

文章编号: 2095-2163(2022)08-0119-04

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

# 海上舰船目标轮廓检测算法

成艳<sup>1</sup>, 孟祥勇<sup>2</sup>, 于雪莲<sup>1</sup>, 钱惟贤<sup>1</sup>

(1 南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094; 2 齐齐哈尔北方华安集团试验场, 黑龙江 齐齐哈尔 161000)

**摘要:** 利用高分辨率光学遥感图像对海上舰船进行监控, 具有广阔的应用前景。针对舰船轮廓检测时易受干扰, 且对噪声敏感的问题, 为了更精确地检测舰船轮廓, 以关键点描述方法理论为基础, 提出了新的关键点检测方法。基于灰度信息提取出舰船目标区域, 结合灰度和形状信息, 提取出对称点对来检测关键点, 对舰船轮廓拟合效果较好。该船只轮廓检测算法结合舰船灰度特征和形状特征, 适用于多种船形和场景, 轮廓检测效果良好, 鲁棒性强。

**关键词:** 舰船面目标; 点对提取; 关键点描述; 轮廓检测

## Target contour detection algorithm for marine ships

CHENG Yan<sup>1</sup>, MENG Xiangyong<sup>2</sup>, YU Xuelian<sup>1</sup>, QIAN Weixian<sup>1</sup>

(1 School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2 Hua'an North Industry Group Corporation, Qiqihaer Heilongjiang 161000, China)

**[Abstract]** Using high-resolution optical remote sensing images to monitor marine ships has broad application prospects. Aiming at the problem that ship contour detection is easy to be disturbed and sensitive to noise, in order to detect ship contour more accurately, a new key point detection method is proposed based on the theory of key point description method. Ship target area is extracted based on grey information. Combined with grey and shape information, symmetrical point pairs are extracted to detect key points. The method has a good effect on ship contour fitting. The ship contour detection algorithm combines ship grey features and shape features. It is suitable for a variety of ship shapes and scenes. The contour detection effect is good and robust.

**[Key words]** ship area target; dot pair extraction; key point description; contour detection

## 0 引言

现代海上监控中, 舰船作为海上重点监控目标, 其所属类型不同, 面临检测后的应对方式也是不同的。为了精确地完成舰船监控, 目标识别是关键问题。高分辨率卫星遥感图像的发展, 提供了更广阔的视野和更详细的信息, 可以对超大面积海面实现监控, 在多个领域应用广泛。

遥感图像分辨率的提高, 使得图像中舰船目标与背景间的轮廓越来越清晰, 舰船目标的几何特征愈加明显。基于几何特征的舰船检测算法, 主要是基于舰船目标的特殊形状特征, 如船头尖角、船身平行线、长宽比、对称性等。

对舰船轮廓的描述主要有链码描述和关键点描述方法。如: Liu 等人<sup>[1]</sup>基于 Harris 角点检测和局部的轮廓及灰度信息获得船头目标, 并结合船体长宽比及船身对称性等特征, 确认舰船目标。蒋李兵<sup>[2]</sup>改进了可变夹角链码方法, 结合关键点描述方法, 对舰船的轮廓特征进行描述。李庆峰<sup>[3]</sup>融合了

舰船形状特征、梯度方向特征与纹理特征检测舰船, 并利用 AdaBoost 分类器对特征向量分类检测。

进入亚米空间分辨率后, 舰船的内部结构和外部干扰也愈加清晰。现有的舰船轮廓检测算法, 易受船内结构、船边水花及阴影等噪声的干扰。针对此类复杂的舰船目标及背景, 本文基于关键点描述方法, 在提取出舰船目标区域后, 结合舰船形状和灰度特征, 提取出对称点对来检测舰船轮廓。

## 1 舰船目标区域提取

### 1.1 海上舰船图像特征

在海面场景的高分辨率光学遥感图像中, 海面背景占据了图像中的大部分像素, 且整体像素灰度值较低, 起伏变化较为平缓。而足够高的空间分辨率, 使得舰船目标的形状结构和纹理信息也得以很好的体现, 整体像素灰度值较高, 边缘轮廓较为明显, 细节清晰<sup>[4]</sup>。

通过调查不同类型军船、民船的详细形状资料, 形状特征总结如下:

作者简介: 成艳(1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 目标检测识别; 于雪莲(1980-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 图像融合及目标检测。

通讯作者: 于雪莲 Email: xinranyxl@163.com

收稿日期: 2022-02-21

(1)理想的舰船以船头到船尾的中轴线为对称轴,在外形上较为对称;船身主体两侧船舷相互平行,靠近船头或船尾的部分两侧船舷会存在一定夹角。

(2)军船相对于民船来说对速度要求较高,故船头一般呈夹角较小的锐角形状或较狭长的流线型子弹头状;民船通常对载货量、稳定性等要求较高,故船头一般呈夹角相对较大的锐角形状或相对较短圆的流线型子弹头状。

(3)常见船尾分为3种形状:椭圆船尾、巡洋舰型船尾和方型尾,在图像中分别表现为半椭圆形状、梯形及方形。其中,除某些驳船仍采用椭圆船尾外,许多客船、货船及中低速的军舰多采用巡洋舰型尾,而方型尾大多用于航速较高的舰艇及货船。

(4)船头部分随着与船身距离的增大,其横向宽度逐渐降低(趋近于0),降低的速率多呈非线性变化;而船尾部分随着与船身距离的增大,其横向宽度也逐渐降低,趋近于固定值(略小于船身主体宽度),降低的速率近似线性变化;一般军船的船头横向宽度变化速率低于民船。

## 1.2 舰船目标区域提取

在高分辨率光学遥感图像中,舰船目标整体灰度相对海面背景较高,目标与背景间的灰度差异较为明显,可通过灰度阈值分割将二者分离,再通过数学形态学滤波,去除外部零散噪声,对得到的连通域的凸包面积、外接矩形长宽比等特征参数进行统计,提取出舰船目标区域。

遥感图像中不可避免地包含一定噪声,可通过混合中值滤波方法,对原始灰度图像进行预处理,降低噪声。该滤波方法的数学表达式可写为:

$$f(i, j) = \frac{(z_1 + z_2 + z_3 + z_4)}{4} \quad (1)$$

其中,

$$\begin{aligned} z_1 &= \text{med}[f(i, j - N), \dots, f(i, j), \dots, f(i, j + N)], \\ z_2 &= \text{med}[f(i - N, j), \dots, f(i, j), \dots, f(i + N, j)], \\ z_3 &= \text{med}[f(i + N, j - N), \dots, f(i, j), \dots, f(i - N, j + N)], \\ z_4 &= \text{med}[f(i - N, j - N), \dots, f(i, j), \dots, f(i + N, j + N)]. \end{aligned}$$

这里,  $N$  为滤波窗口大小,  $\text{med}[\ ]$  为取中值操作。

常用的灰度阈值分割方法有最大类间方差法、直方图谷点法、基于熵的方法等<sup>[5]</sup>,考虑到数据的计算量和图像的复杂性,可对基于直方图谷点法进行相应改进。由于含有舰船目标的图像灰度直方图并非“双峰一谷”的形状,而是多峰多谷状,需要结

合图像实际目标背景特征,选择分割阈值。观察图像发现,舰船阴影在图像中灰度值最小,海面背景灰度也偏低,二者均在图像中占据一定比例的像素,分别对应灰度直方图最左边2个峰。因此,计算图像直方图后进行平滑操作,在第二个谷值处设置阈值,将图像分割为不同灰度段的二值化连通域图像,灰度高于阈值的区域设为1。由于舰船行驶时会产生水花,为了减轻水花影响,同时消除部分噪声干扰,对分割后图像进行数学形态学滤波,先腐蚀后膨胀,去除目标外部小物体。得到的连通域凸包即为舰船目标区域。

## 2 舰船轮廓检测算法

对于具有一定分辨率的船只,舰船轮廓特征成为分析识别舰船的主要对象,而单纯的灰度分割无法得到真实的舰船轮廓,还需做进一步的轮廓提取。

舰船轮廓提取时,首先在舰船目标区域定位舰船的主副轴,然后依据船体两侧边缘的平行和对称特征,在船体边缘检测的基础上,筛选出两侧平行船舷和船头船尾的成对点,接着依次连接点对,拟合舰船轮廓,最后对轮廓形状函数进行建模,实现舰船形状检测。算法流程如图1所示。

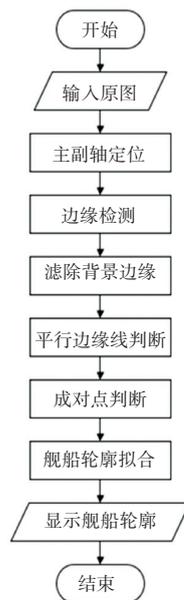


图1 舰船轮廓检测算法

Fig. 1 Ships contour detection algorithm

### 2.1 主副轴定位

提取舰船目标区域后,得到舰船目标的二值化二维凸包,采用K3M算法<sup>[6]</sup>迭代腐蚀边界,逐步细化,得到舰船骨架。骨架为单层像素宽度线条,记录每段线条的起点、终点、发生较大转折的拐点,从拐

点断开, 计算每段骨架线段的向量范数, 最大值所在线段即为主轴, 对应舰船目标的对称轴。以主轴节点为中心, 在垂直主轴方向上, 取多个连续像素为副轴, 副轴长度为舰船最小外接矩形宽度。

计算每条副轴灰度曲线大于阈值的脉宽, 脉宽大于脉宽均值 0.9 倍的副轴视为位于舰船目标船身。

## 2.2 边缘检测

舰船轮廓边缘是图像灰度快速变化的地方, 是图像中的高频分量。使用差分金字塔<sup>[7]</sup>得到原图的高频图像, 以减少后续计算量。

噪声属于高频信号, 为了有效抑制噪声, 使用高斯滤波器平滑图像。高斯卷积函数为:

$$G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

则平滑后的图像为:

$$g(i, j) = G(i, j) * f(i, j) \quad (3)$$

对于二维离散图像, 使用  $2 \times 2$  一阶有限差分, 近似计算  $i$  方向与  $j$  方向的偏导数:

$$\begin{aligned} g'_i(i, j) &= [g(i+1, j) - g(i, j) + g(i+1, j+1) - g(i, j+1)]/2 \\ g'_j(i, j) &= [g(i, j+1) - g(i, j) + g(i+1, j+1) - g(i+1, j)]/2 \end{aligned} \quad (4)$$

则图像梯度幅值和方向的计算公式为:

$$\begin{aligned} R(i, j) &= \sqrt{g'_i(i, j)^2 + g'_j(i, j)^2} \\ \theta(i, j) &= \arctan(g'_j(i, j)/g'_i(i, j)) \end{aligned} \quad (5)$$

其中,  $R(i, j)$  为梯度幅度,  $\theta(i, j)$  为梯度方向。若在沿其梯度方向的局部邻域中, 某像素的梯度幅度不是最大值, 则将其置 0。

对非极大值抑制后的图像, 采用高低双阈值来滤除噪声和幅值较小的梯度。高阈值得到强边缘图像, 低阈值得到弱边缘图像, 将强边缘图像中的边缘线在弱边缘图像中按 8 像素邻域进行拓展, 得到最终的边缘图像。

## 2.3 点对提取

对舰船目标的二维凸包进行图像膨胀, 将位于膨胀后的二维凸包外的边缘点置 0, 抑制背景边缘。对舰船边缘线的坐标进行一阶拟合, 计算边缘线与主轴的夹角, 即:

$$\theta = \text{abs}(\theta_1 - \theta_2) \quad (6)$$

其中,  $\theta_1$  是边缘线相对水平方向的夹角,  $\theta_2$  是主轴线相对水平方向的夹角。

计算边缘线到主轴的平均距离, 即:

$$d = (d_1 + d_2 + \dots + d_n)/n \quad (7)$$

其中,  $d_n$  为边缘线上每一像素到主轴线的距离。

考虑到舰船形状的狭长近似平行特点和具有一定的尺寸, 筛除与主轴夹角大于阈值和到主轴平均距离小于阈值的边缘线。

依次寻找位于同一副轴两侧的边缘点对, 计算 2 点到主轴的距离差和两点间距离, 此时用到的数学公式分别为:

$$\begin{aligned} dm &= \text{abs}(dM_1 - dM_2) \\ dp &= dM_1 + dM_2 \end{aligned} \quad (8)$$

其中,  $dM_1$  和  $dM_2$  是边缘点对中, 2 点到主轴线的距离。

由于舰船外形近似对称, 筛除到主轴距离差大于阈值的边缘点对; 对于位于船身的边缘点对, 筛除点间距离小于脉宽均值 0.9 倍或大于 1.2 倍的点对, 抑制舰船目标内部结构和外部水花产生的边缘。

## 2.4 轮廓拟合

完成上述操作, 剩余的边缘点按所在副轴对应主轴上位置依次连接后, 得到舰船的伪轮廓。但此时轮廓线上仍有许多小的毛刺。

为了去除毛刺, 简化舰船轮廓形状模型, 将舰船船尾两侧最后端 2 个边缘点加入关键点序列, 遍历找到边缘点序列中位于 2 点之间的、到 2 点连线距离最大的边缘点, 插入到关键点序列 2 点之间。对关键点序列任意 2 个相邻点重复上述插点步骤, 直至所有位于相邻 2 点间的边缘点到 2 点间连线的距离均小于阈值, 得到描述舰船轮廓的关键点序列为止。

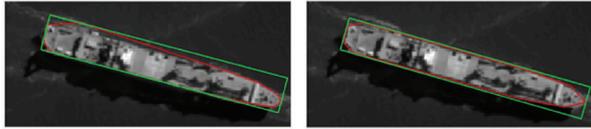
将相邻关键点用线段按顺序连接, 就可以对舰船轮廓近似拟合。计算任意 3 个相邻点所产生的夹角, 对得到的线段序列和夹角序列进行建模, 并统计面积、长宽等形状特征, 与先验模型进行匹配, 则可完成舰船目标的识别。

## 3 实验结果及分析

图像的分辨率越高, 数据计算量越大。因此, 在中低分辨率的图像中检测出包含舰船的区域, 在高分辨率图像中的对应位置进行舰船轮廓的检测识别。

以 23 型护卫舰为例, 展示轮廓检测效果。舰船行进方向右侧有大片阴影, 左侧后方有水花泡沫, 舰船内部结构设施及其阴影也较为清晰。对原始灰度

图像采用灰度阈值分割后,得到舰船目标区域如图2(a)所示。图2(a)中红线为凸包轮廓,绿线为其最小外接矩形,海面背景和船外侧阴影被抑制,舰船目标区域包含完整的船体和部分紧靠船侧的水花。从舰船目标区域检测到的边缘中筛选出对称点对,共得到9个关键点,线段序列如图2(b)中红线所示。船侧水花噪声被去除,舰船轮廓线拟合效果较好,没有受到船内部设施边缘线的影响。



(a) 灰度分割后 (b) 轮廓检测后  
图2 舰船轮廓检测结果

Fig. 2 Ships contour detection results

分别统计经过目标区域提取和舰船轮廓检测两个步骤后,得到的舰船面积和最小外接矩形的长宽参数,见表1。由于去除了水花,面积和长宽均有所改变。

表1 舰船特征参数统计

Tab. 1 Statistics of ships characteristic parameters

步骤	面积/m <sup>2</sup>	长/m	宽/m	长宽比
1	3 343	164.9	24.0	6.87
2	3 280	166.9	21.9	7.62
实际	-	133.0	16.1	8.26

由表1可知,与舰船的实际参数相比,轮廓检测后得到的长宽比与舰船实际长宽比略小一些,这是由于拍摄高度角并非严格的90°,而是稍有倾斜所致。

对不同场景不同类型的船只检测轮廓,部分结果如图3所示。相对于链码描述方法检测轮廓,基于关键点描述方法的检测算法,不仅能够清晰地描述轮廓线的走向,且对局部小的干扰不敏感,具有一定的抗噪性,还可以提高后续匹配识别的计算效率。关键点描述方法的核心是关键点的检测,对于关键点,至今未有统一的数学定义。本文的关键点检测方法,以基于舰船灰度特征和形状特征的对称点对

为基础,对传统关键点检测方法无法检测的弧线部分也可以用不同密度的点序列描述,轮廓拟合效果较好,对舰船局部内外部干扰项不敏感,检测过程简单,鲁棒性强。

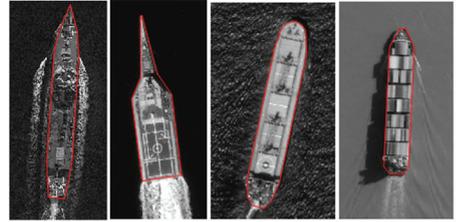


图3 舰船轮廓

Fig. 3 Ships contour

## 4 结束语

本文针对在高分辨率遥感图像中检测舰船轮廓的需求,提出了基于关键点描述的舰船轮廓检测算法。该方法通过灰度多阈值分割来获取舰船目标区域,以船体对称轴为主轴架构主副轴框架,对目标区域边缘点提取对称点对,再生成关键点序列,得到对应的线段序列和夹角序列。该方法过程简单,易于实现,适用于不同场景、不同类型的船只,能够较好地拟合舰船轮廓,为后续的舰船识别打下基础。

## 参考文献

- [1] LIU Ge, ZHANG Yasen, ZHENG Xinwet, et al. A new method on inshore ship detection in high resolution satellite images using shape and context information[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(3): 617-621.
- [2] 蒋李兵. 基于高分辨光学遥感图像的舰船目标检测方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2006.
- [3] 李庆峰. 可见光遥感图像舰船目标检测技术研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2019.
- [4] 郭伟娅. 基于光学遥感图像的舰船目标识别研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2015.
- [5] 范九伦, 靳瑾. 谷点强调阈值分割法研究综述[J]. 西安邮电大学学报, 2021, 26(01): 76-83.
- [6] KHALID S, MAREK T, MARIUSZ R, et al. K3M: A universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques[J]. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 2010, 20(2): 317-335.
- [7] 吕宝岭, 李雷星, 李锦, 等. 基于高斯金字塔与双边滤波的隐藏目标检测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(18): 7649-7656.