

# 基于局部自相似性的遥感图像港口舰船检测

胡俊华 徐守时 陈海林 张振

(中国科学技术大学电子工程与信息工程系,合肥 230027)

**摘要** 针对高分辨率可见光图像中靠岸舰船的灰度特征和纹理特征与港口设施极为相似而难以自动检测的问题,提出了一种利用邻域自相似局部特征提取算子提取港口舰船局部显著性特征,经过特征空间分析,并利用先验知识信息,自动检测港口舰船的算法和处理流程。实验结果表明,该处理方法具有较好的可操作性和鲁棒性,能够快速准确地检测出港口舰船目标。

**关键词** 高分辨率遥感图像 邻域自相似局部特征 特征空间分析 先验信息

中图法分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)04-0591-07

## Detection of Ships in Harbor in Remote Sensing Image Based on Local Self-similarity

HU Jun-hua, XU Shou-shi, CHEN Hai-lin, ZHANG Zhen

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Technology and Science, Hefei 230027)

**Abstract** In high-resolution remote sensing images the gray-scale and texture features, of the ships docking in harbor area, are similar to that of the coast, so it is difficult to automatically detect them. A automatic ship detection method, which is based on a neighborhood self-similarity local salient feature extractor and further space analysis, combined with the utility of prior information, is presented. Experiments show that this method can detect ships in the harbor area accurately and efficiently, and is of high practicability and robustness.

**Keywords** high-resolution remote sensing images, neighborhood self-similarity local feature, feature space analysis, prior information

## 1 引言

高分辨率可见光图像中的目标识别一直以来都是图像目标识别和图像理解方面研究的重点领域,而舰船是重要的军事目标,实时有效地监视舰船的情况对于海洋运输、打击走私、军事作战等具有极为重要的作用。目前米级分辨率的可见光图像主要有分辨率 2.5 m 的 Spot-5 图像、分辨率 0.6 ~ 0.7 m 的 Quick bird 图像和 1 m 分辨率的 Ikonos 图像等,这些高分辨率遥感图像的出现拓宽了遥感技术的应用领域,基于高分辨率可见光图像的目标检测和识别成

了研究热点。

可见光图像中目标的检测和识别可以归纳成一种模式的匹配和识别过程,将图像中的某一部分与现实中的物体或者抽象的特征相对比,相符的程度超过某种度量标准即可认为检测出目标物体。高分辨率遥感图像舰船检测通常采用自适应阈值图像分割或者纹理分割的方法<sup>[1-2]</sup>,在实际的应用过程中对于大尺寸复杂背景遥感图像分割效果不佳。而对于港口内舰船的检测,可以将边缘表示为链码来表示停靠港口的舰船,检测 and 对比链码的特征实现对舰船的检测<sup>[3]</sup>,但在实际操作过程中,由于船身的纹理和灰度特征与岸上设施相类似,提取出完整连

收稿日期:2008-01-11; 改回日期:2008-03-27

第一作者简介:胡俊华(1980 ~ ),男,中国科学技术大学电子工程与信息科学系博士研究生。研究方向为图像处理、模式识别、遥感图像目标识别等。E-mail:icefox@mail.ustc.edu.cn

续的边缘就是一件非常困难和不稳定的事情。

港口停靠的舰船,种类和大小各异,同时船身受到缆绳、桥吊等附属设施与岸上设施相连以及阴影的影响,非针对性的特征提取无法区分舰船和港口设施。水面舰船本身需要具有高航速的特性,舰船首部被设计成一种“V”字形状,且船首部没有高大的船用附属设施,受阴影干扰少,所以舰船首部最适合作为识别舰船的区分特征。本文提出一种利用全局特征进行目标 ROI(感兴趣区域)粗定位,然后使用邻域自相似局部特征提取算子来提取局部显著性特征,进一步对特征空间进行分析,通过特征向量匹配得出显著性区域,对显著性区域进行二次特征提取和特征分析并辅以邻域海况判别,最终识别港口舰船首部,实现舰船检测的算法和处理流程。实验结果表明算法是可行且稳定的,符合实际的应用要求。

## 2 算法设计

图 1 给出了从遥感图像输入到港口舰船目标识别的主要流程,包括目标区域初定位、目标特征提取、目标检测几个阶段。一般情况下,高分辨率可见光图像在图像的获取和记录过程中,不可避免地存

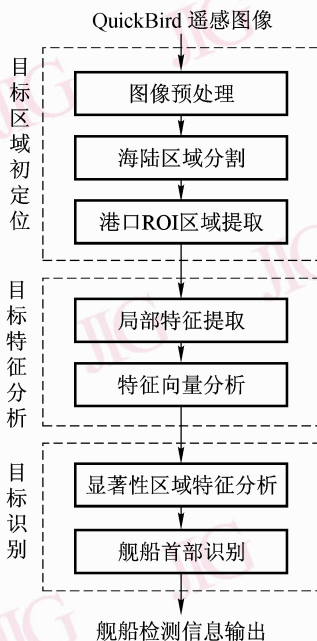


图 1 可见光图像目标获取和分析流程

Fig. 1 The flow of target acquisition and analysis in optical image

在一些斑点噪声和几何形变,因此需要对输入图像进行预处理,以有效地将这些干扰对识别的影响降到最低,对于去除斑点噪声较为常用的方法有中值平滑滤波、均值平滑滤波以及小波滤波等,考虑到简便和快速性以及后面的算法对噪声影响的容忍度较大,一次中值平滑滤波即可满足要求。

遥感图像中港口处在海陆交接地区,海上一侧灰度分布呈现灰度值低、方差小的特性,岸上一侧灰度分布呈现灰度值高、方差大的特性,反映在灰度直方图上就是一种双峰的灰度分布图,对于大尺寸的遥感图像(像素数  $10^7 \sim 10^9$ )先对图像进行下采样抽取成小尺寸图像,然后对图像进行增强处理,可以得到更为明显的双峰分布灰度直方图,根据背景与目标分割误差最小原则,双峰之间的波谷就是最佳分割阈值,用  $H(z)$  表示灰度直方图,选取的波谷应该满足:

$$\frac{\partial H(z)}{\partial z} = 0, \frac{\partial^2 H(z)}{\partial^2 z} > 0$$

具体方法如下:

- (1) 对原始图像进行直方图统计,分为 256 个灰度级;
- (2) 对所得到的  $H(z)$ , 进行中值滤波以去除毛刺,实验中选取窗口大小为 5;
- (3) 进行二次平滑滤波,窗口选为 2,进一步减小波动;
- (4) 对平滑后的直方图做一阶差分。

$H'(z) = H(z+1) - H(z)$ , 在直方图中检测两个最大的峰值,并在两个峰值之间检测差分值为负数变为正数的阶跃点,即为要检测的波谷点,对应的灰度值就是阈值,记为  $T_1$ ;

(5) 对原始图像  $I_0(x, y)$  进行灰度分割,灰度分割后的二值图像记为  $I_s(x, y)$ , 则

$$I_s(x, y) = \begin{cases} 255 & I_0(x, y) > T_1 \\ 0 & I_0(x, y) < T_1 \end{cases}$$

$I_s(x, y)$  中灰度为 0(黑色)的为海面,灰度为 255(白色)的为陆地,这样可以屏蔽掉大多数无关细节,通过上述方式分割以后会得到一个粗略的海陆二值掩码图像,但仍会有少量的斑点状噪声干扰,对  $I_s(x, y)$  进行一次腐蚀和膨胀,并将图像  $I_s(x, y)$  中的白色区域,逐个标记计算其面积,对于面积少于设定阈值  $T_2$  的白色区域认定为干扰直接滤除,  $T_2$

为最小海岛的尺寸。对分割后的图像提取黑白交界处半径为40个像素内的区域(0.5 m 分辨率下)作为沿海港口 ROI 区域。

### 3 局部特征提取

SUSAN (small univale segment assimilating nucleus)算子是一种直接利用图像局部灰度分布特性进行角点检测和边缘检测的方法,其原理是将图像中的每个像素与具有其相似灰度值的局部区域联系起来形成一个“USAN”区域,然后通过判断这个区域的特性来检测角点和边缘<sup>[4-5]</sup>,本文利用了这一局部自相似的思想,不同的是在“USAN”区域内引入了方向的概念,将其发展成一种局部的特征描述符。

从某种意义上说特征提取算子的作用就是将与提取算子最为相似的图像特征提取出来<sup>[6]</sup>,而局部区域中与周围邻域在特征空间中对比较大的区域称为显著性区域<sup>[7]</sup>,对于舰船检测来说,舰船首部“V”字形特征最为显著,针对这一显著特征定义一个局部自相似特征提取算子,如图2(a)所示,以圆形区域作为滑动窗口对原图窗口内的像素灰度值与窗口中心灰度值在不同方向的子区域内进行差异加权求和操作,得出特征描述符,展开后作为窗口中心像素点的特征向量,提取过程如图2(b)所示。

以 ROI 区域内的像素点  $r_0$  为窗口中心,按照下式求 16 个子区域内的像素点  $r_n$  与  $r_0$  的差异程度:

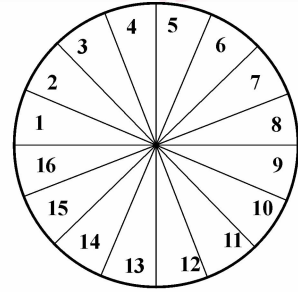
$$c(r_n, r_0) = \begin{cases} 1 & T_{\text{bottom}} \leq I(r_n) - \bar{I}(r_0) \leq T_{\text{top}} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

按照下式分别对每个子区域内的差异进行求和,得到特征描述符

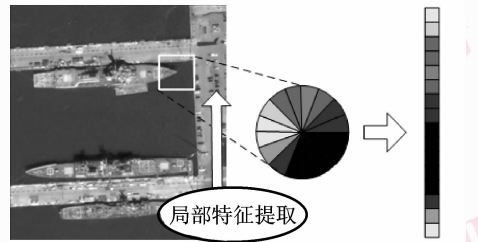
$$D(r_0, n) = \sum_{r_n} w(r) c(r_n, r_0) \quad (2)$$

$$1 \leq n \leq 16$$

式(1)与 SUSAN 算子基本一致,  $I(r_n)$  为以  $r_0$  为中心的滑动窗口内位于编号为  $n$  的区域内所有原图像素的灰度值,  $|T_{\text{top}}| \geq 3|T_{\text{bottom}}|$  且  $T_{\text{bottom}} \leq 0$ , 式(2)中的  $n(1 \leq n \leq 16)$  反映出了窗口区域内的像素点和在不同的方向上与  $r_0$  的差异,即引入方向的概念,  $D(r_0, n)(1 \leq n \leq 16)$  可以按照图2(a)中标明的顺序展开成为一个特征向量,  $w_i$  为 2 维高斯函数加权值或者平均加权。



(a) 局部自相似特征提取算子



输入图像 特征描述符 特征向量  
(b) 局部特征提取过程

图2 局部自相似特征提取算子和提取过程

Fig. 2 Local self-similarity feature extractor and local feature extraction

该局部特征提取算子窗口定义成圆形,具有旋转不变性,且提取的是局部的相似特征,不易受图像对比度和云的阴影的干扰。提取区域分成子区域,使得算子对遥感图像中轻微的仿射形变也有很好的适应性。

特征提取具体步骤如下:

在掩码图像  $I_s(x, y)$  指示为白色的部分即 ROI 区域扫描对应位置的遥感图像,每扫描到掩码图像  $I_s(x, y)$  为白色的像素则认为相同坐标位置对应的遥感图像  $I(x, y)$  为可能存在目标的有效区域,记当前扫描到的像素灰度值为  $I(r_0)$ , 取一个以  $I(r_0)$  为中心,半径为  $r$  的圆形窗口,如图2(a)所示。

在圆形窗口内按式(1)所示的原则,计算 16 个区域内的  $c(r, r_0)$  值,一共有 16 个方向,根据式(2)每个像素点得出一个特征向量,记这个特征向量为  $D(r_0, n)$ 。

继续使用式(1)、式(2),直到 ROI 区域内的每个像素点都会得到相应的特征向量。

通过对比实验,舰船首部特殊的形状和区域灰度分布特性,使得舰船首部区域的像素点所提取出来的特征向量的分布明显区别于其他像素点的特征

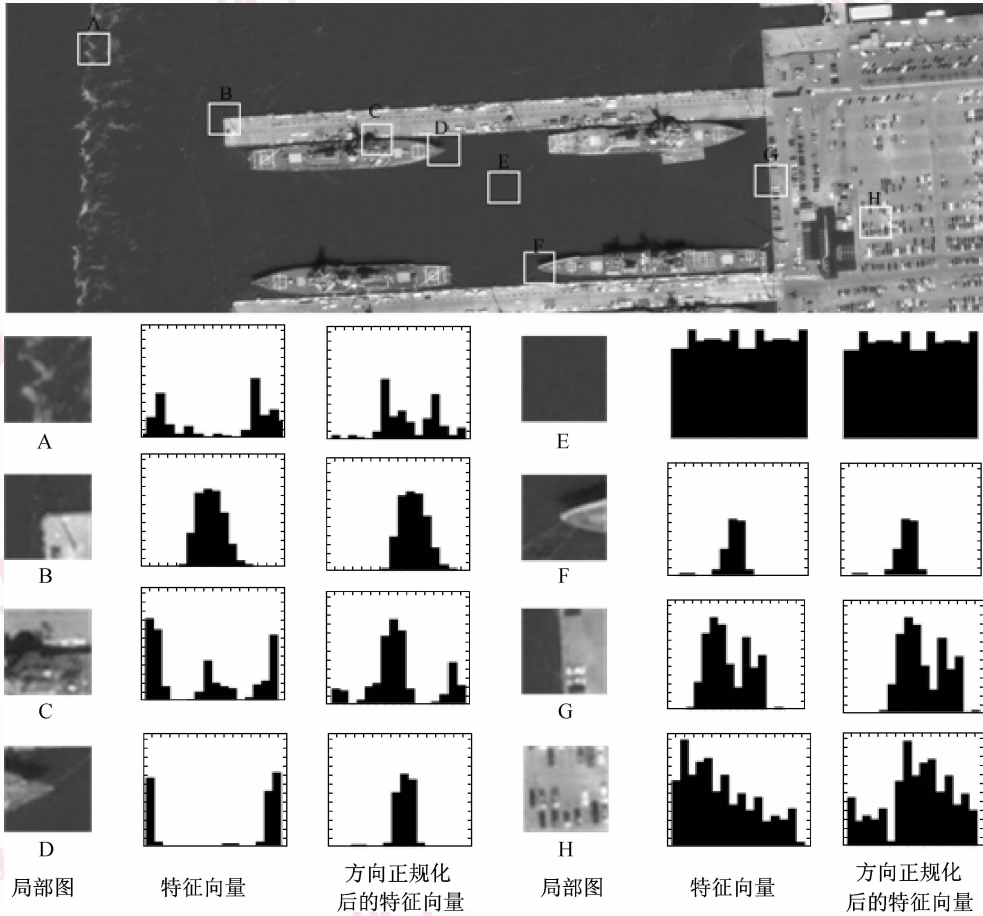


图 3 局部特征提取数据对比

Fig. 3 Local feature extracted data's comparison

向量的分布,如图 3 所示。

图 3 中在实际遥感图像中截取了 8 个局部窗口 (A ~ H),其中图 D 和图 F 是含有舰船首部的局部图像,其 16 维特征向量的数据经过方向正规化之后显示出与其他局部图像完全不同的统计特性,其直方图包络经过平滑后则呈现一种窄幅的高斯分布特性。对于图像方差较小的局部图 F 其分布图呈现一种较为平缓的均匀分布,其他的局部图的分布特性则呈现不规则的分布特性。

针对上述特性对图像中的点需要进行特征选择过滤,由于遥感图像处理时数据量大,对各个点的特征向量逐一和高斯分布的特征向量进行匹配,速度较慢也没有必要,为了快速筛选舰船首部的显著性点,这里采用一种简化的快速算法来筛选特征点,具体做法如下:

计算特征数组的前 4 个最大值,分别记为  $M_1, M_2, M_3, M_4$ 。

(1) 判断最大值  $M_1$  是否大于  $T_1 (T_1 = \pi r^2 / 32)$ , 大于则继续,否则不是显著性点,退出。

(2) 判断下式

$$\frac{\sum_{i=1}^3 M_i}{16} \geq 0.5, \frac{M_4}{M_1} \leq 0.3$$

是否成立,成立则继续,否则退出。

(3) 方向正规化,记  $n(M_1)$  为  $M_1$  值在特征向量中的编号  $n \in [1, 16]$ ,记录当前的  $n(M_1)$  为该特征点的方向值  $d = n(M_1)$ ,将特征向量循环位移,直至  $n(M_1) = 8$ ,效果如图 3 所示。

(4) 判断  $n(M_1), n(M_2), n(M_3)$  是否为循环相邻数字,是则认为是显著性点,否则退出检测下一个点。

通过上述的几个判断可以快速地检测出显著性点,在实际实验中,误差不会超过 5%,计算时间可

以节省 50% 以上。

## 4 局部特征提取

遥感图像背景复杂、数据量大,舰船首部的灰度分布与特征提取算子的特征相似,提取过滤出的显著性点数量多且集中,聚集成团块状,图像其余部分提取出的显著性点由图像噪声以及阴影等的干扰形成,由于噪声分布的随机性和均匀性,这些伪显著性点的分布呈现随机且零散的均匀分布,对掩码图像中 8 邻域相邻的显著性点所聚成的团块进行标记形成显著性区域,标记为  $R_i (i \in \mathbf{Z})$ ,并提取下列区域特征:

(1) 区域面积 以目标区域像素总数作为目标区域面积,不仅简单,而且是区域面积的无偏和一致估计:

$$S = \text{sum}\{\text{目标区域像素个数}\}$$

(2) 质心位置  $(\bar{x}, \bar{y})$  用一阶矩和零阶矩的比值表示:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}, m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q I(x, y)$$

(3) 方向 每个特征点区域块的每个点都对应特征向量和方向值  $d$ ,目标区域的所有方向值是大致相等或者相邻的,非目标区域的方向值则是杂乱、差异较大,计算区域内所有方向值的方差,方差小的则为目标区域,记整个显著性区域的方向值为

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i$$

(4) 尺寸特征 长度和宽度是体现目标尺寸的重要参数,对于特征点组成的块来说,其受到船首本身尺寸的限制,也有一定的尺寸,本文用最小外接矩形(MER)来度量目标尺寸,目标的 MER 长轴方向是和显著性区域的方向大致一致的。

(5) 占空比 特征点区域的面积和其最小外接矩形面积的比值,是一个对于二值图像中排列的紧密关系的度量。对于舰船首部来说其显著性点的排列更加紧密,所以可以用来区分目标和干扰。

(6) 平均亮度 目标本身的灰度分布决定了显著性区域范围内的灰度分布是在一定的区间内的,可以通过统计显著性区域内对应位置的原图像素的灰度均值得到:

$$\bar{I} = \frac{1}{S} \sum_x \sum_y I(x, y)$$

式中,  $S$  为显著性区域的面积。

(7) 停靠位置先验知识 港口舰船目标属于人工目标,其停靠的位置和方式决定了其周围的灰度分布特征,对可疑目标区域周围的灰度进行取样,如图 4 所示,在原图上根据显著性区域的质心位置对其周围的灰度信息进行取样,分为 A, B, C, D 4 个区域,4 个采样区域的位置信息为

$$p_{\text{sample}} = p + r_0 e^{i(\pi + \frac{\pi}{2}n - \frac{2\pi d}{16})} \quad (3)$$

式中,  $d$  为特征点区域的方向值,  $p$  为特征点区域的质心位置,  $p_{\text{sample}}$  为  $n$  取 1 ~ 4 时分别代表 A, B, C, D 4 个采样区域的中心点位置。舰船首部的前方一定距离内是海洋,后方是船身,前方的区域内灰度和方差均小于后方的区域灰度的均值和方差,舰船的两侧也一边是海域一边是港口,岸上的反射度大其灰度也大于海域的灰度值,利用这些先验知识来识别舰船首部。

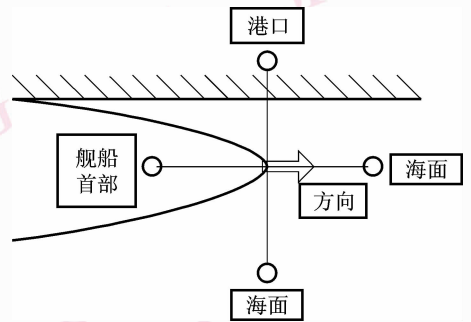


图 4 舰船首部周围灰度分布采样图

Fig. 4 Gray distribution sample area around ship's head

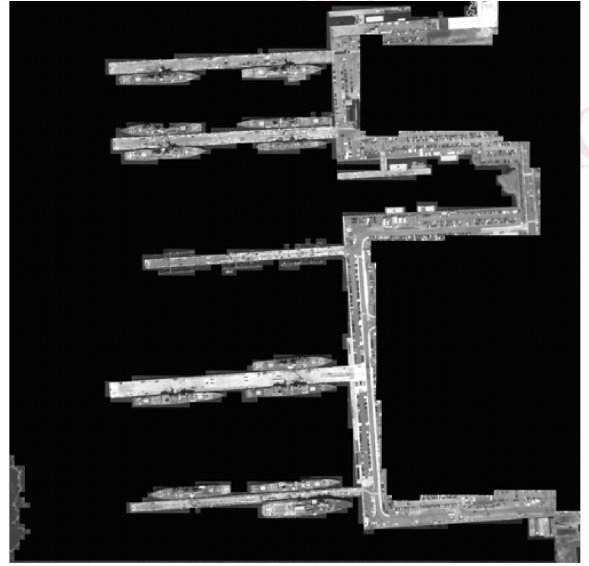
综合上述区域特征和先验知识可以准确地检测出位于舰船首部的显著性区域并且通过其方向值得出舰船的停靠方向,实现了舰船检测的目标。可以进一步利用舰船尺寸的先验知识,依据船首位置以及停靠方向截取最大尺寸舰船的局部图像,经过 OTSU 分割和形态学滤波后,利用舰船首部的显著性点作为种子点进行区域生长,区域生长过程中只是向舰船停靠方向的区域进行生长,可以有效地得到舰船区域从而精确识别舰船。

## 5 实验结果及分析

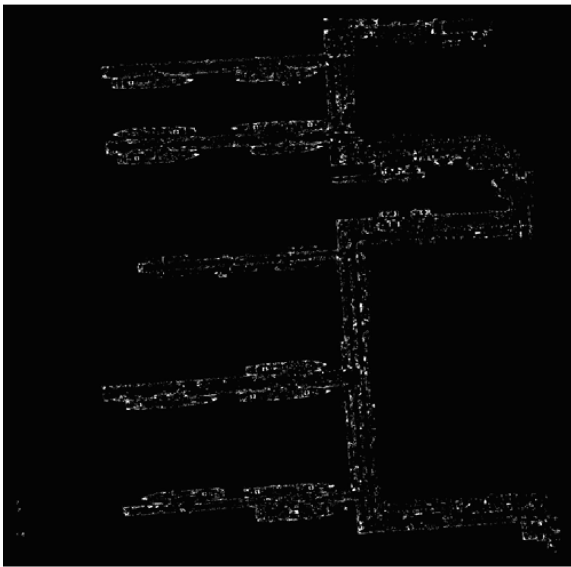
图 5(a) 为一个港口的可见光遥感原图,分辨率为 0.55 m,尺寸为 1 621 × 1 596,检测目标为 6 艘驱逐舰



(a) 原始图像



(b) 港口 ROI 区域提取结果



(c) 显著性区域提取结果



(d) 检测结果

图 5 港口舰船目标检测结果图

Fig. 5 The result of ship target detection

舰,4 艘级巡洋舰,1 艘护卫舰和 1 艘补给舰。图 5(b)是经过海陆分割后进行 ROI 区域定位后的结果。图 5(c)为局部特征提取算子提取的显著性点所构成的显著性区域。由图 5(d)的检测结果可以看出检测所有的 12 个目标,圆圈标明了舰船首部的具体位置,并给出了舰船整个区域的识别结果。图 6 为图 5 检测结果的局部放大图,图 6(a)为显著性区域检测结果的局部放大图,红色区域是提取出的显著性区域,但是不符合上节提出的各项区域特征,

绿色区域为符合区域特征的显著性区域,图 6(b)为利用地理先验知识进行显著性区域的进一步筛选,绿色,黄色,红色,蓝色的点分别代表图 4 所示的 A, B, C, D 4 个采样区域,4 个点一组表示一个显著性区域的周围灰度分布采样位置,其中标有圆圈的是既符合区域特征又符合停靠位置先验信息的显著性区域,也就是最终的舰船首位检测结果。对图 6 中的 4 个识别出特征点区域进行编号,然后对目标区进行特征提取分析,结果如表 1 所示。



图6 舰船检测过程局部放大图

Fig. 6 Enlarge image of ship detection result

表1 目标特征参数分析结果

Tab. 1 The result of analysis for target's feature parameters

目标编号	区域面积	质心	方向(度)	尺寸(长宽比)	占空比	平均亮度
1	65	(320,369)	7.99	1.857	0.714	109
2	71	(656,352)	6.08	2.090	0.561	131
3	80	(547,427)	189.39	1.736	0.637	141
4	78	(896,403)	181.76	3.166	0.684	120

## 6 结论

本文提出的处理流程充分考虑了舰船在可见光遥感中的显著特征,具有抗干扰性强,速度快等特点,但由于篇幅限制没有给出对于多尺度特性的估算,实际应用中对于尺度变化较大的图像采取多尺度高斯滤波<sup>[6]</sup>形成金字塔型数据结构进行多尺度的目标检测,同时在海况较为复杂时需要适当的人工干预,有进一步改进和延伸的空间,因此我们还会继续完善处理流程。

### 参考文献 (References)

- Xiao Li-ping, Cao Ju, Gao Xiao-ying. Detection for ship targets in complicated background of sea and land [J]. Opto-Electronic Engineering, 2007, **34**(6): 6-10. [肖利平, 曹炬, 高晓颖. 复杂海地背景下的舰船目标检测[J]. 光电工程, 2007, **34**(6): 6-10.]
- Long Gang, Cheng Xue-quan. Detection of remote sensing image [J]. Computer Simulation, 2007, **24**(5): 198-201. [隆刚, 陈学俭. 高分辨率遥感图像港内舰船的自动检测方法[J]. 计算机仿真, 2007, **24**(5): 198-201.]
- Jiang Li-bing, Wang Zhuang, Hu Wei-dong, et al. An AIAC-based inshore ship target detection approach [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, **22**(1): 88-94. [蒋李兵, 王壮, 胡卫东等. 一种基于可变夹角链码的靠岸舰船目标检测方法[J]. 遥感技术与应用, 2007, **22**(1): 88-94.]
- Zuniga O A, Haralick R M. Corner detection using the facet model [A]. In: Proceedings of Conference on Compute Vision and Pattern Recognition [C], Washington, DC, 1983: 30-37.
- Smith S M, Brady J M. SUSAN- a new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, **23**(1): 45-78.
- Krystian Mikolajczyk, Cordelia Schmid. Scale & affine invariant interest point detectors [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, **60**(1): 63-86.
- Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, **20**(11): 1254-1259.

1 Xiao Li-ping, Cao Ju, Gao Xiao-ying. Detection for ship targets in