

〈图像处理与仿真〉

强阳光反射背景下红外舰船目标自适应分割

徐倩¹, 陈咸志¹, 白志刚², 曹晓荷¹, 罗镇宝¹, 金代中¹

(1.西南技术物理研究所, 四川 成都 610041; 2.空军驻川西军代室, 四川 成都 610041)

摘要: 针对海面有强阳光反射背景下现有红外舰船目标分割算法效果较差, 提出了一种有效的红外舰船目标分割方法。利用均值漂移方法的不连续保持性滤波特性, 抑制海面小面积强杂波干扰, 同时又不损失舰船目标信息。对滤波后图像做行垂直方向梯度均值投影, 获取舰船目标感兴趣区域。最后运用改进的行列均值自适应阈值分割算法, 结合使用红外舰船目标的几何特征量达到自动分割的目的。

关键词: 红外图像; 舰船目标分割; 均值漂移滤波; 梯度特征计算; 行列均值分割

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2015)09-0728-05

Adaptive Infrared Warship Target Segmentation in Strong Sun-glint Environment

XU Qian¹, CHEN Xian-zhi¹, BAI Zhi-gang², CAO Xiao-he¹, LUO Zhen-bao¹, JIN Dai-zhong¹

(1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China;

2. Military Commissary Department Garrisoned in Western Sichuan of Air Force, Chengdu 610041, China)

Abstract: The traditional segmentation algorithm for infrared warship target effects poorly in dense or strong sun-glint sea-based environment. This paper presents a novel adaptive threshold segmentation algorithm to solve the problem. At first we filter an original image using mean shift technique and considering it's discontinuity-preserving smoothing property so that we can cluster the small-sized strong sun-glint away from the warship target. Then we get the ROI by projecting the average vertical gradient of each row. Finally, we achieve the goal of automatic ship segmentation by the modified adaptive threshold segmentation algorithm based on the mean of each row and column. Furthermore, we extract several regional geometry characteristics to further suppress sun-glint interference.

Key words: infrared image, warship target segmentation, mean shift filter, gradient computation, mean of image rows and columns

0 引言

海空背景下红外舰船目标检测技术是对海侦查、监测等应用领域研究的重点。红外场景中的舰船目标分割一直是国内外极为关注的热点问题^[1], 因为它是红外制导武器在海面背景下可靠捕获、识别舰船目标的重要基础和前提。

舰船红外成像主要是基于目标的红外辐射特性, 其红外辐射源包括太阳、天空、海洋及舰船等。天空的辐射主要是自身辐射和散射太阳光, 除了细小的云层干扰以外, 天空背景的灰度分布基本比较均匀。从整体来看, 海面背景由于海浪的起伏, 使得所成的红

外图像灰度起伏较大, 因而存在较大的杂波, 对舰船目标的分割和提取存在严重的干扰。根据海面阳光反射的大小可将海面的干扰程度分为3个等级: 弱阳光反射、密阳光反射和强阳光反射^[2], 在强阳光反射环境中, 由于天气状况较好, 红外镜头处于逆光拍摄, 海面存在大面积的强阳光反射干扰, 这给传统的阈值分割带来了困难, 分割结果除舰船目标外仍包含部分天空及大面积海面干扰^[3-6]。

一维最大类间方差法(也称Otsu法)因其未考虑目标局部的灰度分布情况, 因而在复杂场景中无法得到满意的结果^[3]。文献[4]采用2维直方图并以最大2维熵为准则进行红外舰船分割, 但由于强鱼鳞光杂

收稿日期: 2014-11-13; 修订日期: 2015-02-13。

作者简介: 徐倩(1988-), 女, 汉族, 四川省广安市人, 硕士, 主要研究方向: 目标检测与识别。E-mail: 13981715993@163.com。

通讯作者: 陈咸志(1974-), 男, 重庆市人, 研究员, 主要研究方向: 光电图像制导。

基金项目: 国家“863”计划重大项目, 项目编号: 2012AA0XX2012X。

波边缘与舰船目标边缘响应值相当, 分割后除目标外仍包含大面积海面杂波干扰。文献[5]对图像建立区域连接图, 采用最小生成树方法得到分类结果, 由于海面杂波灰度均匀且分布面积广, 目标面积相对更小, 因此在有大面积鱼鳞光反射的背景下无法分割出目标, 得到的结果反而是鱼鳞光分布区域。文献[6]对小波去噪后图像采用梯度强度均值分割的算法检测出海天线, 运用基于行列均值的自适应阈值分割算法检测出红外舰船目标, 此方法虽能检测出目标, 但在分割后仍包含部分海面鱼鳞光区域。本文对文献[6]分割方法的阈值选取和条件判断做了改进, 在强阳光反射背景下可以得到较好的分割结果。

为减少海面、天空干扰和不影响后续的图像分割质量, 本文先利用均值漂移算法对红外图像进行预处理; 然后利用图像行垂直方向梯度均值投影并寻优得到感兴趣区域, 进一步缩小目标分割面积; 最后通过改进的行列均值分割实现红外舰船目标分割任务。实验表明: 该方法能在强阳光反射背景下有效地抑制天空云层和海面大面积杂波的影响, 获得较好的分割结果。

1 图像预处理

均值漂移算法 (Mean Shift) 可以实现图像的不连续保持性滤波^[7], 不仅可以滤除图像中的点噪声, 而且能够进行区域灰度聚类。将其用于强阳光反射背景下不仅可以降低海面鱼鳞光分散性而且能自适应地减小舰船目标显著边缘平滑, 有利于后续目标分割。

均值漂移算法是采用迭代计算的方式, 即先算出当前点的偏移均值, 移动该点到其偏移均值, 然后以此为新的起始点, 继续移动, 直到满足一定条件结束迭代计算。该算法自应用到图像处理中以来, 针对不同应用, 出现了多种偏移均值的表达形式, 文中采用 YiZong Chen^[8]的定义形式, 偏移均值表示为:

$$m_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{x_i - x}{h}\right) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{x_i - x}{h}\right) w(x_i)} \quad (1)$$

式中: $G(x)$ 是一核函数; $w(x_i) \geq 0$ 是一个赋给采样点 x_i 的权重; h 为一常数。

给定初始点、核函数和容许误差均值漂移算法循环的执行下面两步, 直至结束条件满足:

- 1) 计算 $m_h(x)$;
- 2) 如果 $\|m_h(x) - x\| < \varepsilon$, 把 $m_h(x)$ 赋给 x , 结束循环; 若不然, 把 $m_h(x)$ 赋给 x , 继续执行。

文中将红外舰船目标的空间信息和灰度信息统

一考虑, 组成特征向量 $x = (x^s, x^r)$, x^s 表示坐标, x^r 表示该坐标上对应的灰度特征; p 表示颜色通道数, 在红外灰度图像中 $p=1$; 采用高斯核函数估计 x 的分布, 其表达形式如下:

$$G_{h_s, h_r} = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} g\left(\frac{\|x^s\|^2}{h_s}\right) g\left(\frac{\|x^r\|^2}{h_r}\right) \quad (2)$$

式中: $g(x)$ 为高斯核函数的剖面函数; h_s, h_r 为控制着图像滤波平滑度的特定参数; C 为一保证 G_{h_s, h_r} 的积分为 1 的正数, 则 G_{h_s, h_r} 为估计灰度及空间信息分布的两高斯核函数的剖面函数复合而成的核函数。

分别用 x_i 和 z_i ($i=1, \dots, n$) 表示原始和平滑后的图像, 用 $y_{i,j}$ 来表示第 i 点使用核 G_{h_s, h_r} 在均值漂移过程中第 j 次迭代的位置, 由式(1)、(2)可表示为:

$$y_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{h_s, h_r}(x_i - x) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n G_{h_s, h_r}(x_i - x) w(x_i)} \quad (3)$$

由均值漂移算法原理, 用均值漂移算法对每一个象素点 $x_i = (x_i^s, x_i^r)$ 进行如下步骤:

- 1) 初始化 $j=1$, 并且使 $y_{i,1} = x_i$;
- 2) 运用均值漂移算法计算 $y_{i,j+1}$, 直到收敛, 记收敛后的值为 $y_{i,c}$;
- 3) 赋值 $z_i = (x_i^s, y_{i,c}^r)$ 。

考虑到处理时间和处理效果, 通过大量试验得到经验值 $h_s=8$, $h_r=16$, $\varepsilon=5$, 可以获得比较好的滤波效果。图 1(b)为运用均值滤波算法对典型海天场景图 1(a)滤波结果, 可以看出在舰船目标附近消除了大量海面鱼鳞反射波及天空云层干扰, 同时对海面鱼鳞波和舰船有聚类的效果, 使得鱼鳞波分布更集中, 有利于将舰船从鱼鳞波中分割出来。

2 ROI 获取

提取舰船目标感兴趣区域的传统做法是提取海天线, 这在海天线模糊或不存在海天线情况下容易发生误检。当存在海天线时, 舰船一般出现在海天线附近 (如图 2(a)所示), 由于天空和海面存在热辐射差, 在海天线过渡区域图像垂直方向梯度变化大; 当不存在海天线时, 海面干扰较小, 由于舰船大多呈扁平状、存在吃水线以及舰船附近水纹多出现水平分布, 在舰船附近垂直方向梯度变化也较明显。因此无论是否存在海天线, 舰船附近区域垂直方向梯度都会有较大变化。

由于强阳光反射背景下一般存在海天线, 天空灰度分布比较均匀而海面杂波干扰较强, 可以通过检测

第一个垂直方向梯度变化较大的行，再上下进行扩展来初步定位舰船区域。图2是图1(b)行垂直方向梯度均值投影图，可以看出在第105行附近垂直方向梯度开始有较大变化，此区域为海天过渡区域；而在105行之后垂直方向梯度变化则更为剧烈，这是由于强阳光反射背景下存在大量鱼鳞光反射的结果。



(a) 原始图像 (a) the original image



(b) 图 1(a)均值漂移滤波结果

(b) the mean shift filtering result of fig.1(a)

图1 对原始图像进行均值漂移滤波结果

Fig.1 The mean shift filtering result of original image

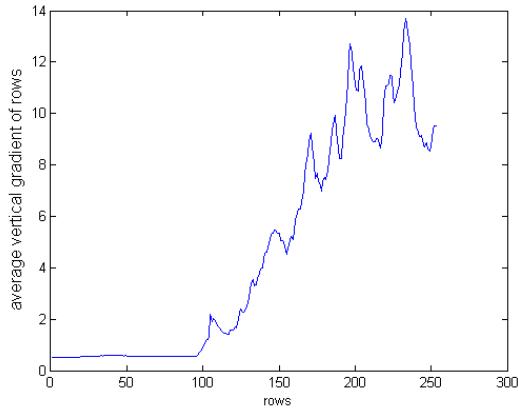


图2 图 1(b)行垂直方向梯度均值投影

Fig.2 The average vertical gradient projection of rows of fig.1(b)

设图像尺寸为 $M \times N$, (i, j) 是二维数字图像平面上的点, $f(i, j)$ 是经均值滤波后图像各点的灰度值。本文针对成像面积具有一定大小 (大于 5×5 像素), 且舰船成像高度不超过图像高度 $1/4$ 的舰船目标进行分割, 综合以上分析, 可以得出感兴趣区域 (ROI) 提取方法, 步骤如下:

1) 将图像与垂直向梯度算子 $[-1; 0; 0; 0; 1]$

相卷, 得到垂直向梯度 $I_y(i, j)$, 并记录于长度为 $M \times N$ 的数组中;

2) 垂直向梯度取绝对值, 计算各行行梯度均值, 为进一步消除杂波干扰, 取相邻 3 行平均值作为各行行均值, 得到行垂直方向梯度均值投影 $\text{Avg}_I_y(j)$, $j = 0, 1, \dots, M-1$, 并记录于长度为 M 的数组中;

3) 设定行垂直方向梯度均值阈值 th_1 , 通过大量

实验得到经验值: $\text{th}_1 = \frac{1}{3} \sum_{j=0}^{M-1} \text{Avg}_I_y(j)$;

4) 从第 $\frac{1}{8}M$ 行起, 每隔 10 行逐行比较, 直到找到满足以下条件的行 $\text{Avg}_I_y(j) - \text{Avg}_I_y(j-1) > \text{th}_1$, 将行数记为 T ;

5) 提取以下区域为 ROI 区域: $f(i, j), i = (T - M/8), \dots, (T + M/8); j = 0, 1, \dots, N$ 。

ROI 获取流程图如图3所示, 图4为图1(b)提取的舰船 ROI。

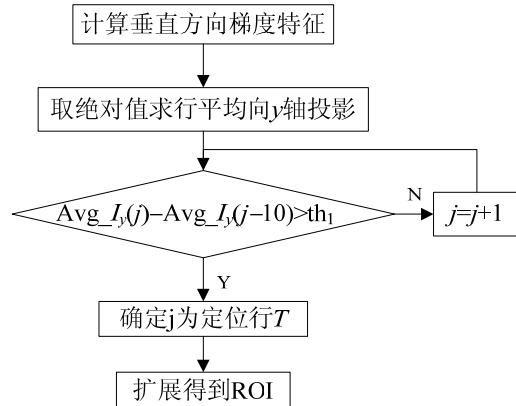


图3 ROI 获取流程图

Fig.3 Flow chart of ROI acquisition

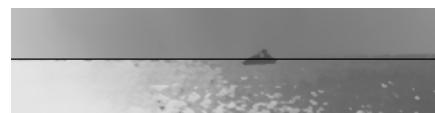


图4 图 1(b)提取的舰船 ROI (黑色直线为定位行)

Fig.4 The ROI extracted from fig.1(b) (the black line is the location row)

3 舰船目标分割

图像分割是一种将图像分割成若干个有意义区域的图像处理技术, 其中在分割出的各彼此独立的区域中可能包含潜在目标。图像分割的关键和难点是分割阈值的选取。

传统分割算法 (如 Otsu 阈值分割算法) 大多适用于海面背景较简单的场景, 对于海面存在大面积强鱼鳞光反射的场景, 由于鱼鳞波成像具有一定面积且

具有高灰度值,很容易发生误检。分析发现,当天气状况很好且摄像头呈逆光拍摄时,海面会存在大量大面积鱼鳞光反射,此时舰船红外辐射能量通常比海面背景的能量还低,舰船目标成像为暗目标。

杨明月等人针对红外舰船亮目标提出一种基于行列均值的自适应阈值分割算法^[6],计算图像各行列的灰度均值。对图像中任意一点,如果其灰度值减去所在行列均值均大于某阈值,则认为该点是潜在的目标区域中的点,并且置为白;否则认为是背景中的点被滤除,置为黑。另外,通过判断分割后面积最大的联通域的面积占图像的百分比,自适应获得最佳分割阈值。但文献[6]的算法存在以下几个不足之处:

1) 由于舰船目标面积大小不一,且海面存在大面积强鱼鳞光反射,因此通过判断分割后面积最大的联通域的面积占图像的百分比来确定阈值会存在大面积干扰;

2) 阈值用像素来衡量,对于具有不同对比度且海面杂波干扰较强的场景,得到的分割结果将包含大面积的鱼鳞波块;

3) 阈值不应设置为全局阈值,图像不同位置处因噪声大小不同应有不同的阈值;

4) 由于是海天场景,对于 ROI 中任意一点,行方向为单一场景(天空背景或海面背景),列方向为复合场景(天空背景和海面背景),因此列方向应比行方向约束更严格,阈值略大。

基于上述不足之处,本文改进了阈值的选取及分割结束条件,提出一种新的基于行列均值分割方法。行列阈值共有 5 种选择,依次为 ROI 中各点所在行均值和列均值的 1/2、1/2; 1/3、1/2; 1/4、1/3; 1/5、1/4; 1/6、1/5,初始行列阈值赋为行均值的 1/2 和列均值的 1/2。由于阈值的合理选取,已消除大量杂波干扰,可通过判断所得分割区域面积大小来最终确定阈值结束分割。

综合以上分析,可以得出求取 ROI 目标图像分割的方法,步骤如下:

- 1) 计算图像各行灰度均值 X_i ;
- 2) 计算图像各列灰度均值 Y_i ;
- 3) 给行列分割阈值赋初值: $th_r = X_i/2$, $th_c = Y_i/2$;
- 4) 对图像中任意一点 $f(i,j)$,若 $X_i - f(i,j) > th_r$ 且 $Y_i - f(i,j) > th_c$,则置为白,否则置为黑;
- 5) 判断分割后面积大小,若 < 50 ,则相应减小行列分割阈值;
- 6) 重复步骤 4)、5),以求得最佳阈值,得到 ROI 分割结果。

去掉分割图像中面积小于一定值和长宽比超过一定值的连通区域,得到最终 ROI 分割结果。图 5 为 ROI 分割流程图,图 6 给出了图 4 分割结果。将 ROI 分割结果向上下扩展一定零行可得到原始红外图像的目标分割结果。

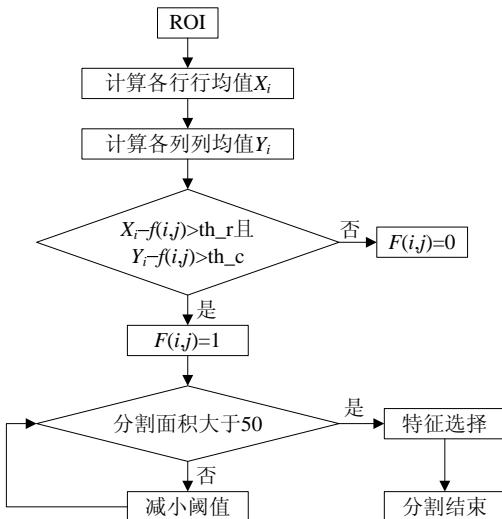


图 5 分割流程图

Fig.5 Flow chart of segmentation



图 6 图 4 分割结果

Fig.6 The segmentation result of fig.4

4 实验结果与分析

采用文中提出的舰船目标分割方法,对实际拍摄的强阳光反射背景下红外舰船图像进行了实验,图像大小为 320×254 ,如图 7 所示,图 7(a)、(b)为强鱼鳞光反射背景,图 7(c)为稠密鱼鳞光反射和黑带干扰的场景。本文算法对这 3 种不同场景分割结果如图 8 所示。实验中本文选取了 Otsu^[3]和文献[6]算法进行了结果对比,由于 Otsu 和文献[6]算法必须在已知目标和背景能量强度关系的前提下进行分割,因此在对图 7 进行分割时假设已知图像中目标灰度低于背景,设定阈值分割小于背景灰度的像素;图 9 是 Otsu 分割结果,图 10 是文献[6]算法分割结果。

从实验结果中可以看出,本文算法在场景中存在强鱼鳞光反射、稠密鱼鳞光反射和带状干扰时,均能准确分割出舰船区域;而 Otsu 方法对 3 种场景均无法分割出目标,目标完全淹没在海面和天空噪声中;文献[6]算法虽然能分割出目标,但由于海面存在较强干扰,分割结果仍包含大量海面噪声,无法获得较好的分割结果。这是由于这两种方法阈值均为全局阈

值,在海面存在大面积鱼鳞波干扰时,由于海面杂波灰度特性与舰船目标相近,分割结果包含大面积海面杂波。本文算法通过自适应设定局部阈值,保留目标的同时抑制海面杂波,可以在不同的实验图像中获得相对较好的结果。

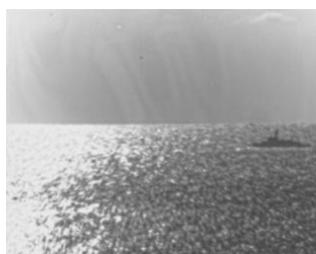
5 结论

海面舰船目标分割对于舰船目标自动检测和识别以及跟踪有重要意义。本文从工程应用中针对海面有强阳光反射时现有算法分割效果较差出发,通过均

值漂移方法抑制海面部分强杂波干扰,再对图像做行垂直方向梯度均值投影,获取舰船目标感兴趣区域,运用改进的行列均值自适应阈值分割算法,结合使用红外舰船目标的几何特征量达到自动分割的目的。该方法物理意义明确,对不同场景有很好的适应力,并能较好地抵抗大面积鱼鳞光干扰、水面带状干扰、强杂波等干扰,具有一定的工程应用价值。然而需要指出的是,当舰船目标为亮目标时,算法须作相应改进,如何让算法自适应地分割出双极性目标,这是今后需要进一步完善和提高的地方。



(a) 强鱼鳞光
(a) strong glint



(b) 强鱼鳞光
(b) strong glint



(c) 强鱼鳞光+黑带干扰
(c) strong glint and black stripes

图7 强阳光反射背景实验图像

Fig.7 The experimental images in strong sun-glint environment

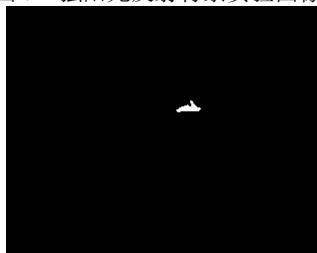


图8 本文算法分割结果



Fig.8 The segmentation results of the algorithm in this thesis

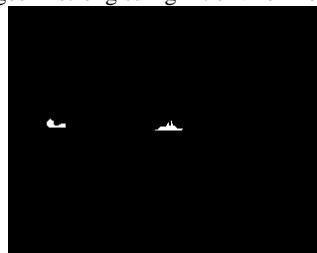


Fig.9 The segmentation results of Otsu algorithm



图9 Otsu 分割结果

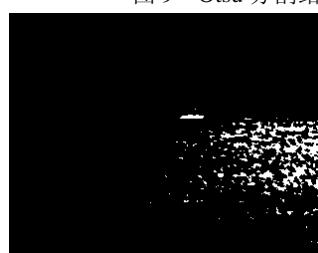
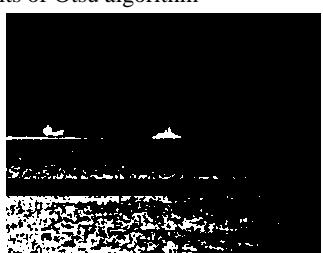


图10 文献[6]算法分割结果



Fig.10 The segmentation results of refs. 6



参考文献:

- [1] 陈钱. 红外图像处理技术现状及发展趋势[J]. 红外技术, 2013, 35(6): 311-318.
Chen Qian. The status and development trend of infrared image processing technology[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(6): 311-318.

- [2] Kim Sungho, Choi Byungin, Kim Jieun, et al. Three plot correlation-based small infrared target detection in dense sun-glint environment for infrared search and track[C]//Proc. of SPIE, 2013, 8393: 83930T1-7.

(下转第 745 页)

- [6] Sumeet Dua, U.Rajendra Acharya, Pradeep Chowriappa, et al. Wavelet-based energy features for glaucomatous image classification[J]. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine-TITB*, 2012, **16**(1): 80-87.
- [7] 李洋. 红外图像与可见光图像融合研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013: 19-23.
- [8] 李佳奇. 图像融合在视频交通信息检测中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2009: 36-43.
- [9] 孔韦韦, 雷英杰, 雷阳, 等. 基于改进型NSCT变换的灰度可见光与红外图像融合方法[J]. 控制与决策, 2010(11): 1607-1612.
- [10] 陈木生. 基于Contourlet变换和模糊理论的图像融合算法[J]. 激光与红外, 2012(6): 695-698.
- [11] Nannan Yu, Tianshuang Qiu, Feng Bi, et al. Image features extraction and fusion based on joint sparse representation[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2011(5): 1074-1082.
- [12] YANG B, LI S. Multifocus image fusion and restoration with sparse representation[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2010, **59**(4): 884-892.
- [13] 艾超. 基于方向小波变换的图像边缘检测算子研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013: 47-58.
- [14] 赵青, 何建华, 温鹏. 基于平均梯度和方向对比度的图像融合方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, **48**(24): 165-168.
- [15] 徐萌萌. 基于小波变换的图像融合算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014: 1-17.
- [16] Li Shu-tao, Yang Bin, Hu Jian-wen. Performance comparison of different multi-resolution transforms for image fusion[J]. *Information Fusion*, 2011, **12**(2): 74-84.
- [17] 许宏科, 秦严严, 陈会茹. 一种基于改进 Canny 的边缘检测算法[J]. 红外技术, 2014, **36**(3): 210-214.
- [18] 徐萌兮. 红外与可见光数字图像融合技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014: 1-27.
- [19] Li Shutao, Yin Haitao, Fang Leyuan. Remote sensing image fusion via sparse representations over learned dictionaries[J]. *IEEE T. Geoscience and Remote Sensing*, 2013, **51**(9): 4779-4789.
- [20] 王宇庆, 王索建. 红外与可见光融合图像的质量评价[J]. 中国光学, 2014, **7**(3): 396-401.

(上接第 732 页)

- [3] 邢莎, 吉林, 雍杨, 等. 复杂场景下的自动红外舰船目标检测[J]. 红外技术, 2014, **36**(4): 320-325.
Xing Sha, Ji Lin, Yong Yang, et al. Automatic infrared warship target detection under complicated background[J]. *Infrared Technology*, 2014, **36**(4): 320-325.
- [4] 赵菲, 卢换章, 张志勇. 自适应双极性红外舰船目标分割算法[J]. 电子与信息学报, 2012, **34**(10): 2432-2438.
Zhao Fei, Lu Huan-zhang, Zhang Zhi-yong. Adaptive bilateral polarity ship segmentation in infrared images[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, **34**(10): 2432-2438.
- [5] 陶文兵, 金海. 基于均值漂移滤波及谱分类的海面舰船红外目标分割[J]. 红外与毫米波学报, 2007, **26**(1): 61-64.
- TAO Wen-Bing, JIN Hai. Ship infrared object segmentation based on mean shift filtering and graph spectral clustering[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2007, **26**(1): 61-64.
- [6] 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): 638-640.
Yang Ming-yue, Yang Wei-ping. Automatic detection method of IR warship target in the complex sea-sky background[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(4): 638-640.
- [7] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis[J]. *IEEE Trans. PAMI*. 2002, **24**(5): 603-619.
- [8] Cheng Yizong. Mean shift, mode seeking, and clustering[J]. *IEEE Trans. PAMI*. 1995, **17**(8): 790-799.