

文章编号 1004-924X(2015)增-0484-07

基于光谱特征的高空间分辨率 遥感影像阴影检测

陈红顺^{1,2*}, 贺 辉^{1,2}, 肖红玉^{1,2}, 黄 静^{1,2}

(1. 北京师范大学珠海分校 信息技术学院, 广东 珠海 519087;

2. 北京师范大学珠海分校 遥感与 GIS 中心)

摘要: 为了准确检测高空间分辨率遥感影像中的阴影, 提高影像目标识别和信息提取的精度, 提出了基于光谱特征的空间高分辨率遥感影像阴影检测技术。根据阴影区蓝、红波段辐射亮度下降幅度的差异, 构建了归一化蓝红波段指数, 并利用归一化植被指数区分植被与阴影; 最后构建了单一的阴影强度指数, 通过对阴影强度指数进行直方图阈值分割, 提取遥感影像中的阴影。利用该方法在分辨率为 2 m 的 Worldview-2 多光谱影像上进行了阴影提取实验, 结果表明: 该方法的阴影检测精度均在 85% 以上。研究表明该方法阴影检测效果较好, 且计算简单, 易于实现。

关键词: 阴影检测; 遥感影像; 归一化植被指数; 直方图阈值分割

中图分类号: P237 文献标识码: A doi:10.3788/OPE.20152313.0484

Shadow detection in high spatial resolution remote sensing images based on spectral features

CHEN Hong-shun^{1,2}, HE Hui^{1,2}, XIAO Hong-yu^{1,2}, HUANG Jing^{1,2}

(1. College of Information Technology, Beijing Normal University, Zhuhai, Zhuhai 519087, China;

2. Centre for Remote Sensing and GIS, Beijing Normal University, Zhuhai, Zhuhai 519087, China)

* Corresponding author, E-mail: hsch@bnuz.edu.cn

Abstract: To accurately detect shadows in high resolution remote sensing images and to improve the accuracy of target identification and information extraction from remote sensing images, this paper studies how to detect shadows in high-resolution remote sensing images based on the spectral characteristics of the shadows. The Normalized Blue and Red band Indexes(NBRI) was proposed according to the different decrease amplitudes of radiance in blue band and red band. Then the Normalized Difference Vegetation Indexes(NDVI) were calculated to distinguish the vegetation from the shade. Finally, a single index-shadow intensity(SI) was constructed by subtracting the NDVI from the NBRI and the shadow was easily segmented from the SI image by an appropriate threshold. The proposed method was tested on Worldview-2 multispectral images with a spatial resolution of 2 m, experimental results indicate that the overall accuracy of shadow detection is above 85%. It concludes that the meth-

收稿日期: 2015-03-21; 修订日期: 2015-04-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61272364); 广东省教育厅资助项目(No. 2013LYM0102); 广东省普通高校青年创新人才项目(自然科学)(No. 2014KQNCX240); 广东省自然科学基金项目(No. 2014A030310415)

od proposed in this paper has excellent performance in detecting shadow, needs less computation and is easy to be implemented.

Key words: shadow detection; remote sensing image; normalized difference vegetation index; histogram thresholding segmentation

1 引言

在遥感影像的获取过程中,由于地面目标对光线的遮挡,会在影像上产生阴影。位于阴影区域的目标由于部分信息丢失,阴影成为遥感影像的自动处理的重要干扰因素,直接影响遥感影像处理的精度,进而影响后续的目标检测与识别、三维场景重建以及正射影像的纠正等。特别在高空间分辨率遥感影像中,阴影检测对于影像的目标识别和信息提取十分关键。因此,研究如何准确检测阴影在遥感影像处理中具有重要意义。

目前,已有的阴影检测技术可分为基于模型的方法^[1-2]和基于阴影属性的方法。基于模型的方法需要有关于光照、遮挡物体的几何形状等先验知识,通常用来处理特定的场景,具有较大的局限性;基于属性的方法利用阴影区域的光谱和几何特性来检测阴影,由于这类方法计算量小且易于实现,目前得到广泛应用。早期的基于属性的方法通常比较简单,主要根据影像亮度或直方图的特性实现阴影检测,如 Jiang 和 Ward(1992)提出的方法利用了阴影区域的亮度比非阴影区域低的性质^[3];Highnam 和 Brady(1997)提出了基于直方图阈值的阴影检测方法^[4]。近年来,学者们提出了许多新的阴影检测算法,如李艳霞等利用色调、亮度和不同彩色通道中的亮度差值,提出了高空间分辨率彩色遥感影像阴影的算法,可有效检测高空间分辨率彩色遥感影像中包含的阴影^[5];Xia 和 Guo 将径向基函数神经网络构建的混合模型应用于遥感影像阴影检测,结果表明该方法优于传统的高斯背景法和直方图阈值法^[6];刘辉等基于主成分变换和 HIS 颜色模型,构建了一种阴影指数,并通过直方图阈值分割实现对高分辨率遥感影像的阴影检测^[7];娄小龙等,提出了基于阴影区域颜色性质与统计特性的阴影检测算法,能准确有效地检测出城市航空图像中的阴影^[8];方菊芹等提出了结合局部分类水平集与颜色特征的遥感影像阴影检测方法,实验结果表明

该方法优于现有的黑体辐射模型与自适应特征选择法^[9];刘健等构建了阴影植被指数,并利用阈值分割的方法实现了对 HJ-1 多光谱影像阴影的检测^[10]。

本文利用高空间分辨率遥感多光谱影像的光谱特性,构建了一种用于阴影检测的阴影强度指数,通过简单的直方图阈值分割来实现对影像中的阴影检测。该方法计算简单且易于实现,且阴影检测效果良好。

2 基于光谱特征的阴影检测技术

2.1 归一化蓝红波段指数

遥感影像中,阴影区域的各波段辐射亮度均会下降,但不同波段下降的幅度不同。研究表明,阴影区域的 3 个通道中,R 通道下降最快,G 通道次之,B 通道下降最少^[10]。虽然阴影区域的辐射亮度整体下降,但由于不同波段辐射亮度下降幅度的差异,导致阴影区域的蓝色光所占比重会明显上升,而红色光所占比重会明显下降。为了进一步增大阴影区蓝色波段和红色波段的差异,提出了归一化蓝红波段指数(NBRI)的概念。归一化蓝红波段指数的定义为:

$$NBRI = \frac{B-R}{B+R}, \quad (1)$$

其中,NBRI 为归一化蓝红波段指数,其取值为 $[-1, 1]$; B、R 分别为蓝色波段、红色波段。NBRI 值越大,则说明该区域蓝色光比重越大,越可能是阴影区域。但由于植被在红色可见光的吸收率明显要高于蓝色波段,从而造成植被覆盖区域的 NBRI 的值也会较大。

2.2 归一化植被指数

为了区分植被和非植被,通常采用归一化植被指数(NDVI)。归一化植被指数的定义为:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R}, \quad (2)$$

其中,NDVI 为归一化植被指数,其取值为 $[-1, 1]$; NIR、R 分别为原始影像中的近红外波段、

红色波段。由于植被在近红外波段的反射率要明显高于红外波段,因而具有较大的 NDVI 值。

2.3 阴影强度指数

基于前面的分析可知,阴影在遥感影像上会具有较大的 NBRI 值和较小的 NDVI 值;植被在遥感影像上则同时具有较大的 NBRI 值和 NDVI 值。为此,为方便通过对阈值分割方法实现阴影检测,特引入阴影强度指数(SI)的概念,其计算公式为:

$$SI = NBRI - NDVI, \quad (3)$$

其中,SI 为阴影强度;NBRI 为归一化蓝红波段指数;NDVI 为归一化植被指数。

2.4 基于阴影强度指数的阴影检测

在阴影强度指数的基础上,通过直方图阈值分割的方法,实现对高分辨率遥感影像阴影的检测。整个阴影检测流程如图 1 所示。

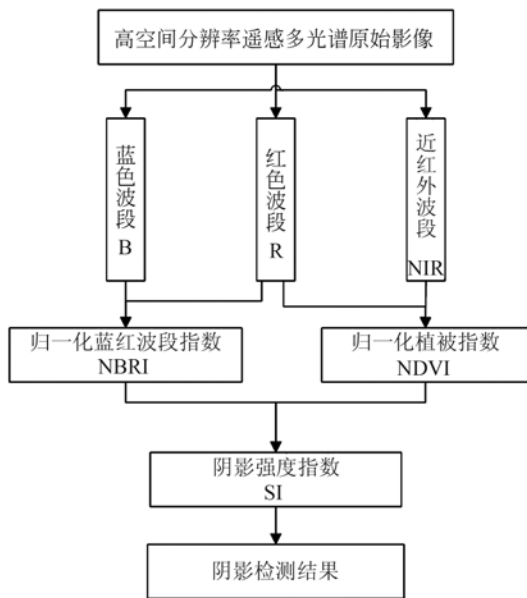


图 1 阴影检测流程

Fig. 1 Flowchart of shadow detection

3 实验结果与分析

3.1 实验数据

所采用的实验数据为 2013 年 1 月 9 日获取的 Worldview-2 影像,其多光谱影像包含蓝、绿、红和近红外共 4 个波段,空间分辨率为 2 m。影像成像时间均天气晴朗,天空无云。数据获取时已经做过几何校正和辐射校正。该影像覆盖了珠

海市大部分建成区域,从该影像共提取 3 小块区域作为实验区,图 2(a)、图 3(a)和图 4(a)分别为各实验区红、绿、蓝三波段彩色合成图像,从图中可以明确看出建筑物、道路、植被和阴影。

3.2 精度评价

为评价算法检测准确性,采用文献[11]中的总体精度对阴影检测效果进行评价,总体精度定义为:

$$\tau = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (4)$$

其中:TP 表示正确确定为阴影的像素数;FN 为阴影区像素点而被判别为非阴影的像素总数;FP 为非阴影区像素点被判别为阴影的像素数;TN 为被正确判别的非阴影像素数;TP+TN+FP+FN 为图像像素总量。阴影检测图像的总体精度 τ 越高,说明方法的阴影检测效果越好。

3.3 实验结果

根据本文提出的阴影检测方法,各实验区的阴影检测过程分别见图 2、图 3 和图 4。

从图 2(b)、图 3(b)和图 4(b)中可以看出,归一化蓝红波段指数值较大的区域主要集中在阴影和植被区域;从图 2(d)、图 3(d)和图 4(d)可以看



(a)红, 绿, 蓝波段彩色合成图像
(a)Color image composed of red, green and blue band



(b)归一化蓝红波段指数图
(b)Normalized blue and red band index image



(c)归一化植被指数图
(c)Normalized difference vegetation index image



(b)归一化蓝红波段指数图
(b)Normalized blue and red band index image



(d)阴影强度指数图
(d)Shadow intensity index image



(c)归一化植被指数图
(c)Normalized difference vegetation index image



(e)阴影检测结果
(e)Shadow detection results



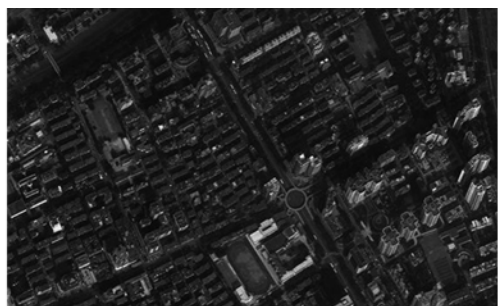
(d)阴影强度指数图
(d)Shadow intensity index image



(e)阴影检测结果
(e)Shadow detection results

图 2 实验区 1 的阴影检测过程

Fig. 2 Process of shadow detection in the 1st test area



(a)红, 绿, 蓝波段彩色合成图像
(a)Color image composed of red, green and blue band

图 3 实验区 2 的阴影检测过程

Fig. 3 Process of shadow detection in the 2nd test area

出,阴影区和非阴影区有明显不同的阴影强度指数。经过多次测试,3 个实验区最终选定分割阈值分别为 0.15、0.23、0.23,并去除阴影中的小图斑,最终阴影检测结果见图 2 (e)、图 3(e)和图 4(e),图中红色区

域为检测的阴影区域。按照公式(4)对阴影检测结果进行精度评价,得到三个实验区阴影检测的总体精度 τ 分别为 90.57%、87.63%和 91.08,说明阴影检测效果较好。



(a)红, 绿, 蓝波段彩色合成图像
(a)Color image composed of red, green and blue band



(d)阴影强度指数图
(d)Shadow intensity index image



(b)归一化蓝红波段指数图
(b)Normalized blue and red band index image



(e)阴影检测结果
(e)Shadow detection results



(c)归一化植被指数图
(c)Normalized difference vegetation index image

图 4 实验区 3 的阴影检测过程

Fig. 4 Process of shadow detection in the 3rd test area

4 结 论

阴影成为遥感影像的自动处理的重要干扰因素,特别在高空间分辨率遥感影像中,阴影检测对于影像的目标识别和信息提取十分关键。本文利用阴影的光谱特性构建了阴影强度指数,对阴影强度指数进行直方图阈值分割来实现对影像阴影的检测。将该方法在 Worldview-2 影像上进行了阴影提取实验,结果表明该方法阴影检测结果

较好,其总体精度均在 85% 以上,且该方法计算简单,易于实现。

参考文献:

- [1] LI Y, GONG P, SASAGAWA T. Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(18): 3911-3929.
- [2] MASSALABI A, HE D C, BENIE G B, et al.. Detecting information under and from shadow in panchromatic ikonos images of the city of sherbrooke [C]. *Proceedings of 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2004, 3: 2000-2003.
- [3] JIANG C, WARD M O. Shadow Identification[C]. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1992: 606-612.
- [4] HIGHNAM R, BRADY M. Model-based image enhancement of far infrared images[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(4): 410-415.
- [5] 李艳霞, 闫冬梅, 徐素妍, 等. 基于彩色空间多特征的高空间分辨率遥感影像阴影检测[J]. *装备指挥技术学院学报*, 2007, 18(3): 94-98.
- LI Y X, YAN D M, Xu S Y, et al.. Shadow detection using multi-features based on color space in high spatial resolution remote sense image[J]. *Journal of the Academy of Equipment Command & Technology*, 2007, 18(3): 94-98. (in Chinese)
- [6] XIA H Y, GUO P. A shadow detection of remote sensing images based on statistical texture features [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(4): 778-791.
- [7] 刘辉, 谢天文. 基于 PCA 与 HIS 模型的高分辨率遥感影像阴影检测研究[J]. *遥感技术与应用*, 2013, 28(1): 78-84.
- LIU H, XIE T W. Study on shadow detection in high resolution remote sensing image based on PCA and HIS model [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2013, 28(1): 78-84. (in Chinese)
- [8] 娄小龙, 毕笃彦, 李权合, 等. 一种新的城市航空图像阴影检测算法[J]. *计算机应用与软件*, 2013, 30(7): 21-23+122.
- LOU X L, BI D Y, LI Q H, et al.. A new shadow detection algorithm for urban aerial images [J]. *Computer Applications and Software*, 2013, 30(7): 21-23+122. (in Chinese)
- [9] 方菊芹, 陈帆, 和红杰, 等. 结合局部分类水平集与颜色特征的遥感影像阴影检测[J]. *自动化学报*, 2014, 40(6): 1156-1165.
- FANG J Q, CHEN F, HE H J, et al.. Shadow detection of remote sensing images based on local-classification level set and color feature [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2014, 40(6): 1156-1165. (in Chinese)
- [10] 刘健, 许章华, 余坤勇, 等. 山地丘陵区遥感影像阴影检测与去除方法[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(10): 238-241+237.
- LIU J, XU Z H, YU K Y, et al.. Shadow detection and removal method for remote sensing image in mountainous and hilly area [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(10): 238-241+237. (in Chinese)
- [11] 杨俊, 赵忠明. 基于归一化 RGB 色彩模型的阴影处理方法[J]. *光电工程*, 2007, 34(12): 92-96.
- YANG J, ZHAO ZH M. Shadow processing method based on normalized RGB color model [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(12): 92-96. (in Chinese)
- [12] TSAI V J D. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models [J]. *IEEE Trans On Geoscience and Remote Sensing*, 2006, 44(6): 1661-1671.

作者简介:



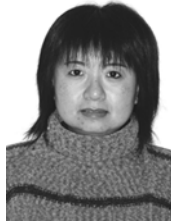
陈红顺(1982—),男,湖南永州人,博士,讲师,2010年于中国科学院研究生院获得博士学位,现为北京师范大学珠海分校信息技术学院教师,主要从事遥感与GIS应用方面的研究。E-mail: hschen@bnuz.edu.cn



贺辉(1980—),女,湖南宁乡人,博士,北京师范大学珠海分校信息技术学院副教授,主要从事数字图像处理、遥感影像智能分析及相关应用研究工作。Email: hehui@bnuz.edu.cn



肖红玉(1976—),女,江西信丰人,硕士,副教授,2005年于哈尔滨工程大学获得硕士学历,现为北京师范大学珠海分校信息技术学院教师,主要从事分布式水文系统应用方面的研究。E-mail: hyxiao@bnuz.edu.cn



黄静(1967—),女,湖南长沙人,博士,教授,2006年于澳门科技大学获得博士学位,现为北京师范大学珠海分校信息技术学院教师,主要从事计算机图形与虚拟现实技术方面的研究。Email: jhuang@bnuz.edu.cn