

文章编号:1001-2486(2011)06-0111-05

## 基于相位编组和灰度统计的海天线检测\*

桂阳,杨夏,朱宪伟,张小虎

(国防科技大学 航天与材料工程学院,湖南 长沙 410073)

**摘要:**针对复杂海空背景图像中的海天线检测问题,提出了一种基于相位编组和灰度统计的新方法。首先,在边缘图像的基础上运用相位编组算法,得到大量的直线段。然后,根据直线段的图像倾角和到图像原点的距离两个参数对这些直线段进行分类,并选取直线段长度总和最大的若干类,用这些类中的所有边缘点进行直线拟合,得到若干条候选海天线。最后,通过比较对应于相同水平坐标且以候选海天线上的点为中心的区域的灰度统计值,确定出正确的海天线。大量的实验结果证明,该方法能有效地检测出复杂海空背景下的海天线,具有较强的鲁棒性。

**关键词:**海天线检测;相位编组;灰度统计;鲁棒性

中图分类号:TP391 文献标识码:A

## Sea-sky-line Detection Based on Phase Grouping and Gray Statistics

GUI Yang, YANG Xia, ZHU Xian-wei, ZHANG Xiao-hu

(College of Aerospace and Materials Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of sea-sky-line detection in complicated sea-sky background image, a novel method, based on phase grouping and gray statistics, was presented. Firstly, a lot of line segments were obtained by using phase grouping method on edge image. Secondly, the line segments were classified according to two parameters, the slope angle and the distance to image origin. Several classes which have the largest sum of length of the line segments were selected, and edge points in each selected class were used to fit a straight line, thus several candidate sea-sky-lines could be gained. Finally, the correct sea-sky-line could be elected through comparing statistical gray values of the regions which correspond to the same horizontal pixel coordinates and take the points on the candidate sea-sky-lines as center points. Many experimental results show that the proposed method can detect the sea-sky-line under complicated sea-sky background effectively and has strong robustness.

**Key words:** sea-sky-line detection; phase grouping; gray statistics; robustness

对于海空背景图像,海天线的检测是一个重要问题。在海面远距离平视状态下,海面舰船目标若是出现,则一定处于海天线附近区域中。通过检测海天线可缩小目标搜索区域,这对于减少后续目标检测识别等工作的运算量、抑制海天线区域外不必要的噪声干扰有着重要的意义。

对于海天线检测,近年来有不少学者做过积极的工作。Mohanty<sup>[1]</sup>通过行平均,取列方向梯度最大值位置作为海天线位置,该方法忽略了海杂波的干扰,同时也未考虑到海天线是倾斜的情况。文献[2]中提出运用 Hough 变换检测出最长直线作为海天线,这种方法仅考虑了图像的边缘信息,在背景复杂的情况下,很难鲁棒地检测出正确的

海天线。文献[3]中采用了一种基于区域方差和 RANSAC<sup>[10]</sup>的海天线检测方法,这种方法仅考虑了图像的区域灰度信息,在海杂波很强的情况下,可能会出现错误的检测结果。文献[4]中提出用梯度的方法进行海天线的检测,该方法有一定的适应性,但受噪声和成像质量影响较大。近年来有不少文献提出将小波变换方法<sup>[5-7]</sup>引入海天线检测领域,这是一种新的思路,但小波变换方法的计算量较大,降低了其工程实用性。

本文提出了一种新的海天线检测方法,该方法综合利用了图像的边缘信息和区域灰度信息,能够鲁棒地、正确地检测出复杂背景下的海天线。

\* 收稿日期:2010-11-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60904084)

作者简介:桂阳(1983—),男,博士生。

# 1 海空背景图像特征分析

在海空背景可见光图像中,天空的反射较强,亮度较大,海面的反射较弱,亮度较小,天空和海面之间的亮度有明显的跳跃<sup>[3]</sup>。在海空背景红外图像中,海面背景辐射低于天空背景辐射,其灰度整体表现为低亮度,天空背景辐射整体比海面背景高,海天之间存在一个海天交接过渡带,过渡带的天空部分亮度较大,海面部分亮度较小,有明显的边缘特征。随着天空背景与海天距离的增加,天空背景辐射强度逐渐降低,天空中也存在一个灰度过渡带。图像中的海天天线一般情况下不是一条直线,而是一条亮度渐变带,并且通常都有一定的倾斜度,但可以将其细化、拟合为一条直线。从以上海空背景图像特征分析中可以看出,海天天线有明显的直线边缘特征,而且海天天线附近区域的灰度变化较大。

## 2 提取若干条候选海天天线

### 2.1 相位编组法提取直线段

相位编组法<sup>[8-9]</sup>(Burns 方法)已被证明是提取弱对比度边缘的好方法,它将具有相似相位且相互连通的边缘点编为一组,通过最小二乘拟合得到一条线段。相位编组算法不像大多数算法那样将灰度幅度作为第一要素,而是把灰度变化的相位作为优先考虑的因素,可以从复杂的图像中抽取低对比度的直线。相位编组法获取直线段的大致流程如下:

- (1) 计算图像上各点梯度幅度和梯度方向角;
- (2) 根据梯度方向角将像素划分为若干类(通常分 8 类),如图 1 所示;

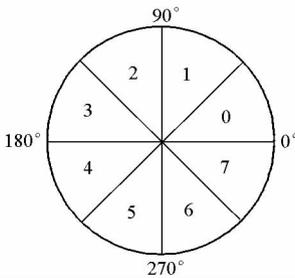


图 1 梯度方向划分

Fig. 1 Classification of gradient direction

- (3) 定义梯度模大于阈值  $Q$  的像素点为边缘点;

- (4) 梯度方向处于同一区域且相互连通的边缘点构成一块原始的支持区,这样的支持区通常

也称作相位编组区;

- (5) 由相位编组区里的边缘点通过最小二乘拟合出直线段。删除长度小于阈值  $T$  的直线段。

本文的算法就是首先利用相位编组算法,得到大量的直线段,然后对这些直线段进行分类。

### 2.2 对直线段进行分类

一条直线段可以由两个参数  $(\rho, \theta)$  来表示,  $\rho$  表示图像原点到直线段所在直线的像素距离,  $\theta$  表示该直线的垂线到图像  $x$  轴的角度。设置两个阈值  $\rho_{th}$  和  $\theta_{th}$ , 对相位编组提取的所有直线段进行分类, 将距离差和倾角差的绝对值都小于这两个阈值的直线段分为一类。对于同一类中的任意两条直线段  $(\rho_1, \theta_1)$  和  $(\rho_2, \theta_2)$  都有

$$\begin{cases} |\rho_1 - \rho_2| < \rho_{th} \\ |\theta_1 - \theta_2| < \theta_{th} \end{cases} \quad (1)$$

### 2.3 提取候选海天天线

对所有的直线段进行分类后, 设一共得到  $M$  个类, 统计每一类中包含的直线段的长度总和。若第  $k$  ( $k \leq M$ ) 类中包含  $N$  条直线段, 其中每一条直线段的长度分别为  $(l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kN})$ , 则第  $k$  类中包含的直线段的长度总和为

$$L_k = \sum_{i=1}^N l_{ki} \quad (2)$$

通过比较选出包含直线段长度总和最大的  $r$  个类, 对其中每一类, 将该类中用于拟合直线段的所有边缘点重新进行拟合, 得到一条候选海天天线。这样,  $r$  个类即可得到  $r$  条候选海天天线。

这一步充分利用了海天天线直线边缘特征明显的特点, 下一步将充分利用图像的区域灰度统计信息从  $r$  条候选海天天线中选择出正确的海天天线。

## 3 根据区域灰度统计值确定海天天线

### 3.1 计算区域灰度统计值

从海空背景图像特征分析可知, 海天天线上方天空区域和下方海面区域各自内部灰度比较均匀, 方差较小, 而同时包含了天空和海面的区域的方差较大, 并且天空和海面的灰度均值差异较大。若图像的宽度为  $D$ , 等距离地选取  $n$  个图像水平坐标  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 则每两个水平坐标之间的距离为  $D/(n+1)$ 。对于每个水平坐标  $x_i$ , 计算出  $r$  条候选海天天线上对应于  $x_i$  点的坐标  $[(x_i, y_{i1}), (x_i, y_{i2}), \dots, (x_i, y_{ir})]$ , 这样一共可得到  $r \times n$  个候选海天天线上点的位置。计算以这些点为中心的小区域的灰度方差值  $s^2$ , 以及在该区域内候选海天天线上方天空区域的灰度均值  $m_1$  和下方海面区

域的灰度均值  $m_2$ 。用图 2 模拟以海天线上一点为中心的小区域内的情况,其中海天线是倾斜的,区域的大小为  $W \times H$ 。

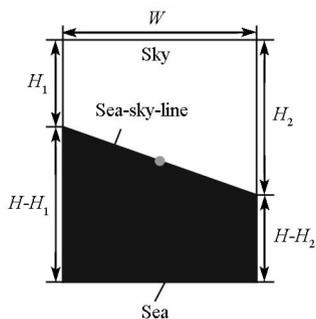


图 2 海天线区域示意图

Fig. 2 Sketch map of sea-sky-line region

则有

$$s^2 = \frac{1}{W \times H} \sum_{s=1}^{W \times H} (G_s - \bar{G})^2 \quad (3)$$

其中,  $G_s$  为小区域内某一点的灰度值,  $\bar{G}$  为该小区域内所有像素的灰度平均值:

$$\bar{G} = \frac{1}{W \times H} \sum_{s=1}^{W \times H} G_s \quad (4)$$

海天线上方天空区域的像素面积  $A_1$  和下方海面区域的像素面积  $A_2$  分别为

$$A_1 = 0.5 \times W \times (H_1 + H_2) \quad (5)$$

$$A_2 = 0.5 \times W \times (2H - H_1 - H_2) \quad (6)$$

则海天线上方天空区域的灰度均值  $m_1$  和下方海面区域的灰度均值  $m_2$  分别为

$$m_1 = \frac{1}{A_1} \sum_{i=1}^{A_1} G_i \quad (7)$$

$$m_2 = \frac{1}{A_2} \sum_{j=1}^{A_2} G_j \quad (8)$$

其中,  $G_i$  为海天线上方天空区域内某一点的灰度值,  $G_j$  为海天线下方面区域内某一点的灰度值。令

$$Z = s^2 \times |m_1 - m_2| \quad (9)$$

若小区域的中心点为海天线上一点,则根据海天线附近区域的灰度分布特性可知  $s^2$  值和  $|m_1 - m_2|$  值都较大,从而  $Z$  值较大。也就是说,以海天线上的点为中心的区域的  $Z$  值较大。

### 3.2 比较区域灰度统计值确定海天线

定义“信任度”为把某条候选海天线确定为真实海天线的可靠性,“信任度”越大,为真实海天线的可能性也就越大。首先,把  $r$  条候选海天线 ( $a_1, a_2, \dots, a_r$ ) 的信任度 ( $d_1, d_2, \dots, d_r$ ) 都初始化为 0。在得到以  $r \times n$  个点为中心的区域的  $Z$  值后,比较中心点对应于同一图像水平坐标的区域的  $Z$  值的大小。若对应于同一水平坐标  $x_i$  的

候选海天线上的点有  $r$  个,坐标分别为  $[(x_i, y_{i1}), (x_i, y_{i2}), \dots, (x_i, y_{ir})]$ , 以这  $r$  个点为中心的区域的  $Z$  的值分别为  $(Z_1, Z_2, \dots, Z_r)$ , 经过比较得知其中最大值为  $Z_v (1 \leq v \leq r)$ , 则把点  $(x_i, y_{iv})$  所在直线  $a_v$  的信任度  $d_v$  加 1。因此,对应于每个图像水平坐标  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 都有一条候选海天线的信任度增加了 1。

最后,比较  $r$  条候选海天线的信任度的大小,信任度最大值  $d_m$  对应的候选海天线  $a_m$  即认为是真实海天线。这一步充分利用了海天线附近区域的灰度分布特点,能有效克服复杂背景的干扰,从候选海天线中选择出正确的海天线。

## 4 实验结果

为了验证本文方法的有效性,用多幅图像对本文方法进行了考察,并与传统的 Hough 变换检测最长直线方法进行了对比。图 3(a) ~ (d) 为其中典型的 4 幅海空背景图像,图 3(a)、图 3(b) 为可见光图像,图 3(c)、图 3(d) 为红外图像。图像大小为 384 像素  $\times$  288 像素,候选海天线条数设为  $r = 5$ ,选取的图像水平坐标的个数设为  $n = 10$ 。在运用相位编组法提取四幅图像中的直线段时,图 3(a) ~ (c) 中最小梯度阈值  $Q$  和最小直线段长度阈值  $T$  分别设为 30 和 60,图 3(d) 由于图像较模糊,这两个参数分别设为 20 和 30。在对直线段进行分类时,阈值  $\rho\_th$  和  $\theta\_th$  分别设为 20 和  $3^\circ$ 。实验结果如图 4 所示,图 4 中从左到右依次是相位编组法提取直线段结果图、候选海天线的提取结果图、本文方法的海天线检测结果图、Hough 变换方法的海天线检测结果图。其中,候选海天线提取结果图中十字丝的中心表示用来计算灰度统计值的区域的中心点,区域大小设为 38 像素  $\times$  29 像素。

从图 4 中的实验结果可以看出,本文方法能够有效地检测出复杂背景下的海天线,相对于传统的 Hough 变换检测最长直线方法有更好的鲁棒性。在图像背景较简单,海天线较明显的情况下,本文算法和 Hough 变换方法都能准确地检测出海天线,如图 4 中的第 1 行和第 3 行所示。但是,当背景较复杂或者成像质量较差时,Hough 变换方法有可能出现检测错误,而本文方法能够有效克服各种干扰,正确地检测出海天线,如图 4 中的第 2 行和第 4 行所示。本文方法优于 Hough 变换方法的主要原因在于 Hough 变换方法只考虑了图像的边缘信息,而本文方法不仅考虑了图像的边缘信息,同时也考虑了图像的区域灰度统计

信息,更多有用信息的融入有助于提高海天线检测的鲁棒性和正确性。



图3 原图像  
Fig.3 Original images

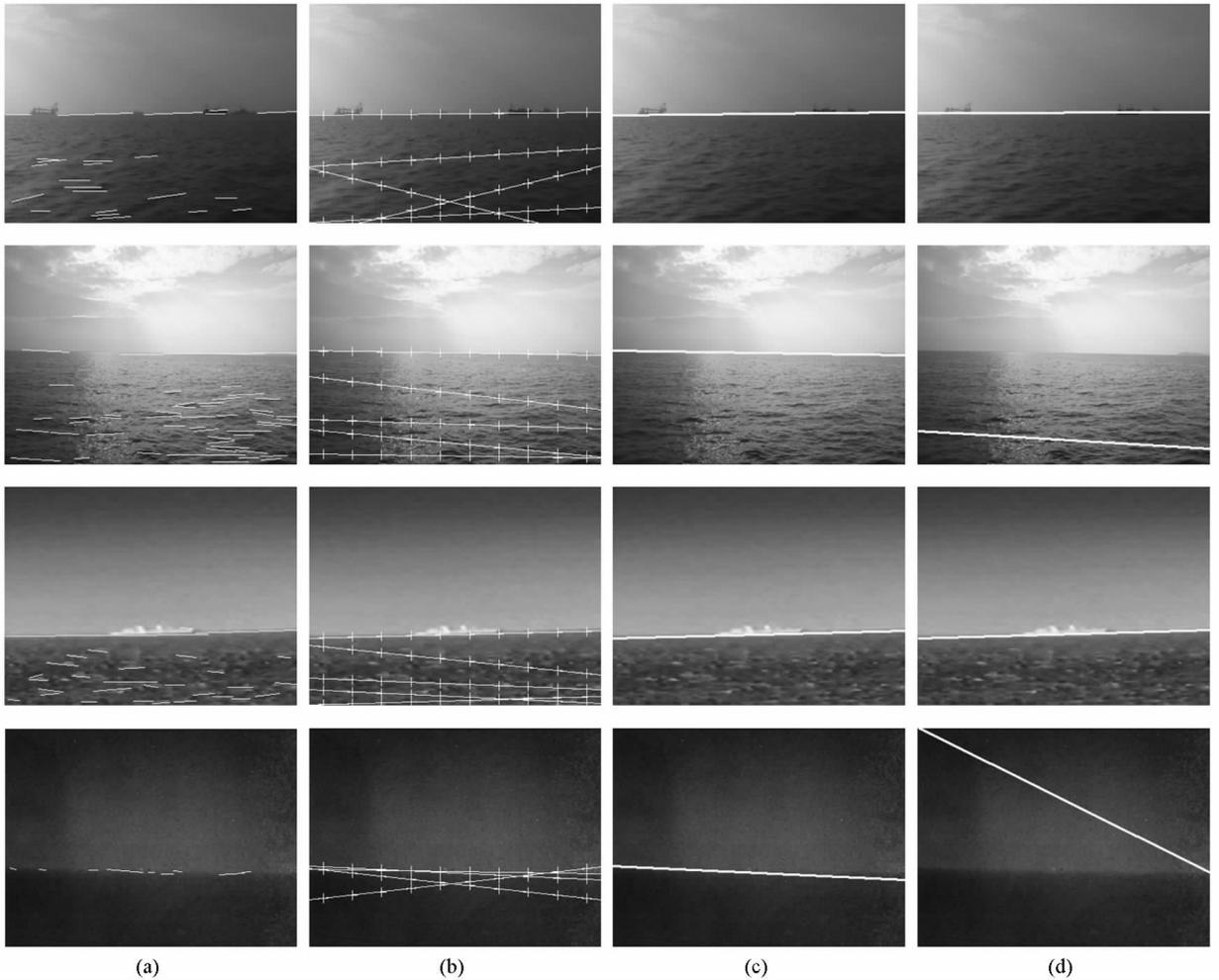


图4 图3的海天线检测结果 (a) 相位编组法提取直线段结果图 (b) 候选海天线的提取结果图  
 (c) 本文方法海天线检测结果图 (d) Hough 变换方法海天线检测结果图  
 Fig.4 Resultant images of sea-sky-line detection of Fig.3 (a) Resultant images of line segments extraction using phase grouping method (b) Resultant images of candidate sea-sky-lines extraction (c) Resultant images of sea-sky-line detection using the proposed method (d) Resultant images of sea-sky-line detection using Hough transform method.

表1为运用Hough变换方法和本文方法对图3中4幅图像进行海天线检测的运算时间对比,单位为s。实验平台如下,硬件为CPU双核2.67GHz,内存为4G,软件为VC 2008,Window XP操作系统。

表1 Hough变换方法和本文方法运算时间对比

Tab.1 Runtime comparison of hough transform method and the proposed method

	图3 (a)	图3 (b)	图3 (c)	图3 (d)
Hough变换方法(s)	0.273	0.285	0.269	0.290
本文方法(s)	0.066	0.083	0.070	0.052

从表1的实验结果中可以看出,本文方法的运算速度大大优于传统的Hough变换检测最长直线方法,有更好的工程实用性。

## 5 结论

本文提出了一种海天线检测新方法,该方法首先在边缘图像的基础上运用相位编组算法,得到大量的直线段;然后,根据直线段的图像倾角和到图像原点的距离两个参数对这些直线段进行分类,并统计每一类中包含的直线段的长度总和,选出长度总和最大的若干个类,通过拟合这些类中的边缘点得到若干条候选海天线;然后,等距离地选取若干个图像水平坐标,并在候选海天线上找到对应于这些图像水平坐标的点,计算以这些点为中心的小块区域内的灰度统计值;最后,通过比较中心点对应于同一图像水平坐标的区域的灰度统计值确定出正确的海天线。本文算法不仅考虑了图像的边缘信息,同时也考虑了图像的区域灰

度统计信息,更多有用信息的融入有助于提高海天线检测的鲁棒性和正确性。实验结果表明,本文方法能有效地检测出复杂背景下的海天线,与传统的Hough变换检测最长直线方法相比,有更好的正确性、鲁棒性和运算效率。

## 参考文献:

- [1] Mohanty N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Clustered Background [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1981, 3(5): 606-610.
- [2] 张兆伟,马治国,钱超,等. 红外图像中海天线的提取[J]. 海军工程大学学报,2005,17(3): 97-99.
- [3] 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.
- [4] 刘松涛,沈同圣,韩艳丽,等. 舰船目标海天线提取方法研究[J]. 激光与红外,2003,33(1): 51-53.
- [5] Faraklioti M, Petrou M. Multiresolution Versus Single Resolution Horizon Picking in 2D Seismic Images [J]. SPIE, 2004, 5238: 50-61.
- [6] 温佩芝,史泽林,于海斌. 基于小波变换的复杂海面背景红外小目标检测[J]. 激光与红外,2003,33(6): 449-452.
- [7] 裴立力,史泽林,罗海波. 一种基于小波多尺度分析的水天线检测方法[J]. 沈阳工业大学学报,2003,25(2): 125-128.
- [8] Burns J B, Hanson A R, Riseman E M. Extracting Straight Lines [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(4): 425-455.
- [9] 王程,王润生. SAR图像直线提取[J]. 电子学报,2003,31(6): 816-820.
- [10] Fishler M A, Bolles R C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography [J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.