

基于智能时空矢量面的河流人员安全精准预警应用

李德民 林丽静 殷馨如 董成志 洪柯

浙江安防职业技术学院, 浙江温州, 325006;

摘要: 针对当前河流人员安全监控存在预警精度低、无效警情频发等问题, 本文结合时空矢量建模与计算机视觉智能识别技术, 提出了一种基于智能时空矢量面的河流人员安全精准预警方法。该方法以河流监控视频为数据源, 通过定时帧抓取画面, 采用 YOLO 语义分割模型完成水体区域识别, 构建动态更新的河流智能时空矢量面; 结合优化后的人员目标识别模型, 通过空间拓扑关系计算判断人员与河流危险区域的位置关系, 实现人员闯入危险区域的智能精准预警。实验结果表明, 该方法可有效区分河流危险区域与非危险区域预警情况, 显著提升河流人员安全管理的智能化与精准化水平, 为水域公共安全防控提供新的实践应用参考。

关键词: 智能时空矢量面; 人员识别; 河流安全; YOLO 模型

DOI: 10.69979/3041-0673.26.05.070

引言

随着我国公共安全体系建设的不断完善, 人员安全预警已成为水域生态保护、城市公共安全管理领域的核心需求之一^[1]。河流作为城市生态系统与公共空间的重要组成部分, 其沿岸及水域范围内的人员安全管理面临严峻挑战, 夏季溺水事故频发, 违规钓鱼、戏水、涉水作业等行为屡禁不止, 这不仅直接威胁人员生命安全, 也大幅增加了安保监管的人力与物力成本^[2-3]。

当前河流人员安全监控主要依赖传统视频监控系统, 该系统存在明显的技术短板, 难以满足精准预警的实际业务需求。传统视频监控以固定监控范围作为报警边界, 未对河流危险区域与非危险区域进行界定, 导致人员进入监控大范围但未接触危险水域时, 系统仍会误触发报警, 产生大量无效警情; 同时, 现有监控系统缺乏时空信息与智能识别技术的深度融合, 无法动态适配河流水位变化、季节更替等因素导致的危险区域范围变动, 进一步降低了预警的可靠性与有效性。无效警情不仅造成安保人力资源的严重浪费, 还易使安保人员产生工作疲劳感, 降低对真实危险警情的响应速度, 最终形成河流安全监管的漏洞。

时空矢量建模技术能够准确描述地理实体的空间位置、形态特征, 为河流危险区域的精准界定提供了核心技术支撑^[4]; 目标检测、语义分割技术的快速发展, 为复杂户外场景下的水体与人员精准识别提供了技术可能^[5]。基于此, 本研究融合时空矢量建模与计算机视觉智能识别技术, 提出一种基于智能时空矢量面的河流人员安全精准预警方法。该方法通过定时抓取视频监控画面完成水体识别, 构建动态更新的河流智能时空矢量面, 结合优化后的人员识别模型, 通过空间拓扑关系计

算实现人员闯入危险区域的精准报警, 旨在解决传统监控系统预警精度低、无效警情多的核心痛点, 提升河流人员安全管理的智能化、精准化水平, 为水域公共安全防控提供实践应用参考。

1 技术路线

本研究提出的基于智能时空矢量面的河流人员安全精准预警方法, 技术流程包括图像数据采集、矢量面构建、人员识别、拓扑判断、预警触发等部分, 兼顾了预警的精准性与时效性。具体技术流程如图 1 所示。

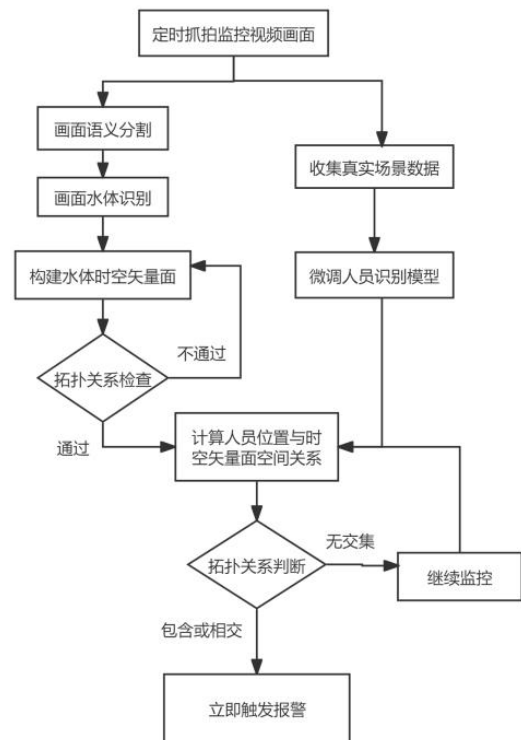


图 1 技术路线

1.1 图像数据采集

通过在河流沿岸关键点位部署高清网络摄像头,实现对河流沿岸及水域范围的全天候实时监控。为平衡预警时效性与系统算力消耗,采用定时抓图的方式将监控视频转换为连续的图像帧,并合理设置定时抓图时间间隔;同时配置摄像头定时转动策略,通过定点摄像头的全方位转动,动态拓展河流监控范围,实现对河流区域的全面覆盖。

1.2 河流智能时空矢量面构建

河流智能时空矢量面的构建是实现河流人员安全精准预警的核心环节,本部分以YOLO分割模型为核心^[6],对获取的监控图像进行水体区域检测与分割,通过模型的目标检测与特征提取能力,精准区分图像中的水体区域与非水体区域,结合地理空间建模技术实现矢量面的生成与动态更新。

首先,结合真实场景的图像构建河流水体的训练样本数据集。通过Labelme对河流、湖泊等水体赋予水体标签,并导出json格式。为了适配YOLOv11分割模型训练要求,本文将json格式的文件转为txt文件。然后在yolo11n-seg模型的基础上训练模型,优化参数使其更加贴合实际的场景的水体语义分割需求。接着,将提取的水体轮廓转换为空间矢量多边形,结合图像帧的抓取时间戳,生成包含空间位置、轮廓形态、时间信息的河流智能时空矢量面。

为适配河流水位涨落、季节变化等带来的水域范围变动,每间隔30分钟对河流智能时空矢量面进行一次动态更新,确保矢量面与河流实际水域范围保持一致;同时采用拓扑检查算法,对生成的智能时空矢量面进行一致性检查,为后续空间拓扑关系计算提供可靠的矢量数据。

1.3 人员识别

人员目标的精准识别是实现河流人员安全预警的核心前提,本环节以YOLO目标检测模型为基础^[6],结合河流监控场景的实际特点进行模型微调优化,实现复杂户外场景下人员目标的精准识别,并获取人员的空间位置信息。

在训练样本构建方面,收集了河流监控真实场景下的各类人员样本,涵盖不同时间段、不同姿态、不同天气环境下的人员图像共500张;重点增加钓鱼、涉水、戏水等危险姿态的人员样本,提升模型对危险行为人员的识别能力。采用LabelImg标注工具对样本中的人员目标进行精准标注,并通过数据增强技术对样本集进行

扩充,提升模型的泛化能力与场景适配性。

在模型训练方面,将收集并标注的河流场景人员样本按8:1:1的比例划分为训练集、验证集与测试集,基于YOLOv11模型进行针对性微调训练。训练过程中采用自适应学习率调整策略,结合交叉熵损失函数优化模型参数配置,有效减少模型的过拟合现象;训练完成后,通过验证集对模型的识别性能进行评估,根据评估结果调整模型超参数,直至模型的人员识别准确率达到预设要求。

在人员目标识别方面,将监控图像帧输入至优化后的YOLOv11人员识别模型,输出人员目标框的对角坐标信息 $(x1,y1,x2,y2)$,并计算人员目标的识别置信度。设置置信度阈值为0.8,当置信度大于0.8时,判定为有效人员目标,保留其坐标信息;当置信度小于等于0.8时,判定为无效目标并予以剔除,有效减少人员识别的误检现象。

1.4 空间拓扑判断

将人员识别模型输出的有效人员目标框转换为空间矢量多边形,根据目标框的坐标信息计算多边形的顶点坐标,生成与河流智能时空矢量面数据格式一致的人员矢量数据,实现人员空间位置的矢量化建模。然后采用空间拓扑关系计算方法,将人员矢量多边形与河流智能时空矢量面进行拓扑关系分析,精准判断两者之间的拓扑关系类型。计算过程中采用射线法判断人员矢量多边形的顶点与河流智能时空矢量面的位置关系,结合多边形的重叠面积进行综合判定,最终将拓扑关系划分为三类:人员矢量多边形完全位于河流智能时空矢量面内为包含关系;人员矢量多边形与河流智能时空矢量面部分重叠为相交关系;人员矢量多边形与河流智能时空矢量面无重叠为相离关系。

当判定为包含关系或者相交关系时,触发预警,表明人员已完全进入河流危险水域或者部分闯入河流危险水域,当判定为相离关系时,不触发任何预警,系统继续对河流区域进行实时监控。

2 实验结果与分析

本研究选取100张河流监控真实场景图像作为预警效果测试集,通过目视解译判定,其中68张为人员进入河流危险区域的图像,32张为人员处于河流安全区域的图像。测试图像涵盖不同人员尺度、不同天气情况、不同水体颜色等复杂场景。本文方法构建了时空矢量面,如图2(a)所示,即使检测到了人员对象,但是人体对象的矢量框和时空矢量面在拓扑关系上属于相离,因此

判断该人员处于安全区域,没有进行报警。图2(b)为本文方法发生报警的情形。当识别到人员对象,同时该对象和时空矢量面的关系为包含时,则会产生疑似人员闯入的报警。由此可见,该方法可以有效解决了传统监控系统的误报警问题,实现了河流人员安全的精准预警。



(a) (b)

图2 河流人员安全预警实例

3 总结

河流人员安全管控是城市公共安全体系建设的重要组成部分,传统视频监控预警模式因以固定范围作为报警边界,存在预警精度低、无效警情频发等问题。本研究通过水体区域精准识别构建了河流的智能时空矢量面,结合河流场景的人员识别模型,并采用空间拓扑关系计算方法判断人员矢量多边形与河流智能时空矢量面的关系,只有当二者为包含或相交关系时才会触发预警,实现了河流人员闯入危险区域的精准判别。实验结果验证了该方法的有效性与实用性,后续研究可结合

河流实际管控需求,建立基于智能时空矢量面的分级预警体系,根据人员与河流危险区域的拓扑关系、距离远近划分预警等级,实现差异化、针对性的预警响应,为水域安全管理提供更全面、高效的技术支撑。

参考文献

- [1]董泽宇. 风险预警管理体系构建:“过程—系统”视角[J]. 中国应急管理科学,2023,(08):49-60.
- [2]胡珺. 智慧水利在中小河流管理中的应用研究——以肇兰新河为例[J]. 黑龙江水利科技,2026,54(02):121-124. DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2026.02.016.
- [3]田帅,吴保臻,辛萌. 肥城市水利防溺水“五级管控”措施及做法[J]. 山东水利,2025,(07):44-46. DOI:10.16114/j.cnki.sdsl.2025.07.014.
- [4]丁页,张艺馨,王昕宇. 地理信息测绘中栅格图像数据矢量化方法研究[J]. 科学技术创新,2025,(03):29-32.
- [5]范成平. 基于无人机巡检与AI技术的库区巡检与水生生物监测综合性保护研究[J]. 信息化研究,2025,51(05):169-173.
- [6]Jiang P, Ergu D, Liu F, et al. A Review of Yolo algorithm developments[J]. Procedia computer science, 2022, 199: 1066-1073.