文章编号:1001-5078(2012)12-1398-05　　·图像与信号处理·

海天背景下红外舰船自动目标识别算法

郭小威,马登武,邓　力
(海军航空工程学院,山东 烟台 264001)

摘　要:海天背景下红外舰船目标的自动识别是武器跟踪导引的重要内容。针对低信噪比和低对比度的红外图像,首先采取均值平滑滤波和指数增强对红外图像进行预处理,然后在 Sobel 算子检测梯度的基础上,采用最小二乘迭代拟合出海天线。通过区域生长与合并分割图像,提取出表征舰船目标的典型形状与灰度特征,并进行加权融合以实现对潜在目标的自动识别。实验结果表明该算法能以较高准确率实时识别出舰船目标。

关键词:舰船目标;图像增强;海天线;特征融合;自动目标识别
中图分类号:TN911.73　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.12.018

Automatic target recognition algorithm for infrared warship under sea-sky background

GUO Xiao-wei, MA Deng-wu, DENG Li
(Department of Armament Science and Technology, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Automatic recognition of infrared warship target is an important content for weapon's track and guidance under the sea-sky background. For the infrared images of low Signal-to-Noise Ratio and low contrast, mean smoothing filter and exponential enhancement are selected to preprocess the infrared images, and then least squares fit out the sky-sea line iteratively on the basis of detected iterative using Sobel operator. Image is segmented with the method of region growing and combination to get the typical shape and grey features representing the warship target, and automatic recognition of potential targets is carried out by fusing weighted features. Experimental results show that this algorithm can recognize the warship target in real time with high accuracy.

Key words: warship target; image enhancement; sky-sea line; feature fusion; automatic target recognition

1　引　言

海天背景下前视红外图像中舰船自动目标识别技术,是红外成像制导的关键技术之一。而在此复杂环境下获取的红外图像不仅噪声干扰大,并且由于受海面鱼鳞波反射、大气热辐射等的影响[1],图像信噪比和对比度较低。因此解决红外舰船目标的实时准确识别问题,对武器的跟踪制导性能的提高意义重大。

为提高红外图像处理的准确性和实时性,众多学者在图像预处理[2-3]、图像分割及特征提取[4]等方面做了大量研究工作,并创新出一系列方法理论[5-6]。本文通过分析所研究的舰船目标,在图像处理的基础上提取出多个目标特征,选用加权平均方法进行特征融合,提高图像中目标识别概率。

2　图像预处理

设所处理的红外图像 $f(x,y)$ 为 $M\times N$ 的阵列,灰度级为 256。

为消除图像噪声及高频海杂波的影响,识别系统采用均值滤波器对原始图像进行平滑处理,即选用如图 1 所示的 3×3 平滑滤波器掩膜处理图像。平滑后的图像为 $g(x,y)$,则有:

作者简介:郭小威(1986 -),男,博士生,研究方向为红外图像处理与自动目标识别。E-mail:hailangxianshen@163.com
收稿日期:2012-04-09

$$g(x,y)=\frac{1}{9}\sum_{i=-1,0,1}\sum_{j=-1,0,1}f(x+i,y+j) \tag{1}$$

式中，$x=2,\cdots,M-1$；$y=2,\cdots,N-1$，边缘不作处理。

$$\frac{1}{9}\times\begin{bmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{bmatrix}$$

图 1　3×3 平滑滤波器掩膜

红外图像中舰船目标一般亮度较高，处于高灰度区域，而海面及天空背景一般较暗。为了进一步相对抑制背景区域，增强目标区域，对图像进行指数变换以增强对比度。指数变换形式如下：

$$g(x,y)=255\frac{b^{c[f(x,y)-a]}-1}{b^{c[255-a]}-1} \tag{2}$$

其中，a,b,c 为调整参数。增强后的图像也能保证在可表达灰度级范围内。

以上处理可有效消除红外图像中高灰度噪声，并扩展了图像对比度，有利于图像的进一步处理。

3　海天线检测

海天线是红外舰船目标识别的重要特征。红外图像大致可分为天空、海天线和海面 3 个区域，海天线则是其中的窄条交界带。通常情况下，海天线不是一条直线，而是亮度由高到低的渐变带，并且带有一定的倾斜度。若直接应用直线拟合法求取海天线，往往受到舰船边缘和海面孤立亮区的影响而产生较大误差，甚至较大程度偏离真实位置。这里作出必要的调整和改进。

首先设海天线方程为：

$$y=Ax+B \tag{3}$$

其中，(x,y) 为红外图像像素点坐标。将图像沿行方向平分为 L 个条带，宽度为 K。提取出每个条带中海天线的位置，对这 L 个位置坐标点进行最小二乘拟合，得到海天线方程。

由于海天线基本上处于海天交界的水平位置上（虽有一定斜率），所以对预处理后的图像应用如图 2 所示的 Sobel 算子[7]作列方向上的梯度变换，即：

$$\begin{aligned}G(x,y)=&g(x+1,y-1)+2g(x+1,y)+\\&g(x+1,y+1)-g(x-1,y-1)-\\&2g(x-1,y)-g(x-1,y+1)\end{aligned} \tag{4}$$

−1	−2	−1
0	0	0
1	2	1

图 2　Sobel 算子模板

梯度变换后得到灰度值明显较大的海天线附近区域，若以每条带的行亮度均值最大原则来提取海天线位置[8]，则因倾斜度的影响误差较大。为此，计算每一条带每行像素的平均灰度值可考虑临近两行的影响，公式如下：

$$G'_{i,l}=\frac{1}{3K}\sum_{m=i-1}^{i+1}\sum_{n=(l-1)\times K+1}^{l\times k}G(m,n),$$
$$i=1,\cdots,M-1 \tag{5}$$

式中，$l=1,\cdots,L$，即计算出每个条带每行调整后的灰度值均值。

得出这些灰度值最大的一个，其位置纵坐标即为此条带海天线纵坐标的位置：

$$y_l=\arg\max\{G'_{i,l}\mid i=1,\cdots,M-1\} \tag{6}$$

应用得到的 L 个点 (x_l,y_l) 进行最小二乘拟合：

$$A=\frac{L\sum_{i=1}^{L}x_iy_i-\sum_{i=1}^{L}x_i\sum_{i=1}^{L}y_i}{D} \tag{7}$$

$$B=\frac{\sum_{i=1}^{L}x_i^2\sum_{i=1}^{L}y_i-\sum_{i=1}^{L}x_i-\sum_{i=1}^{L}x_iy_i}{D} \tag{8}$$

其中，$D=L\sum_{i=1}^{L}x_i^2-(\sum_{i=1}^{L}x_i)^2$，此方法克服了海天线斜率及其粗带的影响，但仍有可能因其他孤立亮区影响而产生 y_l 野值，须对其进行修正。

以各点距离拟合直线距离最大值 r 为评判标准，对 y_l 进行修正：

$$y_l=\begin{cases}y_l & ,\ \text{if } r<TH1\\ \underset{i\in S}{\text{mean}}\{y_i\} & ,\ \text{else}\end{cases} \tag{9}$$

其中，S 为 y_l 的临域，但不包括 y_l。

再次进行直线拟合，并判别 y_l 值，直至所有点距离拟合直线的距离都在阈值范围内，最终确定海天线的位置。

4　图像分割

获取海面红外图像的导引头一般高度很低，非常接近海面，因而获取的图像中舰船目标基本出现在海天线附近。因而，采用区域生长方法[9]分割目标时选取的种子点也应在海天线附近。

所以，种子点的选取准则为：将图像以一定间距分成多个矩形区域，选取每个区域中灰度值最大者，若其大于某一设定的阈值则选为种子点。选取的种子点可能不止一个。

区域生长规则如下：目标区域像素点集合序列设为 D，初始包含种子点。生长点表示为 d，以种子点作为起始生长点 d_{start}。若生长点的 8 连通临域中

存在 $d_{neighbor}$ 灰度值满足以下准则：

$$|f(d)-f(d_{neighbor})|<TH2 \tag{10}$$

然后判断集合序列 D 中是否存在点 $d_{neighbor}$，若无，则将其添加进去。

为防止目标区域沿渐变边缘无限制生长，连通域像素点还必须满足：

$$f(d_{start})-f(d_{neighbor})<TH3 \tag{11}$$

即是与种子点灰度值差不得超过某一阈值。

顺次提取下一个生长点按照上述两准则进行区域生长，直至 D 中再无新的生长点。最终的集合序列 D 即是目标区域范围，若有两个区域存在一点相邻，则将这两个区域合并成为一个区域。

由于成像系统即环境影响，红外图像中目标区域中容易出现小亮区和弱边缘的情况，为确保目标区域的合理生长，这就要求选取合适的值。本文根据预处理后的图像直方图分布情况，自适应确定阈值大小。

预处理后的图像中目标与背景的对比度得到了相对增强，直方图更趋于向两边集中，灰度值大的目标区域所占比例很小。所以，这里以灰度值大小的统计概率为基础，来确定阈值 $TH2$ 和 $TH3$。

首先利用“直方图拖尾”特性[10]来确定 $TH3$ 的数值。设 $P(i)$ 是灰度值为 i 的像素点数量占整幅图像的比率，显然有 $i=0,1,\cdots,255$。$Pc(i)$ 为灰度值累积概率，即是 $Pc(i)=\sum_{q=0}^{i}P(q)$。阈值 $TH3$ 定义为：

$$TH3=\max_{i=0}^{255}\{P(i)\}-\arg\{Pc(i)\geqslant 0.99\,|\,i=0,\cdots,255\} \tag{12}$$

式中，减号后面表示满足 $Pc(i)\geqslant 0.99$ 的第一个 i 值。上式限定了区域生长在灰度级最大的1%范围内进行，避免了区域过度扩张。另一阈值取为 $TH2=\frac{TH3}{3}$。

通过区域生长方法将红外图像分割成为二值图像以方便目标的特征提取。

5 舰船目标识别

5.1 特征提取

首先选取以下表示舰船目标的典型几何形状和灰度特征：

(1)面积(A)

描述区域的大小，具有 RT(旋转和平移)不变性。图像中目标区域 R 的面积 A 可用 R 中像素的个数来表示，即 $A=\sum_{(i,j)\in R}f(i,j)$。由于图像已是二值图像，所以有 $f(i,j)=1$。

(2)周长(G)

周长 G 用目标区域中相邻边缘点之间的距离和来表示。这里采用欧氏距离，即两个像素 $f(i,j)$ 和 $f(m,n)$ 之间的距离为 $d=\sqrt{(i-m)^2+(j-n)^2}$。

(3)细长度(E)

目标区域最小外接矩形的长宽比。

(4)矩形度(R)

定义为目标区域面积与其最小外接矩形之比。此特征随目标姿态变化不大，可以作为相对可靠的因素检测目标。

(5)位置(D)——距海天线距离

取目标质心到海天线的距离。

(6)平均灰度(I)

取分割后的目标区域所对应的原红外图像的灰度均值。

5.2 特征融合与目标识别

为综合体现不同特征对目标判断的贡献程度进行特征加权融合，这里应用简便实用的加权平均法。首先对特征归一化处理。

面积特征：

$$p_A=\frac{A}{A_{max}} \tag{13}$$

其中，A 为舰船目标面积；A_{max} 为红外图像中生长区域的最大面积。p_A 越大表示目标是舰船的概率越高。

同理，周长特征表示为：

$$p_G=\frac{G}{G_{max}} \tag{14}$$

细长度特征：

$$p_E=\frac{E}{E_{max}} \tag{15}$$

通常，根据舰船实际长宽比及样本图像的统计，E 范围为[1,5]，当目标姿态发生变化时，图像目标区域细长度变化尤其明显，所以必须结合其他特征进行综合判断。

矩形度特征：

$$p_R=\frac{|R_{near}-R_{th}|}{|R-R_{th}|} \tag{16}$$

其中，R_{th} 为表征舰船目标的最佳矩形度值，通过对样本统计分析一般取 $R_{th}=0.6$；R 为目标矩形度；R_{near} 为区域中最接近 R_{th} 的值。

位置特征：

$$p_D = \frac{D_{\min} + D_r}{D + D_r} \tag{17}$$

其中，D 为目标距海天线的距离；$D_{\min}$ 为图像中距海天线的最短距离；D_r 为当 $D_{\min} = 0$ 时的修正值，其他情况下 $D_r = 0$。

灰度特征：

$$p_I = \frac{I}{I_{\max}} \tag{18}$$

其中，I 为舰船目标区域平均灰度值，有 $I = \frac{1}{n}\sum_{(k,l)\in N} f(k,l)$；$n$ 为目标区域 N 内的像素数；$I_{\max}$ 为区域平均灰度最大值。

以上归一化特征概率组成特征矢量 $\boldsymbol{P}(p_A, p_G, p_E, p_R, p_D, p_I)$；根据各项特征在表征目标中的相对重要度确定权值向量 $\boldsymbol{W}(\omega_A, \omega_R, \omega_E, \omega_R, \omega_D, \omega_I)$，并且有 $\sum \omega_i = 1$。对样本值的实验显示，根据上述融合特征完成的舰船目标识别准确率很高，其融合概率可达 0.85 以上。

6　实　验

为验证本文方法的有效性，应用计算机在 Matlab R2009a 环境下进行软件编程仿真实验。原始红外图像是不同距离上实际拍摄的海面航行的舰船，图像大小为 256 × 256。图 3 ~ 图 5 是两组示例实验结果，其中图 5 中矩形框中区域为检测到的舰船目标。每幅图像处理时间不超过 30 ms，若应用硬件实现速度则可更快，完全可应用于舰船目标的实时监测和跟踪。

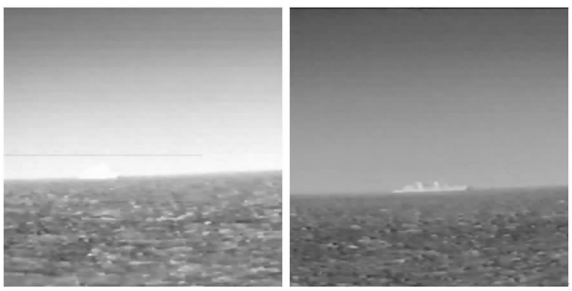

图 3　原始图像

图 4　图像预处理

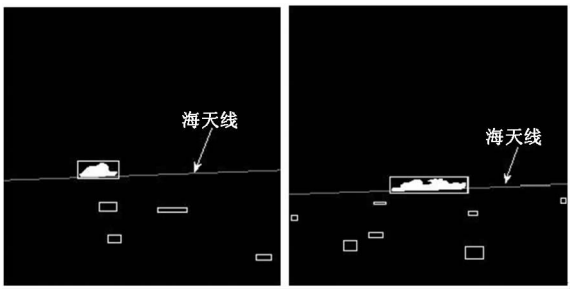

图 5　分割识别结果

7　结　论

文中针对海天背景下红外舰船目标成像特点，首先进行中值滤波和图像增强处理，提高了目标背景对比度。然后在分段拟合的基础上迭代修正出准确的海天线位置，通过提取出目标区域多个特征，运用加权平均方法进行特征融合，有效提高了舰船目标识别率。此方法为后续的目标跟踪处理工作提供了有利条件。

参考文献：

[1]　Lin Yiping, Shen Yijun, Xu Kaiyu. Research on infrared radiation characteristics of small target in complex marine environment and image simulation [J]. Infrared, 2009, 30 (8): 36 – 40. (in Chinese)
林逸平，沈轶军，许开宇. 复杂海洋环境中弱小目标的红外辐射特性研究及图像仿真[J]. 红外，2009，30 (8): 36 – 40.

[2]　Mohsen Ghazel, George H Freeman, Edward R Vrscay. Fractal-wavelet image denoising revisited [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 (9): 2669 – 2675.

[3]　Shi Dan, Li Qingwu, Ni Xue, et al. Infrared image nonlinear enhaneement algorithm based on contourlet transform [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29 (2): 342 – 346. (in Chinese)
石丹，李庆武，倪雪，等. 基于 Contourlet 变换的红外图像非线性增强算法[J]. 光学学报，2009，29 (2): 342 – 346.

[4]　Zhou Peide, Fu Mengyin, Huang Yuanshu, et al. Algorithms to extract thermal image edge [J]. Acta Armamentarll, 2007, 28(5): 524 – 527. (in Chinese)
周培德，付梦印，黄源水，等. 红外图像边缘提取的算法[J]. 兵工学报，2007，28(5): 524 – 527.

[5]　Cui Yuping, Liu Yongcai. Novel method of small target detection in infrared images [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(5): 587 – 591. (in Chinese)
崔玉平，刘永才. 新的红外图像小目标检测方法[J].

红外与激光工程,2005,34(5):587 - 591.

[6] Pian Zhaoyu, Meng Xiangping, Shu Yingli. Automatic identifi cation of salient object based on multi-features images [J]. J. Infrared Millim. Waves, 2009, 28 (4): 293 - 297. (in Chinese)
片兆宇,孟祥萍,舒英利. 基于多特征图像显著目标的自动识别[J]. 红外与毫米波学报,2009,28(4):293 - 297.

[7] Zuo Haorui, Zhang Qiheng, Xu Yong, et al. Fast sobel edge detection algorithm based on GPU [J]. Opto-Electronic Engineering,2009,36(1):8 - 12. (in Chinese)
左颢睿,张启衡,徐勇,等. 基于 GPU 的快速 Sobel 边缘检测算法[J]. 光电工程,2009,36(1):8 - 12.

[8] Liu Songtao, Shen Tongsheng, Han Yan, et al. Research on locating the horizontal region of ship target [J]. Laser & Infrared,2003,33(1):51 - 53. (in Chinese)
刘松涛,沈同圣,韩艳丽,等. 舰船目标海天线提取方法研究[J]. 激光与红外,2003,33(1):51 - 53.

[9] Tao Tangfei, Han Chongzhao, Dai Xuefeng, et al. An infrared image segmentation method based on edge detection and region growing [J]. Opto-Electronic Engineering, 2004,31(10):50 - 53. (in Chinese)
陶唐飞,韩崇昭,代雪峰,等. 综合边缘检测和区域生长的红外图像分割方法[J]. 光电工程,2004,31(10):50 - 52.

[10] Gao Lining, Bi Fukun, Long Ten, et al. Ship detection algorithm for optical remote sensing images [J]. J. Tsinghua Univ: Sci & Tech,2011,51(1):105 - 110. (in Chinese)
高立宁,毕福昆,龙腾,等. 一种光学遥感图像海面舰船检测算法[J]. 清华大学学报:自然科学版,2011,51(1):105 - 110.

福晶