

多特征增强下图像高相似度目标提取算法研究

刘青凤¹ 田玉珍¹ 程青鹏²
LIU Qingfeng TIAN Yuzhen CHENG Qingpeng

摘要

原始图像特征域与图像梯度域分离以及不同区域特征分布存在相似程度离散现象,会导致无法有效量化特征分布的差异,容易因相似程度离散问题导致误匹配,影响目标提取的准确性。为此,文章提出了一种多特征增强的图像高相似度目标提取算法。该算法在获取图像梯度图时,采用相邻像素差计算方式避免细节信息丢失,并基于局部依赖关系对梯度图进行增强处理,融合特征域与增强后的梯度域得到多特征增强后的图像。引入特征相似度损失量化当前提取框与目标提取框之间的特征差异,设置特征相似度阈值筛选目标区域,并利用滑动匹配输出与目标特征匹配程度最高的提取框,减少误匹配并确保提取结果的准确性。测试结果表明,所设计的算法在目标提取方面表现出色,提取结果的完整性达到85.0%以上,冗余程度控制在2.0%以下,具有较高的精度。

关键词

多特征增强;高相似度;目标提取;梯度图;相似度损失函数;滑动匹配

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.08.009

0 引言

对于包含大量噪声(如高斯噪声、椒盐噪声等)的图像而言,噪声会掩盖目标像素的真实特征,导致目标出现边缘模糊或细节丢失的情况,尤其是在纹理复杂或目标尺寸较小的情况下,会使相似目标的特征提取不准确^[1],进而影响特征匹配的准确性,对相似目标的区分度也会下降。除此之外,分辨率不足会是引起图像目标边缘信息模糊的主要原因之一,其在影响目标分割和轮廓提取精度的基础上,也会导致目标之间的相似性度量不准确,增加相似目标提取的难度^[2]。

在针对图像目标提取和检测的相关研究中,王澳等人^[3]提出了一种基于特征交互注意力机制的遥感图像小目标检测算法。该算法通过引入特征交互注意力模块,增强了模型对小目标的特征提取能力,有效提升了检测精度。然而,当不同区域特征分布存在相似程度离散现象时,该模块无法有效区分相似但不完全相同的特征,导致目标提取精度下降。孙得耀等人^[4]提出了一种基于相似目标替换的遥感图像目标检测数据增广算法。该算法通过替换图像中的相似目标,生成多样化的训练样本,提升了模型的泛化能力。然而,替换过程可能未充分考虑特征域与梯度域分离的问题,导致局部细节信息(如边缘、轮廓)丢失,无法有效量化特征分布的差异。李扬等人^[5]提出了一种频域增强的端到端低照度图像目

标检测方法(FDLIE-YOLO)。该方法通过频域增强技术改善了低照度图像的整体亮度和对比度,并结合YOLO框架实现了高效的目标检测。然而,频域增强主要作用于全局特征,若未融合梯度域信息,可能导致局部细节信息丢失,从而无法有效量化特征分布的差异。闵小翠^[6]提出了一种基于多类在线Boosting的小样本细粒度图像目标识别算法。通过多类在线Boosting技术,增强了模型在小样本条件下的学习能力,实现了细粒度目标的准确识别。该算法通过多类在线Boosting技术增强了模型在小样本条件下的学习能力,实现了细粒度目标的准确识别。然而,Boosting技术主要依赖于特征域的分类能力,若未引入特征相似度损失机制,模型可能无法准确衡量特征分布差异,影响目标提取精度。

针对上述方法的弊端,本文开展了多特征增强下图像高相似度目标提取算法研究,并通过对比测试分析了设计算法的应用效果。

1 图像高相似度目标提取算法设计

1.1 图像多特征增强

原始的图像特征域(指图像在某种特征空间中的表示,例如颜色、纹理、形状等)与图像梯度域(指图像中像素值的变化率,通常用于描述图像的边缘、轮廓和细节信息)处于分离状态。这种分离状态导致图像分辨率较低,在利用其对图像相似目标进行提取时,往往存在偏差^[7]。为了提高图像分辨率并减少相似目标提取时的偏差,需要进行图像多特征增强。为此,本研究通过融合特征域与图像梯度域信息,

1. 郑州科技学院信息工程学院 河南郑州 450064

2. 郑州科技学院机械工程学院 河南郑州 450064

对图像进行多特征增强处理,输出高分辨率的图像,为后续的相似目标提取提供可靠的基础。

针对图像梯度图在表征图像关键结构区域方面的作用,本研究在获取图像梯度图时,为了避免增强后图像出现细节信息丢失问题^[8],采用相邻像素差作为具体的计算方式,其可以表示为:

$$F_h(x, y) = F(x, y) - F(x-1, y) \quad (1)$$

$$F_v(x, y) = F(x, y) - F(x, y-1) \quad (2)$$

$$F_g = \nabla F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad (3)$$

式中: F_g 表示原始图像 F 的梯度图; $F_h(x, y)$ 表示原始图像中在 (x, y) 坐标位置对应像素水平方向的梯度参数; $F_v(x, y)$ 表示原始图像中在坐标位置 (x, y) 对应像素垂直方向的梯度参数; ∇ 表示图像梯度计算函数。

在整体 F_g 中,大部分区域的数值均为接近 0 的参数,即图像梯度较小,主要梯度值均分布在轮廓边缘位置^[9]。针对此,本研究基于局部依赖关系对 F_g 进行增强处理,其中,依赖关系的捕捉方式可以表示为:

$$F_t = H_s(F_{t-1}) = H_{rs}^i(F_g) \quad (4)$$

式中: F_t 表示 t 梯度尺度上 F_g 的局部依赖关系; H_s 表示 Swin Transformer 函数; F_{t-1} 表示梯度域; H_{rs}^i 表示 Residual Swin Transformer Block 函数。

结合式 (4) 的输出结果,融合特征域与图像梯度域,得到特征增强后的图像可以表示为:

$$F_c = F_t \cdot H_f^i(F_{i-1}) \quad (5)$$

式中: F_c 表示多特征增强后的图像; H_f^i 表示图像通道维度上的拼接函数。

按照上述方式,通过融合特征域与图像梯度域信息,输出高分辨率的图像,实现增强图像特征的目的,为后续的相似目标提取提供可靠基础。

1.2 基于特征相似度损失的图像目标匹配

在多特征增强后的图像中,不同区域的特征分布可能存在相似程度离散的现象,即某些区域的特征相似度较高,而其他区域的特征相似度较低。不加以约束,这种离散现象可能会导致错误的目标提取。为了确保目标匹配的准确性,需要引入特征相似度损失作为执行基准,以量化当前提取框与目标提取框之间的特征差异,从而避免误匹配。为此,本研究引入特征相似度损失,衡量当前提取框与目标提取框之间的特征差异,以此提高目标匹配的精度。同时,通过设置特征相似度阈值,筛选出符合条件的目标区域,有效减少由于相似程度离散引起的误匹配问题^[10]。

在当前提取框内,其特征图信息分布与目标提取框内特

征图信息分布的差异程度,利用相似度损失函数进行计算^[11],其可以表示为:

$$\text{loss}_{\text{Clou}} = \text{loss}_{\text{DloU}} + \frac{\frac{4}{\pi^2} (\arctan \frac{w_i}{h_i} - \arctan \frac{w_0}{h_0})^2}{\text{loss}_{\text{IoU}} + \frac{4}{\pi^2} (\arctan \frac{w_i}{h_i} - \arctan \frac{w_0}{h_0})^2} \quad (6)$$

式中: $\text{loss}_{\text{Clou}}$ 表示当前提取框内特征图信息分布与目标提取框内特征图信息分布的相似度损失; $\text{loss}_{\text{DloU}}$ 表示当前提取框内与目标提取框内的位置损失; loss_{IoU} 表示当前提取框内与目标提取框内的范围损失; w_i 和 h_i 表示当前提取框的尺度参数; w_0 和 h_0 表示目标提取框的尺度参数。

结合式 (6) 的计算结果,通过设置特征相似度阈值对多特征增强后图像 F_c 中不同位置分布的 $\text{loss}_{\text{Clou}}$ 进行筛选,利用满足特征相似度阈值筛选结果的特征进行滑动匹配^[12],输出目标提取结果。其中,具体的匹配方式如图 1 所示。

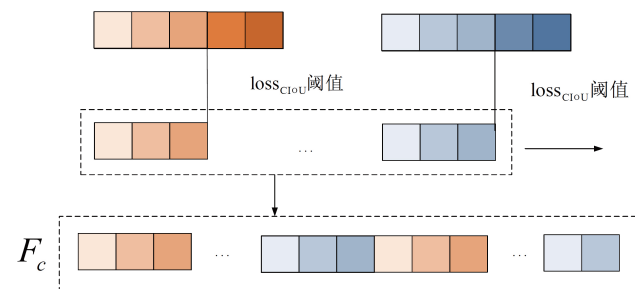


图 1 高相似目标滑动匹配

按照图 1 所示的方式,将 F_c 中与筛选特征匹配程度最高的提取框信息作为目标提取输出,确保提取结果的可靠性。

2 测试分析

2.1 测试数据集

本文集成专业用于图像目标检测的训练、验证和测试的 Pascal VOC 数据集作为具体的测试数据集,具体包括 Pascal VOC2007 和 Pascal VOC2012。训练集,验证集合测试集的具体构成如表 1 所示。

表 1 数据集构成

数据集	Pascal VOC2007	Pascal VOC2012
训练集	2 516	59 210
验证集	2 204	56 300
测试集	4 693	—

在训练集,验证集合测试集中,图像共包括 4 类,目标种类包括 20 种。

2.2 图像目标匹配结果分析

在利用本文设计方法对原始图像进行增强处理后,对图像目标提取框的划分结果如图 2 所示。

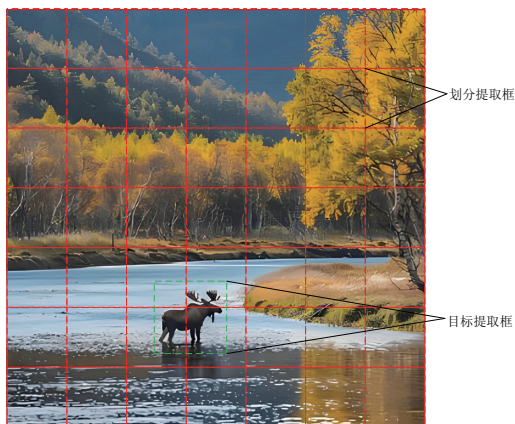


图 2 图像目标提取框划分

在图 2 所示的提取框划分结果中, w_i 和 h_i 的值均为 350 px; w_0 和 h_0 的值均为 400 px。

利用式 (6) 所示的公式计算各提取框内的特征相似度损失 $\text{loss}_{\text{CloU}}$, 其结构如图 3 所示。

0.96	0.87	0.45	0.72	0.79	0.56	0.88
0.79	0.86	0.77	0.64	0.26	0.35	0.77
0.56	0.72	0.63	0.71	0.69	0.84	0.52
0.62	0.71	0.85	0.24	0.79	0.82	0.66
0.98	0.72	0.12	0.15	0.13	0.25	0.66
0.86	0.52	0.17	0.12	0.16	0.30	0.39
0.62	0.35	0.33	0.29	0.24	0.27	0.52

图 3 图像特征相似度损失分布

在对图像中不同位置分布的 $\text{loss}_{\text{CloU}}$ 进行筛选时, 设置特征相似度阈值为 0.8, 即特征相似度损失 $\text{loss}_{\text{CloU}}$ 小于 0.2, 结合图 3 所示的信息, 对提取框进行筛选, 具体输出的执行特征匹配的提取框如图 4 所示。

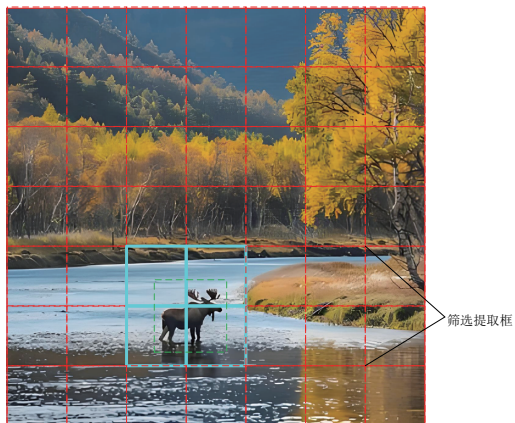


图 4 筛选输出提取框

结合图 4 所示的筛选输出提取框可以看出, 这一结果实现了对目标的有效覆盖, 为高相似目标的滑动匹配提供了可靠的执行基础, 从而保障了最终的提取结果。此外, 从筛选输出提取框的具体分布来看, 所有提取框均涵盖了目标像素, 未出现将非相关提取框误选为匹配目标的情况。这一特性为降低目标提取结果的冗余提供了重要基础。

2.3 测试结果与分析

在分析本文设计方法的目标提取效果时, 分别设置基于 FDLIE-YOLO 频域增强的端到端低照度图像目标检测方法, 以及多类在线 Boosting 的小样本细粒度图像目标识别算法作为测试的对照组。

首先, 对比分析了不同方法和算法对于图像目标的完整提取情况, 对应的测试结果如表 2 所示。

表 2 不同方法和算法图像目标提取数据

单位: 张			
完整性 /%	基于 FDLIE-YOLO 频域增强的端到端 低照度图像目标检 测方法	多类在线 Boosting 的小样 本细粒度图像目 标识别算法	本文设计图 像高相似度 目标提取算 法
100	4 402	4 326	4 469
(100,95]	123	162	126
(95,90]	116	126	85
(90,85]	20	22	13
(85,80]	26	17	0
(80,75]	4	12	0
(75,70]	1	15	0
(70,65]	1	6	0
(65,60]	0	6	0
60 以下	0	1	0

结合表 2 所示的测试结果可以看出, 在 3 种不同方法和算法下, 本文设计算法对图像目标提取的完整效果最高, 均达到了 85.0% 以上。这是因为本文设计算法通过对融合特征域与图像梯度域信息进行充分融合处理, 提高了图像的高分辨率, 使得图像特征得到了增强, 有效避免了由于特征分辨率低引起的目标提取异常问题, 保障了提取结果的精准性。

其次, 对比分析了不同方法和算法对于图像目标提取的冗余程度, 即非目标像素在提取结果中的占比, 对应的结果如图 5 所示。结合图 5 所示的测试结果可以看出, 在 3 种不同方法和算法的对比下, 本文设计的算法在图像目标提取结果中的冗余程度最低, 始终稳定在 2.0% 以下。这一优势得

益于本文算法引入了相似度损失函数对提取框进行筛选,使得在利用提取框内的特征匹配目标时,能够有效排除干扰特征的影响。在此基础上,通过滑动匹配图像目标,显著降低了因特征相似度差异导致的目标提取冗余,从而提升了目标提取的精准性。

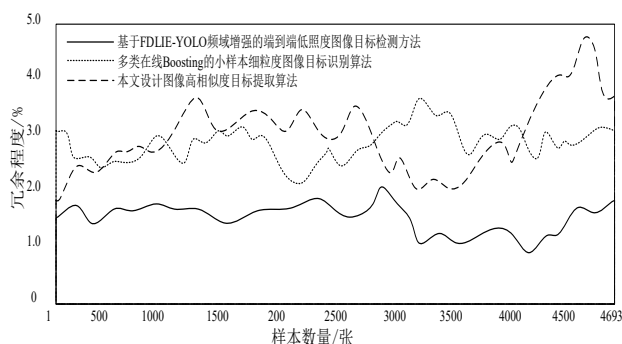


图5 目标提取冗余量

3 结语

针对原始图像特征域与图像梯度域信息分离以及不同区域特征分布相似程度离散对图像目标提取结果造成的不利影响,本文深入开展了多特征增强下图像高相似度目标提取算法的研究。采用相邻像素差计算方式精准获取图像的梯度图,并深入挖掘梯度图中的局部依赖关系,以此为基础实现了特征域与梯度域的有效融合。这种融合方式将原本分散的特征信息整合到同一空间维度,显著增强了图像的特征信息,为目标提取任务奠定了坚实基础。为进一步提高目标提取的准确性,本文引入特征相似度损失函数,以此量化当前提取框与目标提取框之间的特征差异。通过设定合理的特征相似度阈值,对增强后的图像目标提取框进行严格筛选,确保筛选出的目标区域符合相似度要求。最后,利用滑动匹配策略输出与目标特征匹配程度最高的提取框,有效减少了误匹配情况的发生。

在测试数据集上的实验结果表明,本文所设计的算法在目标提取方面表现优异。目标提取结果的完整性均达到85.0%以上,提取输出的冗余程度均稳定在2.0%以下,充分证明了该算法具有较高的精度和可靠性。

参考文献:

- [1] 殷凌锋,童旭东,倪欢.基于分层融合机制的超分辨率遥感图像目标检测方法[J].航天返回与遥感,2025,46(1):123-134.
- [2] 陈昕,单慧琳,段修贤,等.基于分数阶Gabor变换卷积的遥感图像飞机目标检测算法[J].航天返回与遥感,2025,46(1):135-149.

- [3] 王澳,周孟然.基于特征交互注意力的遥感图像小目标检测算法[J].兰州工业学院学报,2025,32(1):89-95.
- [4] 孙得耀,朱明,王佳荣.遥感图像目标检测的相似目标替换增广算法[J].液晶与显示,2024,39(6):813-821.
- [5] 李扬,李现国,陈莲,等.FDLIE-YOLO:频域增强的端到端低照度图像目标检测方法[J].红外与激光工程,2025,54(1):266-278.
- [6] 闵小翠.多类在线Boosting的小样本细粒度图像目标识别算法[J].信息技术与信息化,2025(1):133-136.
- [7] 刘洋,时富斌,王竹筠,等.基于显著性引导增强与改进Faster-RCNN的遥感图像目标检测方法[J].沈阳航空航天大学学报,2024,41(6):50-60.
- [8] 苏文博,房群忠,徐保树,等.基于SE-Hardnet网络的无人机图像目标匹配算法[J].沈阳工业大学学报,2024,46(5):693-701.
- [9] 方伟,张亚.基于改进YOLOv8s的无人机航拍图像小目标检测算法[J].兰州工业学院学报,2025,32(1):82-88.
- [10] 陈海燕,毛利宏.一种改进的基于YOLOv5s的轻量化航拍目标检测模型[J].计算机科学,2024,51(S2):475-482.
- [11] 王雷雨,王正勇,陈洪刚,等.改进Oriented R-CNN的遥感图像定向目标检测算法[J].电子测量技术,2024,47(21):138-149.
- [12] 陈虹云,徐欢潇,李秀静,等.基于双分支卷积神经网络的弱光图像显著性目标识别研究[J].激光杂志,2024,45(10):136-140.

【作者简介】

刘青凤(1995—),女,河南信阳人,硕士,助教,研究方向:算法设计。

田玉珍(1997—),女,河南郑州人,硕士,助教,研究方向:数字图像处理。

程青鹏(1994—),男,河南信阳人,硕士,助教,研究方向:金属学及金属工艺。

(收稿日期:2025-03-20 修回日期:2025-07-31)