

## 海空背景下红外小目标检测算法<sup>\*</sup>

魏 颖, 史泽林, 李成军, 于海斌

(中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:** 研究海空复杂背景下红外图像小目标检测问题, 针对海空背景下远距离小目标总是出现在水天线附近的特点, 通过小波多尺度分析边缘检测算法检测水天线, 确定出目标潜在区域, 再进行精细目标搜索, 从而提出了一种由粗到精的小目标检测算法。实验结果表明, 对一般噪声条件下得到的红外目标图像, 该方法能准确地检测、定位小目标, 单帧检测准确率达 96% 以上并具有单帧检测率高、实现速度快的特点。

**关键词:** 图像识别; 目标检测; 小波多尺度分析; 边缘检测; 水天线  
**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2003)02-0153-04

## Detection algorithm for infrared small target in background of sea and sky<sup>\*</sup>

WEI Ying, SHI Ze-lin, LI Cheng-jun, YU Hai-bin

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** The small target detection in infrared imagery with complex background of sea and sky is studied. Taking into account that small target of infrared image guidance like naval vessel is always nearby the sea-sky-line, wavelet multiresolution edge detection algorithm is adopted to detect the sea-sky-line. The potential target area can be decided subsequently, then the target is found by careful search in this area. Therefore, a new algorithm for small target detection from coarse scale to elaborate scale is proposed. Experimental results indicate that the method can detect and locate small targets precisely in infrared image obtained in conventional noise conditions. The correct detection ratio of single image is more than 96%, and this method has high detection ratio from a single image and high speed.

**Key words:** Image recognition; Target detection; Wavelet multi-scale analysis; Edge detection; Sea-sky-line

收稿日期: 2002-06-18; 修订日期: 2002-10-12

\*基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (CX01-04-09)

作者简介: 魏颖 (1968-), 女, 辽宁本溪人, 博士, 主要从事图像处理、检测技术等方面的研究工作。

## 1 引言

自动目标检测是寻的反舰导弹红外成像制导的关键技术之一。远距离红外小目标无明显的结构特征和亮度特征,在水天线附近由云层干扰和海杂波干扰组成的复杂海空背景下,自动检测困难较大。近年来,对红外小目标检测的算法已有研究,但用这些算法检测低信噪比的海空背景时虚警率较高<sup>[1]</sup>。

研制基于小波分析边缘检测的海空复杂背景下红外小目标检测方法的目的是提高单帧检测准确率,并使检测算法尽量简单快速。针对海空背景下远距离红外图像小目标总是出现在水天线附近的特点,该算法采用小波多尺度分析边缘检测算法进行水天线检测,建立水天线直线方程,沿着水天线的目标潜在区域内进行精细搜索,有效地抑制了天空云层和海杂波的影响,提高了检测概率和处理速度。

## 2 小波边缘检测算法

小波边缘检测算法是通过检测水天线确定目标所处位置区域,水天线的确定需要通过对原红外图像进行边缘检测获得。由于小波多尺度分析对图像的去噪性能及连接边缘的效果,在目前已有的众多边缘检测算法中,基于小波分析的边缘检测方法是最有效、最有前途的算法。

通过选择适当的小波函数,可以使小波变换的极大值真实地反应出图像的局部灰度突变点。将二维小波变换引入图像边缘检测中<sup>[2~5]</sup>,设  $(x, y)$  为二维光滑函数且可微分,定义为:

$$\begin{aligned} \psi_1(x, y) &= \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial x} & \psi_2(x, y) &= \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial y} \end{aligned} \quad (1)$$

函数  $\psi_1(x, y)$  与  $\psi_2(x, y)$  可以构成二维小波函数:

$$\begin{aligned} \psi_1^j(x, y) &= \frac{1}{2^{2j}} \psi\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ \psi_2^j(x, y) &= \frac{1}{2^{2j}} \psi\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

定义在尺度  $2^j$  时二维数字图像函数  $f(x, y)$  沿水平方向和垂直方向的二进小波变为:

$$\begin{aligned} w_1^j f(x, y) &= f * \psi_1^j(x, y) \\ w_2^j f(x, y) &= f * \psi_2^j(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

则  $[w_1^j f(x, y), w_2^j f(x, y)]^T$  为图像  $f(x, y)$  的二维二进小波变换,可从公式(1)、(2)、(3)得到:

$$\begin{aligned} w_1^j f(x, y) &= 2^j \frac{\partial}{\partial x} (f * \psi^j)(x, y) \\ w_2^j f(x, y) &= 2^j \frac{\partial}{\partial y} (f * \psi^j)(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

可以看出,  $w_1^j f(x, y)$  和  $w_2^j f(x, y)$  分别与尺度  $2^j$  时图像的水平 and 垂直方向的边缘信息对应,是被  $\psi^j(x, y)$  所平滑图像  $f(x, y)$  的梯度矢量的两个分量。在尺度  $2^j$  时,这个梯度矢量的模和梯度矢量与  $x$  方向的夹角分别为:

$$M_2^j f(x, y) = \sqrt{|w_1^j f(x, y)|^2 + |w_2^j f(x, y)|^2} \quad (5)$$

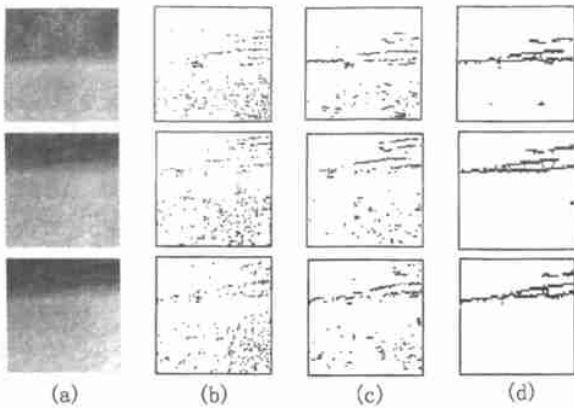
$$A_2^j f(x, y) = \arctan\left[\frac{w_2^j f(x, y)}{w_1^j f(x, y)}\right] \quad (6)$$

在尺度  $2^j$  上,平滑后的图像  $f * \psi^j(x, y)$  的拐点(灰度突变点)对应于  $M_2^j f(x, y)$  由  $A_2^j f(x, y)$  给定的梯度方向上的局部极大值,这些取极大值点的位置给出了图像在该尺度下的边缘。

根据 Mallat 提出的离散二进小波变换的快速算法,小波分解过程可用一个低通滤波器( $H$ )和高通滤波器( $G$ )对原始图像数据进行逐步分层分解,低通滤波器具有去除噪声的作用,因此,尺度不同,小波函数抑制噪声和提取边缘的能力也不同。

对于红外图像来说,由于成像探测器本身固有的特性,造成目标与背景对比度差、图像边缘模糊及噪声较大等缺点。噪声的影响会造成边缘轮廓线的中断、分岔等,使边缘检测困难,而分解后得到的大尺度、低分辨率的退化且失真不显著的图像,避免了噪声造成的边缘中断,因而它有连接边缘的效果。3幅红外图像在不同尺度下边缘检测结果的对比如图1所示,进行小波多尺度分解后的大尺度图像边缘比较清晰,噪声干扰较少,边缘识别的可靠性高。

小波的种类多种多样,如 Dubble 小波、Daubecies 小波、Modrlet 小波等,它们有着不同的形状与特点。一般来说,小波形状与边缘变化趋势相似时,边缘检



(a) 原始图像; (b) 尺度  $2^1$  时边缘图像; (c) 尺度  $2^2$  时边缘图像; (d) 尺度  $2^3$  时边缘图像

(a) Original image; (b) Edge images at  $2^1$  scale; (c) Edge images at  $2^2$  scale; (d) Edge images at  $2^3$  scale

图 1 各尺度时的边缘检测

Fig. 1 Edge detection at different scales

测效果更好, 这里采用三次样条小波, 对应的低通滤波器和高通滤波器系数如表 1 所示<sup>[6]</sup>。

表 1 小波滤波器系数

Tab. 1 Coefficients of wavelet filter

No	H	G
- 3	0.000 0	- 0.000 08
- 2	0.062 5	- 0.016 43
- 1	0.250 0	- 0.108 72
0	0.375 0	- 0.592 61
1	0.250 0	0.592 61
2	0.062 5	0.108 72
3	0.000 0	0.016 43
4	0.000 0	0.000 08

### 3 目标检测算法

目标检测算法的流程为: 开始 预处理 小波分解边缘检测 建立水天线直线方程确定目标潜在区域 精细搜索 目标定位、标记 结束。先对原图像做适当的预处理, 选取恰当的小波基, 对图像做多尺度小波分解之后进行边缘检测; 在大尺度边缘图像中寻找最长的边缘线即为水天线, 逐级聚焦; 在原图像上检测水天线, 建立水天线直线方程; 在原图像的水平差分图像上沿着水天线确定的目标潜在区域, 精细搜索目标, 最后进行目标定位、标记。

#### 3.1 水天线直线方程的建立

从前面的分析可知, 直接对原图像进行边缘检测很难找出水天线, 经过小波多尺度分解后, 边缘识别可靠性增强, 但是在在大尺度时, 边缘定位精度降低。进行边缘检测的目的是为了确定水天线位置, 不需要丰富的边缘细节, 进行小波多尺度分解得到图像在各个尺度下的边缘图, 然后由大尺度向小尺度进行边缘聚焦, 获得图像边缘的准确位置。

经过小波多尺度分解后, 可以得到在大尺度 ( $2^j$ ) 时含有的明显水天线的边缘图像, 但是有可能不是完整的水天线, 而且在边缘图像中, 边缘线可能有多条, 为此, 采用最大邻域法检测最长的边缘线即为水天线。边缘图像是二值图像, 检测到的边缘像素值为 0, 背景像素值为 1, 搜索每一个边缘像素值为 0 的点的 8 连通邻域, 得到连通值最大的系列像素点即为边缘线点, 即可得到大尺度 ( $2^j$ ) 时水天线的位置。按照离散二进小波的尺度二倍关系, 利用上一尺度 ( $2^{j-1}$ ) 水天线位置和最大邻域法决策下一尺度 ( $2^{j-1}$ ) 的水天线位置, 依次得到各个尺度时水天线的位置, 最后得到原图像的水天线系列点坐标, 根据这些点建立水天线直线方程。

#### 3.2 目标精细搜索与定位

在原图像上确定出水天线后, 沿着距离水天线正负 上各画两条与水天线平行的直线, 这两条直线所夹的范围即为目标潜在区域, 如图 2 所示。

在目标潜在区域内进行目标检测, 是将目标与背景分割的过程, 首先要确定区分目标和背景的特征函数。简单的方法是利用原图像的灰度特征, 计算某一邻域内所有像素点的灰度累加值, 即进行图像能量极值检测。但实际上, 红外图像的水天线区域往往是一个水平方向的亮带, 目标处于这个亮带中。当这个背景亮带灰度分布不均匀时, 就容易导致检测失败。为了消除背景灰度分布不均匀造成的影响, 首先对原图像做水平的差分处理, 以突出目标的灰度陡变特征。设  $f(i, j)$  为原图像, 水平差分图像为:

$$f_h(i, j) = | (f(i, j + 2) - f(i, j)) | + | (f(i, j + 3) - f(i, j)) | + | (f(i, j + 4) - f(i, j)) | + | (f(i, j + 5) - f(i, j)) | \quad (7)$$

在水平差分图像中设一个  $N \times N$  的滑动窗口, 在目标潜在区域内移动窗口, 计算窗口内所有像素灰

度的累加值,找到灰度累加最大值所对应的像素位置即为目标位置。

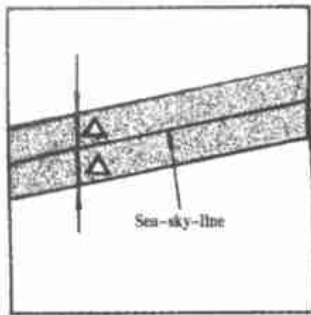


图 2 目标潜在区域示意图

Fig. 2 Sketch map of the potential target area

为防止由窗口大小  $N$  设置的不合理而造成的误检,采取了多窗口聚类方法。选用一组 ( $m$  个) 滑动窗口分别计算,得到  $m$  个目标位置坐标点  $(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_m, y_m)$ , 计算点之间的欧氏距离  $d_{ij}$ :

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

$i, j = 1, 2, \dots, m \quad i \neq j$

当两点之间的欧氏距离  $d$  小于设定值时,认为这两个位置值都是正确的,这样依次找出所有位置正确点,并把求出点的坐标平均值和滑动窗口大小的平均值作为目标最终定位参数。

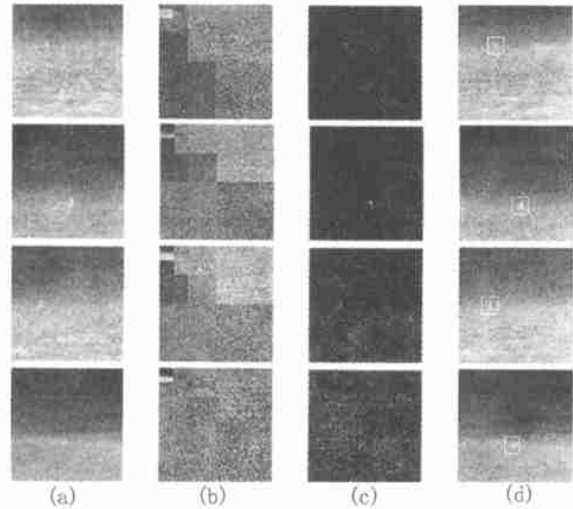
## 4 实验结果

采用目标检测方法对红外小目标图像进行试验,在顺光、侧逆光等不同海杂波背景下,以及目标大小在一定范围内改变的情况下,目标为远距离航行的舰船,背景为云层和海浪,原始红外图像为  $576 \times 768$  像素,经过适当剪裁转换为  $400 \times 600$  像素,小目标尺寸为  $20 \sim 100$  像素,图像信噪比为  $2 \sim 4$ 。对 60 帧实际拍摄的红外图像进行实验,正确检测的有 58 帧,准确率为 96.7%。由于目标潜在区域小于整幅图像的  $1/4$ ,该算法比整幅图像的搜索时间少 80% 以上。实验表明,该检测方法能从单帧图像准确地检测定位红外图像中的小目标,部分检测结果如图 3 所示。

## 5 结 论

该检测方法能从单帧图像很好地检测和定位弱

小目标,检测率可达 96% 以上,说明该方法是实用而有效的。与常用的全局图像搜索方法相比,大大提高了检测速度。研究表明,该算法具有单帧检测率高、简单快速的特点,是一种较好的海空背景下红外小目标检测算法。



(a) 原图像; (b) 三次小波分解图像; (c) 原图像的水平差分图像; (d) 在原图像上标记目标

(a) The original image; (b) Three times wavelet decomposition images; (c) The horizontal differential images; (d) Label targets at the original images

图 3 红外图像小目标检测实验结果

Fig. 3 The experimental results of small target detection in infrared images

## 参考文献:

- [1] 雷选华,王江安,李树山. 海空背景下红外点目标检测算法[J]. 激光与红外, 2001, 31(1): 32-34.
- [2] Jong Chi-rchien, Li-CC. Wavelet-based line detection in gray-scale images[A]. IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics[C]. 1997. 3670-3673.
- [3] Siddique-JI, Barner-KE. Wavelet-based multiresolution edge detection utilizing gray level edge maps[A]. Proceedings International Conference on Image Processing[C]. 1998. 550-554.
- [4] Lee-Y, Kozaitis-SP. Improved wavelet-based multiresolution edge detection in noisy images[A]. Proceedings of SPIE[C]. 1999, 3716. 185-193.
- [5] 解梅,马争,顾德仁. 基于二维小波变换的图像边缘检测方法[J]. 应用科学学报, 1998, 16(1): 6-11.
- [6] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.