

文章编号: 1672-8785(2016)12-0024-05

## 海天背景下红外小目标检测的 背景抑制及海天线检测方法

杨俊彦<sup>1,2</sup> 逢浩君<sup>1,2</sup> 曹耀心<sup>1,2</sup> 宋敏敏<sup>1,2</sup>

(1. 上海航天控制技术研究所, 上海 201109 ;

2. 中国航天科技集团公司红外探测技术研发中心, 上海 201109)

**摘 要:** 针对复杂海天背景下红外弱小目标难以检测与识别的问题, 提出了基于海天线检测实现远距离弱小目标识别的方法。该方法对采集到的红外图像进行相关处理。通过用多级小波变换方法抑制背景杂波噪声提高目标信杂比; 然后使用多方向 Gabor 滤波融合方法增强海天线边缘, 并通过霍夫变换方法实现海天线定位和检测; 最后通过定位海天线确定海天线附近区域的目标搜寻范围, 缩小目标点潜在区, 从而提高弱小目标在海天背景下的检测和识别概率。

**关键词:** 海天背景; 弱小目标检测; 海天线检测; 小波变化; 多方向 Gabor 滤波

**中图分类号:** TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.12.005

## Background Suppression and Sea-sky Line Detection Method for Small Infrared Target Detection in Background of Sea and Sky

YANG Jun-yan<sup>1,2</sup>, PANG Hao-jun<sup>1,2</sup>, CAO Yao-xin<sup>1,2</sup>, SONG Min-min<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Institute of Spaceflight Control Technology, Shanghai 201109, China;

2. Infrared Detection Technology Research and Development Center,

China Aerospace Science and Technology Corporation, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** It is difficult to detect and recognize dim and small infrared targets in the complicated sea-sky background. To solve this problem, a remote small target recognition method based on sea-sky line detection is proposed. In the method, the correlation processing is performed on the infrared images collected. To improve the signal-to-clutter ratio of the target, the background clutter noise is suppressed through multi-level wavelet transform. Then, a multi-direction Gabor filtering fusion method is used to enhance the edge of the sea-sky line and the sea-sky line is positioned and detected through Hough transform. Finally, by positioning the sea-sky-line, the target search area near the sea-sky line is determined, the potential area of the target is narrowed and hence the detection and recognition probability of the dim and small target in the background of sea and sky is improved.

**Key words:** sea and sky background; small target detection; sea-sky line detection; wavelet transform; multi-direction Gabor filter

收稿日期: 2016-09-03

作者简介: 杨俊彦 (1983-), 男, 山西代县人, 硕士, 主要从事红外探测与仿真技术研究。

E-mail: smm0102@hotmail.com

## 0 引言

随着现代战争的发展, 为了提高武器系统的防御能力, 需要发现、识别以及跟踪远距离来袭目标。由于远距离目标在成像视场中一般只占几个甚至不到一个像素, 同时视场中通常会包含云层、战场烟雾等杂波干扰, 远距离目标常常会淹没在背景的噪声与杂波中, 给目标的检测带来困难。因此, 研究复杂海天背景下远距离目标以及强背景弱目标情况下的目标检测很有必要。通过对复杂海天背景下的红外图像进行处理, 即对复杂背景下的远距离目标进行目标特征增强, 可提高目标检测识别的概率<sup>[1]</sup>。

对于一般的红外图像, 弱小目标的潜在区域为整帧图像, 而海天背景的红外弱小目标, 由于距离远, 潜在区域一般在海天线附近。通过缩小目标点的潜在区, 我们可以减小背景中大部分噪声与杂波的干扰。也就是说, 定位好海天

线后, 我们只对海天线附近的区域进行目标搜寻。本文采用基于小波变换方法<sup>[2]</sup>抑制背景中的噪声杂波, 然后使用多方向 Gabor 滤波融合方法增强海天线边界, 并使用霍夫变换方法实现海天线的定位和检测, 最后从海天背景中识别目标。

## 1 海天线特性分析

海天背景图像作为一类特殊的复杂背景图像, 其特性会随不同季节、不同天气以及所在的经纬度而变化。但海天背景图像仍然存在一些共同的特质, 如都是由天空和海面组成, 它们之间的成像有较大区别; 天空和海面的交界处就是海天线, 其灰度一般较高。远距离目标受地球曲率影响一般会先出现在海天线附近。

忽略目标、噪声和背景这三者之间的相对位置, 在海天线垂直方向上的灰度分布如图1所示。

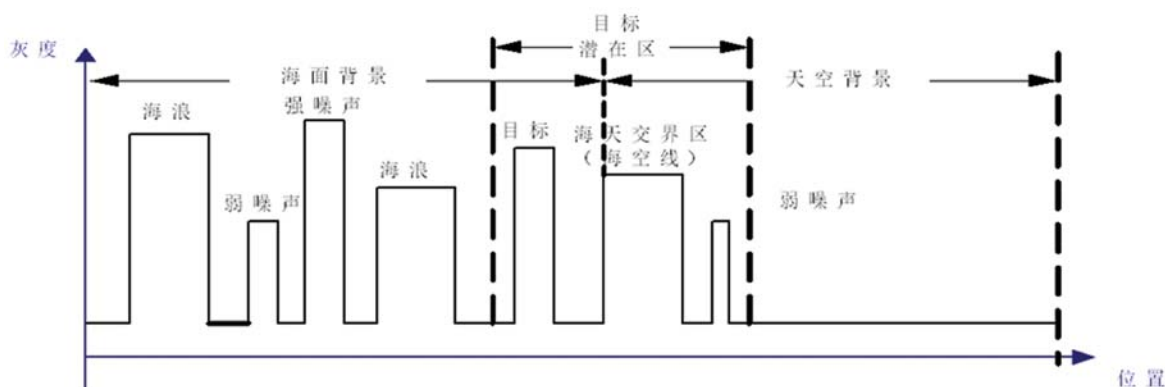


图1 海天线垂直方向上的灰度分布

远距离时, 因为大气传输特性和空间分辨率的影响, 目标的红外辐射会较弱, 当目标出现在海亮带、海杂波等背景位置时, 目标会淹没在海杂波中。受地球曲率的影响, 远距离目标被发现时一般都在海天线<sup>[2,3]</sup>附近, 因此可以通过检测海天线等手段增大识别目标的概率, 减弱复杂海天背景的影响。

## 2 基于小波变换的海天图像噪声抑制

对于海面背景图像, 在不同海情即受不同

天气影响时, 海面会出现剧烈的起伏, 海背景频谱的分布可能与目标交错, 即目标会淹没在背景中。因此, 需要分析海面背景特性以把目标从海背景中分离出来。噪声、杂波和目标为图像的高频部分, 天空背景与变化平缓的海面区域是图像的低频部分。在海天交界区域的海天线的频率在高低频之间, 为图像的中频部分, 即在实际图像中的海天线是渐变的。为了获取海天线信息, 需要去除图像的高频和低频部分, 即消除

由高频的噪声、目标以及低频的背景产生的影响。

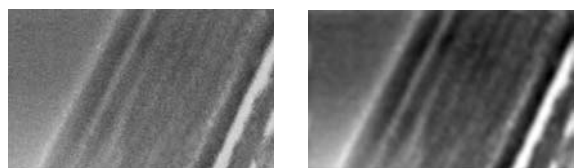
$z$  小波分析是一种时频局部化方法, 基本思想是, 寻找一个满足条件的基本小波函数, 对该基本小波函数进行平移及伸缩, 构成小波函数族; 利用小波函数族逼近信号, 以便后续分析和处理。用  $\psi(x)$  来表示所选取的基本小波函数, 满足允许性条件:

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (1)$$

式中,  $\psi(x)$  为基本小波,  $\hat{\psi}(\omega)$  是  $\psi(x)$  的傅里叶变换。

在海面背景图像中, 天空背景呈最低频特征。海天线以及海浪区域虽然起伏变化较大, 但由于其灰度渐变, 也呈低频特征。目标、杂波和噪声点呈高频特征。通过对图像进行小波分解, 海天线区域等低频分量可得到增强, 而目标、杂波、噪声等高频分量则会受到抑制, 如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 小波变换可以较好地抑制噪声和目标点信息, 增强海天线的特征。



(a) 原图 (b) 小波分解低频分量图



(c) 原图 (d) 小波分解低频分量图

图 2 图像的小波分解

### 3 基于多方向 Gabor 滤波的边缘检测

当海天背景中的目标、杂波等高频分量得到抑制后, 图像中海天线和海浪的对比度得到了增强, 选择 Gabor 滤波器<sup>[4]</sup> 对其进行边缘检测。

海天背景图像中, 用一维的门函数近似表示海天线与海浪的这些带状区域的横截面:

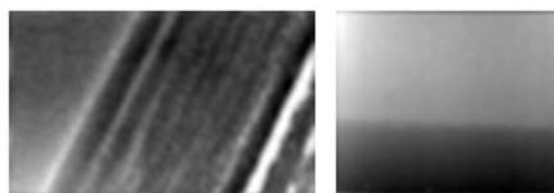
$$f_{\tau}(x) = \varepsilon(x + \frac{\tau}{2}) - \varepsilon(x - \frac{\tau}{2}), \quad \varepsilon(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

假设截面沿  $x$  轴方向, 由卷积式给出中心在  $x = a$  的门信号对实 Gabor 滤波的带通响应:

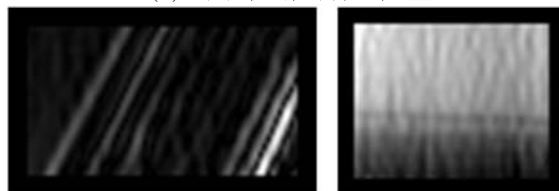
$$r(x) = f_x(x - a) * h_x(x, \omega, \theta) \quad (3)$$

式中,  $\theta=0$ ,  $\omega = 1/2F$ 。

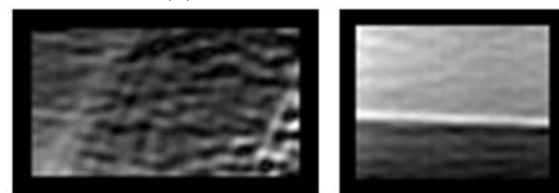
在海天背景图像中, 海天线方向可以是任意的, 而 Gabor 滤波器自带方向。当海天线边缘垂直于 Gabor 滤波器的方向时, 卷积后结果会产生较大的响应。因此, 当对图像进行多方向 Gabor 滤波时, 必然在与 Gabor 滤波器垂直的方向检测出图像的边缘信息。保持  $\omega$  不变, 设置  $\theta$  分别为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$ , 对图像进行多方向滤波, 从四个滤波方向值中选择最大值作为滤波结果, 即可得到海天线边缘。对小波分解后的低频分量进行多方向 Gabor 滤波, 并将滤波最大值作为融合结果, 即可得到增强后的海天线边缘, 如图 3 所示。



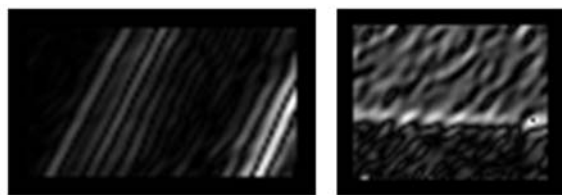
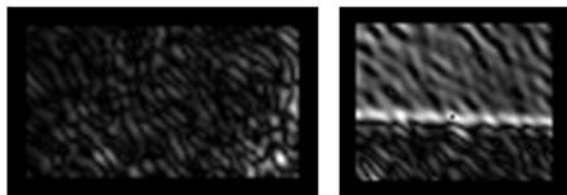
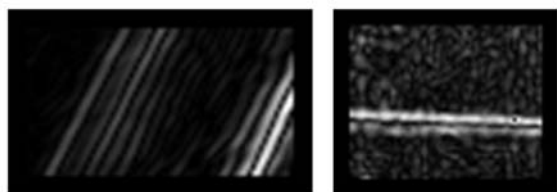
(a) 小波分解的低频分量



(b) 滤波方向  $\theta$  取  $0^\circ$



(c) 滤波方向  $\theta$  取  $90^\circ$

(d) 滤波方向  $\theta$  取  $45^\circ$ (e) 滤波方向  $\theta$  取  $135^\circ$ 

(f) 四方向滤波融合结果

图 3 多方向 Gabor 滤波结果

从图 3 可以看出, Gabor 对与滤波方向垂直的边缘具有较强响应, 具有良好的方向选择性。实验中, 我们将四方向滤波图像融合, 得到比较好的边缘增强效果。

## 4 海天线检测

海天线检测分两步完成。首先, 确定海天线的方向。海天线的方向信息比较容易获取, 因为海浪与海天线方向一致, 所以无论是从海天线还是从海浪线都可获得方向信息, 它们都可以用来表征海天线的方向。当海天线方向确定后, 依据海天线的特点从该方向的一系列直线中区分出海天线。海天线具体位置的确定, 需要区分海浪与海天线。

### 4.1 海天线方向的确定

海天线检测主要使用 Hough 变换<sup>[7]</sup>进行直线检测。Hough 变换主要是通过极坐标变换将图像中每一个超过阈值的点转换到极坐标下。Hough 变换网格中点最多的网格对应的直线即为检测到的直线。该直线是图像中点最多的一条直线, 它可能是最长的也可能是最亮的直线。

因此, 如果直接用 Hough 变换检测直线, 得到的直线可能为海天线, 也可能为海浪 (较亮或是较长)。检测会出现错误, 海浪会被误检测为海天线。

直接检测是不可行的, 但是这样检测得到的方位角是正确的。将梯度图像的阈值设得高些, 尽量抑制噪声点与海杂波, 只保留少部分的条形海浪 (可不考虑是否将海天线也保留)。接下来用 Hough 变换的方法检测线条的方向角。由于门限较高, 检测时受到的干扰比较小, 检测得到的方向角就比较精确。

### 4.2 海天线方位的确定

当方向角确定后, 仍然利用 Hough 变换的网格确定海天线的具体方位。在图像中, 海天线为海面与天空的交接区域, 海天线两侧的图像具有不同的纹理特性: (1) 条形特征: 天空平缓, 海面有海浪存在; (2) 点状特征: 天空在背景抑制后的图上只有少量较小的噪声点存在; 海面上存在较多较大的海杂波。

海天线的定位仍然使用 Hough 变换网格。此时要求出海天线方向角对应的各条网格中的点数。点数较多的网格对应的是海天线或是海浪。为进一步消除噪声对海天线定位的影响, 只将点数高于某一值的网格对应的直线当作是候选海天线。这些候选海天线由海天线以及海浪线组成。接下来就是区分出海天线与海浪线。

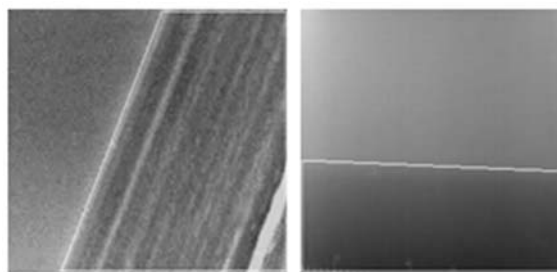
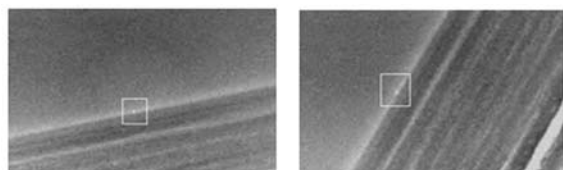


图 4 海天线方位的确定

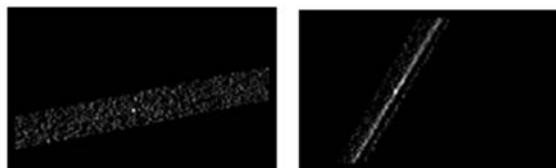
通过前面的分析可知, 海天线是天空与海面的交界。因此, 夹在几条线中间的直线必为海浪, 而不是海天线。从海天线这一特性出发, 海天线以及离海天线最远的一条海浪都满足这一条件。此时可利用图像的另一特点: 海面比天空

有更多的杂波点。只要比较两条线两侧存在的点的密度,就可以区分出海天线与海浪:密度高的一侧为海面,对应的直线为海浪;密度低的一侧为天空,对应的直线为海天线。

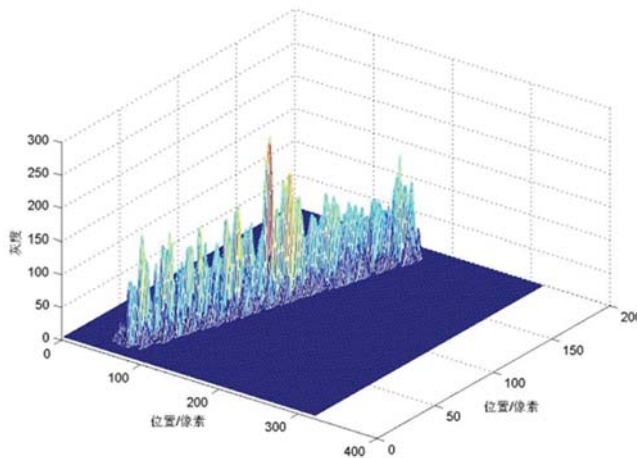
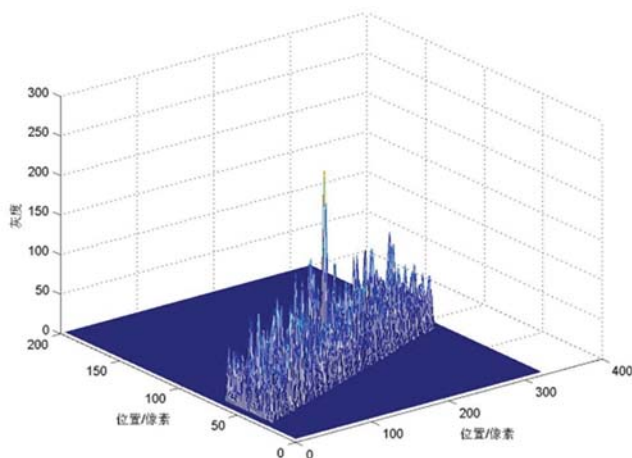
图 5 是利用本文方法进行背景抑制、边缘增强和海天线检测的结果。从图中可以看出,采用本文方法可以很好地抑制背景,增强目标。原始图像中,目标用白框框出。



(a) 原图像



(b) 海天线检测及背景抑制结果



(c) 原图的三维图

图 5 使用本文方法进行背景抑制和海天线检测的结果

## 5 结论

提出了复杂海天背景下弱小目标检测和识别的背景抑制方法、边缘增强方法和海天线定位方法。使用以上方法可以有效抑制背景杂波噪声,减小其对弱小目标检测的影响,实现红外成像实际场景下海天线的准确定位,从而确定海天线区域,为后续的弱小目标检测和识别提供支持。外场海天背景红外成像数据测试表明,本文方法可有效提高目标的信杂比,准确检测复杂海天背景下的海天线区域。

### 参考文献

- [1] 李吉成, 沈振康, 鲁新平, 等. 基于背景杂波自适应预测的红外弱小目标检测 [J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 478-487.
- [2] 李秋华, 王厚生, 邹自力, 等. 基于小波变换与灰度形态学滤波的双波段红外图像弱目标融合检测 [J]. 信号处理, 2006, 22(3): 312-316.
- [3] 靳明. 基于 Gabor 滤波器的军用目标识别及跟踪方法的研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.
- [4] 余磊. Gabor 小波变换在人脸识别中的应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [5] 董月芳. 海天背景下海天线定位及目标跟踪算法研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2010.
- [6] 梁世花. 海天背景下红外弱小目标的检测 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [7] 陈燕新, 戚飞虎. 一种新的基于随机 Hough 变换的椭圆检测方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2000, 19(1): 43-47.