

2.17【A17】基于低空无人机视觉的桥梁表观病害精细化智能检测算法开发【杭州师范大学】

1. 命题方向

智能计算

2. 题目类别

计算类

3. 题目名称

基于低空无人机视觉的桥梁表观病害精细化智能检测算法开发

4. 背景说明

【整体背景】

交通基础设施是国家经济发展的命脉。据统计，我国公路桥梁总数超过 100 万座，铁路桥梁超过 20 万座。随着使用年限增长，大量桥梁进入“老龄化”阶段，裂缝、露筋、锈蚀等病害频发。传统的桥梁巡检主要依靠人工驾驶检测车或搭建脚手架，存在效率低、盲区多、高空作业风险大、严重阻碍交通等问题。

“十四五”规划明确提出要推动交通基础设施数字化、网联化升级。利用低空无人机（UAV）搭载高分辨率相机进行非接触式巡检，已成为行业发展趋势。然而，无人机巡检会产生海量图像数据，依靠人工回看照片进行病害标注不仅耗时耗力，且容易漏检。

【单位背景】

杭州师范大学数学学院拥有深厚的学术底蕴，其数学学科不仅是浙江省一流学科，更稳居 ESI 全球排名前 1%，拥有数学一级学科博士学位授权点，为数据科学与人工智能专业领域的发展奠定了坚实的理论基石。在此基础上成立的大数据科学研究院，是学校响应国家大数据战略、对接杭州“数字之城”产业需求的科研特区，现已成为长三角地区具有重要影响力的数据智能创新高地。

在数据科学与人工智能领域，学院与研究院坚持“基础理论引领，应用落地驱动”的科研路线。依托省部级科研平台，科研团队在运筹优化、机器学习理论、复杂数据分析及智能计算等核心领域取得了一系列突破性成果，在顶刊、顶会发表大量高水平论文。同时，单位积极推动产学研深度融合，将 AI 技术广泛应用于智慧医

疗、智慧教育及杭州城市大脑优化中，有效解决了多个行业关键共性技术难题，社会效益成效显著。

学校层面给予了该领域前所未有的大力支持。作为学校优先发展的战略高地，研究院实行“人才特区”政策，大力引进海内外顶尖人才，组建了多支高水平、国际化的创新团队。此外，学校持续加大在高性能计算平台、大数据中心等硬件设施上的投入，提供了充足的科研经费和一流的实验环境，全力保障从算法创新到场景应用的无缝衔接。杭州师范大学数学学院、大数据科学研究院将继续依托杭州数字经济、低空经济、具身智能等产业优势，深耕人工智能基础数学理论，赋能数据要素价值释放，致力于建设成为国内一流的数据科学人才培养基地与科技创新引擎。

【业务背景】

目前，本命题单位已在全国多地开展无人机自动化桥梁巡检业务和研究，积累了海量的桥梁外观影像数据。但在实际业务落地中，面临以下技术瓶颈：

复杂环境干扰：桥底光线阴暗、水面反光、树木遮挡、涂鸦污渍等背景噪声极大影响识别准确率。

微小病害检测：高空拍摄视角下，微细裂缝等病害在图像中占比极小，极易被忽略。

量化需求迫切：仅“框出”病害不够，工程养护需要知道病害的具体长度、宽度，锈蚀的面积占比，以评估桥梁健康等级。

因此，本单位急需开发一套高精度、高效率的视觉AI算法系统，能够自动处理无人机影像，实现病害的像素级分割与量化。

5. 项目说明

【问题说明】

参赛团队需要针对无人机采集的桥梁（包括高架、跨江大桥、铁路桥等）高分辨率图像，设计并实现一套深度学习算法系统。该算法系统需要解决以下核心问题：

多类别病害检测：精准识别混凝土裂缝、剥落/掉块、钢筋裸露、钢结构锈蚀、泛碱（渗水）等常见病害。

抗干扰能力：能够有效区分真实的病害与污渍、阴影、接缝、爬墙虎等干扰物。

像素级分割：不仅要考虑目标检测，还需考虑实例分割，以便后续计算病害的

几何参数。

【用户期望】

用户期望获得一个核心算法模块/系统，能够输入无人机原始图像，输出包含病害类别、掩膜（Mask）及置信度的结果文件。

该算法应具备“快、准、细”的特点：在主流显卡上具备准实时处理能力；对微小病害的召回率高；分割边缘贴合度高，能够支撑后续生成桥梁检测报告。

6. 任务要求

【开发说明】

建议参赛团队完成以下核心任务：

(1) 算法模型构建：选择并改进主流的计算机视觉模型（如 YOLO 系列、Mask R-CNN、Swin Transformer 等），针对桥梁病害的小目标和长宽比极端（如细长裂缝）特性进行网络结构优化。

(2) 数据增强与处理：利用图像处理技术解决桥下光照不均、运动模糊等问题，通过数据增强提升模型泛化能力。

(3) 量化计算模块：在分割结果基础上，设计算法估算病害的物理长度和最大宽度（需结合给定的像素-物理尺寸转换系数）。

【技术要求与指标】

(1) 算法开发环境：推荐使用 Python 3.8+，PyTorch 1.8+ 或 TensorFlow 2.x。

(2) 目标类别：需检测至少 3 类桥梁病害。

(3) 性能指标：

以下指标只作为衡量模型在可参考数据集上的效果对比，但比赛评审打分不局限于这些指标，还要看实际应用效果的展示情况。

① 检测和分割精度：建议在参考测试数据集上的病害分类精度 (mAP@0.5:0.95) 和病害区域的交并比 (IoU) 不低于现有基于 YOLO 或 Transformer 等的基线模型。

② 运行效率：在常规消费级 GPU（如 RTX4090）上，单张 4K 分辨率图像的推理耗时不超过 200ms。

【提交材料】

- (1) 项目概要介绍;
- (2) 项目简介PPT;
- (3) 项目详细方案;
- (4) 项目演示视频;
- (5) 企业要求提交的材料:
 - ① 项目技术方案文档：建议包含算法原理、模型架构图、创新点、训练策略及实验对比分析等；
 - ② 演示视频：建议展示算法对无人机视频流或测试图片的实时处理效果；
- (6) 团队自愿提交的其他补充材料。

7. 参考信息

可参考数据集资源：本赛题数据集可自行收集或基于以下数据集进行筛选和适配。（如有其它数据集亦可，在参赛提交文档中需注明数据集来源）

- (1) GYU-DET 桥梁病害检测数据集：

<https://www.scidb.cn/detail?dataSetId=68827df9f367442c8be0c283e60ed3b7>

- (2) COCO-Bridge-2021-plus 桥梁病害检测数据集：

<https://github.com/beric7/COCO-Bridge-2021-plus/tree/main?tab=readme-ov-file>

可参考论文：

- (1) Multi-defect type beam bridge dataset: GYU-DET:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12215046/#CR20>

- (2) Deep Learning Models for UAV-Assisted Bridge Inspection: A YOLO Benchmark Analysis: <https://arxiv.org/abs/2411.04475>

8. 评分要点

赛题评分要点见附件一：A类企业命题初赛统一评分标准。

2.18【A18】面向全天候交通场景的无人机视角多模态小目标检测算法设计【杭州师范大学】

1. 命题方向

智能计算

2. 题目类别

计算类

3. 题目名称

面向全天候交通场景的无人机视角多模态小目标检测算法设计

4. 背景说明

【整体背景】

随着“新基建”和智慧城市建设的深入推进，智能交通系统（ITS）已成为缓解城市拥堵、降低事故率的关键手段。无人机（UAV）凭借其机动灵活、视野广阔、成本低廉的优势，正逐渐取代固定的路侧监控摄像头，成为交通巡检的“天眼”。

然而，真实的交通场景极其复杂：

- **视角特殊：**无人机高空俯视导致车辆、行人等目标在图像中占比极小（即“小目标”），特征极其不明显。
- **环境多变：**光照变化、雾霾天气、夜间低光照环境严重影响可见光相机的成像质量。
- **密度极高：**城市道路拥堵时，目标密集遮挡，极易造成漏检和误检。

为了实现全天候、高精度的交通态势感知，单纯依靠可见光（RGB）图像已捉襟见肘，结合热红外（Thermal/Infrared）成像的多模态融合检测技术成为行业亟需突破的技术高地。

【单位背景】

杭州师范大学数学学院拥有深厚的学术底蕴，其数学学科不仅是浙江省一流学科，更稳居ESI全球排名前1%，拥有数学一级学科博士学位授权点，为数据科学与人工智能专业领域的发展奠定了坚实的理论基石。在此基础上成立的大数据科学研究院，是学校响应国家大数据战略、对接杭州“数字之城”产业需求的科研特区，现已成为长三角地区具有重要影响力的数据智能创新高地。

在数据科学与人工智能领域，学院与研究院坚持“基础理论引领，应用落地驱动”的科研路线。依托省部级科研平台，科研团队在运筹优化、机器学习理论、复杂数据分析及智能计算等核心领域取得了一系列突破性成果，在顶刊、顶会发表大量高水平论文。同时，单位积极推动产学研深度融合，将AI技术广泛应用于智慧医疗、智慧教育及杭州城市大脑优化中，有效解决了多个行业关键共性技术难题，社会服务成效显著。

学校层面给予了该领域前所未有的大力支持。作为学校优先发展的战略高地，研究院实行“人才特区”政策，大力引进海内外顶尖人才，组建了多支高水平、国际化的创新团队。此外，学校持续加大在高性能计算平台、大数据中心等硬件设施上的投入，提供了充足的科研经费和一流的实验环境，全力保障从算法创新到场景应用的无缝衔接。杭州师范大学数学学院、大数据科学研究院将继续依托杭州数字经济、低空经济、具身智能等产业优势，深耕人工智能基础数学理论，赋能数据要素价值释放，致力于建设成为国内一流的数据科学人才培养基地与科技创新引擎。

【业务背景】

目前，本命题单位长期深耕于空地一体化智慧交通解决方案。在实际业务中，我们发现现有的AI算法在白天光照充足时表现尚可，但在夜间、阴雨天或远距离高空巡航时，对小汽车、行人、三轮车等小目标的检测精度大幅下降，导致无法准确统计车流量或及时发现交通事故。为了解决这一痛点，急需一套能够融合可见光与红外热成像数据的高效检测算法，赋予无人机在全天候环境下“明察秋毫”的能力，推动交通违章抓拍、拥堵治理等业务真正落地。

5. 项目说明

【问题说明】

参赛团队需要解决无人机航拍交通场景下的三大核心技术难题：

- **极小目标检测：** 目标在图像中像素占比往往小于 32x32，甚至更小，特征在卷积过程中极易丢失。
- **多模态数据融合：** 如何有效地融合可见光的纹理色彩信息与红外的热辐射信息？简单的通道叠加往往效果不佳，需要设计巧妙的特征融合机制。
- **多类别与密集遮挡：** 场景中包含车辆、货车、大巴等多种类别，且存在严重的重叠遮挡现象。

【用户期望】

用户期望获得一个高精度、鲁棒性强的目标检测模型。

- **全天候适应：** 无论是白天强光还是夜晚全黑、以及雨雪雾霾等天气，模型都能利用双光互补特性准确识别目标。
- **小目标精准：** 对远距离的小型车辆和非机动车有极高的召回率。
- **算法创新：** 鼓励使用 Transformer、注意力机制、特征金字塔（FPN）改进、Anchor-free 等前沿技术进行架构创新，而不仅仅是调参。

6. 任务要求

【开发说明】

参赛团队可基于深度学习框架（PyTorch/TensorFlow等），设计并训练一个针对无人机视角的多模态目标检测模型。

- **数据处理：** 对 RGB 与红外图像进行预处理。
- **模型构建：** 设计双流或多分支网络架构，提取不同模态特征并进行融合。需重点优化小目标检测头的设计。

- 训练与调优：使用训练集进行模型训练，解决正负样本不平衡、模态不平衡问题。
- 推理演示：编写推理脚本，输入测试图片/视频，输出带有检测框和类别 的可视化结果。

【技术要求与指标】

- 开发环境：推荐使用 Python 3.8+，PyTorch 1.8+或TensorFlow 2.x。
 - 目标类别：需检测至少 5 类交通目标。
- 性能指标：**
- 以下指标只作为衡量模型在可参考数据集上的效果对比，但比赛评审打分不局限于这些指标，还要看实际应用效果的展示情况。
- 精度指标：在参考测试数据集上的 mAP@0.5 或 mAP@0.5:0.95 建议不低于现有基于 YOLO 或 Transformer 等的基线模型。
 - 融合有效性：双光融合模型的精度需优于仅使用单模态（仅 RGB 或仅红外）的基准模型。
 - 小目标性能：针对像素面积小于 32x32 的目标，性能指标需有针对性优化设计说明。
 - 推理速度：在常规消费级 GPU（如 RTX4090）上，推理速度（FPS）建议不低于 15 帧/秒，需具备一定的实时处理潜力。

【提交材料】

- (1) 项目概要介绍；
- (2) 项目简介PPT；
- (3) 项目详细方案；
- (4) 项目演示视频；

(5) 企业要求提交的材料：

- ① 项目简介PPT：包含算法架构图、创新点、实验对比数据等；
 - ② 项目详细技术方案文档，建议包含以下内容：详细阐述网络结构设计（特别是融合模块和小目标增强模块）；训练策略（Loss函数设计、数据增强方法、超参数设置）；消融实验分析（证明你的改进模块是有效的）；
 - ③ 演示视频：建议展示算法在不同场景下的检测效果；
- (6) 团队自愿提交的其他补充材料。

【任务清单】

- 调研 YOLO 系列、R-CNN 系列及最新的 Transformer 检测算法，阅读关于 RGB-T（可见光-热成像）融合的文献等。
- 分析赛题数据集特点（分辨率、目标分布、光照条件）。
- 搭建基线模型（Baseline），跑通训练流程。
- 设计改进方案：如引入注意力机制（如 CBAM, SE）或设计特征融合模块等。
- 针对小目标进行优化：如改进 FPN 结构、使用 SPD-Conv、增加检测头等。
- 进行模型训练、验证与测试，生成最终检测结果。
- 撰写技术文档与制作演示材料。

7. 参考信息

可参考数据集资源：

本赛题数据集可自行收集或基于开源数据集DroneVehicle或VEDAI进行筛选和适配。（如有其它数据集亦可，在参赛提交文档中需注明数据集来源）

[1] DroneVehicle数据集：

<https://github.com/VisDrone/DroneVehicle?tab=readme-ov-file>