

一种基于活动基模型的近岸舰船检测算法*

李斌^{1,2,3} 孙显^{1,2} 吴其昌^{1,2} 郭智^{1,2}

(1. 中国科学院电子学研究所 北京 100190; 2. 中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室 北京 100190;
3. 中国科学院大学 北京 100190)

摘要: 针对高分辨率遥感图像近岸舰船的灰度与纹理特征与港口极其相似而较难实现舰船自动检测的问题,提出了一种基于活动基模型的近岸舰船检测算法。首先,学习船头的活动基模型来表示船头先验;然后,通过模板匹配来检测船头;最后,通过分析船头对称性来确定舰船主方向,并利用区域生长与上下文信息定位船身。实验结果表明,该方法不仅能够有效检测近岸舰船,而且对于舰船有附属物干扰的情况下,仍能取得好的检测效果。

关键词: 活动基;共享草图算法;舰船检测;上下文分析

中图分类号: TP2 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 520.604

Method on inshore ship detection based on active basis model

Li Bin^{1,2,3} Sun Xian^{1,2} Wu Qichang^{1,2} Guo Zhi^{1,2}

(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Key Laboratory of Spatial Information Processing and Application system Technology, Institute of Sciences, Beijing 100190, China;
3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: The gray-scale and texture characteristics of ships, anchoring in harbor area, are extremely similar to that of the coast in high-resolution remote sensing images. Thus it is difficult to detect the ships automatically. An inshore ship detection method which based on active basis model is proposed. First, the ship bow's prior information is expressed by learning active basis model of the ship head. Then, the head is detected by matching the template. Finally, the main direction of the ship is gained by analyzing the symmetry of ship heads. And the ship body is located by region growing and the full utility of the context information. The experiments show our method is able to detect many kinds of ships effectively, even in the complex situation such as disturbances of attachment.

Keywords: active basis; shared sketch algorithm; ship detection; context analysis

1 引言

遥感图像的目标检测识别是遥感图像解译研究的重点领域^[1-3]。舰船作为重要的海洋目标,实时有效的获取舰船的基本信息对于军事作战、港口监视、渔业管理等方面都有重要的应用^[1,2,20]。目前,大多数的舰船检测算法^[4-5]都围绕 SAR 图像展开,且已比较成熟。而在光学图像中,海洋背景下的舰船检测也已有广泛研究^[7-9],但对近岸舰船检测的研究相对较少。在近岸舰船检测中,海陆分割是检测中的重要步骤^[21]。由于舰船与港口背景在颜色、纹理等方面极为相似,而且舰船与港口连接较为紧密,

因而不易实现舰船的自动检测。当前近岸舰船检测的方法主要分为以下3大类。

第1类是基于地理先验的方法,在文献[10-11]中,港口的地理信息预先以模版形式保存起来,在舰船检测时用港口先验信息除去港口,然后再用分割的方法除去海水背景,得到检测结果。这类方法虽然检测准确率较高,但港口先验信息与待检测图像的精确匹配很难实现,匹配精度严重影响检测的结果。

第2类是基于边缘匹配的方法,文献[13]用可变夹角链码描述舰船的轮廓,通过匹配舰船轮廓模板与待检测物体的模板以实现舰船的检测。文献[12]采用相类似的思

收稿日期:2015-01

* 基金项目:高分辨率对地观测青年基金项目(GFZX04060103-5-17)

路,不同的是用改进的广义霍夫变换来描述舰船的轮廓。文献[15]以局部 Hausdorff 距离描述模板轮廓与待检目标轮廓的相似度来实现舰船检测。这类方法需要较好的提取连续的舰船边缘,在波浪干扰等复杂情况下效果不好。

第3类是基于局部显著特征的方法,文献[16]用局部自相似性算子来检测舰船头部的“V”字形进而根据舰船停靠的先验信息来确定舰船位置。文献[17]用抛物线拟合舰船的船头,然后分析舰船停靠的上下文先验来准确确定舰船的位置。此类方法较好的利用了目标的局部特征,但其在船头受到干扰或海面情况较复杂的情况下效果较差。

针对以上问题,提出了一种基于活动基模型的近岸舰船检测算法。针对前面3类方法在附属物干扰和波浪干扰下效果较差的问题,用活动基模型来描述船头先验,该模型允许舰船船头的尖锐程度有一定变化的,并且对船头受到附属物、波浪等干扰的鲁棒性较好。针对复杂海面情况影响检测效果的问题,充分利用匹配好船头的宽度与主方向,以一较小矩形圈定船身的可能位置。通过在这一较小矩形内定位船身来成功去除周围复杂的海面情况。最后利用上下文信息来精确定位舰船的位置。实验证明了该方法的准确性与鲁棒性。

2 活动基模型的舰船检测算法

图1显示了基于活动基模型的近岸舰船检测的流程。包括船头检测与船身定位两部分。在船头检测部分:首先,选择1组大致对齐姿态相近的船头作为训练样本,由于考虑到不同舰船的船头会略有变化,所以在选取样本时,尽可能包含不同类型船的船头;然后,通过共享草图算法,将船头的先验信息用活动基模型来表示;最后,用学习到的船头模板对待检测图像进行船头匹配以检测船头。在船身定位部分:首先,对检测到的船头进行对称性分析以获取舰船的主方向;然后,根据主方向和船头的宽度确定舰船的粗略位置,并在这粗略位置上进行分割;最后,通过改进的区域生长方法与上下文分析得到舰船的最终位置。

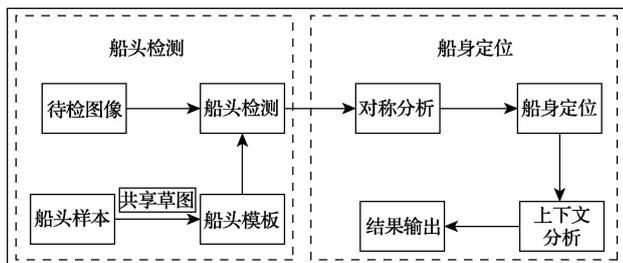


图1 基于活动基模型的近岸舰船检测流程

2.1 船头的活动基表示

近岸舰船种类各异,大小不一。但其船头一般呈现半

米粒状,因此,船头可以作为舰船检测的重要先验。基于超完备机制的图像稀疏能够表征图像先验信息^[6]。但不同舰船船头的尖锐程度也不同,传统的基于形状分析检测船头的方法在处理不同尖锐度的船头上已经不再适用。且在实际情况中,波浪与附属物对船头的干扰将使船头的尖锐情况发生更大变化。而活动基在表达物体先验时,能够允许物体在方向与尺度上发生一定的变化。因此,提出一种基于活动基表达船头先验的方法来检测船头。根据文献[21],图像 I 可以分解为一组 Gabor 小波的线性的表示,即:

$$I = \sum_{i=1}^N c_i B_i + \epsilon \quad (1)$$

式中: B_i 为 Gabor 小波基, c_i 为对应 Gabor 小波基的系数, ϵ 为分解后残差。对同一类样本图像,第 m 个样本可以由式(2)表示:

$$I_m = \sum_{i=1}^n c_{m,i} B_{m,i} + \epsilon_m \quad (2)$$

$$B_{m,i} \approx B_{i,i=1,\dots,n} \quad (3)$$

式中: $B_{m,i}$ 为由 B_i 在一定范围内平移,旋转所得到的另一 Gabor 小波基, c_i 为图像 m 用小波基 $B_{m,i}$ 滤波的响应, ϵ_m 为图像用一组小波基滤波后的残差。为了定义 $B_{m,i} \approx B_i$ 设定:

$$B_i = B_{x_i, y_i, s, \alpha_i} \quad (4)$$

$$B_{m,i} = B_{x_{m,i}, y_{m,i}, s, \alpha_{m,i}} \quad (5)$$

当且仅当存在 $(d_{m,i}, \delta_{m,i})$ 满足以下条件时, $B_{m,i} \approx B_i$ 成立:

$$x_{m,i} = x_i + d_{m,i} \sin \alpha_i \quad (6)$$

$$y_{m,i} = y_i + d_{m,i} \cos \alpha_i \quad (7)$$

$$\alpha_{m,i} = \alpha_i + \delta_{m,i} \quad (8)$$

$$d_{m,i} \in [-b_1, b_1] \quad (9)$$

$$\delta_{m,i} \in [-b_2, b_2]$$

式中: $d_{m,i}$ 表示 B_i 沿其法方向移动的距离, b_1 表示允许沿法方向移动的范围, $\delta_{m,i}$ 表示其沿原来的方向逆时针旋转的方向, b_2 表示允许方向变化的范围,根据式(6)和(7),可以得知 Gabor 基在表示图像先验时,可以允许其受到轻微扰动。

这些扰动包括,沿着其法向方向轻微移动,轻微移动其倾角。详细示意如图2所示。在图2中,船头模板用活动基表示,每个具有一定位置和方向的椭圆代表一个活动基,左上方的黑色椭圆表示基本的活动基。通过在一定范围内沿其法向移动位置和旋转其方向角,基本的活动基可以演变成其他的活动基(如图中蓝色椭圆所示)。因此, Gabor 基在表达相近的图像时,允许其在方向、旋转和尺度上发生一定的变化来适应不同的图像。可以用共享草图算法^[19]来表达船头的先验。

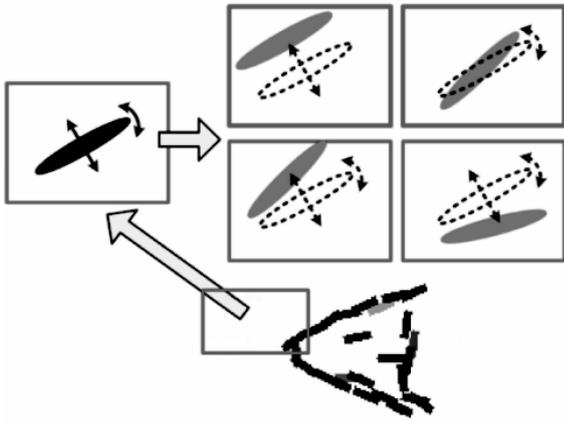


图2 活动基示意

共享草图算法：给定少量大致对齐并且物体姿态相近的训练图像 $\{I_m, m = 1, \dots, M\}$ ，可以最小化函数式(10)来学习到通用模板 $B = (B_i, i = 1, \dots, n)$ 和它的变形模板 $\{B_m \approx B, m = 1, \dots, M\}$

$$\sum_{m=1}^M \| I_m - \sum_{i=1}^n c_{m,i} B_{m,i} \|^2 \quad (10)$$

具体步骤见文献[18]，通过此算法，可以得到表示船头的活动基模型。

2.2 船头检测

在学习到活动基 $B = (B_{i,i=1,\dots,n})$ 后，可以通过将学习到的模板在待检测图像 I_k 上进行匹配来检测可能存在的目标。其匹配分数为：

$$MATCH(I_k, B) = \sum_{i=1}^n \theta_i [I_k, B_{k,i}] \quad (11)$$

$$\theta_i = \sum_{m=1}^M [I_m, B_{m,i}] / M \quad (12)$$

式中： I_k 代表第 k 幅测试图像 n 为用于表达船头先验的活动基总数目， $B_{k,i}$ 为学习到的活动基 B_i 经过式(3)变换后在待检测图像 I_k 上的最佳匹配的活动基元， I_m 表示之前用于学习船头模板的第 m 幅训练图像， $B_{m,i}$ 为活动基 B_i 在其最佳匹配活动基元。 M 为训练图像总数。 $[I_m, B_{m,i}]$ 表示图像 I_m 在基元 $B_{m,i}$ 的响应。具体算法见文献[19]。取匹配分数较高的前5个图像区域作为船头的可能位置，以此来实现船头的检测。

2.3 虚警滤除

活动基能够很好的描述有一定变化的船头，但在最大似然匹配过程中，只能检测到一个船头。考虑实际情况中可能有多艘船停靠在岸边的情况，在实际的操作中，选取与船头匹配值最大的前5个作为船头的候选目标。在检测到船头位置后，可以通过对船头边缘与船头区域的灰度值来滤除明显的虚警。考虑到船头不易受阴影干扰且船头灰度值比周围的海水灰度值要高的情况，首先对原图进行 OTSU^[20] 自动域值分割。在分析船头的边缘与区域灰度时，由于学习到的船头由活动基组成，存在边缘不连接的地方。于是，首先通过膨胀来连接船头的细小缝隙，然后取膨胀后

船头的边缘，并将其映射到 OTSU 分割后的图上，定义膨胀后船头边缘在船身中的比值为：

$$areaedge = \frac{C(edgeinship)}{C(edge)} \quad (13)$$

式中： $C(edge)$ 为膨胀后船头边缘所占的像素总数目。 $C(edgeinship)$ 为边缘在船身（即分割后对应值为 255 的像素）上像素总数目。若船头匹配较为准确，经膨胀后，船头边缘就略向外伸展，映射到船身的像素总值就比较少，如果船头匹配到船身上，则这些值会比较大。根据实验给定一域值 th_edge ，当 $areaedge$ 大于 th_edge 时，认为船头匹配不准确。从而去除船头匹配到船身的虚警情况。

对于膨胀后的船头，求取其最小外接矩形并将最小外接矩形区域对应到原图上，定义原图上船头面积与最小外接矩形面积的比值为：

$$arearatio = \frac{S(ship)}{S(rec)} \quad (14)$$

式中： $S(ship)$ 为最小外接矩形区域内船的面积， $S(rec)$ 为最小外接矩形的面积。给定一域值 th_area ，若学习到的船头为真正的船头，则 $arearatio$ 的值应较大，若学习到的船头对应原图在海水中，则 $arearatio$ 较小，因而可以通过判断 $arearatio$ 与 th_area 的大小来去除船头匹配到海面情况下的虚警。

2.4 对称性分析

在去除明显虚警后，为充分利用学习到的船头，利用船头有端比较尖且具有对称性的特点，首先对膨胀后的船头求取最小外接矩形，以两长边中心点的连线将最小外接矩形分成 2 部分，通过分析 2 部分船身的面积取面积较小的那部分作为船头所在的位置，以外接矩形两短边中心点的连线作为船头的主方向。然后将分析结果映射到原图上。考虑到船头的主方向可能存在一定误差，以最小外接矩形远离船头那条短边的中心点为参考点，分析映射到原图区域上的对称轴，取其对称性最好的方向 (dir) 作为船的主方向。最好对称轴方向 (dir) 满足：

$$dir = \arg \min_i S(i) \quad (15)$$

式中：

$$S(i) = \sum_{j=0}^{359} |h(j) - h((2i - j + 360) \% 360)| \quad (16)$$

式中： j 示方位角， $h(j)$ 表示学习到的船头中以参考点为原点，方向角为 j 的象素点的总数目，假设船头关于方位角为 i 的方向对称，则与方位角 j 关于方位角 i 对称的方位角为 $(2i - j + 360) \% 360$ ，通过计算其差值的最小值得出对称轴的方位角。然后以此主方向对原图中船头进行对称性分析。定义对称性精度为：

$$Sym = \frac{abs(S(up) - S(down))}{S(Rec)} \quad (17)$$

式中： $S(up)$ 表示由主方向分最小外接矩形的上半部分舰船的面积， $S(down)$ 对应主方向分最小外接矩形下半部分舰船的面积， $S(Rec)$ 对应最小外接矩形的面积。如果对称

性比较好,则 Sym 较小。根据实验结果取一较小域宽 th_sym 作为可以接受对称性 Sym 的值。

2.5 船身定位

在分析完船头对称性与主方向后,根据主方向与船宽可以确定舰船的大致位置了。于是,可以用一矩形在原图中圈出舰船的大致位置。考虑求主方向时可能存在误差,矩形的宽度比最小外接矩宽稍大。矩形的长度为船头沿主方向延伸直到图像的边缘。这样做的好处在于进一步缩小了舰船的位置,只需分析图片一个切片来确定舰船位置而不用理会图片的其他部分,避免了其他位置对舰船检测所造成的影响。

确定舰船的宽度与长度:考虑到学习到的船头宽度与实际宽度一样,该文取舰船的宽度是最小外接矩形的宽度。首先,对上述矩形在原图中圈出的切片进行 OTSU^[20]分割;然后,采用文献[17]中计算船身长度的方法来确定船的上另一端。不同的是,增加了搜索停止的条件: $ratio(A) < th_a$, 其中, th_a 取 10^{-6} 。即根据下文,船尾的一端为水,另一端为船身。在确定船宽和船长后,再根据舰船的长与宽去除一些明显的检测虚警。

2.6 上下文分析

在上述检测算法中,存在2个问题,一是针对某一个船头,由最大似然匹配学习到的船头有多个与之对应。另外一个问题是,针对某一个学习到的船头,在分析对称轴方向时,存在少许的偏差。在实验中,船头的主方向偏差 1° ,舰船的生长结果就有很大的偏差。通过定义上下文信息来解决这2个问题。对于第2个问题,该文以之前预测的方向为基准,偏移 -2° 到 2° 作为舰船可能的主方向。对于每一个检测结果,定义上下文权重:

$$context(L) = \frac{\int_L E(x) dx}{\int_L dx} \quad (18)$$

式中: $E(x)$ 为在分割图像上检测边缘向里相邻像素与向外相邻像素的差值, L 为圈出舰船目标矩形的边缘曲线。如果检测结果比较准确,则其差值比较大,将确定舰船精确位置 (*Location*) 的问题转化为1个最大值问题。

$$Location = \arg\text{Max}_L (context(L)) \quad (19)$$

对于第1个问题,在有交叉的检测结果中选取上下文权重最大的检测结果作为最终的检测结果。

3 实验结果与分析

由于缺乏标准的舰船检测数据库,在 Google earth 上截取的 90 多幅包含近岸舰船目标的图片,这些舰船有些停靠在码头,有些停靠在岸边,有些则在岸边附近。舰船的种类各异,有些船头较尖,有些较平。为说明本方法的有效性,定义人工标注的正确舰船目标的面积为 $Area(realship)$, 用本方法标注舰船目标的矩形为 $Area(rec)$, 定义

人工标注舰船目标的面积与用本文方法标注的面积比值为 $Ratioarea$:

$$Ratioarea = \frac{Area(realship) \cap Area(rec)}{Area(rec)} \quad (20)$$

当 $Ratioarea > 0.9$ 时认为是正确检测结果。

3.1 检测结果

在实验中,取 18 个形态相近,大致对齐的船头作为训练样本,取表示船头的 Gabor 基数目为 50, 每个 Gabor 基的长度为 17 个像素。用共享草图算法得到的船头模板如图 3 所示。

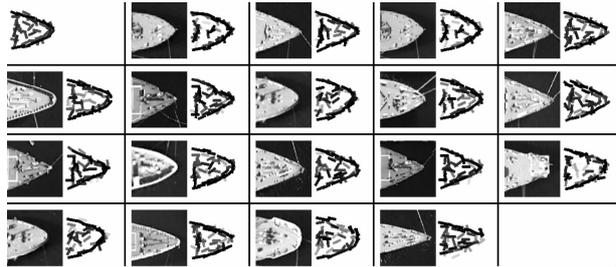


图3 船头模板学习

在参数方面,设置 th_edge 为 0.5, th_area 为 0.5, th_sym 为 0.1, 一些检测结果如图 4 所示。由于采用活动基表示船头模板,在船头匹配的过程中,考虑整个船头区域的信息,因而能得到较好的检测效果。

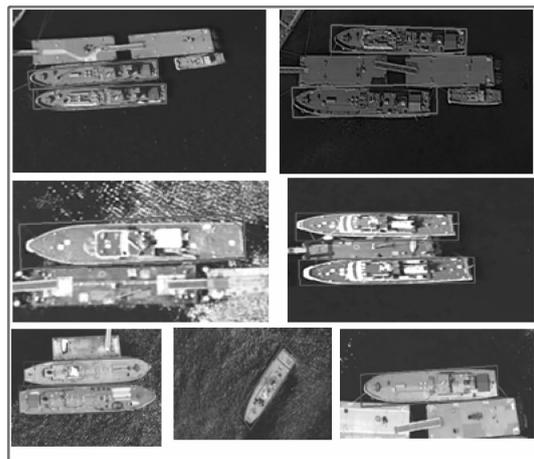


图4 一些检测结果

3.2 抗干扰分析

为体现本方法在船头检测的抗干扰性,以图 5 为待检测图像,分别以方法[17]与本文方法对其进行匹配,图 6 是本方法船头匹配的结果,图 7 为本方法的检测结果,图 8 为方法[17]的检测结果,实验结果表明,本方法在船头受到干扰的情况下仍能准确定位舰船。这是因为本方法在船头匹配的时考虑的是船头的整个区域信息,由 1 组 Gabor 基重建船头信息,而方法[17]考虑的边缘信息,因而本方法在船头的抗干扰性方面优于方法[17]。



图5 待检测原图



图6 本方法船头匹配结果



图7 本文方法的检测结果



图8 方法[17]的检测结果

4 结论

提出了一种基于活动基模型的近岸舰船检测方法。活动基模型能够较好的表达船头先验,它能够允许船头的尖锐程度发生一定变化。在充分利用匹配好船头的大小与主方向后,能够确定舰船的大概位置,在一小范围内检测目标,更加有利于舰船目标与背景的分离。在此基础上,利用匹配到船头的面积与边缘能够消除虚警,利用上下文先验可以准确定位舰船的位置。实验表明该方法不仅能够有效的检测近岸舰船,而且具有一定的抗干扰性。但是,在定位

船身部分,用分割方法区分目标与背景。而对于分割切片中波浪比较强的情况,会把目标误认为背景。因而,下一步将寻找一种更好的船身定位方法以解决这一问题。

参考文献

- [1] 王彦情,马雷,田原. 光学遥感图像舰船目标检测与识别综述[J]. 自动化学报,2011,37(9):1029-1039.
- [2] 唐沐恩,林挺强,文贡坚. 遥感图像中舰船检测方法综述[J]. 计算机应用研究,2011,28(1):29-36.
- [3] 赵春晖,李晓慧,王玉磊. 高光谱图像异常目标检测研究进展[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(8):803-811.
- [4] 鲁小丽,王岩飞,潘卓,等. 基于剪切波变换的 SAR 图像舰船检测[J]. 电子测量技术,2014,37(6):54-58.
- [5] 魏钜杰,李平湘,杨杰,等. 利用全极化 SAR 数据去方位向模糊的舰船目标检测方法[J]. 测绘学报,2013,42(4):530-539.
- [6] 逯鹏,张姗姗,刘驰,等. 基于稀疏超完备表示的目标检测算法[J]. 仪器仪表学报,2013,34(6):1273-1278.
- [7] 孙皓,孙显,王宏琦. 一种高分辨率遥感图像舰船检测方法研究[J]. 测绘科学,2013,38(5):112-115.
- [8] ZHU C, ZHOU H, WANG R, et al. A novel hierarchical method of ship detection from spaceborne optical image based on shape and texture features[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(9): 3446-3456.
- [9] YANG G, LI B, JI S, et al. Ship detection from optical satellite images based on sea surface analysis[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014,11(3):641-645.
- [10] 隆刚,陈学隼. 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.
- [11] 张振. 高分辨率可见光遥感图像港口及港内目标识别方法研究[D]. 北京:中国科学技术大学,2009.
- [12] 徐键,孙显,付琨. 一种基于形状的近岸舰船检测[J]. 国外电子测量技术,2012,31(5):63-66.
- [13] 蒋李兵,王壮,胡卫东. 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.
- [14] LIN J, YANG X, XIAO S, et al. A line segment based inshore ship detection method [J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012:261- 69.
- [15] 雷琳,粟毅. 一种基于轮廓匹配的近岸舰船检测方法[J]. 遥感技术与应用,2007,22(5):622-627.
- [16] 胡俊华,徐守时,陈海林,等. 基于局部自相似性的遥感图像港口舰船检测[J]. 中国图象图形学报,2009,14(4):591-597.

(下转第 51 页)