

基于机器视觉的游艇超载实时识别技术设计与实践

王梓梵 许茗杰 宋震一 姚俊涛 王俊豪

集美大学航海学院, 中国·福建 厦门 361021

摘要: 内河及沿海游艇出行需求攀升, 超载航行频发引发安全隐患, 传统监管效率低, 亟需机器视觉技术实现超载实时识别管控, 本文聚焦基于机器视觉的游艇超载实时识别技术的设计与实践。阐述了该技术设计的原理、流程以及关键环节, 通过实践验证了其在游艇超载识别中的有效性和可靠性。此技术能为水上安全监管提供有力支持, 提升游艇运营的安全性。

关键词: 机器视觉; 游艇超载; 实时识别技术

Design and Practice of Real-time Overload Recognition Technology for Yachts Based on Machine Vision

Wang Zifan, Xu Mingjie, Song Zhenyi, Yao Juntao, Wang Junhao

NAVIGATION COLLEGE OF JIMEI UNIVERSITY, China Fujian Xiamen 361021

Abstract: The demand for yacht travel on inland rivers and coasts is on the rise, and frequent overloading navigation poses safety hazards. Traditional supervision is inefficient, and there is an urgent need for machine vision technology to achieve real-time identification and control of overloading. This paper focuses on the design and practice of real-time yacht overloading identification technology based on machine vision. It elaborates on the principles, processes, and key aspects of this technology design. Through practical verification, its effectiveness and reliability in yacht overloading identification have been confirmed. This technology can provide strong support for water safety supervision and enhance the safety of yacht operations.

Keywords: Machine vision; Yacht overload; Real-time recognition technology

0 引言

在游艇行业迅猛发展的今天, 游艇超载现象越来越突出, 对水上交通安全造成严重威胁。传统超载检测方法检测效率和准确性不高, 很难达到实时监管要求。机器视觉技术具有非接触、效率高和精度高等优点, 为游艇超载实时识别问题提供了一种全新的解决思路。对基于机器视觉游艇超载实时识别技术进行研究和实践, 具有一定的实际意义。

1 游艇超载实时识别技术的应用需求

伴随着我国水上旅游、休闲渔业和滨海文旅产业的迅猛发展, 游艇、快艇、观光船舶等小型船舶不断增加, 水上交通安全风险也相应增加。游艇超载是造成船舶稳性下降、应急逃生困难和碰撞倾覆事故发生率高的主要原因, 传统上主要靠人工登船检查和视频回看验证、船员独立申报监管模式已经很难适应高密度、高频次和动态化水上交通监管的需要, 在旅游旺季、节假日客流高峰、夜间通航、离岸较远场景中, 人工巡查的覆盖范围不够大, 超载行为具有隐蔽性高、查找滞后、取证难的特点, 容易形成安全

监管盲区^[1]。所以, 建设一个自动化、智能化和实时化游艇超载识别系统已成为海事监管、港口运营和游艇运营企业的普遍迫切要求, 在功能需求上, 游艇超载实时识别技术必须首先具有复杂场景的适应性。游艇靠泊码头、离岸航行、高速航行、逆光、夜间航行、阴雨和波浪晃动都会给视觉采集带来干扰, 因此系统需要在多光照、多姿态和多背景情况下稳定乘员计数精度, 并且系统需要满足实时性的要求, 包括图像采集、目标检测、人数统计以及超载判定和告警信息推送等, 总体时延要控制在秒量级, 保证在发生超载时能够即时报警, 并预留响应时间进行现场管控和远程干预。同时在技术上需要支持对乘员目标的连续跟踪和去重以避免由于人的走动、遮挡、进出舱室、镜头晃动等原因造成的反复统计或遗漏, 确保人数统计的准确性和可靠性。

2 基于机器视觉的游艇超载实时识别技术设计的方法

2.1 设计多场景图像预处理方案

基于机器视觉游艇超载识别系统中图像的预处理是

确保后续检测准确性的基本步骤。游艇的操作环境复杂多样,船舶晃动引起画面抖动、光照突变引起曝光异常、水面反光产生强烈干扰、水雾烟尘使图像清晰度下降等问题、船舱阴影导致乘员目标模糊等等,这些将直接影响到人数检测模型运行的稳定性,为此,可以设计一套与水上场景相适应的多场景图像预处理方案可以有效地抑制噪声、强化目标特征和统一图像格式等,从而为轻量化检测模型的建立提供了优质输入,为了解决船舶运动导致的视频帧抖动问题,预处理模块采用了一种基于特征点匹配的电子稳像算法,该算法通过提取相邻帧之间的不变特征点,估计相机运动矢量,动态补偿画面以消除高频抖动引起的检测偏差^[2]。针对光照不均、逆光和夜间低照度场景,利用自适应直方图均衡化和亮度自适应校正算法对暗部细节进行增强,同时保留乘员轮廓信息以避免因亮度过高或过低而漏检目标。对于水面反光、船体玻璃反光和浪花干扰等高频噪声问题,利用高斯滤波和中值滤波相结合的策略在平滑背景噪声时保留乘员边缘特征以避免目标轮廓断裂。

2.2 轻量化人数检测模型的建立

游艇超载实时识别系统一般部署于船载端、边缘网关或者移动设备中,计算资源受限且功耗约束苛刻,而传统的高精度深度学习模型由于参数量较多和计算复杂度较高等问题很难满足实时推理的需求。因此,建立轻量化、高精度和低延迟乘员人数检测模型是机器视觉方案在项目落地过程中的一个核心步骤。模型设计需要兼顾检测精度和推理速度,以保证在嵌入式平台中仍然能够稳定地实现实时检测,该模型的搭建基于轻量化主干网络,参考了 MobileNet 和 ShuffleNet 的高效网络结构,并利用深度可分离卷积、通道洗牌和逆残差结构对模型进行了体积压缩,降低了浮点运算量。同时考虑到游艇乘员目标的尺度变化很大、遮挡频繁且姿态多变,将多尺度的特征金字塔结构引入到特征融合的部分中,实现了近景中的大目标和远景中的小目标的同时高效感知,从而避免了由于目标尺度不同而造成的漏检问题^[3]。为了进一步提高对小目标的检测能力,该模型加强了浅层特征图对细节信息的保留,同时利用锚框聚类对游艇场景重生成与乘员人体比例相适应的先验框以提高定位精度。

2.3 乘员目标跟踪和去重算法的设计

游艇在实际营运过程中乘员会在船舱内和船舱外行走、上下车、聚集遮挡和暂时出入视野,很容易产生重复计数或者漏记的现象,从而直接导致对超载的错误判断。

仅靠单帧检测并不能达到稳定的人数统计的目的,需要引入连续帧的目标跟踪和去重机制来利用时空关联信息对乘员目标进行唯一化标识以确保统计结果的真实性和可靠性。所以乘员目标跟踪和去重算法为该系统精准计数提供了关键的技术支持。该系统采用一种以检测和跟踪融合为核心的体系结构,以轻量化人数检测输出目标框为基础,并结合轻量级目标跟踪算法进行跨帧关联。为了适配边缘计算资源选择了一种基于卡尔曼滤波和匈牙利匹配相结合的追踪框架,该框架通过预测目标运动轨迹、计算外观特征相似度 and 位置交并比等方法实现了对同一名乘员进行连续追踪。为了解决多人聚集和相互遮挡导致的轨迹断裂问题,该算法采用了短时轨迹补全机制,这样即使在短时间内失去目标,也能保持 ID 的连续性,避免了遮挡结束后重新分配 ID 导致的重复计数。

2.4 实时超载判定及告警逻辑设计

实时超载判定和告警逻辑作为感知数据和业务应用之间的核心纽带,功能在于匹配检测统计获得的实时乘员数量和批准载客阈值,根据规则迅速判定是否超载,引发分级告警、信息记录和证据留存系列联动操作,合理而严密的判定逻辑可以避免误告警、频繁告警和漏告警等问题,增强了系统实用性和海事监管可信度,判定逻辑采用船舶批准载客人数作为参考依据,该系统支持在后台对不同船型、吨位和航区进行载客上限分配。操作时,该系统读取跟踪去重的实时稳定乘员人数,并利用滑动窗口均值滤波对瞬时计数波动进行平滑处理,以避免临时遮挡和镜头晃动等因素造成的判断错误。在所述连续多帧的人数大于阈值的情况下,所述系统判断为超载;在数量回落到阈值范围内时,超载状态自动消除。为了增强判定的可靠性,该系统建立了延时确认机制以避免因瞬时聚集和短暂拥挤而导致的误告警的发生,也避免了告警经常闪烁对监管判断的影响,告警模块根据超载程度设计了包含轻微超载、严重超载和持续超载不同级别的多级提示机制以及声光告警、船载终端弹窗、后台管理系统推送和短信通知的联动功能。在每一次告警被触发后,系统都会自动将超载时间、船舶位置、当前数量、核定数量、现场截图或者短视频片段等信息记录下来,构成可追溯的执法证据链。另外,该系统还支持历史告警查询、统计分析和趋势研判等功能,为海事部门有针对性地进行监管、重点船舶盯防和节假日的安全保障等工作提供数据支持。通过规范化和智能化的判断和告警逻辑使游艇超载识别系统由“智能识别”向“有效管控”落地转变成现实。

3 基于机器视觉的游艇超载实时识别技术实践的方法

3.1 岸船一体的硬件部署与实现

以机器视觉为基础的游艇超载实时识别技术想要工程化应用就需要依靠合理、可靠的硬件部署方案。岸船一体架构综合考虑了船端实时感知和岸基集中监管两方面的内容,不仅保证了船舶航行状态时的当地实时识别和告警,而且实现了岸基中心的远程监控、统一管理和全局调度是适用于海事场景下的一种典型部署方式。硬件部署的实现需要综合考虑稳定性、防水抗震性、供电安全性和网络适应性等因素,船端硬件由高清红外摄像头、边缘计算盒子、定位模块、告警指示灯和通信模块等组成。摄像头布设在船舱入口和甲板以上等视场较宽的地方,防水防雾防爆外壳支持日间可见光和夜间红外两种补光方式,保证全天候不间断拍摄。边缘计算单元对本地图像进行预处理、人数检测、目标跟踪、超载判定和本地告警等处理,以避免离岸网络的中断造成系统的故障。同时携带北斗/GPS 定位模块对船舶的位置信息进行实时同步。该通信模块具备 4G/5G 和 Wi-Fi 两种模式的支持,当靠近岸边时,数据会自动返回到岸基平台,而在离开海岸时,数据会被本地缓存,并在返回岸边后进行补传,岸基部署主要由流媒体服务器、数据管理平台、存储服务器和监控大屏等组成,承担着接收多条游艇上传的实时视频、人数数据、告警信息及位置信息等功能,从而实现多条船舶的集中监管。岸船间通过低时延通信协议保证关键告警信息的实时触达。在硬件部署的过程中,需要充分考虑船舶供电波动、潮湿盐雾腐蚀和船体振动等环境因素的影响,选择工业级设备,做好防雷防潮抗震工作。

3.2 实景数据集的获取和模型训练

该算法模型性能对数据集质量依赖性较强,游艇场景特殊性较高,一般公开的人体数据集不能涵盖船体结构、光照变化和乘员姿态等信息、拥挤遮挡等实际情况,所以进行有针对性的实景数据集采集和专业化模型训练是确保技术落地效果至关重要的一步,高质量的场景数据可以显著增强模型泛化能力,并降低实际操作中误检和漏检现象,实景数据集采集工作覆盖多种典型场景:包括不同船型、不同码头、不同光照(晴天、阴天、逆光、夜晚)、不同乘员密度、不同姿态(站立、坐姿、行走、聚集)、不同遮挡情况等。收集过程中同步执行标注工作,将乘员目标框选和编号形成标准化数据集包括图像、标注文件和计数标签,按照训练集、验证集和测试集进行分类。为了进一

步提高数据的多样性,在获取过程中又增加了仿真客流高峰、仿真上下行船舶流动和仿真船舱遮挡的强化场景,使得模型更加接近于实际的运营环境,模型的训练阶段先使用预处理模块将采集到的图像标准化,然后使用迁移学习和微调策略基于轻量化网络迭代优化。在训练过程中引入 focal loss 来解决样本不均衡的问题,使用早停策略来防止过拟合的发生,通过不断地调整学习率、批次大小和数据增强策略来增强模型的准确性。训练结束后在独立测试集上验证其准确性,评价指标为计数准确率、漏检率、误检率和平均推理时延。如果具体场景的性能较差,再补充场景的数据进行持续迭代训练。在实景数据的驱动下进行不断训练和优化,该模型可以逐渐适应游艇所处复杂环境并最终达到真实超载识别对识别精度和实时性的需求。

3.3 实现与海事监管平台的数据衔接

为了发挥游艇超载实时识别技术在监管中的价值和避免数据孤岛的形成,该系统需要与海事监管平台进行标准化的数据对接,在水上交通综合治理体系中纳入智能识别结果,做到信息共享、业务协同和执法联动。数据对接不只是一个技术接口的问题,也是提高海事数字化监管水平的重要途径,对接主要涉及基础信息数据、实时状态数据、告警事件数据和历史统计数据等,基础信息主要有游艇编号、船名、批准载客量、所属公司、运营航线;实时状态主要有当前乘员数量、是否超载、船舶定位、在线状态、摄像头的工作情况;告警数据主要有超载的起止时间、持续时长、实时人数、现场图片或者视频证据、位置信息;历史数据支持以船、时、区多维度统计查询的方式向监管部门提供客流规律、超载高发期、重点隐患船分析结果,技术对接使用行业通用协议和接口规范,并支持 HTTP/HTTPS, MQTT 传输方式,确保了数据传输的稳定性、安全性和高效性。对接时需要对数据加密和身份认证以保证船舶信息和监管数据不会被泄露和篡改。一旦平台完成对接,海事监管人员可以在统一的平台上实现对辖区游艇的远程可视化监管,对超载船舶进行实时干预、跟踪督办、事后追溯,从而形成“发现—警告—处理—反馈”的闭环管理模式。通过和海事监管平台的深度结合,机器视觉超载识别技术由单一设备功能提升到水上安全监管体系中,为提高游艇安全治理的精细化、智能化水平,提供了坚实的技术支撑。

4 结语

基于机器视觉对游艇超载进行实时识别,在设计和实际应用中显示出很好的前景。尽管面临一些挑战,但通过

不断优化算法、提升系统性能和降低成本，该技术有望在游艇安全监管领域得到广泛应用，为保障水上交通安全发挥重要作用。在未来，我们应该更加深入地研究和完善这项技术，以促进其在实际应用场景中的持续进步。

参考文献：

[1] 战俊. 技术与艺术融合驱动下的游艇智能产品交互

设计研究[J]. 鞋类工艺与设计, 2025, 5(06): 126-128.

[2] 白铭玉. 基于审美经济的游艇造型设计方法研究[D]. 武汉理工大学: 2021.

[3] 刘恒志. 基于认知实验的中型游艇造型姿态设计研究[D]. 武汉理工大学: 2023.