

doi: 10.3788/gzxb20144302.0210003

一种有效的红外小目标检测方法

崔璇, 辛云宏

(陕西师范大学 物理与信息技术学院, 西安 710062)

摘 要:提出了一种基于中值滤波与梯度法的红外小目标检测方法. 该方法首先通过中值滤波对红外图像进行平滑处理, 接着采用背景差分技术将原始图像与经过中值滤波后的图像进行差分对消. 在此基础上, 再使用梯度锐化法对残差图像进行边缘信息的增强. 最后, 利用二值化处理凸显出目标点. 该方法通过中值滤波与梯度法的互补效应实现了红外小目标的有效检测, 仿真实验结果证明了该算法的有效性.

关键词:红外弱小目标; 中值滤波; 背景差分; 梯度锐化法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)02-0210003-5

An Effective Method in the Detection of Infrared Dim Target

CUI Xuan, XIN Yun-hong

(School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: A method based on the median filter and gradient technique to detect the small target in infrared image is presented. It firstly uses median filtering to smooth the infrared image, followed by making use of the background subtraction technique to process the original image and the median filtering image. Based upon that, a gradient sharpening method is applied to strengthen the marginal information of the residual image. Finally, a binary technique is utilized to highlight the target. With the complementary effects of the median filter and gradient technique, the infrared dim target can be detected effectively. The results of the simulation have shown the effectivity of the presenting method.

Key words: Small infrared target; Median filter; Background subtraction; Gradient sharpening method

OCIS Codes: 100.0100; 100.2000; 100.2960; 100.2980

0 引言

当红外成像系统与目标的相对距离较远时, 其所形成的红外图像面积非常小, 而且没有具体的形状和纹理特征. 同时由于大气辐射对红外传感器的影响, 图像中包含有严重的起伏背景, 目标常表现为淹没在复杂背景中的几个像点^[1], 这使得红外弱小目标的检测非常困难. 如果要可靠、准确地检测并跟踪这类目标, 则必须对图像进行有效地背景抑制和降噪处理.

当前, 在红外弱小目标检测方面, 国内外学者已经提出了多种方法, 其中有: 基于局部极大值的红外弱小目标分割^[2]; 基于 Fuzzy-ART 神经网络的红外弱小目

标检测^[3]; 采用 D-S 证据理论的双色红外小目标融合检测^[4]; 基于多项差异度的红外弱小目标检测^[5]; 基于小波和高阶累积量的红外弱小目标检测^[6]; 基于显著性及主成分分析的红外小目标检测^[7]; 基于形态学和熵的红外目标检测^[8]等方法. 以上方法对于红外小目标的检测都具有一定的效果, 但仍存在一些局限性. 如文献[2]提出的基于局部能量比的方法, 在检测前需要通过高斯模板来增强图像; 文献[4]提出的方法虽然降低了目标漏检的可能性, 但需要较多的先验知识; 文献[6]中提出的基于小波和高阶累积量的检测方法虽能大大提高图像信噪比并且保留了目标信息, 但小波算法本身较为复杂. 文献[7]中提出的基于显著性

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划工业攻关项目 (No. 2012K09-09) 和 2012 年度中央高校基本科研业务费专项资金 (No. GK201301008) 资助

第一作者: 崔璇 (1989-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为红外小目标检测和跟踪. Email: cx15891693353@yeah.net

导师 (通讯作者): 辛云宏 (1967-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为微弱光电信号检测与处理、被动目标定位跟踪、多传感器信息融合. Email: xinyh@snnu.edu.cn

收稿日期: 2013-05-29; **录用日期:** 2013-09-17

<http://www.photon.ac.cn>

及主成分分析的检测方法是將红外小目标检测作为一个二分类问题来进行处理,其通过判断测试样本在主成分空间的重构残差,从而识别其是否为目标点.该方法检测效果很好,但具体实现略显复杂.文献[9]是將二维与三维信息相结合从而实现红外小目标的检测,其仿真实验表明该方法检测率较高,但由于其存在二维匹配问题,故对于未知目标,该方法在很大程度上具有局限性.文献[10]提出了一种结合形态学与区域自适应滤波的检测算法,该方法实时性好,但当目标点相对弱小时,容易在目标周围产生虚警点.

本文则采取背景差分的方法,通过將原始图像与经过中值滤波后的图像进行差分对消处理,从而有效地抑制背景杂波,提高图像的信杂比,并在此基础上利用梯度锐化法对残差图像进行门限制检测进而找出目标点.仿真实验结果表明此方法运算简单,速度较快,容易实现.

1 算法简介

一幅红外小目标图像可简单地描述为

$$f(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y)$$

式中, $f(x, y)$ 为红外图像在像素点 (x, y) 上的灰度值, $f_T(x, y)$, $f_B(x, y)$, $f_N(x, y)$ 分别表示目标、背景以及噪音在像素点 (x, y) 上的灰度值分量.

在红外图像中,背景占据着整个红外图像的低频部分,目标和噪音占据着整个红外图像的高频部分,噪音的主要来源是由红外摄像仪器所产生,由于仪器的性能限制,真实场景中光照变化、反射以及遮挡都会产生噪音^[11].同时红外小目标存在所含信息量少,缺乏具体结构及形状内容,信噪比低,背景情况复杂多变,在图像中成亮斑状等特点,这使得实现红外小目标检测又存在诸多难关^[12].

本文则利用背景占据红外图像的低频部分,目标和噪音占据红外图像的高频部分^[13]这一特点,首先对原始图像进行中值滤波从而滤除部分背景杂波实现图像的平滑,然后利用背景中的像素点灰度值与其周围像素点的灰度值相关性很强而弱小目标点上的灰度值与其周围像素点的灰度值相关性很弱这一特性,將滤波后的图像与原始图像做差分对消处理(背景差分),最后采用梯度法锐化对残差图像进行阈值限制从而检测出目标.

1.1 中值滤波

中值滤波^[14]是一种基于统计排序理论的非线性平滑滤波技术,它將每一像素点的灰度值设置为该点某领域窗口内的所有像素点的灰度值的中值.因为中值滤波器对异常值不敏感,所以中值滤波可以在不削弱图像对比度的情况下减小异常值对其的影响,并能保持红外图像部分边缘信息的完整性,保存信号的部

分细节信息.

中值滤波的具体过程是:设置一个滤波的模板,对需要处理的输入图像信号进行采样,任意选取其中一个像素点当作模板处理位置的中心,然后围绕中心点再设置一个确定的领域,在此领域内將各个像素点按照灰度值大小排序,选取最中间的灰度值作为该像素点的输出灰度值,遍历整个图像即可完成滤波过程^[15].

1.1.1 一维中值滤波

在一维情况下,中值滤波器是一个含有奇数个像素点的滑动窗口,窗口正中间的像素灰度值將用窗口内各像素灰度值的中值代替.

設输入序列为 $\{x_i, i \in I\}$, I 为自然数集合或子集,窗口长度为 n ,则滤波器输出为 $y_i = \text{Median}\{x_i\} = \text{Median}\{x_{i-u} \cdots x_i \cdots x_{i+u}\}$,其中 $i \in I, u = (n-1)/2$.

1.1.2 二维中值滤波

二维中值滤波是以窗口中 N 个像素点的灰度中值来置换中心点像素灰度值的,設滤波窗口的大小为 $A = N \times N$ (N 一般为奇数),則

$$x_{ij} = \text{Median} X_{ij}(m, n) \neq i, j \quad (m, n) \in A$$

二维中值滤波常用的模板有:十字形,菱形,方形和圆形等.仿真实验表明,线形,十字形和菱形模板适用于目标轮廓尖锐的图像,而方形与圆形模板则是针对目标轮廓相对平滑的图像.经过多次模拟仿真实验,本文最终采用圆形模板.

例:原信号为

7	9	5	3	9
4	6	12	10	8
11	8	4	9	6
3	9	6	8	5
9	6	8	2	7

从左面数圆形点阵为

	9	5	3	
4	6	12	10	8
11	8	4	9	6
3	9	6	8	5
	6	8	2	

像素值序列为(9,5,3,4,6,12,10,8,11,8,4,9,6,3,9,6,8,5,6,8,2);

从大到小排列(12,11,10,9,9,9,8,8,8,8,6,6,6,6,5,5,4,4,3,3,2);

利用中值滤波原理,圆形模板中心像素点的灰度值 4 将会被 6 代替,而 3×3 、 5×5 方形模板的输出结

果是 8 或 7.

1.2 背景差分

近几十年来,背景抑制的技术得到了较大发展,主要有时域滤波,空域滤波,频域滤波,小波变换^[16]等.这些方法均具有各自的使用范围,可以从不同角度对背景信号(比如:云、大气、地面辐射等自然或人造辐射源产生的基本平稳的非目标信号)进行有效地抑制,而背景差分是一种最简单有效的背景抑制技术.

背景差分的基本思想是:利用原图像与处理后图像中所有对应像素点的差来检测运动目标.红外图像中的背景主要是大面积缓慢变化的低频部分^[4],细节成分较少,背景中的像素点灰度值与其周围像素点的灰度值相关性很强,而弱小目标点上的灰度值与其周围像素点的灰度值相关性很弱,且目标点具有比背景较强的热辐射特性,其灰度值往往在局部区域中表现为极大值^[17].鉴于上述特性,可将原始图像与中值平滑滤波后的图像做差分处理,从而使得背景点相减后的预测残差很小,而目标点相减后的预测残差较大,进一步提高图像的信杂比.

1.3 梯度锐化法

图像锐化^[18]的目的是增强图像边缘,使目标物体的边缘鲜明,以便于提取目标物体.由于图像的模糊实质上是平均或是积分的结果,因此对其进行逆运算如微分运算(求解信号的变化率),就可以加强高频分量的作用,从而使得模糊的图像变得清晰.本文采用梯度法对图像进行锐化处理.

对于图像函数 $f(x, y)$,它在点 (x, y) 处的梯度是一个矢量,定义为

$$\nabla[f(x, y)] = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (1)$$

梯度的幅度 $|\nabla f(x, y)|$ 为

$$|\nabla f(x, y)| = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

由上式可知,梯度的数值就是在函数 $f(x, y)$ 在其最大变化率方向上的单位距离上所增加的量.对于离散图像处理而言,常用到梯度的大小,并用差分来近似一阶微分 $\partial f/\partial x, \partial f/\partial y$,从而梯度的幅度可以表示为

$$|\nabla f(x, y)| = \{ [f(x, y) - f(x+1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+1)]^2 \}^{1/2} \quad (3)$$

在实际使用中,为了提高计算速度,简化计算方法,通常采用下式来进行计算,这种求梯度的方法称为水平垂直差分法.

$$|\nabla f(x, y)| = |f(x, y) - f(x+1, y)| + |f(x, y) - f(x, y+1)| \quad (4)$$

式中各像素的位置关系如图 1.

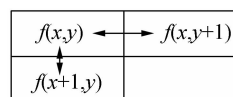


图 1 水平垂直差分法

Fig. 1 Horizontal vertical difference method

由上述梯度的计算方法可知,梯度值的大小与相邻像素的灰度值的差成比例.在图像轮廓上,梯度值较大,在图像平坦的区域,梯度值较小.利用这一特征,可在计算出梯度值后,选取适当的阈值来锐化图像进而凸显图像中的红外弱小目标.

2 仿真实验结果

实验所用的图像是采用武汉高德公司生产的 ThermoproTMTP8 系列红外热像仪拍摄的.为说明本设计方法的有效性,针对不同背景下的两种红外弱小目标图像进行了仿真实验.算法采用 Matlab 语言编程实现.

文章中仿真实验的梯度锐化部分是采用水平垂直差分法并通过设置两个灰度级来完成图像显示的,即用二值图像进行显示,这种方法可以很方便地对图像的边缘位置信息进行分析,其显示方法为

$$g(x, y) = \begin{cases} L_G & \text{if } |\nabla f(x, y)| \geq T \\ L_B & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

文中,设定阈值 $T=28, L_G=225, L_B=0$

其中阈值的适当选取非常重要,最优阈值 T 既应使得目标凸显出来,还应最大可能的降低虚警点个数.若取值太小,图像会出现很多虚警点;若取值太大,目标则会被背景淹没,无法识别.

在仿真试验中,对均值滤波和同态滤波后的图像也进行了梯度锐化处理,但从实验结果可以看出,其都没有很好地提取到目标,而本文所用的方法不仅有效地滤除了背景杂波,更凸显了目标.

鉴于以上图像评价仅为主观性认识,故使用信杂比作为判定指标对仿真实验结果的有效性做进一步证明.信杂比^[19]即信号与杂波之比,它用来描述一幅图像背景杂波的相对强度.具体定义为

$$\text{SCR} = \frac{f - \mu}{\delta} \quad (6)$$

其中 f 代表目标灰度均值; μ 代表图像灰度均值; δ 代表图像均方差.

原始图像 1、2 的分辨率均为 288×384 像素,且目标表现为点状,故选择了 $3 \times 3 = 9$ 个像素点,并对其求灰度均值,将该值作为目标灰度均值 f . 图像灰度均值 μ 的计算则是选择以目标点为中心的 100×100 邻域中的 10 000 个像素点,并对其求灰度均值.图像均方差 δ 的计算是通过公式 $\delta = \sqrt{E\{[u - E(u)]^2\}}$ 实现的.

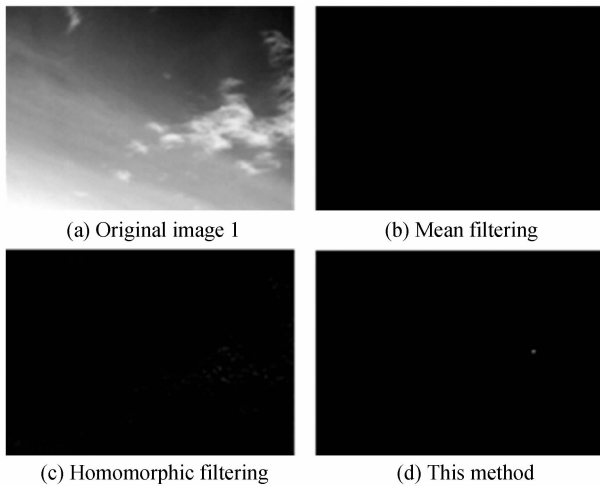


图 2 原始图像 1 三种方法比较

Fig. 2 The comparisons of 3 methods to original image 1

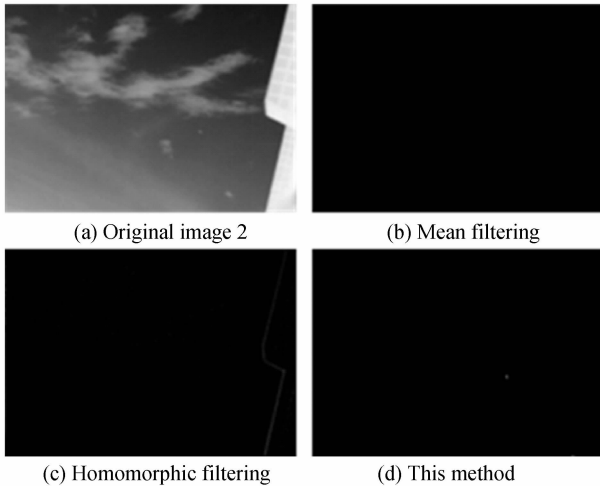


图 3 原始图像 2 三种方法比较

Fig. 3 The comparisons of 3 methods to original image 2

表 1 100×100 区域 信杂比对照表

Table 1 Area of 100×100 SCR comparisons

	Target gray-mean	Image gray-mean	Image mean-variance	SCR
Original image 1	199.78	138.66	47.79	1.28
This method	251.19	0.39	9.43	26.60
Original image 2	103.56	80.64	14.47	1.58
This method	158.81	0.36	8.99	17.66

从信杂比对照表中我们可以看出,本文所提出的方法在红外小目标检测方面都优于均值滤波以及同态滤波。处理后的图像,其信杂比均得到了有效增强,从而可以准确地检测到目标物体,为后续的目标跟踪工作提供便利。

3 结论

本文在分析了红外图像中背景与目标点灰度值差异的基础上,提出了采用背景差分法(利用中值滤波后的图像与原始图像进行差分对消处理)来抑制背景杂波,并使用梯度锐化法进一步凸显目标,仿真实验结果表明该方法运算简单,易于实现。后续工作中将利用本文方法,结合先检测后跟踪(DBT)的原理,实现对红外小目标图像序列的准确跟踪。

参考文献

- [1] ZHAO Jia-jia, TANG Zheng-yuan, YANG Jie, *et al.* Infrared small target detection based on image sparse representation [J]. *Infrared Millim Waves*, 2011, **30**(2): 156-166.
赵佳佳,唐峥远,杨杰等.基于图像稀疏表示的红外小目标检测算法[J].红外与毫米波学报,2011,**30**(2):156-166.
- [2] ZHANG Qiang, CAI Jing-ju, ZHANG Qi-heng, *et al.* Small dim infrared targets segmentation method based on local maximum [J]. *Infrared Technology*, 2011, **33**(1): 41-44.
张强,蔡敬菊,张启衡等.基于局部极大值的红外弱小目标分割方法[J].红外技术,2011,**33**(1):41-44.
- [3] CHEN Bing-wen, WANG Wen-wei, QIN Qian-qing. Infrared dim target detection based on fuzzy-ART neural network[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2012, **34**(5): 857-863.
陈炳文,王文伟,秦前清.基于 Fuzzy-ART 神经网络的红外弱小目标检测[J].系统工程与电子技术,2012,**34**(5):857-863.
- [4] LI Qiu-hua, LI Ji-cheng, SHEN Zhen-kang. Dual band ir small target fusion detection using the D-S evidence theory[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(3): 266-271.
李秋华,李吉成,沈振康.采用 D-S 证据理论的双色红外小目标融合检测[J].红外与激光工程,2005,**34**(3):266-271.
- [5] WANG Yu-xiang, HAN Zhen-duo, WANG Hong-min. Detection algorithm for dim infrared target based on multi-difference factor[J]. *Infrared Technology*, 2012, **34**(6): 351-355.
王宇翔,韩振铎,王宏敏.基于多向差异度的红外弱小目标检测算法[J].红外技术,2012,**34**(6):351-355.
- [6] LÜ Yan, SHI Lin, SU Xin-zhu. Method for dim small target detection based on wavelet and higher-order cumulant [J]. *Infrared Technology*, 2006, **28**(12): 713-716.
吕雁,史林,苏新主.基于小波和高阶累积量的红外弱小目标检测[J].红外技术,2006,**28**(12):713-716.
- [7] HU Dun, ZHAO Jia-jia, CAO Yuan, *et al.* Infrared small target detection based on saliency and principle component analysis[J]. *Infrared Millim. Waves*, 2010, **29**(4): 303-306.
胡墩,赵佳佳,曹原等.基于显著性及主成分分析的红外小目标检测[J].红外与毫米波学报,2010,**29**(4):303-306.
- [8] WAN Ying-ying, ZHANG Yong-shun, HE Ping. Research on IR target-detecting method based on morphology and entropy [J]. *Laser & Infrared*, 2012, **42**(5): 513-517.
王莹莹,张永顺,何萍.基于形态学和信息熵的红外目标检测方法[J].激光与红外,2012,**42**(5):513-517.
- [9] LEE P H, LIN Y L, CHEN S C, *et al.* Viewpoint-independent object detection based on two-dimensional contours and three-dimensional sizes [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2011, **12**(4): 1599-1608.

- [10] SU Xiu-qin, LIANG Jin-feng, LU Tao, *et al.* IR target detection & tracking algorithm based on sea-sky background [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5): 1309-1312.
苏秀琴,梁金峰,陆陶等. 海天复杂背景下红外目标的检测跟踪算法[J]. *光子学报*, 2009, 38(5): 1309-1312.
- [11] EMILIO M, ANDREA C. Learning scene context for multiple object tracking[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, **18**(8): 1873-1884.
- [12] 李俊山,杨威,张雄美. 红外图像处理、分析与融合[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [13] GUO Zhang-ting, XIN Yun-hong. Small IR target algorithm based on classified background prediction an image blocking [J]. *Laser & Infrared*, 2012, **42**(5): 572-578.
郭张婷,辛云宏. 红外小目标的分类背景预测与图像分块技术[J]. *激光与红外*, 2012, 42(5): 572-578.
- [14] CHANG Chin-chen, HSIAO Ju-yuan, HSIEH Chih-Ping. An adaptive median filter for image denoising [J]. *IEEE Intelligent Information Technology*, II2008, **08**(2): 346-350.
- [15] 王清亮. 红外弱小目标检测方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
- [16] DAVIDSON G, GRIFFITHS H D. Wavelet detection scheme for small targets in sea clutter[J]. *Electronic letters*, 2002, **38**(19): 1128-1130.
- [17] 郭方方. 低信噪比红外图像预处理与分割技术研究[D]. 西安: 电子科技大学, 2010.
- [18] 刘刚. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 119.
- [19] WANG Xiao, XIN Xun-hong. The research on infrared small target template extraction and detection technology[J]. *Laser & Infrared*.
王霄,辛云宏. 红外小目标的模板提取及检测技术研究[J]. *激光与红外*(已录用).