

# 基于图像识别技术的城市轨道交通车站智能视频监控系统的设计与应用

甘超莹<sup>1</sup> 甘建文<sup>2</sup> 顾 野<sup>2</sup>

(1. 南宁轨道交通集团有限责任公司, 530029, 南宁; 2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 简述了城市轨道交通车站视频监控系统的发展现状,设计了一套采用智能视频算法、基于图像识别技术的智能视频监控系统。该系统已在南宁轨道交通 5 号线广西大学站和小鸡村站完成了试点应用,有效提升了车站运营管理能力和对突发事件的处置应对能力。

**关键词** 城市轨道交通; 智能视频监控系统; 图像识别技术

**中图分类号** TN948. 6: U231. 4

**DOI:**10. 16037/j. 1007 - 869x. 2023. 02. 017

## Design and Application of Urban Rail Transit Station Intelligent Video Monitoring System Based on Image Recognition Technology

GAN Chaoying, GAN Jianwen, GU Ye

**Abstract** The development status of the video monitoring system of urban rail transit station is introduced, and a set of intelligent video surveillance system based on intelligent video algorithm and image recognition technology is designed. The system has completed pilot application in Guangxi University Station and Xiaojicun Station of Nanning Rail Transit Line 5, effectively improving the station capability of operational management and emergency response.

**Key words** urban rail transit; intelligent video monitoring system; image recognition technology

**First-author's address** Nanning Rail Transit Group Co., Ltd., 530029, Nanning, China

城市轨道交通车站是城市中客流量大、极易产生人员聚集且较为封闭的公共区域,因此,能够实时感知车站乘客活动区域的环境并动态监控乘客行为对城市轨道交通运营单位的日常管理至关重要。针对机电设备智能化程度更高的城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路,其车站的日常巡检和运营管理将更多地依赖视频监控系统。因此,构建一

套基于大数据算法和图像识别技术的智能视频监控系统将能够有效地提升车站运营管理能力和对突发事件的处置应对能力。

南宁轨道交通 5 号线(以下简为“5 号线”)一期工程是南宁第一条 FAO 线路。为进一步提升车站日常管理能力和应对突发事件的处置能力,对既有线路车站的视频监控系统进行了调研,对视频图像智能识别技术和相关分析算法进行了探索和研究;结合车站日常管理的实际情况提出了智慧化应用的解决方案。目前,该方案已在 5 号线广西大学站和小鸡村站完成了试点应用。

### 1 车站视频监控系统的现状

车站视频监控系统经过多年的发展,已经形成了较为稳定的系统架构和成熟的解决方案。在城市轨道交通运营场景中,视频监控系统作为主要的通信子系统而构建,即通过设置在车站、停车场、运营控制中心等室内区域的前端摄像头采集现场视频,经传输通道将视频流传输至中央服务器,经处理后根据运营管理规程和管理权限上传至控制中心并下发至各车站控制室,实现对车站和整条线路的分级管控。

传统视频监控系统所采用的摄像头以及中央服务器不具备图像识别、行为监测、目标识别和追踪等能力,只能简单实现较为基础的视频业务功能。传统视频监控系统的基础业务功能如表 1 所示。

表 1 所述功能对于乘客异常行为、站内可疑物品监测、突发大客流等车站突发状况无法进行有针对性的实时定位、监测、提醒和预判,同时对于突发事件的事后溯源仍需依赖手动查询,导致车站日常管理能力以及站务人员对于突发状况的应对和处

表 1 传统视频监控系统的基础业务功能

Tab.1 Basic functions of conventional video monitoring system

业务功能	描述
实时监控	查看监控摄像头的实时画面
历史回放	查看监控摄像头的历史视频回放
设备管理	对视频监控系统设备进行统一管理
系统管理	对视频监控系统本身的设置项进行统一管理
跨系统联动	能够跨平台推送告警或通知等相关信息

理能力无法进一步提升。

## 2 基于图像识别技术的智能视频监控方案的设计与实现

为解决上述问题,进一步提升车站日常管理和应急处置能力,针对既有视频监控系统的特点和现状,研究一套基于图像识别技术的智能视频监控方案是十分必要的。

### 2.1 智能视频监控系统的原理

智能视频监控系统利用城市轨道交通车站现有的涵盖了站厅层的进出闸机、站厅公共区、自动扶梯、出入口通道,以及站台层的站台门、楼扶梯等重点部位的摄像机设备,通过在车站部署 AI(人工智能)超强算力服务器,实时获取站厅、站台以及各出入口的摄像头视频数据。通过智能算法对客流数据进行分析,实时反馈车站客流分布情况。针对乘客异常行为进行分析检测并发出报警,提醒站务人员采取相应的处置措施。智能视频监控系统的的工作原理如图 1 所示。

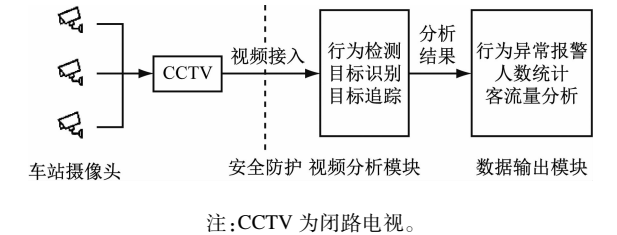


图 1 智能视频监控系统的工作原理示意图

Fig.1 Working principle diagram of intelligent video monitoring system

智能视频监控系统接入车站摄像机视频流后,对视频流进行逐帧分析。视频分析软件采取 GPU(图形处理器)硬解码、AI 模型算法对视频帧进行行为监测、目标识别及目标追踪等分析计算,确保每个摄像头分析结果的实时性,最终根据每个摄像头

配置的 AI 功能进行相应的分析结果输出。该系统极大地改善了传统视频监控系统中被动人防、低效检索的状况,将监管过程由被动变为了主动。

针对车站视频、图片中出现的目标特点,从中抽取关键特征值形成目标图像;针对目标图像进行结构化分析,可实时区分视频中所出现目标的特征,其特征属性为乘客行为、运营人员行为等对象及其对应的描述信息。视频分析的核心技术是行为分析算法,该算法是基于 AI 神经网络视觉分析的深度学习算法,可将人的主要活动骨架结构化,根据人的运动轨迹进行分析,进而定义各种异常动作行为,当监控摄像机拍摄到这些异常行为时须立即预警。

运动目标检测技术应能检测出在线和离线视频中大于一定像素的单个或多个运动目标,应支持输出运动目标的数量、分类信息(人、车、其他物品)及主题颜色信息,每个目标的大小(宽度和高度像素)、位置信息宜支持输出运动速度、方向及轨迹等信息。

对指定区域摄像机采集的图像进行智能视频分析,若发生报警时可自动(可设定经人工确认后)弹出画面,并将所有数据传输到本地视频分析管理设备。视频分析功能应集成至综合监控系统,从而更好地服务运营。

### 2.2 智能视频监控系统设计

智能视频监控系统依托 AI 中台架构(见图 2)实现视频智能分析等与之相关的业务功能。

该系统主要采用“云-边-端”的物理架构,通过部署在车站的 AI 服务器连接车站 CCTV 系统,获取端部摄像头的视频数据实现边缘计算,以提升系统的整体分析和计算能力。车站视频信息流调取拓扑如图 3 所示。

智能视频监控系统部署完成后,可在既有视频监控系统基础业务功能上新增功能(见表 2)。

### 2.3 智能视频监控系统的运行效果

目前,智能视频监控系统的部分功能已在 5 号线广西大学站和小鸡村站两个试点车站上线。该系统对于车站人员的异常行为,如追逐(见图 4)、跌倒(见图 5)等能够有效识别、标注并告警提示。同时,该系统能对一段时期内车站的异常行为次数进行统计。图 6 为 2022 年 9 月广西大学站人员异常行为次数统计。

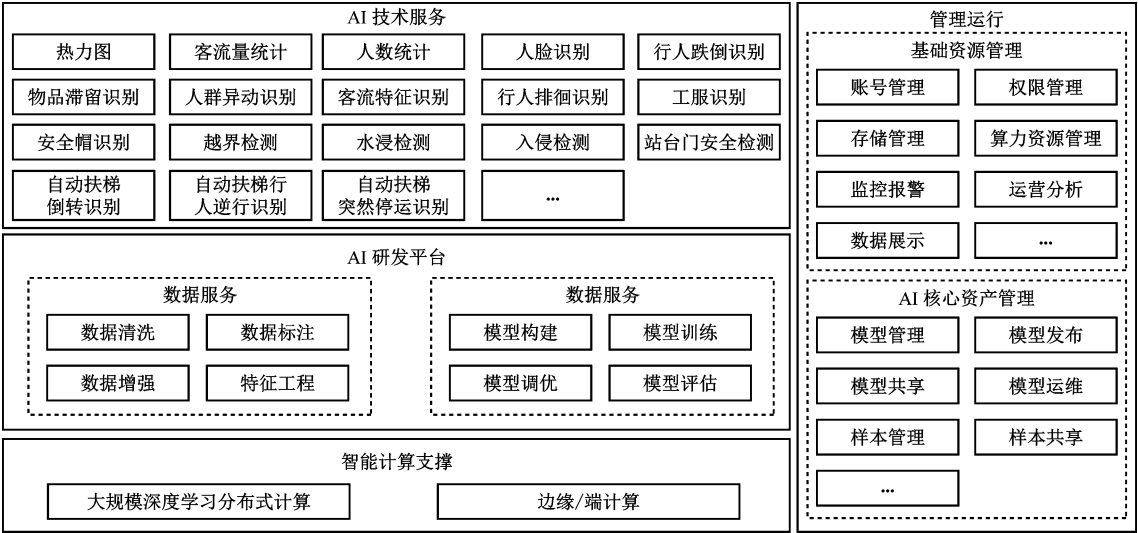


图 2 AI 中台架构示意图

Fig. 2 Diagram of AI center platform architecture

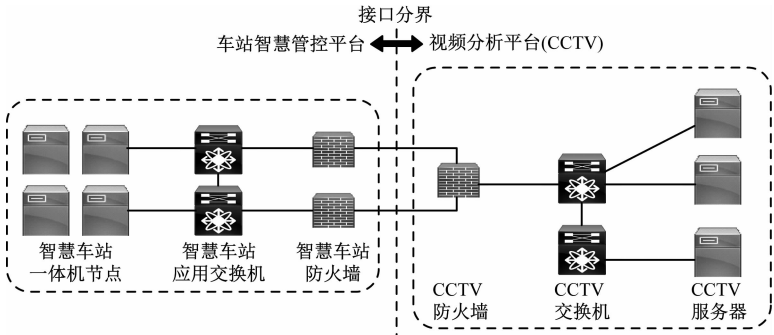


图 3 车站视频信息流调取拓扑图

Fig. 3 Diagram of station video information stream extraction topology

表 2 智能视频监控系统的新增功能

Tab. 2 Newly added functions of intelligent video monitoring system	
新增功能	描述
视频内容高效检索	快速查看历史回放视频内容,短时间内即可浏览完成一段较长时间的原始视频且不丢失关键画面信息,达到快速追溯回放的目的
自动视频巡站	采用编程设置自动循环监视模式,自动对全部或已设置的固定组合监视区域以一定时间间隔进行循环监视,自动循环组和循环时间间隔可人工设置
人员/物品异常分析	对站内人员的异常行为(如自动扶梯上人员逆行、摔倒等)或可疑物品进行监测并标记告警
卷帘门安全预警	对卷帘门开启或关闭时,对其下方是否有人或异物进行检测
客流密度检测	对特定区域的客流密度进行检测及告警,根据人数形成不同颜色加以区分并统计出大致人数,对各重点区域及整个车站空间的客流量进行热力图分析并输出相应数据,当区域人数超过设定值时立即报警

3 基于视频大数据的智能视频算法分析

3.1 智能视频算法概述

目前,常用的智能视频算法包括运动目标检测技术和人体识别技术。其中,目标检测技术是对多个运动目标的检测结果进行分析,并基于视频大数

据系统的特点,构建相应背景模型的技术方法;而人体识别技术是指通过特征提取技术对人体头像进行计算,从而实现对人体特征的提取。

对于人体识别技术而言,本文使用的算法是将特征提取技术作为基础的算法,通过 SVM(支持向量机)分类器的有效运用实现训练的目的。提取人



图4 小鸡村站人员追逐行为监测告警

Fig. 4 Warning of detected human chasing behavior at Xiaojicun Station



图5 广西大学站人员跌倒监测告警

Fig. 5 Warning of detected human falling at Guangxi University Station

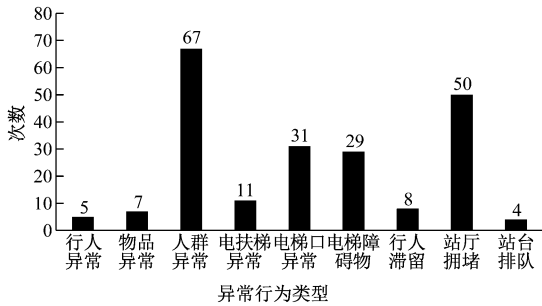


图6 广西大学站 2022 年 9 月人员异常行为统计

Fig. 6 Statistics of human abnormal behaviors in September, 2022 at Guangxi University Station

头肩模型的图像特征以及训练和识别样本,并对其进行了较为系统的分析。

本文分析了轨迹链,并以此为基础匹配跟踪多个人头的目标。通过运动目标检测技术、人体识别技术等的使用,达到智能视频监控系统进行客流量统计的设计目标。经试验验证,该系统可以准确统计客流量,且鲁棒性十分显著。

在某些场景中,视频背景中的部分像素点可能会存在多模态的特性,但高斯背景模型在此种情况下则表现出较强的不适应性。如果仅运用高斯模型,显然无法对视频背景中的运动目标进行有效处理,因此,可以使用混合高斯模型,以克服单一高斯

模型的不足。混合高斯模型由多个高斯模型函数构成,是一个具有多模态特性的场景和背景。对任何一个像素点进行  $K$  个状态的定义,其中  $K$  可以指代颜色,其取值范围为  $3 \sim 5$ 。该取值范围与计算机内存性能的高低具有直接的关联。 $K$  值越小,表明处理波动能力越为低下,此时所花费的处理时间相对偏低。 $K$  个状态中的任何一个状态都可由高斯函数表示,其中,部分状态会对背景的像素值进行表示,而另一部分状态则由运动前景的像素值进行表示。将每个像素点颜色的取值设为  $X$ ,采用三维高斯函数对概率密度函数进行表示。

$$f(X_t = x) = \sum_{i=1}^K w_{i,t} P(x, \mu_{i,t}, \text{cov}(i, t)) \quad (1)$$

式中:

$f(X_t = x)$ ——像素点颜色取值随机变量为  $x$  的概率密度函数,  $X_t$  为每个像素点颜色的取值;

$\mu_{i,t}$ ——第  $i$  个高斯函数在  $t$  时刻分布的均值;

$w_{i,t}$ ——第  $i$  个高斯函数在  $t$  时刻分布的权重,

且  $\sum_{i=1}^K w_{i,t} = 1$ ;

$P(\cdot)$ ——第  $i$  个高斯函数在  $t$  时刻的分布;

$\text{cov}(i, t)$ ——第  $i$  个高斯函数在  $t$  时刻分布的协方差矩阵,  $\text{cov}(i, t) = \delta_{i,t}^2 I$ , 其中  $\delta$  为标准差,  $I$  为均值参数。

应用混合高斯模型构建背景模型时,将积分值  $d$  设为 1,其目的在于降低背景的处理难度。利用高斯模型建立彩色图像时,为了减少计算量,使算法实用性得到提升,可将每帧图像中的各个像素点设为互相独立且其方差相同,此时可对其协方差矩阵进行取值。

### 3.2 智能视频算法下视频场景的更新

若要对实现对视频背景的有效更新,需对高斯模型参数进行更新,即通过更新高斯函数参数及其分布权重得到新的像素值。将原画面当前帧的像素值与高斯模型参数中第  $K$  个高斯分布设计相匹配,若得到的像素值能够满足式(2),则可以认定该像素值与高斯分布互相匹配。简言之,若输入的像素值满足式(2),则该值即能匹配高斯函数。

$$|I_t - \mu_{i,t} - 1| \leq D_1 g \sigma_{i,t-1} \quad (2)$$

式中:

$I_t$ ——原画面高斯分布的均值参数;

$\sigma_{i,t-1}$ ——第  $i$  个高斯函数在  $t-1$  时刻的标准差( $t$  为任意时刻);

$D_1$ ——用户自定义参数,取值为 2.5;

$g$ ——几何分布(离散型概率分布)。

在确定高斯函数的参数取值范围后,按照式(3)进行更新。

$$\begin{cases} \omega_{i,t} = (1 - \alpha)\omega_{i,t-1} + \alpha \\ \mu_{i,t} = (1 - \alpha)\mu_{i,t-1} + P_0 g I_t \\ \sigma_{2i,t} = (1 - P_0)\sigma_{i,t}^2 - 1 + P_0(I_t - \mu_{i,t})^2 \end{cases} \quad (3)$$

式中:

$\sigma_{2i,t}$ ——第  $i$  个高斯函数  $t$  时刻在参数学习率  $P_0$  ( $P \approx \alpha/\omega_{i,t}$ ) 作用下的方差值;

$\alpha$ ——用户可以设定的学习率,且其值不能超过 1。

式(3)中, $\alpha$  的大小对视频背景更新速度有直接影响,二者呈正向关系,即  $\alpha$  越高,视频背景更新速度就越快;若  $\alpha$  减少,则其更新速度会逐渐下降。

假设  $I_t(t=1)$  不会与高斯分布匹配,则新的高斯分布会对权重最小的高斯分布进行替代,此时其标准差  $\sigma$  相对较大,而  $\omega_{i,t}$  则会变小。剩余高斯分布的均值和方差相等,但这些高斯分布的关联权重会逐渐减少。可利用式(4)对其进行处理。

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha)\omega_{i,t-1} \quad (4)$$

### 3.3 方向梯度直方图特征的提取

HOG(方向梯度直方图)特征提取是一种视频图像技术。该技术可以利用 HOG 特征对人体进行表达。在实际应用过程中,该技术可以通过人体外形信息和运动信息的获取和整合,对特征集进行丰富。

HOG 特征提取主要是将目标图像划分为  $N$  个单元,对其中的 HOG 进行计算,合并相邻的 4 个单元后形成块,对这些单元块进行归一化处理,组合单元块内的 HOG 向量,实现对 HOG 特征向量的有效提取。现将 HOG 特征的提取过程简述如下:

1) 校正。输入统一、规范化的样本图像,使用归一化的方式,对灰度空间进行处理,实现对图像对比度的准确调节,从而避免成像效果受到过多干扰。

2) 计算梯度。对灰度图像梯度增幅值和梯度方向进行准确计算,以确保人头轮廓信息捕获的效果,避免光线变化对图像质量的影响。

3) 直方图。每个单元中都存在梯度方向统计信息,且具有独立运行的特点,从而在单元中形成横轴为梯度方向的直方图。一般情况下,梯度方向

的取值范围为  $0 \sim 360^\circ$ 。相关试验结果表明,梯度方向取值低于  $180^\circ$  时效果最佳。基于梯度方向取值范围,对梯度分布进行角度划分,且任意一个方向的角度都会与一个直方图相对应。

4) 在块上归一化处理单元格。归一化处理的目的在于减轻光照以及其他因素对图像质量的干扰。一般情况下,每个单元格都会由多个单元块共享。但单元格归一化处理的基础是不同的单元块,因此,同一个单元格可能会被多次计算,其计算结果可能会在多个描述向量中出现。对全部单元格进行归一化处理后进行块描述而形成的块描述符即所谓的人头特征描述符。

5) 对检测空间内全部块的 HOG 特征进行收集。该步骤的主要任务是获取整个窗口的 HOG 特征,并为训练分类器的使用创造有利条件。

### 3.4 检测运动目标

检测运动目标的步骤如下:

1) 人头定位。通过二次检测方法对人头进行定位。对已经训练的人头特征向量文件进行读取,并在运动区域检测人头,同时缩放处理图片,扩大人头检测的范围。主要表现在如下方面:①为保证多尺度人头检测的效果,实现扩大人头检测范围的目的,推荐使用的样本尺寸为  $72 \text{ mm} \times 72 \text{ mm}$ ;②对比检测出的人头区域,并通过图像处理算法技术对人头图片进行去重处理,避免重叠检测问题的出现。

2) 人头跟踪。在进行人头跟踪时,可以使用最小距离的判断方法。由于乘客在穿衣上可能存在较大差别,故推荐使用轨迹链法进行检测。

## 4 结语

从城市轨道交通实际运营需求出发,利用 AI、大数据等新兴技术构建的基于图像识别技术的智能视频监控系统在 5 号线试点车站上线运行后,对于车站的智慧化管控、设备状态的精准感知、客运管控的场景化、乘客服务的自主高效起到了良好的推动作用。随着更多功能的陆续上线并推广应用,该套系统将能进一步提升城市轨道交通的运营管控能力和突发事件的应对能力。

## 参考文献

- [1] 周永丽. 基于大数据技术的视频监控应用探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(5): 63.

(下转第 85 页)