

文章编号:1007-2780(2010)06-0901-08

## 基于相位编组的 Hough 变换提取海天线算法

董月芳<sup>1,2</sup>, 张云峰<sup>1</sup>, 刘 扬<sup>1,2</sup>, 徐美芳<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: dongyf727@163.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 海天线提取是研究海天背景条件下目标跟踪的一项重要内容。考虑到海天背景的多样性, 首先分析了现有算法的缺点, 然后提出了一种适应性较好的海天线提取算法。算法首先用中值滤波去除云层和海杂波等噪声, 然后利用基于相位编组的 Hough 变换提取出海天线。由于算法融合了相位编组和 Hough 变换两者的优点, 所以该方法不但能提取出低对比度下的海天线, 而且还具有强的抗干扰性, 克服了相位编组和 Hough 变换各自的缺点。实验结果证明, 该方法能提取出简单和复杂背景中的海天线, 适应性好、鲁棒性强、定位准确, 降低了后续目标跟踪的复杂度。

**关 键 词:** 海天线; Hough 变换; 相位编组; 中值滤波

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A

## Hough Transform Based on Phase Grouping Algorithm for Extracting Sea-Sky-Line

DONG Yue-fang<sup>1,2</sup>, ZHANG Yun-feng<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1,2</sup>, XU Mei-fang<sup>1,2</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun 130033, China, E-mail: dongyf727@163.com;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Sea-sky-line detection is an important component involved in the target tracking under the condition of sea-sky background. Considering the diversity of the sea-sky background, this paper first analyzes the disadvantages of some existing algorithms, and then a better adaptability sea-sky-line extraction algorithm is presented. First, median filter is used to eliminate noise such as cloud and sea clutter and other noise, and then Hough transform based on phase grouping is used to extract the sea-sky-line. As the algorithm combines the advantages of both the phase grouping and the Hough transform, it can not only extract the sea-sky-line under low-contrast, but also has strong anti-interference, and overcome its own shortcomings of phase grouping and Hough transform. The experimental results show that the method can extract the sea-sky-line from the simple and complex background. Through lots of experiments, the results proved that this algorithm is adaptability, robustness, accurate positioning, reducing the complexity of the follow-up target tracking.

**Key words:** sea-sky-line; Hough transform; phase grouping; median filter

收稿日期: 2010-03-20; 修订日期: 2010-03-30

作者简介: 董月芳(1985—), 女, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事目标跟踪等图像处理方面的研究。

## 1 引 言

由于天空云层和海面杂波干扰组成的海天背景的影响,在海天背景下的目标稳定跟踪困难较大。跟踪时可以先确定海天线位置,然后采取相应的策略,这样可以降低目标跟踪的复杂性。由于受自然和人为条件的影响,海天背景时而简单时而复杂,海天对比度时强时暗,呈现多样性,此时找到一种适应性好、鲁棒的海天线提取算法显得尤为重要。

海天线的提取已受到很多人的关注。赵峰民<sup>[1]</sup>等提出的基于最长曲线法的海天线检测算法利用  $3 \times 3$  中值滤波进行预处理,但当海面杂波很多时,该方法就失效了。谢红<sup>[2]</sup>等的复杂海天线区域检测算法采用最大类间方差法选取灰度阈值检测出海天线,对于海与天灰度值变化较明显的海天背景图片有较好的效果,但对于变化不明显的海天背景图片则效果不好。刘松涛<sup>[3]</sup>等的 Hough 变化法,只能处理简单的海天背景,适应性不好,当海上杂波较多时,该方法严重失效;如果在预处理时加上  $3 \times 3$  的中值滤波,这种方法能抵抗较少的海杂波的干扰,对于较多的海杂波则需要多次中值滤波。王淑艳<sup>[4]</sup>采用多点多层垂直 Sobel 算子最小二乘直线拟合法提取海天线,当天空和海面存在大量云层和海杂波等较大梯度干扰时,由于 Sobel 算子不能正确地提取出海天线边缘点,该算法失效。

考虑到现有方法不能适应多数的海天背景情况,本文提出了一种新的海天线提取算法。算法首先利用中值滤波进行预处理滤除噪声,然后利用基于相位编组的 Hough 变换提取出海天线。实验结果证明,该方法适应性好、定位准确、鲁棒性强,能提取出复杂和简单海天背景中的海天线;对于低对比度和分层的海天背景,该方法也能很好地提取。

## 2 海天背景分析

通过实际获得的图片分析,海天背景图片可分为 3 个不同的区域:海区域、天空区域和海天交接区域。海天交接区域也称之为海天线区域,呈现为一条由亮至暗的过度带,而非一条单像素的线。这 3 个部分的灰度分布完全不同,一般有以下 4 种情况:

(1)天空区域较亮,有时会有高亮的云层、海鸟等。海面区域灰度值较暗,但有时海风较猛,海面的浪花较多,因此海区域部分会有很多高亮的峰值噪声。

(2)由于天气等的外界条件的影响,海天线区域对比度很弱,很难找到一条明显过渡的直线。

(3)有时天空和海面区域也会出现分层现象,即图片中除了海天线外还有多条明显的过渡直线。

(4)海天线通常具有一定的倾斜度。

海天线的提取也就是提取出海天线区域变化最明显的一条最长的单像素近似直线,找到海天线所在的位置。

## 3 Hough 变换和相位编组法

### 3.1 Hough 变换提取直线

Hough 变换是经典的直线检测方法之一。Hough 变换的基本原理在于利用点与线的对偶性,将原始图像空间给定的曲线通过曲线表达式变为参数空间的一个点<sup>[5-6]</sup>,这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转变为寻找参数空间中的峰值问题。也即把检测整体特性转变为检测局部特性。

考虑到直角坐标系不能表示所有形式的直线,这里采用的是极坐标系。图像空间与参数空间的映射关系为: $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$  ( $\rho \geq 0, 0 \leq \theta \leq \pi$ )。 $\rho$  表示原点到直线的距离, $\theta$  是该直线的法线与  $x$  轴的夹角,参数  $\rho$  与  $\theta$  确定一条惟一的直线,如图 1 所示。图像空间的任意一点  $(x, y)$  映射为参数空间的一条正弦曲线,然后,图像空间的直角坐标系下呈现直线的所有点,它们在极坐标下的  $\rho$  与  $\theta$  是相同的,所以图像空间的共线点对应的所有正弦曲线在参数空间将交于同一点  $(\rho_i, \theta_j)$ 。如图 2 所示,假设  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  是直线  $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$

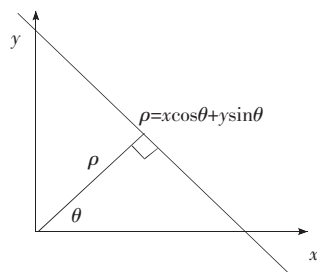


图 1  $\rho$  和  $\theta$  确定一条惟一的直线

Fig. 1 A unique line is defined by  $\rho$  and  $\theta$

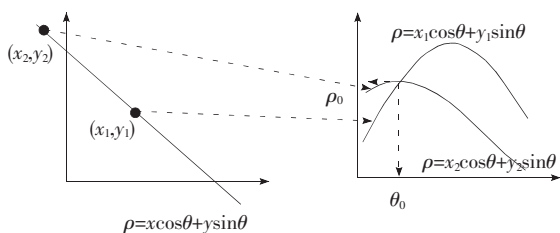


图2 图像空间与极坐标空间的对应关系

Fig. 2 Relation between image space and polar coordinates space

上的两个点,将两点分别代入直线方程,即它们在参数空间所对应的曲线分别为  $\rho = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta$ ,  $\rho = x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta$ 。在参数空间,这两条直线相交于点  $(\rho_0, \theta_0)$ ,那么图像空间一条直线上的所有点在参数空间所对应的曲线将交于同一点,此点处出现峰值。所以最终要找到一条直线,需要将图像空间的所有点映射到参数空间,每一次映射都要计算出相应的  $\rho_i$  与  $\theta_j$ ,然后将相应的累加数组  $\text{Add}[\rho_i, \theta_j]$  加一,映射之后,找到累加数组  $\text{Add}$  的峰值,峰值所对应的  $\rho_{\max}, \theta_{\max}$  就是所要求取的直线的参数,所求直线为图像中最长的直线。

Hough 变换的优点是抗噪性能好,算法稳定性高,能连接共线短直线;缺点是需占用大量内存空间,耗时久,实时性差,且缺乏局部特性<sup>[7]</sup>。可以通过预处理图像去掉图像中的峰值噪声,然后利用 Hough 变换提取出图像中最长的直线;但是如果去噪过度,噪声较少的图像就会失去大量信息甚至是图像中海天线的信息,此时就会出现海天线错提的现象。

### 3.2 相位编组法提取直线

相位编组法是另一种经典直线检测算法,它充分利用了图像相位携带的大量构成直线的相关像素点的空间信息<sup>[8-9]</sup>,其思想是求出图像中各个像素的梯度相位,将相邻的、方向相同的点编为同一个直线的方程,即将直线提取出来。一般的边缘检测算子只是利用像素的梯度信息,没有利用梯度相位的信息。相位编组法设定了一个梯度门限值,如果梯度大于门限值,则认为该处存在边缘,也就是灰度变换剧烈的地方存在边缘。但是边缘不仅仅存在于灰度发生突变的地方,而且存在于灰度沿着某个方向发生缓慢变化的地方,因此就形成了以边缘梯度相位特性为主要依据的

相位编组算法。

相位编组法提取直线可分为以下4个步骤:

(1) 求出图像各个像素的梯度幅值  $M$  和相位  $\alpha$ :

$$M = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$

$$\alpha = \tan^{-1}(G_y/G_x) \quad (1)$$

其中  $G_x, G_y$  为各个像素的水平和垂直方向梯度。梯度的求取有很多模板,这里采用  $2 \times 2$  的模板:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1, & -1 \\ 1, & 1 \end{bmatrix}, G_y = \begin{bmatrix} -1, & 1 \\ -1, & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 线支持区域的形成,即根据各像素梯度的方向将它们分组。各像素的相位范围是  $0 \sim 360^\circ$ ,将相位 8 等分,每  $45^\circ$  为一组,并且给予相应的编号,编号范围为  $0 \sim 7$ ,也就是将梯度差别较小的相位分为一组。

(3) 根据线支持区域拟合线段,用各相位编组内的点的灰度拟合灰度表面。

(4) 利用直线编组内的点的坐标和灰度表面求出直线的特性,如端点坐标、长度、宽度以及直线度等。

相位编组法能够检测出 Hough 变换方法很难检测出的较低对比度的直线段,算法速度快,但受直线中的间隙和噪声影响较大。为了去除复杂背景中的噪声的干扰,可以通过中值滤波进行预处理,此时图像会丢失大量信息,但对比度最强的海天线附近的信息不会完全丢失,可能还会留下较弱的信息。此时相位编组法能识别低对比度的灰度过渡段,能够抵抗去噪带来的负面影响。为了解决海天线提取的适应性不好的问题,本文的算法选择相位编组法来挖掘图像灰度变化缓慢处的信息。

## 4 海天线检测算法

### 4.1 算法思想和流程

本文算法的思想是:首先对海天背景图像进行预处理,去除云层及海浪等峰值噪声;然后根据预处理后的图像的相位信息,将梯度方向相似的、相邻近的边缘点编为一组,同时记录每一编组区域的相位方向;然后根据每一编组的相位方向,利用 Hough 变换找到组内的峰值及所对应的极坐标参数,并记录每组的峰值及其参数;然后根据每组的参数,找到全局的峰值,此时即可得到全局的极坐标参数;最后利用 Hough 变换思想检测到直

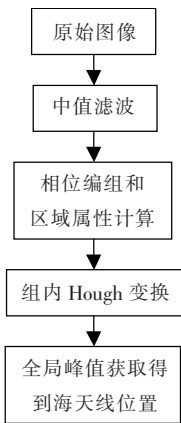


图 3 海天线提取算法流程图

Fig. 3 Flow chart of algorithm for extracting the sea-sky-line

线。算法流程如图 3 所示。

4.2 算法描述

(1)图像的预处理

海天背景图像通常含有大量的云层及海浪等峰值噪声,如果不处理会导致海天线的严重偏离,以致找不到海天线准确的位置。中值滤波可以有效地抑制噪声干扰<sup>[10]</sup>,这里采用  $5 \times 5$  的中值滤波。

(2)相位编组和区域属性计算

根据预处理后的图像,按照公式(1),求出各个像素的梯度相位角  $\alpha$ ,按相位角将相位分为 8 组,即将梯度方向相似、相临近的边缘点编为一组,

并给予相应的编号,同时记录每一编组区域的相位方向,存于数组  $\text{Phase}[m]$ ,其中  $m$  为组号。

(3)组内 Hough 变换

根据每一编组的相位方向  $\text{Phase}[m]$ ,利用 Hough 变换找到组内的峰值  $\text{tt}[m]$ 及所对应的极坐标参数  $\sigma[m]$ 和  $\theta[m]$ ,并记录每组的峰值及其参数。

(4)获取全局峰值并得到直线

全局峰值即为各组峰值  $\text{tt}[m]$ 中的最大值,于是可以找到全局峰值  $\max[i]$ , $i$  为全局峰值对应的组号,此时就得到全局的极坐标参数  $\sigma[i]$ 和  $\theta[i]$ ,最后得到直线。

5 仿真及结果分析

基于上述算法,通过 VC++对多种情况的海天背景图片进行了仿真实验。实验图片大小皆为  $256 \times 256$ ,图 4(a)~图 9(a)为所选取经典的 6 种海天背景图像。其中,图 4(a):对比度明显且噪声较少;图 5(a):对比度明显但天空有大量云层;图 6(a):对比度不明显但噪声较少;图 7(a):对比度不明显且海面杂波稍多;图 8(a):对比度不明显且海面杂波较多;图 9(a):对比度不明显且天空和海面出现分层且海面有物体噪声。图 4(b)~图 9(b)为 6 幅图像的中值滤波结果图,可见  $5 \times 5$  的中值滤波去除了大量噪声,为海天线的准确提取做好了充分的准备。图 4(c)~图 9(c)为本文



图 4 (a) 对比度明显且噪声较少的图像;(b) 中值滤波结果;(c) 提取出的一条直的海天线.

Fig. 4 (a) Image with obvious contrast and less noise;(b) Median filter result;(c) A straight sea-sky-line is extracted.

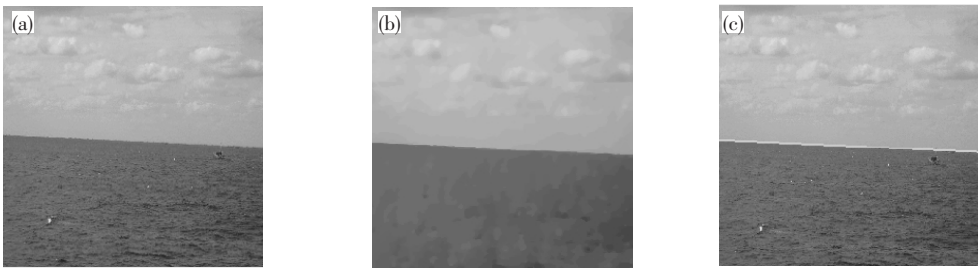


图 5 (a) 对比度明显但有大量云层的图像;(b) 中值滤波结果;(c) 海天线没有受云层干扰.

Fig. 5 (a) Image with obvious contrast and vast cloud;(b) Median filter result;(c) Sea-sky-line is not interfered by cloud

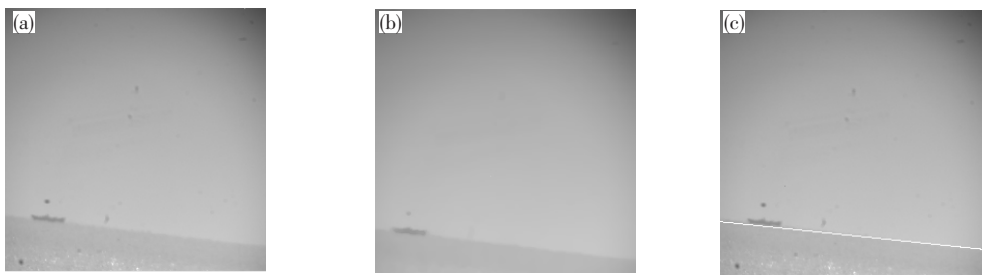


图 6 (a) 噪声较少但对比度不明显的图像;(b) 中值滤波结果;(c) 提取出的一条倾斜的海天线.

Fig. 6 (a) Image with inconspicuous contrast and less noise;(b) Median filter result;(c) A gradient sea-sky-line is extracted.

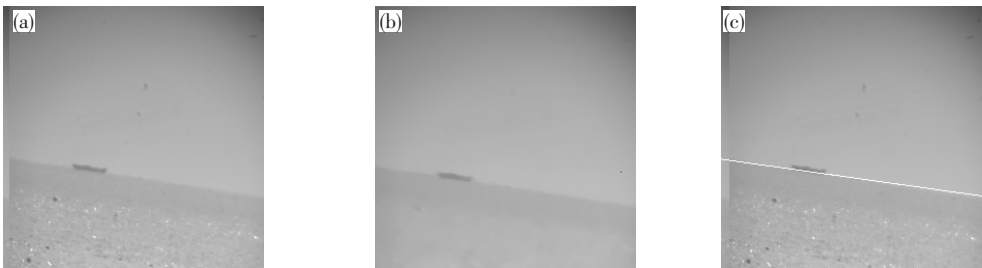


图 7 (a)对比度不明显且海杂波稍多的图像;(b)中值滤波结果;(c) 海天线倾斜且没有受海杂波干扰.

Fig. 7 (a) Image with inconspicuous contrast with more sea clutter;(b) Median filter result;(c) Sea-sky-line is gradient and not interfered by sea clutter.



图 8 (a)对比度不明显且海杂波较多的图像;(b) 中值滤波结果;(c) 海天线倾斜且没有受海杂波干扰.

Fig. 8 (a) Image with inconspicuous contrast with vast sea clutter;(b) Median filter result;(c) Sea-sky-line is gradient and not interfered by sea clutter.



图 9 (a)天空和海面分层且有物体噪声的图像;(b) 中值滤波结果;(c)海天线未受分层干扰.

Fig. 9 (a) Image of sky and sea with delaminations and object noise;(b) Median filter result;(c) Sea-sky-line is not interfered by delaminations.

算法的处理结果,可见本文算法能提取出多种情况下的海天线,适应性好。

图 10 为 6 种海天背景图像的直方图,图 10

(a)、10(b)皆有比较明显的两个波峰,说明其对比度比较明显,而其他图像均不明显。

刘松涛<sup>[3]</sup>等的算法首先是利用方向梯度算子



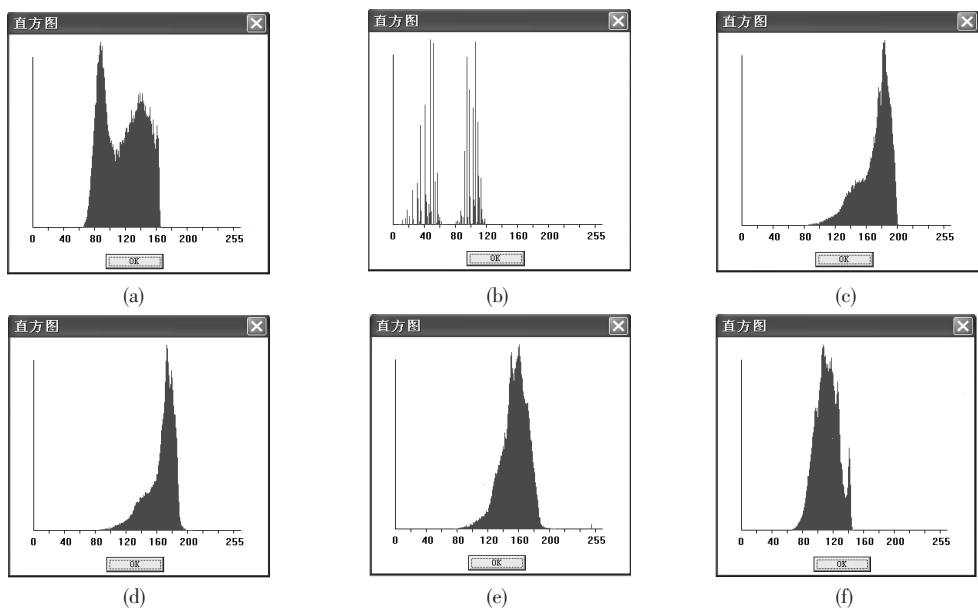


图 10 6 种海天背景图像的直方图[图 4(a)~图 9(a)]

Fig. 10 Histograms of six kinds of sea-sky background images[Fig. 4(a) ~Fig. 9(a)]

得到差分图像,然后基于边缘策略得到二值化图像,最后进行二值化图像的细化并采用 Hough 变化提取出海天线。大量实验证明,该方法只能处理简单的海天背景图像,而当海面区域杂波较多时,受噪声影响,所提取出的海天线将严重偏离。由于该算法没有考虑较为复杂的情况,因此算法适应性不好。上述实验图片利用参考文献[3]的算法处理结果如图 11 所示,在图像存在较多噪声

时算法失效。

如果参考文献[3]算法在预处理时进行  $3\times 3$  的中值滤波,那么就能够处理稍微复杂的图像;但对于较为复杂的图像,由于噪声太多,算法仍然失效。实验效果如图 12 所示。图 12(a)与图 12(c)是中值滤波处理后所提取出的海天线图像,可以看出噪声对算法的干扰;而图 12(b)原图中含有太多的噪声,即使在预处理进行去噪处理,此算法

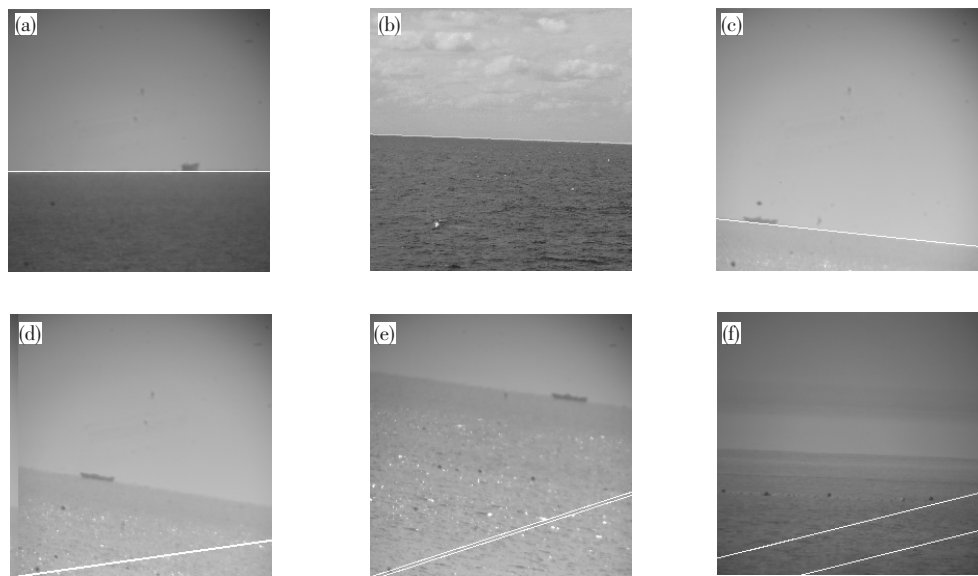


图 11 6 种海天背景图像的参考文献[3]算法处理结果[图 4(a)~图 9(a)]

Fig. 11 Treatment results of six kinds of sea-sky background images using the algorithm of Ref. [3] [Fig. 4(a) ~Fig. 9(a)]

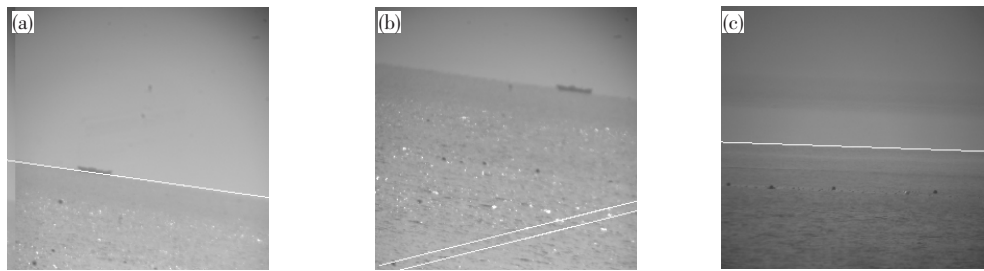


图 12 中值滤波处理后,参考文献[3]算法提取出的海天线图像.

Fig. 12 Sea-Sky line images are extracted by the algorithm of Ref. [3] after processed by median filter

最后仍然失效。

去噪对图像处理非常重要<sup>[10-11]</sup>。但海天背景对比度低、边缘模糊、纹理模糊、信息强度较弱等因素将会给算法带来一定的困难,因为去噪会使原图丢失大量的信息,甚至是海天线区域的信息。图 6(a)与图 9(a)皆为低对比度图像且含有少量的噪声,其中图 9(a)还有分层现象,情况比较复杂。如果只考虑噪声较多的图像,可以选择 Canny 算子去噪,提取边缘,最后 Hough 变化提取海天线;但去除噪声的同时,图像的大量信息丢失了,因此海天线提取失败。实验效果如图 13 所示,可以看出算法的适应性不好。

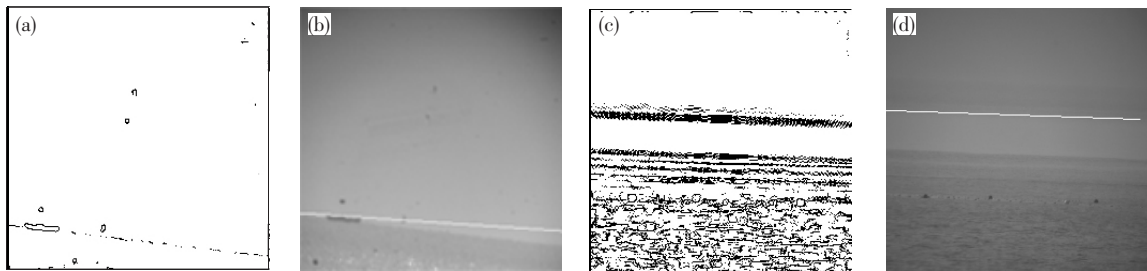


图 13 Canny 算子去噪后丢失了海天线区域的大量信息

Fig. 13 A lot of information of sea-sky-line region is lost after denoised by Canny operator

我们对参考文献[1]、[2]、[3]的算法分别进行了实验并与本文算法进行了比较,结果列于表 1。由分析可知,本文的算法具有适应性好、鲁棒性强的优点。

表 1 海天线提取实验结果比较

能否提取海天线分类		对比度明显且噪声较少	对比度明显但有大量云层	对比度不明显但海杂波较少	对比度不明显且海杂波稍多	对比度不明显且海杂波很多	天空和海面有分层
提取方法							
文献[1]基于最长曲线法的海天线检测算法		Y	N	Y	N	N	N
文献[2]复杂海天线区域检测算法		Y	Y	N	N	N	N
文献[3]复杂海空背景下的海天线检测算法		Y	N	Y	Y	N	Y
本文算法基于相位编组的 Hough 变换		Y	Y	Y	Y	Y	Y

附:Y 表示能提取出海天线,N 表示不能提取出海天线

6 结    论

相位编组法能提取出灰度变化缓慢处的直线,Hough 变换具有较好的抗噪能力;二者结合后,算法既有抵抗噪声干扰的优点,又能鲁棒地提取出弱对比度的直线。为了去除海天背景图像中的大量噪声,预处理后的图像会失去一些信息。

由于相位编组法不仅能识别灰度变换剧烈的边缘,还能识别灰度变换缓慢的边缘,所以可克服去噪后的负面影响。虽然此时得到的直线信息容易产生冗余,然而 Hough 变换能找到图像中最长的直线,最终避免了噪声边缘的干扰。大量的实验证明,本文算法可以在各种背景条件下稳定地提取海天线。

参 考 文 献:

[ 1 ] 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.  
[ 2 ] 谢红,刘玲,刘艳. 复杂海天线区域检测算法研究 [J]. 应用科技,2006,33(6):96-98.  
[ 3 ] 刘松涛,周晓东,王成刚. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究 [J]. 光电工程,2006,33(8):5-10.  
[ 4 ] 张淑艳. 海天背景下弱小目标实时捕获跟踪研究 [D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2006.  
[ 5 ] 陈洪波,王强,徐晓蓉,等. 基于改进 Hough 变换检测交通标志图形的直线特征 [J]. 光学 精密工程,2009,17(5):1111-1118.  
[ 6 ] 朱芳芳,顾宏斌,孙谨. 一种改进的 Hough 变换直线检测算法 [J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):19-22.  
[ 7 ] 朱娟,刘艳滢,王延杰. 一种基于 Hough 变换的新直线段检测算法 [J]. 微电子学与计算机,2008,25(12):60-63.  
[ 8 ] 张建伟,张启衡. 基于块遍历的直线边缘特征提取 [J]. 光学 精密工程,2009,17(3):662-668.  
[ 9 ] 朱卫纲,李生良. 相位编组方法提取直线 [J]. 指挥技术学院学报,1999,10(4):65-70.  
[10] 胡元刚. 直方图均衡增强算法在实时图像处理中的实现 [J]. 液晶与显示,2009,24(6):907-910.  
[11] 王占全,徐慧. 精通 Visual C++ 数字图像处理技术与工程案例 [M]. 北京:人民邮电出版社,2009.



可与国际单位制并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1 min=60 s
	[小]时	h	1 h=60 min=3 600 s
	日,(天)	d	1 d=24 h=86 400 s
	[平面]角	[角]秒	1 "=(1/60) '=( $\pi$ /648 000) rad
		[角]分	1 '=(1/60) °=( $\pi$ /10 800) rad
质量	度	°	1 °=( $\pi$ /180) rad
	吨	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg
	原子质量单位	u	1 u≈1. 660 540×10 <sup>-27</sup> kg
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min=(1/60) s <sup>-1</sup>
体积	升	L,(l)	1 L=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
能	电子伏	eV	1 eV≈1. 602 177×10 <sup>-19</sup> J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1 tex=10 <sup>-6</sup> kg/m=1 g/km
面积	公顷	hm <sup>2</sup>	1 hm <sup>2</sup> =10 000 m <sup>2</sup>
长度	海里	n mile	1 n mile=1 852 m(只用于航行)
速度	节	kn	1 kn=1 n mile/h=(1 852/3 600) m/s(只用于航行)