文章编号：1672-8785(2020)01-0034-05

基于灰度门限分析的海天线检测研究

李玲慧[1] 黄自力[1] 贾爱军[2] 唐湘成[1] 黄正中[1] 邹硕颐[1] 杨 建[3]

(1.西南技术物理研究所，四川 成都 610036；
2.31401 部队第 80 分队，内蒙古 呼和浩特 010000；
3.中国电子科技集团公司第 29 研究所，四川 成都 610036)

摘 要：由于海天线检测在海天背景下的舰船目标检测与跟踪方面具有重要作用，提出了一种基于边缘灰度梯度门限分析和最小二乘直线拟合法的海天线检测方法。通过分析图像以及调整线性滤波器的步长来扩大海天线附近的灰度梯度差。采用门限分析法提取了边缘坐标，采用最小二乘直线拟合法提取了海天线，并利用 MATLAB 软件进行仿真验证。结果表明，本文算法可准确提取复杂背景下的海天线，且具有较好的适应性与实用性。

关键词：海天线检测；边缘检测；灰度门限；直线拟合

中图分类号：TP751.1 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.1672-8785.2020.01.007

Research on the Sea-Sky-Line Detection Based on the Analysis of the Grayscale Threshold

LI Ling-hui[1], HUANG Zi-li[1], JIA Ai-jun[2], TANG Xiang-cheng[1], HUANG Zheng-zhong[1], ZOU Shuo-yi[1], YANG Jian[3]

(*1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610036, China;*
2. Unit 80 of 31401, Huhhot 010000, China;
3. The 29th Research Institute of CETC, Chengdu 610036, China)

Abstract: Under the sea-sky background, sea-sky-line detection can play an important role in detecting and tracking the ship targets. A method of sea-sky-line detection based on the analysis of the grayscale threshold is proposed. By analyzing the image and adjusting the step size of the linear filter, the gradient difference of the grayscale near the sea-sky-line is enlarged. The method based on threshold analysis is used to extract the edge coordinates, and the sea-sky-line is fitted through the least square method. The simulation verification is conducted by MATLAB as well. The results show that the proposed algorithm can accurately extract the sea-sky-line in the complex background, and has good adaptability and practicability.

Key words: sea-sky-line detection; edge detection; grayscale threshold; straight line fitting

收稿日期：2019-11-19

作者简介：李玲慧(1989-)，女，河北沧州人，硕士研究生，主要从事图像处理研究。
E-mail：295034394@qq.com

0 引言

在距离大于 6 km 的远距离水平观测时，海天背景图像可以分成以下几个部分：天空、海天线及海面。天空和海面的连接线就是海天线。由于海天背景和天空的灰度存在差异，海天线通常可看成类似于直线的轮廓。受到天空中的云层以及海面杂波的干扰，在海天背景下很难对舰船目标进行稳定跟踪。一般情况下，舰船目标会在海天线区域被发现。因此，通过确定舰船目标搜索范围、抑制搜索范围外的噪声与其他无关物体的干扰，可以达到减少计算量并降低虚警率的目的。确定海天线的区域范围是在复杂海天背景下跟踪舰船的重要步骤。定位海天线区域的首要任务是提取海天线(达到提供海天线区域范围的程度即可)。由于自然环境的时刻变化和拍摄条件的不确定性，海天区域检测算法须具备对复杂情况的适应能力[1]。

彩色的海空背景图像可由海天线切分成两个区域：天空部分和海水部分。在几何构型上，天空部分和海水部分呈堆叠关系，且两者分别在海天背景图像的上下方。与天空区域相比，海水区域有更加鲜艳的颜色，因此其饱和度比天空区域的更大。除此之外，海水区域反射较弱，所以亮度较小；而天空区域反射较强，亮度较大。二者之间有明显不同的亮度变化[2]。位于两区域之间的海天线的亮度变化率更大。因此，海天线的灰度在水平方向上变化平缓，而在垂直方向上的变化则比较剧烈[3]。基于此特性，本文通过扩大垂直方向的梯度，给出了一种新的海天线定位算法。

1 传统的海天线检测算法

由于海天线具有长直线特征，提取它的主要途径是对海天图像中的直线进行检测和拟合。针对海天线的提取，业内科研人员开展了很多探索工作。满足工程上瞬时提取海天线要求的方法主要有以下四种：行扫描法、Hough 变换法、Otsu 分割法和直线拟合法。而小波变换尽管有提取精度高、海天线检测准确的优点，但计算量过大，超出了当前硬件计算能力，因此很难满足装备对海天线提取的低延迟要求。

1.1 行扫描法

行扫描法经计算得到垂直梯度图像，然后通过逐行累加得到灰度值。一般来说，海天线位置的梯度值较大，因此海天线所在行的梯度累加值比其它位置更大。计算梯度累加值的最大值，并以该值所对应的行作为海天线的提取结果。对于受到海浪等干扰的图像，海天线处的行累加值不能保证一定是最大值。在这种情况下提取海天线的误差极大，因此行扫描法的使用有很大的局限性。

1.2 Hough 变换法

利用 Hough 变换提取海天线的方法如下：首先，用 Canny 算子对预处理图像的边缘进行检测，此时得到的边缘图像已经二值化[4]；然后用 Hough 变换法处理该边缘图像；最后，Hough 变换结果中的最大值点所对应的直线即为海天线[5]。边缘图像会受到云层和海浪等干扰。这些干扰因素的 Hough 变换结果也具备海天线的特征，容易导致海天线的错误提取。

1.3 Otsu 分割法

基于 Otsu 分割法检测海天线的方法如下：首先，预处理图像数据；然后用 Otsu 方法分割图像(海天背景的红外图像中海和天两部分的灰度比较均匀，而海天线的灰度差别较大)；最后提取用 Otsu 法分割出的海和天两部分的交界处直线(即海天线)。在某些情况下，Otsu 分割阈值难以适用于复杂多变的海天背景红外图像[6]。

1.4 直线拟合法

直线拟合法利用了海天线的垂直梯度值较大的特点。计算预处理后图像的垂直梯度，然后记录每列梯度值最大的点，最后利用记录的点进行直线拟合，得到的直线即为海天线。受海浪影响很大的图像的海天线信噪比往往也很低。这种情况下计算得到的点一般是错误的，最终处理得到的海天线也是错误的。

2 灰度梯度门限分析法

通过海天背景图像分析可知，海天线所在的位置近似为一条直线。为了解决行扫描法中非海天线处与海天线处的行累加值相当而导致海天线判断不准的问题，本方法通过调整滤波器的步长来提高垂直方向上的灰度梯度。海天线应该在垂直方向上的梯度最大值处。如果可以准确地找到海天线的坐标位置，也就能够解决直线拟合方法中海天线位置不准确的问题。该方法的具体步骤如图 1 所示。

2.1 边缘检测

海天线位于天和海的交界处，三个区域在水平方向上的亮度变化相似，而在垂直方向上海天线的亮度变化最大。因此，海天线的灰度值在水平方向上变化小，而在垂直方向上变化大。对于近似一条直线的海天线，可以通过选用合适的边缘检测模板进行线检测来扩大灰度梯度差。由于边缘两侧的像素灰度有很大不同，这就构成了阶跃状边缘。边缘点的灰度值是上邻点与下邻点的灰度值之差。灰度差异很小的区域内点的灰度值近似于 0；而在边缘位置上，灰度值跳变明显。因此该点的灰度值很大，这样就得到了上述结果。边缘检测模板是一种边缘检测器，习惯上又称为边缘算子，也可看作是基于梯度的滤波器。海天线一般与水平方向接近，而边缘恰好为垂直方向，因此使用垂直方向的梯度模板来检测边缘。

图 2 所示的模板在海天图像上逐步移动时，对水平线(一个像素宽)的响应会更强烈。对于恒定的背景，模板的中间一行通过图像上时能产生更强烈的响应。模板的优先方向都用比其它可能方向大的系数进行加权，每个模板的系数之和为 0。这表明在恒定亮度区域中，模板的响应为 0。将图 3(b)与图 3(c)对比发现，调整模板的步长明显使灰度梯度变大，这为后续的检测提供了方便。

2.2 海天线参数的确定

如图 3(b)所示，选取 576×720 大小的灰度图像。提高水平线检测模板的梯度，可以使

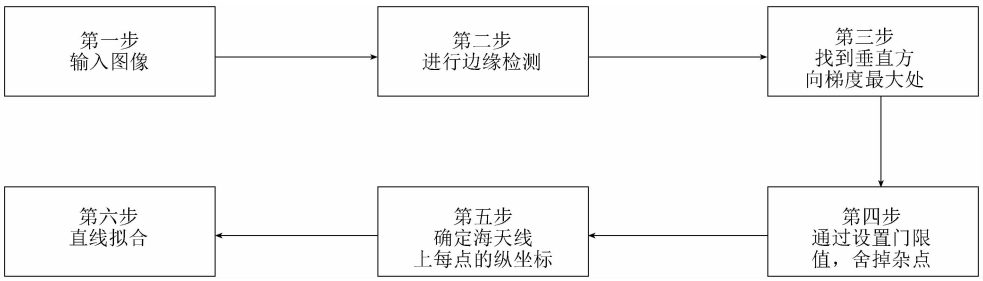


图 1 灰度梯度门限分析法的步骤

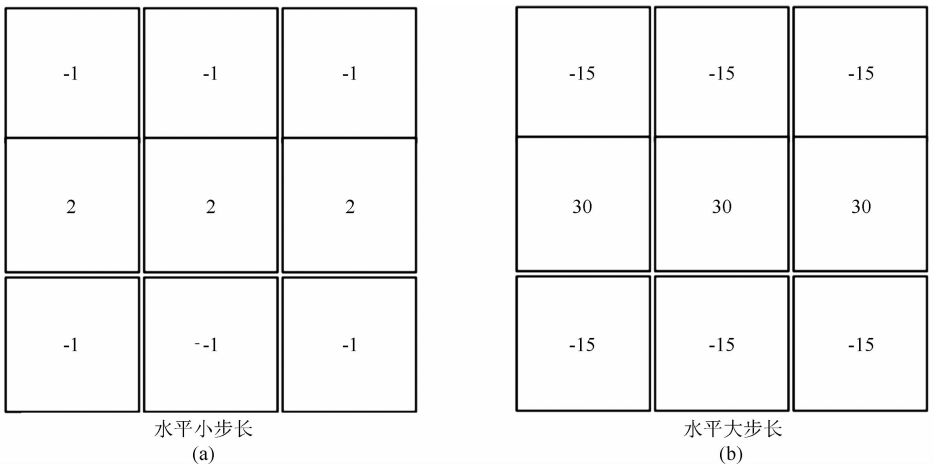
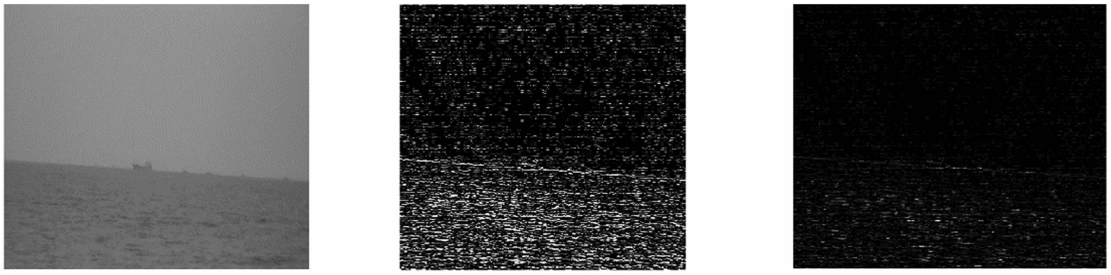


图 2 水平线检测模板



(a)原始图像　(b)水平大步长　(c)水平小步长

图 3 不同步长的水平线检测

海天线的位置更加明显。如果能够确定海天线位置上每个像素的纵坐标大小(横坐标为此图像的像素列数)，那么就可将海天线上点的坐标表示出来。从每一列中可以看出，海天线的位置基本上是每一列像素的第一个最大值。因为海天线在水面以上，所以不用考虑水面的杂点对海天线的影响。

从图 3(b)可以看出，天空部分点的梯度也许会是某一列像素梯度的最大值，这样在确定海天线时就会产生很大的误差。但是还是会有大部分的点集中在海天线上。将垂直方向第一个最大值所对应点的纵坐标画在图中，明显发现大部分点还是能够在一条线附近的。点的分布比较散会导致方差较大，所以通过设定门限值来舍掉分布较散的点。

首先计算出所有区域的海天线对应行数的均值 $\bar{y}=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}y_i$，并设定门限值 T。当 y_i 满足 $\bar{y}-T_1<y_i<\bar{y}+T_2$ 时，即可把该点作为海天线上的点。上下设定门限值，标准差 σ_p 表示这些点偏离均值的程度。如图 4 所示，如果选定合适的门限，删掉偏离点，保留均值，这样就可以最大程度地逼近海天线。根据图 4 可知，点在均值上下的位置不同。因此可以设定 $E_p-k_1\sigma_p<y_i<E_p+k_2\sigma_p$，其中 y_i 是选中的海天线的点。

如图 5 所示，红线代表均值，黑线和蓝线之间为门限值所选定的点(包含了围绕在海天线附近的最为准确的点)。根据图像的差异，选择适当的 k_1 和 k_2 值，并设置相应的门限值。如图 6 所示，门限值之间的点会围绕在一条直线附近，证明了门限选择的正确性。

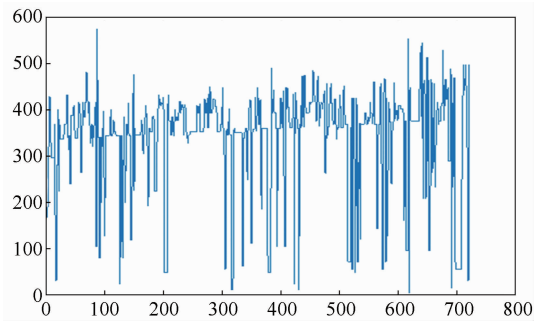


图 4 垂直方向上梯度最大值所对应点的坐标

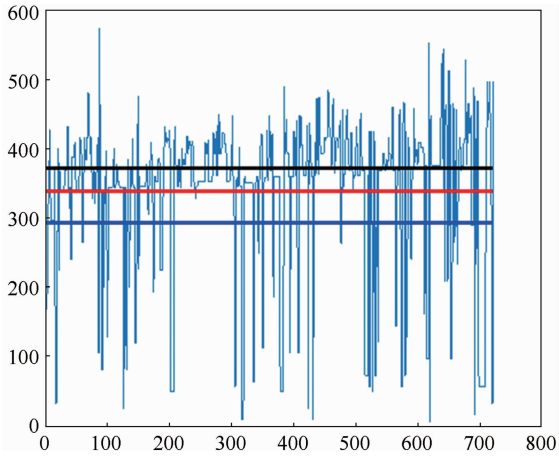


图 5 门限范围的确定

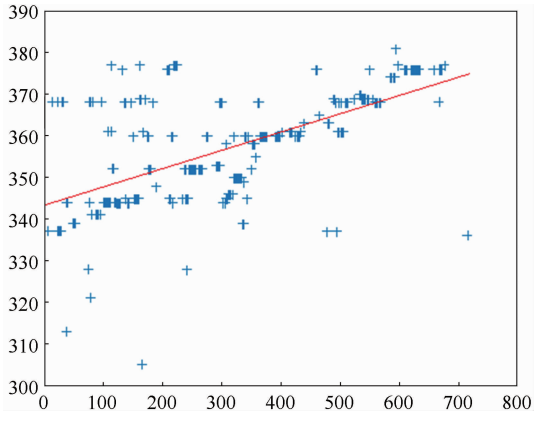


图 6 海天线的选定点

2.3 最小二乘法直线拟合

根据 2.2 节的结果，可找到海天线周围点的横坐标和纵坐标，并将其按照直线处理。设海天线的方程为

$$y = kx + b \tag{1}$$

设每个海天线点的坐标为(x_i, y_i)，其中$i=1,2,\cdots,N$。获取方法如下：

$$k = \frac{N\sum_{i=1}^{N} x_i y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} y_i}{D} \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} x_i y_i}{D} \tag{3}$$

$$D = N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2 \tag{4}$$

3 MATLAB 仿真和分析

根据上一章的内容，确定了海天线的参数点。采用直线拟合方法将海天线拟合出来，并用 MATLAB 软件对上述算法进行了仿真(结果见图 7)。图 7 中，红色线条为拟合的直线，与原始图像中的海天线(见图 8)的匹配度很高，证明此方法可行。



图 7 仿真结果

4 结束语

本文提出了一种海天背景下提取海天线的有效方法。首先，运用检测模板增大海天线附近的梯度差；然后检测出垂直方向上每个梯度的第一个最大值的坐标；再根据不同图形设定



图 8 原始图像

自适应门限，并从中舍掉天空部分的干扰点，从而尽可能地选出接近海天线位置的点的坐标；最后利用直线拟合法完成海天线的提取。通过增大线检测的步长，有效地抑制了天空背景和海面背景的干扰，增强了目标的位置信息。这对后续的海天线提取操作很有帮助。仿真实验结果表明，本方法能够解决传统海天线检测算法的部分问题，无需先对图像进行滤波除杂处理。这样能够简化操作并有效抑制干扰以及一定的背景变化，因此具有良好的准确性、鲁棒性和实时性。

参考文献

[1] 谢熙. 海天背景下海天线检测及舰船目标跟踪研究 [D]. 武汉：武汉理工大学，2013.

[2] 刘靖逸，陈金波，王志恒，等. 基于超像素分类的海天线检测方法 [J]. **计量与测试技术**，2017，**44**(3)：104–109.

[3] 王小康，董士崔. 海天线检测算法简述 [J]. **电子世界**，2013，**35**(16)：97–98.

[4] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*，1986，**8**(6)：679–698.

[5] Hough P V C. Method and means for recognizing complex patterns：US3069654 [P]. 1962–12–18.

[6] 王丁禾. 复杂场景红外舰船目标实时检测技术研究 [D]. 长沙：国防科技大学，2012.