

引用格式:Liu Xiongfei, Wang Shixin, Zhou Yi, *et al.* Comparison of BJ-1 and HJ-1A/B NDVI Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(5): 904-909. [刘雄飞, 王世新, 周艺, 等. BJ-1 卫星与 HJ-1A/B 卫星 NDVI 产品比较研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(5): 904-909.]

BJ-1 卫星与 HJ-1A/B 卫星 NDVI 产品比较研究

刘雄飞^{1,2}, 王世新¹, 周艺¹, 阎福礼¹, 王峰¹, 王福涛¹

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: NDVI 对植被覆盖、土地利用和土地覆盖等具有很好的指示效果, 是一种重要的遥感数据产品。首先计算了 BJ-1 卫星不同积分时间数据和 HJ-1B 数据在不同处理程度的 NDVI, 然后通过相关性分析和残差分析方法衡量了 NDVI 之间的差距。研究表明: 总体上 BJ-1 卫星 NDVI 和 HJ-1B 卫星 NDVI 有很高的相关性。进一步研究发现选择 BJ-1 卫星中积分时间数据以及经过辐射校正处理可以更好地提高两者的相关性; 影像与地物数据的有效动态范围是影响其 NDVI 精度的主要因素。

关键词: NDVI 对比; BJ-1 卫星; HJ-1A/B 卫星

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)05-0904-06

1 引言

归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)应用广泛, 是一种重要的遥感数据产品。为了实现更好的分析、决策, 需要协同利用多种传感器建立长时间序列的 NDVI 数据集^[1-2]。由于不同传感器具有不同的成像方式、成像模式和定标精度, 因此有必要对比、分析和综合评价 NDVI 产品及其精度, 确定最佳的 NDVI 产品^[3]。针对国外 TM、MODIS、SPOT 和 AVHRR 等 NDVI 数据产品, 已经开展了大量的对比分析工作^[4-6], 极大地促进了不同卫星 NDVI 数据产品之间的有效互补。针对我国的多种卫星传感器而言, 如何有效评估和利用不同传感器、不同成像模式的卫星遥感数据, 建立多传感器互补的长时间序列 NDVI 产品数据集, 还存在较大空白。

BJ-1 和 HJ-1A/B 的目的是快速、实时捕捉环境和灾害事件信息, 及时掌握事件发展趋势^[7]。BJ-1 的 1、2、3 波段分别对应了 HJ-1A/B CCD 相机的 4、3、2 波段; 两卫星 CCD 相机空间分辨率、时间分辨率相近; BJ-1 具有侧摆能力, 同时其影像幅宽更

大^[8], 所以 BJ-1 具有机动性强、更大面积观测的优势, 可以对 HJ-1A/B 进行很好的补充。同时 BJ-1 可以实现在可变积分时间下采集数据, 从而需要确定适当的积分时间。

因此, 本文分析了 BJ-1 和 HJ-1B 相同地物目标的光谱差异, 利用相关分析和残差分析方法, 对比分析了不同积分时间模式的 BJ-1 NDVI 产品精度。这将为建立多传感器互补的长时间序列 NDVI 数据集提供有益的借鉴。

2 数据源和研究区

影像为 2012 年 5 月 2 日由 HJ-1B—CCD2 获取, 太阳高度角为 60.428° , 位于山东省临朐县附近(中心坐标: $36^{\circ}27'20''\text{N}$, $118^{\circ}29'30''\text{E}$)。影像中包含了农田、森林、城镇和水体 4 种典型地物类型。图 1 为实验区 HJ-1B 影像 4、3、2 波段假彩色合成图像。

采用遥感图像模拟技术模拟了 BJ-1 短积分时间(1 000 us)、中积分时间(2 000 us)和长积分时间(4 000 us)3 种数据。模拟采用的是“图一图”模拟技术^[9], 实现了光谱能量重新分配的过程。这种方

收稿日期: 2012-08-22; 修订日期: 2012-11-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目“遥感小卫星智能观测技术与应用示范”(2011BAH23B03)资助, 农业科技成果转化资金项目“耕地撂荒状况遥感监测技术与应用”(SQ2011EC4910019)。

作者简介: 刘雄飞(1988—), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事灾害与环境遥感研究。E-mail: liuxiongfei12@gmail.com。

通讯作者: 王世新(1965—), 男, 山东菏泽人, 研究员, 主要从事遥感应用方面的研究。E-mail: wsx@irsa.ac.cn。

法已经广泛应用于利用已有的传感器影像模拟未知卫星影像。首先利用地表覆盖分类数据、光谱库数据和光谱响应函数,模拟地物光谱;利用大气辐射传输模型模拟表观反射率数据;利用 BJ-1 卫星不同时相的多模态(不同曝光量)数据,确定了不同积分时间的多曝光量光谱响应规律;模拟了不同曝光量参数的多光谱图像。

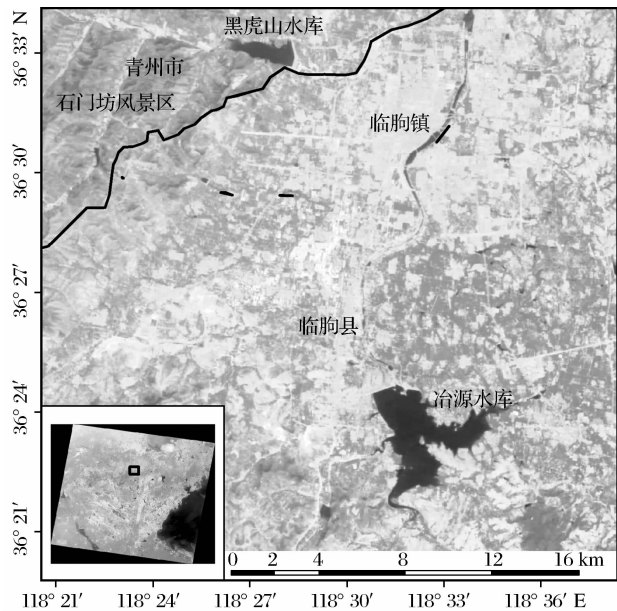


图1 研究区 HJ-1B 假彩色影像

Fig. 1 HJ-1B pseudo-color image of study area

3 技术方法

3.1 NDVI

NDVI 指数对植被长势、土地利用和土地覆盖有较好的指示作用。NDVI 计算公式为(1)。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

其中: ρ_{NIR} 为近红外波段下的地表真实反射率, ρ_R 为红波段下的地表真实反射率。

3.2 表观反射率

为了计算大气外的表观反射率,需要进行辐射定标。从头文件获取辐射定标系数 Gain 和 Bias,根据式(2)计算辐亮度 L_λ 。

$$L_\lambda = DN / \text{Gain} + \text{Bias} \quad (2)$$

其中:DN 为原始图像的灰度值。

通过辐亮度 L_λ 来计算表观反射率 ρ_{TOA} ,计算公式为(3)。

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{SUN} \cdot \cos \theta_z} \quad (3)$$

其中: ρ_{TOA} 为大气层顶表观反射率, L_λ 为进入传感

器的辐亮度, E_{SUN} 为大气层顶太阳辐射亮度, θ_z 为太阳天顶角, d 为日地距离,以天文距离为单位,可以通过式(4) 计算。

$$d = 1 + 0.0167 \sin[2\pi(D - 93.5)/365] \quad (4)$$

其中: D 为数据获取日期距离当年 1 月 1 日的天数。

3.3 暗像元法大气校正

大气校正方法中的黑暗像元法简单易行,校正精度能够满足一般研究,实用性很强。

黑暗像元法认为待校正的影像上存在黑暗像元,由于大气程辐射的影响,使得这些像元的亮度值相对增加。将图像数值减掉程辐射造成的影响,最终得到地表真实反射率。计算公式为(5)。

$$\rho_g = \rho_{TOA} - \rho_{程} \quad (5)$$

其中: ρ_g 为地表真实反射率, $\rho_{程}$ 为黑暗像元的反射率,等同于大气程辐射增加的反射率。

黑暗像元的选取方法有多种,通常以深且清洁的水体像元、山体的阴影或者高密度的植被区域作为黑暗像元^[10]。实验最终选择实验区所在整体影像中存在的黄海海水作为黑暗像元。

3.4 相关系数

相关系数是衡量变量之间相关程度的指标。当 $|r| \leq 0.3$ 时,两个变量之间线性不相关;当 $|r| > 0.8$ 时,两个变量有着很强的线性相关。其计算公式如式(6) 所示。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})(H_i - \bar{H})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}} \quad (6)$$

其中: r 为 BJ-1 NDVI 和 HJ-1B NDVI 的相关系数, B_i, H_i 为 BJ-1 和 HJ-1B 的 NDVI 单个像元的数值, \bar{B}, \bar{H} 为 BJ-1 和 HJ-1B NDVI 的均值, N 为影像像元数目。

3.5 残差

生成了 HJ-1B 的 NDVI 以及 BJ-1 3 种积分时间下的 NDVI 后,通过式(7) 计算两者之间 NDVI 数据的残差。

$$\Delta NDVI = HJ - BJ \quad (7)$$

其中: $\Delta NDVI$ 为残差结果,HJ、BJ 分别为 HJ-1B 和 BJ-1 的 NDVI。

3.6 技术流程图

数据处理首先进行重采样与辐射校正,然后计算表观反射率和地表真实反射率,得到各种数据条件下相应的 NDVI。最终对 NDVI 进行相关性分析和残差分析。技术流程如图 2 所示。

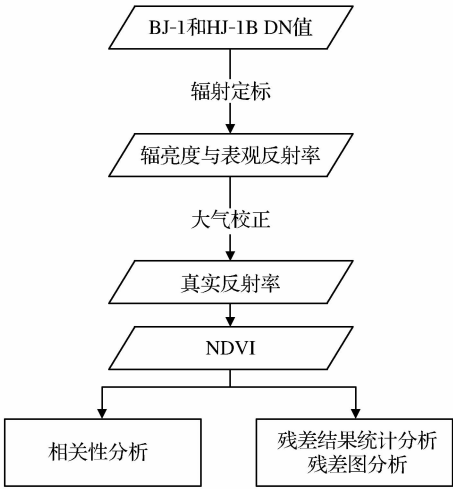


图 2 技术流程图
Fig. 2 Technical flow chart

4 对比分析

4.1 BJ-1 与 HJ-1B 典型地物数据对比

选取 BJ-1 3 种积分时间数据和 HJ-1B 数据下的典型地物(植被、城镇和水体),对比它们的 DN 值、辐亮度和地表真实反射率在绿、红和红外波段的数值,绘制折线图,如图 3。

由图 3 可以看出在 DN 值、辐亮度和地表真实反射率下,水体数据满足从绿波段到近红外波段逐渐下降的趋势;城镇区域数据在 3 个波段波动不大;植被数据均在红波段较低,在红外波段较高。

BJ-1 和 HJ-1B 数据 DN 值下的曲线相差较大,尤其是在城镇区域,从而导致直接利用 DN 值进行 NDVI 计算会产生较大的误差。这是由于两卫星传

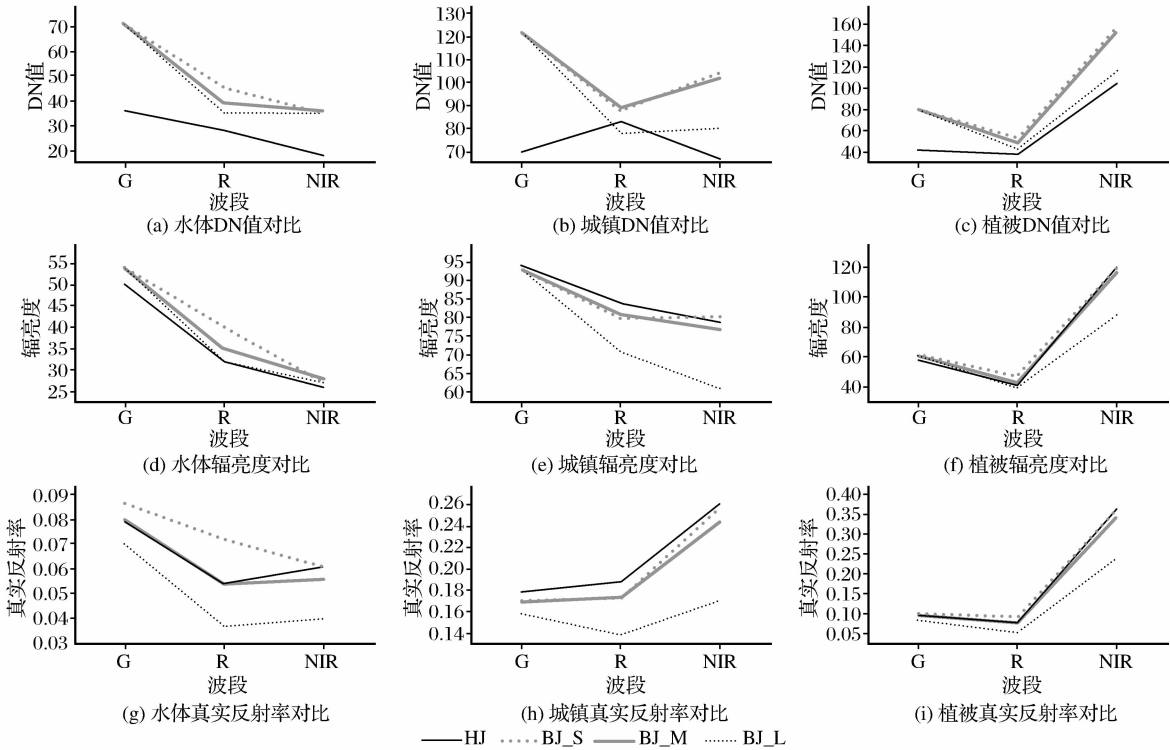


图 3 典型地物数据对比
Fig. 3 Data comparison of typical land cover

感器光谱响应函数不同,从而造成特征地物 DN 值相差较大。

经过辐射定标的处理减弱了不同传感器之间的差异,减小了 BJ-1 和 HJ-1B 的差距。所以经过辐射定标可以很好地降低 BJ-1 和 HJ-1B 数据之间的差距,从而为 NDVI 的计算奠定良好的基础。

BJ-1 和 HJ-1B 数据经过辐射定标后虽然差距减小,但仍然存在,尤其是 BJ-1 长积分时间数据和 HJ-1B 的差距最大。这是由于随着时间的推移,BJ-1 定

标数据精度降低,同时积分时间过长造成噪声增强,从而导致 BJ-1 长积分时间数据和 HJ-1B 数据相差较大。

4.2 BJ-1 和 HJ-1B NDVI 对比

4.2.1 NDVI 产品

影像上存在 4 种标志地物:水体、城镇、森林和农田,分布情况见图 1。图 4 为 HJ-1B 和 BJ-1 地表真实反射率下的 NDVI 图。由图 4 可以看出 4 种情况下各地物的 NDVI 满足常规的分布规律。水体区域 NDVI 最低,城镇区域稍高,农田和森林 NDVI

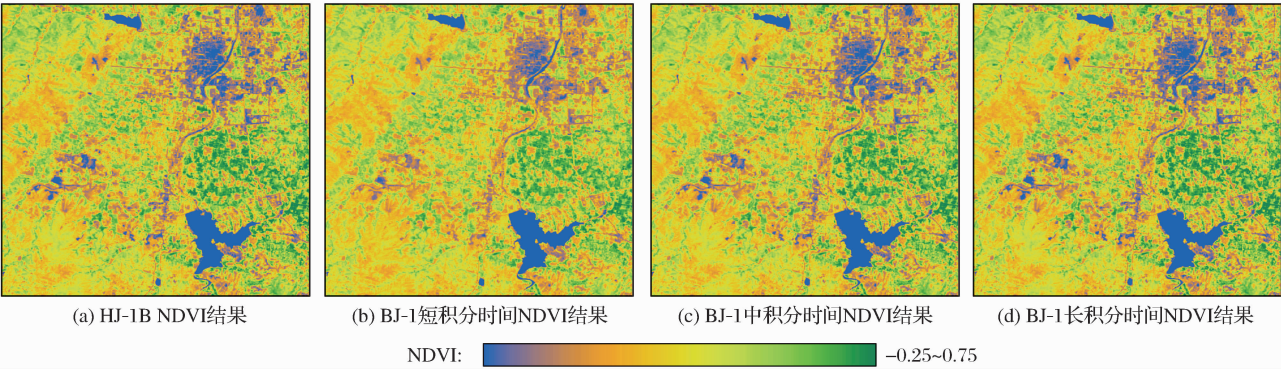


图 4 HJ-1B 和 BJ-1 NDVI 图

Fig. 4 NDVI images of HJ-1B and BJ-1

较高。同时由于影像采集时间为 5 月 2 日,森林没有完全生长,而同时期的农田中小麦生长旺盛,所以相对森林来说,农田的 NDVI 更高一些。

4.2.2 直方图分析

绘制地表真实反射率下 BJ-1 和 HJ-1B NDVI 的直方图,得到图 5。

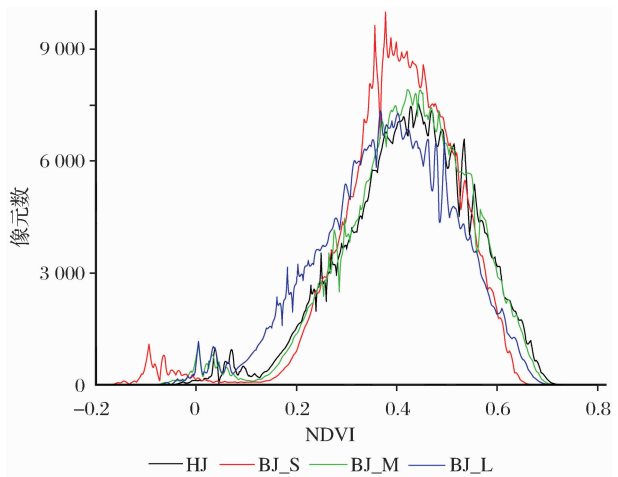


图 5 HJ-1B 和 BJ-1 的 NDVI 直方图

Fig. 5 NDVI histogram of BJ-1 and HJ-1B

BJ-1 中积分时间数据下的 NDVI 和 HJ-1B 数据下的 NDVI 最为接近;短积分时间数据下 NDVI 有着更高的峰值,在 NDVI 小于 0 的水体部分,也与 HJ-1B 相差很大;长积分时间数据下 NDVI 相对 HJ-1B 来说整体偏左。

4.2.3 相关性分析

计算 BJ-1 3 种积分时间数据 NDVI 和 HJ-1B NDVI 之间相关系数。相关系数的分布区间为 $[-1,1]$ 。 $r>0.8$,认为两者具有很高的正线性相关性。最终统计结果如表 1。

由表 1 可以看出,所有相关系数都在 0.97 以上,说明 BJ-1 3 种积分时间数据 NDVI 和 HJ-1B NDVI

有很高的线性相关。同时 BJ-1 3 种积分时间数据中,中积分时间的数据和 HJ-1B 相关系数高于其他两者。

表 1 BJ-1 和 HJ-1B NDVI 相关系数与残差统计结果

Table 1 Correlation coefficient and residual statistical results of BJ-1 and HJ-1B NDVI data

数据	积分时间	相关系数	平均数	方差
DN 值	S	0.981977	-0.108303	0.001611
	M	0.998841	-0.115953	0.000892
	L	0.997043	-0.058285	0.001430
辐亮度	S	0.982035	0.020242	0.000682
	M	0.998998	0.012180	0.000108
	L	0.998225	0.072323	0.000349
表观反射率	S	0.979901	0.017619	0.000564
	M	0.998814	0.010529	0.000080
	L	0.997739	0.064516	0.000230
地表真实反射率	S	0.999425	0.017413	0.000784
	M	0.998419	0.001325	0.000053
	L	0.975898	0.041832	0.000062

4.2.4 残差分析

计算 BJ-1 3 种积分时间数据 NDVI 和 HJ-1B NDVI 之间的残差,并统计均值和方差,结果如表 1。均值结果分布区间为 $[0,1]$ 。均值越接近 0,说明两幅图像越相似;均值越接近 1,说明两幅图像相差越大。方差越小说明结果浮动小,衡量结果更加可信。

比较表 1 NDVI 残差的均值和方差,得出经过辐射定标的 NDVI 残差明显小于 DN 值下 NDVI 的残差。同时地表真实反射率下的 NDVI 残差是 4 种数据中最小的,说明经过大气校正可以很好地减少 BJ-1 和 HJ-1B NDVI 之间的差距。

对比 BJ-1 3 种积分时间数据残差结果可以看出,当利用辐亮度、表观反射率和地表真实反射率的时候,中积分时间的效果都是最好的。

当传感器曝光量过高或者过低时,数字图像不能很好地利用 CCD 相机的动态范围,造成影像细节

部分信息丢失^[11]。同时积分时间长,噪声信息也随之增强,不利于 NDVI 的计算。通过 DN 值动态范

围和均值的比值来代表图像有效动态范围大小,并计算信噪比,得到表 2。

表 2 HJ-1B 与 BJ-1 数据有效动态范围及信噪比对比
Table 2 Contrast of HJ-1B and BJ-1 effective data range and SNR

		HJ-1B	BJ-1 S	BJ-1 M	BJ-1 L
有效动态范围	R	2.316176	1.510736	1.848326	1.776386
	NIR	1.315789	1.204283	1.180135	1.055195
	总和	3.631966	2.715020	3.028461	2.831581
信噪比	R	15.51123	21.04321	18.65969	17.94841
	NIR	21.02915	27.07825	27.04194	25.24176

由表 2 可以看出, BJ-1 中积分时间数据的动态范围总和最为理想,同时积分时间适中也使得信噪比合理。所以 BJ-1 中积分时间 NDVI 与 HJ-1B NDVI 的相关系数以及残差统计结果较佳。这说明对于 NDVI 质量,有效动态范围是最主要的决定因素,有效动态范围越大,影像质量越好。同时信噪比也起到了一定的作用,信噪比越高,影像质量越高。

选取 BJ-1 中积分时间和 HJ-1B 地表真实反射率下的 NDVI 计算残差,得到图 6。

造成这种结果的原因在于两卫星光谱响应函数不同,从而导致在相同成像条件下,地物成像结果差距较大。计算 HJ-1B 与 BJ-1 中积分时间 3 种地物 DN 值的有效动态范围,然后计算 BJ-1 与 HJ-1B 的比值,得到表 3。由表 3 可以看出,与 HJ-1B 相比, BJ-1 中积分时间数据水体、城镇与植被 3 种典型地物的红波段与近红外波段有效动态范围均有不同程度的压缩,所以不同地物具有不同的残差大小。水体有效动态范围较小,促使水体的 NDVI 残差结果较大。

表 3 不同地物的有效动态范围对比
Table 3 Comparison of different land covers' effective data range

		水体	城镇	植被
有效动态范围比	R	0.673221	0.855357	0.755033
	NIR	0.670862	0.887483	0.901837

5 结 语

本文对 BJ-1 3 种积分时间数据 NDVI 和 HJ-1B NDVI 利用相关性分析和残差分析进行了对比。两卫星原始数据相差较大,经过辐射定标,可以很大程度上减少数据之间的差距。由于 BJ-1 中积分时间数据有效动态范围以及信噪比等因素较好,所以其 NDVI 是 3 种积分时间 NDVI 中与 HJ-1 最为相近的。BJ-1 和 HJ-1B NDVI 残差大小与地物类型有较强的关联,这与不同地物数据的有效动态范围有关。

通过确定 BJ-1 和 HJ-1B 数据的相关性,可以更好地实现两者的相互补充,同时为建立多传感器互补的长时间序列 NDVI 数据集提供借鉴。下一步需要对积分时间进行细化研究,选取最优积分时间;对 NDVI 影响因素进行进一步的深入研究,并给出拟合方法;同时还需要对中国其他遥感传感器进行更广泛的对比。

参考文献(References):

[1] Brian D W, Stephen L E. Large-area Crop Mapping Using

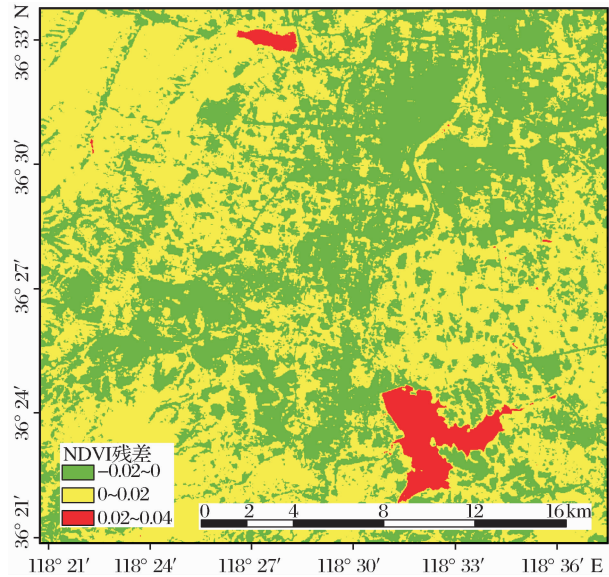


图 6 HJ-1B 与 BJ-1 中积分时间 NDVI 残差图
Fig.6 NDVI residual image of HJ-1B and BJ-1 middle-exposure time data

由图 6 可以看出 BJ-1 NDVI 和 HJ-1B NDVI 相差不大。最小值为-0.02,最大值为 0.04,大部分数据分布区间为-0.02~0.02。

NDVI 残差大小和地物类型有较强的关联。以 HJ-1B NDVI 作为基准,城镇区域 BJ-1 NDVI 较大;植被区域 BJ-1 NDVI 较小;水体区域 BJ-1 NDVI 较小,并且差距相对较大。

- Time-series MODIS 250m NDVI Data: An Assessment for the U. S. Central Great Plains[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(3): 1096-1116.
- [2] Miao Zhenghong, Liu Zhiming, Wang Zongming, *et al.* Dynamic Monitoring of Vegetation Fraction Change in Jilin Province based on MODIS NDVI[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(3): 387-393. [苗正红, 刘志明, 王宗明, 等. 基于 MODIS NDVI 的吉林省植被覆盖度动态遥感监测[J]. *遥感技术和应用*, 2010, 25(3): 387-393.]
- [3] Buheasier, Tsuchiya K, Kaneko M. Comparison of Image Data Acquired with AVHRR, MODIS, ETM+ and ASTER over Hokkaido, Japan[J]. *Advances in Space Research*, 2003, 32(11): 2211-2216.
- [4] Song Y, Ma M G, Veroustraete V. Comparison and Conversion of AVHRR GIMMS and SPOT Vegetation NDVI Data in China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(9): 2377-2392.
- [5] Bryant R, Moran S M, McElroy A S, *et al.* Data Continuity of Earth Observing 1(EO-1) Advanced Land Imager(ALI) and Landsat TM and ETM+[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(6): 1204-1214.
- [6] Wang Zhengxing, Ke Linghong, Deng Fangping. Doubling MODIS-NDVI Temporal Resolution: From 16-Day to 8-Day[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(4): 437-443. [王正兴, 柯灵红, 邓芳萍. MODIS-NDVI 时间分辨率加倍算法: 从 16-Day 到 8-Day[J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(4): 437-443.]
- [7] Li Chuanrong, Jia Yuanyuan, Hu Jian, *et al.* An Analysis of the Prospects of HJ-1 Optical Satellites in Remote Sensing Application[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2008, 77(3): 1-3. [李传荣, 贾媛媛, 胡坚, 等. HJ-1 光学卫星遥感应用前景分析[J]. *国土资源遥感*, 2008, 77(3): 1-3.]
- [8] Tong Qingxi, Wei Zheng. Beijing-1 Micro-satellite and Its Data Application[J]. *Spacecraft Engineering*, 2007, 16(2): 1-5. [童庆禧, 卫征. 北京一号小卫星及数据应用[J]. *航天器工程*, 2007, 16(2): 1-5.]
- [9] Ye Zetian, Gu Xingfa. Simulation of Remote Sensing Images based on MIVIS Data[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2000, 29(3): 235-239. [叶泽田, 顾行发. 利用 MIVIS 数据进行遥感图像模拟的研究[J]. *测绘学报*, 2000, 29(3): 235-239.]
- [10] Pat S C. An Improved Dark-object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24(3): 459-479.
- [11] Ran Qiong. Study on Key Issues in Pre-processing of Beijing-1 Small Satellite Images[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2009. [冉琼. “北京一号”小卫星地面预处理关键技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.]

Comparison of BJ-1 and HJ-1A/B NDVI Data

Liu Xiongfei^{1,2}, Wang Shixin¹, Zhou Yi¹, Yan Fuli¹, Wang Feng¹, Wang Futao²

(1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: NDVI is a good indicator of vegetation cover, land use, and land cover, and it's an important product of remote sensing data. In order to achieve better results, multiple sensors are often used to establish long time-series NDVI data sets. So comparing these sensors' data and finding out the best way to use them, which are really important. In China, BJ-1 and HJ-1B are widely used in monitoring the environment and disaster events. In this paper, BJ-1 data, which contains three different exposure time data, was simulated from HJ-1B data. NDVI was generated from these original data. Then the difference between NDVI was measured by correlation analysis and residual analysis. The results show BJ-1 always has a good liner relation with HJ-1B, and the correlation can be improved by BJ-1 middle-exposure time data and processing through radiometric calibration. The effective data range of images and land covers is the main factor which affects NDVI accuracy.

Key words: NDVI contrast; BJ-1 satellite; HJ-1A/B satellite