

一种新的红外热像仪图像边缘检测方法

夏清, 胡振琪, 位蓓蕾, 王亚云, 陈超

(中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083)

摘要: 针对红外热像仪采集的红外影像边缘信息模糊、影像存在噪声、边缘信息难提取的特点, 提出了一种基于数学形态学对 LOG 算子改进和 Roberts 算子数据相结合的边缘检测新方法。该方法首先引进形态学中的开闭运算对具有随机噪声的红外影像进行滤波, 接着运用拉普拉斯算法边缘检测, 然后再采用 Roberts 算子提取边缘信息, 建立相应的融合规则及阈值条件, 将两种方法检测出的影像边缘信息融合, 得到最终的融合影像。最后, 对增加椒盐噪声的影像用 MATLAB 进行仿真实验, 结果表明, 该方法结合了两种检测算子的优点, 定位精度高, 有很强的抗噪性, 获得了比较理想的检测效果。

关键词: 影像处理; 边缘检测; 数学形态学; LOG 算子; 红外影像

中图分类号: TP751.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)01-0318-05

New edge detection method for images of infrared thermal imager

Xia Qing, Hu Zhenqi, Wei Beilei, Wang Yayun, Chen Chao

(Institute of Land Reclamation and Ecological Reconstruction, China University of Mining and Technology(Beijing),
Beijing 100083, China)

Abstract: According to the character of fuzzy image edge, noise image, difficult to extract the edge information collected by infrared thermal imager, a new edge detection method was proposed. The method combined LOG operator improved by mathematical morphology with Roberts operator. First the thermal infrared camera images with random noise was filtered using opening and closing operation of mathematical morphological. Then the Laplace algorithm was used for edge detection of thermal infrared images. Second, Roberts operator was introduced to extract edge information. Fusing edge information of images detected by two methods, at the same time, establishing corresponding fusion rule and the threshold condition were applied for this images, the final fused image was obtained. Finally, MATLAB was introduced to perform the experimental simulation for adding salt and pepper noise image. The experimental results show that the method has the advantages of two detection operators and has a good effect in noise suppression and positioning accuracy. Meanwhile the proposed algorithm is insensitive to noise and ideal detection results are obtained.

Key words: image processing; edge detection; mathematical morphology; the improved LOG operator; infrared image

收稿日期: 2013-04-05; 修订日期: 2013-05-18

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(2010YD03)

作者简介: 夏清(1987-), 女, 博士生, 主要从事红外图像处理、摄影测量与遥感研究。Email: xiaqingfriendxia@126.com

导师简介: 胡振琪(1963-), 男, 博士生导师, 主要从事遥感监测、3S 技术与土地复垦等方面研究。Email: huzqbj@yahoo.

0 引言

温度是表征物质状态的重要参数,自然界中一切温度高于绝对零度的物体时刻都在以电磁波的形式向外辐射能量,红外成像技术正是利用这种特性对温度进行探测的^[1]。红外成像技术具有对温度探测灵敏度高、测温准确、可靠性强等特点,因此,近年来,利用红外热像仪获取目标影像,对感兴趣区域进行无损探测,该技术已应用到军事勘察、遥感监测、森林防火等相关领域^[2]。边缘是红外影像的最基本特征,边缘检测是红外影像处理的重要组成部分,其检测效果的好坏直接影响后续的影像理解、影像分析、影像识别等操作。目前,传统的边缘检测算子有:Roberts算子、Sobel算子、LOG算子、GaussLaplace算子和Canny算子等^[3-4]。但由于红外热像仪影像(以下称其为红外影像)的成像机理、成像系统特性及环境反射等原因,使红外影像上显现出很多噪声点,上述传统的经典算子具有运算简单、计算速度快等优点,但当影像中含有较多噪声时,这些算子不能很好地剔除噪声的干扰,很难在噪声和影像边缘中做取舍,常常会将噪声误判为边缘点检测出来,而真正的边缘由于噪声的干扰可能被漏检^[5]。针对上述特点,在传统边缘检测方法的基础上,文中提出一种基于数学形态学的LOG算子及Roberts算子数据信息融合的算法,实验证明,该方法既能对红外影像去噪,又能保留影像的边缘细节信息,其融合影像极大地提高了边缘检测效果,很好地解决了红外影像目标识别的问题。

1 LOG算子的边缘检测算法及其改进算法

1.1 传统的LOG算子边缘检测算法

将高斯滤波和拉普拉斯边缘检测结合在一起,形成高斯拉普拉斯算法(LOG)。其原理是先进行高斯平滑,再进行拉普拉斯运算。

设原影像为 $f(x,y)$,通过卷积运算和Laplace算子,得到输出影像 $h(x,y)$:

$$h(x,y)=\nabla^2(g(x,y)\otimes f(x,y)) \quad (1)$$

式中: \otimes 为卷积; $g(x,y)$ 为高斯函数, $g(x,y)=\frac{1}{2\pi\delta^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{\delta^2}}$,

$$\text{拉普拉斯算子}\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}。$$

经数学运算以及平滑、微分后可得: $\nabla^2g(x,y)=\frac{1}{\pi\delta^4}(\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}-1)e^{-\frac{x^2+y^2}{\delta^2}}$,称为高斯Laplace算子(LOG)。求取 $h(x,y)$ 的所有过零点的轨迹即可得到影像 $f(x,y)$ 的边缘^[6-7]。

1.2 数学形态学

数学形态学是一门建立在数学理论基础上的学科。其基本思想是用具有一定数学形态的结构元素去度量和提取影像中的对应形状,除去不相干的结构,以达到对影像分析和识别的目的。形态学包括膨胀、腐蚀、开、闭等运算。假设 $f(x,y)$ 为灰度影像, $b(m,n)$ 为形态学结构元素,则灰度形态学各运算定义如下^[8]。

(1) 膨胀运算:

$$f\oplus b=\max\{f(x,y)+b(m,n)\}$$

(2) 腐蚀运算:

$$f\ominus b=\min\{f(x,y)-b(m,n)\}$$

(3) 开运算:

$$f\circ b=(f\ominus b)\oplus b$$

(4) 闭运算:

$$f\cdot b=(f\oplus b)\ominus b$$

1.3 改进的LOG算子影像边缘检测算法

传统的LOG算子在高斯滤波方差的选择上需要人工干预,抑制噪声和检测边缘方面很难达成一致,尤其对噪声的干扰非常敏感,从高斯函数中可以看出,方差 δ (滤波参数)的选取对去噪效果有着决定性的影响。一般来说, δ 越大,对高频噪声的抑制作用就越大,减小了将噪声误检为边缘点的可能性,但是可能造成丢失细节信息,不利于定位精度;反之, δ 越小,可以检测出影像的高频细节信息,但是将噪声误判为边缘点的概率大大增加,容易出现虚假边缘,导致边缘检测效果降低。传统的LOG算子在高斯滤波方差 δ 的选择上不具备自适应能力,对红外影像中的噪声极其敏感,因此,针对这一缺陷,在传统LOG算子的基础上,文中引入灰度形态学中的多尺度对影像进行开闭滤波,在去噪方面代替高斯平滑滤波,弥补高斯滤波的不足。由上述灰度形态学定义可知,开运算是先利用结构元素对输入影像进行腐

蚀操作,腐蚀结果再被结构元素进行膨胀。利用开运算可以消除形状小于结构元素的目标点,而闭运算则是恰好相反,先膨胀再进行腐蚀操作,可以连接邻近物体和平滑影像的边界。因此,分别采用两个不同尺度的结构元素对影像进行顺序开闭滤波运算,平滑影像去除噪声。文中选取的两个结构元素分别为 3×3 十字形的结构元素和 7×7 圆形的结构元素,假定它们分别为 S_1 和 S_2 ,如下所示:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$S_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

十字形结构元素 S_1 尺度较小,去除噪声能力较弱,但能够保持影像的边缘细节特征,先利用十字形结构元素进行开运算,可除去影像中小于结构元素尺寸的亮点,同时又能保留所有的灰度和较大的亮度区域特性不变;由于圆形结构元素 S_2 尺度较大,在去噪方面能力较强,会平滑过滤掉许多有用的细节信息,再利用圆形结构元素进行闭运算,可除去影像中小于结构元素尺寸的暗点,与此同时,又能保留原来较大的亮度特征信息。因此,依次运用两个形态学结构元素对影像进行开闭滤波运算,既能很好地抑制噪声,又能很好地提取边缘信息。

由上述分析可得,改进的 LOG 算子边缘检测步骤如下:(1) 先用数学形态学中的开闭运算对影像进行顺序滤波,即 $f_0 = f \circ S_1 \cdot S_2(f_0$ 为平滑去噪后的影像);(2) 对平滑去噪后的影像利用拉普拉斯算子进行边缘检测,得到边缘检测影像。

2 基于改进 Roberts 算子的边缘检测

红外热像仪探测的红外影像由于受拍摄条件、周围环境反射、大气辐射、拍摄角度等各方面条件影响,影像中存在很多噪声,如果直接利用 Roberts 算子对其进行边缘提取,会将这些噪声误判为影像的边缘特征点,因此,应该分析红外图像中的噪声本身

特点,选取合适的滤波器去噪为后续 Roberts 算子边缘检测奠定扎实的基础,以期达到更好的效果。

对红外影像中的噪声进行分析研究发现:噪声点的像素值与其周围相邻像素点的像素值差值较大,在影像中显示为一个个小的孤立亮点或暗点,此类噪声称为椒盐噪声。由前人研究可知,抑制影像中的椒盐噪声最行之有效的方法就是采用中值滤波,其原理是把邻域中的像素值从大到小排序,然后选择其中间值作为输出值。中值滤波对椒盐噪声的去噪能力是很强的,产生的模糊信息较少。先对红外影像利用中值滤波处理,这样,既能消除噪声又能很好地保留影像的边缘细节,然后再用 Roberts 算子进行边缘检测以达到边缘定位的目的^[9]。Roberts 算子原理简述如下^[10]:它是基于一阶局部微分寻找边缘的检测算子,具有很好的定位精度和能力,假定影像像素值为 $f(i,j)$,为简化计算,用绝对值代替微分近似有:

$$G(i,j) = |f(i,j) - f(i+1,j+1)| + |f(i+1,j) - f(i,j+1)| \quad (2)$$

用卷积模板表示, G_x 和 G_y 的卷积算子分别为:

$$G_x: \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, G_y: \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

3 数据融合方法及实验结果分析

3.1 数据融合方法

红外热像仪采集的图像不仅能够显示被测物体的可见光影像,而且能显示对应物体的表面温度场影像,还能够以 excel 表格的形式导出每个像素点的温度值。据此特点,可以先对影像进行预处理,提取在一定温度范围内感兴趣的阈值影像,为后续的边缘检测打下良好的基础,排除冗余信息对边缘检测的影响,有利于算法的实现。

通常,单边的边缘检测方法只能从一个方面反映影像的边缘特征信息,为了综合两种方法的优点,文中将两种检测方法的影像融合,采用 MATLAB 程序实现操作,方法流程如下:

(1) 根据影像应用目的及用途,给定感兴趣的温度阈值,根据温度阈值将感兴趣区域影像提取出来;

(2) 为突出噪声对算法的影响以及对比分析实验结果,对提取完温度区域的影像增加 2% 的椒盐噪声;

(3) 基于形态学不同尺度的结构元素 S_1 和 S_2 对影像进行顺序开闭运算, 然后与拉普拉斯算子进行卷积操作, 检测所有过零点的轨迹, 即得到影像 f_1 ;

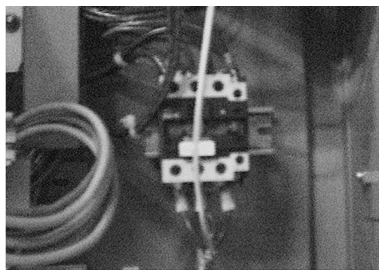
(4) 采用中值滤波去噪, 再用高定位精度的 Roberts 算子对影像边缘检测, 得到影像 f_2 ;

(5) 将步骤(3)、(4)得到的两幅影像 f_1 和 f_2 的像素值赋予权重(文中采用相同的权重值, 均为 0.5), 再取平均, 融合为一幅新的影像 f_3 ;

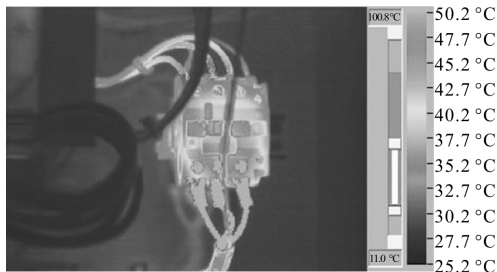
(6) 进行灰度阈值处理, 基于影像识别需要, 选取适当阈值 τ , 对影像进行阈值判决, 除去不必要的冗余信息, 最终得到文中算法融合影像 f_4 。

3.2 实验及结果分析

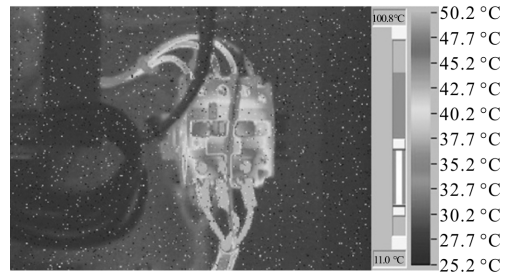
文中采用的仪器是非制冷焦平面红外热像仪 TH9100MV/WV, 获取的红外影像像素为 320×240 , 其可见光影像像素为 640×480 , 利用的波长范围为 $8 \sim 14 \mu\text{m}$, 可测温范围设置为 $-40 \sim 120^\circ\text{C}$, 利用红外热像仪采集的影像为电路元件的一个组成部分, 实验环境操作温度为 26°C , 湿度为 40% 左右, 将实验获取的影像导入到配套的软件 MikroSpec4 中, 测定其最高温度为 85.8°C , 最低温度为 26.0°C , 假定感兴趣的温度阈值为高于 30°C 的温度范围, 为了使实验效果对比明显, 对影像增加 2% 的椒盐噪声, 进行仿真实验, 实验结果如图 1 所示。



(a) 可见光影像
(a) Visible image



(b) 红外影像
(b) Infrared image



(c) 增加 2% 椒盐噪声的影像

(c) 2% increase in salt and pepper noise image



(d) 传统的 LOG 算子检测影像

(d) Traditional LOG operator detection image



(e) 改进的 LOG 算子检测影像

(e) Improved LOG operator detection image



(f) 改进的 Roberts 算子检测影像

(f) Improved Roberts operator detection image



(g) 文中算法融合影像

(g) Fusion image in the article

图 1 各算法仿真实验结果影像

Fig.1 Different result images

分析图 1 显示的结果可得到如下结论:(1) 图 1(d) 是单独采用传统 LOG 算子检测的红外影像边缘,可以看出,对具有一定噪声的红外影像,LOG 算子的边缘检测效果并不好,检测出大量的噪声,而且边缘提取很大程度上受噪声的影响,边缘比较模糊和粗糙,甚至存在伪边缘,影像效果极其不清晰,不利于影像识别和解译;(2) 图 1(e)是改进的 LOG 算子检测出的影像,经过形态学滤波后再边缘检测,不但大大滤除掉噪声,而且边缘提取清晰,在一定程度上很好保留了边缘细节信息,但是也有其不足之处,即影像边缘不连续,不能够体现红外影像中目标物体的外部轮廓,定位不够精确;(3) 图 1(f)是改进的 Roberts 算子提取的边缘,可以清晰看见边缘细节特征,没有伪边缘的出现,有效地去除了噪声,但是电路元件中的内部细节表现不好;(4) 图 1(g)是文中算法边缘检测影像,能够明显发现,边缘信息连续,检测出影像的外轮廓,同时内部特征提取完整,包含的信息量较多,很好保留了影像的边缘细节特征,并且定位精确,融合了 LOG 算子和 Roberts 算子的优良特点,最大程度上抑制噪声,得到比较满意的红外影像的边缘检测效果。

4 结 论

文中分析了 LOG 算子及 Roberts 算子各自的特点,针对红外影像本身的特征,提出了一种基于数学形态学滤波的 LOG 算子与 Roberts 算子融合的红外影像边缘检测方法。实验表明:该算法在很大程度上减轻了红外影像边缘检测的模糊性,有效地抑制了噪声,提高信噪比,充分发挥两种算子的优点,检测的影像边缘平滑性好、图像清晰,定位准确,影像质量有明显的改善,是一种简单有效的边缘检测方法。

参考文献:

- [1] Sun Xiaogang, Li Yunhong. Review of the development of temperature measurement technology with infrared thermal imager [J]. *Laser & Infrared*, 2008, 32 (8): 101–104. (in Chinese)
孙晓刚, 李云红. 红外热像仪测温技术发展综述 [J]. 激光与红外, 2008, 32(8): 101–104.
- [2] Li Yunhong, Sun Xiaogang, Yuang Guibin. Accurate measuring temperature with infrared thermal imager [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(9): 1336–1341. (in Chinese)
李云红, 孙晓刚, 原桂彬. 红外热像仪精确测温技术 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1336–1341.
- [3] Li Xinfu, Liu Jiaomin. Edge detection on arc image of low volt-age apparatus [C] //IEEE Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Xi'an, 2003: 2921–2925.
- [4] Rivest J. Morphological operators on complex signals [J]. *Signal Processing*, 2004, 84(1): 133–139.
- [5] Xiao Liping, Tao Wenbing, Tian Jinwen, et al. An algorithm of small target detection based on thoroughness estimation [J]. *J Huazhong Univ of Sci & Tech (Nature Science Edition)*, 2002, 30(10): 65–68. (in Chinese)
肖利平, 陶文兵, 田金文, 等. 一种基于粗糙度估计的红外小目标检测算法 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2002, 30(10): 65–68.
- [6] Cui Yuping, Liu Yongcai. Novel method of small target detection in infrared images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(5): 587–591.
- [7] Li Qi, Fu Juncheng, Li Ziqin, et al. Comparison of the edge detection algorithms for lidar image with speckle noise [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(3): 239–243. (in Chinese)
李琦, 傅俊诚, 李自勤, 等. 激光雷达含噪图像边缘检测算法比较 [J]. 红外与激光工程, 2003, 32(3): 239–243.
- [8] Chen Aijun. Mathematical morphology and its application in image analysis [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35: 465–468. (in Chinese)
陈爱军. 数学形态学及其在图像分析中的应用 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35: 465–468.
- [9] Tong Wuqin, Ling Yongshun, Huang Chaochao, et al. Processing method of IR image based on mathematical morphology and wavelet transform [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(1): 138–144. (in Chinese)
同武勤, 凌永顺, 黄超超, 等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理办法 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 138–144.
- [10] He Dongjian, Geng Nan, Zhang Yikuan, et al. Digital Image Processing [M]. Xi'an: Xidian University Publishing House, 2003: 90–99. (in Chinese)
何东健, 耿楠, 张义宽, 等. 数字图像处理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003: 90–99.