

## 多特征融合的红外舰船目标检测方法

张仲瑜, 焦淑红

(哈尔滨工程大学 信息与通信学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 针对海天背景下红外舰船目标的分割提出了一种基于多特征融合的分割算法。该算法对红外图像进行水平边缘信息和竖直边缘信息的提取。首先, 将不同尺度下的结果进行求平均值算, 将结果图作为第一个特征。其次, 针对不同大小舰船目标的问题, 运用改进的对红外图像进行多级滤波, 从而达到背景抑制、突出目标的效果, 其结果可作为第二个特征。最后, 求红外图像的局部灰度最大值后, 将其特征图像作为第三个特征, 然后对各个特征图进行归一化处理并进行融合。在融合过程中, 对各个特征图该赋予的权重进行研究, 选取恰当的融合系数得到融合后的图像, 对其采用自适应阈值进行目标最终分割, 之后做一个形态学整形, 去除孤立面积和补充空洞, 完善分割结果。仿真结果表明, 与传统的分割方法相比, 该算法分割效果明显, 能够达到分割要求。

**关键词:** 红外舰船目标分割; 多特征融合; 多级滤波; 局部灰度最大值; 仿真  
**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)S-0029-06

## Infrared ship target detection method based on multiple feature fusion

Zhang Zhongyu, Jiao Shuhong

(Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Under the ocean background, a segmentation method was proposed based on the fusion of multiple features for infrared ship segmentation. This method is used to extract horizontal edge information and vertical edge information from infrared image. First of all, the mean of the data collected on different scales was got, and the result image was seen as the first feature. Furthermore, for the problem of ship targets with different sizes, the improved multistage filters was employed for infrared image, so as to prohibit background and highlight target. The multistage filtered image was identified as the second feature. Finally, the local maximum gray value of infrared image was identified the third feature. Then these three features would be normalized and integrated. During the process of infusion, firstly, each feature image was given weight; then, an appropriate infusion coefficient for fused image was selected. The fused image was segmented by adaptive threshold, followed by a morphological plastic in order to remove isolated areas, supplement holes and improve the segmentation results. The simulation results show that, compared with traditional segmentation strategies, the proposed segmentation method based on multiple features fusion is more likely to meet the demands of segmentation.

**Key words:** infrared ship targets segmentation; multiple feature fusion; multistage filtering; a maximum local gray level; simulation

收稿日期: 2015-10-05; 修订日期: 2015-11-10

作者简介: 张仲瑜(1991-), 女, 硕士生, 主要从事图像处理与分析、模式识别方面的研究。Email: 331614702@qq.com

导师简介: 焦淑红(1966-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事宽带信号检测、处理与识别、图像处理与分析、虚拟测试系统环境与仿真方面的研究。Email: jiaoshuhong@hrbeu.edu.cn

## 0 引言

红外舰船目标的分割一直是国内外关注的热点问题,因为它是红外制导武器在海面背景下识别舰船目标、可靠捕获的重要基础和前提。由于受到海浪、海面杂波以及太阳光反射等多种因素的影响,其特有的特点也不可避免受到干扰。为了实现海天背景条件下的红外舰船目标的自动分割,多年来众多学者都进行了相关的研究,并提出了许多方法。其中包括阈值分割法、区域生长法、边缘检测法、基于模糊理论方法、基于图论的图像分割方法<sup>[1]</sup>。经典方法有很多,文中研究的方法是一种基于多特征融合的目标图像分割方法,在此基础上确定目标位置、大小以及边缘信息,进而结合自适应阈值分割最终达到分割目标的目的。

红外舰船的目标分割中有一个重要问题就是舰船目标大小不一,小目标与大目标在整幅红外图像中的目标特征不尽相同。小目标的目标对比度低,海天背景下干扰源较多,目标趋于点无纹理、尺寸信息;中大目标的目标对比度比较高,目标尺寸大纹理、形状信息较多。分析了上述目标大小不一的问题后,文中提出了一种适用于大小目标的基于多特征融合的自动分割方法。

## 1 红外目标特征

### 1.1 边缘信息特征和局部灰度最大值特征

图像边缘对图像识别和计算机分析十分有用。边缘能够刻画出目标物体,使观察者能够一目了然;同时也蕴涵了丰富的内在信息(方向、阶跃、形状等),是图像识别中抽取的重要特征。从本质上讲,图像边缘是图像局部特征不连续性(灰度突变、颜色突变等)的反映,它标志着一个区域的终结和另一个区域的开始。

图像锐化的实质是增强原图像的高频分量。边缘和轮廓一般位于灰度突变的地方,因此可自然地利用灰度差分提取出来。由于边缘和轮廓在一幅图中常常具有任意方向,而差分运算是具有方向的,和差分方向一致的边缘和轮廓便检测不出来,因而需要找到一些各向同性的检测算子,它们对任意方向的边缘和轮廓都有检测能力,具有这种性质的锐化算子有 Roberts、Prewitt、Sobel、Laplacian 等微分算子。

文中使用 Sobel 锐化算子构造非线性锐化滤波器,Sobel 锐化算子计算公式:

$$S=\{d_x^2(i,j)+d_y^2(i,j)\}^{1/2} \quad (1)$$

常用模板有:

$$d_x=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad d_y=\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad d_y=d_x'$$

Sobel 锐化算子的特点就是锐化后的边缘信息较强,这一特点恰恰满足了关于边缘信息特征提取的目的,为了实现在锐化边缘强的同时实现背景抑制,采用了分别缩小到 0.5 倍和 0.25 倍图像进行 Sobel 锐化,再将缩小后的图像扩大到原图像的大小,这样在锐化边缘的基础上,干扰信息如海浪、太阳光、海面杂波在一定程度上得到了抑制,在后面的融合中不会对结果影响太大。将原图锐化后的图像与缩小 0.5 倍锐化后的图像及缩小 0.25 倍的图像求平均,即:

$$\text{edge}=(\text{edge\_01}+\text{edge\_02}+\text{edge\_03})./3 \quad (2)$$

式中:edge\_01 为原图像进行 Sobel 锐化后的图像;edge\_02 为缩小到原图像 0.5 倍图像进行 Sobel 锐化后再扩大到原图像大小的图像;edge\_03 为缩小到原图像 0.25 倍图像进行 Sobel 锐化后再扩大到原图像大小的图像。结果图如图 1 所示。

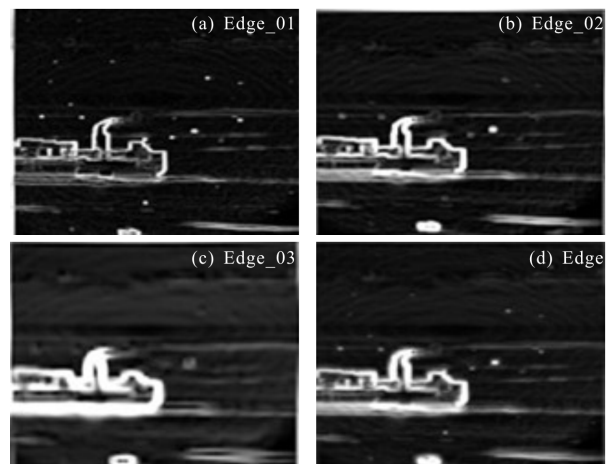


图 1 Sobel 锐化图

Fig.1 Sobel sharpening figure

局部灰度最大值特征在多特征融合过程中也是一个能够描绘目标特征的重要特征。红外目标的特征决定了目标局部最大灰度值可用来刻画目标的强度特征。假设给定窗口为  $N_{in}(i,j)$ ,则:

$$F_{i,j}^1 = \max\{f(k,l):(k,l) \in N_m(i,j)\} \quad (3)$$

式中:  $(i,j)$  为窗口  $N_m(i,j)$  的中心;  $f(k,l)$  为图像在  $(k,l)$  处的灰度值<sup>[2]</sup>。文中设定窗口大小为  $3 \times 3$ , 遵循公式(3)将局部灰度最大值特征图实验出来, 任选两幅红外图像展示原始图像(a1)和(b1), 它们的局部灰度最大值特征图为(a2)和(b2), 如图 2 所示。

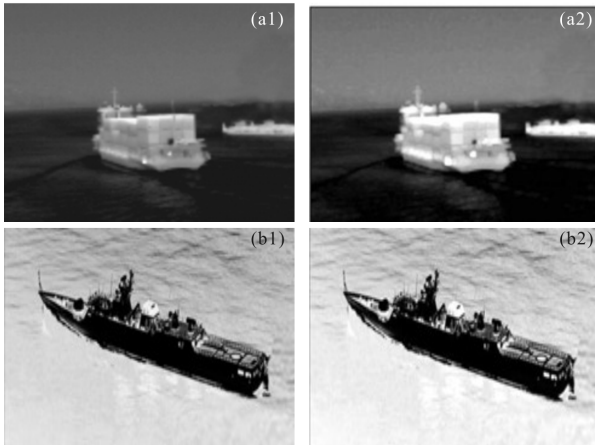


图 2 局部灰度最大值特征结果图

Fig.2 Local grayscale characteristics of maximum results

## 1.2 改进的多级滤波器

一般情况对于一幅红外图像, 在不考虑目标/背景/噪声的相互位置时, 其灰度分布满足图 3 所示关系。其中  $C_n$ 、 $C_b$  和  $C_t$  分别表示噪声、背景和覆盖范围的中心位置,  $C_n$ 、 $C_b$  和  $C_t$  分别表示噪声、背景和目标的灰度值,  $2T_n$ 、 $2T_b$  和  $2T_t$  分别表示噪声、背景和目标的覆盖范围<sup>[3]</sup>。

随着背景、目标和噪声的位置和覆盖范围发生变化, 目标、背景和噪声都可以用门函数  $f(x)=-1$ ,  $(-T < x < T)$  来表示, 只是  $T$  值和幅度不同而已。

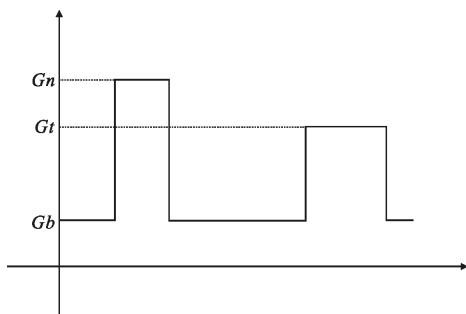


图 3 目标、背景和噪声模型图

Fig.3 Target, background and noise model figure

根据对图像灰度模型的分析, 可以建立一个带通滤波器, 来抑制背景, 增强目标, 多级滤波正是由

低通滤波来构造带通滤波的一种方法。一般滤波的数学表达式为:

$$G(u,v) = H(u,v) * F(u,v) \quad (4)$$

式中:  $F(u,v)$  为原始图像频谱;  $H(u,v)$  为传递函数频谱;  $G(u,v)$  为滤波后图像频谱。滤波器的串联的结果是带宽变窄, 串联级数越多, 带宽越窄。

多级滤波的一个缺点是当目标宽度大于模板宽度时, 会导致经过滤波后的目标被截断成几个目标的情况, 为了适用于大目标的多级滤波, 可以降低图像尺寸, 使小的滤波核较大尺寸的目标也能适应、处理。

为此文中提出对普通多级滤波的改进方法: 在改变两次图像尺度的基础上, 分别进行多级滤波。采用均值滤波构造多级滤波结构, 在两级滤波结束后, 用均值减法的方法使目标突出, 背景得到抑制。将三幅图像进行融合, 图像融合的目的是综合同一幅图像的不同增强结果图像的信息, 使其更适合多尺度小目标检测。图像数据融合的方法分为像素级融合、特征级融合、决策级融合, 在此采用像素级融合。像素级图像融合是一种低层次的融合, 用来增加图像中每个点像素的信息内容。目前常用的像素级融合算法包括: 加权平均法、逻辑滤波法、多分辨塔式算法等<sup>[4]</sup>, 文中采用加权平均对各级滤波图像做融合处理, 得到改进结构的最终滤波输出图像。

具体实现流程为:

(1) 首先使用双三次插值将原始图像缩小到 0.5 倍和 0.25 倍大小;

(2) 然后将原始图像、0.5 倍和 0.25 倍大小图像分别进行两次均值滤波, 并分别与三幅图像作减法, 将结果取绝对值作为后面的输入图像;

(3) 将(2)中的三幅结果图像中 0.5 倍和 0.25 倍大小的图像恢复到原始图像大小;

(4) 给予三幅滤波后图像不同的权值, 已达到最好的滤波效果。

下面选取一幅大小均为  $320 \times 256$  的红外图像, 对其进行多级滤波和均值减法处理, 结果图如图 4 所示。结果图如图 4 所示, 图(a)给出的是将原始图像进行多级滤波和均值减法处理后的结果图; 图(b)给出的是将原始图像缩小到 0.5 倍大小后再进行多级滤波和均值减法处理后的结果图; 图(c)给出的是将原始图像缩小到 0.25 倍大小后再进行多级滤波和均值减法处理后的结果图; 而图(d)则是采用了加

权平均的像素级融合方法对上面三幅结果图进行融合,最终的融合结果图。

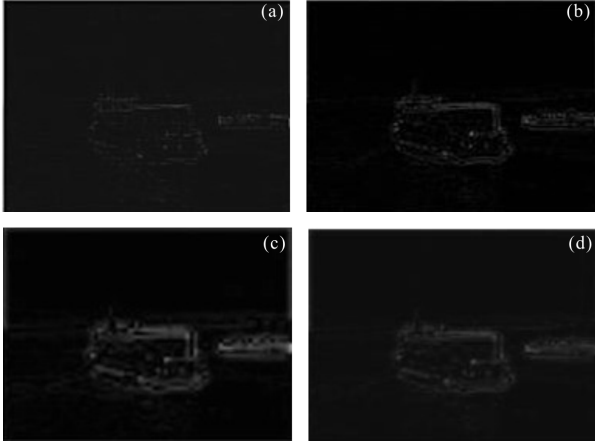


图 4 多级滤波结果图

Fig.4 Multistage filtering results figure

## 2 多特征融合

前面进行了红外图像目标的 3 个特征的提取,下面则需要对这 3 个特征进行有策略的融合,而在特征融合前,为了使各个特征图中的各个像素的强度值能够有效的表示该像素的属于红外图像中舰船目标区域的置信程度,在对各个特征图进行融合之前必须对所提取的各个特征图进行归一化处理,其归一化处理的表达式为:

$$F'(i,j) = \frac{|F(i,j) - \mu|}{\sigma}$$

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{\text{all}(k,l)} F(i,j)$$

$$\sigma = \frac{1}{M} \sum_{\text{all}(k,l)} (F(i,j) - \mu)^2 \quad (5)$$

式中: $\mu$  和  $\sigma$  分别为特征图像的均值和方差。

另外,还需要对归一化后的特征图像进行拉伸,使之在 0~255 的动态范围之内。表达式如下:

$$F''(i,j) = \frac{F'(i,j) - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} \times 255 \quad (6)$$

式中: $g_{\max}$  和  $g_{\min}$  分别是特征图像的最小值和最大值。

在对特征图进行归一化处理后,将要各个特征图像该赋予的权重进行匹配。不同的特征在不同的时刻对目标区域确定的贡献是不一样的,文中采用自适应的融合系数完成对特征图像的融合。

$$G = \sum_{i=1}^3 F_i'' \quad (7)$$

式中: $G$  为融合后的图像; $F_i''$  为各个特征的图像。

由于各个图像的特征图的特征峰值在一定程度上反映了该特征图对红外图像中舰船目标区域确定的贡献程度,因此可以考虑将特征图像中  $N$  个特征峰值的平均值作为自适应的权值的依据, $N$  的选择可以根据先验知识,如目标可能的数目及大小来选择。但是考虑到,如果目标处的灰度较大,背景的灰度均值也大的话,则该特征图对目标区域确定的贡献就不一定大,背景处的灰度均值和这种贡献关系应该成反比,而图像的信噪比则与这种关系成正比。文中采用一种改进的基于图像对比度的融合系数选取方法:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=0}^2 v_i} \quad (8)$$

基于图像对比度的计算方法可由下式计算:

$$v_i = \frac{\sum_{i=1}^N F(i,j)/N}{(\sum_{\text{all}(i,j)} F(i,j) - \sum_{i=1}^N F(i,j))/(\text{all}-N)} - 1 \quad (9)$$

式中: $\text{all}$  为整个特征图像的大小。

在文中,取  $N=0.01 \times \text{all}$ ,由于  $(\text{all}-N)/N$  为一常量,所以基于对比度的  $v_i$  可以简化为:

$$v_i = \frac{\sum_{i=1}^N F(i,j)}{(\sum_{\text{all}(i,j)} F(i,j) - \sum_{i=1}^N F(i,j))} \times C - 1 \quad (10)$$

则最终融合的图像表达式为:

$$F_{\text{fusion}} = w_0 F_0 + w_1 F_1 + w_2 F_2 \quad (11)$$

式中: $F_0, F_1, F_2$  分别为边缘信息特征图、经过多级滤波后的特征图、局部灰度最大值特征图。 $w_0, w_1, w_2$  分别为对应的融合系数。

融合实验结果图如图 5 所示。图(a)是将红外图像 1 的边缘信息特征图、多级滤波后特征图以及局部灰度最大值特征图进行融合的实验结果图;图(b)是将红外图像 2 的边缘信息特征图、多级滤波后特征图以及局部灰度最大值特征图进行融合的实验结果图;图(c)是将红外图像 3 的边缘信息特征图、多级滤波后特征图以及局部灰度最大值特征图进行融合的实验结果图;图(d)是将红外图像 4 的边缘信息特征图、多级滤波后特征图以及局部灰度最大值特征图进行融合的实验结果图。



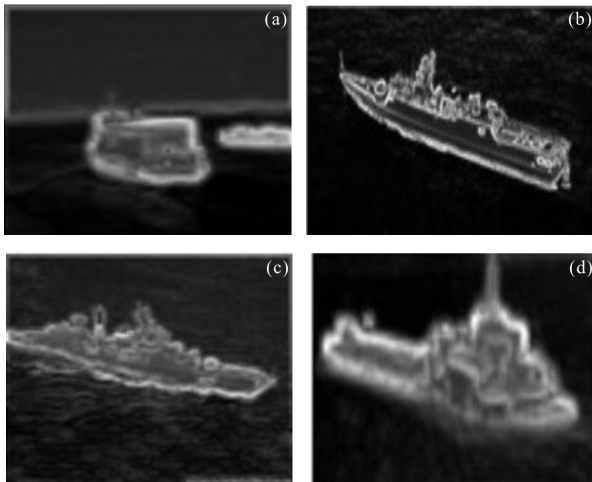


图 5 融合实验结果图

Fig.5 Fusion experimental results figure

### 3 阈值分割

采集到的红外图像经过多特征融合的背景抑制、目标增强的处理后,在所得到的融合图像中,目标、孤立的噪声点以及极少部分的高梯度背景边界所对应的像素在处理后的仍保存着较高的强度值;而图像中的大部分背景成分经过处理后,像素值基本上分布在零附近。因此,采用一种基于自适应门限的目标定位与目标分割方法就可以将红外图像中的目标与背景分离,并保持较好的目标轮廓信息。该分割方法的处理过程概括如下:

步骤 1,将图像拉伸到 0~255 的范围之内;

$P(i, j) = \min\{\max[(f(i, j) - Ave) * 0.5 + 128, 0], 255\}$  (12)  
式中: Ave 为融合图像的均值。

步骤 2,对融合图像进行直方图统计;

步骤 3,按照门限进行寻找,确定图像二值化的阈值  $T$ ,  $T$  的计算方法如下:

$$\begin{cases} \sum_{i=T}^{255} p[i] \leq C \times S \\ \sum_{i=T-1}^{255} P[i] > C \times S \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $S$  为整个图像的面积;  $C$  应该视目标大小而定;文中取  $C \times S$  为 800。

步骤 4,按计算到的门限对全图进行二值分割。舰船目标初步分割结果中存在一些边缘杂散噪声点,以及舰船船身上的一些孔洞,因此必须进行后续处理,才能进一步有效的得到舰船目标的最终分割图像。

针对以上问题,边缘杂散噪声可以通过形态学滤波方法,形态学腐蚀算法可以去除小杂声点,但是能使目标边缘缩小,形态学膨胀,可以填充小缺口和空洞,而且能使目标边缘放大。这对操作就能去除图像中杂散噪声点,同时不产生目标的几何失真<sup>[5]</sup>。

文中将在第 2 节中 4 幅融合实验结果图对应的分割阈值及分割结果图作以展示,如图 6 所示。

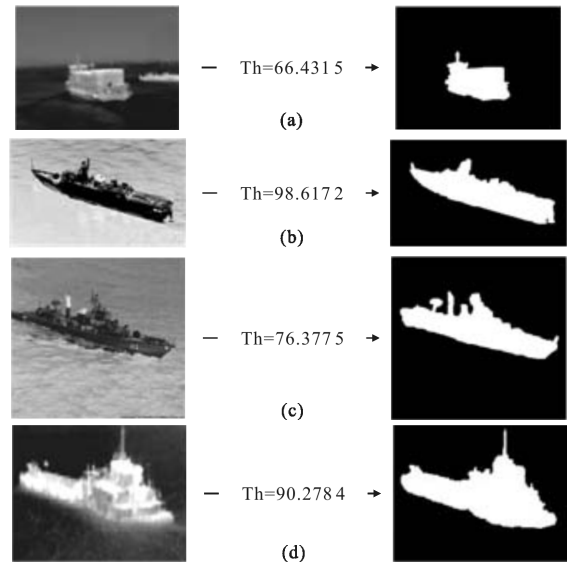


图 6 四幅红外舰船图像目标分割结果图

Fig.6 Four infrared image target segmentation results

### 4 实验结果与分析

文中实验将文中算法与两种图像分割方法 Otsu、PCNN 进行了对比。为了验证实验的有效性,采用了不同质量的红外舰船图像来进行对比试验。电脑配置如下:系统为 Win7, CPU 为 Pentium(R) Dual-Core E6500,主频为 2.93 GHz,内存为 2 G,使用软件为 matlab 2010a。

选取三幅具有代表性的图像如图 7 所示,并分别进行试验。图(a)原图灰度分布不均匀,船体有亮斑,且海水中还有船的倒影。图(b)原图船体灰度均匀,背景也比较均匀。图(c)原图在船体周围有与船体灰度值相近的厌恶干扰。图 8 为实验结果图,

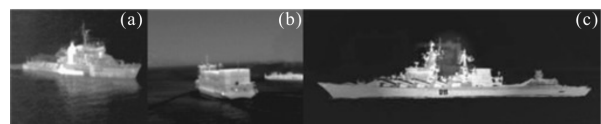


图 7 三幅具有代表性的图像

Fig.7 Three representative images



图 8 三种算法实验结果图

Fig.8 Experiment results of three figures

图(a)、(b)、(c)分别为 Otsu、PCNN 和文中算法对 a、b、c 船的实验结果。

从图 8 中可以得出以下结论:Otsu 算法对 a 船分割能够提取出舰船的大致轮廓,但是一部分海浪也被涵盖出来,并且 Otsu 算法的分割结果舰船的边缘有毛刺,不平滑;Otsu 算法对 b 船分割舰船的边缘较平滑,但是分割结果仅将海面背景与目标分开,未将天空背景与目标分开;Otsu 算法对 c 船分割舰船的边缘不平滑,有些许干扰。

PCNN 算法对 a 船分割结果舰船的轮廓边缘较平滑,但是轮廓与原图中舰船轮廓出入较大,拐角处被忽略,丢失了船体顶端天线这一细节;PCNN 算法对 b、c 船分割结果可以看出,舰船轮廓边缘均较平滑,但是与原始图像相比,都丢失了船体一部分重要的信息。

文中算法 a、b 和 c 船的分割结果较上面两种方法相比,在舰船轮廓边缘方面,都做到了平滑过渡;在与原始图像轮廓相比,均非常接近;在保留船体信息方面,也都较完整的分割出舰船上的信息。

文中还在运行时间上进行了对比,如表 1 所示。由此可以看出文中算法在运算时间上也有优势。

表 1 三种算法时间对比表

Tab.1 Comparison table of three algorithms consumption time

	Ship a	Ship b	Ship c
$T_{Otsu}/s$	0.702 440	0.325 102	0.374 391
$T_{PCNN}/s$	0.669 110	0.720 165	0.738 033
$T_{our\ method}/s$	0.572 371	0.730 265	0.702 348

## 5 结论

在红外图像舰船目标分割方面提出了一种基于多特征融合的分割方法,分别提取红外图像的边缘信息特征、经过多级滤波处理后的特征图、局部灰度最大值特征图,分别给它们赋予不同的权值,得出最终的特征融合图。在传统多级滤波的基础上提出了改变图像尺寸,实现多尺度特征抽取;分割时采取自适应的阈值分割,将舰船目标与天空、海面背景分开。该算法不仅优化了分割结果,而且易于在硬件上实现,在运行时间上也略有优势。

## 参考文献:

- [1] Ni Lin. Research on algorithms for image segmentation Based on otsu theory [D]. Chongqing: College of Mathematics and Statistics of Chongqing University, 2013. (in Chinese)
- [2] Liu Yunhe. Research on IR small target detection and tracking based on attention mechanism [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009. (in Chinese)
- [4] Cheng Shenglian. IR small moving target real-time tracking based on multi-level filter [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2006. (in Chinese)
- [5] Liu Shijun. Under the background of air and infrared ship target recognition methods [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2012.
- [6] Liu Zhaoying, Zhou Fugen, Chen Xiaowu, et al. SunIterative infrared ship target segmentation based on multiple features [J]. *Pattern Recognition*, 2014, 47(9): 5-10.