

基于无人机的监狱智能巡检系统研究

刘民骏 刘航绮 罗琪昂

中央司法警官学院

DOI:10.32629/acair.v4i2.20395

[摘要] 传统监狱巡检存在覆盖盲区多、人工效率低、应急响应慢等问题。基于此,本文设计了集多传感器协同、智能路径规划与异常识别于一体的无人机巡检系统。该系统采用分层架构,通过多模态数据融合框架整合视觉、红外、激光雷达感知信息,基于改进A*算法实现动态避障与路径优化,融合YOLOv5与SlowFast模型完成异常行为识别,边缘计算节点与云端协同处理降低传输延迟。该方案为提升监狱安防智能化水平提供了技术路径。

[关键词] 无人机; 智能巡检; 异常行为识别; 路径规划

中图分类号: TN915.5 **文献标识码:** A

Intelligent Inspection System for Prisons Based on Unmanned Aerial Vehicles

Minjun Liu Hangqi Liu Qi'ang Luo

Central Judicial Police Academy

[Abstract] Traditional prison inspection suffers from extensive monitoring blind spots, low manual efficiency, and slow emergency response. An unmanned aerial vehicle (UAV)-based intelligent inspection system integrating multi-sensor coordination, intelligent path planning, and anomaly recognition has been designed. The system adopts a layered architecture, integrating visual, infrared, and LiDAR perception information through a multimodal data fusion framework. Dynamic obstacle avoidance and path optimization are achieved based on an improved A* algorithm, while abnormal behavior recognition is accomplished by fusing YOLOv5 and SlowFast models. Edge computing nodes collaborate with cloud processing to reduce transmission latency. This solution provides a technical approach for enhancing the intelligence level of prison security systems.

[Key words] Unmanned aerial vehicle; Intelligent inspection; Abnormal behavior recognition; Path planning

引言

监狱安防体系承担着维护司法秩序与公共安全的重要职责。现有巡检模式以固定监控点位与人工巡逻为主,受视野限制与人力配置约束,在夜间、恶劣天气及建筑遮挡区域存在明显监控盲区。无人机技术凭借低空机动优势与智能感知能力,为突破传统巡检局限提供了有效手段。现有研究缺乏面向监狱特殊场景的系统化解决方案。研究设计了融合智能感知、动态规划与协同预警的无人机巡检系统。

1 监狱智能巡检系统需求分析

监狱安防体系得满足全天候以及全区域的监控要求,传统固定监控点位会在监舍楼顶和围墙死角等区域形成视觉盲区。人工巡逻会受到生理疲劳与环境因素的制约,导致夜间巡检质量显著下降,无人机巡检要具备低空机动能力且单次巡航时长不能低于30分钟。感知系统需集成可见光、红外热成像与激光雷达,以实现目标识别、热源探测与环境建模协同工作,

数据传输要求实时回传高清视频流且端到端延迟要控制在500毫秒以内,异常行为识别需覆盖奔跑、攀爬、聚集、斗殴等典型场景^[1]。

2 基于无人机的监狱智能巡检系统总体设计

2.1 系统分层架构设计

系统采用的是四层架构模式,其中包含感知层、传输层、处理层和应用层,感知层部署在无人机平台之上,集成了可见光摄像头、红外热成像仪、激光雷达以及惯性测量单元,经过机载边缘计算模块完成初步滤波与特征提取之后进行上传。传输层构建的是LoRa与5G混合通信网络,LoRa信道承载遥测遥控指令,5G信道回传视频流与三维点云数据。处理层部署于地面服务器之处,接收传输层数据后分流至实时监控模块、路径规划模块和异常识别模块。应用层向管理人员提供Web端与移动端双界面,Web端呈现监区三维态势图,移动端推送告警信息并支持远程人工接管飞行控制权。

2.2 多模态数据融合框架

多模态融合框架运用时空对齐和特征级融合策略来解决异构传感器数据协同问题,可见光摄像头输出RGB图像流可用于白天人员目标检测与行为识别。红外热成像仪输出热像图能用于夜间热源定位与体温异常筛查,激光雷达输出三维点云可用于障碍物建模与禁飞区边界识别。时空对齐模块基于GPS时间戳与IMU姿态数据,将三类传感器数据投影至统一世界坐标系,特征级融合模块提取RGB图像语义特征、热像图温度梯度特征与点云几何结构特征,通过注意力机制加权融合生成联合特征向量,并输入后续异常识别网络。

2.3 系统功能模块划分

系统功能被划分成实时监控、路径规划、异常识别与应急响应这四大模块,实时监控模块借助WebGIS技术构建监区三维场景,叠加显示无人机实时位置、飞行轨迹和视场范围,还支持历史视频回溯以及多机态势同屏对比。路径规划模块依据监区建筑布局生成覆盖全域的巡检航线,能动态识别临时禁飞区域并触发实时重规划,异常识别模块部署了YOLOv5目标检测网络与SlowFast行为分类网络。前者检测视频帧里的人员、车辆和可疑物品,后者分析连续帧序列识别奔跑、攀爬等动态行为。应急响应模块接收异常识别结果后自动生成三级告警等级,平均响应时间缩短到8秒以内。

3 基于无人机的监狱智能巡检系统硬件设计

3.1 多传感器协同配置

无人机平台使用的是六旋翼的构型,且搭载了Pixhawk4飞控系统,空载状态下续航时间能达到35分钟,可见光摄像头选用的是Sony IMX477传感器,可支持4K视频的录制工作,还配备了三轴机械云台来补偿飞行姿态抖动。红外热成像仪采用的是非制冷氧化钒焦平面阵列探测器,光谱响应范围处于8-14 μm,最小可分辨的温差为0.05℃。激光雷达选用的是Velodyne VLP-16型号,其测距范围能够达到100米,惯性导航单元集成了三轴加速度计与三轴陀螺仪,数据更新率为200Hz,会与RTK-GPS模块协同开展工作,差分定位精度能够达到厘米级。传感器供电系统采用的是锂聚合物电池,其容量为16000mAh,会通过DC-DC模块输出多路电压,以此满足不同设备的功耗需求。

3.2 自组织通信网络构建

通信网络运用空地一体化的混合组网架构,在地面部署LoRa基站和5G小基站实现双覆盖,LoRa基站工作在433MHz频段,单个基站覆盖半径达5公里,负责承载飞控指令与遥测数据的传输,平均时延为80毫秒。5G小基站带宽为100MHz,上行峰值速率能达到50Mbps,用于承载高清视频流与点云数据的回传,还配备MEC边缘计算服务器来完成视频转码与数据预处理,无人机机载通信模块集成了LoRa芯片与5G模组,通过双通道天线分别连接两套网络。在软件层实现业务的智能分流^[2],控制指令走LoRa通道以保障可靠性,视频数据走5G通道以保障带宽。网络切换策略基于信号强度阈值触发,当5G信号低于-110dBm时自动降级至LoRa传输低分辨率视频流。

3.3 边缘计算节点部署

边缘计算节点使用嵌入式异构计算平台,核心板搭载着NVIDIA Jetson Xavier NX模组,此模组AI算力达到21TOPS且功耗仅15W,节点部署TensorRT推理引擎来加速深度学习模型。YOLOv5s网络经过INT8量化后推理速度能达到40fps,边缘节点承担执行数据预处理、特征提取与初级决策等任务,原始视频帧通过H.265编码压缩到2Mbps后上传至云端,点云数据经体素滤波降采样到原始数据量的30%后进行传输,节点配备64GB存储用以缓存异常事件前后30秒的视频片段。在断网情况下可继续执行本地告警判定,恢复连接后自动同步数据到云端,散热系统采用铝合金散热片和温控风扇的组合方案。

4 基于无人机的监狱智能巡检系统软件设计

4.1 自适应路径规划算法

路径规划算法依靠改进的A*算法达成动态避障以及全域覆盖的优化,算法依据监区CAD图纸构建起三维栅格地图,该地图栅格分辨率为0.5米×0.5米×1米,同时把建筑物、高压线等标记成不可穿越的区域。评估函数为:

$$F(n) = G(n) + H(n) \quad (1)$$

其中,G(n)引入转弯惩罚因子与高度变化代价,H(n)为曼哈顿距离估计值。在搜索过程当中优先扩展F值最小的节点^[3]。当检测到临时障碍物时,实时更新地图并且触发局部重规划,要将响应时间控制在200毫秒以内。路径平滑模块采用贝塞尔曲线插值算法来消除折线轨迹,生成满足最大转弯半径8米且爬升角度小于等于15°的平滑航线,算法流程如图1所示。

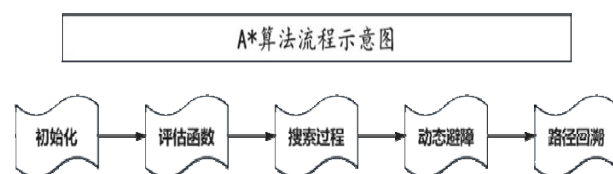


图1 A*算法流程示意图

4.2 异常行为智能识别引擎

异常识别引擎运用双阶段检测架构,把YOLOv5s目标检测网络和SlowFast时空行为分类网络结合起来。YOLOv5s网络以CSPDarknet53作为骨干,输入尺寸为640×640像素,针对监狱场景增训人员、车辆、梯子、绳索等12类目标,其检测精度mAP@0.5达到89.3%^[4]。检测到人员目标之后提取包围框区域输入SlowFast网络,该网络包含Slow通道与Fast通道,Slow通道以2fps采样率提取空间语义特征,Fast通道以16fps采样率捕捉运动细节,双通道特征融合之后可识别行走、奔跑、攀爬、蹲伏、聚集、斗殴等8类行为,识别准确率达到91.7%。

4.3 协同预警与应急响应机制

协同预警机制运用三级分类策略来触发差异化响应流程,一级告警对应越狱攀爬、暴力袭击这类高危行为,系统会自动锁定目标并控制无人机跟踪拍摄,同时向监控中心推送实时视频

流与GPS坐标,警报在3秒内就能响应^[5]。二级告警对应奔跑、聚集等可疑行为,系统会标记位置并录制前后30秒视频片段,推送至移动端供值班人员研判。三级告警对应轻微违规情况,仅记录至日志数据库供事后分析,应急响应模块基于MQTT协议实现多机协同调度,当单机电量低于25%或通信中断超过10秒时自动触发备用机接替任务。

5 结语

该系统通过分层架构与模块化设计,构建了监狱环境下的智能化巡检技术方案。多传感器协同配置保障了复杂场景下的稳定感知,自组织通信网络解决了数据实时回传难题,边缘计算节点降低了云端处理压力。自适应路径规划算法有效应对了动态障碍与禁飞区约束,异常行为识别引擎实现了对高危行为的精准预警。该方案为解决监狱传统巡检覆盖不足、响应滞后等痛点提供了系统化技术路径,对智慧监狱建设具有参考价值。

[基金项目]

中央司法警官学院2024年度学生科研创新能力培养专项项目“基于无人机的监狱智能巡检系统研究”XYX202430;2025年度省级大学生创新创业训练计划项目“基于无人机的监狱智能巡检系统研究”S202511903030。

[参考文献]

- [1]闫付乐,蔡永挚,段进丽,等.基于YOLOv5的图像检测技术在线路巡检中的应用[J].电力安全技术,2024,26(05):57-60.
- [2]邓旭升,曾德梅.无人机技术在监狱中的应用与思考[J].司法警官职业教育研究,2024,5(02):25-30.
- [3]许志飞,江波.论大数据与人工智能技术在监狱安全管理中的应用及发展[J].中国监狱学刊,2021,36(02):80-85.
- [4]周小凤.智慧监狱背景下视频监控在狱侦工作中的应用研究[J].司法警官职业教育研究,2024,5(02):17-24.
- [5]贾敏.大数据环境下监狱安全情报工作体系构建及策略[J].情报探索,2024,(04):104-111.

作者简介:

刘民骏(2006--),男,汉族,贵州省贵阳市人,本科在读,研究方向:数据警务技术专业。

刘航绮(2006--),男,汉族,山东省淄博市人,本科在读,研究方向:数据警务技术专业。

罗琪昂(2005--),男,土家族,贵州省铜仁市人,本科在读,研究方向:数据警务技术专业。