

红外舰船目标的关键点检测算法

赵 微^{1,2,3}, 惠 斌^{1,3}, 张玉晓⁴

- (1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;
4. 空军装备软件测评中心, 北京 100076)

摘 要: 针对红外成像与跟踪系统中舰船目标自动识别跟踪后的跟踪点自动选取问题, 提出了一种新的舰船目标关键点自动检测算法。基于舰船吃水线位于船体位置下方的几何关系以及动力舱的高亮度特征, 检测吃水线和动力舱的交叉部位作为首要攻击点, 将吃水线中部作为次要攻击点。首先对目标区域进行去噪预处理, 通过 Canny 边缘提取、边缘闭合、两次连通域去噪等操作滤除背景纹理杂波确定目标的边缘, 然后对目标底部边缘进行分段直线拟合, 将拟合结果作为吃水线, 最后利用灰度值统计确定最亮区域为求取的动力舱位置。实验结果统计表明, 该方法检测结果稳定, 具有良好的鲁棒性, 适用于不同观测方向下的红外舰船目标的关键点检测, 为跟踪点的自动选取提供了有效解决方案。

关键词: 关键点检测; 精确制导; 红外图像; 舰船目标; 吃水线

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)01-0048-05

Detection algorithms of aim points of IR warship images

Zhao Wei^{1,2,3}, Hui Bin^{1,2}, Zhang Yuxiao⁴

- (1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Opto-Electronic Information Processing, CAS, Shenyang 110016, China;
4. Airforce Software Testing and Evaluating Center, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to solve the problem of automatic selection of tracking point in target tracking after automatic target recognition of IR warship targets in the infrared imaging and tracking systems, a new automatic detection algorithm of ship aimpoint was proposed. Based on the waterline's geometrical relationship below the warship and the high brightness characteristics of engine compartment, the cross part of the waterline and engine compartment was detected. This cross part was taken as the primary aimpoint of IR warship target. Otherwise, the central part of the waterline would be taken as the aim point of IR warship target. First of all, the de-noising pretreatment of target area was used, through the Canny edge-detection, edge closed and two connected domain de-noising operations, the background texture clutter was removed to determine the edge of target. Then, piecewise linear fitting on the target bottom edge was used and the curve fitting results would be taken as the waterline. Finally, the gray

收稿日期: 2013-05-10; 修订日期: 2013-06-03

基金项目: 国家自然科学基金(51005229)

作者简介: 赵微(1988-), 女, 硕士生, 主要从事 ATR 方面的研究。Email: zhaowei@sia.cn

导师简介: 惠斌(1973-), 男, 研究员, 硕士生导师, 硕士, 主要从事实时图像处理、ATR、ATA 方面的研究。Email: huibin@sia.cn

value statistics was calculated to get the brightest area as the position of engine compartment. The experimental results show that this method has stability testing results and good robustness. It can be applied to detect the aim point of IR warship target in different viewing directions. The algorithm provides an effective solution for the problem of automatic selection of tracking point in target tracking.

Key words: target aimpoint detection; precision guiding; infrared image; warship target; waterline

0 引言

红外成像具有抗干扰能力强,探测距离较远,可昼夜工作等众多优点,因此被广泛应用于各类成像与跟踪系统中^[1]。目前,成像与跟踪系统的发展趋势是高精度、高智能、高可靠性。人们不仅希望能够自动地检测目标,同时更希望能对目标的要害部位(要害点)进行准确地识别以及自动调整跟踪点,以提高系统的整体效能。舰船作为成像与跟踪系统在海上应用的主要目标,具有较典型的几何与结构特征,因此,文中针对中波红外舰船目标自动识别跟踪后的要害点检测与识别问题进行了研究,希望有助于国外成像与跟踪技术的进一步发展,提升海上军事作战实力。

要害点一般是指目标的脆弱部位或者重要部位,对于舰船一般认为是吃水线、动力舱、舰桥、弹药舱和油舱等。由于不同类型舰船的船体结构差别较大,使得舰桥、弹药舱和油舱的几何位置关系很难确定,并且弹药舱和油舱在视场不具有明显的可见性,因此不适合对其进行检测。相对而言,舰船的吃水线部位具有稳定的位置特征,动力舱具有较稳定高灰度特征,因此选取吃水线与动力舱作为舰船目标要害点并对其进行检测和识别。

传统的红外舰船吃水线检测算法有基于目标轮廓多边形拟合的方法^[2]和搜索多行边缘数据的方法^[3]。基于目标轮廓多边形拟合的方法就是在每个点群的端点之间画一条直线来拟合多边形近似舰船的轮廓,将该拟合多边形的最长边作为舰船的吃水线。该方法没有考虑舰船姿态的变化以及轻微遮挡的影响,适应性较差。搜索多行边缘数据检测线段的方法是通过设置梯度分割的门限值对目标进行边缘提取,然后对多行边缘数据进行“或”处理,以此来检测可能是吃水线的线段,并且利用一些辅助条件来找到吃水线位置。该方法采用多行搜索的模板策略导致检

测吃水线线段加粗,使得吃水线检测的准确度下降,同时计算量大、实时性差,因此也存在明显的缺点。

传统的动力舱检测算法是在整个图像中寻找灰度值均值最大的区域,该方法忽略了整个图像中背景灰度对检测结果的影响,如果背景中存在亮度高于烟窗亮度的区域,该区域会造成对动力舱的误检测,这是人们不期望得到的结果。

针对以上传统吃水线和动力舱检测方法存在的问题,提出了一种新的红外舰船吃水线提取方法和改进的动力舱检测方法。由于吃水线以下的图像为海面纹理信息,而吃水线具有非常明显的长直线特点,因此检测吃水线方法是直接将目标边缘最长连通域的底部作为舰船吃水线,把其他背景中存在的边缘看成伪吃水线,重点和难点是如何去除纹理信息即噪声,以及如何分析、判断、滤除伪吃水线;改进的动力舱检测方法在传统算法基础上加以改进,提取目标边缘,求出目标的轮廓,在目标轮廓内用模板搜索寻找最亮区域作为动力舱的位置。

1 图像预处理

复杂背景下的红外舰船目标的噪声主要包括由海杂波引起的脉冲性噪声、天空云团引起的干扰^[4]以及温度噪声。图像预处理过程主要考虑如何在去除噪声的同时尽量保留边缘细节信息。文中先利用伪中值滤波去除脉冲噪声,然后利用高通增强滤波器增强图像的高频部分。

1.1 伪中值滤波

由于线性滤波器无法很好地处理信号与噪声彼此相关地情况,于是采用非线性滤波器来滤除噪声,最大限度地保持图像的高频信号。文中采用伪中值滤波,伪中值滤波^[5]是选用 $r \times r$ 的方形窗口,取窗口中 r 个水平数据的中值作为模板中心的像素值,由于它不是简单的取均值,所以产生的模糊比较少,能在减少计算量和较好消除噪声的同时很好地保持

图像的边缘细节。

1.2 高通增强

为了解决由温度噪声导致的舰船边界不明显的问题,笔者对图像高频部分进行增强。图像中的边缘和噪声对应图像傅里叶频谱的高频部分,经过伪中值滤波后,高频部分主要对应图像中的边缘信息,高通滤波有利于得到目标的轮廓。

原始图像经过伪中值滤波和高频增强以后,抑制了噪声和背景杂波,提高图像的信噪比,为后续处理做准备。

2 要害点检测与识别

当吃水线部位被攻击时,海水会倒灌入船内导致舰船沉没,其能够准确、快速地对舰船造成致命性破坏,因此舰船吃水线位置成为攻击舰船目标的突破口。动力舱是舰船的动力来源,也是发动机的所在之处,一旦动力舱被击中后,舰船就没有了动力来源,其能够让舰船失去作战能力。通常认为动力舱位于烟囱的下方,而烟囱的温度非常高,因此可以通过寻找亮度最大的区域确定烟囱的位置,从而确定动力舱的位置。为了增加击毁的威力,把吃水线和动力舱的交叉点作为舰船的首要攻击位置,在检测不到动力舱的情况下把吃水线的中点作为次要攻击点。下面分别对吃水线和动力舱所在的位置进行检测。

2.1 吃水线检测

吃水线相对背景区域而言,其具有更丰富的梯度信息,所以首先利用梯度信息求出舰船的边缘,再利用吃水线位于船体下方的几何关系,找出底部边缘的位置,最后利用角点对底部边缘线进行直线拟合作为吃水线。

2.1.1 舰船的边缘检测

传统的边缘检测算子对噪声敏感,文中采用 Canny 算子进行边缘提取。

原始图像经过高斯平滑后得到数据 $I(x, y)$, 采用常见的 3×3 邻域的 4 邻点梯度计算, 计算 4 方向的差分阵列 $G_{45^\circ}, G_{135^\circ}, G_x, G_y$ 。

那么梯度幅值为:

$$p_x[i, j] = \frac{\sqrt{2}-1}{2} G_x[i, j] + \frac{2-\sqrt{2}}{4} (G_{45^\circ}[i, j] + G_{135^\circ}[i, j]) \quad (1)$$

$$p_y[i, j] = \frac{\sqrt{2}-1}{2} G_y[i, j] + \frac{2-\sqrt{2}}{4} (G_{45^\circ}[i, j] + G_{135^\circ}[i, j]) \quad (2)$$

$$M[i, j] = \sqrt{p_x[i, j]^2 + p_y[i, j]^2} \quad (3)$$

利用公式(3)进行梯度幅值的计算可以兼顾边缘定位精度和噪声抑制,不仅能提高梯度计算的鲁棒性,而且减少噪声的干扰^[6]。

2.1.2 利用连通域标记去除边缘噪声

杂波噪声存在时,其边缘常常是孤立存在或分小段连续的像素,尽量能够在去除这些噪声的同时保持边界连续封闭。首先将近邻域边缘像素连接起来,然后对边缘进行连通域标记并去除小连通域的边缘。具体算法如下:如果边缘像素 (s, t) 在像素 (x, y) 的邻域内,且它们的欧氏距离和梯度幅值关系分别满足以下 2 个条件(其中 D 是欧式距离阈值, T 是幅度阈值):

$$\begin{cases} \sqrt{(s-x)^2 + (t-y)^2} \leq D \\ |\Delta f(x, y) - \nabla f(s, t)| \leq T \end{cases} \quad (4)$$

那么就把像素 (s, t) 和像素 (x, y) 连接起来。这样对边缘进行短连接,使目标边缘闭合、连续,为后续连通域的计算做准备。边缘闭合之后统计目标边缘像素的坐标,依据目标边缘所在的范围计算出船体在图像中的宽 M 和高 N , 在目标所在区域内标记连通域。计算每个连通域的横向宽度 $W[i] (i=1, 2, \dots)$, 连通域的最大横向宽度是 W_{\max} , 设定一个阈值,把横向宽度小于 λW_{\max} 的连通域滤除。吃水线一般是由简单的几何直线组成的舰船的水平方向最长边,反映到边缘上就是水平宽度最长的一条连通域,但是由于噪声的影响,总会存在一些细小的短边缘,该连通域滤波的方法在已知吃水线的相关先验知识的前提下有效去除海杂波等噪声影响。

2.1.3 确定目标吃水线

吃水线是位于舰船最底部的边缘像素集合。经过上述边缘提取后,可以选择目标区域最下方的边缘作为吃水线,但目标实际所处的背景环境复杂,仍需要对底部边缘进行伪吃水线(不间断的小区域)的滤除来保证检测的准确性。

假设船体的宽为 M 、高为 N , 目标边缘提取后得到边缘图像为 $B(i, j) (1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M)$, 因吃水线是一条底部边缘线,可以用一个一维矩阵 $L[j] (1 \leq j \leq M)$ 表示,每个元素代表吃水线中每点的纵坐标,那么具体算法如下:

$$L[j] = \max \{ i | B(i, j) = 1, 0 \leq i \leq N \} \quad (5)$$

统计矩阵 L 的最大连通域 S_{\max} , 把连通域像素个数小于 $\alpha \times S_{\max}$ 的连通域去掉。这样做不仅保留了正确的吃水线, 也去除了可能存在的伪吃水线。依据经验选取阈值 α , 当 $S_{\max} > 0.5M$, $\alpha = 0.15$; 当 $0.5M > S_{\max} > 0.3M$, $\alpha = 0.3$; 当 $S_{\max} < 0.3M$, $\alpha = 0.15$ 。

为了解决海天线被误检成吃水线的问题, 在过滤掉小连通域后, 统计吃水线矩阵 L 中的元素值的范围, 其等价于计算底部吃水线上的点在 y 方向投影的范围 H , 计算如下:

$$H = h_{\max} - h_{\min} \quad (6)$$

$$h_{\max} = \max\{L[j], 1 \leq j \leq M\} \quad (7)$$

$$h_{\min} = \min\{L[j] \neq 0, 1 \leq j \leq M\} \quad (8)$$

把 y 坐标值在 $[h_{\min}, h_{\min} + H \cdot 0.05]$ 范围内的边缘点去除。因为海天线一定是底部边缘线的最高部位, 这样既保留了大部分正确的吃水线下像素信息, 也避免了海天线的影响。

2.1.4 对吃水线直线拟合

由于温度噪声的影响, 检测出的吃水线一般都会存在锯齿状波动, 需要通过直线段拟合才能得到较理想的吃水线检测结果。具体算法如下: 首先, 提取出底部边缘线上的角点, 以每个角点为分界点, 把底部边缘线分成若干个边缘线段, 然后针对每个边缘线段进行直线拟合, 最后对拟合的直线段进行邻近连接, 如果相邻两角点之间没有目标的边缘像素, 则把这两个角点的连接线作为目标的底部边缘, 最后得到的底部边缘就是吃水线的位置。

2.2 动力舱的检测

发动机或烟囱(动力舱)的高热特性(图像中的亮区域)是舰船的显著特征, 因为平均灰度级很高的区域易于检测和跟踪^[7], 因此它们经常作为主要的特征被应用于舰船目标检测识别中。

寻找动力舱的纵向位置是寻找目标区域中平均灰度级最高的矩形模板中心所在列。根据目标的宽 M 和高 N 确定统计模板 $(m * n)$, 其中 $m = 0.9 * M$, $n = \max\{20, 0.1 * N\}$, 在目标区域内从左到右依次移动统计模板, 计算目标轮廓内的像素灰度的平均值。搜索最亮区域公式如下:

$$T_{\max} = \max\{T(1), T(2), \dots, T(k)\} \quad (9)$$

$$T(k) = 1/D_k \sum_{i,j \in D_k} f(i, j) \quad (10)$$

式中: D_k 是第 K 个统计模板中目标轮廓面积。通过

该搜索算法, 可以快速确定目标区域内最亮点坐标, 从而得到动力舱的列坐标。

3 实验结果与分析

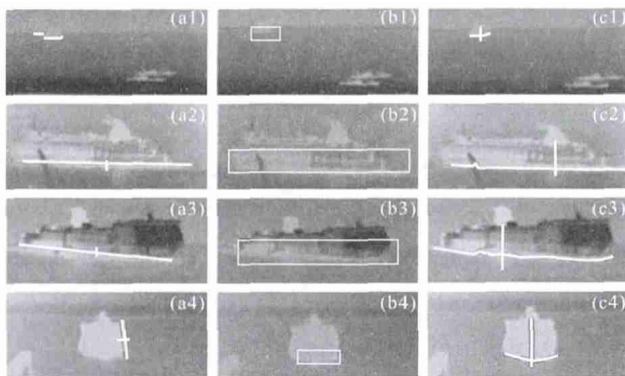
为了验证文中提出的红外舰船要害点检测算法的有效性, 在 CPU 为 Core2 2.93 GHz, 内存为 2 GB 的 PC 机上, 用 matlab 2010 仿真软件分别对 50 幅不同形态的红外舰船图像进行了算法仿真, 同时与基于目标轮廓多边形拟合和搜索多行边缘数据方法的检测结果进行了实验对比。

实验选取的图像大小均为 720×576 , 分别选取了不同大小、姿态的红外舰船进行多次仿真。文中算法的实验参数值如下: $r=3, D=6, T=3, \lambda=0.3, \alpha_1=0.1, \alpha_2=0.3, \alpha_3=0.5$ 。

仿真实验结果如图 1 所示, 其中图(a)为基于目标轮廓多边形拟合方法的要害点检测结果, 图(b)为搜索多行边缘数据检测的要害点提取结果, 图(c)为文中提出的方法的要害点检测结果。从图中可以看出, 基于目标轮廓多边形拟合的方法在检测小目标时容易将海天线作为其一条边界, 造成吃水线的误检测。当舰船目标在侧舷和小倾角情况下该算法检测效果很好, 但是当温度噪声影响严重时, 目标的轮廓不够准确, 导致检测出的吃水线位于船身, 使该算法的精确度下降。当目标在迎头状态且目标高度大于目标宽度时, 该方法将吃水线误检成舰船的侧边, 可见其适应性较差; 搜索多行边缘数据检测的方法原理简单, 适用于目标大小不同和吃水线不同倾角的情况, 但是从图中可以看出, 该方法检测结果只给出吃水线的大致区域, 当目标的纹理信息丰富时, 检测结果偏于舰船目标的船身即吃水线上方, 存在吃水线定位不准确的问题, 而且在不同成像环境下最优的梯度分割门限值不同, 具有一定局限性; 文中所提出的算法对小目标、迎头、侧舷等不同姿态舰船都能得到准确、完整的吃水线检测结果, 并且能够克服把海天线误检成吃水线的问题, 即使目标被其他船体轻微遮挡时仍然能够检测准确。

基于以上分析, 文中提出的方法与传统方法相比, 将多个要害部位的交叉点代替吃水线中点作为攻击点, 使杀伤力更强; 寻找最长宽度的连通域来确定吃水线比直接寻找目标轮廓的拟合多边形的最长边的方法适应性更强, 不会造成误检测; 通过两次连

通域滤波去除伪吃水线和吃水线局部直线拟合来保证吃水线检测的精度和准确性。



(a) 目标轮廓多边形 (b) 搜索多行边缘数 (c) 文中算法
拟合的方法 据检测线段的方法
(a) Algorithm of polygonal (b) Algorithm of line (c) Algorithm in
approximation of detection based on this paper
target outline curve searching multi-edge

图 1 仿真实验结果

Fig.1 Simulation experiment results

4 结 论

利用吃水线的位于船体下方的位置特点, 将吃水线检测问题转化为标记连通域以及底层边缘像素提取的问题。采用连通域标记的方法去除伪吃水线, 利用吃水线的角点特征实现吃水线的分段局部拟合。实验结果表明, 该方法能有效提取舰船的吃水线, 避免海天线误检, 同时对各种尺寸、姿态及不严重遮挡的舰船有很好的适应性。

由于对不同舰船的结构及动力舱位置了解不够充分, 因此对舰船目标动力舱的检测方法有待进一步深入研究, 另外, 要害点检测算法的工程化实现与实时性将是下阶段的研究重点。

参考文献:

- [1] Yang Mingyue, Yang Weiping. Automatic detection method of IR warship target in the complex sea-sky background[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(4): 638-641. (in Chinese) 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): 638-641.
- [2] Zhang Tianxu, Chen Jie, Lin Kai, et al. Investigation of recognizing aimpoint of warship's long wave infrared images[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2000, 29(1): 13-16. (in Chinese) 张天序, 程杰, 林凯, 等. 舰船目标长波红外图像命中点识别研究[J]. 红外与激光工程, 2000, 29(1): 13-16.
- [3] Dai Shengkui, Shang Nong, Wang Xinsai. Definition of aim points of IR warship images and fast algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, 30(6): 417-417. (in Chinese) 戴声奎, 桑农, 王新赛. 红外舰船要害点定义及其快速实现算法[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 417-417.
- [4] Zhuo Bingrong. The research on infrared ship recognition and track technology under the sea clutter [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011. (in Chinese) 卓炳荣. 海面背景下的红外舰船目标识别跟踪技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2011.
- [5] Liu Yanwu, He Youjin, Lu Bin, et al. Infrared image pretreatment for warship targets [J]. *Infrared Technique*, 2003, 25(3): 9-12. (in Chinese) 刘延武, 何友金, 陆斌, 等. 舰船目标红外图像预处理[J]. 红外技术, 2003, 25(3): 9-12.
- [6] Li Junsan, Ma Ying, Zhao Fangzhou, et al. An improved Canny edge detection algorithm [J]. *ATC Photonica Sinica*, 2011, 12(40): 50-54. (in Chinese) 李俊山, 马颖, 赵方舟, 等. 改进的 Canny 图像边缘检测算法[J]. 光子学报, 2011, 12(40): 50-54.
- [7] Li Zhiyong, Jin Fusun, Zhong Kang. Target Tracking and Aimpoint Selection In Homing Stage[R]. Changsha: National University of Defence Technology, 2002.