

基于梯度信息融合的海面红外目标实时检测

万磊,曾文静,张铁栋,秦再白

(哈尔滨工程大学 水下机器人技术国防科技重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对海面红外序列图像的特点,提出一种适用于海天背景和海岸背景的目标检测方法。该方法不需要进行特殊的预处理来滤除图像噪声,首先量子化图像的区域复杂度以及单元区域上下邻域的灰度差异,从而预测出海界限区域的位置;然后利用改进 Canny 算子提取轮廓边缘,突出海界线特征,降低其他纹理的干扰,再进行 Hough 变换,提取出海界线;最后提出泛化梯度概念,通过融合的梯度信息,联合海界线的位置,进行海面目标标记。实验表明,所提方法能准确地定位海界限区域以及水平或倾斜的海界线,并快速精确地提取红外海面目标。整个过程的平均花费时间约为 60 ms,具备很好的鲁棒性和实时性。

关键词: 红外图像; 海界限区域预测; 周围纹理抑制; 梯度融合; 目标标记

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)01-0041-05

Real-time detection of marine infrared objects based on the fusion of gradient information

Wan Lei, Zeng Wenjing, Zhang Tiedong, Qin Zaibai

(State Key Laboratory of Autonomous Underwater Vehicle, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: A feasible method considering the character of marine infrared image was proposed to detect objects in the sequential images from surface vehicle, which was not only appropriate for sea-sky background but also for offshore background. There was no need to filter the noise. Firstly, the complexity of sub-images and the average gray difference of their up and down neighborhood were measured to predict the sea line region. Secondly, improved Canny edge detection was applied to extract the contour of the sea line region. It made the sea line obvious and meaningless edges disappear greatly. Thirdly, Hough transformation was used to pick the longest line as the sea line. Finally, a kind of general concept of gradient was put forward. The targets could be marked excellently under the fusion of gradient. The experiment results show that this method can locate the sea-line region and the sea line with any tilt reliably and obtain the information of objects effectively. The whole procedure costs about 60 ms and it is real-time and robust.

Key words: infrared image; sea line region prediction; surround suppression; gradient fusion; objects marking

收稿日期:2012-05-07; 修订日期:2012-06-11

基金项目:国家自然科学基金(51009040\E091002); 国家 863 计划(2011AA09A106)

作者简介:万磊(1965-),男,研究员,博士生导师,主要从事机器人系统集成方面的研究。Email:wanglei@hrbeu.edu.cn

0 引言

目前,常用的红外目标检测算法主要有基于单帧处理的方法、基于投影变换的方法、基于三维处理的方法、基于速度滤波的方法、基于相邻帧间图像匹配的方法等^[1]。针对海空背景下远场小目标总是出现在水天线附近的特点,魏颖^[2]等人先通过小波多尺度算法检测出水天线,之后在目标潜在区域搜索小目标,该方法没有考虑到海岸背景下近场目标的检测。杨磊^[3]等人提出了一种自适应 Butterworth 高通滤波的复杂背景下小目标检测方法,该方法能有效地适应复杂背景(如海杂波等)的变化,但需要进行频域变换,实时性受到一定限制。而既适用于海天背景,又适用于海岸背景,既适用于远小目标检测,又适用于近处目标检测的红外目标实时检测方法目前尚未见相关文献报道。针对上述问题文中提出了一种基于梯度信息融合的红外目标自适应实时检测方法。

1 海面红外图像特点

一些典型的原始红外海面图像如图 1 所示。海面红外图像具有如下特点:

(1) 海面红外图像由非海面和海面两部分区域组成。

(2) 红外图像中海天线或海岸线模糊,线上下存在交接过渡带^[4]。

(3) 海面灰度整体表现为低亮度,浪峰的灰度接近陆天与目标的灰度。



图 1 原始红外海面图像

Fig.1 Original infrared marine images

海面目标在海面的法线方向梯度明显,而波浪与图像周围的高亮度噪声,在该方向的梯度特征很

弱。结合这个特点,设计海面红外目标检测的流程如图 2 所示,各细节的实现在下面的小节中均有说明。

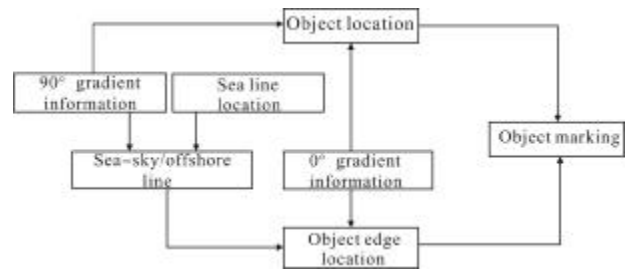


图 2 红外目标检测流程图

Fig.2 Flow chart of infrared objects detection

2 海界线位置检测

2.1 预测并定位海界限

相比于 Yang 提出的加权方差信息熵方法^[5],文中方法能够应付更多复杂的情况。已知原始图像大小为 $M \times N$ 像素,沿着列方向将该图像 $F(x,y)$ 平均分割为 $T(T>3)$ 幅子图像 f_1, f_2, \dots, f_t , 每幅子图像的尺寸皆为 $A \times N (A=M/T)$ 像素。规定每相邻 3 幅子图像 $(f_{i-1}, f_i, f_{i+1}), (1 < i < t)$ 组成一个单元区域,每个单元区域的视觉感受特征量化指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$ 由两部分因素构成,中间子图像 f_i 的复杂度和与之相邻的上下子图像 f_{i-1}, f_{i+1} 间的灰度差异。将量化指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$ 表示为:

$$M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1}) = \Delta G(f_{i-1}, f_{i+1}) \times H(f_i) \quad (1)$$

$$\Delta G(f_{i-1}, f_{i+1}) = |G(f_{i-1}) - G(f_{i+1})| \quad (2)$$

$$H(f_i) = - \sum_{s=0}^{255} p_s \cdot \log_2 p_s \quad (3)$$

式中: $G(f_{i-1})$ 与 $G(f_{i+1})$ 分别为子图像 f_{i-1} 和子图像 f_{i+1} 的平均灰度; $H(f_i)$ 为子图像的信息熵^[6]; p_s 是子图像 f_i 中灰度值 s 出现的概率,当 $p_s = 0$ 时, $p_s \cdot \log_2 p_s = 0$ 。计算各个单元区域的指标 $M(f_{i-1}, f_i, f_{i+1})$,最大值所对应的图像区域即为所求。

2.2 海界限轮廓提取

Canny 算子是一种常用且较为出色的边缘检测算子^[7]。为了提高 Canny 算子的适应能力,将周围纹理抑制方法(surround suppression)用于 Canny 算子的改进^[8]。步骤如下。

(1) 原始梯度计算

由于海界线是沿着行方向连续的直线,所以只计算 y 方向的梯度。 Mag 表示图像梯度, $\text{Mag}(y)$ 表示图像 y 方向的梯度,则有:

$$\text{Mag}=\text{Mag}(y)=\frac{\partial f_{\sigma}(x,y)}{\partial y} \quad (4)$$

(2) 各向同性纹理抑制

纹理抑制概念是由 Grigorescu 等^[9]人提出的,原理是当一个边缘像素的梯度与它周围的梯度强度相似时,就对其予以抑制。定义权重函数 w_{σ} :

$$w_{\sigma}=\frac{H(\text{DoG}_{\sigma}(x,y))}{\|H(\text{DoG}_{\sigma})\|_1} \quad (5)$$

$$\text{DoG}_{\sigma}(x,y)=g_{4\sigma}(x,y)-g_{\sigma}(x,y) \quad (6)$$

$$H(z)=\begin{cases} 0, & z < 0 \\ z, & z \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

(3) 改进梯度计算

将梯度与权重函数进行卷积,得到每个像素点的周围加权抑制因素,从原梯度中减去抑制部分,则可以得到人眼希望保留的部分,从而突出感兴趣的边缘,计算公式如下^[10]:

$$\text{Mag}(ss)=\text{Mag}-\text{Mag} \cdot w_{\sigma} \quad (8)$$

3 梯度信息融合

3.1 横向与纵向梯度计算

梯度的计算方法是将图像中像素点的灰度与其对角线像素点的灰度形成差值,使相似颜色值淡化,不同颜色值突出,从而产生深度感,达到浮雕的效果。文中计算横向(0°)与纵向(90°)的梯度信息。设深度为 n ,差值数量百分比为 γ ,背景常数为 C ,灰度为 G ,灰度差为 d ,则实现该过程的伪代码如下。

开始:

If 所求梯度方向为 0°

{For 每一个像素点 (x,y)

{ $G(x+n/2,y)-G(x-n/2,y) \Rightarrow d$;

$d \times \gamma + C \Rightarrow d$;

If $d \geq 255$ 或者 $d \leq 0$

$255 \Rightarrow G(x,y)$;

Else

$0 \Rightarrow G(x,y)$

}

}

结束。

如果所求梯度为 90° ,将伪代码中的差值计算公式 $G(x+n/2,y)-G(x-n/2,y) \Rightarrow d$ 替换为 $G(x,y+n/2)-$

$G(x,y-n/2) \Rightarrow d$ 即可。文中取 $\gamma=500\%$, $C=128$,求横向梯度时 $n=5$,以突出目标的左右边界。求纵向梯度时取 $n=3$ 。横向与纵向的梯度效果如图 3 和图 4 所示。

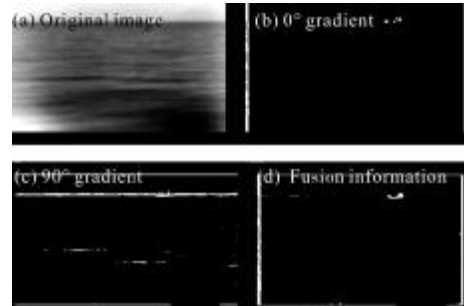


图 3 海天背景红外图像

Fig.3 Gradient results of infrared images of sea-sky background

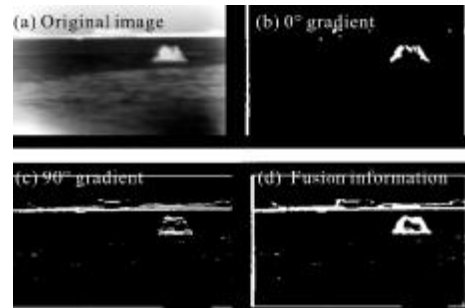


图 4 海岸背景红外图像

Fig.4 Gradient results of infrared images of offshore background

3.2 目标确定

以图 3 和图 4 为例,融合梯度信息确定目标区域,主要由以下 4 个步骤完成:

(1) 结合 90° 梯度信息与海界线的位置,判断海界线属于海岸线还是海天线。

(2) 结合 0° 梯度信息与海界线的性质,确定目标物存在于图像中的边界。对于海天背景,如图 3(a),第 2 幅图的白点均视为有效的边界点;对于海岸背景,如图 3(b),第 2 幅图仅取海岸线以下的白点为有效的边界点。

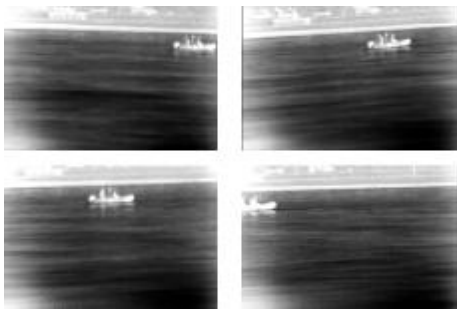
(3) 将 0° 梯度图像与 90° 梯度图像相加,依据边界的连续性,可由有效边界组合得出目标的轮廓,再由区域生长标记轮廓的类别。设置海界线的上下两个像素范围为海界线邻域。① 在海岸背景下,只对海岸线邻域以下的部分作区域生长;② 在海天背景下,将海天线邻域的 90° 梯度,由一个像素深度的 90° 梯度来代替,按照目标远近大小的经验设定从海天线上某个高度 h 开始做区域生长。

(4) 由步骤(2)确定了目标的边界,由步骤(3)确定了哪些目标边界属于同一个区域类别,顺序扫描图像,初始化目标的边界角点信息,对同一类的目标边界进行边界角点信息更新,对非同一类的目标边界,则初始化下一个目标的边界角点信息,并随后更新,之至扫描结束。

(5) 根据目标的最终边界标记目标。设置目标面积阈值 κ ,排除可能出现的伪目标。

4 实验结果分析

对某型艇于海面采集的红外序列图像进行处理,序列图像中包含海天背景和海岸背景,共 600 帧,图像有效区域为 320×240 。由于篇幅有限,只取其中较为典型的图像(如图 5 所示)进行结果展示。



(a) 海岸背景红外序列图像

(a) Original infrared image sequences with offshore background



(b) 海天背景红外序列图像

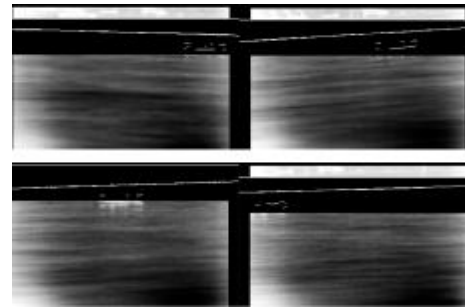
(b) Original infrared image sequences with sea-sky background

图 5 原始红外图像

Fig.5 Original infrared image sequences

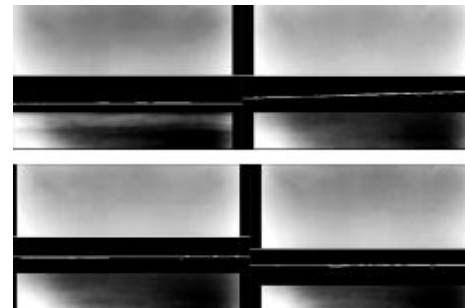
设置参数为 $T=12$,海界限区域如图 6 所示。改进 Canny 算子的参数为: $\sigma=1, T_{high}=0.8, T_{low}=0.9$ 。在标记目标的过程中,如果 90° 梯度中海界线邻域以上出现边界梯度的累积列数大于图像宽度的三分之一,则认为是在海岸背景,依照经验取 $\kappa=30$;否则认为是海天背景,目标主要以远小的状态出现在海天过度区域

中,所以取 $h=10, \kappa=5$ 。目标标记的结果如图 7 所示。



(a) 海岸线检测结果

(a) Offshore line detection results

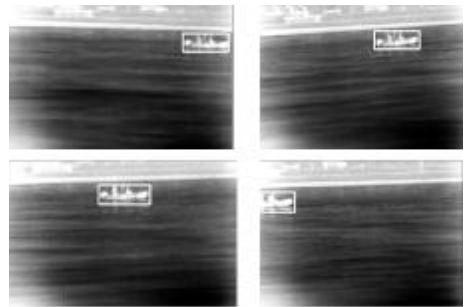


(b) 海天线检测结果

(b) Sea-sky line detection results

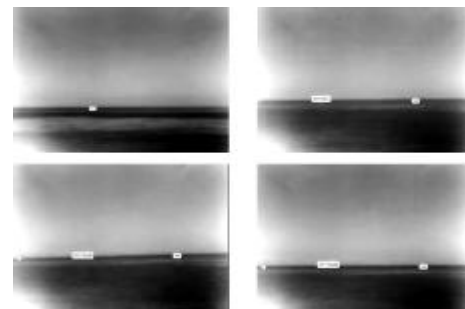
图 6 海界线检测结果

Fig.6 Line detection results



(a) 海岸背景下的目标检测结果

(a) Objects detection results of offshore background



(b) 海天背景下的目标检测结果

(b) Objects detection results of sea-sky background

图 7 目标检测结果

Fig.7 Objects detection results

实验平台为 Pentium IV 处理器,1G 内存,软件平台为 WindowsXP 操作系统,Visual C++6.0 编辑器。正确检测率达到 90%以上,海界限区域预测花费时间不到 1 ms,直线检测花费时间为 10 ms,目标提取花费时间为 50 ms,能够达到实时性要求。

5 结论

文中提出了一种适用的红外海面图像目标检测的方法。该方法时间消耗约每帧 60 ms,具有较好的实时性,适合工程应用。对于不同的红外成像系统,其图像特点也许会与文中呈现的红外图像有细微的差异,此时可能需要对梯度计算的参数作相应的调整,以得到满意的结果,这也将是今后进一步研究探讨的内容。

参考文献:

- [1] Wang Lidi, Huang Shabai, Shi Zelin. Automatic detection of the infrared small sea target based on wavelet and fractal[J]. *Laser & Infrared*, 2004, 34(6): 481-484. (in Chinese)
王立地, 黄莎白, 史泽林. 基于小波和分形的海面红外小目标自动检测方法[J]. *激光与红外*, 2004, 34(6): 481-484.
- [2] Wei Ying, Shi Zelin, Li Chengjun, et al. Detection algorithm for infrared small target in background of sea and sky[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(2): 153-156. (in Chinese)
魏颖, 史泽林, 李成军, 等. 海空背景下红外小目标检测算法[J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(2): 153-156.
- [3] Yang Lei, Yang Jie, Zheng Zhonglong. Detecting infrared small targets based on adaptive local energy threshold under sea-sky complex background [J]. *J Infrared Millim Waves*, 2006, 25(1): 42-46. (in Chinese)
杨磊, 杨杰, 郑忠龙. 海空复杂背景中基于自适应局部能量阈值的红外小目标检测 [J]. *红外与毫米波学报*, 2006, 25(1): 42-46.
- [4] Pan Yuzhu, Huang Shunhuan, Li Chisheng. Detection of infrared small target based on UDWT [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(11): 1237-1240. (in Chinese)
潘玉竹, 黄顺欢, 李迟生. 基于非抽样小波的红外小目标检测[J]. *激光与红外*, 2009, 39(11): 1237-1240.
- [5] Yang L, Zhou Y, Yang J, et al. Variance WIE based infrared images processing [J]. *Electronics Letters*, 2006, 42(15): 857-859.
- [6] Liu Yuanyuan, Liu Wenbo, Zhen Ziyang. Image segmentation method based on fuzzy entropy and grey relational analysis [J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2008, 19(9): 1250-1253. (in Chinese)
刘媛媛, 刘文波, 甄子洋. 灰色关联度和模糊熵相结合的图像分割算法[J]. *光电子·激光*, 2008, 19(9): 1250-1253.
- [7] Zhu Shiping, Xia Xi, Zhang Qingrong. An edge detection algorithm in image processing based oil point-by-point threshold segmentation [J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2008, 19(10): 1383-1387. (in Chinese)
祝世平, 夏曦, 张庆荣. 一种基于逐点阈值分割的图像边缘检测方法[J]. *光电子·激光*, 2008, 19(10): 1383-1387.
- [8] Cosmin Grigorescu, Nicolai Petkov, Michel A Westenberg. Contour and boundary detection improved by surround suppression of texture edges [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(8): 609-622.
- [9] Guo Siyu, Pridmore Tony, Kong Yaguang, et al. An improved Hough transform voting scheme utilizing surround suppression [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(13): 1241-1252.
- [10] Ray Hidayat. Texture-boundary detection in real-time [D]. Christchurch: University of Canterbury, 2010: 75-76.