

彩色航空影像上阴影区域信息补偿的方法

王树根¹ 郭泽金¹ 李德仁²

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了一种彩色航空影像上阴影区域信息补偿的方法。试验结果表明, 该方法对彩色航空影像上人工地物的阴影区域信息补偿是有效的。

关键词: 彩色航空影像; 颜色空间转换; 阴影补偿

中图分类号: TP751; P231.5

对影像上阴影的处理包括阴影区域的检测和阴影的消除或阴影补偿两方面内容。实际上, 航空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, 但阴影中有亮度和色彩信息, 这就为对阴影中的信息进行补偿提供了可能。问题的关键在于对阴影信息进行补偿的同时, 能否做到完全不改变非阴影区域的信息。传统的图像处理算法, 如直方图变换、同态滤波等^[1], 虽然对改善影像的阴影有一定作用, 但同时也改变了非阴影区域的信息。近年来, 国内外学者对影像上阴影的补偿也提出过一些算法^[2,3], 但至今还没有一种被大家所公认的有效方法。

1 阴影区域信息补偿原理

通常构成影像的光照函数和反射函数具有明显不同的频谱特性。对于前者, 因为整个场景的光照亮度一般是缓慢变化的, 因此, 光照函数集中在影像亮度的低频段; 而地表景物因具有细节、边缘和纹理等特征而使反射函数集中在影像亮度的高频段。影像上的阴影区域则主要是由于光照不足引起的, 从而造成相应区域影像亮度小, 颜色信息缺乏, 这就相当于在阴影区域的景物反射函数上乘了一个较小的光照亮度函数。因此, 只要对原始影像阴影区域的光照函数进行改正, 并顾及颜色信息, 就可以对阴影区域进行信息补偿。

基于上述分析的彩色影像阴影区域信息补偿方法, 其主要算法包括 4 个方面: ① 将影像从 RGB 颜色空间转换到包含亮度信息的 HSI 颜色空间; ② 对亮度值 I 进行数学形态学的开闭运算, 得到影像亮度的低频部分 I_L ; ③ 对 I_L 作阈值处理和带条件的腐蚀运算, 将阴影区域和非阴影区域分离; ④ 在 RGB 颜色空间里, 通过亮度信息对原始影像阴影区域中的 R 、 G 、 B 分量分别进行调整, 以达到阴影补偿的目的。

2 阴影区域信息补偿方法

2.1 分离亮度低频

从上述分析可知, 影像上由光照函数形成的亮度值应局部均匀, 并主要集中在低频段, 因此, 可以考虑用影像本身的亮度低频来近似代替整张影像应有的光照函数。实际上, 影像的亮度值还包含有地物的反射特性信息, 为了去掉地物的反射信息而只近似保留光照函数信息, 笔者选择了基于灰度形态学的滤波算法来分离亮度的低频信息^[3]:

$$I_L(x, y) = f_o(f_c(I(x, y), \mathbf{g}), \mathbf{g}) \quad (1)$$

式中, x, y 是影像坐标; $I(x, y)$ 是影像的亮度函数; $I_L(x, y)$ 是影像亮度的低频部分; f_c 是闭运算; f_o 是开运算; \mathbf{g} 是结构元素, 一般取 3×3 或 5×5 的矩阵。图 1 是对影像亮度进行低频分离的例子。

2.2 模拟光照亮度函数

为了模拟光照亮度函数, 需要对上述得到的亮度低频 $I_L(x, y)$ 分别作亮度阈值处理和带条件



图 1 影像亮度低频分离结果

Fig. 1 Results of Low Frequency Separation of Intensity

的腐蚀运算处理。这样做的目的一方面是为了尽可能地把 $I_L(x, y)$ 中所包含的地物反射信息去掉, 以分离阴影区域和非阴影区域; 同时又不能改变阴影区与非阴影区的边界。

为了分离影像上的阴影区和非阴影区, 对亮度低频 $I_L(x, y)$ 作如下阈值处理:

$$I'_L(x, y) = \begin{cases} \text{low}, & I_L(x, y) < \text{low} \\ I_L(x, y), & \text{low} \leq I_L(x, y) \leq \text{high} \\ \text{high}, & I_L(x, y) > \text{high} \end{cases} \quad (2)$$

式中, high、low 是两个阈值 ($\text{high} > \text{low}$), 分别表示非阴影区和阴影区的光照亮度, 其值可通过对影像的学习人为设定, 也可通过对影像的灰度直方图分析得到。由于光的衍射作用, 影像上的人工地物在远离光照方向一侧的阴影和非阴影区边界处其亮度并非是突变的, 而表现为平缓变化, 称这一区域为阴影过渡区域, 如图 2 所示。对这一区域的阴影必须单独处理, 其亮度阈值范围可由式 (2) 中的 $\text{low} \leq I_L(x, y) \leq \text{high}$ 进行确定。

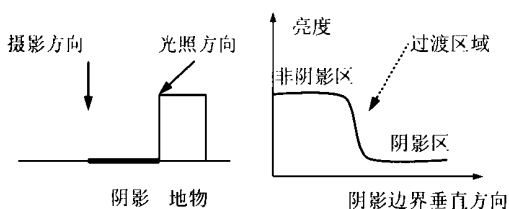


图 2 阴影边界亮度变化示意图

Fig. 2 Intensity Change on Shadow Edge

2.3 带条件的腐蚀处理

灰度形态学的腐蚀运算定义为^[4]:

$$(I - g)(x, y) = \min_{i,j} \{ I(x - i, y - j) - g(-i, -j) \} \quad (3)$$

式中, x, y 是影像坐标; i, j 是结构元素坐标; I 为影像的灰度值; g 为结构元素的灰度值。腐蚀运算过程就是以结构元素 $g(i, j)$ 为模板, 搜寻图像在结构基元大小范围内的灰度差的极小值。

带条件的腐蚀运算定义为:

$$H(I(x, y)) = \begin{cases} I(x, y), & I(x, y) - k > \\ & (I - g)(x, y) \\ (I - g)(x, y), & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

式中, k 为常数, $0 < k < 1$, 本文中 k 的取值为 0.1, 而 $g(x, y)$ 的值通常取为零。

对 $I'_L(x, y)$ 进行带条件的腐蚀运算有两个目的: ① 对亮度变化平缓部分进一步平滑, 以去除影像上地物的反射特性信息。② 由于 $I'_L(x, y)$ 中仍含有未被去除的地物反射特性信息, 仅根据阴影区的光照亮度值是不能把阴影区域完全分离出来的, 用带条件的腐蚀运算对 $I'_L(x, y)$ 进行处理可以进一步分离阴影区, 如图 3 所示。图 3(b) 中箭头所指处的条状亮线, 经腐蚀运算后在图 3(c) 上已不存在, 这也正好说明了阴影是连通闭区域的特性。

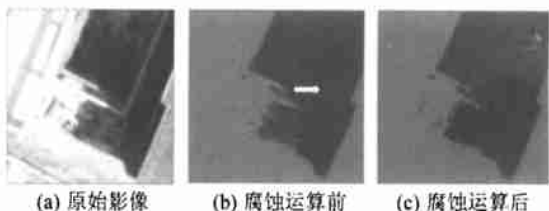


图 3 带条件的腐蚀运算结果

Fig. 3 Results of Conditioned Erosion Operation

2.4 阴影的补偿

由于航空摄影时对天气条件的特殊要求, 影像上的阴影区域往往表现得较暗, 而且蓝色分量较大, 这是因为阴影区的光照主要来自天空的蓝色散射光, 所以在对影像阴影区域亮度和色彩进行补偿时, 应对阴影区域的蓝色分量进行适当抑制, 选择在 RGB 颜色空间里对原始影像进行亮度和颜色调整:

$$RGB'(x, y) = \begin{cases} R(x, y) \times k^a \\ G(x, y) \times k^a \\ B(x, y) \times k^b \end{cases} \quad (5)$$

式中, $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ 分别是原始影像的红、绿和蓝光分量; $k = \text{high} / I'_L(x, y)$; a, b 为颜色调整参数, 其值一般取 1 左右, 且 $a > b$ 。本文取 $a = 1.0, b = 0.8$, 以抑制蓝光分量的补偿程度。

对于非阴影区域, 由于 $I'_L(x, y) = \text{high}$, 即 $k = 1$, 所以式 (5) 实际上只是对阴影区域的亮度和颜色进行了调整, 非阴影区域的影像并没有受到任何影响。

3 试验结果分析

本文对若干幅彩色航空影像上阴影区域的信息补偿进行了试验, 这里只给出其中的一组试验结果, 如图 4 所示。

在图 4(a) 中箭头所指处, 虽然白色小汽车位

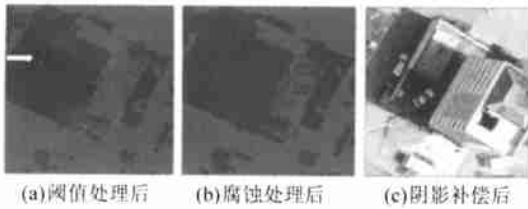


图4 阴影补偿试验结果

Fig. 4 Results of Shadow Compensation

于阴影区域内,因其亮度值仍然大于阈值 low ,而被误认为是非阴影区,但经过带条件的腐蚀运算处理后,对应的白斑已基本消失,如图4(b)所示;经过阴影补偿处理的影像如图4(c)所示。试验结果表明,本文所提出的阴影补偿算法,虽然不能完全消除影像上的阴影,但能有效地改善阴影区域的影像信息,使阴影中的地物更加清晰,并且对非阴影部分的影像没有影响。

若将上述方法用于航空影像上树木的阴影补偿,则在阴影信息得到补偿的同时,树木的层次感或立体感将受到影响。这是因为树木除了在地面上有阴影外,树冠处由于高低起伏和叶子的遮挡也有阴影,这部分阴影会随着地面上的阴影一起得到补偿。

图5(a)为树木的原始影像,图5(b)为经阴影补偿处理后的结果。可以发现,阴影补偿后树冠处变得模糊而缺乏层次感。若要保持树木的层次感不受影响,可考虑在处理前将树冠纹理部分剪去,并填上白色,待阴影补偿完成之后再吧树冠纹理贴回去。虽然白色亮度值很大,但其将不影响

阴影补偿处理的过程。

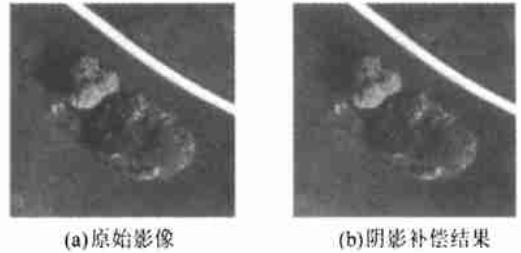


图5 树木的阴影补偿

Fig. 5 Shadow Compensation of Tree

参 考 文 献

- 1 夏正良. 数字图像处理. 南京: 东南大学出版社, 1999
- 2 Akira S Akio S Hiroyuki A, et al. Dynamic Shadow Compensation of Aerial Images Based on Color and Spatial Analysis. The International Conference on Pattern Recognition (ICPR 00), Barcelona, Spain, 2000
- 3 Finlayson G D, Hordley S D, Drew M S. Removing Shadows from Images. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2002
- 4 戴青云, 余英林. 数学形态学在图像处理中的应用进展. 控制理论与应用, 2001, 18(4): 478~482
- 5 Joseph S P S. Cloud Shadow Removal from Aerial Photographs. Pattern Recognition, 1990, 23(6): 647~656

第一作者简介: 王树根, 教授。现主要从事数字摄影测量、计算机视觉和空间信息认知的理论与方法研究。代表成果: 数字影像匹配质量的自诊断方法。

E-mail: sgwang@X263.net

Shadow Compensation of Color Aerial Images

WANG Shugen¹ GUO Zejin¹ LI Deren²

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

(2 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract: A method for the shadow compensation on color aerial photograph is presented in this paper. Experimental results indicate that the proposed method can improve the visibility of features in the shadowed regions created by buildings while retaining non-shadowed regions unaffected.

Key words: color aerial image; color space transformation; shadow compensation

About the first author: WANG Shugen, professor. His major research interests are digital photogrammetry and remote sensing, computer vision and spatial information cognition. His main achievements include GPS supported aerotriangulation and automatic quality diagnosis for digital image matching, etc.

E-mail: sgwang@X263.net

(责任编辑: 晓晨)