

基于 EmguCV 的红外图像海天线提取算法研究

黄攀, 木锐, 钟建波, 贾钰超, 王彩萍, 罗宏, 罗永芳, 夏青松,
李洪兵, 汪兴

(云南北方驰宏光电有限公司, 云南 昆明 650217)

摘要: 本文基于海天背景目标提取技术的研究, 给出一种实用的海天线提取算法。首先, 采用空域滤波消除弱小船只目标和近域海浪杂碎波的干扰, 对降噪后的红外图像进行形态学梯度运算, 采用 Ostu 阈值分割方法, 获取海天线边缘轮廓, 然后利用 Hough 直线检测算法, 获取海天线待拟合点数组, 最后利用最小二乘法拟合海天线。实验结果表明, 本算法能够准确、快速地提取海天线, 为海上目标的快速探测跟踪奠定基础, 对红外搜救设备进行海上目标探测跟踪具有重要意义。

关键词: 红外图像; 海天线; 形态学梯度; Hough 变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2020)11-1048-05

Sea-Skyline Extraction Algorithm Based on EmguCV with Infrared Images

HUANG Pan, MU Rui, ZHONG Jianbo, JIA Yuchao, WANG Caiping, LUO Hong, LUO Yongfang,
XIA Qingsong, LI Hongbin, WANG Xing

(Yunnan KIRO-CH Photonics Co. Ltd, Kunming 650217, China)

Abstract: Sea-skyline extraction is an important research subject in the development of infrared search-and-rescue equipment for offshore target detection and tracking. This study investigates sea-sky background target-extraction technology and develops a practical sea-skyline extraction algorithm. First, this work uses spatial filtering to eliminate the interference of a small-vessel target and near-domain sea clutter; it then performs a morphological gradient operation, obtains the edge contour of the sea-skyline using the Ostu threshold-segmentation method, obtains a point group using the Hough transform, and extracts the sea-skyline using the least square method. The experimental results show that the algorithm can accurately and quickly extract the sea-skyline. This study provides a foundation for the rapid detection and tracking of offshore targets.

Key words: infrared image, sea-sky-line, morphological gradient, Hough transform

0 引言

在机载或船载红外热成像海上目标搜救系统中, 如何准确有效地提取海天线是进行海上目标探测跟踪的一个重要环节。准确提取海天线有助于划分航拍红外图像中的天空和海面部分, 缩小目标搜索区域, 降低目标探测跟踪算法的时间复杂度, 快速探测跟踪海上舰船目标, 保证系统实时性。此外, 海天线附近区域分布的目标多为小目标, 易受近处海面破碎波浪或远处天空云层的干扰, 而近距离区域分布的目标多为大目标, 故对不同尺寸、不同区域海上目标的探测

跟踪, 设定的阈值门限也不同。准确提取海天线有利于海上目标探测跟踪区域的划分, 削弱干扰信息, 降低目标探测的错误率, 提高目标探测跟踪的准确率。对于低空掠海飞行目标探测跟踪, 准确提取海天线可快速锁定搜索区域, 极大抑制海面强大浪花和移动舰船目标的干扰, 提高飞行目标的探测准确率^[1]。

利用红外热成像设备远距离观察海天背景目标时, 海天线附近垂直梯度值较大, 且海天线通常为一条直线, 故海天线检测就是在一种强干扰背景下检测垂直梯度值较大的直线边缘轮廓。其中, 海天背景的强干扰主要有条纹状海浪和海天线上方的连续云层。

收稿日期: 2019-04-22; 修订日期: 2020-10-12.

作者简介: 黄攀 (1986-), 男, 湖北广水人, 硕士, 工程师, 主要从事红外系统设计及算法研究工作, E-mail: 523525650@qq.com.

张峰^[2]等采用行映射直方图方法从强对比度的海天背景中提取海天线,该方法不适合海天线倾斜过大的情况;刘士建^[3]等在张峰^[2]成果的基础上,采用模板运算增强红外图像海天线附近区域的梯度值,再利用非线性分割方法,获取海天线部分轮廓;裴继红^[4]等利用海天线的梯度信息,提出直线拟合法,该方法抗干扰能力不足;石文君^[5]等采用多帧能量积累方法提高图像对比度,再用 Gabor 变换和多通道滤波消除干扰,最后用 Hough 变换获取海天线直线边缘。该方法需要积累多帧红外图像,故实时性低。

本文针对船载红外海上目标探测跟踪的实际应用场景,提出一种基于 EmguCV 的红外图像海天线提取算法。该算法先采用空域滤波消除弱小船只目标和近域海浪杂碎波浪的干扰,再对降噪后的红外图像进行形态学梯度运算,阈值分割、获取海天线边缘轮廓,然后利用 Hough 直线检测,获取海天线待拟合点数组,最后利用最小二乘法拟合海天线。

1 EmguCV 简介

EmguCV 是将 OpenCV (Open Source Computer Vision Library) 使用 C#语言封装成的.NET 库,使用 EmguCV 就可在.NET 平台上调用 OpenCV 提供的计算机视觉函数库。OpenCV 由 Intel 微处理器研究实验室的视觉交互组开发,内置各种形式的图像和视频源文件的帧提取函数和标准图像处理算法,包含下列 5 个独立子库: CXCORE、CV、HIGHGUI、CVAUX、CVCAM。其中 CXCORE 库主要负责数据的基本运算; CV 库负责图像处理、结构分析、运动分析、目标跟踪和模式识别等视觉算法; HIGHGUI 库用于图像界面、图像视频输入输出和系统调用函数等用户交互; CVAUX 库存放即将被淘汰的算法和函数及新出现的实验性算法和函数; CVCAM 库存放摄像机接口。

2 理论与方法

2.1 红外图像预处理

当使用船载和机载热像仪探测和跟踪海上的运动目标(如落水人员、救生筏艇和舰船等)时,需要从复杂海面背景或海天背景中准确分离海上的运动目标。在此过程中,准确提取海天线有利于海上目标探测跟踪区域的划分,削弱干扰信息,降低目标探测的错误率,提高目标探测跟踪的准确率。而海天线的提取必须先消除弱小船只目标和近域海浪杂碎波浪

的干扰,因此在海天线提取前应先对红外图像进行一定的预处理。

红外图像中,系统噪声和目标细节均属于高频分量,而背景和海天线轮廓一般为低频分量,故可对图像进行低通滤波,以此达到抑制弱小目标和海杂波、增强海天线边缘轮廓的目的^[6]。红外图像的时域低通滤波用卷积实现,其表达式为:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -4 & 1 & 1 \\ 1 & -4 & -8 & -4 & 1 \\ 1 & 1 & -4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$d(x, y) = s(x, y) * w(x, y) \quad (1)$$

式中: *为卷积运算; $s(x,y)$ 为源红外图像; $d(x,y)$ 为经滤波器滤波后的海天线轮廓增强图像; $w(x,y)$ 为滤波器滑动窗口;对应的频域卷积模板为矩阵 W 。模板中心像素区域的权值最小,使目标细节、海浪随机破碎杂波和噪声点不易通过,而面积较大的背景和海天线易于通过,抑制弱小目标和海浪破碎杂波对海天线提取的干扰。

经低通滤波后的红外图像,较好地保留海天线边缘轮廓信息,但仍会残留部分系统噪声。系统噪声多属于椒盐噪声,且不具有帧间连续性和相关性,故可通过中值滤波算子滤除系统噪声,进一步增强海天线边缘轮廓信号,有利于提取海天线轮廓。

2.2 边缘检测

边缘检测是一种基于图像相邻像素灰度梯度来分割图像的常用方法。本文通过相邻像素形态学垂直梯度来提取红外图像中包含海天线的边缘轮廓。其表达式为:

$$G(x, y) = D(x, y) - E(x, y) \quad (2)$$

式中: $G(x,y)$ 为源红外图像的形态学梯度值; $D(x,y)$ 为源红外图像的形态学膨胀操作; $E(x,y)$ 为源红外图像的形态学腐蚀操作。将红外图像中的形态学膨胀结果减去形态学腐蚀结果,即得到包含目标梯度的边缘轮廓信息^[7]。

针对船载红外海上目标探测跟踪的实际应用场景中,海天线一般为水平倾斜直线,故只需提取红外图像的形态学垂直梯度。

2.3 阈值分割

最大类间方差法是一种常用的图像二值化分割方法。该方法先遍历所有可能的分割阈值,再对每个阈值结果的两类像素计算方差,并将类间方差最小时

对应的阈值设定为图像的最佳分割阈值^[8]。针对图像灰度直方图中双峰明显，双峰无明显低谷或双峰和低谷都不明显的情况，使用该方法可最大化地确定双峰间的分割阈值位置。

若图像灰度等级为 L ，总像素个数为 N ，灰度值为 i 的灰度等级像素点数为 n_i ，则图像归一化直方图中灰度级 i 的灰度概率密度为 $p_i = n_i/N$ ，所有灰度等级的均值为 $\mu = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p_i$ ，其中 $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。

假设初始分割阈值为 t ，则把灰度图像划分为 C_0 和 C_1 两类， C_0 包含的灰度等级为 $[0, t]$ ， C_1 包含的灰度等级为 $[t+1, L-1]$ 。 C_0 和 C_1 的概率分别为

$$w_0 = \sum_{i=0}^t p_i \text{ 和 } w_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - w_0$$

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^t i \cdot p_i}{w_0 \cdot t}, \quad \mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot p_i}{w_1 \cdot t}$$

方差为 $\sigma^2(t) = w_0(\mu_0(t) - \mu)^2 + w_1(\mu_1(t) - \mu)^2$ 。由类间方差公式可得，类间方差 $\sigma^2(t)$ 是分割阈值 t 的函数，当类间方差值最大时对应的阈值 t 即为该灰度图像的最佳分割阈值。

2.4 直线检测

红外图像经预处理、边缘检测和阈值化分割，所得图像中仍然会存在破碎杂波、条纹状涌浪、天空背景云层和目标的垂直梯度信息，通常上述残留信号均为弱信号，而海天线垂直梯度为强信号，且海天线边缘轮廓清晰连续，故可利用 Hough 变换提取海天线^[9]。

Hough 变换是一种图像空间到参数空间或极坐标空间的变换，能够快速检测二值图像中的线、圆或

其他简单形状，其变换过程如图 1。图像空间中的两点 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 共线，则直线参数 a 、 b 唯一确定。推论可得：图像空间中确定直线的点集，其映射到参数空间中都相交于一点。类似于图像空间到参数空间的映射，图像空间也可映射到极坐标空间，且图像空间中共线的点在极坐标空间中都会交于一点。因此，检测图像空间的直线，相当于检测参数空间或极坐标空间中相交线最多的点，利用映射关系，即可在图像空间中定位海天线。利用最小二乘法拟合图像空间中的直线检测数据，可获得图像空间中的海天线信息。

3 实验结果及分析

本文实验数据来源于 2018 年 3 月份某舰载红外热像仪采集的夜间红外图像，经预处理、边缘检测、阈值分割、直线检测的效果如图 2 所示。图 2(d) 可得，源图像中海天线附近仅有一个强目标船只，近岸区域存在海浪的随机破碎杂波，其灰度值较大。图 2(b) 为源红外图像经边缘检测后结果，由图可得，海浪随机破碎杂波对于海天线的检测存在较大干扰。图 2(c) 为源红外图像经预处理后的边缘检测结果。相比图 2(b)，图像预处理能够明显降低海面随机破碎波浪对海天线边缘轮廓的干扰。图 2(d) 为源红外图像经本文算法提取海天线的实际效果。相比图 2(e)，进一步说明，红外图像的预处理对于消除海上杂波的干扰具有重要意义。结果表明，本文方法能够从复杂的海面背景中准确提取海天线。图 2(f) 为包含多目标船只的红外图像，其中船只目标有强目标也有弱目标，均分布在海天线附近，且近岸区域存在随机破碎杂波和细小的条纹状涌浪。经文中的海天线提取算法处理，能够准确提取海天线，为舰载或机载红外热成像对海上目标的探测跟踪奠定基础。

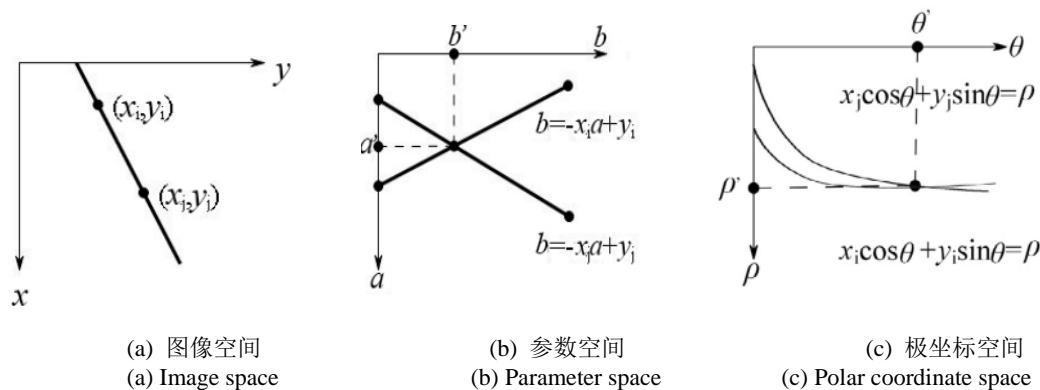


图 1 Hough 变换

Fig.1 Hough transform

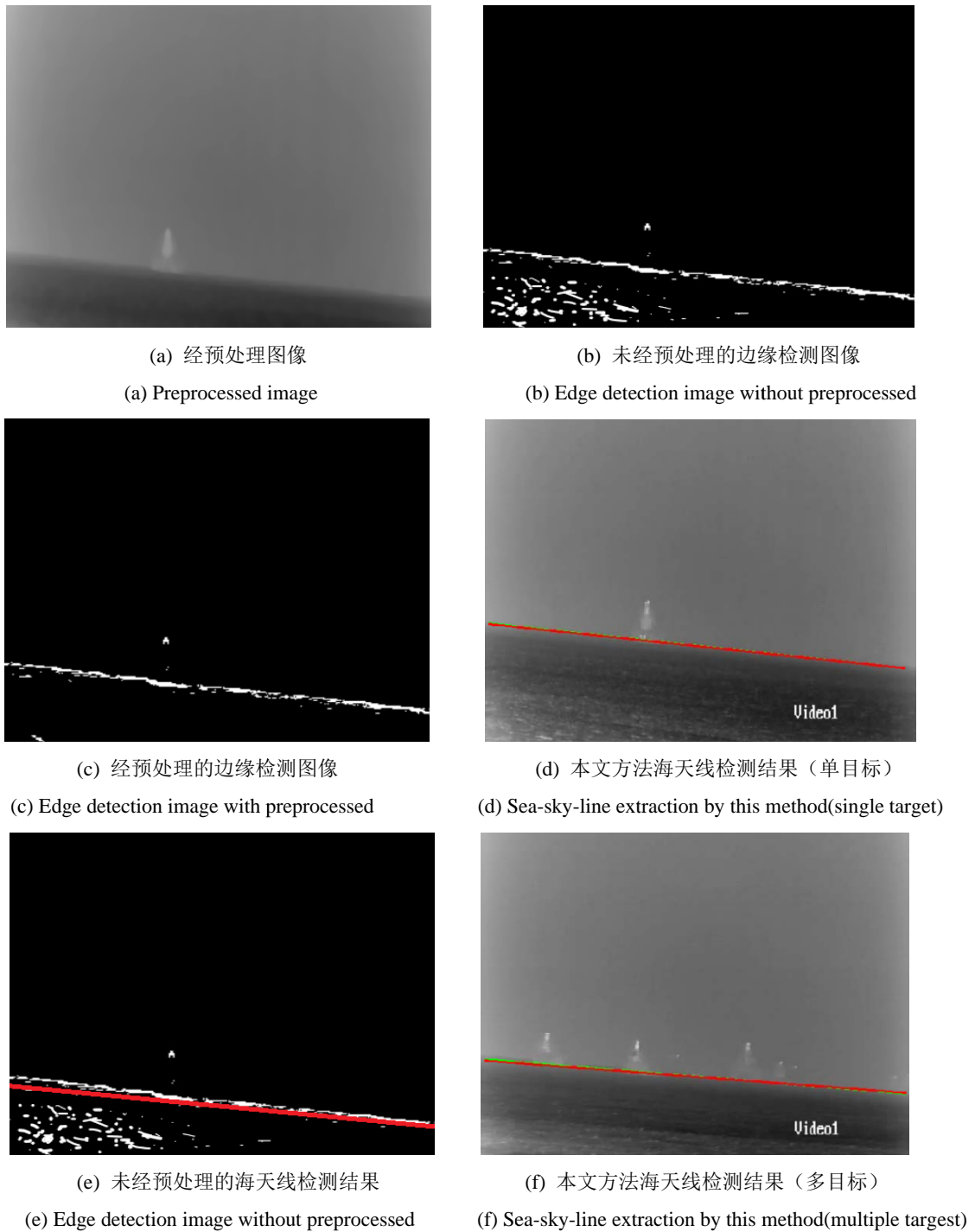


图2 海天线检测方法对比

Fig.2 Comparison of Sea-sky-line extraction method

4 结论

本文针对船载热像仪在海上目标探测跟踪的实际应用场景,介绍了一种基于 EmguCV 的红外图像海天线提取方法。实验结果表明,该方法能够从强背景干扰中准确提取海天线。证实了该方法的有效性和准确性,为船载或机载红外热像仪对海上目标的快速探测跟踪奠定基础。

参考文献:

- [1] 安博文,胡春暖,刘杰,等. 基于 Hough 变换的海天线检测算法研究[J]. 红外技术, 2015, 37(3): 196-199.
AN Bowen, HU Chunnuan, LIU Jie, et al. Study of sea-sky-line detection algorithm based on Hough transform[J]. *Infrared Technology*, 2015, 37(3): 196-199.
- [2] 张锋,杨树谦. 舰船红外图象特征提取及目标识别技术探讨[J]. 红外

- 与激光工程, 1991(2): 21-25.
- ZHANG Feng, Yang Shuqian. Discussion on feature extraction of ship infrared image and target recognition technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1991(2): 21-25.
- [3] 刘士建, 蒋敏, 庄良. 一种快速有效的红外图像中海天线提取算法[J]. 红外技术, 2011, 33(4): 230-232.
- LIU Shijian, JIANG Min, ZHUANG Liang. A fast and effective algorithm for sea-sky-line extraction in infrared image[J]. *Infrared Technology*, 2011, 33(4): 230-232.
- [4] 裴继红, 谢维信, 刘上乾. 舰船红外成像目标实时识别跟踪算法研究[J]. 光电工程, 1995(5): 21-31.
- PEI Jihong, XIE Weixin, LIU Shangqian. Investigations of real time recognition and tracking algorithm for warship IR imaging target[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1995(5): 21-31.
- [5] 石文君, 吴中川, 刘晓红, 等. 低对比度条件下基于能量积累和Gabor变换的海天线提取[J]. 红外技术, 2010, 32(5): 283-287.
- SHI Wenjun, WU Zhongchuan, LIU Xiaohong. Sky-sea line extraction based on energy accumulation & Gabor transform in low contrast conditions[J]. *Infrared Technology*, 2010, 32(5): 283-287.
- [6] 刘晔, 胡绍海, 李向军. 海平面红外目标的检测和跟踪技术[J]. 计算机仿真, 2011, 28(1): 289-293.
- LIU Ye, HU Shaohai, LI Xiangjun. Detection and tracking technology for targets in infrared images[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2011, 28(1): 289-293.
- [7] 叶斌, 彭嘉雄. 基于形态学Top-Hat算子的小目标检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(7): 638-642.
- YE Bin, PENG Jiaxiong. Small target detection method based on morphology top-hat operator[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(7): 638-642.
- [8] Ohtsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66.
- [9] 董宇星, 刘伟宁, 王爽. 基于Canny原理海天检测算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(3): 697-698.
- DONG Xinyu, LIU Weining, WANG Shuang. Sea-sky-line extraction algorithm based on Canny principle[J]. *Computer Measurement & Control*, 2010, 18(3): 697-698.