

山地丘陵区遥感影像阴影检测与去除方法*

刘健 许章华 余坤勇 龚从宏 唐梦雅 谢婉君

(福建农林大学3S技术应用研究所,福州350002)

摘要:阴影是山地丘陵区遥感影像最为普遍的干扰因素,去除阴影有助于提高影像解译和地物识别的准确性和有效性。构建了阴影植被指数(SVI),并提出应用波段回归模型法实现HJ-1多光谱影像阴影的去除。将该方法应用于试验区HJ-1数据,结果表明:SVI可增大山地丘陵区水体、阴影区及明亮区之间的差异,利用阈值法可以实现影像阴影的有效检测;相关分析显示,各波段拟合模型 R^2 均在0.80以上;比较阴影去除前、后影像的统计指标说明,在植被最为敏感,即受阴影影响最为严重的近红外波段,随着阴影的去除,波段平均值有了较大幅度的增大;去阴影后影像的标准差均比原影像要小,尤其是在近红外波段。试验结果表明,SVI对山地丘陵区HJ-1影像阴影的检测效果较好,而波段回归模型法可以较为有效地实现阴影的去除。

关键词:山地丘陵区 多光谱影像 阴影检测 阴影植被指数 波段回归模型法

中图分类号: TP79; P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0238-04

Shadow Detection and Removal Method for Remote Sensing Image in Mountainous and Hilly Area

Liu Jian Xu Zhanghua Yu Kunyong Gong Conghong Tang Mengya Xie Wanjun

(Institute of Geomatics Application, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The shadow is the most common interference factor of remote sensing image in mountainous and hilly area, so shadow removal is helpful to the improvement of accuracy and effectiveness for image interpretation and feature recognition. Shaded vegetation index (SVI) was constructed, and the band regression model was built for the shadow removal. The proposed method was applied in HJ-1 multi-spectral image. The results showed that SVI could increase the differences among water, shaded area and bright area. The threshold method could be used to effectively detect the shadow in the image. The correlation analysis showed that R^2 of each band regression models was above 0.80. The comparison of image statistical indicators before and after the shadow removal indicated that, the band mean value increased significantly with the removal of shadow at the near-infrared band influenced by shadow and vegetations. The standard deviations of shadow-removal image were lower than those of the original image, especially at the near-infrared band. The testing results showed SVI had good detection effects for the shadow of HJ-1 image in mountainous and hilly area, and the band regression model method could effectively remove the shadow.

Key words: Mountainous and hilly area Multi-spectral image Shadow detection Shaded vegetation index Band regression model method

引言

图像阴影可以用来判定光源强度、位置以及山

体高度与形状,但阴影削弱了地物在传感器上的响应,严重干扰了目标地物的识别与解译^[1~2]。尤其是在山地丘陵区域,遥感影像中的阴影极为普

遍^[3]。虽然可以利用阈值法将影像分割为明亮区与阴影区后分别进行研究,但仍无法解决阴影区域信息丢失的问题。为此,开展影像阴影检测、去除与信息还原研究有重要意义。阴影检测是阴影去除的基础工作^[4]。当前遥感影像阴影检测的方法可分为两大类,即基于像元的方法和基于对象的方法^[5]。前者主要利用影像阴影的颜色、结构、轮廓等特性,不作假设来提取阴影;后者则是将阴影的性质与先验知识相结合,并以对象为单元的检测方法^[6]。传统的阴影去除方法包括利用直方图均衡^[7]、同态滤波^[8]、归一化处理^[9]等实现图像增强,但增强后的影像阴影仍较明显。近年来,许多新的影像阴影去除方法被提出^[10~13]。较之于城市建筑阴影,山地丘陵区影像的阴影更为复杂,寻找一种简捷、可靠的阴影检测与去除方法无疑可以为研究的进一步深入提供便利。Ono 等^[14]指出,NDVI、EVI 等植被指数的应用虽然广泛,但其对植被类型与质量的响应却十分微弱;卫星数据中不可避免存在阴影效应,而阴影校正工作十分困难,研究发现波段算术平均值归一化可以抑制阴影、地形及大气的的影响,依此原理构建了阴影指数 SI,并引入 NOAA、MODIS 等全球卫星数据对该指数进行验证。该方法的有效性虽然已经在某些数据上得到初步验证,但在中小尺度区域及其他中高空间分辨率数据的适用性仍有待研究。本文以山地丘陵区域的 HJ-1 多光谱影像为例,提出一种阴影检测与去除方法,该方法适用于多尺度区域及各种空间分辨率的卫星遥感数据。

1 遥感影像阴影检测与去除方法

1.1 基于阴影植被指数与阈值法的阴影检测

遥感影像阴影检测方法十分丰富,但相对繁琐。本文构建一个新的指数——阴影植被指数(Shaded vegetation index, SVI),并通过选择阈值实现阴影区域的检测。一般情况下,单纯利用归一化差值植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)等光谱特征容易混淆阴影与水体^[15~16],山地丘陵区典型地物的 NDVI 排序从小到大依次为:水体、阴影区域、明亮区域,其中水体和阴影区域存在交叉;多光谱影像的近红外波段所含信息量最为丰富,对绿色植被的类别差异最为敏感,而典型地物的近红外波段灰度由小到大为:水体、阴影区域、明亮区域。因而,SVI 可表达为

$$R_{SVI} = R_{NDVI} R_{NIR} = \frac{(R_{NIR} - R_R) R_{NIR}}{R_{NIR} + R_R} \quad (1)$$

式中 R_{SVI} ——阴影植被指数

R_{NDVI} ——归一化差值植被指数

R_{NIR} ——近红外波段灰度或反射率

R_R ——红光波段灰度或反射率

SVI 增强了水体、阴影区域、明亮区域三者间的差异。在此基础上,采用阈值法将影像水体、阴影区域、明亮区域区分开来,即实现了山地丘陵区遥感影像阴影的检测。

1.2 基于波段回归模型的阴影去除方法

理想状态下,若太阳入射角在地面上每一位置恒为 90°,卫星也不存在侧摆,那么同一山脊、山谷两侧林地条件、植被状况一致的若干个点的光谱值应当保持一致,卫星传感器获取的多光谱影像各波段灰度也基本相等。分析光谱特征可知,卫星获取的实际影像中,同一山脊、山谷两侧的相似属性位置的灰度存在较大差异;尤其在红外波段,阴影区域的灰度明显较明亮区域小。为此,可以通过构建明亮区域与阴影区域各波段的关系模型,将阴影区域波段灰度推算至无阴影状态;在此基础上,将去阴影后的区域影像与原明亮区域影像叠加,即得到了去除阴影后的遥感影像。模型表达式为

$$B_B = aB_S + b \quad (2)$$

式中 B_B ——明亮区域波段灰度

B_S ——阴影区域波段灰度

$a、b$ ——待定系数

2 阴影检测与去除方法应用

2.1 影像获取

由中国资源卫星应用中心获取一景 HJ-1 多光谱影像(编号:HJ-1A-CCD1-452-84-20120328-L20000739378);该影像覆盖福建省的大部区域,山地丘陵地形为影像主要特征。为提高试验效率,切割出一块像元数为 722 像素×422 像素的区域作为试验区,试验区位于我国南方重点林业县三明市将乐县。试验区影像如图 1 所示。

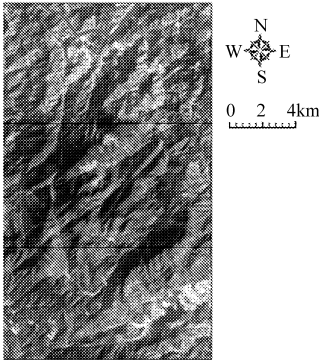


图 1 试验区 HJ-1 多光谱遥感影像

Fig. 1 HJ-1 multi-spectral remote sensing images of experimental area

2.2 阴影检测与影像分割

较之于 Landsat TM、ALOS 等影像,HJ-1 多光谱遥感影像所含光谱信息量较少,要实现山地丘陵区遥感影像阴影的检测,图像增强极为必要。利用新构建的 SVI,经光标查询及直方图法,确定阴影区域的 SVI 区间为(7.20,15.06),水体 $R_{SVI} \leq 7.20$,明亮区域 $R_{SVI} \geq 15.06$ 。依此,检测出试验区的阴影区域(图2),采用掩膜法分割出阴影区 HJ-1 多光谱影像。

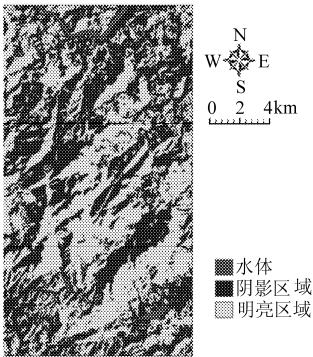


图2 试验区阴影检测结果
Fig.2 Shadow detection result of experimental area

2.3 阴影去除

选择同一山脊、山谷两侧相似属性位置 70 处,分别记录明亮区域、阴影区域 HJ-1 多光谱影像蓝、绿、红、近红 4 个波段的灰度,分别命名为波段 1、2、3、4,依据式(2),构建明亮区域-阴影区域波段回归模型,即

$$\begin{cases} B_{1B} = 0.869B_{1S} + 5.851 & (R^2 = 0.851) \\ B_{2B} = 0.797B_{2S} + 6.416 & (R^2 = 0.776) \\ B_{3B} = 0.908B_{3S} + 3.701 & (R^2 = 0.870) \\ B_{4B} = 0.301B_{4S} + 38.564 & (R^2 = 0.814) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $B_{1B} \sim B_{4B}$ 、 $B_{1S} \sim B_{4S}$ 分别为波段 1~4 明亮区域、阴影区域的波段灰度。选择 30 组模外数据,将其代入式(3),检验所建模型的预测精度,结果显示:HJ-1 多光谱影像波段 1~4 的预测精度分别为 0.977 3、0.961 9、0.966 0、0.941 4,由此可见,模型的预测效果较好。依此模型,在 ERDAS 建模平台下,分别实现阴影区影像 4 个波段灰度的重构,经波段组合、与非阴影区影像叠加后,得到去除阴影后的影像(图 3)。分析影像特征,可知波段灰度与色调的地形差异已得到极大缩小,接近于采用光谱辐射计实地测得的结果。

2.4 结果分析

从目视效果看,去阴影后的 HJ-1 多光谱影像色调反差较原影像减小,影像中阴影已得到较大程度去除。为进一步验证该阴影去除方法的有效性,

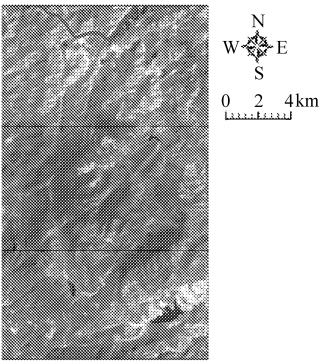


图3 去除阴影后的 HJ-1 多光谱影像
Fig.3 HJ-1 multi-spectral image after shadow removal

并判定去除阴影后的影像是否符合地面实际,本文对去阴影前、后的影像进行对比分析。

2.4.1 相关分析

随机选择 30 个阴影区域的坐标点,分别读取其在原影像与去阴影后影像各波段的灰度,对二者进行拟合分析。

由图 4 可见,各波段拟合模型 R^2 均在 0.89 以上,说明去除阴影后的光谱信息具有较高的可信度,与地面实际相符。

2.4.2 统计指标对比

从统计学角度分析阴影去除模型的优劣,可以用去阴影前、后影像的灰度平均值、标准差等反映。一般而言,去除阴影前、后影像每个波段的差异缩小,即阴影去除后波段的标准差应小于原影像的标准差^[17]。从表 1 可知,在植被最为敏感,即受阴影影响最为严重的近红外波段(波段 4),随着阴影的去除,波段平均值有了较大幅度的增大;对比原影像与去阴影后影像的标准差,可知后者均比前者要小,尤其是在近红外波段。由此说明,利用本文提出的波段回归模型,可以较为有效地实现山地丘陵区遥感影像阴影的去除。

表 1 原影像与去阴影后影像统计指标对比
Tab.1 Statistical indicators comparison between original image and shadow-removal image

波段	原影像		去阴影后影像	
	平均值	标准差	平均值	标准差
1	40.733	2.301	40.731	2.170
2	27.405	3.082	27.568	2.775
3	27.762	3.918	28.116	3.743
4	51.122	5.826	53.37	3.712

3 结束语

在分析影像光谱特征差异的基础上,构建了阴影植被指数 SVI,该指数可增大水体、阴影区及明亮

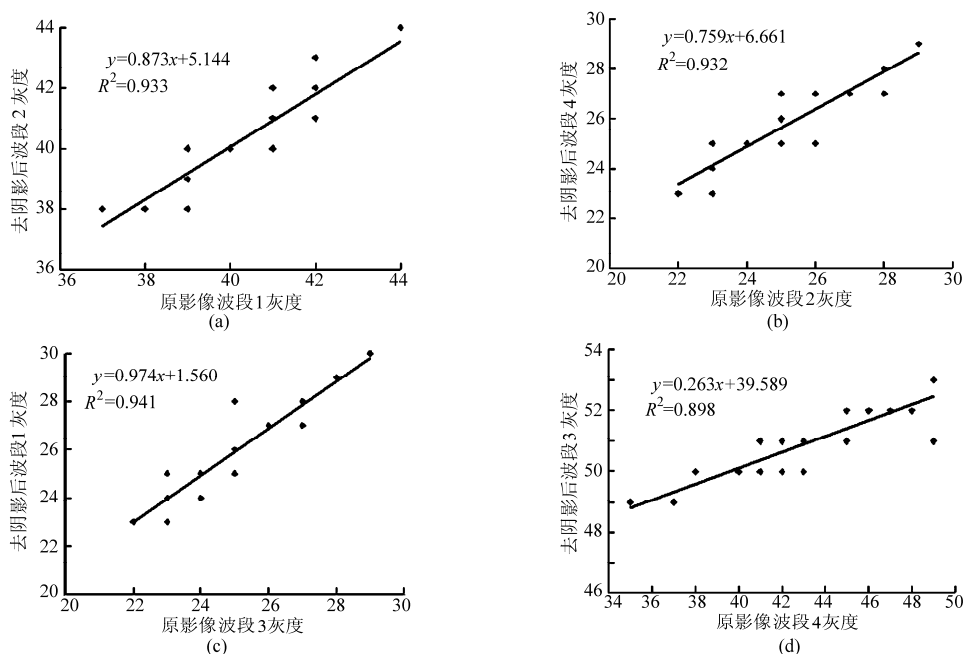


图 4 原影像各波段灰度与去阴影后灰度相关关系

Fig. 4 Correlation relationships between band grey values of original image and shadow-removal image

区之间的差异;利用阈值法可以实现影像阴影的有效检测。理论上,同一山脊、山谷两侧林地条件、植被状况一致的若干个点的光谱值应当保持一致,卫星传感器获取的多光谱影像各波段灰度也基本相等。基于此,本文利用波段回归法构建明亮区域-阴影区域波段回归模型,将阴影区域波段灰度推算至无阴影状态。经相关分析与统计指标对比,表明该方法可以较为有效地实现山地丘陵区遥感影像阴影的去除。

参 考 文 献

1 Wolter P T, Berkey E A, Peckham S D, et al. Exploiting tree shadows on snow for estimating forest basal area using Landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 69 ~ 79.

2 Liu J H, Fang T, Li D R. Shadow detection in remotely sensed images based on self-adaptive feature selection [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(12): 5 092 ~ 5 103.

3 Kane V R, Gillespie A R, McGaughey R, et al. Interpretation and topographic compensation of conifer canopy self-shadowing [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(10): 3 820 ~ 3 822.

4 Le H S, Andre C. Use of Markov random fields for automatic cloud/shadow detection on high resolution optical images [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(4): 351 ~ 366.

5 O'Neill E J, O'Neil P E, Weikum G. The LRU-K page replacement algorithm for database disk buffering [J]. SIGMOD Record, 1993, 22(2): 297 ~ 306.

6 鞠何其. 基于色彩空间变换的遥感影像阴影检测与去除技术 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.

7 司玉琴. 遥感影像预处理与地物提取方法研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2010.

8 Liviu V, Myler H R, Weeks A R. Practical considerations on color image enhancement using homomorphic filtering [J]. Journal of Electronic Imaging, 1997, 6(1): 108 ~ 113.

9 Zamudio J A, Atkison Jr W W. Analysis of AVIRS data for spectral discrimination of geologic materials in the Dolly Varden mountains [C] // Proceedings of the Second AVIRIS Conference, Nevada, USA: JPL, 1990: 162 ~ 166.

10 Wang N, Lang C Y, Xu D. Shadow removal based on regional gray edge hypothesis [J]. Optical Engineering, 2011, 50(12): 127001-1 ~ 127001-6.

11 杨俊, 赵忠明, 杨健. 一种高分辨率遥感影像阴影去除方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(1): 17 ~ 20. Yang Jun, Zhao Zhongming, Yang Jian. A shadow removal method for high resolution remote sensing image [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(1): 17 ~ 20. (in Chinese)

12 何凯, 赵红颖, 刘晶晶, 等. 基于分形及纹理分析的城市遥感影像阴影去除 [J]. 天津大学学报, 2008, 41(7): 800 ~ 804. He Kai, Zhao Hongying, Liu Jingjing, et al. Shadow removal of city's remote sensing image based on fractal and texture analysis [J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(7): 800 ~ 804. (in Chinese)

处理的图切割方法实现黄瓜病害叶片病斑的自动化分割。

(2)实验结果表明,该方法能够较为准确的将病斑区域从彩色图像中分割出来,对黄瓜病害彩色图像的分割效果较好;算法运行时间平均约 2.12 s,和 OTSU 算法、K-means 算法相比,整体运行速度较快,能够满足实时图像处理的需求。因此,本文为具有复杂背景的实时图像分割提供了一种有效途径。

参 考 文 献

1 赵进辉,罗锡文,周志艳. 基于颜色与形状特征的甘蔗病害图像分割方法[J]. 农业机械学报,2008,39(9):100~103,133. Zhao Jinhui,Luo Xiwen,Zhou Zhiyan. Image segmentation method for sugarcane diseases based on color and shape features[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(9):100~103,133. (in Chinese)

2 祁广云,马晓丹,关海鸥. 采用改进遗传算法提取大豆叶片病斑图像[J]. 农业工程学报,2009,25(5):142~145. Qi Guangyun,Ma Xiaodan,Guan Haiou. Extraction of the image of soybean target leaf spot based on improved genetic algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(5):142~145. (in Chinese)

3 李冠林,马占鸿,黄冲,等. 基于 K_means 硬聚类算法的葡萄病害彩色图像分割方法[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):32~37. Li Guanlin,Ma Zhanhong,Huang Chong,et al. Segmentation of color images of grape diseases using K_means clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010,26(Supp. 2):32~37. (in Chinese)

4 王守志,何东健,韩金玉. 基于并行点火 PCNN 的玉米病害彩色图像分割方法[J]. 农业机械学报,2011,42(11):148~153. Wang Shouzhi,He Dongjian,Han Jinyu. Color image segmentation method for corn diseases based on parallelized firing PCNN[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(11):148~153. (in Chinese)

5 胡秋霞,田杰,何东健,等. 基于改进型 C-V 模型的植物病斑图像分割[J]. 农业机械学报,2012,43(5):157~161. Hu Qiuxia,Tian Jie,He Dongjian,et al. Segmentation of plant lesion image using improved C-V model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(5):157~161. (in Chinese)

6 Ford L, Fulkerson D. Flows in networks[M]. New Jersey: Princeton University Press,1962.

7 侯叶,郭宝龙. 基于图切割与 C-V 模型的运动目标分割[J]. 光电子·激光,2008,19(12):1 662~1 665. Hou Ye,Guo Baolong. Segmentation of motion objects based on graph cuts and C-V model[J]. Journal of Optoelectronics · Laser,2008,19(12):1 662~1 665. (in Chinese)

8 侯叶,郭宝龙. 基于图切割的快速运动分割方法[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(12):2 998~3 001. Hou Ye,Guo Baolong. Fast method of motion segmentation based on graph cuts[J]. System Engineering and Electronics,2009,31(12):2 998~3 001. (in Chinese)

9 邓宇,李华. 多特征组合和图切割支持的物体/背景分割方法[J]. 计算机研究与发展,2008,45(10):1 724~1 730. Deng Yu,Li Hua. Combination of multiple features for object/background segmentation using graph cut[J]. Journal of Computer Research and Development,2008,45(10):1 724~1 730. (in Chinese)

10 Rother C, Kolmogorov V, Blake A. “GrabCut”: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts [C] // ACM Transactions on Graphics, Special Issue: Proceedings of the 2004 SIGGRAPH Conference, 2004,23(3):309~314.

11 Li Y, Sun J, Tang C K, et al. Lazy snapping[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004,23(3): 303~308.

12 Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts [C] // Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision,1999, 1: 377~384.

13 Goldberg A V, Tarjan R E. A new approach to the maximum-flow problem[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1988, 35(4):921~924.

14 Boykov Y,Kolmogorov V. An experimental comparison of min-cut /max- flow algorithms for energy minimization in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2004,26(9): 1 124~1 137.

(上接第 241 页)

13 王玥,王树根. 高分辨率遥感影像阴影检测与补偿的主成分分析方法[J]. 应用科学学报, 2010, 28(2): 136~141. Wang Yue, Wang Shugen. Detection and compensation of shadows in high resolution remote sensing images using PCA[J]. Journal of Applied Sciences, 2010, 28(2): 136~141. (in Chinese)

14 Ono A, Kajiwar K, Honda Y, et al. Development of new vegetation indexes, shadow index (SI) and water stress trend (WST) [J]. ISPRS Archives, 2010, 38(8): 710~714.

15 Mcfeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1 425~1 432.

16 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589~595. Xu Hanqiu. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589~595. (in Chinese)

17 杨燕,田庆久. 基于 TM 图像信息的山地森林区阴影去除方法研究[C] //汪民. 第 16 届全国遥感技术学术交流会论文集. 北京:地质出版社, 2007: 104~106.