

基于 Contourlet 变换和 Facet 模型的红外小目标检测方法

卢瑞涛, 黄新生, 徐婉莹

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对存在复杂背景干扰和噪声情况下的红外弱小目标检测问题, 提出了一种基于循环平移 Contourlet 变换和 Facet 模型多向梯度特性的检测方法。首先通过循环平移 Contourlet 变换, 利用硬阈值对图像进行去噪, 提高图像的信噪比和平滑性; 然后设计了一种基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器, 对去噪后的图像进行滤波, 有效地抑制复杂背景和噪声; 其次采用两级最大类间方差算法对滤波后的图像进行分割; 最后根据相邻帧候选目标的位置和速度关系进一步检测弱小目标。实验证明, 这种算法抗噪性强, 对包含强纹理结构的复杂背景具有良好的抑制作用, 能够有效地检测出弱小目标。

关键词: 红外小目标; 循环平移 Contourlet 变换; Facet 模型; 中值滤波; 阈值分割

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)08-2281-07

Method of infrared small target detection based on Contourlet transform and Facet model

Lu Ruitao, Huang Xinsheng, Xu Wanying

(College of Mechatronic Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: It is a problem to detect small moving target in infrared images, especially under the circumstances of complex background and noise. Now aiming at this problem, a novel method based on cycle spinning Contourlet transform and the multi-orientation gradient character of Facet model was proposed. Firstly, through cycle spinning Contourlet transform, the infrared image was decomposed so that the noise was removed and the signal-to-noise ratio and smoothness were increased. Then, a median filter based on the multi-orientation gradient character of facet model was designed to filter the reconstructed image, so the complex background and noise were restrained effectively. After that, the algorithm of 2-level maximum between-cluster variance was used to segment the filtered image. Finally, further detection of the small target was made according to the relationship of position and velocity in images. The results prove that the method concerned in this paper can restrain the complex background with strong clutter to good effect and can test small target efficiently.

Key words: infrared small target; cycle spinning Contourlet transform; Facet cubic model; median filter; threshold segmentation

收稿日期: 2012-07-10; 修订日期: 2012-08-12

基金项目: 实验室青年教师创新研究项目(LWAS-QNJS-2011-05)

作者简介: 卢瑞涛(1988-), 男, 硕士生, 主要从事图像匹配、目标跟踪方面的研究。Email: lrt19880220@163.com

导师简介: 黄新生(1955-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事精确制导、图像处理等方面的研究。Email: huangxinsheng@163.com

0 引言

红外制导技术在军事领域中有着广泛的应用, 尽早地识别和锁定跟踪目标在当前的信息化战争中有着重要的意义。当目标距离较远时, 图像中存在较大的噪声和背景干扰, 信噪比较低, 而目标通常只占几个或者十几个像素, 没有结构信息, 这样就很难从图像中分离出弱小目标, 使得红外小目标的检测成为目标识别领域的一个难点。

目前红外小目标检测方法可以分为 3 类: (1) 基于变换域的红外小目标检测方法, 常用的变换有小波变换^[1]等。(2) 基于背景估计与抑制的检测方法, 常用的有高通滤波^[2]、中值滤波^[3]、以及基于背景的估计^[4]等。(3) 基于形态学滤波^[5]的红外小目标检测方法。这些方法都有各自的局限性。小波变换可以实现图像的频率选择和多尺度分解, 起到抑制背景噪声和增强目标的作用, 但是只能在水平、垂直和对角 3 个方向上进行分解, 并且小波变换并不具有平移不变性。背景估计和形态学的检测方法在平稳背景下有良好的性能, 但是对于强纹理的动态复杂背景, 这些算法与背景杂波的相关程度不够, 从而对具有高频特征的背景杂波边缘纹理的抑制能力不强, 造成检测成功率的下降。

Contourlet 变换^[6]是一种真正的图像二维表示方法。相比小波变换, 它具有方向性和各向异性, 可以很好地捕获图像几何结构, 但并不具有平移不变性, 导致图像去噪时存在伪 Gibbs 现象。Coifman 和 Donoho 提出的循环平移的方法^[7]可以很好地消除伪 Gibbs 现象。因此循环平移 Contourlet 变换在图像的去噪方面具有良好的性能。Facet 小面模型^[8]将二维灰度图像转化为空间的曲面, 为图像分析提供了更加丰富而准确的信息, 可以求得图像中一点的任意方向的梯度信息, 改善了传统梯度算子的准确性和精度。

针对以上分析, 笔者将基于变换域的方法和基于背景抑制的方法结合起来, 提出一种基于循环平移 Contourlet 变换和 Facet 小面模型多向梯度特性的弱小目标检测方法。首先用循环平移 Contourlet 变换对图像进行去噪, 然后设计了一种基于 Facet 小面模型多向梯度特性的中值滤波器, 对去噪后的图像进行滤波, 很好地抑制了复杂背景, 其次通过两级最大

类间方差来进行分割, 最后根据相邻帧候选目标的位置和速度关系进一步检测弱小目标。文中给出了实验结果和分析, 并将该算法与现有的 3 种小目标检测算法进行了比较。

1 Contourlet 变换

Contourlet 变换, 也称塔型方向滤波器组 (PDFB, Pyramidal Directional Filter Bank)^[6], 它首先选用拉普拉斯塔式滤波器结构 (Laplacian Pyramid, LP) 对图像进行分解, 产生原图像的一个低通采样逼近和一个原图像与低通采样预测图像之间的一个差值图像, 对得到的低通图像继续分解会得到下一层的低通逼近和差值图像, 如此逐步的滤波就得到了图像的多分辨率分解。对每一级产生的高频分量利用二维方向滤波器组 (DFB) 进行多方向分解, 在任意的尺度上可以得到 2 的 n 次方数目的方向子带。图 1 给出了离散 Contourlet 变换的滤波器结构。图 2 为一个分解的例子, 图像 Zoneplate 的 2 级 Contourlet 分解图, 其中最细致层上方向数为 8。图中可以直观地看到方向滤波器组的滤波效果。

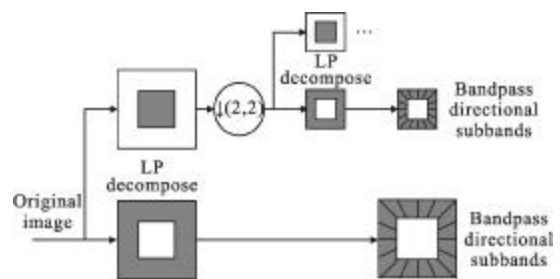
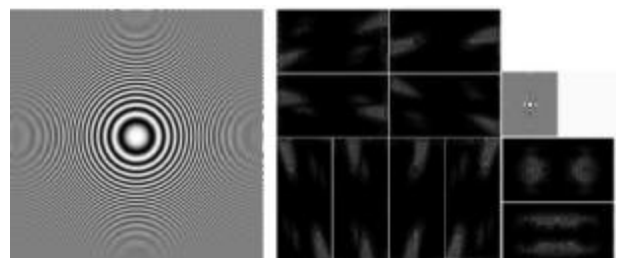


图 1 Contourlet 变换滤波器组结构图

Fig.1 Pyramidal directional filter bank of Contourlet transform



(a) Zoneplate 原图 (b) Zoneplate 的 2 级 Contourlet 分解图

(a) Original image of Zoneplate (b) 2-level Contourlet decomposition of Zoneplate

图 2 一个 Contourlet 分解实例

Fig.2 An example of Contourlet decomposition

相比小波变换,Contourlet 变换是图像的一种更好的“稀疏”表示工具,能够很好地去除边缘的噪声,保持边缘的平滑性。基于 Contourlet 变换检测小目标通常都是对低频背景进行抑制,对高频子图进行滤波,最后重构图像来检测小目标。显然这种方法在平稳背景下的检测有良好的效果,但在动态复杂背景的小目标检测中,会把强纹理边缘作为可疑目标保留下来,会对以后的检测和跟踪有较大的干扰。

显然 Contourlet 变换有 4/3 的冗余度,这来自于 LP 的分解过程。后来 Eslam 等人将小波变换和方向滤波器组结合起来,提出了轮廓小波变换,解决了冗余的问题,并且保持了小波变换良好的非线性逼近特性,但也相应地引进了视觉误差。

2 Facet 小面模型曲面拟合

Facet 小面模型^[9]提供了一种对邻域图像快速而准确的拟合方法。如果考虑采用 2 个一维离散 Chebyshev 多项式集合构造二维离散正交多项式基,图像中每个 Facet 区域 R 的灰度分布可由一组双三次多项式基函数的线性组合逼近,逼近函数为:

$$\hat{I}(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3(x^2 - 2) + b_4xy + b_5(y^2 - 2) + b_6(x^3 - 17x/5) + b_7(x^2 - 2)y + b_8x(y^2 - 2) + b_9(y^3 - 17y/5) \quad (1)$$

将上式表述为 $\hat{I}(x, y) = B\Phi$, 其中 $B = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_9)$, $\Phi = (\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_9)^T$ 。根据基的正交性和上述的最小均方误差,便可以求得加权系数:

$$b_i = \frac{\sum_{(x,y) \in S} \phi_i(x,y) I(x,y)}{\sum_{(x,y) \in S} \phi_i(x,y)} = w_i I(x,y) \quad (2)$$

式中: $w_i = \frac{\sum_{(x,y) \in S} \phi_i(x,y)}{\sum_{(x,y) \in S} \phi_i(x,y)}$ 。公式(2)表明加权系数 b_i 可以通过图像 $I(x, y)$ 与固定模板 w_i 卷积获得,其中模板的大小在 S 范围之内。

Facet 模型应用最广泛的领域便是边缘的检测,在小目标的检测中也有一定的应用。参考文献[9]采用了 Facet 模型来检测小目标,其思想是经过以下两个滤波器滤波原始图像:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} < 0 \\ \left(\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial xy} \right)^2 < 0 \end{cases} \quad (3)$$

对滤波后的两幅图像进行局部能量值的求取来最后分割小目标。显然这种算法存在一定的局限性,

首先直接通过求极值点来检测小目标的鲁棒性较差,图像中的任何噪声都会产生较大干扰,尤其是边缘处的噪声;其次没有充分地利用 Facet 模型的特性,只用到了两个方向的滤波器,检测精度会降低,处理后的图像虚警较多。

3 基于循环平移 Contourlet 变换和 Facet 模型多向梯度特性的红外小目标检测

Contourlet 变换和 Facet 小面模型在图像去噪和边缘的检测方面有较好的性能。Contourlet 变换可以多方向多尺度地分解图像,去除噪声的同时又很好地保留边缘的光滑性。Facet 小面模型将离散图像转换为连续的图像,为图像的分析提供更加丰富的信息。为此,文中将基于变换域的方法和基于背景抑制的方法结合起来,综合利用 Contourlet 变换在去除边缘噪声方面和 Facet 模型在边缘检测方面的优点,提出一种基于循环平移 Contourlet 变换和 Facet 模型多向梯度特性的弱小目标检测方法。该方法分为 4 个步骤:

(1) 首先利用循环平移 Contourlet 变换进行自适应阈值去噪,提高图像的信噪比和平滑性。

(2) 然后设计了一种基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器,对去噪后的图像进行滤波,极大的抑制了强纹理的复杂背景。

(3) 其次通过两级最大类间方差来进行分割,分割出弱小目标。

(4) 最后根据相邻帧候选目标的位置和速度关系进一步的检测和跟踪,排除虚警。

3.1 循环平移 Contourlet 变换自适应阈值去噪

常用的一种简单的去噪方法就是 Donoho 阈值去噪。但是这种方法过度“扼杀”了 Contourlet 系数,也没有考虑相同尺度下不同方向的图像能量分布情况,因此文中采用一种自适应的阈值去噪。

设置图像的硬阈值为:

$$\bar{\delta} = \delta \times m_k^j \quad (4)$$

式中: $\delta = \sigma \sqrt{2 \ln(N)}$ 不同尺度不同方向上的能量记为 e_k^j , 因子 $m_k^j = 1 - c \times \frac{e_k^j}{\sum_{j=1}^J e_k^j}$ (k 表示第 k 个尺度, j 表示第 j 个方向, c 为经验常数)。

可以看出因子 m_k^j 不仅与尺度有关系,而且与不同方向上的轮廓细节有关,

并且有 $m_k^j < 1$, 阈值会变小, 这样也避免了过度“扼杀”Contourlet 变换的系数。

这种自适应的阈值去噪算法对纹理信息较多的图像处理效果较好, 能很好地恢复图像的细节轮廓并且计算简单。

由于在 Contourlet 变换和重构中存在下采样和上采样的过程, 在图像的去噪过程中不具有平移不变性, 因此会产生伪 Gibbs 效应。为此, 采用参考文献[7]中的 Cycle Spinning 算法来解决上述不足, 它通过“循环平移-自适应阈值去噪-逆向循环平移来实现”。

循环平移 Contourlet 变换去噪的过程如下:

(1) 在一定的范围 $N1 \times N2$ 对原始图像进行循环平移运算, 得到 $N1 \times N2$ 个平移子图像。

(2) 用 Contourlet 变换将每个子图像分别进行分解变换。

(3) 用上述的自适应阈值去噪, 并进行 Contourlet 逆变换, 重构图像。

(4) 将重构图像进行逆循环平移, 得到去噪后的子图像, 然后线性平均得到去噪后的图像。

3.2 基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器的设计

红外弱小目标可看做图像中的孤立奇异点, 显然在各个方向上均有较高的梯度; 而背景杂波, 往往具有连续分布的特性, 因此其各个方向的梯度值均较小; 复杂纹理则表现在少数几个特定的方向上有较高的梯度, 而在其他的方向梯度较小。在基于循环平移 Contourlet 变换自适应阈值去噪的基础上, 文中设计了一种基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器来抑制复杂纹理和背景杂波, 突出目标特性。

为了提高鲁棒性, 采用均值方向梯度来表示图像中一点的梯度。一幅图像的 Facet 小面拟合曲面 $\hat{I}(x, y)$ 如公式(2)所示, 对于给定方向矢量 $\vec{l}=(\sin\theta, \cos\theta)$, 那么在点 (x, y) 处沿矢量 θ 的一阶方向导数为:

$$\hat{I}'_0(x, y) = \frac{\partial \hat{I}(x, y)}{\partial x} \sin\theta + \frac{\partial \hat{I}(x, y)}{\partial y} \cos\theta \quad (5)$$

定义点 (x, y) 沿 θ 方向的 R 邻域的均值方向梯度为:

$$F_{\theta} = \frac{\int_r \hat{I}'_{\theta}(x, y) ds}{L} \quad (6)$$

式中: L 表示邻域的中心距离边界的距离; r 表示与 x 轴成 θ 角的垂直于 xoy 的平面和 Facet 拟合曲面相

交的空间曲线。令 $\theta=[0, \pi/4, \pi/2, \dots, 7\pi/4]$, 表示 8 个方向, 代入边界条件 L 得到 8 个方向的均值梯度:

$$F_{\theta} = \begin{cases} (b_2 - 2b_7 - 17b_9/5) + b_4L/2 + b_7L^2/3, \theta=0 \\ (b_1 + b_2 - 2b_7 - 2b_8 - 17b_9/5 - 51b_9/5) + (b_3 + b_4 + b_5)L + (b_6 + b_7 + b_8 + b_9)L^2, \theta=\pi/4 \\ (b_1 - 2b_8 - 17b_9/5) + b_4L/2 + b_8L^2/3, \theta=\pi/2 \\ : \\ (b_1 - b_2 + 2b_7 - 2b_8 - 17b_9/5 + 51b_9/5) + (b_3 - b_4 + b_5)L + (b_6 - b_7 + b_8 - b_9)L^2, \theta=7\pi/4 \end{cases} \quad (7)$$

把以上的 8 个均值方向梯度的中间梯度:

$$F_0 = \text{median}\{F_{\theta=0}, F_{\theta=\pi/4}, F_{\theta=\pi/2}, \dots, F_{\theta=7\pi/4}\} \quad (8)$$

作为当前邻域的中心像素点的滤波输出。显然, 文中设计的中值滤波器具有较强的鲁棒性, 对图像的多向梯度描述特征更准确, 极大的克服了传统梯度算子的局限性。

3.3 阈值分割

经过上述基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器的滤波, 抑制了大部分的背景杂, 突出了弱小目标。由于红外小目标通常只有几个或者十几个像素, 在整幅图像中所占的比例极小, 因此经上述的去噪和滤波算法后的图像, 不能用传统的阈值分割算法来进行分割。文中采用一种两级最大类间方差 (OSTU)^[10]来进行图像分割。

设图像的灰度级为 $\{0, 1, \dots, K-1\}$, 灰度值为 i 的像素数为 n_i , 此时得到总的像素数:

$$N = \sum_{i=1}^{K-1} n_i \quad (9)$$

各值的出现的概率:

$$p_i = n_i/N \quad (10)$$

将图像中的像素按灰度级用阈值 t 划分为 $C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$ 和 $C_1 = \{t+1, \dots, K-1\}$ 两类, 则 C_0 和 C_1 两类间的方差为:

$$d_B(t) = \omega_0|\mu_0 - \mu|^2 + \omega_1|\mu_1 - \mu|^2 \quad (11)$$

式中: $\omega_0 = \sum_{i=0}^t p_i$ 表示 C_0 出现的概率; $\mu_0 = \sum_{i=0}^t \frac{ip_i}{\omega_0}$ 表示 C_0 的灰度平均值; $\omega_1 = \sum_{i=t+1}^{K-1} p_i$ 为 C_1 出现的概率; $\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{K-1} \frac{ip_i}{\omega_1}$

表示 C_1 的灰度平均值; $\mu = \sum_{i=0}^{K-1} ip_i$ 表示图像的灰度级总体均值。类间方差 $d_B(t)$ 取最大值时对应的阈值为 t 为最佳阈值。

由于经过上述的基于 Facet 模型多向梯度特性的中值滤波器滤波后的图像为梯度图像, 改变了原灰度图的灰度特性。小目标在图像中通常为孤立的

亮点,滤波后的梯度是比较大的正值。为此,首先将梯度图像中小于零的像素点去掉,去除这些点对阈值的影响,然后将梯度图像化为为[0 255]的灰度图像,这样就可以通过分割算法对其进行分割。

采用两级最大类间方差算法进行分割。首先利用最大类间方差将转化后的灰度图像进行分割,最佳阈值 t_1 将图像分为背景类和目标类,然后舍弃背景类,对目标类继续用最大类间方差来进行分割,得到阈值 t_2 与划分的背景类和目标类。 t_2 为最终的分割阈值,目标类为候选目标。经过两级的分割,已经很大程度地排除了大量背景对分割阈值的影响,有效地分割出弱小目标。

3.4 根据连续帧候选目标的位置和速度关系进一步检测弱小目标

阈值分割后的图像,除了真实目标外,可能还包含了高频噪声或亮斑。目标在帧间运动具有连续性和关联性;而噪声的运动则是随机的,帧间不具有关联性。进一步分析考虑,由于照相机的运动,图像中的亮斑在相邻帧间会有近似相同的运动矢量,而小目标由于本身存在运动,因此其目标点的矢量会明显不同。由此,可以通过对连续帧间候选点目标的位置和目标点的矢量关系进行分析,来消除噪声和亮斑,进一步地检测弱小目标。

若候选点目标在前一帧图像同一位置的邻域出现,则保留;否则为噪声,该像素置零。考虑到干扰可能使目标在某一帧的像面上暂时消失,因此,假定某候选目标在连续8帧中有至少7帧出现,相邻帧之间候选目标点的矢量方向一个阈值范围之内且和其他候选目标点的矢量明显不同,就判断其为弱小目标。

4 实验结果及分析

为验证算法的有效性,利用文中的算法对两组图像序列进行检测,并与现有的 TOPHAT 算法, BHPF^[12]算法,参考文献[12]算法进行了比较。其中序列 I 是大小为 380×380 的复杂云层背景图像序列,序列 II 为大小为 490×490 的复杂地面背景图像序列。实验中循环平移 Contourlet 变换的 LP 采用“9-7”金字塔滤波器,DFB 采用“pkva”方向滤波器,进行三级分解,每个层的方向数依次为 8、4、2,循环平移的范围取 $N_1=N_2=N_3$;Facet 模型中取 $S=5\times 5$ 的邻域,中心到邻域边界的距离 $L=2$ 。用于对比的算法中,

TOPHAT 算法中采用的结构元素的大小为 7×7 ;BHPF 算法中的标准差 $\sigma=12$;参考文献[12]中选用的 LP 采用“9-7”金字塔滤波器,DFB 采用“pkva”方向滤波器,进行三级分解,每个层的方向数依次为 8、4、2,实验环境是 Intel (R)Core (TM)CPU 3.10 GHz/2GB 内存/MATLAB 2011。

为了充分说明该算法的优越性,首先分析图像进行分割前的背景抑制情况。选取图像序列 I 中的第五帧和图像序列 II 中的第八帧图像,对其预处理图像的三维图像和背景抑制因子方面进行比较。

由图 3 可以看出,对于图像序列 I,背景为天空和云层,背景在空间上呈现大面积的连续分布状态,而运动的小目标由于目标红外辐射强度与其周围自然背景的辐射强度不相关,在图像中表现为孤立的亮斑。另外云层的亮度较大,也存在很多的噪声,尤其是强边缘对图像的处理有较大的干扰。从预处理后的三维图像可以看出, TOPHAT 算法和 BHPF 算法都能够有效的去除图像中的平稳背景,但对于噪声的干扰相当的敏感,图形中出现了较多的尖峰值,对图像以后的分割有不利的影响。而参考文献[12]的算法,虽然对图像的背景处理的很好,但是对于强亮度的边缘并不能很好的抑制,由图(b3)可以看出,图像中出现了3个较大的干扰尖峰,在图像中都体现了复杂的纹理处。文中的算法在去噪方面表现了良好的性能,并且对图像的复杂的纹理背景进行了更好的抑制,使得主峰更加突出,图(b4)中基本没有尖峰对图像形成后续的干扰。

对于图像序列 II,为复杂地面的场景的红外图像,目标为运动的汽车,由图(a2)可以看出,背景更加复杂,包含了房屋、道路以及一些强边缘都对检测带了困难,干扰最大的还是图形中出现的相当多的亮斑,其特性与小目标极为相似。由图(c1)和(c2)可看出,传统的形态学和空间滤波器算法以及很难检测到小目标,预处理后的图像背景复杂,根本无法区分目标和干扰点。参考文献[12]的算法对背景的处理方面稍好,但是仍然不能很好的抑制图像中出现的复杂纹理和亮斑,表现在三维图像中出现了较多的尖峰簇,目标完全淹没在了复杂背景的预处理结果之中。由图(c4)可以看出,文中算法对地面复杂背景的红外图像也能较好的抑制,主峰较为突出,背景更为干净,虽然三维图像中也出现了可疑点,但数量

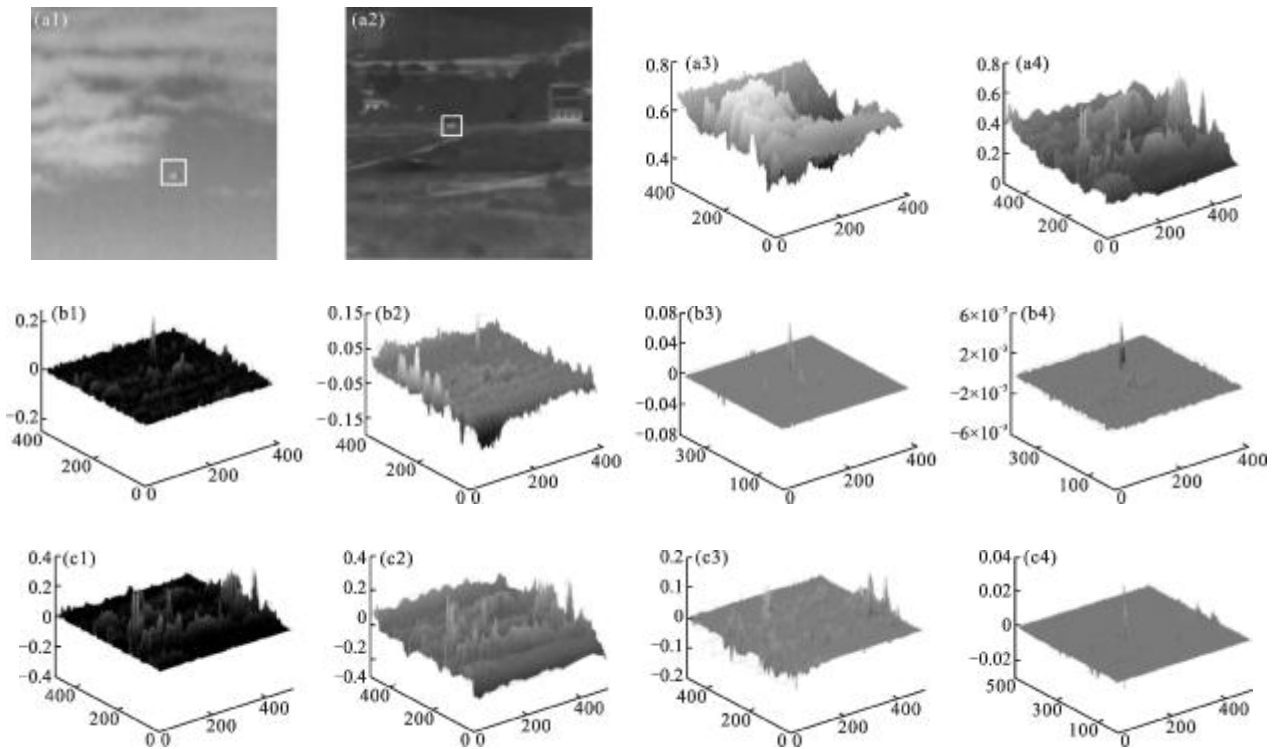


图 3 预处理结果

Fig.3 Result of pre-processing

Not: (a1-a2) a frame of sequence I and sequence II; (a3-a4) 3-d images of (a1) and (a2); (b1-b4) 3-d images of (a1) filtered by TOPHAT, BHPF, MHTHOD^[12] and method in this paper; (c1-c4) 3-d images of (a2) filtered by the four methods above

很少,而且峰值和主峰的大小相差较大,并不会对后续的分割带来影响。

表 1 实验结果比较

Tab.1 Comparison of experimental results

Methods	TOPHAT	BHPF	Method ^[12]	Method in this paper	
SEQUENCE I	ISCR	6.818 6	4.027 5	15.382 7	16.545 8
	BSF	0.160 5	0.179 4	0.032 0	0.022 0
SEQUENCE II	ISCR	2.215 9	2.055 9	3.060 4	11.024 6
	BSF	0.424 2	0.325 9	0.157 8	0.032 3

对于该实验结果,进一步采用信杂比增益 ISCR 和背景抑制因子 BSF 来定量的评价各种算法之间的性能:

$$SCR = |\mu_T - \mu_B| \quad (12)$$

$$ISCR = SCR_{out} / SCR_{in} \quad (13)$$

$$BSF = \sigma_{out} / \sigma_{in} \quad (14)$$

式中: μ_T 为目标的灰度峰值; μ_B 为图像的灰度均值; σ 为背景的标准差; σ_{out} 和 σ_{in} 表示预处理后和原始

图像背景的标准差。

表 1 给出了在两种图像序列中,各种算法的客观性能对比。由表可以看出,在处理图像序列 I 时,参考文献 [12] 和文中的算法明显要优于其他两种算法,但是处理复杂地面背景的序列 II 时,参考文献^[12]算法的性能下降的较快,两项指标都不理想,而文中的算法则表现了较强的鲁棒性。

图 4 给出了各种算法分割后的结果。第一排和第二排分别为 4 种算法处理图像序列 I 和图像序列 II 中一帧图像的分割后的结果。在分割图像序列 I 时, TOPHAT 和 BHPF 算法的结果图中由大量的边缘当做了疑似目标,而参考文献^[12]和文中算法都准确的分割了目标。在分割图像序列 II 时,图像中大量的高亮度边缘和孤立的亮斑使的 TOPHAT、BHPF 和参考文献[12]的算法分割的结果较差,存在大量的疑似目标,对以后的跟踪非常不利。而文中的方法很好的对图像进行了分割,虽然出现了两个虚警,但是可以根据目标运动的连续性来最终检测到目标。

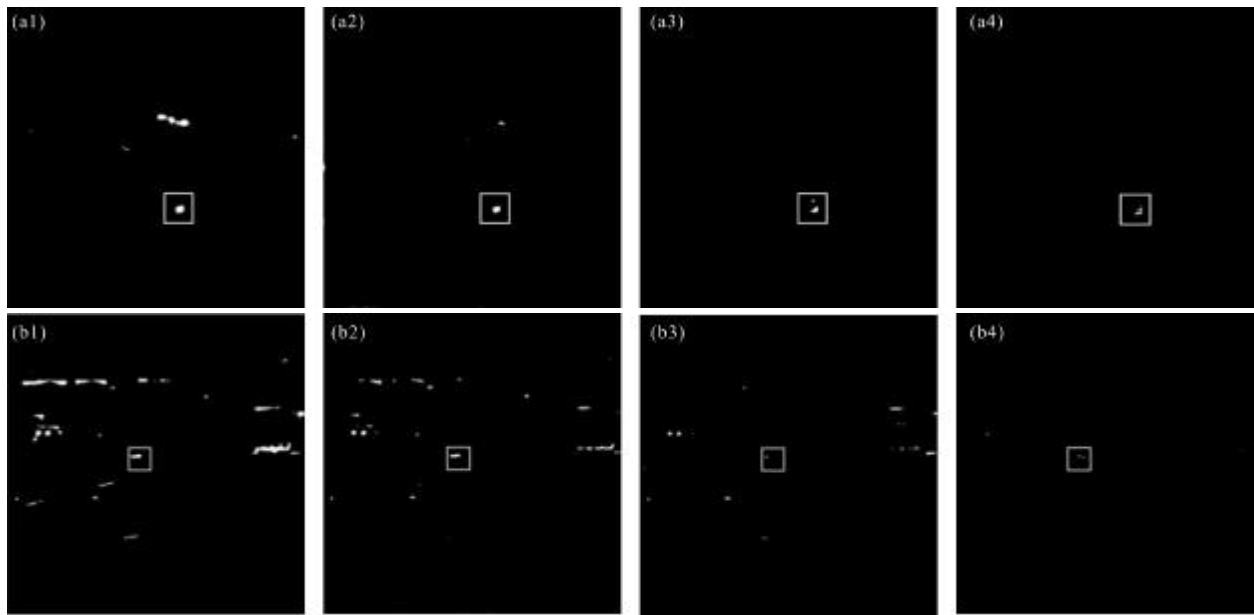


图 4 分割结果

Fig.4 Final images of segmentation

Not: (a1-a4) the segmentation of a frame in sequence I by TOPHAT, BHPF, MHTHOD^[12] and method in this paper;
(b1-b4) the segmentation of a frame in sequence II by the four methods above

5 结 论

文中提出一种基于循环平移 Contourlet 变换和 Facet 模型多方向梯度特性的红外小目标检测方法,在对图像进行循环平移 Contourlet 变换的基础上,利用其多尺度多方向性的特点进行背景抑制和去噪,然后利用 Facet 模型拟合图像曲面,通过设计多向梯度滤波器实现抑制背景和强纹理边缘,最后通过两级最大类间方差实现分割,通过目标运动的连续性实现进一步检测。给出了实验结果,并与 TOPHAT、BHPF 和参考文献[12]的结果进行了比较,实验结果表明,文中方法能够在高度复杂背景下检测出弱小目标,并且在检测性能上优于上述算法。

参考文献:

- [1] Pei Lili, Luo Haibo. Pautomatic sea target detection based on wavelet transform[J]. Journal of Ordnance, 2009, 5(1): 36-40.
- [2] Peng Jiaxiong, Zhou Wenli. Infrared background suppression for segmenting and detecting small target[J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(12): 47-51. (in Chinese)
- [3] Duan Fei, Zhang Yujin. A highly effective impulse noise detection algorithm for swithing median filters [C]//IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(7): 647-650.
- [4] Li Peng, Chen Qian, Zheng Haiou, et al. Pretreatment method of small targets infrared image based on complex background[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(5): 958-962. (in Chinese)
- [5] Zeng Ming, Li Jianxun, Peng Zhang. The design of Top-hat morphological filter and application to infrared target detection [J]. Infrared Physics & Technology, 2006, 48(1): 67-76.
- [6] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [7] Coifman R R, Donoho D L. Translation invariant danoising [C]//Wavelets and Statistics Springer Lecture Notes in Statistics 103, 1995: 125-150.
- [8] Haralick R M. Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(1): 58-68.
- [9] Ye Jihui, Kim Yongjin, Lee Boohwan, et al. Improved small target detection for IR point target [C]//34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahert Waves, 2009: 1-2.
- [10] Ostu N A. Threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Trans on System, Man, and Cybematics, 1979, 9(1): 62-66.
- [11] Yang L, Yang J, Yang K. Adaptive detection for infrared small target under sea -sky complex background [J]. Electronics Letters, 2004, 40(17): 1083-1085.
- [12] Wu Wenyi, Wu Yiquan. Method of infrared dim targets detection based on Contourlet transform [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(1): 136-138. (in Chinese)