

智能化视频分析技术在危化品储运过程中的应用

刘金杰 (北京思路智园科技有限公司, 北京 100000)

摘要: 危化品在储运期间, 面临风险行为难识别、禁区监测不及时、数据处理压力繁重等状况, 严重影响现场感知与响应效率。在本文里, 搭建起一套智能视频分析系统, 对架构设计、协议兼容、模型优化、边缘部署等技术展开研究。引入目标检测、行为识别、多模态融合手段, 还有 H.265 压缩与分布式推理策略, 以此提高处理效率与识别精准度。经实际测试, 该系统响应速度大幅提升, 误报情况减少, 上传延迟保持稳定, 切实有效地在危化品储运场景中达成智能识别应用, 有力改善了危化品储运环节的安全保障水平。

关键词: 智能视频分析; 危化品储运; 行为识别; 边缘计算; 多模态融合

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** B **文章编号:** 1674-5167 (2025) 019-0141-03

Application of Intelligent Video Analysis Technology in Hazardous Chemical Storage and Transportation

Liu Jinjie (Beijing Sillu Zhiyuan Technology Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: During the storage and transportation of hazardous chemicals, they face difficulties in identifying risk behaviors, untimely monitoring of restricted areas, and heavy data processing pressure, which seriously affect on-site perception and response efficiency. In this article, we will build an intelligent video analysis system and conduct research on architecture design, protocol compatibility, model optimization, edge deployment, and other technologies. Introduce object detection, behavior recognition, multimodal fusion methods, as well as H.265 compression and distributed inference strategies to improve processing efficiency and recognition accuracy. Through actual testing, the response speed of the system has been significantly improved, false alarms have been reduced, upload delays have remained stable, and intelligent recognition applications have been effectively achieved in hazardous chemical storage and transportation scenarios, effectively improving the level of safety assurance in the hazardous chemical storage and transportation process.

Keywords: intelligent video analysis; Storage and transportation of hazardous chemicals; Behavior recognition; Edge computing; multimodal fusion

传统视频监控主要靠人工巡查, 这种方式效率低下、反应迟缓, 根本无法契合复杂场景下的安全防控要求。图像识别、深度学习以及边缘计算技术不断发展, 智能视频分析技术逐渐被应用到高危行业, 用来取代人工判断, 以此提升风险识别的实时性与精准度。就危化品储运场景而言, 借助深学科技智能感知平台的系统能力, 构建起一套完整的智能视频分析解决方案。此方案着重攻克系统架构设计、关键算法部署、视频数据处理和模型稳定性等技术难题, 从而提高行业在高风险环境中的自动监测与响应水平, 为危化品储运安全保驾护航。

1 技术基础

1.1 视频分析技术概述

在危化品储运这一充满风险的环境里, 视频分析系统发挥着关键作用。它持续处理监控图像流, 搭建起对象识别、目标跟踪、区域入侵、行为识别等多个维度的功能模块, 进而达成对现场事件的结构化感知^[1]。该系统具备强大的兼容性, 采用多协议接入方式, 能够将来自不同品牌摄像设备输入的视频流信号进行统一整合, 像 RTMP、RTSP、GB28181、ONVIF 等常见

协议均能支持。视频流经解析后, 会逐帧提取图像并加以处理。摄像头实时捕捉的画面, 进入预处理模块, 在此进行噪声抑制, 让画面更加清晰; 完成色彩归一化, 确保不同环境下色彩显示的一致性; 开展边缘增强, 突出关键物体轮廓。画面进入目标检测引擎, 对静态图像展开初步分析。目标检测引擎一般集成了深度学习模型, 能够精准提取目标类别、边界框以及动作轨迹等重要信息, 并进行编码。

1.2 核心算法与模型

以 YOLO 模型为基础的目标检测网络结构通常采用全卷积神经网络, 其主干网络可表示为:

$$F(x) = \sigma(W_n \cdot (\sigma(W_{n-1} \cdot (\dots \sigma(W_1 \cdot x + b_1) \dots) + b_{n-1}) + b_n)$$

其中, x 为输入图像张量, W_i 、 b_i 分别为第 i 层的权重与偏置, σ 为激活函数。该结构可提取图像的高阶语义特征并实现多层空间信息融合。行为识别模块里, 系统常构建 3D 卷积神经网络 (3D-CNN) 处理时序视频数据, 以此捕捉帧间运动特征, 还结合时间递归结构, 像 LSTM 或 GRU 来做动态动作判断。追踪目标时, 利用孪生网络 (Siamese Network) 从时序图像提取特征一致性, 完成多帧目标匹配。模型推理阶段,

把目标分类结果、行为判定标签一同映射到输出层,形成结构化标签。这类网络训练时,得引入数据增强机制、样本平衡策略,用来应对复杂光照、遮挡、画面干扰等非理想状况的影响。

2 系统构建与部署

2.1 系统架构设计

多种协议助力前端视频采集设备接入平台,RTMP、RTSP、GB28181、ONVIF 都涵盖其中。接入的视频流得经流媒体接入网关处理,统一编码成 H.264 或 H.265 格式,压缩后再上传。平台主架构含四个核心模块,分别是视频接入层、视频诊断层、智能分析层、联动处置层。视频接入层能支持超 3000 路 1080P 画质视频流并发接入,单节点最大带宽吞吐达 10Gbps。视频诊断层集成 20 项画面质量检测算法,实时全量采样分析图像信号、清晰度、遮挡状态、亮度偏差等参数,每路视频每 5 分钟采样一次。重点区域控制室或就近弱电井柜内部署边缘计算节点,采用 ARM Cortex-A76 架构处理器,搭配 4Tops 算力 AI 模块,承担本地初步推理、异常事件缓冲存储任务。智能分析层部署深度学习模型,对视频流进行实时分析,提取目标特征、行为模式等关键信息,实现精准识别与预警。联动处置层则根据分析结果,快速触发警报、通知相关人员或启动应急设备,确保事件得到及时处理。各节点依靠千兆光纤或独立 IP 私有网进行数据回传、同步。

2.2 技术部署要点

摄像头画面统一设置为 1920×1080 分辨率,帧率设成 25fps,码流控制在 4Mbps 内来保障网络传输稳定^[2-3]。区域覆盖按仓储区、装卸区、运输通道、出入口、高危设备周边这五类划分,摄像头间距保持在 25m 到 35m,水平视角布成 90°,重点区域重叠监控率维持在 60% 以上。通信网络采用混合组网,主链路借光纤传输,辅助链路靠 4G/5G 无线网桥做冗余保障。接入网关布置在前端核心交换机或者平台边缘节点,能进行国标转码和流控调节,避免突发高并发时带宽拥堵。数据传输用 AES-256 加密标准,结合动态密钥交换机制,每段视频流最小密钥更换周期设为 60s,让数据内容传输时不被截获。

3 关键技术应用

3.1 智能视频分析技术在危化品储运中的应用

智能视频分析技术在危化品储运场景中发挥着至关重要的作用,通过深度学习模型和先进的图像处理算法,能够实现对危化品储运过程中各类风险的实时监测与预警。以储罐介质泄漏监测为例,系统通过部署在储罐周边的高清摄像头,实时捕捉储罐表面及周边区域的图像信息。利用深度学习中的目标检测算法,

如基于 YOLO 模型的全卷积神经网络,能够快速精准地识别出储罐的轮廓、阀门等关键部位。当发生泄漏时,泄漏的液体或气体在图像中会呈现出与周围环境不同的纹理和形状特征,系统能够迅速检测到这些异常变化,并结合行为识别模块中的 3D 卷积神经网络,分析泄漏介质的流动方向和速度。对于不同介质的泄漏状态,系统可以根据其物理特性,如颜色、透明度等,进行针对性的监测。例如,对于易挥发的危化品液体泄漏,系统能够通过捕捉其在空气中形成的雾状或气态特征,及时发出警报。

在管道泄漏监测方面,系统通过在管道沿线合理布置摄像头,利用其强大的目标跟踪能力,结合孪生网络实现多帧目标匹配。当管道发生泄漏时,即使泄漏点较小,系统也能够通过连续的图像分析,追踪泄漏物质的扩散路径,从而快速定位泄漏点的位置。同时,系统还能结合环境参数,如风向、风速等,预测泄漏物质的扩散范围,为应急处置提供重要依据。

对于仓库内的危化品泄漏监测,系统能够对仓库内的货架、货物堆放区域进行全面监控。通过智能分析层部署的深度学习模型,对仓库内的图像进行实时分析,识别出危化品包装的破损、泄漏等情况。在高危设备周边,系统利用边缘计算节点的本地初步推理能力,快速对设备运行状态进行监测,一旦发现设备出现异常振动、温度升高或泄漏等迹象,立即触发警报并通知相关人员。

3.2 关键技术提升系统性能中的作用

在危化品储运场景中,智能视频分析系统的关键技术不仅能够实现对各种泄漏等危险情况的精准监测,还能够显著提升系统的整体性能。系统采用的多协议接入方式,如 RTMP、RTSP、GB28181、ONVIF 等,能够将不同品牌摄像设备输入的视频流信号进行统一整合。这种强大的兼容性确保了系统能够在复杂的监控环境中稳定运行,不受设备品牌和型号的限制。视频流经解析后,逐帧提取图像并进行预处理,包括噪声抑制、色彩归一化和边缘增强等操作。这些预处理步骤能够有效提高图像质量,为后续的目标检测和行为识别提供更清晰、更准确的图像数据。

在模型训练阶段,引入数据增强机制和样本平衡策略,能够有效应对复杂光照、遮挡、画面干扰等非理想状况的影响。这使得系统在实际应用中,即使在恶劣的环境条件下,也能够保持较高的识别准确率。此外,系统在边缘计算节点部署了高性能的 ARM Cortex-A76 架构处理器和 4Tops 算力 AI 模块。这些硬件设备能够承担本地初步推理和异常事件缓冲存储任务,大大减少了数据传输到云端或中心服务器的压力。

同时,通过千兆光纤或独立 IP 私有网进行数据回传和同步,确保了数据传输的高速性和稳定性。

4 性能优化与数据处理

4.1 视频数据压缩与传输优化

系统前端摄像设备支持 H.265 编码格式,此编码标准在图像质量相同情况下,比 H.264 可将编码码流减至 2.5Mbps 以下,图像分辨率保持 1920×1080,帧率稳定控制在每秒 25 帧^[4]。所有视频流在采集端编码压缩后,经 UDP 传输协议进入接入网关,用 RTP 打包方式嵌入时间戳信息,确保传输流帧顺序和时间同步。主干链路传输中,系统部署支持光纤环网,物理带宽达 10Gbps,采用负载均衡调度机制动态分配带宽,分区缓存模块容量为 128GB,能满足至少 72 小时短时回存需求。边缘计算模块集成在接入点位节点,硬件选 RK3588 芯片平台,内置 NPU 模块有 4TOPS 算力,可在本地进行预处理、低码存储、一次性目标识别等,将上行视频帧数减至每分钟 12 帧以内,仅上传目标检测帧和行为事件帧。节点内部缓存用滑动窗口机制,缓存窗口长 180 帧,自动丢弃无事件触发的背景帧,提高系统上传效率。

4.2 模型精度与稳定性提升

该识别系统基于 ResNet-50 结构,针对 640×640 尺寸的图像进行优化,特征提取阶段采用五层 3×3 卷积核,步长为 1,并使用 SiLU 激活函数和 Batch Normalization 归一化层以增强梯度稳定性。为了适应低光环境,系统结合了红外与可见光双通道输入,并通过特征层拼接融合两者的中间特征图,保持 128 通道宽度,输出特征图大小为 80×80。面对烟雾干扰,系统在预处理阶段利用模糊度分析及图像增强技术(如直方图均衡化和边缘增强)强化边缘检测信号。训练数据集原始包含 12 万张图像,通过 MixUp 和 Mosaic 方法扩展至 48 万张,并设置了亮度和饱和度扰动范围分别为 ±15 和 ±10,遮挡面积不超过图像的 20%。部署后,模型对同一帧图像执行三次前向推理,选取置信度最高的标签结果输出,并应用阈值为 0.5 的非极大值抑制减少重叠目标误判。

5 实施成效与技术考量

5.1 应用成效分析

系统部署完毕,对危险化学品储运场景里不同类型视频监控点进行数据采集、目标识别和行为分析处理,形成完整事件闭环体系。监测覆盖范围内图像处理频率稳定在每秒 25 帧,识别延迟保持在 150 毫秒以内,单路事件从检测到联动告警完成时间不超 2 秒。平台能处理 3200 路视频流,后台服务器集群用分布式任务调度框架,负载均衡模块依据通道利用率动态分配推理资源,

最大可让单节点执行 512 个检测线程。风险行为响应上,系统设定动态检测窗口和置信度门限,对图像中违规行为生成预警事件,每日稳定产生约 1900 条有效告警数据,告警信息有事件时间戳、目标 ID、行为标签、图像帧地址及告警优先级。误报抑制机制靠二次图像验证和多帧行为轨迹比对达成,对每个检测目标保持 5 秒帧缓存深度,系统用非极大值抑制算法精简重复事件标注,误报率降至每千帧不到 3 条。

5.2 技术实施难点

平台接入端要支持多种视频协议并发解析,摄像头统一管理接口集成 RTSP、GB28181、ONVIF 协议,网关节点要在高并发时完成流解析、协议转码和帧分离,任务调度系统采用基于优先级的异步并发队列,能在网络波动时自动恢复链路、校正帧同步^[5]。模型适配时,场地环境有极端光照变化、蒸汽遮挡、高温热流波动干扰等非标准视觉条件,原始训练模型误检率高,需用自采集数据增量训练、动态调整权重,系统每 7 天进行一次模型参数增量同步,基于 24 小时数据缓存和标签回传机制,由平台二次微调模型。边缘设备平台有不同架构(ARM 与 x86)运行环境,部分模块依赖库不兼容,需用容器化封装隔离运行环境,单节点封装镜像体积约 1.4GB,冷启动时间控制在 50 秒以内,所有依赖离线本地部署。

6 结语

面向危化品储运的高风险环境,所构建的视频智能分析系统在实际部署时达成了高并发接入、迅速识别以及联动响应的完整功能体系。借助对算法模型和系统架构的优化,处理了复杂场景中识别不准确、数据出现拥堵以及模型泛化能力欠佳等状况。该系统拥有较强的适应能力、稳定性和处理能力,为危险场景下的视频智能化感知给予了可靠的技术支持和工程根基。

参考文献:

- [1] 陈兵强,田晓将,南国栋,等.视频智能分析技术在油库人员智能管控方面的应用实践[J].中国石化与化工标准与质量,2024,45(04):52-54.
- [2] 王涵,费立蜀,陈维.基于目标检测技术的智能视频分析方案研究[J].中国口岸科学技术,2024,7(02):15-20.
- [3] 索强.人工智能视频生成平台的安全隐患与应对策略分析[J].网络视听,2024,(Z1):87-90.
- [4] 裴延辉,张海峰,黄春.煤矿 AI 视频分析系统设计与应用[J].煤矿机械,2024,46(02):200-203.
- [5] 景杰,李雅恬.基于人工智能的视频会议内容智能分析技术研究与应用[J].电子元器件与信息技术,2024,9(01):94-96.