

〈图像处理与仿真〉

## 基于 Hough 变换的海天线检测算法研究

安博文，胡春暖，刘杰，曹彦珏  
(上海海事大学，上海 201306)

**摘要：**海天线检测是红外航拍图像的一项重要研究内容。深入探讨海天线检测问题，给出了一种实用的检测算法。首先，对获取的红外图像进行梯度运算，采用 Ostu 阈值分割方法，获取海天边缘信息；然后根据 Hough 变换原理，完成海天线的检测。此外，通过随机点采样提高了海天线检测的速率，通过多线段拟合提高了检测的准确率。实验结果表明，本算法可以准确、高效地检测出海天线，为下一步研究奠定了基础。

**关键词：**海天线；随机采样；Hough 变换；多线段拟合

中图分类号：TP391 文献标识码：A 文章编号：1001-8891(2015)03-0196-04

## Study of Sea-sky-line Detection Algorithm Based on Hough Transform

AN Bo-wen, HU Chun-nuan, LIU Jie, CAO Yan-jue  
(Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Sea-sky-line detection is an important research content of infrared aerial image. The paper focuses on the problem of sea-sky-line detection and proposes a practical detection method. Firstly, the paper uses the way of calculating the gradient of the obtained infrared image and segmenting the image based on OSTU to get the edge information. Then the paper detects the sea-sky-line based on the Hough Transform. In addition, random sampling is used to improve detection speed and multi-line fitting is adopted to improve detection accuracy. Experimental results show that the algorithm can detect the sea-sky-line accurately and efficiently, which lays a foundation for further study.

**Key words:** sea-sky-line, random sampling, Hough transform, multi-line fitting

### 0 引言

在机载红外成像搜救系统中，海天线检测是进行红外目标检测跟踪的一个重要环节。一方面，确定海天线可以缩小目标搜索的区域。在搜救的红外航拍图像中，一幅图像可以分为 3 个部分：天空、海天线、海面。获取海天线的位置信息后，计算机就可以只搜索海天线以下的区域，减少运算量，保证系统的实时性。另一方面，海天线检测可以降低目标检测的错误率。海天线附近的条件往往比较复杂，远处的舰船、天空的云层都会对目标搜索造成干扰，影响搜救的进度。检测到海天线后，可以排除对海天线附近的干扰信息，提高目标检测准确率。

但是，复杂海面背景下海天线检测存在一定的难

度<sup>[1]</sup>。其中最重要的一个因素是海浪的干扰，条纹状的海浪在图像中呈现出和海天线相似的特点，容易造成误判；另外，海天线附近的连续云层，可能导致海天检测发生偏离。

许多文献也对海天线检测算法进行了研究。赵峰民等给出了一种基于最长曲线的海天线检测算法<sup>[2]</sup>，采用 Canny 算子进行边缘检测，对检测到的边缘进行连接形成相互独立的几个目标，最后基于最长曲线法进行边缘检测；刘士建等通过模版运算大尺度地增强图像海天线区域的梯度值<sup>[3]</sup>，设计了一种非线性分割的方法对图像进行处理，最后对图像进行行扫描提取出海天线；桂阳等提出了一种基于区域方差和 Ransac 算法的新方法<sup>[4]</sup>。该方法首先搜寻图像中设定区域内方差最大值的位置，并以此确定出若干海天线候选点

收稿日期：2014-08-18；修订日期：2014-09-23。

作者简介：安博文（1969-），男，教授，博士研究生，研究方向为红外数字图像处理，海缆在线监测系统。

基金项目：国家自然科学基金，编号：61171126；上海重点支撑项目，编号：12250501500；上海海事大学研究生创新基金资助项目，编号：yc2014025。

坐标，然后结合 Ransac 算法求取海天线直线参数。石文君等采用多帧能量积累方法提高红外图像对比度<sup>[5]</sup>，然后运用 Gabor 变换和 Gabor 多通道滤波器滤除图像干扰部分和凸显图像中的海天线部分，最后使用边缘检测和 Hough 变换实现海天线的提取。以上算法在各自应用背景下都取得了一定的效果，本文针对机载红外搜救场景中的应用，提出了改进型的基于 Hough 变换的海天线检测算法。

## 1 边缘检测

边缘检测是基于灰度突变来分割图像的最常用方法。本文通过计算红外图像梯度的方法来获取包含海天线的边缘信息。

对于一幅图像  $f$ , 可以用梯度  $\nabla f$  度量其在  $(x,y)$  位置的边缘的强度和方向, 该向量指出了图像  $f$  在  $(x,y)$  处最大变化率的方向。梯度的定义为:

$$\nabla f = \text{grad}(f) = \begin{bmatrix} g_y \\ g_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

用  $M(x,y)$  表示  $\nabla f$  的大小，其意义为梯度方向变化率的值，即：

$$M(x,y) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (2)$$

值得注意的是， $g_x$ ， $g_y$  和  $M(x,y)$ 都是与原图像大小相同的图像，是  $x$  和  $y$  在  $f$  中的所有像素位置上变化产生的。

采用 Ostu<sup>[6]</sup>的方法对梯度运算后的图像进行分割。设图像的灰度范围是  $\{0, \dots, L\}$ ，灰度为  $i$  的像素出现的概率为  $p_i$ ，分割的阈值为  $t$ ，则图像可以分为 2 部分——灰度值大于  $t$  的部分和灰度值小于  $t$  的部分，2 部分出现的概率分别为：

$$P_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad P_1(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i \quad (3)$$

两部分的灰度平均值分别为  $u_0(t)$  和  $u_1(t)$ , 图像的总体灰度平均值为  $u_T$ , 则图像的类间方差可以表示为:

$$\sigma_{\text{R}}^2(t) = P_0(t)[u_0(t) - u_T]^2 + P_1(t)[u_1(t) - u_T]^2 \quad (4)$$

对所有的  $t$  值进行遍历，找到类间方差最大时  $t$  的值  $t_{\max}$ ，即图像分割的阈值，从而得到分割后的图像。

## 2 随机点采样

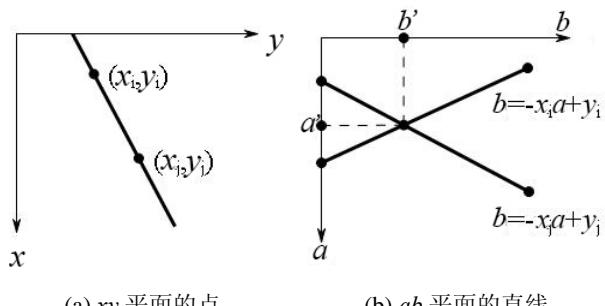
在图像处理系统中，为了保证实时性，必须提高

前期图像处理各个步骤的速度。在进行 Hough 直线检测计算时，要分别对图像的行和列进行扫描计算，算法的时间复杂度为  $O(n^2)$ 。

本文根据红外图像特点和 Hough 边缘原理,提出了一种随机采样的方法以减少计算量。通过研究发现,对目标图像中非背景点进行一定程度的随机采样,可以提高速度的同时可以保证海天线检测的准确性。随机采样使得目标点和干扰点数量同步减少,而之间的比例基本不发生变化。

### 3 Hough 直线检测

对于  $xy$  平面，通过平面上的任意一点  $(x_i, y_i)$  的直线有无数条，并且可以表示为  $y_i = ax_i + b$ 。该公式可以改写为  $b = -x_i a + y_i$ ，这可以看成是  $ab$  平面（也称为参数空间）中自变量和因变量分别为  $a$  和  $b$  的直线。因此  $xy$  平面上通过点  $(x_i, y_i)$  的直线族转化为  $ab$  平面上的一条直线。考虑到  $xy$  平面上另一点  $(x_j, y_j)$ ，其在  $ab$  平面对应的方程为  $b = -x_j a + y_j$ 。在  $xy$  平面上，由于  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  两点确定一条直线，直线的参数  $a$  和  $b$  确定，因此其在  $ab$  平面两条对应直线会相交于一点  $(a', b')$ ，如图 1 所示。推论可知，对于  $xy$  平面确定直线上的点集，其映射到  $ab$  平面的直线集都相交于一点。



Mapping between  $x$ - $y$  plane and  $a$ - $b$

从理论上说，通过这个方法可以计算出图

有非背景点 $(x_i, y_i)$ 的对应参数空间直线，进行直线检测<sup>[7]</sup>。但是当直线的斜率 $a$ 趋近于无限大，也就是接近垂直方向时，会造成计算上困难。为了解决该问题，使用极坐标法表示图像：

$$x\cos\theta + y\sin\theta = \rho \quad (5)$$

和  $ab$  参数空间类似，可以把  $xy$  平面上的点映射到  $\rho\theta$  平面上的曲线，如图 2 所示。

为了获取相关参数，将  $\rho\theta$  参数空间细分为累加器单元，如图 3 所示。对  $xy$  平面上图像的每一个非背景点的坐标  $(x_k, y_k)$  进行坐标转换计算， $xy$  平面上点的通过公式  $\rho = x_k \cos \theta + y_k \sin \theta$  可以转化为  $\rho\theta$  参数空间

上的曲线<sup>[8]</sup>。 $\theta$ 的取值范围是 $[-\pi/2, \pi/2]$ ,  $\rho$ 的取值范围是图像中非背景点距离原点的最小值和最大值。对于 $\theta$ 轴上每一个量化的 $\theta$ 值,都可以得到相应的 $\rho$ 值。将得到的 $\rho$ 值进行四舍五入,对应到 $\rho$ 轴上的量化的 $\rho$ 值空间。相应的( $\rho, \theta$ )单元的累加值对应增加。整个过程结束以后,统计每个单元的累加值。

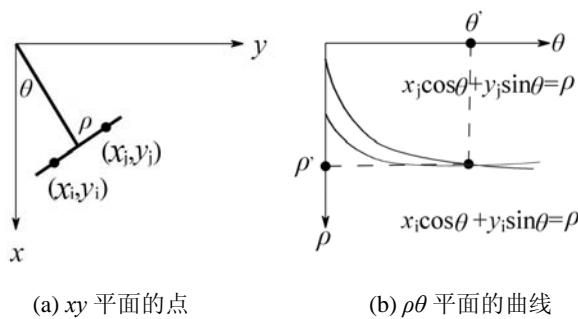


图 2  $xy$  平面和  $\rho\theta$  平面映射关系

Fig.2 Maping between  $x-y$  plane and  $\rho-\theta$  plane

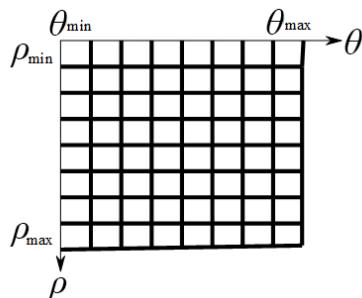


图 3  $\rho\theta$  空间累加器 Fig.3  $\rho\theta$  space accumulator

本文中,只要确定海天线所在的直线,而不需要考虑到其他直线。海天线是通过 Hough 直线检测特征最明显的直线,因此只要获取  $\rho\theta$  参数空间中累加值最大的( $\rho_m, \theta_m$ ),通过公式 $\rho_m = x \cos \theta_m + y \sin \theta_m$ 进行反运算,就可以得到  $xy$  平面上拟合海天线的直线。

#### 4 多线段拟合

以上基于 Hough 变换进行海天线检测时,是在认为海天线是直线下进行的,Hough 检测所得到的拟合海天线也是一条直线。但是在实际情况中,由于海浪,远处岛屿以及相机拍摄角度等因素的影响,获取的图像中海天线呈现的是接近直线的曲线<sup>[9]</sup>。针对这种情况,本文提出了多线段拟合的方法以提高海天线检测的准确率<sup>[10]</sup>。

多线段拟合的基本思想是“先分后合”。首先对已经完成背景点的随机采样的边缘检测图像进行分割,将  $m \times n$  大小的图像平均分割为  $k$  个  $m \times \frac{n}{k}$  大小的子图像,  $k$  值的选取根据综合考虑数据计算量和分割后检测的准确率;然后利用 Hough 直线检测原理对每

个子图像进行海天线检测<sup>[11]</sup>;最后对完成直线检测的图像进行按照顺序重新拼接,得到完整的直线检测结果。

#### 5 算法仿真

实验中,对获取的红外原始图像进行梯度运算,二值化操作,得到边缘检测结果。从图中可以看出,除了海天线和小目标所在区域外,其它的边缘信息较少,基本克服了海面杂波所造成的干扰。将其与 roberts 算子的边缘检测相比,本文方法对海天线部分增强效果,对杂波干扰抑制的效果都较好,如图 4 所示。

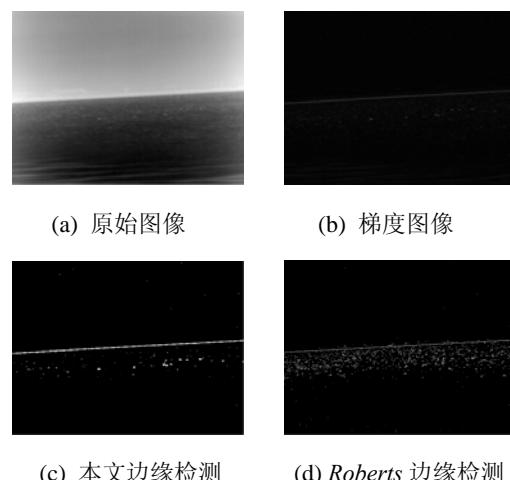


图 4 边缘检测结果 Fig.4 Edge detection results

本文中用采样率为 0.50 的模板对获取的边缘检测图像进行随机采样以降低算法的计算量。在保证检测准确率的情况下可以进行多次采样。采样的结果如图 5 所示。从红外视频图像序列中选择 3 幅图像进行 Hough 直线检测计算,多次计算统计时间平均值,结果显示采样后检测速度明显提高,具体如表 1 所示。

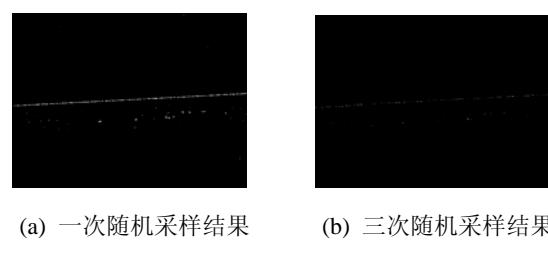


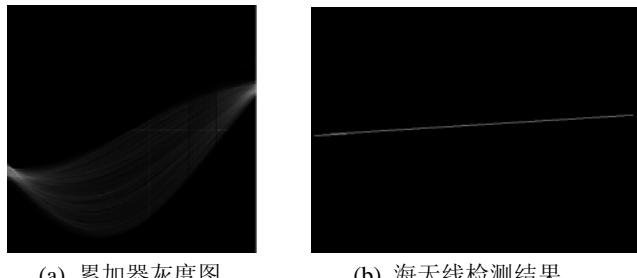
图 5 随机采样结果 Fig.5 Random sampling results

表 1 Hough 直线检测时间

Table 1 Line detection time

	未采样	一次采样	三次采样	s
测试图像 1	0.2260	0.2020	0.1860	
测试图像 2	0.2310	0.2050	0.1880	
测试图像 3	0.2240	0.2030	0.1860	

在进行海天线检测时,对 $\rho\theta$ 空间量化为 $300\times 300$ 大小的量化空间,将最终的累加器结果转化为灰度图,如图 6(a)所示。图中亮度较大的部分表示累加值较高,反之则累加值较低。获取累加器中的峰值参数,可以得到 $xy$ 平面中的对应的直线方程,在和原始图同等大小的二值图像中绘制方程所表示的直线,即得到拟合的海天线,如图 6(b)所示。



(a) 累加器灰度图 (b) 海天线检测结果

图 6 Hough 变换海天线检测

Fig.6 Sea-sky-line detection based on Hough Transform

为了进行多线段拟合,对随机点采样后的图像进行分割。图 7 是对一次随机采样结果图像(图 5(a))进行 $1\times 8$  分割的结果。对分割后的子图像分别进行 Hough 直线检测,检测结果如图 8 所示。对检测的结果子图像进行重新拼接,得到了多线段拟合的海天线检测结果,如图 9 所示。比较图 4(a), 图 6(b)以及图 9 可知,采用多线段拟合的方法得到的海天线检测结果更加精确。

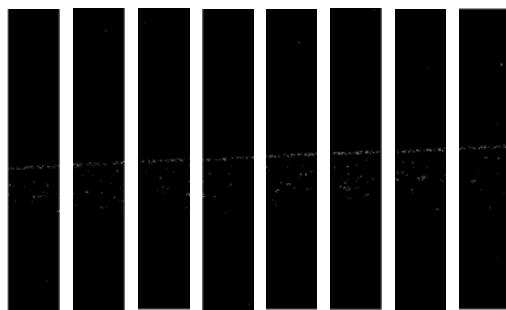


图 7 分割子图像

Fig.7 Sub-images after segmenting

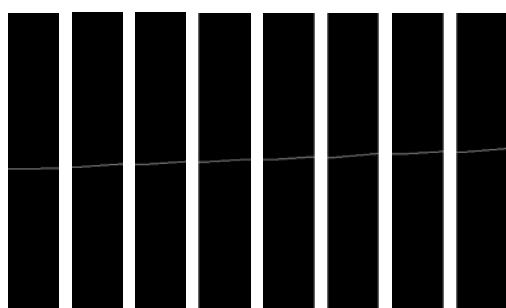


图 8 子图像检测结果

Fig.8 Detection results of sub-images



图 9 多线段拟合结果 Fig.9 Multi-line fitting results

## 6 结论

本文根据红外搜救的实际应用,采用了 Hough 变换直线检测算法完成了海天线检测。针对 Hough 变换计算量大影响实时性,巧妙地采用了随机点采样的方法;针对红外图像中海天线非直线的实际情况,采用了多线段拟合的方法。实验结果表明,本文的算法在检测图像中的海天线可以达到较为理想的效果。

海天线检测是目标检测与跟踪的重要环节<sup>[12]</sup>,本课题未来的研究重点方向是提高海天线检测的速度和精度以满足实际工程应用。

## 参考文献:

- [1] Gu Yan-feng, Wang Chen, Liu Bao-Xue, et al. A Kernel-based non-parametric regression method for clutter removal in infrared small-target detection applications[J]. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 2010, **3**: 469-473.
- [2] 赵峰民, 杨凯, 蔡天一, 等. 基于最长曲线法的海天线检测算法[J]. 兵工自动化, 2009, **28**(4): 82-84.
- [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): 230-233.
- [4] 桂阳, 李立春, 王鲲鹏, 等. 基于区域方差和 RANSAC 的海天线检测新方法[J]. 激光与红外, 2008, **38**(11): 1149-1151.
- [5] 石文君, 吴中川, 王晓红, 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.
- [6] 冈萨雷斯, 伍兹, 艾汀斯. 数字图像处理(MATLAB 版)[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2013: 296-304.
- [7] 王茜倩, 彭中, 刘莉. 一种基于自适应阈值的图像分割算法[J]. 通信学报, 2003, **23**(4): 521-524.
- [8] 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: 7-19.
- [9] Shi C, Xu K, Peng J, et al. Architecture of vision enhancement system for maritime search and rescue[C]//ITS Telecommunications, ITST 2008, 8th International Conference on. IEEE, 2008: 12-17.
- [10] 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.
- [11] 王兵学, 雍杨, 霍义华, 等. 基于纹理特征分析的海天线检测方[J]. 红外技术, 2013, **35**(1): 42-46.
- [12] 董宇星, 刘伟宁. 天背景小目标检测[J]. 中国光学, 2010, **15**(3): 252-256.