

航空遥感影像阴影的自动检测与补偿

高贤君¹ 万幼川¹ 郑顺义¹ 李 健¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:通过对阴影特性进行分析,选取能够有效检测阴影的特征组合,改进了 Otsu 阈值算法,可以自动获取各特征的合适阈值,实现阴影的自动检测;同时提出了改进的 Wallis 滤波阴影补偿策略,突出阴影区域的地物信息。实验结果表明,该检测算法阴影补偿效果明显,真实再现了被阴影遮蔽的地物细节。

关键词:自动阈值;阴影检测;Wallis 滤波;阴影补偿

中图分类号:P237.3

高分辨率航空遥感影像在成像过程中由于受成像技术、地物遮挡等客观因素的影响,存在着不可避免的阴影现象。阴影的存在严重影响了影像的质量和视觉解译效果,会造成阴影中地物信息的丢失或干扰,影响地物识别、边缘提取以及影像配准等工序。随着高分辨率遥感影像的广泛应用,探索高效的阴影检测与补偿方法,解决阴影带来的干扰,对提高遥感影像的应用价值具有重要意义。常用的遥感影像阴影检测算法主要分为基于模型和基于阴影特征的方法^[1-5]。阴影补偿的主要目的是恢复被阴影遮蔽的地物信息,一般采用图像增强或补偿阴影区域信息的方法。传统的图像增强法包括直方图匹配、比值法、同态滤波法^[6]、Retinex 法^[7]等,这类方法在补偿阴影的同时也会改变非阴影区域的信息,导致不必要的信息丢失。补偿阴影法主要是将阴影区域像素的亮度、颜色或辐射值通过阴影补偿模型进行处理^[8,9],将信息补偿达到与非阴影区域一致的光照效果,从而使整幅图像具有视觉上的光照一致性,补偿效果依选定的模型而不同。

在实时快速的阴影检测中,选取合适的特征组合,自动确定合适的阈值是关键。阴影补偿应提升阴影区域的视觉效果,并保留非阴影区域的信息。本文通过分析阴影的特性,选取最佳的阴影特征组合——HIS 空间中的亮度分量 I 、归一化 RGB 后的 B' 分量以及 YUV 空间中的亮度分量 Y ,改进 Otsu 自动阈值法^[10],能够高效自动地

检测阴影,并设计了改进的 Wallis 滤波补偿策略对检测的阴影进行补偿,突出阴影区域的地物。

1 阴影检测

1.1 阴影特性分析

一般来说,影像中阴影区域的地物因缺乏光照而呈现暗色,具有亮度低、色调高等基本特征。另有一些辅助特征如蓝绿波段的差值分量、饱和度等,可以辅助检测阴影^[11]。将基本特征与辅助特征结合的多特征组合方法是目前应用最广泛的算法,可在一定程度上弥补单一特征存在的漏分和错分缺陷。本文从阴影具有的颜色特性出发,选出以下几项典型的阴影特征作为本文实验的候选特征。

1) 归一化 RGB 后的 B' 分量高。通过分析 Phong 光照模型发现,阴影区域的 R 、 G 、 B 三个波段的像素值下降量依次减少^[12],因此,阴影在如式(1)所示的 B' 分量上具有较高的像素值。偏蓝色地物在此分量上也占据高像素值端,容易被误分为阴影:

$$B' = B / (R + G + B) \quad (1)$$

2) 色调高。色调值实际反映了 G 与 B 的趋近程度。在阴影区域, G 相对于 B 急剧减小,相关程度低,色调值高。但是由于偏蓝色地物也具有较高的色调值,同样会被误分。

3) 亮度低。阴影区域由于无法直接接受太

阳辐射,其接受到的辐射强度主要来自于天空光的辐射强度,因此,与非阴影区域相比,其亮度值普遍较低,除非阴影区域有高亮度的反射物。

1.2 阴影特征组合选取与自动检测

本文通过选取合适的阴影特征条件组合、改进 Otsu 阈值法自动检测阴影来改善检测的效果。

1.2.1 特征条件组合

实验中,将上述的特性进行组合分析发现, B' 分量的 Otsu 自动阈值比 H 的自动阈值更接近最佳阈值,检测效果更好。选取 B' 分量,结合低亮度特征 Y 辅助补充检入被漏检的阴影,再与低亮度特征 I 结合,剔除蓝色地物。因此,按照式(2)的特征组合方式,实验效果较理想:

$$S = \{(i, j) \mid Y(i, j) < T_Y \parallel B'(i, j) \geq T_{B'} \& \& I(i, j) < T_I\} \quad (2)$$

式中, $Y(i, j)$ 、 $B'(i, j)$ 、 $I(i, j)$ 分别为像素 (i, j) 对应的 Y 、 B' 和 I 的特征值; T_Y 、 $T_{B'}$ 、 T_I 分别表示 Y 、 B' 和 I 的阈值。

1.2.2 改进的 Otsu 自动检测

将一维 Otsu 法^[10]应用到阴影特征自动阈值的获取中,原理是首先统计关于该阴影特征的统计直方图,用阈值 k 把直方图分割为 C_0 与 C_1 两部分,并按照式(3)计算这两类的类间方差 σ_k^2 ,取最大类间方差对应的 k 值为最优阈值,即可获取自动阈值:

$$\sigma_k^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (3)$$

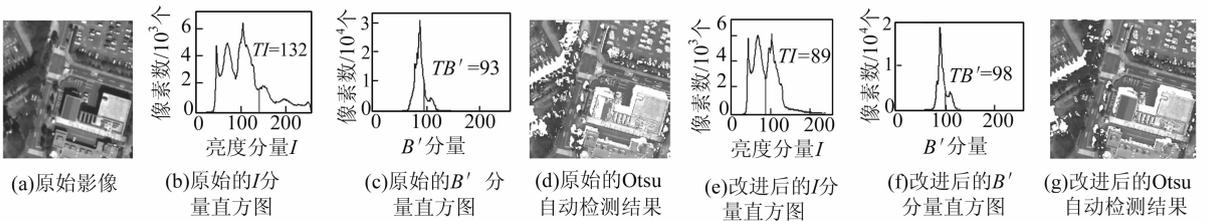


图1 阴影检测结果对比图

Fig. 1 Comparison of Shadow Detection Results

式中, σ_k^2 为阈值为 k 时的类间方差; ω_i 、 μ_i 分别为 C_i 组产生的概率和均值; μ 为整体属性的均值。

实验发现,一维 Otsu 法获取的阈值在阴影检测方面离最佳阈值仍存在一定的偏差,导致检测效果不太理想。本文对 Otsu 算法中的统计直方图进行了改进,将关于其他特征的限定条件引入到属性直方图的统计中。主要思路是:在统计特征属性直方图之前,首先按照一定的限定条件进行筛选,只有满足条件的像素的属性才被纳入到统计直方图中,而非原来的整幅图像的所有像素都参与统计,然后在此直方图的基础上计算最大类间方差对应的最优阈值。

以对亮度分量 I 的阈值改进为例,引入关于比值分量 $P=(H+1)/(I+1)$ 的限定条件,首先获取 P 分量的原始 Otsu 自动阈值 T_{P_0} ,然后以 $P>T_{P_0}$ 为限定条件,统计图像满足此条件的像素的 I 分量,并统计这些 I 分量的直方图。

对 I 分量采取上述方法进行改进,对 B' 分量的阈值采用限定条件 $R<100$ 进行改进,对图 1(a)所示的原始影像进行阴影检测,自动检测结果见图 1(d),图 1(g)为改进后的检测结果图。可以看出,改进后的自动检测结果的正确率明显提高了。

引入与其他阴影特征有关的限定条件在一定程度上有效综合了阴影的多项特征,使得特征阈值能够更灵活地变动,改进后的阈值更理想。限定条件的选取应根据已存在的问题先筛选可行的条件,再通过实验确定具体方案。

2 阴影补偿

2.1 Wallis 滤波原理

Wallis 滤波器原理是将局部影像的灰度均值和方差映射到给定的灰度均值和方差,使不同的影像或者影像中的不同区域具有近似相等的均值和方差,可以增强原始影像的反差,同时压制噪声。

Wallis 滤波器^[13]的一般形式为:

$$g_c(x, y) = g(x, y)r_1 + r_0 \quad (4)$$

2.2 改进的 Wallis 滤波阴影补偿策略

将 Wallis 滤波原理直接应用到阴影补偿中,存在参数过多、补偿结果对比度不明显等问题。对比度问题主要源于 Wallis 滤波在局部阴影区域等价于线性变换,而原始的 r_1 、 r_0 对应的线性关系偏平,补偿效果不明显。针对这些问题,本文设计了适用于阴影补偿的新策略,步骤如下:

① 只对阴影区域进行 Wallis 滤波处理。② Wallis 滤波所需的目标特征值直接通过统计阴影周围的局部非阴影区域的特征值获取。这样不仅直接减少了 Wallis 滤波所需的参数,还有效保证了阴影区域与非阴影区域的色彩平衡。③ 对式(4)进行改进,提出了式(5)所示的补偿公式:

$$g_c(x, y) = A(m_{\text{noshadow}} + (g(x, y) - m_{\text{shadow}})/r_1 - r_0 r_1) \quad (5)$$

其一般形式为:

$$g_c(x, y) = R_1 g(x, y) + R_0 \quad (6)$$

其中, R_1 、 R_0 分别为新的乘性系数与加性系数; $R_1 = A/r_1$, $R_0 = A(m_{\text{noshadow}} - m_{\text{shadow}}/r_1 - r_0 r_1)$, A 代表补偿系数, m_{noshadow} 、 m_{shadow} 分别代表非阴影区域和阴影区域的特征均值; r_0 、 r_1 为原始的 Wallis 滤波的乘性系数和加性系数。

改进后的补偿策略有效纳入了阴影区域与非阴影区域的特征信息,线性关系较之前更为陡峭,不仅恢复了阴影区域的基本特征信息,对比度也得到有效增强,且并未改变非阴影区域的信息,补偿效果更为理想。

本文基于 HIS 色彩空间对 H 、 I 、 S 分别采用改进后的 Wallis 滤波策略进行补偿。首先统计阴影区域及其周围的局部非阴影区域对应的特征均值与方差 m_{shadow} 、 σ_{shadow}^2 和 m_{noshadow} 、 $\sigma_{\text{noshadow}}^2$, 以此为目标特征值,结合系数 b 和 c 计算参数 r_1 、 r_0 , 再结合补偿系数 A 计算 R_1 、 R_0 , 代入式(6)即可实现改进的 Wallis 滤波补偿。

3 实验分析

本文采用上述方法对多幅不同来源的高分辨率遥感影像进行实验,对 B' 采用限定条件 $R < 100$, 对 I 采用 $P > T_P$ 分别获取改进后的阈值。阴影补偿所需的参数需要根据影像类别人工调整。

图 2(a)为分辨率偏低的遥感影像,影像色彩偏深绿。阴影自动检测结果(如图 2(b)所示)较完整地检测出了建筑物的阴影,其中有少量暗色水体被误分为阴影,其原因主要有:① 暗色水体与阴影在本文所取特征中存在相似的特性,文中所取的特征组合不足以完全区分这两种目标;② 剔除水体部分所需的特征阈值与检测全部阴影的阈值不一致,本文方法所采用的阈值主要顾及阴影,并应用于整幅影像,引起水体与阴影的部分混淆。图 2(c)为补偿后的效果图,可见阴影区域较好地保持了与非阴影区域一致的色彩特征,

被遮蔽的建筑物纹理、道路等信息得到有效恢复,但并不十分清晰,主要是原始影像的质量一般,补偿后噪声多。图 2(d)为城市高分辨率航空影像,地物环境复杂,阴影区域的地物信息受到严重干扰。自动检测效果(如图 2(e)所示)较好地地区分了阴影与树木、裸地等干扰地物。补偿结果如图 2(f)所示,原被阴影遮住的几乎无法分辨的地物信息基本得到再现,有效补充了丢失的信息,虽还存在轻微的亮度偏暗的问题,但总体效果不错,可被再利用。图 2(g)中的地物环境简单,自动检测后的结果存在一些细小孔洞,经过形态学处理后(如图 2(h)所示),能够有效填充这些孔洞,再进行补偿后(如图 2(i)所示),细节信息得到明显增强,但色彩上存在损失。

阴影补偿的效果与原始影像本身质量有较大的关系,分辨率越高、色彩越真的影像,处理后的效果越好,如果影像质量存在问题,则补偿后会产生噪声。补偿后整体的色彩效果偏灰暗,无法完全达到有光照情况下的色彩效果。

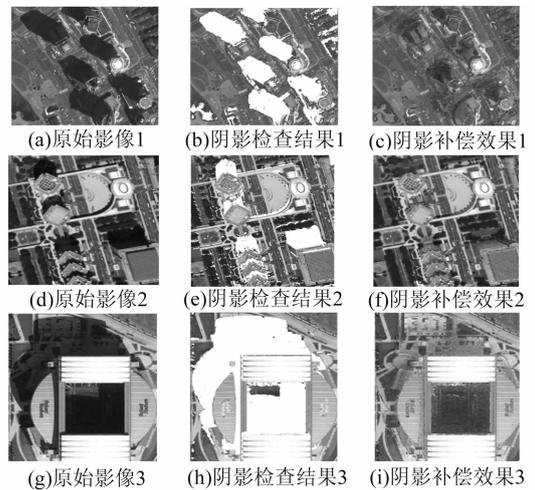


图 2 阴影检测与补偿效果图

Fig. 2 Shadow Detection and Compensation Results

参 考 文 献

- [1] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast Shadow Segmentation Using Invariant Color Features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(2):238-259
- [2] Tsai V J D. A Comparative Study on Shadow Compensation of Color Aerial Images in Invariant Color Models [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(6):1 661-1 671
- [3] Yao Jian, Zhang Zhangfei. Hierarchical Shadow Detection for Color Aerial Images [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 102(1):60-69

- [4] 许妙忠,余志惠. 高分辨率卫星影像中阴影的自动提取与处理[J]. 测绘信息与工程, 2003, 28(1): 20-22
- [5] 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
- [6] Voicu L, 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] 鲍海英,李艳,尹永宜. 城市航空影像的阴影检测和阴影消除方法研究[J]. 遥感信息, 2010(1): 44-47
- [8] 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
- [9] 王树根,郭泽金,李德仁. 彩色航空影像上阴影区域信息补偿的方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(5): 514-516
- [10] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms[J]. IEEE Trans Syst, Man, Cybern, 1979, 9(1): 62-69
- [11] 柳稼航,杨建峰,方涛. 彩色遥感影像阴影颜色特性分析[J]. 光子学报, 2009, 38(2): 441-447
- [12] 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, 37(12): 92-96
- [13] 张力,张祖勋,张剑清. Wallis 滤波在影像匹配中的应用[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(1): 24-27

第一作者简介:高贤君,硕士,现从事航空影像实时处理研究。
E-mail:junxgao@whu.edu.cn

Automatic Shadow Detection and Compensation of Aerial Remote Sensing Images

GAO Xianjun¹ WAN Youchuan¹ ZHENG Shunyi¹ LI Jian¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Shadow detection and compensation in high resolution remote sensing images is very critical for target identification and information recovering. Based on a series of analysis about shadow properties, several properties were selected to compose together to detect shadow. Through improving Otsu method, more suitable thresholds of each property could be acquired automatically, which realized automatic detection of shadow. In order to highlight the information of objects inside shadow areas, an improved shadow compensation strategy based on the Wallis filter principle was proposed. Experiments indicate that the detection method is effective, and the accuracy and application range are improved, the compensation result is outstanding, and details sheltered by shadow also reappear.

Key words: automatic threshold; shadow detection; Wallis filter; shadow compensation

About the first author: GAO Xianjun, master, majors in aerial image real-time processing.

E-mail: junxgao@whu.edu.cn

(上接第 1288 页)

can support irregular boundary data, and achieve good performance on keeping local structure characteristics and high accuracy.

Key words: spatial interpolation; Delaunay; Voronoi; local structure

About the first author: YI Lin, Ph. D candidate, majors in GIS algorithm and application.

E-mail: yilin57@163.com