

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2015.01.008

基于 6S 模型的遥感图像大气校正方法

侯旭洲, 易维宁, 乔延利, 黄红莲, 崔文煜, 杜丽丽, 陈川

(中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘要: 去除大气影响是遥感影像应用中具有重要实用意义的一步, 因此依据多光谱遥感数据开展了大气校正方法的研究工作。基于 6S 辐射模型和消除邻边效应的经验方法对 ZY-3 卫星影像数据进行大气校正; 作为对照, 对同一影像也做 FLAASH(一种成熟的大气校正软件模块) 大气校正处理。由结果所见, 校正后影像质量得到提高; 校正精度与 FLAASH 精度都在 10% 左右, 具有较高准确性。

关键词: 6S; 大气校正; 邻边效应; FLAASH

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2015)01-0063-06

Atmospheric Correction of Remote Sensing Image Based on 6S Model

HOU Xuzhou, YI Weining, QIAO Yanli, HUANG Honglian,
CUI Wenyu, DU Lili, CHEN Chuan

(Key Laboratory of Optical Calibration and Characterization, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Atmospheric correction is important for land remote sensing application. In data processing over multi-spectral remote sensing land image, an atmospheric correction method is presented. The method is based on 6S radiative transfer code and an empirical method of decreasing adjacency effect. To evaluate this correction procedure, FLAASH (another mature atmospheric correction model) is processed as a comparison. Results suggest that the quality of corrected image is improved apparently, the accuracy of the method and FLAASH remain about 10%.

Key words: 6S; atmospheric correction; adjacency effect; FLAASH

收稿日期: 2014-03-10; 修改日期: 2014-03-19

基金项目: 中国科学院科技创新重点项目 (KGFZD-125-13-006) 资助

E-mail: houxuzhou@gmail.com

1 引言

在遥感影像应用领域中, 各项研究的开展都以准确获取地表信息作为前提。光辐射携带遥感信息从地表穿过大气层到达遥感传感器过程中与大气成分发生如大气折射、吸收与散射、湍流效应等一系列相互作用, 导致遥感信息的失真。例如大气气体分子和气溶胶粒子吸收与散射造成信号的下降、大气湍流和气溶胶粒子造成光学成像系统分辨率的降低、遥感信息的失真、有效观测时间和区域的减小等影响^[1]。为准确获取光辐射中的遥感信息, 精确去除大气层影响的大气校正是遥感应用的一个重要过程。

大气校正通过去除大气带来的程辐射衰减和邻边效应得到地物反射率反演结果。目前常用的大气校正方法主要包括辐射传输模型法、黑暗像元法、不变目标法、直方图匹配法等几种, 其中辐射传输模型法与黑暗像元法具有较广泛的应用。黑暗像元法 (dark-object methods) 依赖影像自身的信息完成大气辐射校正与反射率反演的过程。这种方法^[2]直接、简易, 但精度相比辐射模型法低。辐射传输模型方法依据电磁波在大气中的辐射传输原理来计算地物反射率, 依据同步大气参数, 比如能见度、气溶胶参数等, 可在不同大气条件下以较高的精度获得真实地表反射率。而辐射模型中则以 6S、MODTRAN、ATCOR 应用最为广泛。6S 在 5S 基础上采用最新近似和逐次散射算法来计算散射和吸收, 考虑了地表的非朗伯体特性, 在计算透过率时加入了新的气体, 具有较高的瑞利散射和气溶胶散射的计算精度^[3]。因此, 本文在 6S 辐射模型基础上, 选取黑龙江省四方山农场 ZY-3 卫星多光谱影像进行大气校正方法研究。通过与实测数据进行对比分析, 评价本文校正算法的精度。作为对照结果, 也对同一影像使用 FLAASH 模型作大气校正处理。FLAASH 集成于 ENVI 软件, 是遥感图像应用中较常用的大气校正算法。该模型结合 MODTRAN4+ 的辐

射传输代码并在此基础上进行修改, 能有效消除大部分大气和光照等因素对地物反射的影像, 获得地物较为准确的反射率和辐射率、地表温度等真实物理参数^[4], 是能校正从可见光、近红外到短波红外范围内光谱的大气校正工具^[5-6]。因此通过与 FLAASH 校正结果的比较可客观评价本文的基于 6S 模型大气校正方法。

2 基于 6S 模型的大气校正方法

基于 6S 辐射模型对黑龙江省四方山农场多光谱影像进行大气校正处理。在校正波段范围内, 水汽和臭氧等气体对大气校正精度的影响可以忽略, 只需考虑大气气溶胶光学厚度的影响。校正影像中大气气溶胶光学厚度依据地面同步观测计算获取。

2.1 遥感数据的量化

在对原始影像作大气校正前, 先对影像进行辐射定标, 将 DN 值转换为辐射亮度

$$L(\lambda) = Gain \cdot DN + Bias, \quad (1)$$

式中, $L(\lambda)$ 为转换后辐亮度, 单位 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, DN 为卫星载荷观测值; $Gain$ 为定标斜率, 单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, $Bias$ 为定标截距, 单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。

2.2 6S 模型大气校正原理

太阳辐射经过大气层到达地面后主要由大气层衰减后的太阳直接辐射 E_s 和下行漫射光 E_d 组成, 其中太阳直接辐射 E_s 可表示为

$$E_s = \frac{E_0}{d^2} \cos \theta e^{-\tau \sec \theta}, \quad (2)$$

式中, E_0 为太阳常数; d 为日地距离, 这里取 1; τ 为光学厚度; θ 为太阳天顶角。假设天空辐照度各向同性、地面朗伯面反射、天空晴朗、忽略大气折射、湍流和偏振, 地物表面反射辐亮度 $L_{\text{reflected}}$ 可表示为

$$L_{\text{reflected}} = \frac{\rho_g(E_s + E_d)}{\pi}, \quad (3)$$

式中, ρ_g 为地物表面反射率; E_d 为天空光漫射到地表面的光谱辐照度。

卫星传感器接收到的光谱辐亮度 L 是 $L_{\text{reflected}}$ 经过大气衰减后的地面辐亮度和大气本身的程辐射 L_{path} 之和

$$L = L_{\text{path}} + L_{\text{reflected}}e^{-\tau \sec \theta'} \quad (4)$$

其中 θ' 为卫星传感器观测角, 那么地物表面反射率为

$$\rho_g = \frac{\pi(L - L_{\text{path}})}{e^{-\tau \sec \theta'}(E_s + E_d)} \quad (5)$$

其中, $e^{-\tau \sec \theta'}$ 是地-遥感器的大气透过率 [7]。

2.3 6S 模型大气校正方法

基于 6S 模型计算大气校正需要的直射辐照度 (E_s)、散射辐照度 (E_d)、大气透过率、程辐射 (L_{path})、地面总辐射 (E_g) 等参数, 分别对 ZY-3 多光谱影像的 4 个波段辐亮度数据大气校正处理。

遥感器接受的辐亮度 (L) 由程辐射 (L_{path})、目标辐射 ($L_{\text{reflected}}$) 与邻近像元辐射三部分组成, 大气校正过程由如下两步组成:

1) 忽略邻近效应

程辐射 L_{path} 值随波长增加而减少, 大于 0.7 μm 时通常很小; 临近像元辐射值依赖于目标像元周围环境。在不考虑周围邻近像元的影响下, 地面反射率可由式 (6) 求得

$$\rho = \frac{\pi(d^2 L - L_{\text{path}})}{e^{-\tau \sec \theta'} E_g} \quad (6)$$

其中 d^2 是日-地距离修正因子, 以 $d = 1$ 来计算, ρ 是地面反射率, E_g 为地面总辐射照度是直射辐照度 (E_s)、散射辐照度 (E_d) 及邻近环境贡献之和。

2) 考虑邻近像元影像

在 (6) 式的基础上扣除邻近像元影像:

$$\rho_1 = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \rho(i,j) \quad (7)$$

$$\rho_2 = \rho + q(\rho - \rho_1) \quad (8)$$

$$\rho_3 = \rho_2[1 - (\rho_1 - \rho_r)S] \quad (9)$$

(7) 式计算邻近像元的平均反射率, 像元受周围背景的影响程度依赖于遥感器的空间分辨率 [1,8]。

(8) 式扣除目标背景的影响。(9) 式将反射率 ρ_2 调整到实际背景 ρ_r 。其中 ρ_r 是背景反射率, S 为大气球面反照率, 其中 τ 、 E_g 、 S 、 L_{path} 为 6S 模型结果 [1]。

经过大气校正及反射率反演之后获取地面(四方山农场区域)的反射率, 通过与地面站点的实测反射率比较验证大气校正对于影像的准确性。

3 研究区域和数据

四方山农场 (46°15'22"N, 125°48'29"E) 位于黑龙江省肇东市境内, 现有土地 1.2 万公顷, 其中耕地 0.47 万公顷, 草原 0.46 万公顷, 林地 0.17 万公顷, 其它面积 0.1 万公顷, 其中草地、玉米地集中、面积广阔并且均匀生长。农场属中纬度大陆模式, 当地海拔 142 m。卫星影像选择 2013 年 9

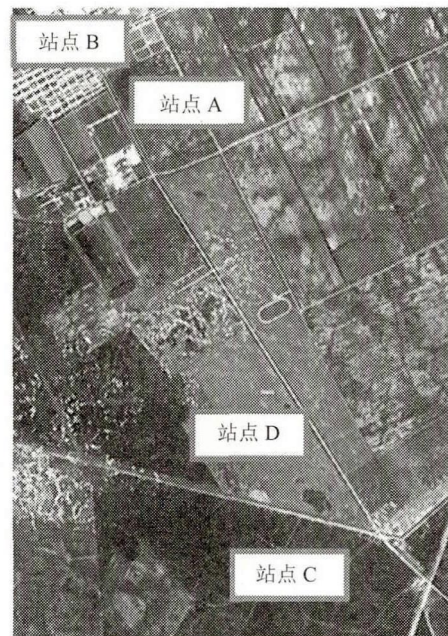


图 1 黑龙江四方山农场 2013 年 9 月 12 日 ZY-3 卫星多光谱影像及同步采样点分布图 (R 、 G 、 $B=3$ 、 2 、 1) 站点 A: 玉米地, 站点 B: 水泥地, 站点 C: 草地, 站点 D: 大气数据观测

Fig.1 ZY-3 Multi-spectral image collected on September 12, 2013 and sampling collecting station in Sifangshan Farm, Heilongjiang

月 12 日 ZY-3 卫星对肇东区域无云影像。当日地面温度为 20 ℃ 左右, 草地茂盛, 玉米地高度为 2 m 以上状况较好, 农场中公路为水泥地面, 表面干净, 且往来车辆较少。设置 A、B、C 三个站点对玉米地、水泥地、草地等地物同步测量反射率, 并在站点 D 设置观测大气数据设备。

本文采用的卫星遥感数据是 2013 年 9 月 12 日 ZY-3 卫星多光谱影像黑龙江四方山农场区域无云影像, 用于验证的实测数据是当天同步用 SVC1024 光谱仪野外观测获取的实测光谱经过计算转换模拟得到的波段等效遥感反射率。图 1 为四方山农场 2013 年 9 月 12 日 ZY-3 卫星多光谱影像 RGB 合成图 ($R、G、B=3、2、1$) 和对应的 3 个采样站点分布。

4 实验结果及分析

大气校正处理结果如图 2, 为 6S 大气校正前后四方山农场 ZY-3 卫星多光谱影像前 3 个波段合成的彩色影像^[1]。比较发现校正后的影像整体呈现边缘锐利、轮廓分明、细节过渡更加细微的特点, 视觉上可感觉到图像质量的提高。选择玉米地与天然草地中较均匀的区域作为反演反射率计算样本, 也选取农场生活区水泥地作为较高反射率区域的计算样本, 以玉米地、草地、水泥地等区域大气校正后反演反射率与实测反射率的相对误差来评价大气校正的精度。作为对照结果, 对影像做 FLAASH 大气校正并选择同一区域计算地物反射率的相对误差。

$$\text{相对误差}(\%) = \frac{|\text{实测反射率值} - \text{大气校正后反演的反射率值}|}{\text{实测反射率}} \times 100\% \quad (10)$$

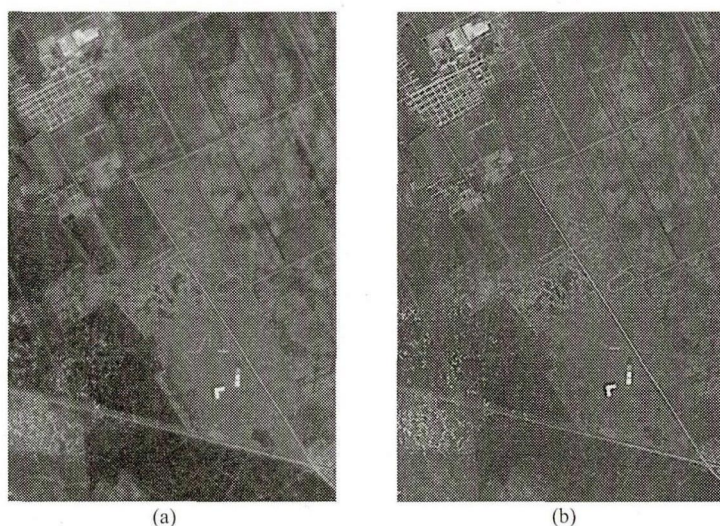


图 2 四方山农场 2013 年 9 月 12 日 ZY-3 卫星多光谱影像 6S 大气校正前后对比,
(a) 大气校正前影像; (b) 大气校正后影像

Fig.2 Atmospheric correction results of ZY-3 multi-spectral image collected on September 12, 2013 which covers Sifangshan Farm, Heilongjiang, (a) image before atmospheric correction; (b) image after atmospheric correction

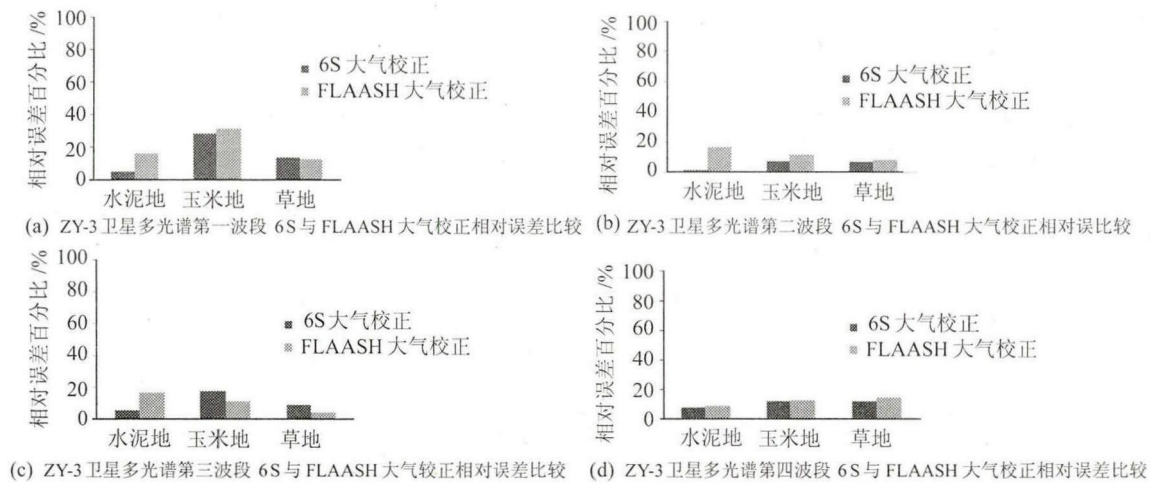


图 3 ZY-3 卫星多光谱 6S 与 FLAASH 大气校正相对误差比较图

Fig.3 Accuracy comparison between 6S atmospheric correction and FLAASH

实测反射率在卫星过境前后 1 h 内分三个站点同步测量。对 6S 与 FLAASH 大气校正处理的四方山农场多光谱影像四个波段数据依据 (10) 式统计相对误差, 分析结果对比如图 3。如图所示, 6S 和 FLAASH 大气校正结果具有相近的相对误差。第一波段相对误差较大, 第二、三、四波段精度较高。在四个波段中, 玉米地相较于草地、水泥地相对误差较大; 而对水泥地的反演中, 本文采用的 6S 校正方法精度明显较高。

统计各个波段相对误差平均值, 第一波段的 6S 与 FLAASH 的相对误差相对较大, 分别为 15.4% 和 19.7%, 都大于 15%。究其原因与绝对定标系数的精度及模型计算程辐射精度有关。而 6S 与 FLAASH 在第二、三、四波段的平均相对误差都在 10% 左右且误差相近。在四个波段中 6S 与 FLAASH 的玉米地相对误差平均值分别为 16.3% 与 16.9% 也都大于 15% 高于草地、水泥地, 可能与玉米地生长不均匀情况更严重有关。对水泥地反演中, 6S 四个波段的相对误差平均值为 4.85%, 远小于 FLAASH 的 14.6%, 原因可能在于选取的水泥地面积较小, 受邻近地物影响较大, 本文采用 6S 大气校正方法在消除程辐射基础上基于经验去除邻近效应的作用。但文献中也查到 FLAASH 模

块中利用大气点扩散函数对邻近效应也有纠正作用^[9], 因此这个问题还有待进一步探讨。

反演反射率值与实测值之间存在的误差, 主要来自于地面实测时误差、定标结果本身误差和反演误差三个方面: 可见光及近红外在轨绝对辐射定标精度为 5% 左右^[10]; 由卫星入瞳处推算到地面的反演过程也存在多方面因素带来的误差, 如大气参量测量精度、太阳天定焦误差、测点周围地物影响的邻近效应等^[11]; 6S 固有精度及地面同步测量地物反射率时的异常情况也会引起误差。因此总体来看, 本文的 6S 大气校正方法结果具有较高的精度。

5 总 结

基于 6S 辐射传输模型理论, 本文大气校正方法包含了消除遥感影像中大气程辐射、散射及吸收等影响, 并在此基础上逐像元消除邻近效应的过程。应用该算法对夏季黑龙江省四方山农场 ZY-3 卫星多光谱影像进行校正处理, 其中大气参数通过地面同步试验获取。分析校正结果, 并结合地面实测数据及 FLAASH 校正的参照结果, 表明本文方法具有较高的精度。

参考文献:

- [1] Yi Weining, He Chaolan, Qiao Yanli. Atmospheric correction of CBERS-02 CCD image [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 2(2): 150-155(in Chinese).
易维宁, 何超兰, 乔延利. CBERS-02 卫星 CCD 图像的大气订正 [J]. *遥感学报*, 2006, 2(2): 150-155.
- [2] Sun Changkui, Sun Lin, Ma Shengfang. Atmospheric Correction Method based on HJ-1 CCD data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2012, 16(4): 826-836(in Chinese).
孙长奎, 孙林, 麻盛芳. HJ-1 CCD 数据大气校正方法研究 [J]. *遥感学报*, 2012, 16(4): 826-836.
- [3] Qi Xueyong, Tian Qingjiu. The advances in the study of atmospheric correction for optical remote sensing [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2005, (4): 2-6(in Chinese).
齐雪勇, 田庆久. 光学遥感大气校正研究进展 [J]. *国土资源遥感*, 2005, (4): 2-6.
- [4] Guo Yunkai, Zeng Fan. Atmospheric correction comparison of SPOT 5 image based on FLAASH and QUAC model [J]. *Bulletin of Surveying*, (11): 21-41(in Chinese).
郭云开, 曾繁. 基于 FLAASH 与 QUAC 模型的 SPOT5 影像大气校正比较 [J]. *测绘通报*, 2012, (11): 21-41.
- [5] Yang Xiaojun, Chen Yushi, Zhang Hua. Effect on atmospheric correction by inputting parameters of FLAASH model [J]. *Remote Sensing Information*, 2008, (6): 32-37(in Chinese).
杨校军, 陈雨时, 张晔. FLAASH 模型输入参数对校正结果的影响 [J]. *遥感应用*, 2008, (6): 32-37.
- [6] Yang Hang, Zhang Xia, Shuai Tong. Comparison of FLAASH and empirical line approach for atmospheric correction of OM IS-II imagery [J]. *Bulletin of Surveying*, 2010, (8): 4-10(in Chinese).
杨杭, 张霞, 帅通. OMIS-II 图像大气校正之 FLAASH 法与经验线性法的比较 [J]. *测绘通报*, 2010, (8): 4-10.
- [7] Peng Nina, Yi Weining, Ma Jinji. Atmospheric correction of QuickBird-2 imagery for turbid water coastal areas using MODIS Data [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(5): 817-821(in Chinese).
彭妮娜, 易维宁, 麻金继. 利用 MODIS 数据进行 QuickBird-2 卫星海岸带图像大气校正研究 [J]. *光学学报*, 2008, 28(5): 817-821.
- [8] Kaufman Y J. Atmospheric effect on spatial resolution of surface imagery [J]. *Appl. Opt.*, 1984, 23(22): 4164-4172.
- [9] Liu Yu. Atmospheric correction on MODIS1B Satellite image based on FLAASH model [J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2013, 36(3): 48-49(in Chinese).
刘瑜. 基于 FLAASH 模型的 MODIS1B 数据的大气校正 [J]. *测绘空间地理信息*, 2013, 36(3): 48-49.
- [10] Long Liang, Wang Shitao, Zhou Feng. Research on calculation method of space remote sensor's radiometric calibration accuracy [J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2012, 33(6): 51-55(in Chinese).
龙亮, 王世涛, 周峰. 航天遥感器辐射定标精度计算方法研究 [J]. *航天返回与遥感*, 2012, 33(6): 51-55.
- [11] He Chaolan, Yi Weining, Luo Jun. Validation and assessment of CBERS-2 CCD camera's absolute radiometric calibration coefficients [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2007, 2(2): 150-155(in Chinese).
何超兰, 易维宁, 罗军. CBERS-2 CCD 相机绝对辐射定标系数验证与评价 [J]. *大气与环境光学学报*, 2007, 2(2): 150-155.

作者简介: 侯旭洲 (1990-), 男, 山西忻州人, 研究生, 从事遥感信息处理的研究工作。