

文章编号: 1007-4619(2006)05-0703-06

CBERS-02 卫星 CCD 图像的大气订正

易维宁¹, 何超兰¹, 乔延利¹, 闵祥军², 傅俏燕², 彭妮娜¹, 罗 军¹

(1. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 中国资源卫星应用中心, 北京 100830)

摘 要: 用基于遥感器辐射定标参数和大气辐射传输模型计算的方法对 CBERS-02 卫星 CCD 图像进行了大气订正,较好地消除了 CCD 遥感图像中非目标地物的成像信息。为了消除目标邻近像元的影响,假定目标是处在某一特定反射率的大尺度参考背景下,然后再将反射率修正到实际背景中,通过这种方法获得的大气订正图像的细节部分更加清晰,对比度增强,大大改善了 CCD 图像的质量。

关键词: CCD; 大气订正; 邻近像元影响; 反射率

中图分类号: P408/TP732 **文献标识码:** A

Atmospheric Correction of CBERS-02 CCD Image

YI Wei-ning¹, HE Chao-lan¹, QIAO Yan-li¹, MIN Xiang-jun², FU Qiao-yan², PENG Ni-na¹, LUO Jun¹(1. *Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Science, Anhui Hefei 230031, China;**2. China Center for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100830, China)*

Abstract: The method, which is based on the radiometric calibration coefficient and the atmospheric radiative transfer software, is used to atmospheric correction of CBERS-02's CCD image. The non-object information has been removed from the CCD remote sensing image. In order to eliminate adjacent effect, it is supposed that the object is in a large scale reference background which has a certain reflectance. And then it is adapted to the actual background. By using this method, the corrected image whose detailed part is much clear than the uncorrected, has been enhanced.

Key words: CCD; atmospheric correction; adjacent effect; reflectance

1 引 言

CCD 相机是 CBERS-02 卫星完成对地观测任务最重要的遥感器之一,它所获取的可见—近红外波段遥感图像在地球资源调查、环境监测以及农业等遥感应用领域有着广泛的应用,对 CCD 相机所获取的遥感图像进行大气订正是众多遥感应用的需求。

大气层是遥感信息传输的必经介质,光辐射在大气传输过程中会与大气发生一系列的相互作用,

包括大气折射、吸收与散射、湍流效应等,从而导致其传输特性的改变。因此,遥感信息必然在不同程度上受到遥感传输介质光学特性及环境背景辐射特性的影响,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、有效可观测时间和区域的减小等。通过对大气光学、物理特性参数的观测研究以及对目标/背景/大气辐射传输综合表征的研究,就可以对大气的影晌做出准确的校正,实现地物目标辐射特性的真实再现,达到提

收稿日期:2006-04-10;修订日期:2006-06-14

基金项目:“资源卫星遥感信息定量化方法研究与检验”课题(编号:232014064001),中国科学院百人计划项目(编号:KZCX0415),国家教育部留学回国人员科研启动基金重点项目(编号:HX040013),国防科学技术工业委员会项目(编号:KJSX0401)。

作者简介:易维宁(1956—),女,研究员,1982年毕业于安徽大学计算机系,主要从事地物波谱特性、大气辐射校正和遥感表征模型方面的研究工作。

高遥感信息质量及应用水平的目的。

2 大气订正原理

遥感图像的成像过程包括了从辐射源—大气层—地球表面—大气层—探测器的一系列复杂的传输过程。在太阳反射光谱区(即 $0.35\text{--}2.5\mu\text{m}$), 遥感器接收到的辐射信息由三部分组成^[1]: (1) 大气程辐射(L_1), 即入射的太阳光未到达地面就被大气散射到遥感器视场内的辐射; (2) 来自目标像元的辐射(L_2), 包括目标对太阳直射光的反射和目标对天空漫射光的反射; (3) 来自邻近像元的辐射(L_3), 即经大气散射而进入遥感器观测立体角内的周围环境的漫反射(图 1)。由此可见, 只有第 2 部分是目标像元信息, 大气订正的任务就是要计算并去除第 1 和第 3 部分, 从第 2 部分反演出图像各像元的地面反射率。

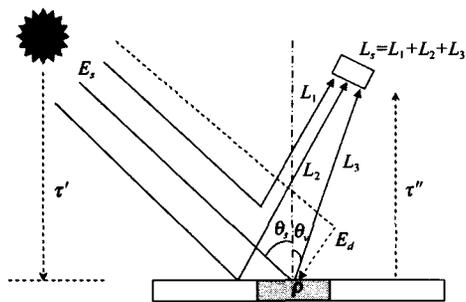


图 1 太阳反射光谱区传感器入瞳处辐射度贡献示意图
Fig. 1 Schematic sketch of the contributors of radiance at sensor in the solar reflective region

根据图 1, 遥感器接收的辐亮度 L 可表示为:

$$L = L_{\text{path}} + L_{\text{reflected}} + L_{\text{adjacency}} \quad (1)$$

其中, 程辐射的量值随波长的增加而减小, 当波长大于 $0.7\mu\text{m}$ 时大气程辐射通常就很小了。邻近像元辐射(周围环境)的大小依赖于目标像元与周围的一个大尺度区域($0.5\text{--}1\text{km}$) 平均反射率(辐亮度)之间的差别。

2.1 简单的大气订正方法

遥感器输出的计数值(灰度值)与遥感器入瞳处的辐亮度可由线性方程表示:

$$L = C_0 + C_1 * DN \quad (2a)$$

式中, C_0 和 C_1 是遥感器的辐射定标系数, 当遥感器增益为 g 时, 上式改写为:

$$L = C_0 + \frac{C_1}{g} * DN \quad (2b)$$

为了简便起见, 在下面的讨论中将使用公式(2a)。

如果不考虑周围邻近像元的影响, 公式(1)可简化为:

$$\begin{aligned} L &= L_{\text{path}} + L_{\text{reflected}} = L_{\text{path}} + \tau\rho E_g / \pi \\ &= C_0 + C_1 * DN \end{aligned} \quad (3)$$

式中, τ 是地—遥感器的大气透过率, ρ 是地面反射率, E_g 为地面总辐射照度。由此可得到地面反射率计算公式为:

$$\rho = \frac{\pi \{ d^2 (C_0 + C_1 \cdot DN) - L_{\text{path}} \}}{\tau \cdot E_g} \quad (4)$$

式中的 d^2 是日—地距离修正因子, 在用辐射传输模式计算程辐射 L_{path} 和地面总辐射照度 E_g 时是假设 $d=1$ 来计算的。

由此可见, 进行大气订正需要几个参数, 首先需要遥感器的绝对辐射定标系数, 即遥感器每个波段的 C_0 和 C_1 。第二需要有准确的大气光学特性参数, 包括大气气溶胶类型、大气光学厚度或能见度、水汽含量等, 这些参数决定了大气程辐射、透过率和总辐射通量的计算结果。

2.2 考虑邻近像元影响的大气订正

如果考虑周围邻近像元的影响, 假定地面是平坦的(不考虑地形的影响), 并假设天空是均匀朗伯散射体, 天空辐照是各向同性的(这一假设对于一般的天气条件是可以成立的), 根据大气辐射传输方程, 遥感器接收到的辐射 L 可表示为^[2]:

$$L = L_p(\theta_v, \theta_r, \phi) + \tau_v(\theta_v) \frac{\rho}{\pi} \cdot \frac{E_g(0)}{(1 - \rho_r S)} \quad (5)$$

式中, L_p 为大气程辐射; τ_v 为地—遥感器总大气透过率; ρ 为地面反射率; E_g 为地面总辐照度; ρ_r 为大尺度背景地物反射率; S 为大气球面反照率; θ_v 为太阳天顶角; θ_r 为观测天顶角; ϕ 为相对方位角。

由于 ρ 和 ρ_r 都不知道, 故采用迭代的方法来反演地面反射率 ρ 。

3 CBERS-02 卫星 CCD 图像的大气订正

受大气吸收、散射等影响, CCD 相机输出的 DN 值偏小, 图像模糊; 大气对某一波段范围的强吸收引起图像波段 DN 值分配不均衡, 合成伪彩色图像时, 出现色调失衡。依据遥感信息传输机理和大气辐射传输理论, 可以利用 CCD 相机的绝对辐射定标系数和大气传输模型, 消除大气这部分的影响, 反演地表反射率, 还原地表的真实面目。

应用公式(4),基于 CCD 相机的绝对辐射定标系数 C_0 和 C_1 ,由图像 DN 值计算得到相机入瞳处的辐亮度,根据 CCD 成像时的大气情况,由 6S 大气传输模型^[3],可以计算出大气程辐射 L_{path} 、大气向上透射率 τ 与太阳对地面辐照度 E_g ,最后计算出地表反射率。

对 2005 年 10 月 12 日 CCD 相机在合肥地区成像的图像进行反射率反演。过顶时合肥地区能见度约为 11km,太阳天顶角为 42.64° ,太阳方位角为 155.19° ,合肥地区的平均海拔高度 0.04km。中国资源卫星应用中心 2005 年由敦煌辐射校正场获得 CCD 相机的绝对定标系数为:波段 1 (0.73112, 25.3058)、波段 2 (1.25028, 45.27172)、波段 3 (0.68791, 31.73408)。利用 6S 模型和遥感图像大气订正软件,获得了 CCD 相机各个波段的地表反射率值。图 2(a)和(b)分别是对 CCD 相机波段 1 图像进行大气订正前后的效果。

由图 2 可以看出,大气订正后图像中的亮区域得到提升,暗区域更暗,图像对比度增强,其整体效果要好于订正前。但图像的细节如边缘仍然很模糊,这是由于受周围邻近像元的影响,像元并不是净像元,而是该点对应地物和周围环境综合影响的混合像元。为了进一步提高大气订正的效果,本文在大气订正过程中增加了对背景环境影响的考虑,来消除邻近像元带来的边缘模糊^[4]。具体方法如下:

(1) 首先忽略邻近像元影响,得到表面反射率 ρ_1 :

$$\rho_1 = \frac{\pi [d^2 (c_0 + c_1 \cdot DN) - L_p]}{\tau_s E_g (\rho_s = 0.15)}$$

假设地物目标是处在反射率为 0.15 的背景中, τ_s 是地面到卫星遥感器的大气总透射率, $E_g (\rho_s = 0.15)$ 是反射率为 0.15 的地面辐射照度, L_p 为程辐射, d^2 为日—地修正因子。

(2) 计算邻近像元的平均反射率 $\bar{\rho}$:

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

混合像元受周围背景的影响程度依赖于遥感器的空间分辨率^[5]。根据 CBERS-02 CCD 相机的空间分辨率,选取 N 等于 5,即考虑距离目标 5 个像元范围内的背景像元反射辐射贡献。

(3) 扣除目标背景的影响,得到反射率 ρ_2 :

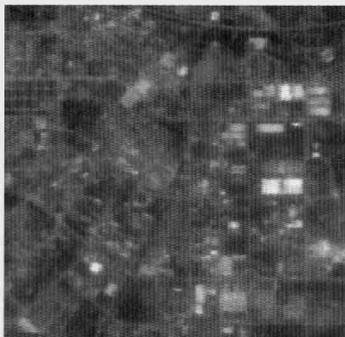
$$\rho_2 = \rho_1 + q(\rho_1 - \bar{\rho})$$

q 是地面到卫星遥感器的散射与透射率之比。

(4) 将 ρ_2 调整到实际背景为 $\bar{\rho}$ 所对应的反射率值 ρ_3 :



(a)



(b)

图 2 2005 年 10 月 12 日 CCD 合肥地区成像图像(波段 1)
(a) 未经大气订正的 CCD 图像; (b) 大气订正后的 CCD 图像

Fig. 2 CBERS-2's CCD images (band 1),
on October 12, 2005 in Hefei

(a) Original CCD image; (b) CCD image after atmospheric correction

$$\rho_3 = \rho_2 [1 - (\bar{\rho} - \rho_2) S]$$

S 为大气球面反照率。

图 3 显示了用一般的大气订正方法得到的订正结果与在大气订正中考虑了邻近像元影响的订正结果的对比(CCD 相机 1 波段,2005 年 10 月 12 日合肥地区图像),图 4 是对 CCD 1,2,3 波段进行订正后合成的彩色图。可见消除了邻近像元影响的大气订正图像其对比度增强,边缘等细节部分更加清晰,整体效果最好。

图 5(a) 是 2005 年 11 月 7 日 CBERS-02 CCD

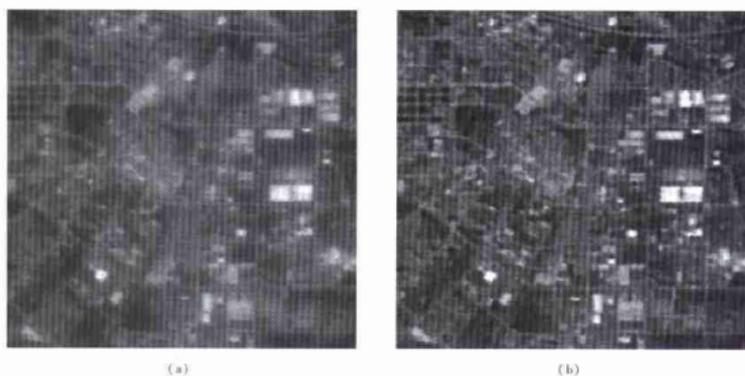


图 3 在大气订正中不考虑邻近像元影响与消除邻近像元影响的结果比较
 (a) 未考虑邻近像元影响的大气订正结果; (b) 考虑邻近像元影响的大气订正结果
 Fig.3 Comparison of results between neglecting and correction adjacency effect
 (a) Image without adjacency correction; (b) Image after adjacency correction



图 4 消除邻近像元影响后的合成彩色图
 Fig.4 Color image after adjacency correction

相机对安徽淮北及周边地区成像数据的彩色合成图,由安徽气象局提供的当天过顶时间的能见度约为 13km,使用敦煌校正场辐射定标结果,考虑了 5 个临近像元的边缘效应,大气订正后的图像见

图 5(b),从图中可以看到,机场的边缘变得清晰,细节部分更加突出,图像质量有明显改善。

图 6(a)是 2005 年 11 月 30 日 CBERS-02 CCD 对安徽淮南及周边地区成像数据的 1,2,3 波段的彩

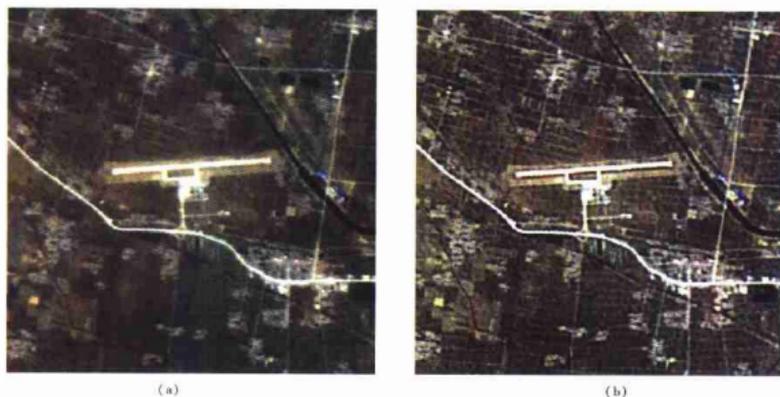


图 5 2005 年 11 月 7 日安徽淮北及周边地区 CCD 图像大气订正效果比较
(a) 1,2,3 波段原始图像彩色合成; (b) 大气订正后 1,2,3 波段的彩色合成图

Fig. 5 Results comparison for atmospheric correction, CCD image on November 7, 2005 in Huabei, Anhui
(a) RGB composition of image (band 1, band 2, band 3) before atmospheric correction;
(b) RGB composition of image (band 1, band 2, band 3) after atmospheric correction

色合成图。当天过顶时间的能见度约为 25km, 使用中国资源卫星应用中心提供的与 SPOT 交叉定标获得的绝对辐射定标系数, 波段 1 (0.91575, 8.67212)、波段 2 (1.45611, 29.0688)、波段 3

(0.80288, 22.38898), 并考虑 5 个邻近像元的边缘效应, 大气订正后的图像见图 6(b)。可见, 订正后图像中的河流更加清晰, 图像也有较大的改善。



图 6 2005 年 11 月 30 日安徽淮南及周边地区 CCD 图像大气订正效果比较
(a) 1,2,3 波段原始图像彩色合成; (b) 大气订正后 1,2,3 波段彩色合成图

Fig. 6 Results comparison for atmospheric correction, CCD image on November 30, 2005 in Huainan, Anhui
(a) RGB composition of CCD image (band 1, band 2, band 3) before atmospheric correction;
(b) RGB composition of CCD image (band 1, band 2, band 3) after atmospheric correction

4 结 论

大气订正是遥感信息定量化过程的一个重要环节,面对多种大气订正方法^[6,7],本文选取了基于遥感器辐射定标参数和大气辐射传输计算的方法对 CBERS-02 卫星 CCD 图像进行了大气订正,消除了遥感图像中的非目标地物成像信息,取得了一定的效果;在此基础上又考虑了目标所在背景的贡献,消除邻近像元的交叉辐射影响,从而更好地还原了地表的真实面目。

用 6S 大气辐射传输模型计算大气影响时,输入的大气参量如气溶胶模式、大气模式等都是对 CCD 相机过顶时大气状况的假设与近似,与实际的大气状况存在差距,必定会给大气校正带来一定误差。因此,为了提高大气订正和地面反射率的反演精度,可以对大气分子、水汽、气溶胶等大气成分进行精确测量和计算,建立起更符合某一地区实际大气状况的大气—地表系统。

参 考 文 献 (References)

- [1] Richter R. Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery. atcor4 user guided, version 3.1[M]. 2004.
- [2] Asrar G. Theory and Applications of Optical Remote Sensing [M]. J. Wiley, New York, 1989.
- [3] Vermote E, Tanre D, Deuze J L, *et al.* Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S). 6S User Guide Version 2[M]. 1997.
- [4] Richter R. Correction of Atmospheric and Topographic Effects for High Spatial Resolution Satellite Imagery[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1997, **18**:1099—1111.
- [5] Kaufman Y J. Atmospheric Effect on Spatial Resolution of Surface Imagery[J]. *Appl. Opt.*, 1984, **23**:3400—3408.
- [6] Qi X Y, Tian Q J. The Advances in the Study of Atmospheric Correction for Optical Remote Sensing[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2005, (4): 1—6. [亓雪勇,田庆久. 光学遥感大气校正研究进展[J]. 国土资源遥感, 2005, (4):1—6.]
- [7] Liang S L, Fang H L, Chenet M Z. Atmospheric Correction of Landsat ETM + Land Surface Imagery—Part I: Methods[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, **39**(11): 2490—2498.