

静止卫星 GOCI 数据的 BRDF 特性研究

方子烨

黄山市气象局, 安徽省黄山市, 245000;

摘要: 二向性反射是自然界中电磁波反射的基本宏观现象, 二向反射分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) 可用于分析给定入射方向上的辐射照度如何影响给定出射方向上的辐亮度。其对静止卫星数据、宽视场遥感数据及多角度遥感数据等的分析应用均具有非常重要的意义。本文以长江三角洲地区为研究区, 选取静止轨道水色卫星水色成像仪 (Geostationary Ocean Color Image, GOCI) 数据, 在进行辐射定标、研究区裁剪等工作的基础上, 进行了不同地物、不同波段表观反射率随时间变化的研究, 并利用 6S 辐射传输模型进行了不同地物、不同波段表观反射率的模拟研究。结果表明, 表观反射率在一天 8 个时相内呈现明显的变化规律, 在蓝光波段, 表观反射率呈现碗型变化, 主要是因为蓝光波段具有较强的瑞利散射效应。本研究可以为静止卫星反演 BRDF 及反照率, 以及提高气溶胶光学厚度计算精度等提供研究基础。

关键词: GOCI; 表观反射率; BRDF; 辐射传输模型

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 06. 036

引言

二向性反射是自然界中一种电磁波反射的基本宏观现象, 即反射虽然具有本身的方向性, 但这种方向性还因入射方向变化而发生变化。而物体的表面结构特征及物体的构成元素与其反射辐射有密切关系, 入射的电磁波被不同物体表面向四面八方散射, 形成不同空间分布的散射通量, 而空间结构特征和波谱特征可以用反射的方向性来描述^[1]。二向反射分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) 作为用以专门描述入射角度与反射角度关系变化的函数, 能够很好地模拟角度变化所引起的地物反射率变化情况, 因而成为定量遥感学科研究的热点。

随着遥感技术的发展, 原来关于理想条件下的表面反射误差计算不够精确, 对地观测的数据精度不再能满足研究产品的需求。如 AVHRR、MODIS 等传感器具有较大的观测视场, 遥感数据中不同的象元的照射角度和观测角度不同, 导致定量遥感研究产生较大误差, 同样的情况也出现在大多数机载航空遥感研究中^[2]。静止卫星数据会受到 BRDF 的影响, 针对具体象元, 卫星的观测角度不变, 但随着时间变化, 太阳的角度变化也会带来 BRDF 的问题, 从而影响定量遥感反演的精度。

韩国在 2010 年发射的地球静止气象卫星 COMS (Communication, Ocean, Meteorological Satellite) 是首颗用于海洋研究的静止卫星, 其上搭载了新一代海洋

水色遥感器 GOCI (Geostationary Ocean Color Image)。GOCI 具有一天观测 8 个时相的能力, 使小时级的时间分辨率水色遥感成为现实, 使得海洋环境、灾害的短时间监测成为可能^[3]。但由于 8 个时相的太阳观测天顶角和方位角的变化, 导致 GOCI 受到 BRDF 影响较大, 在研究地表特性、反演气溶胶光学厚度时, 忽略 BRDF 的影响会带来一定的误差。

本文拟以 GOCI 数据为研究对象, 选取长江三角洲为研究区, 在对 GOCI 数据进行预处理的基础上, 研究表观反射率在不同地物、不同波段随时间的变化规律, 并进一步利用 6S 辐射传输模型进行不同地物、不同波段的表观反射率模拟, 在此基础上, 选取一定的 BRDF 模型进行模拟, 从而得到 GOCI 数据的 BRDF 特性, 以为地表反照率反演、气溶胶光学厚度反演等工作提供基础。

1 研究数据及处理

1.1 数据介绍

GOCI 是世界上第一个静止轨道海洋水色传感器, 时间分辨率可达 1 小时, 空间分辨率达到 500 米, 观测范围为 2500km×2500km, 范围覆盖我国渤海、黄海和东海部分海域。GOCI 的轨道相关参数如表 1 所示, 根据海洋水色传感器的观测目的, GOCI 共设置了 8 个波段, 其中 6 个为可见光波段, 2 个为近红外波段, 波段宽度 10 至 40nm。韩国海洋卫星中心 (KOSC) 负责数据的发布^[4-6]。

表 1 GOCI 波段及参数信息

波段	波段中心/nm	波宽/nm	标准辐亮度/W·/(m ² ·um·sr)	最大辐亮度/W·/(m ² ·um·sr)	类型	应用领域
B1	412	20	100	150.0	可见(蓝)	黄色物质、浊度
B2	443	20	92.5	145.8	可见(蓝)	叶绿素最大吸收
B3	490	20	72.2	115.5	可见(蓝)	叶绿素及其他色素
B4	555	20	55.3	85.2	可见(蓝)	浊度
B5	660	20	32.0	58.3	可见(红)	荧光信号、悬浮泥沙
B6	680	10	27.1	46.2	可见(红)	大气校正、荧光信号
B7	745	20	17.7	33.0	近红外	大气校正、荧光信号基线
B8	865	40	12.0	23.4	近红外	气溶胶光学厚度、水

本文所用的 GOCI 数据选自于 2019 年 11 月 9 日的 8 时相的晴空(云量覆 10%)的图像 L1B 级产品数据, GOCI 数据处理软件 GDPS (GOCI Data Processing System) 来自韩国海洋卫星中心网站 (http://kosc.kiost.ac.kr/eng/pl0/kosc_pl1.html)。

1.2 数据分析

1.2.1 辐射亮度值计算

获取的数据通过 GDPS 软件进行几何校正, 生成 L2 级产品数据, 提取目标参数转换数据格式。利用波段运算及现有 GOCI 数据计算表观反射率, 再利用 ENVI (???) 软件将校正之后的图像裁切并转换坐标系, 得到对应时相的表观反射率; 根据彩色合成图像目视解译寻找特征点, 通过特征点提取数据, 并将数据导入至表格中用 6s 模型与之进行对比分析。

GOCI 数据的 L1B 级原始数据为 DN (Digital Number) 值, 通过公示 (1) 将 DN 值转化为辐射亮度值

$$L_{\lambda} = \text{Grescale} \cdot \text{DN} + \text{Brescale} \quad (1)$$

式中 L_{λ} 为大气顶层光谱辐亮度值, 单位为 $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 。DN 为 L1B 数据中的 DN 值, Grescale 为转换大小, Brescale 为转换误差。根据韩国海洋卫星中心的解释, 自 2011 年 4 月起, Level 1B 的 Brescale 和 Grescale 分别设置为 10^{-6} 和 0。利用以上给定的辐射定标参数, 利用波段运算对 L1B 数据进行批处理, 获得辐射亮度值。

1.2.2 表观反射率计算

表观反射率 (apparent reflectance) 就是大气顶层的反射率, 是地表反射率与大气反射率之积。在现实运算中, 可以将大气层顶表面看作一个朗伯体反射面, 采用公式 (2):

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_0 \cdot \cos(\theta_s)} \quad (2)$$

式中 ρ 为表观反射率, L_{λ} 为已获得的 L1B 数据大气顶层辐亮度, d 为该数据时间当日的日地距离 (天文单位), E_0 为通道处太阳光谱辐照度平均值, θ_s 为太阳天顶角, 在静止卫星 GOCI 数据中, 该数据可以通过 GDPS 软件对 L1B 数据进行 L2 级数据生成, 获得包括该信息在内的 L2P 数据。L2P 文件格式为 HDF-EOS5 (.he5), 包含有经纬度、卫星方位角 (PHV)、卫星高度角 (THV)、太阳方位角 (SOLA)、太阳天顶角 (SOLZ) 在内的角度信息, 这些数据在之后的 6S 模拟中仍会用到。

1.2.3 数据处理

利用 GDPS 软件将生成的反演结果文件转化为 Img 及 hdr 格式, 从而可以利用 ENVI 软件进行裁切的数据处理。使用全国省级行政图矢量文件, 在 Arc Map 中完成对目标研究区矢量数据的提取, 再用 ENVI 读取反演结果及矢量文件, 进行研究区裁切。然后将同一波段下的各时相数据归类, 并将同波段数据使用波段融合合成为一幅图像, 以查看各波段光谱剖面图, 进行下一步分析。

1.3 6S 大气校正模型

本文选取了 6S (SECOND SIMULATION OF THE SATELLITE SIGNAL IN THE SOLAR SPECTRUM) 大气校正模型进行反演对照分析。该模型由法国里尔科技大学大气光学实验室开发的 5S (SIMULATION OF THE SATELLITE SIGNAL IN THE SOLAR SPECTRUM) 大气辐射传输模型改进而来。在遥感观测的太阳-目标-传感器这种模式中, 无论是使用卫星或是飞机, 都会因受到大气的影响获取数据的过程中都有所误差。6S 模型就是为了计算卫星入瞳处的辐射能量, 而模拟这种地气系统中的太阳辐射。本研究主要利用 6S 模型 (Version 4.1) 模拟实际情况下的表观反射率, 并应用 BRDF 模型进行校正。表 2 为利用 6S 模型的主要输入参数^[7]。

表 2 6S 辐射传输模型的参数选择

主要参数	输入
经纬度, 太阳天顶角及方位角, 卫星天顶角及方位角	根据实际目标的位置信息而定
大气模式	3 (中纬度冬季)
气溶胶类型	无气溶胶
目标高度参数	0 (目标在海平面)
传感器高度参数	-1000 (卫星观测)
方向效应 (无)	地物类型 (植被, 水体, 沙土)
方向效应 (有)	BRDF 模型
光谱参数	根据 GOCI 各波段范围而定

模拟时, 选定某种地物, 输入该点的地理太阳天顶角、卫星天顶角、太阳方位角卫星方位角以及当天的日期, 选择大气模式 (中纬度冬季)、目标和卫星高度、波段范围等参数, 并根据不同的地物、波段、方向效应和 BRDF 模型部分, 进行不同的输入, 从而得到相应的输出数据。

2 结果与分析

本文主要利用 COMS 静止卫星搭载的 GOCI 遥感器所生成的静止卫星观测数据进行表观反射率的计算, 并结合 6S 辐射传输模型进行模拟, 从而对不同地物、不同波段、不同模型的表现反射率变化趋势进行比较, 最后得出以下主要结论:

(1) 通过对 GOCI 观测的表现反射率进行分析发现, 由于大气的变化、大气分子的瑞利散射、气溶胶散射、以及地表 BRDF 的影响, 不同地物不同波段的表现反射率在不同时相呈现不同的规律。在蓝波段, 水体、城镇、植被等地物均呈现先降低后增加的碗状特征, 这主要是由大气分子的瑞利散射引起的。在红波段和近红外波段, 碗型的程度会有所降低, 但是仍然具有碗型形状。在近红外波段, 植被还出现了更加明显的热点效应, 即在第三个时相呈现表现反射率的最大值, 这主要是由于观测角度与太阳照射角度最接近, 传感器观测到更多的光照组分所造成的。

(2) 当假设地表是朗伯体时, 利用 6S 辐射传输模拟进行模拟时, 蓝波段水体、城镇、植被等不同地物均呈现碗型特征; 但在近红外波段, 则随时间变化表现反射率变化并不明显, 这表明近红外波段植被几乎没有吸收, 因此呈现较平的变化趋势, 并且反射率值总体较高。进一步模拟不同含量的气溶胶发现, 植被反射率随着 A

OD 增加而降低, 但是仍然呈现相对较平缓的变化趋势, 这表明地表朗伯体的假设在近红外波段会带来很大的误差。

(3) 进一步考虑地表 BRDF 的研究表明, Rahman model 模型可以很好的模拟出植被所具有的热点现象, 与 GOCI 的观测值呈现相同的趋势, 因此在进行植被冠层结构参数遥感、气溶胶光学厚度反演时, 若不考虑 BRDF 的影响, 会带来比较大的误差。

参考文献

- [1] 王少游. 地球静止轨道区域凝视光学系统成像性能分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2009
- [2] 陈健, 高绍鑫, 石满, et al. 机载多光谱数据的亮度梯度效应[J]. 遥感信息, 2018, v. 33; No. 157 (03): 4-9.
- [3] 刘佳, 范文义. BRDF 模型及其反演研究的现状及展望[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23 (1): 104-110.
- [4] 王泉斌, 秦平, 赵晓晨. 世界首颗静止轨道海洋水色卫星应用研究进展[J]. 海岸工程, 2017 (2).
- [5] 张琳. 静止轨道海洋水色卫星遥感产品的真实性检验研究[D]. 2017. 5
- [6] 李冠男, 王林, 王祥, et al. 静止水色卫星 GOCI 及其应用进展[J]. 海洋环境科学, 2014, 33 (6): 966-971.
- [7] 赵春江, 宋晓宇, 王纪华, et al. 基于 6S 模型的遥感影像逐像元大气校正算法[J]. 光学技术, 2007, 33 (1).

作者简介: 方子烨, 出生年月: 1996. 10, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽省潜山县, 学历: 本科, 职称: (现目前的职称) 助理工程师, 研究方向: 气象服务与应用气象 (含气象科普)。