

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2016.06.002

# 基于光谱与几何匹配的 GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标

张玉环<sup>1</sup>, 毛慧琴<sup>1\*</sup>, 王中挺<sup>1</sup>, 郭伟<sup>2</sup>, 厉青<sup>1</sup>, 李正强<sup>2</sup>, 陈兴峰<sup>2</sup>, 陈辉<sup>1</sup>

(1 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094;

2 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

**摘要:** 海洋卫星 COMs-1(Communication, Ocean & Meteorological Satellite-1) 上携带的 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) 传感器以海洋监测为主, 也具备较好的陆地监测潜力, 但传感器陆地辐射特性存在偏差。为改善 GOCI 陆地辐射特性, 基于 MODIS 数据, 对 GOCI 可见光和近红外波段开展交叉辐射定标, 弥补场地定标成本较高、定标参数更新周期长的不足, 拓展其陆地定量遥感监测能力。交叉辐射定标中, 考虑了 GOCI 和 MODIS 传感器相应波段光谱响应函数之间的匹配; 通过辐射传输模拟, 订正两传感器观测角度对辐射定标的影响; 通过选取两传感器同一过境时刻的数据, 降低太阳角度对辐射定标的影响, 提高交叉定标精度。通过 MODIS 数据模拟的 GOCI 相应波段的表现辐亮度与 GOCI 实测结果比对,  $R^2$  大于 0.88。对定标结果进行初步验证, 表明交叉辐射定标后, GOCI 陆地上的辐射特性满足基本的定量遥感需求。

**关键词:** 交叉辐射定标; GOCI; MODIS; 光谱; 几何

中图分类号: TP731

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2016)06-0412-011

## Cross Calibration Between GOCI and MODIS Based on Spectrum and Geometry Matching

ZHANG Yuhuan<sup>1</sup>, MAO Huiqin<sup>1\*</sup>, WANG Zhongting<sup>1</sup>, GUO Wei<sup>2</sup>, LI Qing<sup>1</sup>,  
LI Zhengqiang<sup>2</sup>, CHEN Xingfeng<sup>2</sup>, CHEN Hui<sup>1</sup>

(1 Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China;

2 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The Korea Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) onboard COMs-1 (Communication, Ocean & Meteorological Satellite-1) is mainly designed for ocean observation, and it has a good potential for land monitoring. Cross calibration between GOCI and the US Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS)

收稿日期: 2016-06-28; 修改日期: 2016-10-11

基金项目: Supported by National High Technology Research and Development Program of China (国家 863 计划, 2014AA06A508), Remote Sensing Technology Research of Environment Foundation (环境遥感技术研究基金, WHJJ2016-004)

\* 通信联系人. E-mail: huiqin.mao@hotmail.com

can improve the land radiation characteristics of GOCI, which can expand its ability in land observation. In cross calibration, the effects from spectral response of two sensors are considered and the impacts of the differences between GOCI and MODIS viewing angles in calibration are revised by radiative transfer simulation. Meanwhile, satellite data in the same transit time of two sensors are chosen in order to reduce the effects from different sun zenith angles. Cross calibration results show that the simulated top of atmosphere (TOA) radiance from MODIS agrees well with GOCI measured TOA radiance, and the value of  $R^2$  is greater than 0.88. Preliminary validation of calibration results shows that the cross calibration method can meet the accuracy requirements of general quantitative remote sensing applications.

**Key words:** cross-calibration; Geostationary Ocean Color Imager; MODIS; spectrum; geometry

## 1 引 言

COMs-1 是韩国首颗地球静止卫星, 于 2010 年 6 月 26 日发射成功, 卫星上搭载的 GOCI 传感器是世界首个搭载于静止卫星上的海洋水色成像仪<sup>[1]</sup>。GOCI 以 8 个波段 (2 个近红外波段和 6 个可见光波段, 如表 1 所示) 成像, 空间分辨率为 500 m, 从当地时间 09:00~16:00(GMT + 9) 每隔 1 h 成像一次 (一天 8 次)<sup>[2]</sup>。虽为海洋传感器, GOCI 也给在其观测范围内的广大陆地区域 (中国的华北地区、朝鲜、韩国, 日本等) 提供了丰富的观测数据, 加上一天 8 次的观测频率, 使得它陆地区域的观测有很大的应用潜力。

卫星遥感数据的应用效果很大程度上取决于

传感器辐射定标精度, 随着卫星的发射运行, 卫星的传感器特性会发生一系列的变化, 元器件不可避免地发生老化, 仪器的灵敏度会随之下降等。多因素导致传感器的辐射性能发生变化, 为保证遥感数据的应用效果, 需要经常对卫星传感器进行辐射定标。

场地定标方法虽然精度较高, 但是需要大量的同步测量数据, 并且对定标场地有着严格的要求, 不利于高频率地进行。我国对于 HJ1 卫星<sup>[3]</sup>和 CBERS02<sup>[4]</sup>的场地定标工作一般每年进行一次; 而 SPOT<sup>[5]</sup>和 Landsat<sup>[6]</sup>一般每年进行 2 次定标。这种定标频率难以及时反映卫星传感器辐射特性的变化。而交叉辐射定标方法, 可利用定标

表 1 GOCI 传感器光谱设置

Table 1 Spectral requirements of GOCI

Channel	Band center	Band width	Primary use
Band1	412 nm	20 nm	Yellow substance and turbidity
Band2	443 nm	20 nm	Chlorophyll absorption maximum
Band3	490 nm	20 nm	Chlorophyll and other pigments
Band4	555 nm	20 nm	Turbidity, suspended sediment
Band5	660 nm	20 nm	Baseline of fluorescence signal, Chlorophyll, suspended sediment
Band6	680 nm	10 nm	Atmospheric correction and fluorescence signal
Band7	745 nm	20 nm	Atmospheric correction and baseline of fluorescence signal
Band8	865 nm	40 nm	Aerosol optical thickness, vegetation, water vapor reference over the ocean

精度高的传感器作为参考,对待定标传感器进行辐射定标,它不需要昂贵的野外实验,也不需要精确的大气参数测量,是具有广泛发展前景的定标方法之一。

早在 1984 年 Landsat5 发射后, Metzler 和 Malila 基于一个图像对的场景对 Landsat4 和 Landsat5 进行交叉辐射定标<sup>[7]</sup>; Price<sup>[8]</sup> 同样对 Landsat4 和 Landsat5 进行过交叉辐射定标研究。Barker 对后续的 Landsat7 和 Landsat5 进行交叉辐射定标研究<sup>[9]</sup>;另外,国内外学者对 SPOT<sup>[10-11]</sup>、NOAA<sup>[12-13]</sup> 以及 CBERS<sup>[14]</sup>、HJ1<sup>[15-16]</sup> 等卫星都进行过交叉辐射定标研究。

交叉辐射定标的精度依赖于参考传感器的精度,MODIS 传感器带有星上定标系统,由于其公认的高定标精度和较高的时间分辨率特点,经常被用来作为参考传感器对其它卫星传感器进行交叉辐射定标研究。ETM+<sup>[17]</sup>、HJ1-CCD<sup>[15]</sup> 以及 CBERS-CCD<sup>[14]</sup> 都曾以 MODIS 传感器为参考进行交叉辐射定标。交叉辐射定标成功的关键在于两传感器光谱和观测几何的匹配,以往的交叉辐射定标采取 BRDF 模型来拟合两传感器之间的观测几何差异,但不同地物的 BRDF 特性差异以及 BRDF 的复杂性,使得交叉辐射定标的应用受到限制。

GOCI 自发射后,已有很多学者对其陆地辐射特性进行过研究。Lee 等<sup>[18]</sup> 的研究证明 GOCI 传感器虽作为海洋水色仪,但能很好地区分陆上地物,在陆地监测中具有很大应用前景; Uudus 等<sup>[19]</sup> 利用 GOCI 数据获取高时间分辨率的陆地 NDVI 数据,表明此传感器可用于监测陆地区域 NDVI 一天内的变化。

Park 和 Won<sup>[20]</sup> 对比陆地区域 MODIS 和 GOCI 的表观辐亮度,通过两传感器长时间序列相同过境时刻的数据对比可以看出, GOCI 陆地表观辐亮度数据存在一定偏差。利用 MODIS 传感器对 GOCI 可见光和近红外波段进行交叉辐射定标,得到 GOCI 的定标系数。但是在交叉辐射定标过程中未考虑到两传感器观测角度差异对交叉

辐射定标结果的影响,而观测几何匹配程度直接影响到定标结果的精度。

本文选用 MODIS 作为参考传感器,利用不同地物模拟不同情况下传感器之间的光谱匹配因子,降低两传感器光谱响应差异对交叉辐射定标的影响;通过选取两传感器同一过境时刻的数据降低太阳角度对交叉辐射定标结果的影响;同时,根据辐射传输模拟确定观测几何与表观反射率之间的关系,建立查找表参考确定不同观测几何下的表观反射率关系,降低两传感器观测角度差异对交叉辐射定标的影响。在长时间卫星观测数据的基础上,获取 GOCI 传感器各波段的交叉辐射定标系数,改善 GOCI 陆地辐射特性。

## 2 MODIS 与 GOCI 交叉辐射定标

交叉辐射定标通过对不同传感器获取的同角度、同时间以及同地点的图像进行对比实现。在待定标图像和参考图像寻找满足条件的区域,当这两个遥感器观测这块区域时,它们的入瞳辐亮度相同,将参考传感器的入瞳辐亮度和待定标传感器测量值进行对比,获取定标系数。GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标流程图如图 1 所示。GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标时,首先进行两传感器的光谱匹配,其次进行 MODIS 与 GOCI 观测几何的匹配,将 MODIS 入瞳辐亮度转换成 GOCI 入瞳辐亮度,与 GOCI 实测值进行对比,得到交叉辐射定标系数。

### 2.1 MODIS 与 GOCI 数据比较与分析

选取 2013 年 4 月 1 日~30 日 GOCI(每天 3 景,过境时间分别为 02:16, 03:16 和 04:16(GMT 时间)) 和 Terra MODIS 晴朗无云的数据,并在 GOCI 范围内选择 3 种不同地物类型作为代表: (1) 低反射率地物目标—安徽省浓密植被,具体位置为 (116.234°E, 33.404°N); (2) 中等反射率地物目标—内蒙古沙地,具体位置为 (120.515°E, 43.134°N); (3) 高反射率地物目标—长白山天池,积雪覆盖,具体位置为 (128.010°E, 42.028°N)。各种地类详细

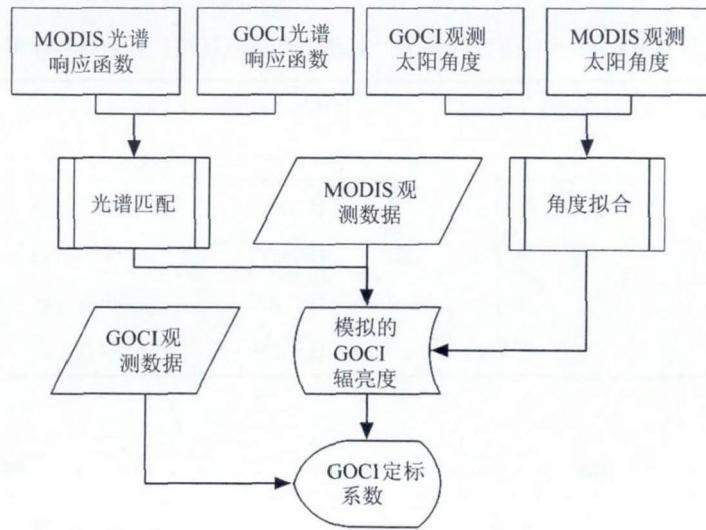


图 1 GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标流程图

Fig.1 Flowchart of cross calibration between GOCI and MODIS

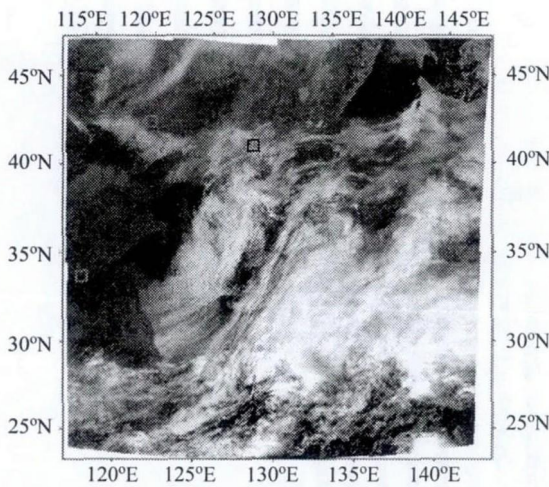


图 2 2013 年 4 月 2 日 02:16(GMT) 的 GOCI 全覆盖影像, 三个框图内是选定的定标区域

Fig.2 The GOCI image acquired on April 2, 2013, 02:16(GMT). Threeboxes indicate calibration sites

状况如图 2 所示, 图中三个框图位置分别代表 (1)、(2)、(3)3 个区域。以 MODIS 传感器作为参考传感器, 对比同一时刻两传感器获取的表观辐亮度数据。选择 MODIS 传感器的第 1~第 4 波段分别对应 GOCI 的第 5、8、3 和 4 波段, 两传感器对应波段参数列于表 2, 各波段的光谱响应函数如图 3 所示。GOCI 传感器各波段的空间

分辨率为 500 m; MODIS 对应波段, 第 1 和第 2 波段的空间分辨率为 250 m, 第 3 和第 4 波段的空间分辨率为 500 m(与 GOCI 一致)。

MODIS 数据选取 MOD02 表观辐亮度产品, 进行投影转换后使其与 GOCI 投影方式一致。然后在图像上选中的 3 种地物类型中分别选定一块均匀的方形区域, 将方形区域内像元均值作为 MODIS 对应的表观辐亮度值。然后在相应的 GOCI 图像上找到对应于该坐标的方形区域, 将其像元均值作为 GOCI 图像对应的表观辐亮度值。为减少太阳角度对表观辐亮度的影响, 选择 MODIS 和 GOCI

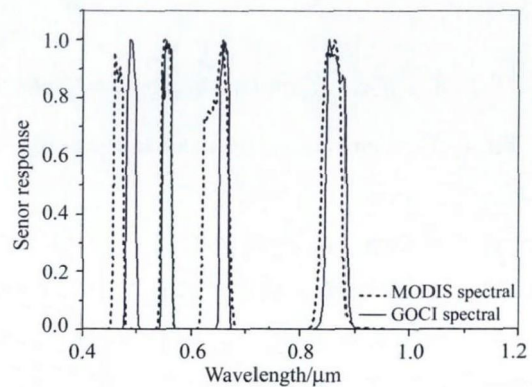


图 3 MODIS 和 GOCI 传感器的光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response curves of MODIS and GOCI

表 2 MODIS 和 GOCI 交叉辐射定标对应波段

Table 2 Corresponding bands of MODIS and GOCI in cross-calibration

MODIS bands	Center wavelength	Spatial resolution	GOCI bands	Center wavelength	Spatial resolution
Band3	465 nm	500 m	Band3	490 nm	500 m
Band4	553 nm	500 m	Band4	555 nm	500 m
Band1	645 nm	250 m	Band5	666 nm	500 m
Band2	856 nm	250 m	Band8	865 nm	500 m

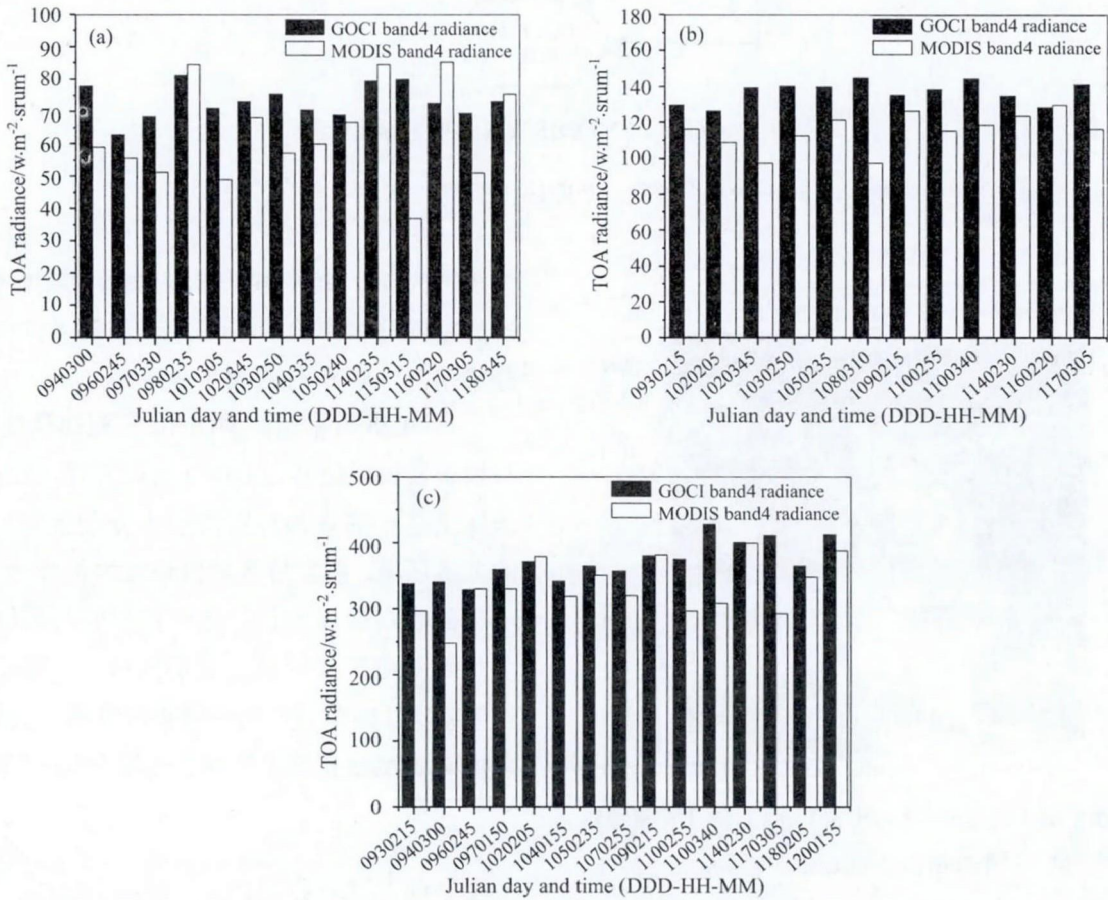


图 4 GOCI 与 MODIS 第 4 波段在三个选定区域的表观辐亮度对比, (a) 植被, (b) 沙地, (c) 积雪

Fig.4 Comparisons of TOA radiance between GOCI and MODIS in band4, (a) vegetation, (b) sand, (c) snow

过境时间相差 30 min 之内的数据, 在小于 30 min 的时间段内, 气溶胶光学厚度变化不大, 可忽略这 30 min 内气溶胶的变化, 统计两传感器在三种不同地物类型区域的表观辐亮度关系. 图 4 为 GOCI 与 MODIS 在第 4 波段处, (1)、(2)、(3) 三个选定

区域的表观辐亮度对比, 图像中横坐标的时间均为 GMT 时间, 图中横坐标 DDD 代表一年中的第几天, HH 代表小时, MM 代表分钟, 以 0930215 为例, 代表第 93 天, 02:15 分影像数据. 由图 4 可以看出, 两传感器表观辐亮度随时间变化趋势一



表 3 GOCI 与 MODIS 对应波段表现辐亮度相关关系

Table 3 Correlation between GOCI and MODIS radiance

Band	GOCI band3/ MODIS band3	GOCI band4/ MODIS band4	GOCI band5/ MODIS band1	GOCI band8/ MODIS band2
<i>R</i> -square	0.9601	0.9539	0.9562	0.8953
GOCI intercept	-1.5255	-5.1927	0.1214	-3.3665
GOCI slope	0.9489	0.9126	0.8975	0.9365

致, 在其它 3 个波段也有类似趋势。统计两传感器对应 4 个波段表现辐亮度的相关性列于表 3。

由表 3 可以看出, 总体来说, GOCI 的表现辐亮度要高于 MODIS 的表现辐亮度。但在不同地表类型情况下, GOCI 传感器在蓝 (band3)、绿 (band4)、红 (band5) 和近红外 (band8) 4 个波段获取的表现辐亮度跟 MODIS 对应波段 (band1~4) 有很好的—致性, 4 个波段的相关系数均达到 0.9, 说明 GOCI 传感器在陆地上也有很好的探测能力, 同时表明利用 MODIS 作为参考传感器对 GOCI 进行交叉定标具有可行性。

## 2.2 GOCI 与 MODIS 交叉辐射定标方法

### 2.2.1 GOCI 与 MODIS 光谱匹配

光谱匹配因子主要包括两个传感器对地物、大气的响应差异匹配。GOCI 与 MODIS 对应通道的光谱匹配因子利用地面测量数据, 通过 6S 辐射传输模型模拟计算得到。模拟时用到 ENVI 光谱库中的植被、沙漠、积雪的光谱, 用 6S 分别模拟两传感器在选定的 3 种地物、不同气溶胶光学

厚度 (aerosol optical depth, AOD) 情况下观测到的表现辐亮度差异。

在 GOCI 和 MODIS 对应波段进行光谱匹配时, 模拟在相同太阳角度 (30°, 150°) 和观测角度 (垂直观测: 0°, 0°, 非垂直观测: 30°, 150°), 不同 AOD 情况下 (550 nm 处 AOD: 0~5), 两传感器表现辐亮度的差异。图 5 表示 6S 模拟的两传感器对应波段的表现辐亮度关系, 图 5(a) 代表 GOCI 第 3 和第 4 波段, 对应于 MODIS 的第 3 和第 4 波段; 图 5(b) 代表 GOCI 第 5 和第 8 波段, 对应于 MODIS 第 1 和第 2 波段。此模拟结果可用于把 MODIS 表现辐亮度转换成模拟的 GOCI 表现辐亮度。

### 2.2.2 GOCI 与 MODIS 观测几何匹配

GOCI 是静止轨道卫星传感器, 在同一地点, 卫星传感器观测天顶角和方位角不随时间变化, 只有太阳天顶角和方位角随时间变化。而 MODIS 作为极轨卫星传感器, 卫星影像同一地点的观测角度和太阳角度随时间均会有相应的变化。因此,

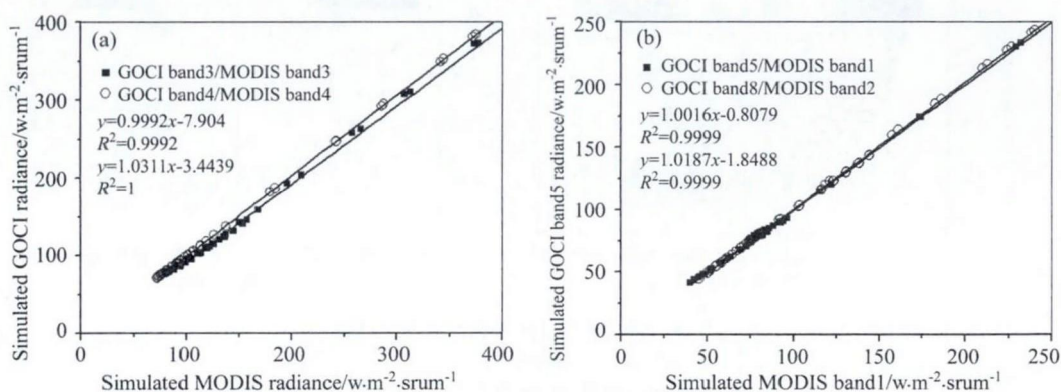


图 5 模拟 MODIS 与 GOCI 传感器表现辐亮度关系

Fig.5 Relationships of simulated TOA radiance between MODIS and GOCI

在对两传感器进行交叉辐射定标研究时，两传感器不同观测 - 太阳几何对定标结果的影响必须要考虑到。两传感器太阳角度对定标结果的影响可以通过取卫星同一过境时间的图像进行匹配来降低。两传感器观测角度不同对定标结果的影响可通过模拟得出。

在不同观测 - 太阳几何下，针对 GOCI 的第 3、第 4、第 5 和第 8 波段，对表观反射率与观测天顶角和散射角的关系进行模拟，如图 6 所示。由模拟结果可以看出，在模拟的 GOCI 的 4 个波段中，表观反射率随散射角的分布变化趋势均不随 AOD 的变化而变化，只跟角度有关，当太阳角度固定时，此趋势仅与卫星观测角度有关。即在不同 AOD 情况下，表观反射率随角度的变化趋势是一致的。因此，可以考虑用一定 AOD 下(比如  $AOD=0.4$ ) 两种观测几何下的表观反射率比值来代替所有 AOD 情况下两者的比值，用此比值关

系，可以把一定观测几何下的表观辐亮度转换到其它角度下，来降低交叉辐射定标中两传感器观测角度的差异对定标结果的影响。

GOCI 和 MODIS 定标时，采用  $AOD=0.4(550\text{ nm})$  时的不同观测角度下的 TOA 辐亮度比值为标准，来代替任意 AOD 值下不同观测角度之间的表观辐亮度比值。用此方法拟合降低由于 GOCI 和 MODIS 观测角度差异引起的定标误差。随机选取两个角度下的表观辐亮度(散射角:  $145.91^\circ$ , 太阳天顶角:  $30^\circ$ , 观测天顶角:  $48^\circ$ , 相对方位角  $48^\circ$ ; 散射角:  $97.11^\circ$ , 太阳天顶角:  $30^\circ$ , 观测天顶角:  $66^\circ$ , 相对方位角  $120^\circ$ ), 对此比值方法带来的表观辐亮度误差进行评估。结果表明，用  $AOD=0.4(550\text{ nm})$  时两种观测角度下的 GOCI 表观辐亮度比值代替所有 AOD 情况下的比值，相对误差小于 5%，在交叉辐射定标中是可以接受的。

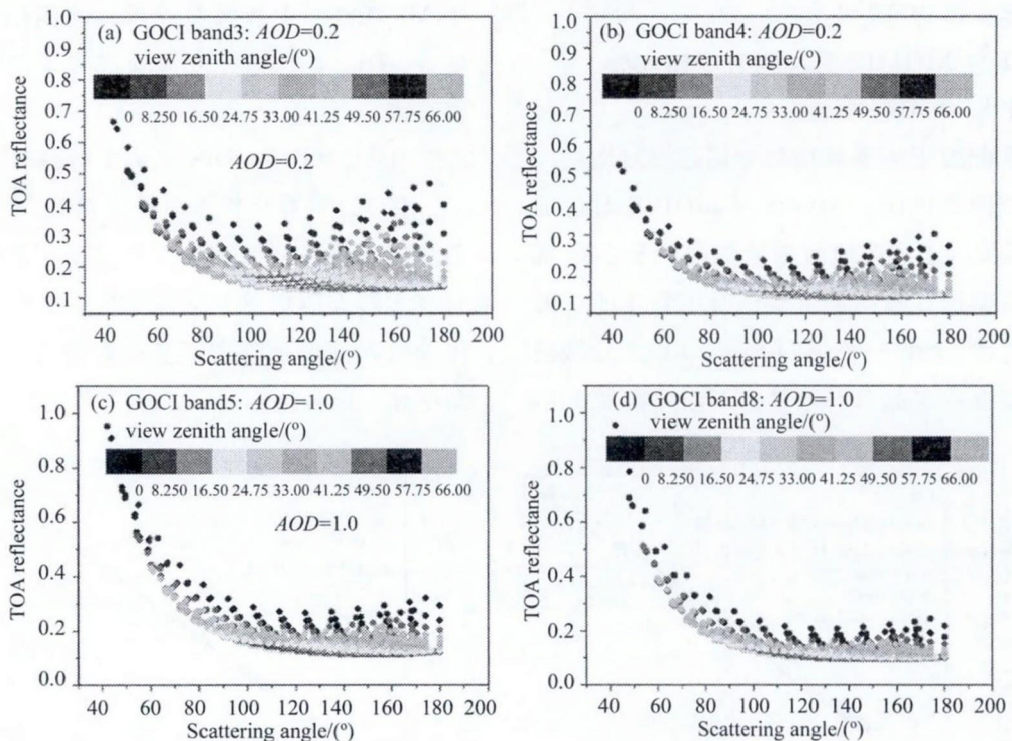


图 6 不同观测几何对 TOA 反射率的影响

Fig.6 Effects of different view geometry to TOA reflectance

### 3 定标结果及初步验证

#### 3.1 定标结果

MODIS 表观辐亮度数据完成与 GOCI 的光谱匹配和角度匹配后, 即可视为 GOCI 表观辐亮度模拟数据。将此模拟数据与 GOCI 观测到的表观辐亮度数据进行对比, 如图 7 所示。两者的相关系数在角度和光谱匹配前后相差不大, 但是拟合线性公式的斜率在角度和光谱匹配后, 有很大的提升, 比匹配前更接近于 1(第 3 波段除外)。

以 MODIS 数据为标准, 利用 MODIS 对应波段的表观辐亮度数据模拟出 GOCI 的表观辐亮度, 然后与 GOCI 产品进行对比, 即可获取定标系数的增益和偏置项。图 7 中的模拟辐亮度与 GOCI 实测值的关系式对应为定标结果中的增益和偏置项 (GOCI band3, offset: 1.1207, bias:  $-17.5513$ ; GOCI band4, offset: 1.0726, bias:  $-13.4611$ ; GOCI band5, offset: 0.9948, bias:  $-3.3491$ ; GOCI band8,

offset: 1.0364, bias:  $-10.5083$ )。

#### 3.2 初步验证

GOCI 为海洋传感器, 以海洋为主要观测目标, 陆地观测区域有限, 且集中在东亚地区, 空间分辨率较低 (500 m), 给选择大范围的均匀场地进行实地测量、验证交叉定标精度带来一定困难。基于此原因, 选择两种方法进行间接交叉辐射定标结果验证。一是用其他定标系数来验证本研究定标系数, 采取 Park 于 2012 年用 MODIS 对 GOCI 交叉辐射定标结果进行对比; 二是通过卫星产品验证交叉辐射定标结果精度, 将交叉辐射定标结果应用到气溶胶反演中, 基于可信的卫星气溶胶光学厚度反演方法, 用定标后的 GOCI 数据反演陆地区域气溶胶光学厚度产品, 通过此产品精度来说明交叉辐射定标结果的精度。

##### 3.2.1 与其它定标系数的对比验证

Park 等利用 2011 年 3 月 1 日 ~6 月 30 日的的数据对 GOCI 和 MODIS 进行交叉辐射定标研究,

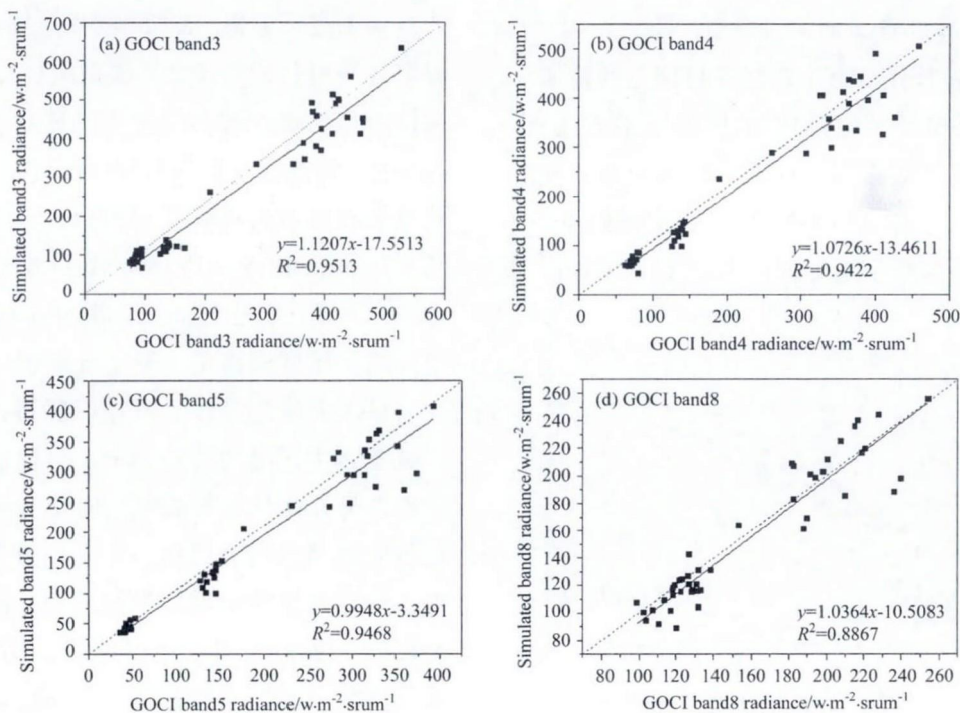


图 7 用 MODIS 模拟的 GOCI 和 GOCI 实测的表观辐亮度关系

Fig.7 Comparisons between simulated GOCI and GOCI measured TOA radiance



表 4 与 Park 定标系数对比

Table 4 Comparisons of calibration results with Park

Band	GOCI band3	GOCI band4	GOCI band5	GOCI band8
Offset1	1.1207	1.0726	0.9948	1.0364
Bias1	-17.5513	-13.4611	-3.3491	-10.5083
Offset2	0.9414	1.1085	0.8746	0.9595
Bias2	-25.085	-24.170	-8.5	-1.2
Error in Offset	0.15	0.03	0.12	0.07

得出 GOCI band3、band4、band5 和 band8 的定标系数<sup>[19]</sup>, 如表 4 所示。表 4 中 Offset1 和 Bias1 为定标结果的增益和偏置项, Offset2 和 Bias2 为 Park 定标结果中的增益和偏置项。本研究定标结果与 Park 定标结果相比, 增益项趋势一致, 4 个波段增益项的平均误差为 9%, 虽然两定标结果的偏置项有较大的差异, 但是考虑到选用的数据时间段不同, 以及定标方法不同, Park 定标时未考虑到两传感器的观测角度对定标结果的影响, 此定标结果是可信的。

### 3.2.2 陆地气溶胶产品的间接验证

用定标结果对 GOCI 数据进行辐亮度转换, 选择基于先验知识的时间序列 AOD 反演方法<sup>[21]</sup> 反演北京地区 2014 年 4 月 1 日~6 月 30 日的气溶胶光学厚度, 并与 AERONET 地基实测站点(中国科学院遥感与数字地球研究所, (116.379°E,

40.005°N)) 进行对比(图 8)<sup>[22]</sup>。反演结果为 550 nm 处的气溶胶光学厚度, 将 AERONET 测量值利用 Ångström 指数公式也转换到 550 nm 处<sup>[23]</sup>。由图 8 可以看出, GOCI 经过定标后的 AOD 反演结果与 CE318 实测结果有很好的 consistency。此结论可以间接证明定标系数的可靠性, 说明此定标系数精度满足一般定量遥感的需求。

## 4 结论与讨论

在比较 GOCI 与 MODIS 各通道表观辐亮度的基础上进行分析, 表明 MODIS 与 GOCI 交叉辐射定标是可行的。在交叉辐射定标过程中, 用 6S 模拟两传感器光谱和观测几何对卫星表观辐亮度的影响, 并进行光谱和几何匹配订正, 针对 GOCI 陆地区域的观测获取蓝(490 nm)、绿(555 nm)、红(666 nm)和近红外(865 nm)4 个波段的交叉辐射定标系数。并对定标结果进行初步验证, 表明此定标结果精度能满足一般定量遥感应用的需求。

GOCI 虽然设计为海洋传感器, 但是其观测区域包含大区域的陆地部分, 可提供大量的陆地数据, 另外此传感器兼顾高时空分辨率的特点, 也为陆地遥感研究提供一个新的方向。虽然由于海洋和陆地地物辐射特性的差异, 使其在陆地上的辐射亮度偏高, 但是整体来说, GOCI 传感器具备监测陆地辐射特性的能力。经过合适的交叉辐射定标订正后, 可用于陆地上的定量遥感研究。

交叉辐射定标虽然能保证定标结果有一定的精度, 但是交叉辐射定标有其固有的缺陷, 主要体现在这种方法的精度对参考传感器数据精度的依

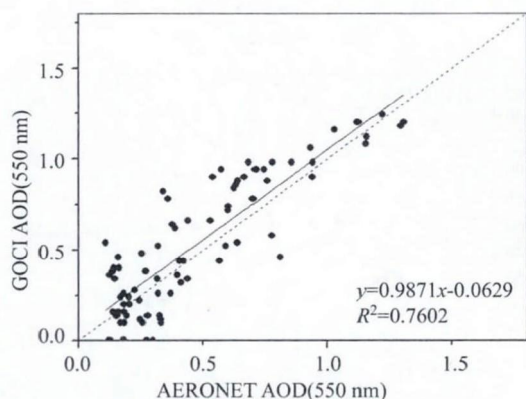


图 8 用定标后的 GOCI 数据反演的 AOD 和实测 AOD 的关系

Fig.8 Comparison between retrieved AOD after calibration and AERONET observations

赖性, 且对两个遥感器过境时间差异、观测目标的稳定性、大气的稳定性等有一定的限制。鉴于 GOCI 高时间分辨率的特点, 如果能有其它观测时间和角度更匹配的高精度卫星作为参考传感器, 将会有更好的定标结果。另外, 由于 GOCI 空间分辨率为 500 m, 且监测陆地区域有限, 场地定标时, 定标场地的选择很困难, 我国开展在轨定标常用的敦煌定标场不在其观测区域内, 实地测量光谱数据对交叉辐射定标结果验证也存在一定的困难。如果能有合适的定标场, 对 GOCI 进行场地定标, 将会有较好的定标精度。

#### 参考文献:

- [1] Ryu J H, Han H J, Cho S, et al. Overview of geostationary ocean color imager (GOCI) and GOCI data processing system (GDPS) [J]. *Ocean Sci. J.*, 2012, 47(3): 223-233.
- [2] Faure F, Coste P, Kang G. The GOCI instrument on COMS mission-The first geostationary ocean color imager [C]. *Proceedings of the International Conference on Space Optics*, 2008: 14-17.
- [3] Fu Qiaoyan, Min Xiangjun, Li Xingchao, et al. In flight absolute calibration of the CBERS202 CCD sensor at the Dunhuang test site [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(4): 433-439(in Chinese).  
傅俏燕, 闵祥军, 李杏朝, 等. 敦煌场地 CBERS202 CCD 相机在轨绝对辐射定标研究 [J]. *遥感学报*, 2006, 10(4): 433-439.
- [4] Gong Hui, Tian GuoLiang, Yu Tao, et al. Radiometric calibration and validation of CCD cameras on HJ-1 satellite [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(5): 682-688(in Chinese).  
巩 慧, 田国良, 余 涛, 等. HJ-1 星 CCD 相机场地辐射定标与真实性检验研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(5): 682-688.
- [5] Thome K J. Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method [J]. *Remote Sen. Environ.*, 2001, 78(1): 27-38.
- [6] Santer R, Gu X F, Guyot G, et al. SPOT calibration at the La Crau test site [J]. *Remote Sen. Environ.*, 1992, 41(2): 227-237.
- [7] Metzler M D, Malila W A. Characterization and comparison of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data [J]. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 1985, 51(9): 1315-1330.
- [8] Price J C. Calibration comparison for the Landsat 4 and 5 multi-spectral scanners and thematic mappers [J]. *Appl. Opt.*, 1989, 28(3): 465-471.
- [9] Barker J L, Dolan S K, Sabelhaus P A, et al. Landsat-7 mission and early results [C]//*Remote Sensing International Society for Optics and Photonics*, 1999: 299-311.
- [10] Schroeder M, Poutier L, Müller R, et al. Inter-calibration of optical satellites-a case study with MOMS and SPOT [J]. *Aerospace Science Technology*, 2001, 5(4): 305-315
- [11] Tian Qingjiu, Zheng Lanfang, Tong Qingxi. Comparison and analysis for in-flight calibration of SPOT based on methods of test site and on-board calibration [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(1): 13-18(in Chinese).  
田庆久, 郑兰芬, 童庆禧. SPOT 地面场定标与星上定标结果的比较分析 [J]. *遥感学报*, 1998, 2(1): 13-18.
- [12] Chen R Y, Cao C Y. Cross-calibration of HIRS aboard NOAA satellites using IASI [C]. *Proc. SPIE*, 2011: 81531B-81531B-7.
- [13] Wang C, Zhang X, Li J, et al. Cross-calibration of high energetic particles data — A case study between FY-3B and NOAA-17 [J]. *Sci. China Technol. Sci.*, 2013, 56(11): 2668-2674.

- [14] Li Xiaoying, Gu Xingfa, Min Xiangjun, et al. Radiometric cross-calibration of the CBERS-02 CCD camera with the TERRA MODIS [J]. *Science in China Ser. E Information Sciences*, 2005, **35**(SI): 41-58(in Chinese).
- 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 [J]. *中国科学 E 辑: 信息科学*, 2005, **35**(SI): 41-58.
- [15] Xu Lei, Ma Lingling, Hu Jian, et al. Cross-calibration of HJ-1B/CCD1 against Terra/MODIS [J]. *Remote Sensing Information*, 2011(2): 26-31(in Chinese).
- 徐磊, 马灵玲, 胡坚, 等. 基于 Terra/MODIS 数据的 HJ-1B/CCD1 交叉辐射定标研究 [J]. *遥感信息*, 2011(2): 26-31.
- [16] Zhou Guanhua, Jiang He, Zhao Huijie, et al. Imaging spectrometry radiometric cross-calibration based on precise spectral response matching [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, **32**(12): 3416-3421(in Chinese).
- 周冠华, 姜禾, 赵慧洁, 等. 基于精确光谱响应匹配的星载成像光谱仪交叉辐射定标 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, **32**(12): 3416-3421.
- [17] Lee K S, Park S M, Kim S H, et al. Radiometric characteristics of geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for land applications [J]. *Korean Journal of Remote Sensing*, 2012, **28**(3): 277-285.
- [18] Uudus B, Park K A, Kim K R, et al. Diurnal variation of NDVI from an unprecedented high-resolution geostationary ocean colour satellite [J]. *Remote Sens. Lett.*, 2013, **4**(7): 639-647.
- [19] Park W, Won J S. Radiometric cross-calibration of polar orbital sensors using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) [C]. In *Sentinel-2 Preparatory Symposium*, 2012: 23-27.
- [20] Hu C M, Muller-Karger F E, Andrefouet S, et al. Atmospheric correction and cross-calibration of LANDSAT-7/ETM+ imagery over aquatic environments: A multiplatform approach using SeaWiFS/ MODIS [J]. *Remote Sens. Environ.*, 2001, **78**(1): 99-107.
- [21] Zhang Yuhuan, Li Zhengqiang, Hou Weizhen, et al. Retrieval of haze aerosol optical depth based on high spatial resolution CCD of HJ-1 [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2013, **17**(4): 959-969(in Chinese).
- 张玉环, 李正强, 侯伟真, 等. 利用 HJ-1 CCD 高分辨率传感器反演灰霾气溶胶光学厚度 [J]. *遥感学报*, 2013, **17**(4): 959-969.
- [22] Holben B N, Tanre D, Smirnov A, et al. An emerging ground-based aerosol climatology: aerosol optical depth from AERONET [J]. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**: 12067-12097.
- [23] Ångström A. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air [J]. *Geografiska Annaler*, 1929, **11**: 156-165.

作者简介: 张玉环 (1984-), 女, 汉族, 山东济宁人, 博士, 工程师, 主要从事大气环境遥感方面的研究。