

# 一种复杂海天背景下的红外舰船目标自动检测方法

王 鹏<sup>1,2</sup> 吕高杰<sup>3</sup> 龚俊斌<sup>1,2</sup> 田金文<sup>1,2</sup>

(1 华中科技大学图像识别与人工智能研究所,武汉市珞喻路1037号,430074)

(2 华中科技大学多谱信息处理技术国防科技重点实验室,武汉市珞喻路1037号,430074)

(3 中国一航洛阳光电设备研究所火力控制技术国防科技重点实验室,洛阳市凯旋西路25号,471009)

**摘要:**提出了一种红外舰船目标检测算法。首先,利用设计好的频域组合高通滤波器对原始红外图像进行处理,以得到舰船目标可能存在的区域即目标潜在区;然后,对获得的目标潜在区进行尺度自适应的局部阈值分割,进而提取出较为完整的舰船目标或者虚假目标;最后通过检测吃水线特征来筛选出正确的舰船目标。实验结果表明,此算法能够有效地检测出复杂海天背景条件下的红外舰船目标,且具有一定的时效性。

**关键词:**红外舰船目标检测;目标潜在区提取;尺度自适应局部阈值分割;吃水线检测

**中图法分类号:**P237.4

在海天背景条件下,红外舰船目标图像的信杂比较低,使得红外舰船目标自动检测非常困难。为了实现海天背景条件下的红外舰船目标自动检测,多年来众多学者都进行了研究,并提出了许多方法<sup>[1-10]</sup>。这些方法各有优势和缺陷。

针对复杂海天背景条件下的红外舰船目标,本文提出了一种自动检测算法。首先,利用频域组合高通滤波器在图像中提取出舰船目标的潜在区域;然后,采用尺度自适应的局部阈值分割方法提取出较为完整的舰船目标或者虚假目标;最后,应用吃水线检测来鉴别出正确的舰船目标。

## 1 舰船目标潜在区提取

对于复杂海天背景条件下的红外舰船目标来说,其灰度级可能会低于图像中的某些高亮度区域(如云层、海杂波、诱饵弹等)。因此,直接利用高灰度级来确定舰船目标潜在区往往会得不到想要的结果。但是,可以考虑先利用高通滤波器滤出图像中的高频部分,然后再利用阈值分割确定舰船目标的潜在区域。

本文设计了一种频域组合高通滤波器。该滤波器由两个滤波器组合而成,其中一个普通的

频域高斯高通滤波器,另外一个则可以被称为“十”字型频域高通滤波器。前者可以用来滤除图像中的低频成分,而后者是为了减小海天分界线和一些列向高频成分对舰船目标潜在区提取造成的影响。

普通的频域高斯高通滤波器的传递函数为:

$$H_G(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/2D_0^2} \quad (1)$$

其中,  $D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$ ;  $D_0$  表示高斯滤波器的截止频率半径。

“十”字型频域高通滤波器的传递函数为:

$$H_C(u, v) = \min(H_r(u, v), H_c(u, v)) \quad (2)$$

其中,  $H_r(u, v) = 1 - e^{-|u/2r|}$ ;  $H_c(u, v) = 1 - e^{-|v/2r|}$ ;  $r$  表示该滤波器的截止频率半径。

将式(1)、(2)所表示的两个滤波器通过以下方式进行组合,便可以得到频域组合高通滤波器:

$$H(u, v) = \min(H_G(u, v), H_C(u, v)) \quad (3)$$

原始图像经过频域组合高通滤波器滤波后,还需借助一个阈值来确定舰船目标的潜在区域。由于实验图像中红外舰船目标占整幅图像面积的百分比不会大于1%,因此,将分割后亮像素数占图像总像素数1%~1.5%之间的阈值作为确定目标潜在区的分割阈值,在检测面积较大的舰船

目标时该值可适当变大。红外舰船目标的潜在区域提取结果如图 1 所示。

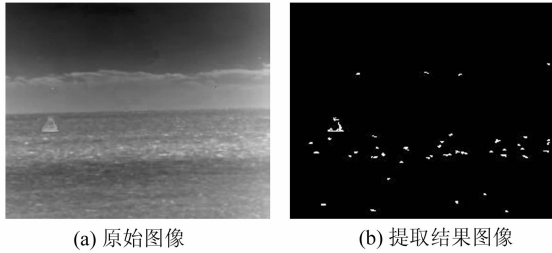


图 1 舰船目标潜在区提取结果

Fig. 1 Extraction Results of Potential Ship Regions

从图 1 中可以看出,除了目标区域被提取出来外,还提取出了一些高频噪声,这是由海杂波和云杂波所引起的。因此,在后续的处理过程中必须将这些干扰噪声去除。

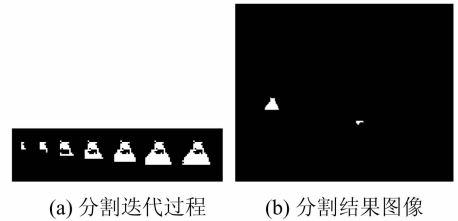
## 2 尺度自适应的局部阈值分割

为了能利用形状轮廓特征将舰船目标有效地检测出来,必须先将舰船目标尽量完整地分割出来。在这种无法知道目标尺度的情况下,本文采用了一种尺度自适应的局部阈值分割方法,其主要思想为:以检测到的舰船目标潜在区为基本分割区域,逐渐扩大分割区域直至把目标完整地分割出来。为了避免因分割区域盲目扩大而导致的错误分割结果,还需要利用目标面积占整幅图像面积的比值上限和背景与目标灰度均值的比值上限这两个边界值来提前终止该区域的分割。考虑到算法的时效性和分割效果,在每次迭代分割过程中都采用 Otsu 方法<sup>[11]</sup>进行分割。值得注意的是,在迭代过程中需要把每次分割的结果都保存下来,以便最终合成一个较为完整的舰船目标。

尺度自适应的局部阈值分割方法的具体步骤为:① 将目标潜在区的上、下、左、右边界都分别向外扩展 2 个像素,形成目标分割区域。② 在目标分割区域内利用 Otsu 方法进行分割。③ 计算分割出的背景与目标的灰度均值比值  $Rt_g$  和目标与整幅图像的面积比值  $Rt_a$ 。④ 若  $Rt_g > Th_g$  或者  $Rt_a > Th_a$ ,则判断此目标分割区域内没有目标,终止在该区域进行分割;否则继续执行下一步。⑤ 保存本次 Otsu 分割结果的目标像素。⑥ 若分割区域的边界上没有本次 Otsu 分割结果的目标像素点,则可将迭代过程中保存的所有分割结果的目标像素点合成为一个较为完整的目标,至此在该目标潜在区的目标分割结束;否则,将分割区域边界上有目标像素点的边界向外扩展

2 个像素形成新的目标分割区域,然后转到步骤②继续分割。

图 2 显示了尺度自适应的局部阈值分割方法的分割结果图像。经过分割后的目标内部可能还存在间隙或者断裂的情况。采用形态学闭运算和将间距小于 4 个像素的目标连接起来的方法,能够使分割后的目标更加完整。实验中选择  $Th_g = 0.9$  和  $Th_a = 0.01$ 。



(a) 分割迭代过程 (b) 分割结果图像

图 2 尺度自适应局部阈值分割结果

Fig. 2 Scale-Adaptive Local Threshold Segmentation Results

## 3 吃水线检测

经过尺度自适应局部阈值分割后的图像应该只剩下舰船目标和少数几个虚假目标,此时可以利用舰船目标与水面交界处形成的一条吃水线来最终筛选出正确的舰船目标。

本文利用尺度自适应局部阈值分割结果图像中的目标下边缘(由目标中每列最下方的一个像素点组成)进行直线拟合以检测舰船目标的吃水线,该方法能够检测出任意方向的舰船目标吃水线。一次拟合得到的直线方程很可能存在偏差,因为舰船目标的下边缘像素点不一定都属于吃水线,所以必须进行迭代计算来求解正确的吃水线方程。

## 4 实验与分析

在 CPU 为 Pentium IV 2.4 GHz、内存为 512 MB SDRAM 的 PC 机上用 Matlab 7.0 编写的算法程序进行了实验。选取了 3 幅典型海天背景条件下的红外舰船目标图像和两个图像序列进行检测,所有的图像都是 8 位灰度图像。为了进行实验结果对比,还挑选了两种方法一同进行测试。这两种方法分别是模糊综合评判法<sup>[1]</sup>和基于边缘特征的方法<sup>[9]</sup>。实验中,本文算法的参数选用  $D_0 = 10, r = 3, Th_g = 0.9, Th_a = 0.01$ 。

图 3 显示了 3 幅典型海天背景条件下的红外舰船目标图像以及分别用 3 种算法进行舰船目标

检测的结果图像。其中,图 3(a)~3(c)为原始红外图像,3(d)~3(f)为模糊综合评判法的检测结果,图 3(h)~3(j)为基于边缘特征方法的检测结果,图 3(k)~3(m)为本文算法的检测结果。3 幅原始红外图像的大小均为  $280 \times 228$ 。从图 3 中可以看出,原始红外图像中的舰船目标从图 3(a)~3(c)用算法越来越难检测。

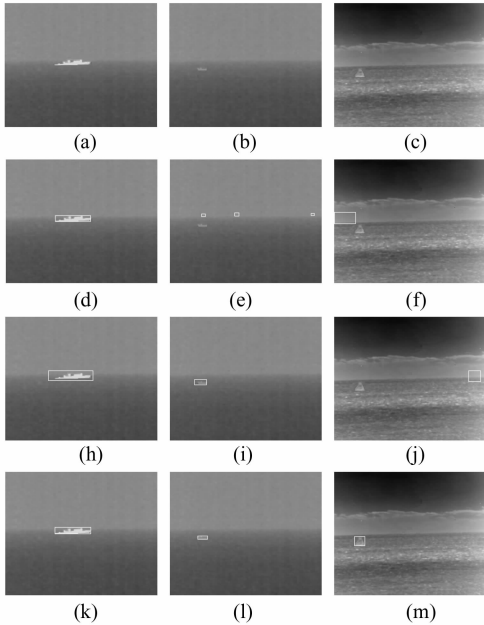


图 3 几种方法的检测结果

Fig. 3 Detection Results of Several Methods

3 幅典型红外舰船目标图像的检测结果表明,本文算法能够适用于不同海天背景复杂程度下的红外舰船目标,且较模糊综合评判法和基于边缘特征的方法更具有鲁棒性。

另外,两个海天背景条件下的红外舰船目标图像序列(Seq1 和 Seq2)也被用来测试算法的检测性能,这两个图像序列中的第一帧图像分别显示在图 4 中。序列 Seq1 共有 56 帧图像,图像大小为  $320 \times 256$ ,目标尺寸约为  $102 \times 18$ ;序列 Seq2 共有 48 帧图像,图像大小为  $220 \times 140$ ,目标尺寸约为  $18 \times 6$ 。图像序列 Seq1 中的舰船目标伴有高亮度诱饵弹的干扰。

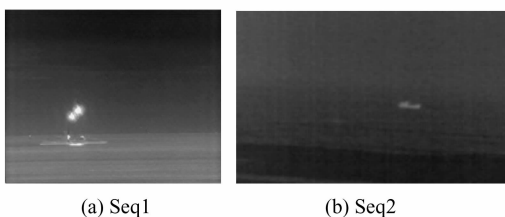


图 4 测试图像序列首帧

Fig. 4 First Frames of Test Image Sequences

为了评估算法的检测性能,采用检测概率  $P_d$ 、平均虚警数  $F_a$  和算法的平均每帧处理时间  $T_m$  (单位为 s) 来进行度量。

$$P_d = N_a / N_b \quad (4)$$

$$F_a = N_f / N_l \quad (5)$$

$$T_m = T_{\text{total}} / N_l \quad (6)$$

其中,  $N_a$  为图像序列中检测到的真实目标个数;  $N_b$  为图像序列中所存在的真实目标个数;  $N_f$  为图像序列中检测到的虚假目标个数;  $N_l$  为序列中图像的帧数;  $T_{\text{total}}$  为算法处理完整个图像序列所消耗的总时间(单位为 s)。不同方法的检测概率、平均虚警数和平均每帧的处理时间都列在表 1 中。

表 1 几种舰船目标检测方法的性能比较

Tab. 1 Performances Comparison of Several Ship Detection Methods

| 检测算法      | 性能指标  | Detection Methods |       |
|-----------|-------|-------------------|-------|
|           |       | Seq1              | Seq2  |
| 模糊综合评判法   | $P_d$ | 0%                | 0%    |
|           | $F_a$ | 1.125             | 2.98  |
|           | $T_m$ | 0.253             | 0.097 |
| 基于边缘特征的方法 | $P_d$ | 0%                | 20.8% |
|           | $F_a$ | 0                 | 0     |
|           | $T_m$ | 0.636             | 0.25  |
| 本文算法      | $P_d$ | 100%              | 95.8% |
|           | $F_a$ | 0                 | 0.11  |
|           | $T_m$ | 0.926             | 0.28  |

由表 1 可以看出,模糊综合评判法实现简单,其时间复杂度要低于其他两种方法,但是该方法只适用于背景简单而且舰船目标成像显著的图像。基于边缘特征的方法较之模糊综合评判法,其检测能力方面有所改善,但检测概率仍然较低。本文算法在舰船目标检测能力方面要明显优于其他两种算法,算法的时间复杂度虽然会随着目标尺寸的增大、图像背景复杂度的增加以及目标与背景对比度的降低而有所增加,但是还是具有一定的时效性。

## 5 结 语

通过对海天背景下红外舰船目标的成像特点进行分析,提出了一种复杂海天背景条件下的红外舰船目标自动检测方法。实验结果表明,该方法对复杂海天背景条件下的红外舰船目标检测具有一定的鲁棒性和时效性。然而需要指出的是,本文算法并没有硬件实现,如何使算法适合硬件实现并最终应用于实时系统是今后需要进一步完善的地方。

## 参 考 文 献

- [1] 刘松涛, 沈同圣, 周晓东, 等. 红外成像型制导系统舰船目标实时识别技术研究[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 43-46
- [2] 杨明月, 杨卫平. 复杂海天背景下红外舰船目标的自动检测方法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 638-641
- [3] 黄文韵, 马惠敏, 王生进. 海面背景红外目标的识别算法[J]. 清华大学学报·自然科学版, 2009, 49(10): 34-38
- [4] Tao Wenbing, Jin Hai, Liu Jin. Unified Mean Shift Segmentation and Graph Region Merging Algorithm for Infrared Ship Target Segmentation[J]. Optical Engineering, 2007, 46(12): 1-7
- [5] 张天序, 赵广州, 王飞, 等. 一种快速递归红外舰船图像分割新算法[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(4): 295-300
- [6] 梅建新, 段汕, 秦前清. 基于支持向量机的特定目标检测方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(10): 912-915
- [7] Greenberg S, Rotman S R, Guterman H, et al. Region-of-Interest-Based Algorithm for Automatic Target Detection in Infrared Images[J]. Optical Engineering, 2005, 44(7): 1-10
- [8] 张芳, 王岳环. 基于显著特征引导的红外舰船目标快速分割方法研究[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(6): 603-606
- [9] 蒋李兵, 王壮, 胡卫东. 一种基于 ROI 的红外舰船目标检测方法[J]. 红外技术, 2006, 28(9): 535-539
- [10] 胡学敏, 郑宏, 司小书. 利用双指数函数导数模型进行高分辨率卫星影像目标检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(11): 1 265-1 270
- [11] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66

第一作者简介: 王鹏, 博士生, 主要研究方向为计算机视觉、图像处理与模式识别。  
E-mail: peng\_w812@126.com

## An Automatic Target Detection Method for Infrared Ship in Complex Sea-Sky Background

WANG Peng<sup>1, 2</sup> LV Gaojie<sup>3</sup> GONG Junbin<sup>1, 2</sup> TIAN Jinwen<sup>1, 2</sup>

(1 Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Road, Wuhan 430074, China)

(2 State Key Laboratory for Multi-spectral Information Processing Technologies, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Road, Wuhan 430074, China)

(3 National Defence Sci. & Tec. Lab of Fire Control Technology, Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, AVIC I, 25 West Kaixuan Road, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** A new automatic target detection algorithm is proposed to detect infrared ship in complex sea-sky background. To procure the potential target regions, in the method, a combined high-pass filter in frequency domain is designed to filter original image. Afterwards, a scale-adaptive local threshold segmentation method is presented for extracting integral possible ship based on the potential target regions. Waterline detection is employed to distinguish correct ship finally. As the new method does not depend on the information of sea-sky line position and high brightness ship chimney or engine, its performance has been improved greatly. Experimental results indicate that the proposed method not only demonstrates reliable target detection capability for infrared ship in complex sea-sky background, but also shows efficiency.

**Key words:** infrared ship detection; potential target region extraction; scale-adaptive local threshold segmentation; waterline detection