

# 一种高分辨率遥感影像阴影去除方法

杨俊<sup>1</sup> 赵忠明<sup>2</sup> 杨健<sup>2</sup>

(1 中国气象科学研究院雷电物理与防护工程实验室, 北京市海淀区中关村南大街46号, 100081)

(2 中国科学院遥感应用研究所, 北京市朝阳区大屯路3号, 100101)

**摘要:** 基于阴影属性提出了一种全自动彩色影像阴影去除算法。首先将影像变换到 HSI 空间, 依据阴影区域亮度值低和饱和度高的特性, 结合小区域去除和数学形态学处理, 得到精确的阴影区域。然后, 分别对  $I$ 、 $H$ 、 $S$  分量图上各个独立阴影区域与其邻近的非阴影区域进行匹配补偿, 再反变换回 RGB 空间, 完成阴影去除操作。实验结果表明, 该方法能在不改变非阴影区域信息的情况下, 有效地去除阴影的影响。

**关键词:** HSI 变换; 阴影检测; 阴影去除

**中图法分类号:** P237.3; TP751

阴影去除一般包括阴影区域的检测和阴影区域的去除两个方面的内容。阴影检测技术可分为基于模型<sup>[1,2]</sup>和基于阴影属性两类方法。基于模型的方法需要有关于场景、目标和光照情况的先验知识, 通常用来处理特定的场景, 具有较大的局限性。基于属性的方法则是利用阴影区域的光谱和几何特性来检测阴影, 最早是利用影像上阴影区域的亮度要比周围像素亮度值低的性质, 如果灰度直方图成双峰或多峰分布, 则采用阈值法<sup>[3]</sup>来进行阴影检测。这样处理的结果是水体、低亮度地物等被当作阴影, 而阴影区高亮度地物却被当作非阴影, 显然误差较大, 对大范围、复杂地形地物影像不适用。文献[4]通过分析 Phong 光照模型, 发现阴影区域色调值要比非阴影区域值高, 因此提出在色调图像上采用阈值法来检测阴影区域, 但场景中的偏蓝色地物和深绿色草地等因具有较高的色调而易与阴影区域混淆, 不能得到满意的结果。Tsai<sup>[5]</sup>通过分析彩色航空图像上阴影区域的亮度和色调属性, 基于 HSI、HSV、YCbCr 等不变色彩空间提出了一种阴影检测方法, 但这种方法也易将深蓝色和深绿色地物误分为阴影。

遥感影像上每个像元的亮度或色彩都是太阳光照函数和地物反射函数的复合函数, 由于这一复合函数非常复杂, 从理论上讲, 要完全消除影像上的阴影、恢复阴影区域中地物的本来面目几乎

是不可能的。传统的图像增强方法, 如直方图均衡、同态滤波<sup>[6]</sup>、归一化处理<sup>[7]</sup>等, 对改善影像的阴影都有一定的作用, 但处理后的影像阴影仍然明显。同时, 问题的关键在于这些方法对阴影信息进行补偿的同时, 不能做到完全不改变非阴影区域的信息。

## 1 阴影检测

彩色影像上的阴影区域相比其他区域具有如下的一些特有属性: ① 亮度值更低, 这是因为阴影区域太阳光线被阻挡; ② 饱和度更高, 这是由于大气瑞利散射的影响使得阴影区域的散射光线主要来自波长更短的蓝紫色光; ③ 色调值更大, 这是通过分析 Phong 光照模型得出的。

本文依据阴影区域灰度低和饱和度高这两个特性提出了一种新的全自动阴影检测算法。该方法首先对彩色影像进行 RGB 到 HSI 色彩空间变换。依据阴影区域的低亮度值和高饱和度特性, 可对  $S$  分量和  $I$  分量采用差值  $S-I$ 、比值  $S/I$  和归一化差值  $(S-I)/(S+I)$  通过阈值来进行阴影区域检测, 本文选择了其中的归一化差值来进行阴影检测。在归一化差值结果图上, 阴影区域将比非阴影区域具有更大的像素值。这样, 通过对归一化差值结果图采用阈值分割的方法可得到大

致的阴影区域,但影像上某些亮度值较高的地物,可能也有很高的饱和度,这样对归一化差值进行阈值的结果并不能将这类地物与阴影区别开来。基于此,本文将  $I$  分量图和归一化差值图结合,采用双阈值来进行阴影检测,只有在归一化差值图上高于某一阈值,并在  $I$  分量图上低于某一阈值的区域才被检测为阴影区域。

在得到初步的阴影分割结果后,统计各个独立阴影区域的面积大小,如果小于一个给定的阈值,就认为其属于非阴影区域内部的具有较低亮度的地物。这样得到的小区域去除结果,还可能会由于阴影区域内部存在较大面积的高亮度地物而留有空洞,因此,还需要对分割出的阴影区域进行一个数学形态学的闭运算处理,从而可以得到较精确的阴影区域。整个阴影检测流程如图 1 所示。

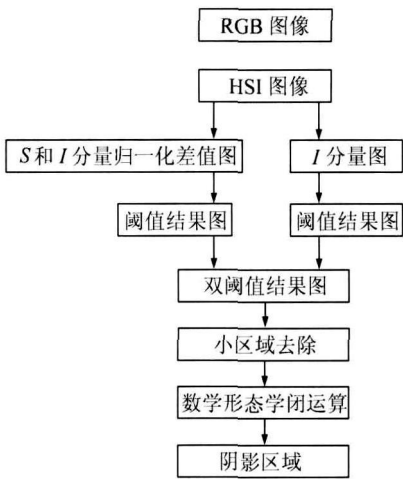


图 1 阴影检测流程

Fig. 1 Flowchart of Shadow Detection

图 2 是一幅彩色遥感影像利用本文提出的算法进行阴影检测过程中各个步骤的结果。

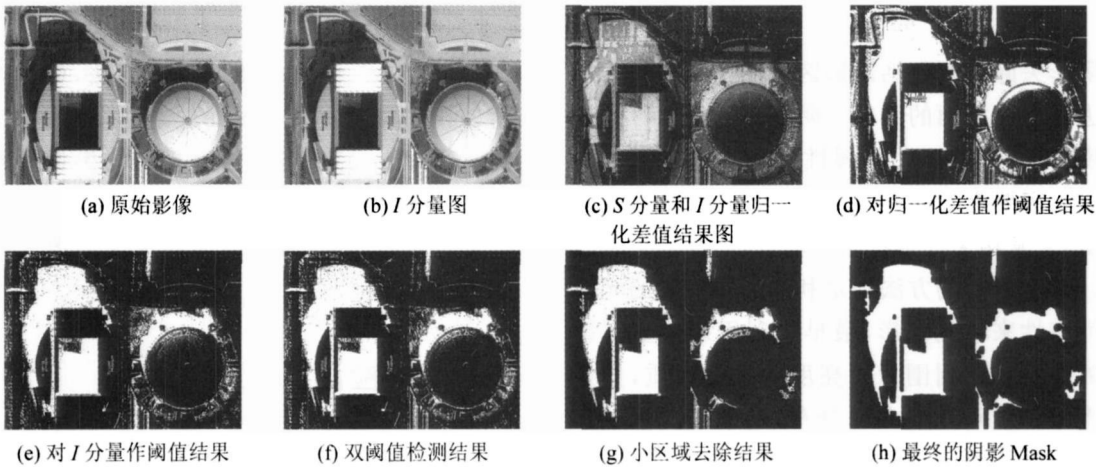


图 2 阴影检测过程

Fig. 2 Process of Shadow Detection

2 阴影去除

2.1 阴影补偿

假定图像是局部平稳的,可以认为阴影区域与其周围一定范围内的非阴影区域的统计信息是相似的。在检测出阴影区域之后,就对  $I$  分量图上各个独立阴影区域与其邻近的非阴影区域进行灰度匹配,完成阴影区域亮度补偿操作。

其中,邻近的非阴影区域是结合阴影区域和阴影投射方向得出的,如图 3 所示。其采用的计算公式如下:

$$Q_{\text{noshadow}} = \{p \mid 0 < d(p, \Omega_{\text{shadow}}) < \text{dist}\} \quad (1)$$

式中,  $Q_{\text{noshadow}}$  表示邻近某个距离阈值  $\text{dist}$  的非阴影区域集合;  $d(p, \Omega_{\text{shadow}})$  表示阴影投射方向某个

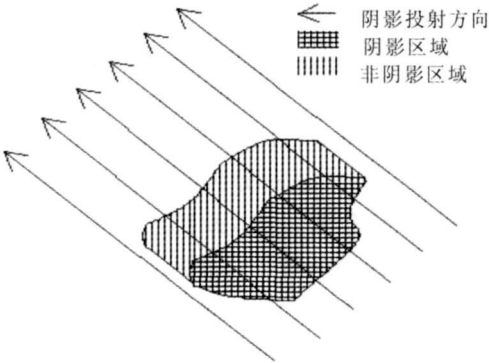


图 3 阴影区域和邻近的非阴影区域<sup>[8]</sup>

Fig. 3 Shadow Region and Adjacent Non-shadow Region

点到阴影区域的距离。在得出每个独立的阴影区域和其邻近的非阴影区域之后,采用如下映射策略对阴影区域的灰

度值进行补偿:

$$I(i,j)'=A*\left[m_{\text{noshadow}}+\frac{I(i,j)-m_{\text{shadow}}}{\sigma_{\text{shadow}}}\cdot\sigma_{\text{noshadow}}\right]\tag{2}$$

式中,  $I$  是补偿之前的阴影区域灰度值;  $I'$  是补偿之后的阴影区域灰度值,  $m_{\text{shadow}}$  和  $\sigma_{\text{shadow}}$  是阴影区域的均值和方差,  $m_{\text{noshadow}}$  和  $\sigma_{\text{noshadow}}$  是邻近的非阴影区域的均值和方差;  $A$  为亮度补偿强度系数。

阴影对图像的影响不仅是降低了图像的亮度,同时也改变了该区域的色调和饱和度,所以单纯对亮度进行补偿并不能恢复阴影区域的真实色彩。本文参照亮度补偿的方式,对  $S$  和  $H$  分量图上各个独立阴影区域分别与邻近的非阴影区域进行匹配,补偿策略为:

$$\left. \begin{aligned} S(i,j)'&=B*\left[m_{\text{noshadow}}+\frac{S(i,j)-m_{\text{shadow}}}{\sigma_{\text{shadow}}}\cdot\sigma_{\text{noshadow}}\right] \\ H(i,j)'&=C*\left[m_{\text{noshadow}}+\frac{H(i,j)-m_{\text{shadow}}}{\sigma_{\text{shadow}}}\cdot\sigma_{\text{noshadow}}\right] \end{aligned} \right\}\tag{3}$$
$$\tag{4}$$

式中,  $S$  和  $H$  分别是补偿之前的阴影区域饱和度值和色调值;  $S'$  和  $H'$  分别是补偿之后的阴影区域饱和度值和色调值;  $B$  为饱和度补偿强度系数;  $C$  为色调补偿强度系数。

2.2 后处理

经过上述分别对阴影区域的  $I$ 、 $H$ 、 $S$  分量进行补偿后,对新的  $I$ 、 $H$ 、 $S$  分量从 HSI 空间反变换换回 RGB 空间,就可得到一幅去除阴影的图像。由于阴影区域和非阴影区域之间存在一个灰度突变,经过阴影去除后,阴影区域和非阴影区域之间仍然可以看到一条较为明显的边界线。为了减弱这种边缘效应,本文在进行阴影补偿后,又沿着阴影边界进行了一次中值滤波处理,从而使补偿后的阴影区域能较为平滑地向非阴影区域过渡。

3 实验结果及分析

本文对多幅高分辨率影像进行了实验,图 4 给出两幅图像的实验结果,图 4(a)、4(c)为原始影像,图 4(b)、4(d)为阴影去除之后的影像。从图 4 可以看出,本文提出的算法能有效地去除阴影的影响,并对非阴影区域的信息基本没有改变。在对归一化差值结果图和  $I$  分量图作阈值处理时,本文是先用 Otsu 的阈值检测算法得出一个参考阈值,再逐步调整得到分割出阴影区域的最优阈值。在对阴影区域进行补偿时,本文用到的距离阈值为 40,亮度补偿强度系数为 0.7,饱和度和色调补偿强度系数为 0.6,后处理过程中的中值滤波采用的模板大小为  $5\times5$ 。

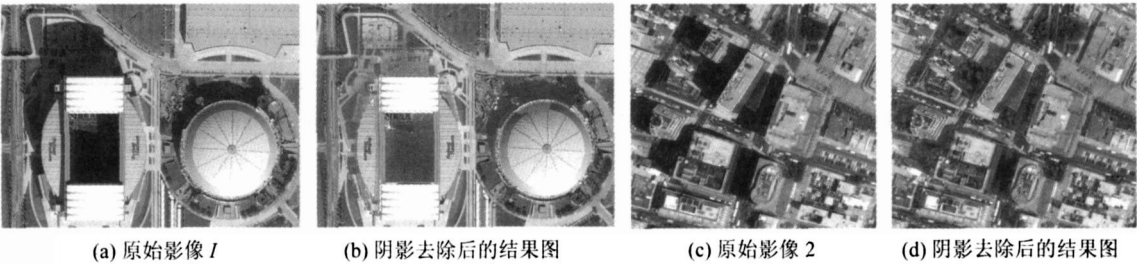


图 4 实验结果  
Fig.4 Experiment Results

4 结 语

高分辨率遥感影像上的阴影是一个普遍存在的问题,严重影响着影像的质量。本文提出的基于阴影属性的高分辨率遥感影像阴影检测和去除方法,能有效地将阴影区域从图像中分割出来,并利用阴影区域周围的信息分别对  $I$ 、 $H$ 、 $S$  分量进行补偿,得到一幅过渡平滑的去除了阴影的图像。实验表明,该方法能有效地去除阴影的影响,并对非阴影区域的信息基本没有改变。相比其他方

法,本文提出的方法简单,具有很好的鲁棒性,且不需要任何有关场景和光照情况的先验知识。

参 考 文 献

[1] Li Yan, Gong Peng, Sasagawa T. Integrated Shadow Removal Based on Photogrammetry and Image Analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005,26(18):3 911-3 929

[2] Yao Jian, Zhang Zhangfei. Hierarchical Shadow Detection for Color Aerial Images[J]. CVIU 102, 2006:60-69

[3] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray

Level Histograms[J]. IEEE Trans Syst, Man, Cybern, 1979, 9(1): 62-69

[4] Huang Jianfen, Xie Weixin, Tang Liang. Detection of and Compensation for Shadows in Colored Urban Aerial Images[C]. The 5th World Congr. Intelligent Control and Automation, Hangzhou, 2004: 3 098-3 100

[5] 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): 1 661-1 671

[6] Voicu L I, 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

[7] Zamudio J A, Atkison W W. Analysis of AVIRIS Data for Spectral Discrimination of Geologic Materials in the Dolly Varden Mountains [C]. The Second AVIRIS Conference. Pasadena, 1990

[8] Li Yan, Sasagawa T, Gong Peng. A System of the Shadow Detection and Shadow Removal for High Resolution City Aerial Photo[C]. ISPRS, Commission III, Istanbul, 2004

**第一作者简介:** 杨俊, 博士, 主要从事遥感图像处理方面的研究。  
E-mail: yj100@126.com

A Shadow Removal Method for High Resolution Remote Sensing Image

YANG Jun<sup>1</sup> ZHAO Zhongming<sup>2</sup> YANG Jian<sup>2</sup>

(1 Laboratory of Lightning Physics and Protection, Chinese Academy of Meteorological Sciences, 46 South Zhongguancun Avenue, Haidian District, Beijing 100081, China)  
(2 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 3 Datun Road, Chaoyang District, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The shadow on the high resolution remote sensing image influences the image quality badly. An automatic property-based approach is presented for shadow removal of color image. The RGB image is first transformed into HSI color space, according as shadow regions has lower luminance and higher saturation than non-shadowed regions, threshold detection and small regions removal and morphological algorithm are performed to get accurate shadow mask. Then the shadow regions are matched to their adjacent non-shadowed regions on I component, S component and H component respectively, and by inverse HSI transform to finish shadow removal. The experiment result shows that this method can remove the influence of shadow effectively and does not change the pixel value of non-shadowed regions.

**Key words:** HSI transform; shadow detection; shadow removal

About the first author: YANG Jun, Ph. D. He is concentrated on the research in remote sensing image processing.  
E-mail: yj100@126.com

下期主要内容预告

- ◀ 机载激光扫描测高数据分层迭代权滤波方法及其质量评价探讨

◀ InSAR 干涉图的矢量分离式小波滤波

◀ 我国南海海面高异常时间序列分析

◀ 基于卫星测高数据的重力匹配导航仿真

◀ 基于重构等高线的 DEM 精度评估模型

◀ 基于知识的选址决策支持系统

◀ 附加约束条件的序贯平差

◀ 等高线信息定量度量研究
- 刘经南, 等

靳国旺, 等

韩 英

戴全发, 等

朱长青, 等

刘耀林, 等

曾安敏, 等

刘文楷, 等