

# 海面红外小目标检测算法研究

刘杰, 安博文

(上海海事大学信息工程学院, 上海 201306)

**摘要:** 针对海面红外图像中出现的海面杂波和孤立噪声点的问题, 采用了一种将空间域的滤波结果在时间域进行二次滤波的方法, 实时地检测海面图像中的小目标。在空间域上, 根据海面杂波具有一定方向性的特点, 设计了4种方向的结构元素分别进行形态学运算来抑制海面杂波, 再使用均值融合准则进行融合。在时间域上, 利用目标在帧间的运动具有连续性而噪声点不具有该性质的特点, 采用均值加权滤波的方法来滤除孤立噪声点, 最后使用自适应门限分割检测出小目标。实验结果表明, 本文算法在复杂海面环境下, 能有效地抑制海面杂波和孤立噪声点的影响, 减小虚警率, 是一种有效的海面小目标检测方法。

**关键词:** 小目标检测; 数学形态学; 均值滤波; 图像分割

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2015)01-0016-04

## Research on the Detection Algorithm for Infrared Small Target on the Sea

LIU Jie, AN Bo-wen

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Aiming at the sea clutter and the isolated noise problem appeared in the infrared image of sea surface in, a method of spatial-temporal continuous filter is put forward. Based on the sea clutter has certain direction features, structural elements are designed to domorphological open operation, then use the mean fusion rules to fusion images. Due to the small target in the frames is continuous and the noise point is not, the method of weighted mean filter is adopted. Finally, an adaptive threshold segmentation is used to detect the small targets. The experimental results show that the algorithm can effectively restrain the influence of sea clutter, filter the isolated noise points. It is an effective algorithm for sea small target detection.

**Key words:** small target detection, mathematical morphology, mean filter, image segmentation

## 0 引言

在海事搜救中, 能否发现目标决定搜救的成功与否。但是, 由于一般海面目标距离相机较远, 所以在红外图像中的目标很小、灰度很弱且没有固定形状<sup>[1]</sup>。同时海面有波浪及反光会对目标产生干扰, 相机自身也存在噪声。这些因素给发现目标造成了很大的困难。因此, 抑制海面杂波和噪声, 提高信噪比成为小目标检测的关键。目前, 提高信噪比的方法主要是通过抑制背景实现, 如小波分析<sup>[2]</sup>、匹配滤波器<sup>[3]</sup>、数学形态学<sup>[4]</sup>、神经网络等<sup>[5]</sup>, 这些方法在背景缓变时效果很好, 但在背景起伏较大时有较高的虚警率。此外, 这些方法都是单帧处理, 不能结合目标的运动信息抑制强杂波背景。

因此, 以抑制背景杂波和孤立噪声为目的, 结合多帧图像中的目标运动信息, 本文提出了一种基于时空域连续滤波的方法。将空域形态学滤波后的序列图像再进行时域均值滤波, 最后通过自适应门限分割检测出了小目标。该方法的框架如图1所示。

## 1 基于多结构元素的空域滤波

数学形态学是一种以结构元素为基础对图像进行分析的数学工具。它的基本思想是用一定形状的结构元素去度量和提取图像中的对应形状, 以达到分析和识别的目的<sup>[6]</sup>。设  $f(x, y)$  是输入图像,  $g(x, y)$  是结构元素。用结构元素对图像进行腐蚀和膨胀运算分别定义为:

$$(f \ominus g)(x, y) = \min \{f(x-i, y-j) - g(-i, -j)\} \quad (1)$$

收稿日期: 2014-10-14; 修订日期: 2014-11-18。

作者简介: 刘杰(1991-), 男, 湖北孝感, 硕士研究生, 主要研究方向为红外小目标检测、图像处理。

基金项目: 国家自然科学基金, 编号: 61171126; 上海市重点支撑项目, 编号: 12250501500; 交通运输部应用基础研究项目, 编号: 2014329810060。

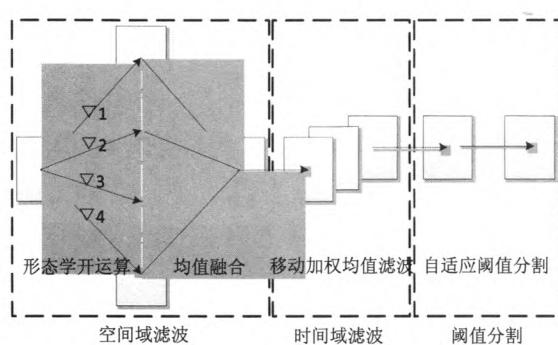


图1 本文小目标检测框架

Fig.1 Small target detection framework in this paper

$$(f \oplus g)(x, y) = \max \{f(x-i, y-j) + g(-i, -j)\} \quad (2)$$

形态学开运算定义为:

$$fog = (f \oplus g) \oplus g \quad (3)$$

形态学的 Top-hat 运算是一个经典的空域滤波算法。它的定义是原信号与开运算后的差:

$$\text{Top-hat}(x, y) = f(x, y) - fog(x, y) \quad (4)$$

由于结构元素的选择对形态运算结果有决定性作用, 所以应该考虑目标与背景的几何特征的差异来选取<sup>[7]</sup>。海面红外图像中, 海面杂波或鱼鳞光在面积上比小目标大, 且在单帧图像中海杂波呈现一定的方向性。根据这个特点, 本文考虑了水平、垂直、对角线等几种不同尺寸的结构特点, 设计了如图 2 中的 4 种结构的结构元素。



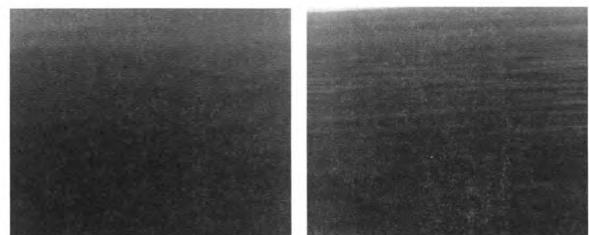
图2 4个方向的结构元素

Fig.2 Four kinds of morphological structure elements

对同一幅图像使用这 4 个方向结构元素进行形态学开运算, 能够对这 4 个方向上的海面杂波进行估计。最后采用式(5)求平均值的运算将 4 幅图像融合得到背景图像。

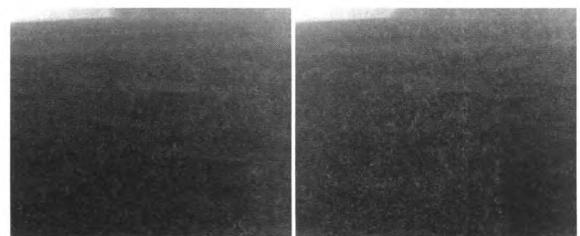
$$f = \text{mean}(f_1, f_2, f_3, f_4) \quad (5)$$

对同一幅图像运用图 2 中的 4 种结构元素分别进行 3 次形态学开运算后, 得到了 4 幅图像, 如图 3 所示。



竖向开运算结果

横向开运算结果

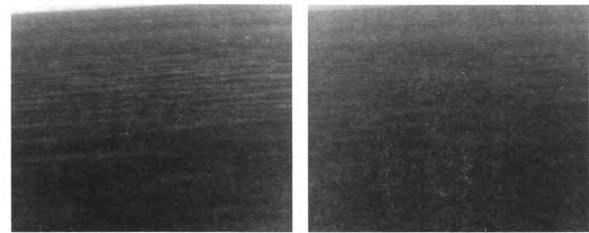


对角线 1、2 结构元素开运算结果

图3 4种结构元素开运算结果

Fig.3 Four kinds of structure elements open operation results

由于图 3 中的海杂波具有横向的特性, 所以本图中横向结构元素开运算的背景估计效果是 4 幅图像中最好的。但是其他方向的结构元素能对背景杂波的其他方向的细节进行估计, 所以最后使用均值融合<sup>[8]</sup>得到的背景图像包含了这 4 个方向的海杂波的特性。如图 4。



原图像

融合后得到的背景图像

图4 融合后的背景图像

Fig.4 The fused background image

图 5 是对同一幅图像采用单一的横向结构元素的 Top-hat 算法和本文算法分别进行处理得到的结果比较。

表 1 是使用单一横向结构元素的 Top-hat 算法和本文改进形态学的算法对同一幅图像分别进行处理后的剩余波纹条数对比, 经过本文算法处理后的图像中剩余波纹条数有明显减少, 可见本文的算法的抑制背景杂波的效果更好。

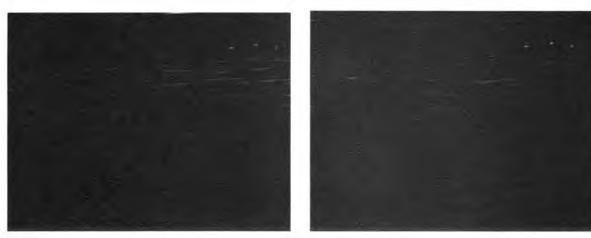


图 5 改进形态学滤波效果比较

Fig.5 Comparison of improved morphology filtering effect

表 1 背景杂波抑制比较

Table 1 Background clutter suppression comparision

算法	滤波后剩余波纹条数
Top-hat	>35
改进形态学	<15

## 2 基于移动加权均值的时域滤波

经过空域滤波后, 红外图像的背景得到了有效的抑制, 但是还有部分背景和噪声没有被完全抑制。所以考虑将空间域滤波后的序列图像在时间域进行二次滤波。由于小目标在帧间的运动具有连续性, 而噪声和背景杂波不具有, 所以使用多帧图像对时间轴上的每个像素进行平均, 能够削弱噪声及背景杂波的影响, 增强图像信噪比<sup>[9]</sup>。

移动加权的时域均值滤波的实现如公式(6):

$$f(k)=a \times b(k)+(1-a) \times f(k-1) \quad (6)$$

式中:  $f(k)$  和  $f(k-1)$  分别为当前时刻和前一时刻的均值估计;  $b(k)$  是当前测量值;  $a$  为加权系数。如图 6 所示为移动加权均值滤波的示意图。

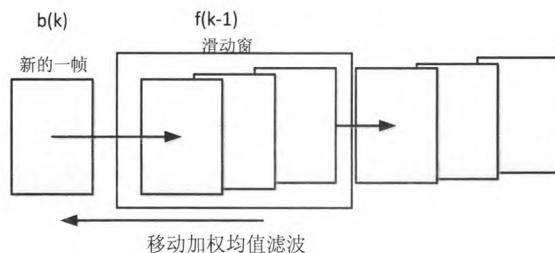


图 6 移动加权均值滤波示意图

Fig.6 Moving weighted average filter

滑动窗是类似一个长度为  $L$  的先入先出管道。从头部进入新的一帧就从尾部剔除一帧。对滑动窗内的  $L$  帧图像的平均值和新的一帧图像运用公式(6)进行加权平均运算, 得到当前时刻的均值作为本次时域滤波的结果。

滑动窗的长度  $L$  选取应考虑目标的运动速度。为保证目标在管道内的位移在一个小范围内, 目标的运动速度越快,  $L$  的值应越小。权值  $a$  的设置是为了减

小偶然强噪声对输出产生的波动影响。 $a$  的值越小, 像素的波动越小。

对空间域得到的图像序列采用移动加权均值滤波, 选取权重  $a$  的值为 0.5,  $L$  的长度为 4, 得到的实验结果如图 7 所示。

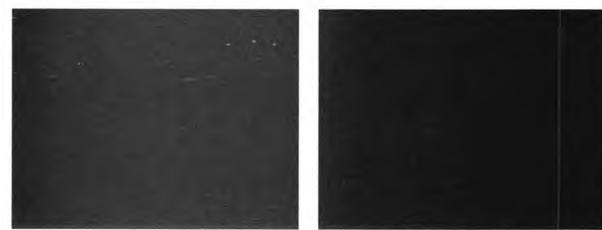


图 7 时空域滤波效果比较

Fig.7 Comparison of Spatial-Temporal filtering effect

时空域的连续性滤波同单独的空域滤波相比, 滤除了帧间运动不连续的背景杂波和孤立噪声点, 而保留了目标点。

## 3 自适应门限分割与轨迹检测

对于经过空域和时域两次滤波后的图像, 其噪声的能量减弱而图像的信噪比得到了增强, 目标与背景的灰度差异变大。因此, 在目标分割检测时, 接着采用自适应门限<sup>[10]</sup>的方法将背景与目标分割开来。选取阈值  $T$  作为分割门限, 阈值  $T$  的定义为:

$$T=\text{mean}(f)+d \times \text{vary}(f) \quad (7)$$

式中:  $\text{mean}(f)$  为图像的均值;  $\text{vary}(f)$  为图像方差;  $d$  为图像的信噪比。

为了便于观察目标的运动轨迹, 将多幅序列图像的检测结果累加起来, 便得到一条连续的目标运动轨迹。

## 4 实验结果与分析

实验用到的序列图像是利用红外遥感相机拍摄海面得到的, 分辨率为  $640 \times 480$  的灰度图像。计算机内存为 4 GB; 系统平台为 32 位 winXP 系统; 软件实施平台为 VS2010 和 opencv2.4.4。红外相机的采集帧率为 24 fps。

图 8 是对 60 帧连续的序列图像采用本文的方法进行检测得到的结果, 并且给出了累加检测结果得到的目标的运动轨迹。

表 2 中的 P1 序列是选取了连续的 60 帧图像使用传统 Top-hat 算法进行了处理, P2 序列是选取了连续的 100 帧图像使用本文算法进行了处理, 并对误检率进行了比较。

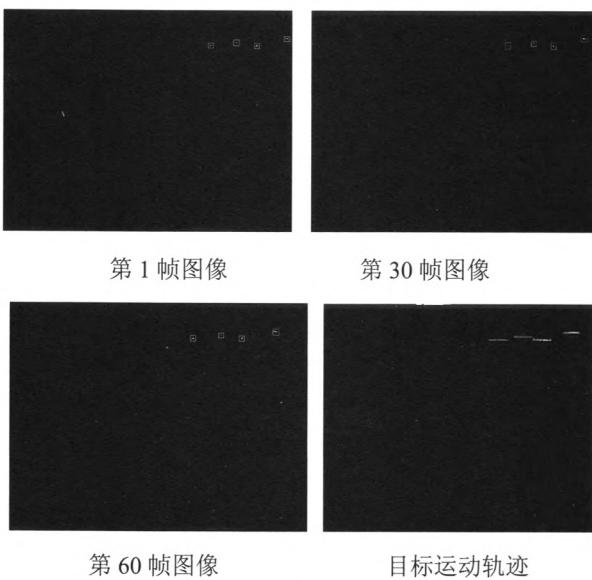


图8 连续帧检测结果和轨迹

Fig.8 Continuous frame detection results and trajectory

表2 两组图像序列检测结果

Table 2 Two groups of image sequence detection results

序号	帧数	误检帧数	误检率
P1	60	4	6.7%
P2	100	2	2%

经过时空域连续滤波的目标图像,相对于单独的空间域和时间域,误检率有了显著地降低。

表3为传统空域的Top-hat算法和本文算法分别处理24帧连续的图片所用的时间的对比。

表3 两种算法运行时间比较

Table 3 Contrast of two algorithms in running time

算法	帧数	运行时间/ms
Top-hat	24	0.0442
本文算法	24	0.3181

可见,由于本文算法在空域的Top-hat算法上增加了时域连续性滤波,算法运行时间有所增加,但是

仍然能满足实时检测的要求。

## 5 总结

本文对海面复杂环境下的小目标检测算法进行了研究,提出了时空域结合的滤波算法。结合多结构元素形态学,时域均值滤波等方法,有效地抑制了海面杂波和孤立噪声点的影响,实时地检测出了海面小目标,具有实际应用意义。

## 参考文献:

- [1] 周霞,陈钱,钱惟贤,等.对地面弱小目标的检测算法的研究[J].红外技术,2013,35(6): 334-338.
- [2] 徐韶华,李红.基于小波提升框架及小波能量的红外弱目标检测方法[J].红外技术,2006,28(11): 669-672.
- [3] 孙翠娟,杨卫平,沈振康.一种基于匹配滤波的红外小目标检测系统[J].激光与红外,2006,36(2): 147-150.
- [4] 谭晓宇,陈谋,姜长生.采用小波变换和数学形态学的小目标检测[J].电光与控制,2008,15(9): 25-27.
- [5] 焦建彬,杨舒,刘峰.基于人工神经网络的红外小目标检测[J].控制工程,2010,17(5): 611-613.
- [6] 董鸿燕,李吉成,沈振康.基于形态滤波和顺序滤波的小目标检测[J].红外技术,2004,26(1): 21-24.
- [7] 杨斯涵.基于自适应尺度的小目标检测方法[J].光电工程,2014,41(4): 9-14.
- [8] Shengxiang Qi, Jie Ma, Chao Tao, et al. A Robust Directional Saliency-Based Method for Infrared Small-Target Detection Under Various Complex Backgrounds[J]. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, 2013, 10(3): 495-499.
- [9] 江涛,王永仲.基于双递归均值滤波的红外点目标检测[J].电光与控制,2004,11(3): 8-10.
- [10] 王卫华,牛照东,陈曾平.基于时空域融合滤波的红外运动小目标检测算法[J].红外与激光工程,2005,34(6): 714-717.