

文章编号:1001-5078(2024)10-1594-06

· 红外技术及应用 ·

基于锚框的远距离多尺度红外目标跟踪技术

余云霞¹, 李毅鹏², 陈姝敏³

(1. 荆楚理工学院 大数据研究中心, 湖北 荆门 448000;
2. 中南财经政法大学, 湖北 武汉 430000; 3. 荆楚理工学院, 湖北 武汉 448000)

摘要:在红外目标跟踪过程中,由于目标距离和视角的变化,红外目标的成像面积通常很小,使得红外图像中缺乏足够的像素信息,无法准确提取目标的特征,增加了目标跟踪的难度。因此,提出基于锚框的远距离多尺度红外目标跟踪技术。利用编码的方式对应追踪框图与真实框图,得到目标框中心坐标值。为保证计算的精准度,通过设定特征融合阈值判定提取信息与真实信息较高的重叠度,并按照锚框的边缘、中心以及顶点坐标对应划分像素网格,根据特征值输出分类输出向量,完成红外目标特征提取。由此采用损失函数给出锚框、目标框、实际框的类别损失以及候选框等不同类别损失函数,按照不同点在网格中的像素值,以编码形式逐一对比候选框和真实框数据,通过迭代实现远距离多尺度红外目标跟踪。实验结果表明,所提方法对远距离多尺度红外目标的识别效果较好,查全率曲线基本保持在0.9以上。说明所提方法具有良好的远距离多尺度红外目标跟踪效果。

关键词:红外目标;远距离多尺度;重叠度;特征提取;像素网格

中图分类号:TN219;TN976 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2024.10.013

Long range multi-scale infrared target tracking technology based on anchor frame

YU Yun-xia¹, LI Yi-peng², CHEN Shu-min³

(1. Big Data Research Center, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, China;
2. Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430000, China;
3. Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, China)

Abstract:In the process of infrared target tracking, the imaging area of infrared targets is usually small due to changes in target distance and perspective, resulting in a lack of sufficient pixel information in the infrared image, and making it difficult to accurately extract target features and increasing the difficulty of target tracking. Therefore, a long-distance multi-scale infrared target tracking technology based on anchor boxes is proposed. First of all, the tracking block diagram and the real block diagram are corresponded by encoding to get the coordinate value of the center of the target frame. To ensure the accuracy of the calculation, a feature fusion threshold is set to determine the high overlap between the extracted information and the true information, and the pixel grid is divided according to the edge, center, and vertex coordinates of the anchor box, and a classification output vector is output based on the feature values to complete the infrared target feature extraction. As a result, a loss function is used to provide the category loss of anchor boxes,

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(No. 2722023DK039);国家自然科学基金青年基金项目(No. 62305141)资助。

作者简介:余云霞(1975-),女,硕士,副教授,研究方向为人工智能、数据挖掘和计算机视觉。E-mail:Zm25263@163.com
收稿日期:2024-06-05

target boxes, and actual boxes, as well as different category loss functions such as candidate boxes. According to the voxel values of different points in the grid, the candidate box and real box data are compared one by one in the form of coding, and the long-distance multi-scale infrared target tracking is achieved through iteration. The experimental results show that the proposed method has good recognition performance for long-distance multi-scale infrared targets, and the recall curve is basically maintained above 0.9. It indicates that the proposed method has good long-range multi-scale infrared target tracking performance.

Keywords: infrared targets; long distance and multi-scale; overlap degree; feature extraction; pixel grid

1 引言

红外成像因其能够在夜间、低光照或恶劣天气条件下工作的特性,成为了军事、安防、航天等领域中重要的技术手段。然而,在红外成像中,远距离目标在红外图像中通常表现为小目标,且目标尺寸可能随着距离的远近或目标本身运动状态的变化而发生变化。因此,当目标尺度变化时,如何准确、稳定地跟踪目标成为了目前研究的重点,众多学者对此展开了研究。

张彩煜^[1]等通过改进 FairMOT 算法,利用特征金字塔网络增强纹理特征提取,并结合卡尔曼滤波和匈牙利算法,提升了热红外影像在夜间和弱光照条件下对行人目标的跟踪性能,特别是在处理小面积遮挡时表现出色。但 FPN 的引入可能增加了算法的复杂性,导致计算资源消耗增加,进而影响实时性。孙梦宇^[2]等提出了一种自适应信息选择的变尺度相关滤波红外目标跟踪算法,通过增强灰度特征的梯度信息、稀疏滤波器系数以及引入变尺度滤波器来应对红外图像模糊、噪声和目标特征少的问题,实现了在红外目标跟踪中更高的精确度和成功率。然而,在提取的灰度特征中重新提取梯度信息时,可能存在对梯度信息的过度或不足提取的问题,导致目标特征的增强效果不理想,进而影响跟踪的准确性。宋子壮^[3]等研究了一种改进的红外多类别多目标实时跟踪网络,通过优化网络结构和特征向量、简化跟踪流程,并结合 GPU 与 CPU 协同计算,显著提升了跟踪精度和运行速度,实现了在低空海面红外目标跟踪数据集中的高效实时应用。在研究过程中,特征向量的选择和优化可能受到数据集的影响。如果数据集代表性不足或标注不准确,可能会导致优化出的特征向量不适用于实际跟踪场景。

锚框作为一种在目标检测和目标跟踪中广泛使用的技术^[4],通过预设一系列固定大小和比例的矩

形框,为算法提供了潜在的候选区域。因此,提出一种基于锚框的远距离多尺度红外目标跟踪算法,通过锚框的设计,实现对远距离多尺度红外目标的准确、稳定跟踪,以满足实际应用的需求。

2 红外目标特征提取

红外图像通常具有较低的分辨率和对比度,目标轮廓模糊^[5]。为了保证提取信息的准确性,减少冗余信息,在红外图像中,利用编码的方式对齐六维锚框 (x_p, y_p, x_p, l, w, h) 。将追踪框图与真实框图相对应,提高目标特征提取的准确性。

追踪框图的四个顶点坐标分别为 $A(A_x, A_y)$ 、 $B(B_x, B_y)$ 、 $C(C_x, C_y)$ 、 $D(D_x, D_y)$,坐标关系为:

$$\begin{cases} A\left[\left(x_p - \frac{l}{2}\right)_l, \left(z_p - \frac{h}{2}\right)_l\right] \\ B\left[\left(x_p + \frac{l}{2}\right)_l, \left(z_p - \frac{h}{2}\right)_l\right] \\ C\left[\left(x_p - \frac{l}{2}\right)_l, \left(z_p + \frac{h}{2}\right)_l\right] \\ D\left[\left(x_p + \frac{l}{2}\right)_l, \left(z_p + \frac{h}{2}\right)_l\right] \end{cases} \quad (1)$$

式中, l, h 为红外扫描成像的宽度与高度。

根据预设的锚框尺度和长宽比,为每个像素位置生成一组锚框。这些锚框会覆盖图像中可能存在的目标区域。目标框中心坐标值的计算公式为:

$$\begin{cases} x_c = \frac{C_x - a_x}{2} \\ y_c = -\frac{C_y - a_y}{2} \\ h = \frac{a_y - C_y}{2} \\ l = -\frac{a_x - C_x}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中, x_c 为水平方向中心值; y_c 为垂直方向中心值; a_x, a_y 为预设的顶点坐标; C_x, C_y 为锚框的极值坐标。

设定特征融合阈值判定提取信息与真实信息的重叠度,使得提取的特征与真实目标之间具有较高的匹配度,即算法能够较为准确地捕捉到目标的形态和边界信息。追踪框图与真实框图重叠度的计算公式为:

$$I_{IOU} = \frac{Z \cap S}{Z \cup S} \quad (3)$$

式中, I_{IOU} 为重叠度; Z 为追踪框图; S 为真实框图。

红外目标的特征^[6]均是采用像素计算的,即: v_w 为形状、 v_h 为大小、 v_d 为运动状态,得到对应的像素网格尺寸为 $w' = \frac{w}{v_w}$ 、 $h' = \frac{h}{v_h}$ 、 $d' = \frac{d}{v_d}$, 一个非空像素表示为:

$$V = \{p_i = I_{IOU} \{v_w, v_h, v_d\}^t \in R\} \quad (4)$$

式中, t 为像素数量; R 为网格像素; p_i 为第 i 个网格的像素。

为保证后续目标检测的精准度和适应性^[7],将坐标系中的所有像素值都输入到特征集中得到分类输出向量:

$$V_{in} = \{p_i = V \{x_i - v_w, y_i - v_h, z_i - v_d\} \in R\} \quad (5)$$

通过分类输出向量 V_{in} 表示每个像素或目标所属于的类别。在此基础上,沿 x 、 y 、 z 轴进行 3D 空间划分,通过采样中心区域,确定目标类别,完成红外目标特征提取,为目标追踪提供更准确的依据。

3 远距离多尺度红外目标跟踪

由于目标距离和视角的变化,目标在红外图像中的尺度可能发生显著变化,增加了目标跟踪的难度^[8-9]。因此,为了能够自适应地调整其检测窗口或锚框的大小以匹配目标,在得到红外目标特征后,给出红外图像的不同损失函数。分别为锚框的类别损失函数 L_{RP} ^[10-11],用于衡量锚框与真实目标框之间的匹配程度,以及锚框被正确分类为前景或背景的概率。目标框的类别损失函数 L_S ,用于准确地识别出目标,并将其与背景或其他干扰物区分开来。存在残差的类别损失函数 L_{RN} ,用于衡量模型预测值与真实值之间的差值,通过优化这个差值,模型能够更准确地逼近真实数据。

其中,锚框^[12]的类别损失函数 L_{RP} 可以表示为:

$$L_{RP} = V_{in} [L_S + \beta L_{RO}(\Delta r^a, \Delta r)] \quad (6)$$

式中, Δr^a 为真实框的残差值; Δr 为检测框的残差

值; β 为目标框和候选框置信度的损失组成; L_{RO} 为实际框的类别损失。

目标框的类别损失函数 L_S 具体计算公式为:

$$L_S = V_{in} [L_{SO} + L_{CO}(\Delta r^a, \Delta r)] \quad (7)$$

式中, L_{SO} 为候选框位置的尺寸损失函数; L_{CO} 为检测位置的尺寸损失函数。 L_{CO} 的数值可通过交叉熵值计算得到。

通过 L_{RP} 和 L_S 可知,通过降低 Δr^a 、 Δr 的数值,可以将候选框与目标框之间的损失降到最低。由此,将锚框的残差数据以编码的形式表达,在检测空间中对比编码的输出值,通过迭代减小 Δr^a 、 Δr 的数值,实现远距离多尺度红外目标跟踪。表达公式为:

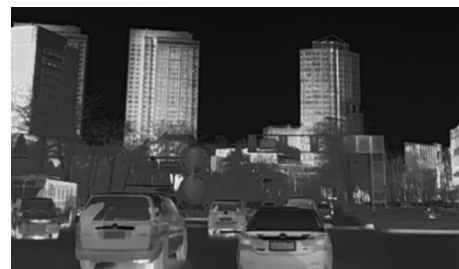
$$L_{RN} = L_{RP} + L_S + L_{RO} \quad (8)$$

通过损失函数得到目标检测结果适应能力较强,不受环境和目标物体形态的影响,针对多种类别和形态的物体都能实现高效目标检测。以最小检测残差为目标,降低候选值与真实值之间的差距,保证最优的检测精准度。

4 实验分析

4.1 实验设置

为验证所提技术的有效性,选择 M3FD 数据集作为此次实验样本数据集。该数据集包括 4 个,177 个对准的红外和可见光图像对以及 23 个,635 个带注释的对象。该数据集涵盖了具有各种环境,照明,季节和天气的四个主要场景,具有广泛的像素变化范围。实验过程中,随机选取 3 幅红外图像作为实验对象,如图 1 所示。



(a) 红外图像1



(b) 红外图像2



(c) 红外图像3

图1 实验用红外图像

Fig. 1 Infrared images for experiments

实验过程中所需算法的相关参数设置如表 2 所示。

表 2 实验参数设置

Tab. 2 Experimental parameter settings

参数名称	参数值
学习率	0.001
批次大小	16
锚框尺寸	$[0.5, 0.5, 0.5]$ 、 $[1.0, 1.0, 1.0]$ 、 $[2.0, 2.0, 2.0]$
锚框宽高比	$[1.0, 2.0, 0.5]$
输入特征维度	3
输出特征维度	128
步长	1
损失函数权重	1.0
迭代次数	1000

在上述实验设置的基础上使用所提方法进行目标特征提取,以验证检测算法的实际应用能力。提取结果如图 2 所示。



(a) 图像1特征



(b) 图像2特征



(c) 图像3特征

图2 红外图像特征识别结果

Fig. 2 Infrared image feature recognition results

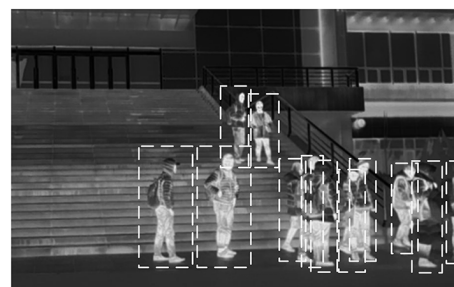
分析图 2 可知,所提方法可以有效提取出红外图像中的车辆特征(车牌、轮胎)和行人的特征(头部、躯干)。可以为远距离多尺度红外目标跟踪提供基础。

4.2 结果与分析

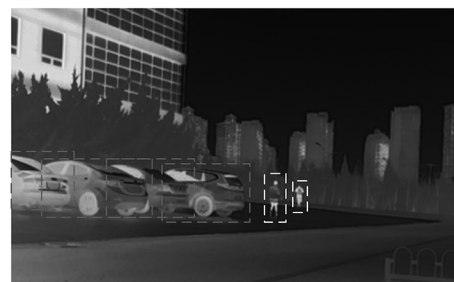
所提方法对上述红外图像中的目标进行追踪。结果如图 3 所示。



(a) 图像1追踪结果



(b) 图像2追踪结果



(c) 图像3追踪结果

图3 红外图像追踪结果

Fig. 3 Infrared image tracking results

从图 3 中可以看出,所提方法可以有效的追踪运行的车辆以及行人,不存在漏检、错检、截断或部

分细节丢失现象。说明所提方法的红外图像追踪精度较高,算法性能优异,可以完美捕捉原始图像中目标的行进状态和像素特征,在实际应用中可为道路监控提供重要帮助。

为了进一步验证所提技术的有效性,使用文献[1]技术、文献[2]技术和文献[3]技术作为所提技术的对比技术。选择查全率作为评估指标,可以验证这4种技术是否能够显著提高目标检测的性能。测试结果如图4所示。

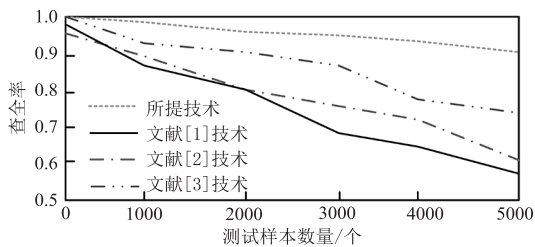


图4 目标跟踪结果查全率曲线

Fig. 4 Target tracking result recall curve

从图4中可以看出,所提技术的查全率曲线基本保持在0.9以上,且随着检测数目的增加下降的幅度相对较低。说明所提技术可以有效提高目标检测精度,实现红外图像的高效追踪。

5 结论

为了在红外图像中准确、稳定地跟踪目标,所提提出了一种基于锚框的远距离多尺度红外目标跟踪技术。实验数据证明,所提技术可以有效的提取出红外图像中的目标特征,并实现有效追踪,且查全率相对较高。表明所提技术可以有效检测红外图像中的目标,且对目标的特征捕捉能力较强,性能表现优异。

参考文献:

- [1] Zhang Caiyu, Li Minglei, Wei Dazhou, et al. Object tracking in thermal infrared images based on improved FairMOT algorithm[J]. Computer Simulation, 2023, 40(12): 304-308. (in Chinese)
张彩煜,李明磊,魏大洲,等.基于改进FairMOT算法的热红外影像目标跟踪[J].计算机仿真,2023,40(12):304-308.
- [2] Sun Mengyu, Wang Peng, Xu Junqi, et al. Adaptive information selection for infrared object tracking with variable scale correlation filter[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(12):219-231. (in Chinese)
孙梦宇,王鹏,徐均琪,等.自适应信息选择的变尺度相关滤波红外目标跟踪算法[J].光子学报,2023,52(12):219-231.
- [3] Song Zizhuang, Yang Jiawei, Zhang Dongfang, et al. Real-time infrared multi-class multi-target anchor-free tracking network[J]. Systems Engineering and Electronics, 2022, 44(2):401-409. (in Chinese)
宋子壮,杨嘉伟,张东方,等.基于无锚框的红外多类别多目标实时跟踪网络[J].系统工程与电子技术,2022,44(2):401-409.
- [4] Li Xuehui, Zhang Yongjun, Shi Dianxi, et al. AFTM: anchor-free object tracking method with attention features[J]. Computer Science, 2023, 50(1):138-146. (in Chinese)
李雪辉,张拥军,史殿习,等.融合注意力特征的无锚框视觉目标跟踪方法[J].计算机科学,2023,50(1):138-146.
- [5] Guan Fengxu, Yang Zipeng, Huang Jiawei, et al. Research on vision target tracking algorithm of unmanned surface vehicle based on infrared image[J]. Ship Science and Technology, 2022, 44(10):68-72. (in Chinese)
管凤旭,杨子鹏,黄佳威,等.基于红外图像的无人艇视觉目标跟踪算法[J].舰船科学技术,2022,44(10):68-72.
- [6] Li Shaogang, Gao Jin, Wang Gang, et al. Dual-branch algorithm for tracking UAVs with infrared and inverted infrared image[J]. Fire Control & Command Control, 2023, 48(6):19-27. (in Chinese)
李邵港,高晋,王刚,等.基于红外-反转红外图像的双分支无人机目标跟踪算法[J].火力与指挥控制,2023,48(6):19-27.
- [7] Yao Yingle, Zhao Juan. Small object tracking algorithm for infrared oversampled scanning images based on deep learning[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2023, 42(1):35-40. (in Chinese)
姚迎乐,赵娟.基于深度学习的红外过采样扫描图像小目标跟踪算法[J].国外电子测量技术,2023,42(1):35-40.
- [8] Qian Kun, Wang Jiushan, Zhang Shoujin, et al. Infrared dim small target tracking based on side window filtering and spatial-temporal regularized correlation filters[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2023, 35(9):147-153. (in Chinese)
钱琨,王久山,张首金,等.基于侧窗滤波与时空正则化相关滤波的红外弱小目标跟踪[J].强激光与粒子

- 束,2023,35(9):147-153.
- [9] Li Bin, Li Xiuhong, Eskar Amura. Infrared small target tracking based on super-resolution and online detection DSST[J]. Infrared Technology, 2022, 44(7):659-666. (in Chinese)
李斌,李秀红,艾斯卡尔·艾木都拉. 基于超分辨率与在线检测 DSST 的红外小目标跟踪[J]. 红外技术, 2022, 44(7):659-666.
- [10] Wang Haijun, Ma Wenlai, Zhang Shengyan. Attention aggregation siamese network with anchor free scheme for UAV object tracking[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2023, 57(10):1945-1954. (in Chinese)
王海军,马文来,张圣燕. 注意力聚集无锚框的孪生网络无人机跟踪算法[J]. 浙江大学学报:工学版,2023, 57(10):1945-1954.
- [11] Liu Xiaobo, Xiao Xiao, Wang Ling, et al. Nchor-free based object detection methods and its application progress in complex scenes [J]. Acta Automatica Sinica, 2023, 49(7):1369-1392. (in Chinese)
刘小波,肖肖,王凌,等. 基于无锚框的目标检测方法及其在复杂场景下的应用进展[J]. 自动化学报, 2023, 49(7):1369-1392.
- [12] Zhang Hongying, He Pengyi. Pedestrian tracking algorithm based on convolutional block attention module and anchor-free detection network[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2022, 44(9):3299-3307. (in Chinese)
张红颖,贺鹏艺. 基于卷积注意力模块和无锚框检测网络的行人跟踪算法[J]. 电子与信息学报, 2022, 44(9):3299-3307.