

# 全景图像海天线提取及舰船目标自动检测

朱齐丹, 徐从营, 蔡成涛, 周娜

(哈尔滨工程大学 自动化学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 为实现海洋环境下全景摄像机自动目标检测, 提出了一种全景图像海天线提取算法及海天线上舰船目标检测方法; 首先, 分析了全景图像中海天线的成像特点, 使用基于分区的自适应阈值 Canny 边缘检测算法进行边缘检测, 并对海天线边缘进行双阈值梯度方向过滤; 然后, 对图像边缘进行细化, 提出了基于最长曲线法的海天线边缘提取算法并进行椭圆拟合得到海天线边缘成像椭圆方程; 最后, 介绍了根据海天线椭圆方程对海天线上舰船目标进行检测的方法; 使用 3 种不同海洋环境下拍摄的图像进行了实际测试, 实验结果表明: 该方法可有效地检测出复杂海天背景下的海天线及海天线上舰船目标, 海天线提取成功率可达 95% 以上, 对径向成像高度超过 10 个像素的目标识别成功率可达 90%。

**关键词:** 海天线提取; 舰船目标检测; 全景图像; 边缘检测; 自适应阈值

## Sea-sky Line Extraction and Ship Target Automatic Detection of Panoramic Image

Zhu Qidan, Xu Congying, Cai Chengtao, Zhou Na

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In order to realize automatic ship target detection with panoramic camera in the marine environment, a sea-sky line extraction algorithm for panoramic image and a ship target detection method around sea-sky line was proposed. Firstly, the characteristics of sea-sky line in panoramic image are analyzed. An improved Canny edge detection method based on partition adaptive threshold was used, and double threshold gradient direction filtering was carried out. Then after edge thinning, the sea-sky line edge extraction algorithm was proposed based on the longest curve method and the ellipse fitting was performed to get the sea-sky line elliptic equation. Finally, the ship target on sea-sky line detection method was introduced based on the sea-sky line elliptic equation. The actual test was carried out using real panoramic images obtained in three different marine environment. The experimental results prove that this method can effectively detect the sea-sky line and the ship target under complex sea-sky background. The success rate of sea-sky line extraction can be up to 95% and the detection success rate can reach 90% when the ship target radial imaging height is more than 10 pixels.

**Keywords:** sea-sky line extraction; ship target detection; panoramic image; edge detection; adaptive threshold

## 0 引言

折反射全景成像系统可一次获取大于半球视场 ( $360^\circ \times 180^\circ$ ) 的目标信息, 不需要为光电跟踪装置附加随动系统, 空间物体位置定位简单, 监控时不用瞄准目标, 是一种快速、可靠的视觉信息采集手段, 已获得广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。

国内外已有众多学者提出了海天线的提取算法, 并成功应用于舰船和低空小目标检测、电子稳像、无人飞行器导航等任务。黄英东和董宇星<sup>[4-5]</sup>等都使用 Canny 边缘检测和 Hough 变换相结合的方式对海天线提取, 具有较强的鲁棒性。刘焯<sup>[6]</sup>等提出了一种基于海天线抑制的舰船目标检测方法, 利用形态学重建的方法实现了对红外图像中的海天的抑制。G. K. Santhalia<sup>[7]</sup>等先提取海天线, 最后分析海天线上下的块直方图, 去除直方图相近的块即天空区域出海天线; 曾文静<sup>[8]</sup>等则提出了一种不以检测海天线为前提的弱小目标检测方法, 首先预测海天线区域, 然后使用图像聚类, 二值化的方法提取目标。

以上海天线提取及舰船目标检测方法全部针对红外相机或普通相机所拍摄的图像, 并不适用于成像原理与普通相机存在很大差异的折反射全景相机拍摄的图像, 因此需要研究适应其成像特点的检测方法。鉴于此, 本文根据全景图像中海天线和舰船目标成像特点提出了基于海天线的舰船目标的检测方法。该算法具有很高海天线提取成功率, 并能有效抑制云层、海浪、阳光及遮挡等干扰, 准确地检测出海天线上的舰船目标。

## 1 全景视觉系统成像原理

折反射全景摄像机由反射镜和普通摄像机组成, 空间中的光线经过反射镜反射后进入摄像机成像, 全景成像装置如图 1 (a) 所示。生成的环形全景图像, 如图 1 (b) 所示。海天线或天际线往往会在图像中形成明显的边缘, 其中图 1 (c) 为全景海天图像分布图, 外圈和内圈虚线之间的区域为有效检测区域。

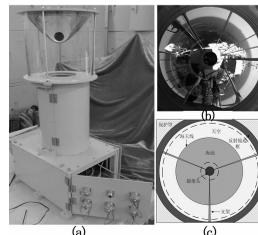


图 1 双曲面折反射摄像机与效果图

收稿日期: 2013-11-21; 修回日期: 2014-02-19。

**基金项目:** 国家自然科学基金 (61175089, 61203255); 中央高校基本科研业务费专项资金 (HEUCF110423, HEUCFZ1210); 博士后落户黑龙江科研启动资助金 (LBH-Q11135)。

**作者简介:** 朱齐丹 (1963-), 男, 哈尔滨人, 教授, 工学博士, 主要从事智能机器人、机器视觉、先进控制理论及应用等的研究。

由于折反射全景相机单侧垂直视角可达  $120^\circ$ , 因此在海上载体剧烈晃动时仍可保证大部分海天线始终在视野中。海上由远及近行驶的舰船必定会经过海天线区域, 因此通过检测海天线附近的舰船目标便可掌握海面区域内是否有目标出现。

## 2 海天线提取

### 2.1 分区自适应阈值 Canny 边缘检测

全景图像由于容易受光照影响, 因此整幅图像对比度不均匀。传统 Canny 边缘检测算法使用同一对高低阈值进行边缘检测时会出现边缘信息丢失或伪边缘。本文将图像均匀分为相同大小的图像块, 对每个图像块使用文献[9]提出的最大类间方差法 (Otsu 算法) 确定 Canny 算子的高低阈值。对经过非极大值抑制获取的边缘图像使用形态学算子进行边缘细化<sup>[10]</sup>, 得到单像素级边缘。

### 2.2 双阈值梯度幅值方向过滤

全景图像中海天线边缘上像素点梯度方向指向图像中心, 因此可通过梯度方向判断去除径向边缘。本文提出了双阈值幅值方向过滤的方法, 即设置高低阈值分别为  $\theta_{h1}$ 、 $\theta_{h2}$ , 其中  $\theta_{h1} > \theta_{h2}$ 。计算所有边缘点与圆心的夹角  $\theta' [i, j]$ ,  $\theta' [i, j]$  取值范围为  $0 \sim 360^\circ$ 。若  $|\theta [i, j] - \theta' [i, j]| \leq \theta_{h2}$ , 则判定为边缘点, 并采用递归边界跟踪方法将八邻域区域内  $|\theta [i, j] - \theta' [i, j]| \leq \theta_{h1}$  的点判定为边缘点。

### 2.3 基于最长曲线法的海天线提取

全景海天线边缘图像有如下几个特点: 1) 椭圆形海天线被分割为断续的曲线段; 2) 边缘图像中最长的曲线段为海天线; 3) 相邻的海天线边缘端点在切方向上距离最近。根据以上特点, 本文提出了一种基于最长曲线法的海天线提取算法, 并给出了海天线提取是否成功的判断公式。

首先统计所有边缘曲线的信息。假设有效区域内共有  $m$  条边缘, 记  $R_{Ai}$ 、 $R_{Bi}$  为边缘起始/终止点到图像中心点距离,  $\theta_{Ai}$ 、 $\theta_{Bi}$  为起始/终止点方向角,  $n_i$  为边缘长度, 所有边缘信息可表示为:

$$L_i = (R_{Ai}, R_{Bi}, \theta_{Ai}, \theta_{Bi}, n_i), i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

然后使用最优边缘估计算法提取海天线边缘。根据边缘图像特点 2) 将最长的边缘设为第一条海天线边缘并记为  $L_j$ , 将已经搜索到的海天线边缘起始/终止角, 起始/终止半径分别记为:  $\theta_1 = \theta_{Aj}$ ,  $\theta_2 = \theta_{Bj}$ ,  $R_1 = R_{Aj}$ ,  $R_2 = R_{Bj}$ 。基于最长曲线法的海天线提取算法具体流程为:

1) 逆时针边缘搜索。根据边缘图像特点 3), 满足条件的海天线边缘满足如下条件:

$$\begin{cases} \min_{i=1, \dots, m, i \neq j} (\alpha \cdot (\theta_{Ai} - \theta_2) + \beta \cdot |R_{Ai} - R_2|) \\ \theta_{Ai} - \theta_2 < \theta_h, \theta_{Ai} > \theta_2 \\ |R_{Aj} - R_2| < R_h, R_h = \min\{1.5\theta_h, 0.1R\} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\alpha$  和  $\beta$  为比例系数,  $\theta_h$  为角度偏差阈值,  $R_h$  为半径偏差阈值,  $i=1, 2, \dots, m, i \neq j$ 。取  $R_h = 1.5\theta_h$  或根据图像分辨率设置为  $0.03R$ , 其中  $R$  为理想情况下海天线成像圆半径。设置  $\alpha=0.3$ ,  $\beta=0.7$ 。

选取计算值最小的边缘作为海天线。同时将  $\theta_2$  和  $R_2$  替换为选取的海天线边缘的  $\theta_{Bi}$  和  $R_{Bi}$ 。并删除起始角和终止角位于  $\theta_1$  至  $\theta_2$  范围内的所有边缘曲线信息以提高下一次搜索效率。重复步骤 1) 直至没有边缘满足条件公式。

2) 顺时针边缘搜索。与逆时针搜索原理相同, 条件公式

及偏差计算公式替换为公式:

$$\begin{cases} \theta_1 - \theta_{Bi} < \theta_h, \theta_{Bi} < \theta_1 \\ |R_{Bj} - R_1| < R_h, R_h = 1.5\theta_h \end{cases} \quad (3)$$

3) 为提高后续椭圆拟合精度, 如果搜索完成后海天线起始与终止角度范围小于  $240^\circ$ , 则转到步骤 1), 重新在剩余边缘中进行搜索。

4) 根据搜索到的海天线使用椭圆拟合方法计算海天线椭圆方程。

假理想情况下海天线成像圆半径为  $r_c$ , 海天线变形时成像的椭圆长短轴分别为  $a$ ,  $b$ 。多次实验表明他们之间的关系满足  $r_c \approx (a+b)/2$ 。记  $d_h$  为判断阈值, 海天线提取成功的判断公式可表示为:

$$\left| r_c - \frac{(a+b)}{2} \right| < d_h \quad (4)$$

图 2 为海天线边缘检测结果, 由图中可以看出, 改进的边缘检测及过滤算法可以检测出所有海天线边缘并有效地过滤掉径向干扰边缘, 基于最长曲线法的海天线提取算法可以从复杂的边缘中准确提取出海天线边缘, 并计算出海天线椭圆方程。

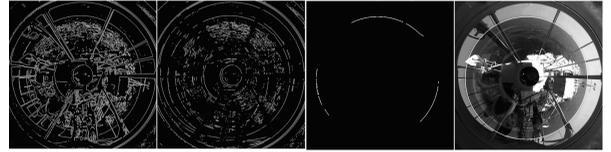


图 2 海天线边缘检测过程

## 3 海天线舰船目标检测

在全景海洋图像中出现在海天线上的舰船目标往往与海洋背景十分相似, 传统的使用图像分割、纹理特征分析等目标检测方法容易引起误检测。因此本文提出了一种快速判断突起边缘的方法进行舰船目标检测, 具体步骤为:

1) 提取全部的的海天线边缘。在双阈值梯度幅值方向过滤后图像上, 只保留椭圆方程外部一定距离范围内的边缘像素点, 这样可排除海浪和天空的云彩的边缘, 结果如图 3 (a) 所示。

2) 获取线条完整的海天线。根据海天线椭圆方程, 使用线宽为 2 线条覆盖提取的海天线 (如图 3 (b) 所示, 保证覆盖所有的海天线像素点又不会遮挡目标, 并平滑掉锯齿状的海平线边缘), 然后再次进行边缘细化, 获得线条完整单像素海天线边缘, 如图 3 (c) 所示。

3) 海天线边缘分段半径统计。为去除太阳出在海天线上出现时造成的锯齿状边缘造成目标误检测, 引入图像亮度作为辅助判断依据。将海天线分为重合的  $n$  个区域 (本文设置为  $n=120$ ), 如图 3 (d) 所示。分别计算  $n$  个区域内的图像亮度均值和该区域内所有边缘点到椭圆中心的距离。

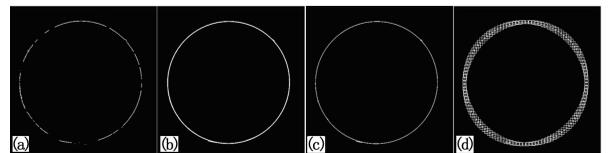


图 3 舰船目标检测过程

假设全景图像有效检测区域内平均亮度值为  $K$ ，第  $i$  个区域的图像亮度均值为  $K_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )，若  $K_i > 1.5K$ ，说明图像亮度异常，设置该区域无效。

假设第  $i$  个区域含有  $m$  个边缘点，每个边缘到椭圆中心点的半径为  $R_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$ )。对  $m$  个结果由小到大进行排序，分别计算前 70% 的半径均值和后 20% 的半径均值，假设计算结果分比为  $R_{7/10}$  和  $R_{1/5}$ ，若满足如下方程：

$$R_{1/5} - R_{7/10} < R_{TH} \quad (5)$$

则认为海天线边缘存在突起，其中  $R_{7/10}$  表示区域内平滑边缘的平均半径， $R_{1/5}$  表示区域内突起边缘的平均半径。实验中设置  $R_{TH} = 2$  时即可测出绝大部分舰船目标并且不会引起误检。

## 4 实验与结果

### 4.1 海天线提取实验

为测试海天线提取算法性能，我们使用 3 种不同的海洋实验环境下拍摄的大量图片进行了实际测试。图像分辨率为  $1024 \times 1024$ ，取  $\theta_{h1} = 5$ ， $\theta_{h2} = 15$ ， $\theta_h = 10$ ， $R_h = 15$ ， $d_h = 3$ 。测试图片及结果如图 4 所示。

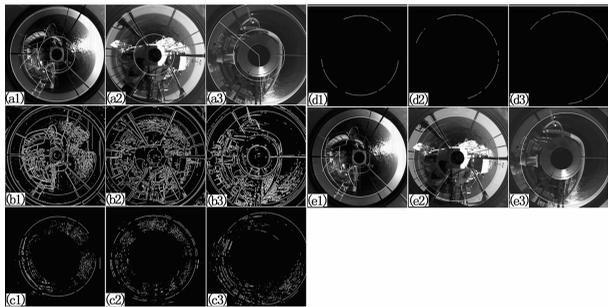


图 4 3 种不同实验环境海天线检测结果

图 4 中，(a1~a3) 拍摄环境为远海，使用单侧垂直视角为  $105^\circ$  的反射镜。图中除设置有效检测区域外（两白色圆圈之间部分），根据遮挡情况设置了遮挡区域（两条白线之间部分）。分区自适应阈值边缘检测算法有效地检测出了不同环境下的海天线区域（图 4 (b1) ~ (b3)），双阈值梯度方向过滤法则有效地过滤掉了径向边缘并将干扰物分割为较短的边缘（图 4 (c1) ~ (c3)）。图 4 (d1) ~ (d3) 和图 4 (e1) ~ (e3) 则分别显示了根据最长曲线法提取的海天线结果及最终的椭圆拟合效果。图 4 (a3) 拍摄环境较为理想，本文对相同环境下拍摄的 1 700 张图片进行了测试，其中成功 1 623 张，成功率约为 95%，77 张图片则因晃动过大，导致有效检测区域过少造成检测失败。

### 4.2 目标检测实验

本文使用图 4 (a3) 海洋环境下间隔 1 秒连续拍摄的 200 张含单个舰船目标的图片进行了舰船目标检测实验。部分检测图片如图 5 所示。图 5 (a) ~ (d) 为同一目标由远及近的图片，图像中舰船目标径向成像高度分别为 6、10、15、19 个像素。(a) ~ (b) 之间共有 46 张图片，目标检测成功 30 张，成功率约为 65%。(b) ~ (d) 之间共 154 张，识别成功 140 张，成功率约为 90%。

图 6 中舰船目标部分径向边缘虽然由于幅值梯度方向过滤被去除，但并不影响检测结果。图 5 (a) 图像中目标在海天线上突起不足 5 个像素，平均半径差值远低于检测阈值，因此

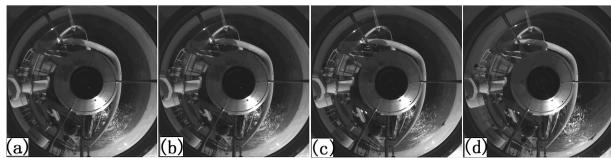


图 5 舰船目标检测实验图像

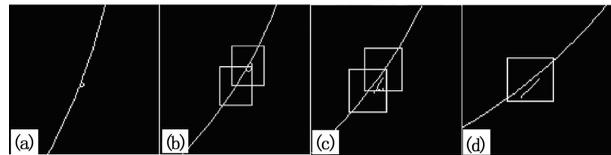


图 6 目标检测结果局部细节图像

造成检测失败。

## 5 结论

为实现全景摄像机海洋环境下自动目标检测的要求，提出了一种全景图像海天线提取算法及基于海天线的舰船目标自动检测方法。根据全景图像成像特点提出了基于分区的自适应阈值 Canny 边缘检测算法及基于最长曲线法的海天线提取算法。给出了基于海天线的舰船目标检测算法。实验结果证明，海天线提取算法可适应多种环境的海天线提取，理想情况下对海天线的提取成功率可达 95% 以上，对径向成像高度大于 10 个像素的舰船目标识别成功率可达 90%。

### 参考文献：

- [1] Mariottini G L, Scheggi S, Morbidi F, et al. An accurate and robust visual-compass algorithm for robot-mounted omnidirectional cameras [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2012, 60 (9): 1179-1190.
- [2] Yang L, Nougchi N. Human detection for a robot tractor using omnidirectional stereo vision [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 89: 116-125.
- [3] 叶良波, 刘康, 汤一平. 一种全景立体摄像装置的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2): 512-519.
- [4] 黄英东, 范宁军, 李杰. 一种基于海天线检测的舰船定位方法 [J]. 火箭与控制学报, 2008, 28 (5): 286-288.
- [5] 董宇星, 刘伟宁, 王爽. 基于 Canny 原理海天线检测算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (3): 697-702.
- [6] 刘峰, 赵峰民, 陈望达. 基于海天线抑制的舰船目标检测方法研究 [J]. 激光与红外, 2012, 42 (5): 589-593.
- [7] 赵红颖, 晏磊, 熊经武. 车载摄像系统的一种电子稳像算法 [J]. 光学技术, 2003, 29 (5): 628-633.
- [8] Santhalia G K, Nitin S, Sanatya S. A method to extract feature of warships in complex sea-sky background which may be virtually invisible [A]. 2009 Third Asia International Conference on Modeling & Simulation [C]. Bandung, Bali, Indonesia; AMS, 2009: 533-539.
- [9] Mei F, Yue G X, Yu Q C. The Study on an application of Otsu method in canny operator [A]. Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing [C]. Huangshan, ISIP, 2009: 109-112.
- [10] 谭郁松, 周兴铭. 保持连通的边缘细化算法 [J]. 国防科技大学学报, 2004, 26 (4): 51-56.