

# 一种基于无约束总变分模型的阴影检测方法

曹爽<sup>1,2</sup> 吴晓红<sup>3</sup> 贾晓敏<sup>4</sup>

## 摘要

阴影检测是进行阴影处理前的重要步骤,总变分模型可以用于影像阴影检测.通过对总变分模型进行改进,提出了一种基于无约束总变分模型的阴影检测方法.经实验及统计分析证明,在合适的迭代条件下,该方法对于单一阴影影像的处理效果理想.

## 关键词

阴影检测;总变分;无约束

中图分类号 P237

文献标志码 A

## 0 引言

### Introduction

在遥感影像的应用处理中,进行目标识别需要提取有关分割后物体的形状、颜色等信息,但这些信息被一些噪声干扰,这些噪声一部分来源于图像获取过程,一部分来源于自然原因,比如阴影.从20世纪90年代开始,图像上的阴影成为一个新的研究领域,对于影像上的阴影检测问题,国内外学者做过大量研究,并已提出了不少算法,简单地可以归为基于模型的阴影检测方法和基于属性的阴影检测方法.其中,基于属性的阴影检测方法是利用阴影的几何特点、亮度、颜色等信息来标识阴影区域,因而更具有普遍性.常用的基于属性的阴影检测方法包括:基于单波段的阴影检测方法,基于某一彩色空间的阴影检测方法和基于颜色空间变换的阴影检测方法.近年来,基于变分问题的图像处理成为图像处理领域的一个热点,同样也成为阴影检测的一个主要研究方向<sup>[1-2]</sup>.

以图像恢复为主要目的的总变分(Total Variation, TV)模型于1992年由Rudin等<sup>[3]</sup>提出后,许多学者对此进行了较深入的研究,并成功地将总变分模型应用于图像恢复和图像修补等领域.其基本原理是在满足若干约束条件下,最小化图像的总变分,即对于噪声图像,在满足噪声方差的条件下,使图像的总变分最小,以达到去噪的目的;对于有缺损区域的图像,利用最小化图像的总变分来实现对退化图像的修补.总变分方法在图像复原领域得到了广泛的应用和研究<sup>[4-5]</sup>.

## 1 基于总变分模型的阴影检测原理

### The shadow detection principle based on total variation models

对于影像上的阴影检测问题,如果将影像上的阴影现象视为图像退化的一种特殊形式,并把影像上阴影区域与非阴影区域的差别体现在总变分的约束条件之中,则可利用总变分方法进行影像上阴影区域的检测和提取.王树根等<sup>[4,6]</sup>研究了整体变分模型用于影像阴影检测的基本算法,并用实际影像验证了所提算法在阴影检测中的有效性.其基本原理为对于一幅二维图像来说,图像的总变分可定义为梯度幅值的积分,记为

$$J_T(u) = \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy = \int_{\Omega} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy. \quad (1)$$

收稿日期 2010-08-02

作者简介

曹爽,女,博士生,讲师,研究方向为遥感数字图像处理. sh\_cao2004@yahoo.com.cn

1 河海大学 地球科学与工程学院,南京,210098

2 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

3 唐山学院 土木工程系,唐山,063000

4 山西省电力勘测设计院,太原,030001

式(1)中: $u$ 为处理后图像的像素值; $|\nabla u|$ 为灰度梯度的幅值; $\Omega$ 为感兴趣区域(阴影区域)及其邻域的并集.

如果能在满足图像总变分最小的情况下(这样可以抑制不具有阴影特点的像素),同时突出具有阴影特点的区域,就可以达到阴影检测的目的.在现有算法中针对图像阴影区域的方差与非阴影区域的方差之间有着明显差别,以及阴影区域内亮度普遍较暗且较均匀的特点,设计了以下两种约束:

$$\begin{aligned} \int (u - u_0)^2 dx dy &= K_1; \\ \int (u - u_0) dx dy &= K_2. \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中: $u_0$ 为退化图像的像素值; $u$ 为处理后图像的像素值; $K_1$ 、 $K_2$ 为常数.因此,图像的阴影检测问题就变成了在以式(2)为约束条件时,求图像的总变分的约束泛函极值问题.对于约束泛函的极值问题,可通过欧拉方程将求解泛函的极值问题转化为求解偏微分方程的问题.根据 Euler-Langrange 方程,对式(1)、(2)求偏导,得到总变分式取得极值的必要条件:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right] - \lambda_1(u - u_0) - \lambda_2 = 0.$$

令

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right] = \operatorname{div} \left[ \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right],$$

则用于影像上阴影检测和提取的基本算式可以表示为

$$-\operatorname{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \lambda_1(u - u_0) + \lambda_2 = 0. \quad (3)$$

其中  $u_0$  为退化图像的像素值,  $u$  为处理后图像的像素值,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为 Langrange 乘子,  $|\nabla u|$  为灰度梯度的幅值. 对式(3)进行离散化后,对原始影像上各像素值进行计算,对满足阴影特征的像素重新赋值进行阴影检测<sup>[7-9]</sup>.

## 2 无约束总变分阴影检测算法

Shadow detection algorithm of unconstrained total variation

总变分方法不论用于图像噪声的去除还是图像修复,均是基于在满足若干约束条件下,最小化图像的总变分的思想.本文提出一种只对图像进行变分处理而不加任何约束条件进行阴影检测的方法.

### 2.1 算法原理

对于一幅二维图像而言,图像的总变分可定义为梯度幅值的积分,记为

$$TV(u) = \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy = \int_{\Omega} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy. \quad (4)$$

式(4)中: $|\nabla u|$ 为灰度梯度的幅值; $\Omega$ 为感兴趣区域.

在不加任何约束条件下对图像进行变分处理,即: $\min TV(u)$ .

对图像的总变分式(1)进行处理,即相当于满足如下公式:

$$\begin{cases} u_t = \operatorname{div}(\nabla u / |\nabla u|), & (x, y) \in \Omega, t > 0; \\ u(x, y, 0) = u_0(x, y), & (x, y) \in \Omega \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中: $u_0(x, y)$ 为退化图像; $u_t$ 为变分处理后的图像.

式(5)中  $\operatorname{div}(\nabla u / |\nabla u|)$  的推导如下:

$$\operatorname{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = \nabla \left[ \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right], \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nabla \left[ \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right] &= \left[ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right] \left[ \frac{1}{|\nabla u|} \left[ \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right] = \\ &= \left[ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right] \left[ \frac{\frac{\partial u}{\partial x}}{|\nabla u|}, \frac{\frac{\partial u}{\partial y}}{|\nabla u|} \right] = \\ &= \frac{u_x^2 u_{yy} + u_y^2 u_{xx} - 2u_x u_y u_{xy}}{(u_x^2 + u_y^2)^{\frac{3}{2}}}. \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)即为无约束总变分的阴影检测的基本公式.

具体计算时对所选择的整幅图像进行式(7)的计算,迭代的初始图像为原始灰度图像,判断迭代是否停止的准则为迭代前后的图像的均值是否大于某一阈值.

### 2.2 无约束总变分阴影检测方法的基本过程

如图1所示,首先将输入的原始影像转为灰度影像;设置相关的参数,包括时间步长以及防止分母为零的提升参数;给定初始的迭代次数对阴影进行检测;对检测后的结果进行目视判断,若结果影像呈现初始的分块现象则加大迭代次数,重新进行检测;相反,若结果影像过渡平滑则需减小迭代次数.对于迭代次数修改的步长需要根据检测结果具体设定,直到达到理想的检测效果.然后采用 canny 算子进行边缘特征提取,把图像中阴影较为明显的区域作为处理对象,较小的目视有混淆的区域不作考虑.

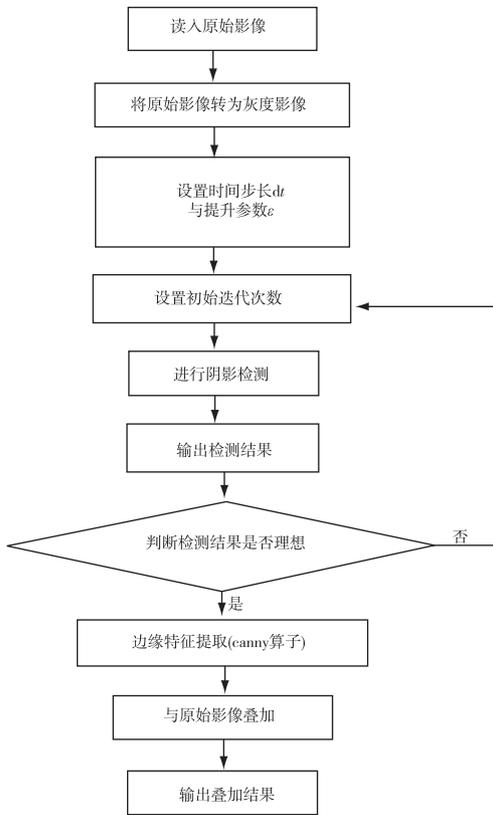


图1 无约束总变分阴影检测流程

Fig. 1 Flowchart of unconstrained total variational shadow detection

### 3 实验结果与分析

#### Results and analysis

#### 3.1 实验结果

根据总变分的原理,在不加任何约束条件下对图像进行总变分处理.采用 IKONOS 影像的某一具有单一地物的阴影区域进行实验,原始图像如图 2 所示.分别采用迭代次数为 6 和 10 对图像进行检测,迭代次数为 6 时的检测结果如图 3 所示.与图 2 相比,无约束的总变分方法可以检测阴影,迭代次数需要根据要求和具体处理的结果来调整.迭代次数较少时,图像效果不明显,随着迭代次数的增加,图像区域性增强.图 3 为迭代 6 次的结果,也是本文认为是该图像合适的迭代次数的结果,图像中阴影区域与非阴影区域分割效果明显.图 4 是对图 3 实验结果进行边缘检测并叠加到原始图像的效果.

为了实验对比,利用以灰度与方差作为约束条件的总变分进行阴影检测,约束参数  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  取值分别为 900, -15, 检测结果如图 5 所示.

图2 原始图像  
Fig. 2 The original image图3 无约束总变分检测结果  
Fig. 3 Test result of unconstrained total variation图4 无约束变分法检测叠加效果  
Fig. 4 Superposition rendering of unconstrained variation method图5 灰度与方差约束总变分阴影检测效果  
Fig. 5 Shadow detection result of gray and variance bound total variation

由以上实验可以得出结论:利用无约束条件的总变分方法进行影像上阴影区域的检测,简单有效.不足之处是与约束条件下总变分模型阴影检测结果相比,一些细节阴影区域被丢失,原因在于无约束条件的总变分方法只能通过调节阈值与迭代次数进行阴影检测,而添加灰度与方差为约束之后,对细节阴影区域的检测较无约束条件更精细准确.

### 3.2 统计分析

对所进行的实验进行统计分析,具体采用 Shufelt<sup>[10]</sup>提出的评价方法对检测得到的阴影区域进行估计评价.评价指标为准确率与精度.

这里将检测出的影像分为阴影区域与非阴影区域, $M_{FP}$ 代表非阴影被检测为阴影的像素数, $M_{FN}$ 代表阴影被检测为非阴影的像素数, $M_{TP}$ 为被正确检测的阴影像素数, $M_{TN}$ 为被检测的非阴影像素数.采用的两个评价指标为

$$C_f = \frac{M_{TP}}{M_{TP} + M_{FN}}; \quad (8)$$

$$A_f = \frac{M_{TP}}{M_{TP} + M_{FN} + M_{FP}}. \quad (9)$$

式(8)中  $C_f$  为阴影检测的准确率,是被检测的阴影像素占所有的正确阴影像素的衡量指标;式(9)中  $A_f$  为阴影检测的总体精度指标.一般认为准确率与精度指标越高,阴影检测效果越好.

根据本文所采用的评价指标,将处理后的阴影影像分别按照准确率与精度进行统计,结果如表1所示.由表1可以看出,对于单一的阴影影像,无约束的变分方法检测效果较好.

表1 阴影检测后图像统计数据

Table 1 Image data after shadow detection

处理方法	$C_f$	$A_f$
无约束总变分方法	0.935 9	0.917 2
灰度与方差约束总变分	0.855 7	0.819 4

## 4 结语

### Concluding remarks

本文在总变分阴影检测方法基础上,提出一种利用无约束的总变分方法阴影检测的方法.实验证明了所提出算法的有效性,在合适的迭代条件下,对于单一阴影影像的处理效果理想,通过统计分析无

约束条件下总变分阴影检测效果图比灰度方差约束条件下总变分阴影检测的准确率和精度都高.但是无约束变分法不足之处是只能对一些简单场景进行阴影检测,当地物和阴影的边缘不很明显或者阴影区域纹理较丰富时,该方法的检测效果不是很理想,而且在处理简单场景的单一的阴影影像检测时,选择合适的迭代次数是获得影像处理理想效果的关键,因此需要进一步研究.

## 参考文献

### References

- [1] Thirion J P. Realistic 3D simulation of shapes and shadows for image processing [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1992, 54(1): 82-90
- [2] Bejanin M, Huertas A, Medioni G, et al. Model validation for change detection [C] // 2nd national IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 1994: 160-167
- [3] Rudin L I, Osher S, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms [J]. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1992, 60(1/2/3/4): 259-268
- [4] 王树根. 正射影像上阴影和遮蔽的成像机理与信息处理方法 [D]. 武汉: 武汉大学遥感信息工程学院, 2003  
WANG Shugen. Method for information processing of shadows and occlusion on orthophotos [D]. Wuhan: School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 2003
- [5] 王军利. 基于彩色航空影像的阴影检测算法研究 [D]. 武汉: 武汉大学遥感信息工程学院, 2005  
WANG Junli. Shadow detection algorithm research based on color aerial images [D]. Wuhan: School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 2005
- [6] 王树根, 王军利, 王爱萍. 基于整体变分模型的影像阴影检测算法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(8): 663-666  
WANG Shugen, WANG Junli, WANG Aiping. Shadow detection and extraction from imagery based on total variation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(8): 663-666
- [7] Rudin L I, Osher S. Total variation based image restoration with free local constraints [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Austin, TX, 1994 (1): 31-35
- [8] 张艳明, 孙玉秋, 彭代强. 基于全变分方法的非线性图像去噪研究 [J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2007, 4(1): 74-76  
ZHANG Yanming, SUN Yuqiu, PENG Daiqiang. Nonlinear image denoising based on total variation method [J]. *Journal of Yangtze University: Natural Science Edition*, 2007, 4(1): 74-76
- [9] 许威威, 潘志庚, 张明敏. 一种基于整体变分的图象修补算法 [J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(4): 351-355  
XU Weiwei, PAN Zhigeng, ZHANG Mingmin. Image inpainting based on total variation model [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(4): 351-355
- [10] Shufelt J A. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(4): 311-326

# A shadow detection method based on unconstrained total variation model

CAO Shuang<sup>1,2</sup> WU Xiaohong<sup>3</sup> JIA Xiaomin<sup>4</sup>

1 School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098

2 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Civil Engineering Department of Tangshan College, Tangshan 063000

4 Shanxi Electric Power Exploration & Design Institute, Taiyuan 030001

**Abstract** Shadow detection is an important step in the shadow phenomenon, and the total variational model can be used in shadow detection. This paper improves the TV model, and puts forward a shadow detection algorithm based on unconstrained total variation. After the experiments with several real images and statistical analysis, it shows that the unconstrained total variational shadow detection is valid for single iterative images. Total variation model can be used in shadow detection, which is an important step before shadow processing. An unconstrained total variation model is proposed to detect shadow, based on the improvement of variation model. Experiment and statistical analysis show that the model can detect shadow of single image under appropriate iteration condition.

**Key words** shadow detection; total variation; unconstrained