

doi: 10.3788/lop47.040101

中巴地球资源 02 星 CCD 图像的大气校正研究

陈浩¹ 李健² 麻金继¹

(¹安徽师范大学物理与电子信息学院, 安徽 芜湖 241000; ²安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要 利用 LANDSAT-5 的专题制图仪(TM)对中巴地球资源卫星(CBERS)-02 的 CCD1~4 波段进行交叉定标, 得到了 CCD1~4 波段的参考定标系数。利用该定标系数并应用气象数据和 ATCOR3 软件对 CBERS-02 的 CCD 数据进行大气校正; 对比大气修正前后图像的清晰度和归一化的植被指数。结果表明, 大气校正增强了图像的对比度, 归一化植被指数(NDVI)的均值明显提高, 增大了高植被覆盖区与低植被覆盖区 NDVI 的差别, 植被信息更加突出。对于山区崎岖地表状况下, 大气校正后, 山体的棱角分明, 轮廓清晰可见, 还原了下垫面的原貌, 有利于遥感信息的提取。

关键词 大气光学; 遥感; 大气校正; ATCOR3; CBERS-02; 交叉定标

中图分类号 TP732 OCIS 010.1285 010.0280 文献标识码 A

Atmospheric Correction of CBERS-02's CCD Image

Chen Hao¹ Li Jian² Ma Jinji¹

(¹College of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)
(²College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract A group of reference calibration coefficients for China-Brazil earth resource satellite(CBERS)-02's CCD data were attained by cross calibration method using LANDSAT-5's TM data. A method based on meteorological information and ATCOR3 was used in the atmospheric correction of CBERS-02's CCD four bands. The definition of image and normalized difference vegetation index (NDVI) before correction were compared with them after correction. The result shows that after atmospheric correction the image contrast is enhanced, the mean of NDVI is obviously improved and the difference of NDVI between vegetation and nonvegetation is increased. When the underlying surface is rugged terrain, the corner angle of mountain is distinct, the profile is clear and the original shape is recovered, which benefits the extract of remote sensing information.

Key words atmospheric optics; remote sensing; atmospheric correction; ATCOR3; CBERS-02; cross calibration

1 引言

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改变^[1]。因此遥感器获取的遥感信息中带有一定的非目标物的成像信息, 极大地影响了遥感信息的提取和参数反演的精度。随着多传感器、多时相遥感数据的发展以及利用其进行检测和分析土地资源、环境等的需要, 定量遥感技术发展迅速, 精确的大气校正日显重要^[2]。

中巴地球资源卫星(CBERS)-02 上有 3 个传感器: CCD 摄像机、红外多光谱扫描仪(IRMS)、宽视场相

收稿日期: 2009-08-13; 收到修改稿日期: 2009-11-18

基金项目: 国家自然科学基金(40701132)、安徽省自然科学基金(070412042)、安徽师范大学博士启动基金联合资助课题。

作者简介: 陈浩(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事大气校正方面的研究。E-mail: chenyyan@sina.com

导师简介: 麻金继(1975—), 男, 博士, 副教授, 主要从事光学遥感和遥感信息量化等方面的研究。

E-mail: jinji_ma@yahoo.com.cn (通信联系人)

机(WFI)。其中 CCD 相机在星下点的空间分辨率为 19.5 m, 扫描幅宽为 113 km, 在可见、近红外光谱范围内有 4 个波段和 1 个全色波段, 具有侧视功能, 侧视范围为 $\pm 32^\circ$, 因此 CCD 相机的应用更为普遍。本文利用 LANDSAT-5 的专题制图仪(TM)对 CBERS-02 的 CCD1~4 波段进行交叉定标, 得到了 CCD1~4 波段的参考定标系数, 利用该定标系数并应用气象数据和 ATCOR3 软件对 CBERS-02 的 CCD 数据进行了大气校正。

2 CCD 与 TM 的交叉定标

中巴地球资源卫星的 CCD 相机, 目前主要是利用我国的敦煌定标场的单点场地定标法来完成定标^[3,4]。场地定标法由于需要大量的同步测量数据, 每次测量所需的人力、仪器及资金的投入都很高, 因此它所提供的数据非常有限, 另外场地定标法不能对历史数据做定标^[5]。为了用更加简易的方法给 CBERS 提供稳定的定标参数, 本文使用 LANDSAT-5 的 TM 对 CBERS-02 的 CCD 传感器进行交叉定标。交叉定标是一种替代定标法, 利用定标精度较高的卫星遥感器来对精度较差的遥感器进行标定^[6]。不同平台遥感器交叉相对定标的关键是两种卫星遥感器观测资料的匹配, 除了观测时间和观测目标必须同步外, 由于两种仪器在观测视场、扫描方式及观测几何、仪器光谱响应等方面都可能存在差别, 因此需要对观测资料进行仔细的匹配和校正处理, 以获得尽可能高的交叉定标精度。LANDSAT 系列卫星在仪器研制和后续应用中, 非常重视仪器辐射定标精度的保持和逐步提高。对比分析 CBERS-02 的 CCD 和 LANDSAT-5 的 TM 的各光谱波段参数, 可以发现这两个传感器的 1~4 波段位置非常接近, 如表 1 所示。量化等级都是 8 位, 空间分辨率接近, 是进行对比分析和交叉定标的最佳选择^[7]。

表 1 CBERS-02 的 CCD 和 LANDSAT-5 的 TM 对应波段的光谱带宽
Table 1 Bandwidth of CBERS-02's CCD and LANDSAT-5's TM (Wavelength $\lambda / \mu\text{m}$)

Sensor	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5
CBERS-02 CCD	0.45~0.52	0.52~0.59	0.63~0.69	0.76~0.89	0.51~0.73
LANDSAT-5 TM	0.45~0.52	0.52~0.60	0.63~0.69	0.76~0.90	1.55~1.75

实验中选择 2007 年 7 月 27 日安徽铜陵地区的一景 CCD 数据和 2007 年 7 月 26 日与之空间上基本一致的 LANDSAT-5 的 TM 数据进行交叉定标研究。由于这两景数据在时相上仅相差一天, 过境时间几乎一致, 且传感器成像时天空晴朗无云, 因此地面目标应该是一致的, 完全可以用于对比分析。观察这两景图像 1~4 波段的计数值分布直方图发现, 各波段的大致分布趋势一致。

首先在 LANDSAT-5 的 TM 和 CBERS-02 的 CCD 两种数据中选择相同的区域, 以 LANDSAT-5 的 TM 数据为基准, 对两幅图像进行几何配准。用最邻近插值法, 将 LANDSAT-5 的 TM 数据的空间分辨率由 30 m 采样到和 CBERS-02 的 CCD 一致的 19.5 m 的水平。最后分别在 LANDSAT-5 的 TM 和 CBERS-02 的 CCD 对应像元位置选择不同等级计数值的多个均匀区域(多于 50 pixel, 均方根差小于 3)^[7], 应用最小二乘法, 计算得到 LANDSAT-5 的 TM 和 CBERS-02 的 CCD 的前 4 个波段计数值($D_{\text{TM}x}$, $D_{\text{CCD}x}$, $x=1, 2, 3, 4$)之间的一元线性回归方程

$$D_{\text{TM1}} = 1.3845D_{\text{CCD1}} + 11.7972, \quad D_{\text{TM2}} = 0.5181D_{\text{CCD2}} + 7.5691, \quad (1)$$

$$D_{\text{TM3}} = 1.5024D_{\text{CCD3}} - 9.9626, \quad D_{\text{TM4}} = 0.7937D_{\text{CCD4}} - 6.2787. \quad (2)$$

表 2 LANDSAT-5 TM 1~4 波段辐亮度定标系数
Table 2 LANDSAT-5 TM band 1~4 radiance calibration coefficients ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

	TM1	TM2	TM3	TM4
Gain	0.0800	0.1480	0.1150	0.0885
Bias	-0.0331	-0.1300	-0.2897	-0.2942

在 ATCOR3 软件的定标文件中可以查到 LANDSAT-5 的 TM 的辐亮度定标系数, 如表 2 所示。将 TM 的 1~4 波段的辐亮度定标系数分别代入(1)~(4)式即可得到 CBERS-02 的 CCD1~4 波段的辐亮度定

标系数^[7,8]，如表 3 所示。

表 3 CBERS-02 CCD 1~4 波段辐亮度定标系数
Table 3 CBERS-02 CCD band 1~4 radiance calibration coefficients ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

	CCD1	CCD2	CCD3	CCD4
Gain	0.11076	0.07668	0.17278	0.07024
Bias	0.91068	0.99023	-1.43540	-0.84986

为了验证得到的 CCD 辐亮度定标系数的正确性，在 LANDSAT-5 的 TM 和 CBERS-02 的 CCD1~4 各对应波段的几种典型地物随机选取 5 个同名点，分别计算反射率，如表 4 所示。从表 4 可以发现，CCD1, 2, 3 波段的定标结果好于 CCD4 波段，这一交叉定标结果比较好，可以在 ATCOR3 中使用。

表 4 CBERS-02 的 CCD 1~4 波段交叉定标验证结果
Table 4 The validation to CBERS-02 CCD band1~4 cross calibration

	1	2	3	4	5	Max error	Min error	Mean error
CCD1	0.1826	0.1340	0.1461	0.1441	0.1340	0.0183	0.0033	0.0094
TM1	0.1696	0.1523	0.1494	0.1393	0.1263	0.0247	0.0002	0.0112
CCD2	0.2136	0.1378	0.1529	0.1348	0.1332	0.0295	0.0050	0.0112
TM2	0.1889	0.1546	0.1603	0.1346	0.1260	0.0531	0.0066	0.0255
CCD3	0.2389	0.1090	0.1484	0.1169	0.1051			
TM3	0.2094	0.1288	0.1573	0.1105	0.1001			
CCD4	0.1832	0.4479	0.2900	0.1089	0.2784			
TM4	0.1301	0.4697	0.3267	0.1182	0.2850			

3 基于 ATCOR3 的大气校正

大气校正模型 ATCOR 是由德国 Wessling 光电研究所的 Rudolf Richter 于 1990 年研究提出的一种快速大气校正算法，并且经过大量的验证和评估^[9,10]。ATCOR 模型有两种模式，一种是适用于卫星图像的模式，包括 1996 年提出的用于平坦地面的 ATCOR2 模型和 1998 年提出的可以推广到山区崎岖地面的 ATCOR3 模型；另一种是适用于机载和航拍的 ATCOR4 模型。ATCOR 模型算法的核心部分是一个以 MODTRAN4 代码计算辐射传输方程的数据库，通过输入传感器几何条件、光谱特征及成像时的气溶胶等参数，通过插值法计算查找表，从而进行精确而快速的大气校正^[11]。ATCOR3 大气校正模型广泛应用在常用遥感软件中，能够处理的卫星数据有 ASTER, Hyperion, LANDSAT4-5, LANDSAT-7, Quickbird 和 spot 等，但 ATCOR3 中没有 CBERS 的 CCD 数据处理模块。通过先前进行的交叉定标试验，考虑修改 ATCOR3 模型中 LANDSAT4-5 TM 模块，完成对 CBERS-02 的 CCD 图像进行大气校正，校正流程如图 1 所示。

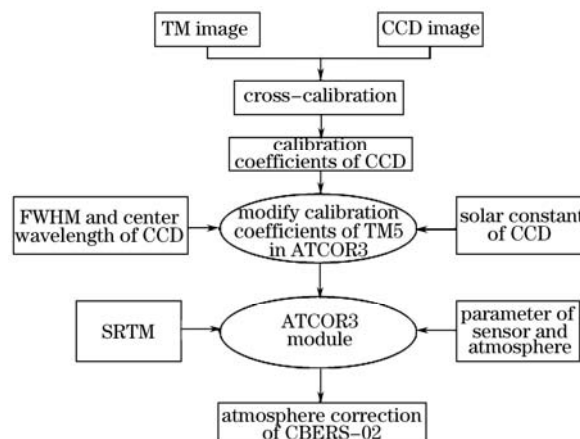


图1 利用 ATCOR3 对 CBERS-02 星 CCD 图像大气校正流程图
Fig.1 Flow chart about CBERS-02 CCD image atmospheric correction using ATCOR3

研究区域为安徽铜陵地区，所使用的数据分别为 2007 年 7 月 27 日的 CBERS-02 的 CCD 数据和 2007

年7月26日的LANDSAT-5的TM数据。根据中国资源卫星中心提供的中心波长、半峰全宽(FWHM)及太阳顶层的太阳辐照度,相应修改ATCOR模型中的文件;将ATCOR中提供的LANDSAT-5的TM传感器定标系数修改为交叉定标得到的CCD传感器定标系数;输入大气校正需要的其他参数,即可完成对CBERS-02星CCD图像的大气校正。

4 大气校正结果分析

校正前后CCD图像对比发现,经ATCOR3大气校正后,影像质量明显提高,消除了雾霾对数据的影响,增加了影像的对比度。校正后各波段影像的灰度值范围得到拉升,信息熵显著增大,大大提高了CBERS-02的CCD图像的质量。由于大气散射对可见光谱区的电磁波影响明显,瑞利散射强度与波长的4次方成反比,波长越短,散射越强。因此,CCD图像的第1波段受大气散射影响最为严重。大气校正前后CCD第1波段图像对比如图2所示。

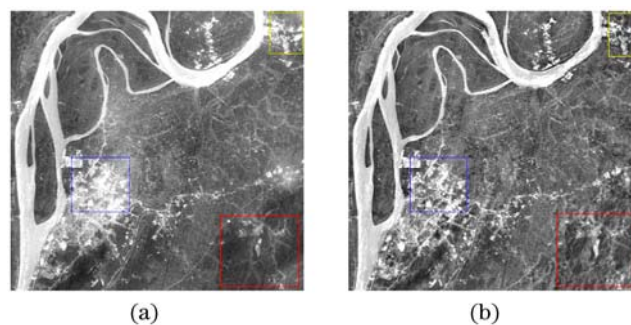


图2 ATCOR3校正前(a)后(b)CCD第1波段图像对比
Fig.2 CCD band1 imagery before (a) and after (b) ATCOR3 correction

通过对比发现:左侧方框区域,下垫面为铜陵市区,校正前图像受雾霾影响严重,不能辨别下垫面的地物特征,经ATCOR3大气校正后,对比度显著增加,可清楚分辨地物特征;右上角方框区域,大气校正后,有效地去除了雾霾的影响;右下角方框区域,下垫面为山地,校正前山体的轮廓不清,校正后的图像对比度明显增加,下垫面山地崎岖地形清晰可见,山体棱角分明,有效地去除了邻边效应的影响,增强了图像清晰度,还原了下垫面的原貌。

归一化植被指数(NDVI)反映了地表的生态环境^[12]。为了进一步分析校正效果,对校正前后的图像分别随机选取水体、山林、农田、城市4种典型地物,提取NDVI进行分析比较,如表5所示。可以发现,校正前水体的NDVI值为正值,这不符合实际情况,经ATCOR3校正后,水体NDVI值为负值。农田和山林等高植被覆盖区,大气校正后NDVI值增大,城市和水体等低植被覆盖区,大气校正后NDVI值减小。说明大气校正能够增大高植被覆盖区与低植被覆盖区NDVI的差别,使植被信息更加突出。

表5 不同地物在校正前后比较
Table 5 Comparison of different targets NDVI before and after atmospheric correction

	Water		Forest		Cropland		Urban	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
CCD3	61	89	35	39	35	36	55	60
CCD4	75	68	177	199	220	249	137	143
NDVI	0.1029	-0.1186	0.6698	0.6723	0.7255	0.7474	0.4271	0.4089

5 结 论

利用LANDSAT-5的TM对CBERS-02的CCD1~4波段进行交叉定标,得到了CCD1~4波段的参考定标系数。利用该定标系数并应用气象数据和ATCOR3软件对CBERS-02的CCD数据进行大气校正;对比校正前后CCD第1波段图像及几种典型地物的NDVI值。比较发现,大气校正有效地去除了雾霾的影响,

尤其当下垫面为崎岖山地时, 校正后山体的轮廓清晰可见, 棱角分明; 大气校正能够增大高植被覆盖区与低植被覆盖区 NDVI 的差别, 使植被信息更加突出。因此, ATCOR3 模型对 CBERS-02 星 CCD 图像大气校正, 具有较高的应用价值。

参 考 文 献

- 1 Yi Weining, He Chaolan, Qiao Yanli *et al.*. Atmospheric correction of CBERS-02 CCD image[J]. *J. Remote Sensing*, 2006, **10**(5): 703~708
易维宁, 何超兰, 乔延利 等. CBERS-02卫星CCD图像的大气订正[J]. 遥感学报, 2006, **10**(5): 703~708
- 2 Chen Lei, Deng Ruru, Ke Ruipeng *et al.*. The atmospheric correction of TM imagery based on ground coupling—taking the Pearl River estuary as an example[J]. *Geography Geo-Inf. Sci.*, 2004, **20**(2): 34~37
陈 蕾, 邓孺孺, 柯锐鹏 等. 基于地面耦合的TM影像的大气校正-以珠江口为例[J]. 地理与地理信息科学, 2004, **20**(2): 34~37
- 3 Fu Qiaoyan, Min Xiangjun, Li Xingchao *et al.*. In-flight absolute calibration of the CBERS02 CCD sensor at the Dunhuang test site[J]. *J. Remote Sensing*, 2006, **10**(4): 433~439
傅俏燕, 闵祥军, 李杏朝 等. 敦煌场地CBERS02卫星CCD传感器在轨绝对辐射定标研究[J]. 遥感学报, 2006, **10**(4): 433~439
- 4 Zhang Dongying, Qiao Yanli, Yi Weining *et al.*. The radianee-based method research of experimentation on radiometric calibration site-the comparison of synchronous obseving instrument[J]. *Optoelectronic Technol. Inf.*, 2002, **15**(3): 9~13
张冬英, 乔延利, 易维宁 等. 基于辐照度法的场地辐射校正试验研究-场地同步观测仪器的比较[J]. 光电子技术与信息, 2002, **15**(3): 9~13
- 5 Li Xiaoying, Gu Xingfa, Ming Xiangjun *et al.*. Radiometric cross-calibration of the CBERS-02 CCD camera with the TERRA MODIS[J]. *Sci. China, Ser. E*, 2005, **35**(supp): 41~58
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, 2005, **35**(增): 41~58
- 6 Zhang Yong, Gu Xingfa, Yu Tao *et al.*. Radiometric cross-calibration of CBERS-02 IRMSS thermal channel[J]. *J Infrared Millim. Waves*, 2006, **25**(4): 261~266
张 勇, 顾行发, 余 涛 等. 中巴地球资源卫星热红外通道的交叉辐射定标[J]. 红外与毫米波学报, 2006, **25**(4): 261~266
- 7 Yang Zhongdong, Gu Songyan, Qiu Hong *et al.*. CBERS-1's CCD image quality evaluating and cross calibrating study[J]. *J. Remote Sensing*, 2004, **8**(2): 113~119
杨忠东, 谷松岩, 邱 红 等. 中巴地球资源一号卫星CCD图像质量评价和交叉定标研究[J]. 遥感学报, 2004, **8**(2): 113~119
- 8 Peng Guangxiong, He Yuhua, Li Jing *et al.*. Study on CBERS-2's CCD image cross calibrati-on and atmospheric correction[J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2007, **26**(1):22~25
彭光雄, 何宇华, 李 京 等. 中巴地球资源02星CCD图像交叉定标与大气校正研究[J]. 红外与毫米波, 2007, **26**(1): 22~25
- 9 Wang Jian, Pan Jinghu, Wang Lihong. An introduction to a spatially-adaptive fast atmphe-ric correction for satellite remote sensing images[J]. *Remote Sensing Technol. Appl.*, 2002, **17**(4): 193~197
王 建, 潘竟虎, 王丽红. 基于遥感卫星图像的ATCOR2快速大气纠正模型及应用[J]. 遥感技术与应用, 2002, **17**(4): 193~197
- 10 Zhu Changming, Yang Liao, Chen Sheng *et al.*. Basing on ATCOR2 model achieved CBERS02 atmospheric correction[J]. *Remote Sensing Technol. Appl.*, 2008, **23**(5): 565~570
朱长明, 杨 辽, 陈 生 等. 基于ATCOR2模型的CBERS-02数据大气校正[J]. 遥感技术与应用, 2008, **23**(5): 565~570
- 11 Richter R. Atomspheric/Topographic Correction for Satellite Imagery[S]. ATCOR2/3 User Guide (Version 6.1)
- 12 Xun Shangpei, He Binfang, Liu Huimin. Analysis of the effects of three kinds of MODIS VI by atmspheric correction[J]. *J. Atmospheric Environ. Optics*, 2006, **1**(3): 202~209
荀尚培, 何彬方, 刘惠敏. 大气校正对几种MODIS植被指数影响的分析[J]. 大气与环境光学学报, 2006, **1**(3): 202~209