a_1, a_2 为定标系数,红外通道的辐亮度L为通道系统光谱响应上的光谱辐亮度平均值,表示为:

$$L = \frac{\int L(\nu)\Phi(\nu) d\nu}{\int \Phi(\nu) d\nu}, \quad (2)$$

其中 ν 为波数(cm^{-1}), Φ 为光谱响应函数,辐亮度L的单位为 $\text{mW}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。 a_2 为定标系数二次项系数,在发射前通过实验室真空定标测量,由于它主要描述的是定标曲线形状,是个小的修正项,入轨后二次项系数依旧采用实验室测量值保持不变。MERSI红外通道发射前实验室定标是在真空罐中利用独立的标准面源黑体进行的,该面源黑体充满MERSI口径并温度可控。定标时面源黑体温度从200~330 K(以5 K为控

温步长)变化两个循环(逐步升温和逐步降温), MERSI 扫描面源黑体和模拟冷空冷屏, 利用公式(1)和上述一系列定标测量就可推算定标系数 a_0, a_1, a_2 。一旦 MERSI 随卫星发射入轨后, 星上热环境发生了变化, 而且有昼夜和轨道周期变化, MERSI 就采用星上黑体进行实时红外通道定标, 其观测星上黑体(BB)的辐亮度表示为:

$$L_{BB} = a_0 + b_1 \cdot dn_{BB} + a_2 \cdot dn_{BB}^2, \quad (3)$$

其中 L_{BB} 为黑体的辐亮度, $dn_{BB} = DN_{BB} - DN_{SV}$, DN_{BB} 和 DN_{SV} 分别代表传感器每个扫描对黑体和冷空间计数值, 如果考虑多个扫描的滑动平均, 可表示为:

$$dn_{BB} = \frac{1}{M_{BB}} \sum_{M=1}^{M_{BB}} DN_{BB} - \frac{1}{M_{SV}} \sum_{M=1}^{M_{SV}} DN_{SV}, \quad (4)$$

黑体发射辐射用普朗克函数计算, 并利用公式(2)进行光谱响应卷积, b_1 逐扫描计算为:

$$b_1 = \frac{1}{dn_{BB}} \cdot \{L_{BB} - (a_0 + a_2 \cdot dn_{BB}^2)\}, \quad (5)$$

为了平滑定标系数异常波动变化, 剔除一些异常值, 进行多个扫描的平均处理:

$$\bar{b}_1 = \frac{1}{N_{Scans}} \sum_{j=-N_{Scans}/2}^{N_{Scans}/2} b_{1,j}, \quad (6)$$

利用该定标系数定标计算 MERSI 对地观测(EV)每个像元的辐亮度, 推算公式表示为:

$$L_{EV} = a_0 + b_1 \cdot dn_{EV} + a_2 \cdot dn_{EV}^2. \quad (7)$$

3 多探元定标方法

上述定标原理主要表述了一般单一探元红外探测器定标的通常方法, 但是 MERSI 红外通道是 40 探元跨轨并扫观测模式, MERSI 红外辐射定标必须逐探元分开进行, 而且这种逐探元定标处理模式在发射前实验室真空定标就开始采用, 如果考虑探元响应差异, 地球目标定标公式表述为:

$$L_{EV}^i = a_0^i + b_1^i \cdot dn_{EV}^i + a_2^i \cdot (dn_{EV}^i)^2, \quad (8)$$

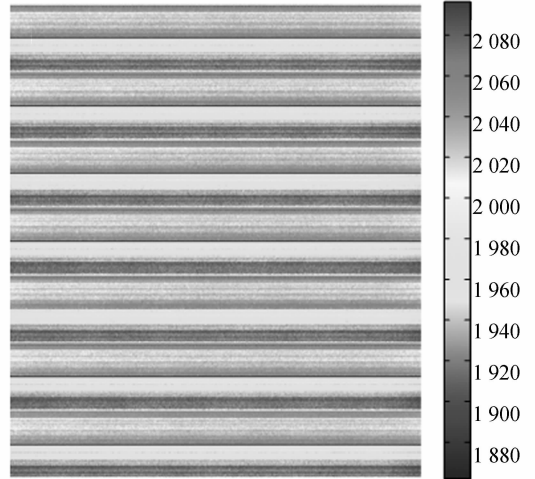
其中 i 表示的是探元序号 1~40。MERSI 除了多探元的响应差异外, 还由于消旋 K 镜转速是前端主扫描镜转速一半, 其在扫描镜前后两个连续扫描的工位上有微小的光程差异, 带来图像扫描前后两帧有条带现象, 类似于 MODIS 双面镜扫描, 因此 MERSI 相当于是 80 探元的探测效果。图 1(a)为实验室真空罐定标扫描黑体图像, 图中既显

示了扫描线之间的条纹, 也显示了连续两个 40 行之间的条带现象。因此逐探元定标如果考虑 K 镜两个工位差异(1 和 2), 公式(8)就表述为:

$$L_{EV}^{i,j} = a_0^{i,j} + b_1^{i,j} \cdot dn_{EV}^{i,j} + a_2^{i,j} \cdot (dn_{EV}^{i,j})^2, \quad (9)$$

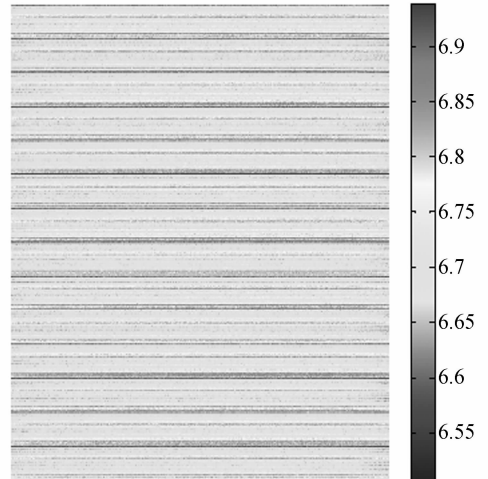
其中 j 表示的是 K 镜工位标识号 1 和 2。

按照上述定标方法进行逐探元及 K 镜双面辐射定标处理后, 图 1(b)显示了这种探元定标处理后的结果, 图像基本消除了探元辐射响应带来严重条纹。但是 MERSI 各探元还存在光谱响应差异, 图 2 显示了 MERSI 红外通道 40 探元的光谱响应曲线, 各探元中心有效波长最大会相差 $1 \mu\text{m}$, 这种探元之间较大的光谱差异造成每个探元探测光谱区域不同, 类似于每个探元探测的是一个单独通道, 这种多探元差异无法用逐探元定



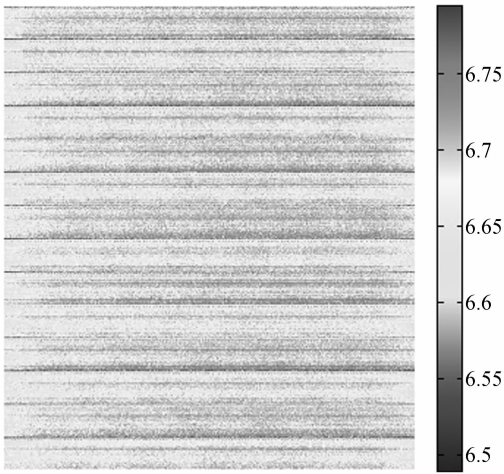
(a)原始图像

(a)Original image



(b)逐探元标定后的图像

(b)Calibrated image detector by detector



(c)探元光谱响应归一化后图象

(c) SRF-different normalized image

图 1 MERSI 实验室真空罐定标时扫描面源黑体 (6.85 °C) 图像及定标处理后图像

Fig. 1 MERSI images of blackbody calibration source scanning at thermal vacuum chamber prior to launching

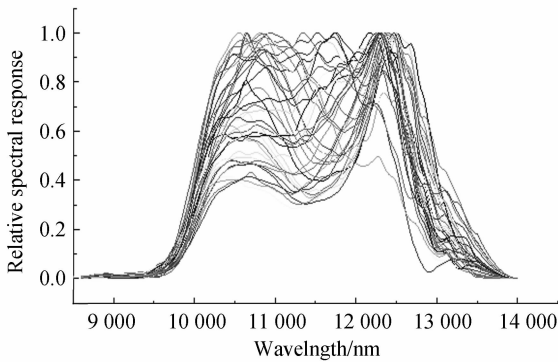


图 2 MERSI 热红外通道 40 探元光谱响应曲线

Fig. 2 Spectral response function of each detector in MERSI

标方法来消除,定标后探元之间的辐射条纹是天然存在的,它会随着地球探测目标的红外光谱差异带来随时变化,最终由目标依赖造成探元响应差异,这就给后端遥感产品反演带来较大困难,需要做进一步处理来消除这一条纹的存在。

如果单纯消除图像条纹有许多方法值得参考^[9-10],但是这些方法主要从图像分析和处理的角度来进行,不同的图像采用不同的消除条纹参数,不仅图像统计处理时计算量巨大,而且难以保证多幅图像辐射基准保持一致,对于存在目标依赖的图像条纹就更为复杂。为了消除 MERSI 探

元光谱响应差异带来的图像条纹,本文将基于 MERSI 每个探元光谱响应函数,预先建立一个探元光谱响应差异补偿算法,该算法以当前探元与基准探元辐亮度比值来进行,光谱差异补偿值随目标辐射为非线性关系,用公式表达为:

$$L_{\text{norm}}^i = C_0^i + C_1^i L_{\text{EV}}^i + C_2^i (L_{\text{EV}}^i)^2, \quad (10)$$

其中 L_{EV}^i 为探元 i 定标后的目标辐亮度, L_{norm}^i 为探元 i 相对于基准探元光谱差异补偿后的辐亮度, C_0^i, C_1^i, C_2^i 为探元 i 光谱差异归一化补偿系数。基准探元的选取遵照仪器研制方提供的建议,选取了靠近中间探元的第 4 元,即星上注数归一化处理图像的基准元。图 3 显示了 MERSI 各探元针对不同温度黑体光谱辐亮度卷积得到的通道辐亮度与基准探元(第 4 元)通道辐亮度的比值,这个比值随着黑体辐亮度呈非线性关系变化,而且不同探元与基准探元辐亮度的比值随着黑体辐亮度走向也不同。

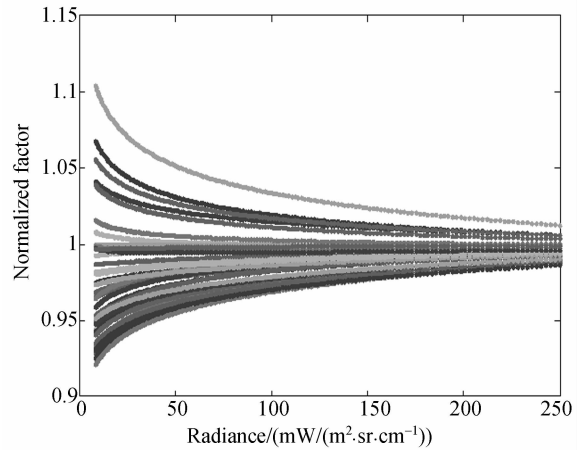
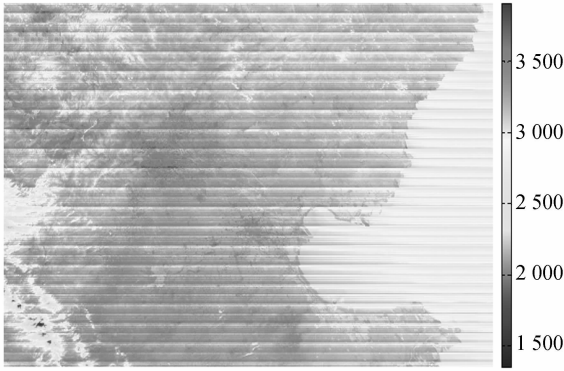


图 3 MERSI 40 个探元与基准探元 4 响应修正因子随黑体目标辐亮度变化

Fig. 3 Radiance factor of each detector to reference detector (ID 4) at different blackbody temperatures

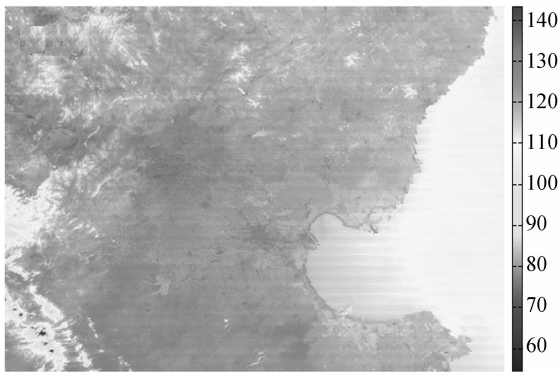
利用各探元辐射与基准探元这一比值关系,可以对 MERSI 逐探元定标后的辐射图像进行光谱差异归一补偿处理,该补偿处理只按 1~40 探元进行,上文提到的 K 镜两个工位差异不是探元光谱差异范畴。图 1(c)就是实验室真空定标黑体扫描图像定标后的光谱差异补偿结果,图中显示了图像条纹得到进一步消除。基于这一方法对 MERSI 实际入轨后的红外图像进行类似处理,即



(a) IR 原始观测图像
(a) Original image



(b) 逐探元定标后图像
(b) Calibrated image detector by detector



(c) 定标并进行光谱差异补偿后图像
(c) SRF-different normalized image

图 4 MERSI 红外通道对地观测图像

Fig. 4 Earth-viewing images of MERSI IR

利用星上黑体逐探元定标处理后就对原始对地观测的 DN 值转换成辐亮度,在此基础上利用上述的各探元基准探元的光谱差异补偿因子进行逐探元的光谱差异补偿处理,光谱差异补偿因子随着

实际的辐射值在变化。图 4(a),(b),(c) 分别显示了 MERSI 观测北京及周边地区的红外通道原始图像和逐探元定标后图像、光谱差异补偿后辐射图像,图中显示定标和光谱差异补偿处理图像后,条纹一步一步降低,但是由于星上黑体自身的非均匀性带来逐探元定标误差,光谱差异补偿采用理想的黑体辐射进行,所以不可能完全消除图像条纹,但是这一处理算法大大降低了图像原始条纹。

4 结果分析与精度检验

MERSI 多元探测的响应差异是客观存在的,逐探元定标处理结果能明显看出它们的差异,这一特点在实验室利用真空罐面源黑体定标和在轨星上黑体定标都能体现,图 5 显示了 MERSI 不同时间在轨星上黑体定标的结果,横坐标为探元,纵坐标表示它们定标系数(斜率),不同曲线表示不同时间的结果。图中显示红外通道边缘探元的定标斜率比中间探元大(斜率越大表示单位 DN 值对应的辐亮度值越大,辐射分辨率越小),即意味着边缘探元的响应比中间探元弱,尤其左侧探元表现明显。图中也显示入轨早期的中间探元与边缘探元响应比较相近(见图中 2008 年 7 月 19 日和 8 月 20 日),随着时间的推移,边缘探元的定标系数变大,边缘探元响应逐渐变弱,尤其右侧的边缘探元响应变化明显。2008 年 10 月 10 日 MERSI 的 40 个探元响应系数基本形成一个 U 行结构,中间探元定标系数小,两侧探元定标系数大,这说明 MERSI 红外通道的边缘探元有响应变暗趋势。图 5 同时显示了 2008 年 9 月 12 日和 10 月 10 日 MERSI 红外通道定标系数出现两次突跳现象,9 月 12 日出现所有探元的定标系数突然全部变小(其中 20080912-1 表示突变前的定标系数,20080912-2 表示突变后的定标系数),图像 DN 值整体变大,10 月 10 日 MERSI 重新开机后定标系数也出现一次突然变大(其中 20081010-1 表示重新开机前的定标系数,1010-2 表示重新开机后的定标系数)。这种定标系数突然跳动后来

查明是星上红外通道增益的突跳,可能是由于空间粒子事件触发仪器状态的变化,导致仪器红外通道增益异常变大。

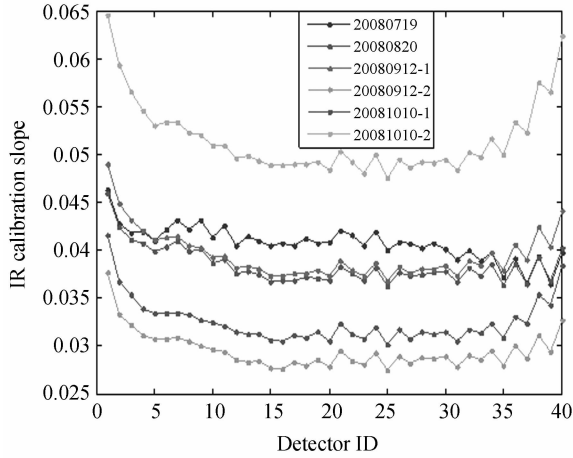


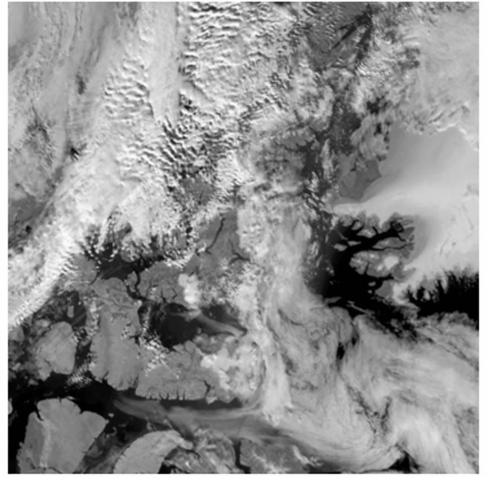
图5 2008年7~10月MERSI红外通道在轨逐探元定标系数(1次项斜率)

Fig. 5 Onboard calibration coefficient (slope) of each detector in MERSI in Jul. - Oct. 2008

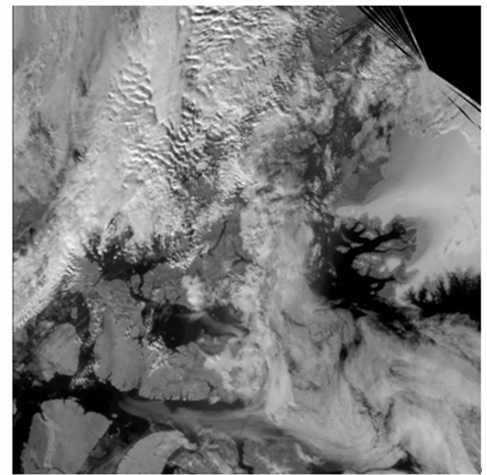
在业务定标处理分析中发现随着轨道地理纬度不同,MERSI红外通道定标系数也有周期性变化,这主要是由于轨道位置的不同太阳对卫星的照射角度差异造成的仪器环境温度在改变,从而影响MERSI红外通道定标系数的周期性变化,这种变化属正常现象,可以利用星上黑体实时观测进行定标处理。

为验证MERSI红外通道辐射定标精度,2008年8月2日在加拿大北部地区与Terra/MODIS在交叉点附近的红外观测亮温进行了比对,图6为MERSI与MODIS在交叉点附近的RGB图像,比对时MODIS选用第31通道亮温,两个遥感器过境时间相差5min左右。比对时选取相对均匀 3×3 像元矩阵的平均值进行相互比较,选取均匀目标的判据,采用 3×3 像元矩阵的方差,像元矩阵亮温方差 < 0.5 K视为均匀目标,满足该判据的 3×3 像元矩阵的亮温均值才参与比对。图7(a)为匹配点的亮温散点图,图7(b)为MERSI与MODIS红外亮温差值的频次统计图,结果显示MERSI红外通道亮温比MODIS偏高1 K。此外,还选取更多FY-3A/MERSI与MODIS同时过星下点目标进行了MERSI红外通道

定标结果的比对验证,都得出同样类似的结果。分析认为,导致MERSI红外通道亮温偏高的主要原因有两点:一是本文把星上黑体当成是理想黑体,定标处理时把它的发射率设为1;实际上星上定标黑体不是理想黑体,发射率 < 1 ,造成星上黑体辐射值计算偏大,由此定标出的目标辐射值比实际值要高;二是MERSI红外通道的光谱带宽是MODIS的两倍,利用辐射传输模拟也显示MERSI红外通道的亮温比MODIS稍高,因此这一亮温差异还包含两者的光谱响应差异因素。



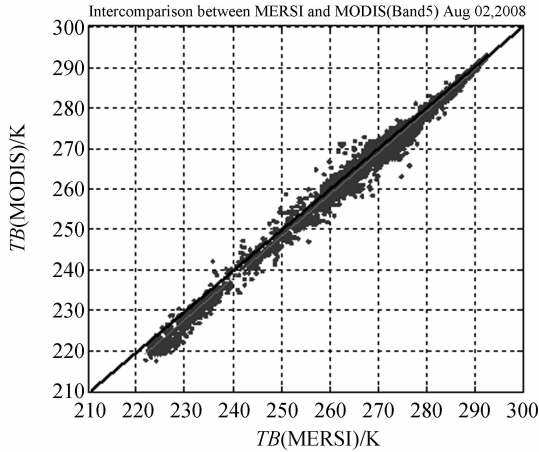
(a)FY3A_MERSI_20080802_1840



(b)MODIS. A2008215. 1845

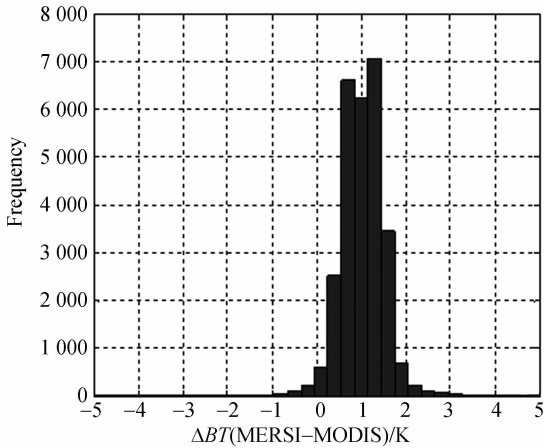
图6 2008年8月2日FY-3A/MERSI与Terra/MODIS在轨道交叉点附近的RGB图像

Fig. 6 SNO observation images of FY-3A/MERSI and Terra/MODIS on August 2, 2008



(a) 亮温比较

(a) Temperature comparison



(b) 两温差统计直方图

(b) Histogram of two BT difference

图 7 MERSI 红外通道与 MODIS 交叉比对 (20080802)

Fig. 7 Inter-comparison of Brightness Temperatures (BTs) in MERSI and MODIS

5 结 论

本文介绍了我国新一代极轨气象卫星 FY-3A 中分辨率光谱成像仪红外通道的辐射定标算法,由于这种较高空间分辨率光学成像仪采取跨轨 40 探元并扫技术,多元红外探测器的辐射定标问题比传统的单元探测器复杂。它不仅需要基于探元级辐射定标,消除不同探测器存在的辐射响应差异;同时由于探元之间的光谱响应函数也存在明显差异,造成了各探元探测到的目标辐亮度在不同光谱波段,导致逐探元定标后图像辐射条纹依旧明显,给后端遥感产品反演带来较大困难,还需要对逐探元定标后的数据做进一步光谱归一化处理。本文提出了一种基于探元光谱响应的光谱差异归一化补偿处理方法,利用各探元与基准探元相对于不同温度黑体光谱辐亮度的比值关系进行修正,大大降低了图像的条纹现象,实现了多探元观测目标光谱的归一化。由于本光谱差异补偿算法采用理想的黑体光谱辐亮度进行,和实际地球目标光谱辐亮度有差别,因此尚未完全消除图像条纹。

利用同时星下点观测的 MODIS 数据检验 MERSI 红外通道定标结果显示, MERSI 红外通道定标后的亮温值比 MODIS 高 1 K 左右,这主要由于 MERSI 比 MODIS 光谱带宽大一倍;另外定标时把星上黑体当成是理想黑体也导致亮温值微弱的偏高。多时次业务定标处理分析发现: FY-3A/MERSI 随着轨道地理纬度不同,红外通道定标系数有周期性变化,并且在轨运行一段时间后红外通道边缘探元辐射响应有一定程度的衰减现象,这些辐射响应在轨变化规律为仪器性能跟踪提供了非常重要的信息。

参考文献:

- [1] 杨军,董超华,卢乃锰,等. 中国新一代极轨气象卫星—风云三号[J]. 气象学报,2009,67(4),501-509. YANG J, DONG CH H, LU N M, et al.. FY-3A: The new generation polar-orbiting meteorological satellite of china[J]. *Acta Meteorological Sinica*, 2009,67(4):501-509. (in Chinese)

- [2] 丁雷. FY-3 卫星中分辨率光谱成像仪正样设计报告[R]. 上海:中国科学院上海技术物理研究所, 2005. DING L. *Flight Model Design of FY-3A MEdium Resolution Spectral Imager (MERSI)* [R]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics of Chinese Academy of Sciences, 2005. (in Chinese)
- [3] 丁雷. FY-3 卫星中分辨率光谱成像仪正样(Z01-2)

研制总结报告[R].上海:中国科学院上海技术物理研究所,2007.

DING L. *Flight Model (Z01-2) Development Review of FY-3A MEdium Resolution Spectral Imager (MERSI)* [R]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics of Chinese Academy of Sciences, 2007. (in Chinese)

- [4] GUENTHER B W, KNIGHT B S. MODIS calibration: A brief review of the strategy for the at-Launch calibration approach [J]. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 1996, 13, 274-285.
- [5] XIONG J, TOLLER G, CHIANG V, *et al.*. MODIS level 1B Algorithm Theoretical Basis Document, MODIS Characterization Support Team [M]. 2005.
- [6] GUENTHER B, GODDEN G D, XIONG X, *et al.*. Pre-launch algorithm and data format for the Level 1 calibration products for the EOS AM-1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1998, 36, 1142-1151.
- [7] XIONG X K, CHIANG B, GUENTHER, *et al.*.

MODIS thermal emissive bands calibration algorithm and on-orbit performance[J]. *SPIE*, 2002a, 4891, 392-401.

- [8] XIONG X K, CHIANG, GUENTHER B, *et al.*. MODIS thermal emissive bands calibration algorithm and on-orbit performance[J]. *SPIE*, 2002b, 4891, 392-401.
- [9] 朱小祥, 范天锡, 黄签. 《神舟三号》成像光谱仪图像条纹消除的一种有效方法[J]. *红外与毫米波学报*, 2004, 23(6): 451-454.
- ZHU X X, FAN T X, HUANG Q. Method to destripe imaging spectroradiometer data Of SZ-3 [J]. *J. Infrared Millim. Waves.*, 2004, 23(6): 451-454.
- [10] 杨忠东, 张文建, 李俊, 等. 应用小波收缩方法剔除热红外波段数据条带噪声[J]. *遥感学报*, 2004, 8(1): 23-30.
- YANG ZH D, ZHANG W J, LI J, *et al.*. Destriping for MODIS infrared band data via wavelet shrinkage[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(1): 23-30. (In Chinese)

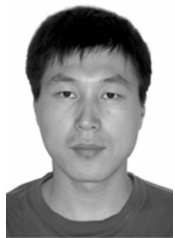
作者简介:



胡秀清(1973—),男,湖北蕲春人,副研究员,1996于南京大学获得学士学位,2004年于北京师范大学获得硕士学位,主要从事卫星遥感应用、遥感器辐射定标和卫星数据产品的质量控制与检验等方面的研究。Email: huxq@cma.gov.cn



郑照军(1976—),男,吉林白山人,副研究员,2000年于南京大学获得学士学位,2008年于北京大学获得硕士学位,主要从事冰雪遥感与环境监测、冰冻圈气候变化分析的研究。E-mail: zhengzj@cma.gov.cn



张里阳(1972—),男,吉林通化人,高级工程师,1994年、2002年于南京气象学院分别获得学士、硕士学位,主要从事卫星遥感数据处理、地表环境遥感的研。E-mail: zhangly@cma.gov.cn



张勇(1977—),男,陕西镇巴人,博士,2000年、2003年于西北大学分别获得学士和硕士学位,2006年于中国科学院遥感应用研究所获得博士学位,主要从事定量遥感、遥感传感器辐射定标和热红外遥感的理论和应用研究。E-mail: zhangyong@cma.gov.cn



孙 凌(1977—),女,山东青岛人,副研究员,1999年、2002年于青岛海洋大学分别获得学士、硕士学位,2005年于中科院海洋研究所获得博士学位,主要从事海洋水色、定标和气溶胶遥感的研究。E-mail: sunling@cma.gov.cn



黄小仙(1967—),女,浙江人,博士,主要从事光学遥感仪器辐射标定、图像数据处理等方面的研究。E-mail: huan-gxiaoxian@msn.com



丁 雷(1968—),上海人,研究员,博士生导师,2004年享受国务院政府特殊津贴,2008年入选上海市领军人才计划,主要从事航天光学遥感仪器的研制以及光学遥感成像技术、高精度辐射定标技术的研究。E-mail: leiding@mail.sitp.ac.cn

●下期预告

主次镜系统的计算机辅助装调技术

孙敬伟^{1,2},陈 涛¹,王建立¹,杨 飞¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

为了实现对大口径望远镜系统的装调,使其具有更高的光学成像质量,对有关装调像差和计算机辅助装调技术进行了研究。首先,针对RC式望远镜系统,分析了装调过程中由于次镜偏心和倾斜导致系统模型的误差扰动。接着,针对实际调整过程中选择零彗差点和曲率中心作为旋转中心进行调整的特点,重点分析了这两个旋转点的选择对系统像差和指向精度的影响。然后,参考上述分析并结合计算机辅助装调原理研究了关于恒定彗差、线性像散与模型相关的灵敏度矩阵的特殊形式,将波像差理论结合光学软件Code V模型仿真来实现装调技术。最后结合工程应用,针对1 m级的望远镜系统进行安装调整。实验结果表明,装调后系统的RMS达到了 0.1445λ ,大大优于装调前的 1.214λ 。实验结果证实该方法具有较好的精度、抗干扰能力和实际应用价值。