

地铁列车障碍物视频识别系统设计

王 维 梁汝军 黄 涛

(中车南京浦镇车辆有限公司,210031,南京//第一作者,高级工程师)

摘 要 基于视频图像识别技术的列车障碍物识别系统,可以实现无人驾驶列车前进方向轨道内障碍物的自动检测。该系统通过采用2台独立的高清摄像机采集图像数据,经软件的智能计算分析,可识别列车前方是否存在障碍物,并实现障碍物与车辆之间的距离测量。该技术在业内属首次开发,可实现列车前方障碍物的检测,有效替代司机进行线路瞭望。目前本系统已通过功能仿真验证测试,拟在实际运行线路的列车上进一步进行功能验证。

关键词 城市轨道交通;无人驾驶;障碍物检测;视频识别
中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.06.038

Design of Video Recognition System for Subway Train Obstacle

WANG Wei, LIANG Rujun, HUANG Tao

Abstract The train obstacle recognition system based on video recognition technology can realize automatic detection of obstacle on the track in front of the driverless train. Through analyzing the image data collected by two independent high definition cameras with intelligent computing software, obstacles in front of the train are detected, the distance between the obstacle and vehicle is measured. This technology is first developed in rail transit industry to detect obstacles in front of the train and effectively replace the driver's line look. At present, the system functional simulation has passed verification test, further verification of the system function is proposed on the trains running on actual line.

Key words urban rail transit; driverless train; obstacle detection; video recognition

Author's address China Railway Rolling Corporation Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

列车运行前方轨道障碍物检测系统是城市轨道交通无人驾驶列车的关键装备之一^[1]。上海轨道交通10号线是目前国内唯一一条正在运营中的无人驾驶地铁线路。其列车检测前方轨道障碍物的系统为一个基于机械触发原理的障碍物检测系统,只有在列车高速运行撞到障碍物后,才触发列车车头下

方安装的机械行程杆运动,进而触发继电器开关电路,使列车紧急停车。该检测系统存在明显不足:一方面,系统不能对列车前进方向轨道内的障碍物实现提前检测与预警,以确保行车安全;另一方面,通过机械的碰撞实现障碍物的检测不可避免地会对车辆设备造成损伤。本文提出了一种基于视频图像识别技术的障碍物识别系统。该系统安装在无人驾驶列车的前方,设置的双目摄像机实时采集列车前进方向的图像,通过软件智能分析识别列车前方是否存在障碍物以及距离障碍物的距离;并可根据列车离障碍物的距离自动控制列车速度在安全范围内,如果列车与障碍物之间距离过短,系统可以直接触发列车紧急制动。

1 列车障碍物视频识别系统的构成

列车障碍物视频识别系统主要由2台高清摄像机、1个交换机、1台视频处理主机等关键设备组成,如图1所示。

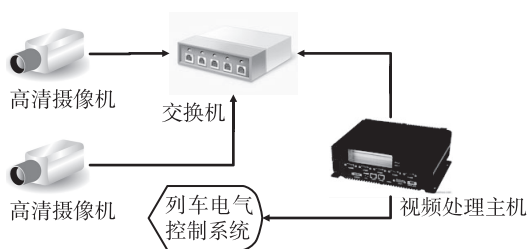


图1 列车障碍物视频识别系统的结构

(1) 高清摄像机。2台高清摄像机安装在列车司机室内正上方左右位置,并水平对准列车正前方轨道。高清摄像机主要用于采集列车前方高清图像信息,并通过交换机网络发送给视频处理主机。摄像机主要技术参数为:采用H.264 High Profile编码,逐行扫描图像传感器,输出1080 P @ 30 FPS实时图像,支持宽动态范围达120 dB,适合逆光环境监控。

(2) 网络交换机。交换机用于系统数据的交换,

采用工业级二次交换机,具有实时性好、可靠性高的特点。网络交换机主要技术参数为:至少4个快速以太网M12端口,且为IEEE 802.3af兼容的PoE端口;通过EN 50155认证;支持EtherNet/IP和Modbus/Tcp工业以太网协议;支持基于端口的VLAN(虚拟局域网)、IEEE 802.1Q VLAN和GVRP协议;支持输入DC 110 V。

(3)视频处理主机。视频处理主机是系统的关键核心设备,其主要参数如下:英特尔酷睿i7-6700K,8 MB缓存,4.0 GHz,4核8线程,DDR3-1600 8 GB内存,110 V电源。

该系统具有如下特点:摄像机采用低功耗的高清摄像机,支持PoE端口,可降低在车内复杂狭小空间内的布线和查线难度;该系统软件具有自学习模式,可以将线路上一些特定物体加入线路障碍物数据库,减少系统误报故障的概率。目前,该系统在国内轨道交通车辆行业属于首次开发,并已在2017年安装在列车上作了进一步测试。

2 列车障碍物视频识别系统的检测流程

列车障碍物视频识别系统采用双摄像机同时采集列车前方图像数据。由于双摄像机之间的距离固定,从而基于双目定距原理通过算法可实现图像中障碍物的距离测量。该系统根据轨道路径和列车运行的列车安全限界设计参数由近到远绘制列车运行安全界限,在安全界限内的异常物体为障碍物,安全界限之外的物体将忽略。

列车障碍物视频识别系统检测流程如图2所示。系统主要的功能模块包括:

(1)视频采集模块:集成常见摄像头品牌的二次开发包,可以快速获取各种摄像头的视频图像。

(2)图像预处理模块:对采集到的视频图像进行初步处理,将YUV图像转换为RGB图像,并对图像进行边缘检测、平滑、去噪等处理^[2]。

(3)双目测距模块:利用车头安装的2台摄像机同时拍摄的左右图像对进行立体匹配,根据立体匹配后的视差图算出障碍物的距离。

(4)轨道检测模块:对经过预处理的图像进行霍夫变换^[3]、双目匹配、两轨间熟路判断、边缘检测、曲线拟合与平滑处理后得到两条轨道路径。

(5)列车限界绘制模块:根据两轨之间的像素距离比例由近到远绘制列车的运行限界。

(6)误报特征建立模块:在确定没有障碍物的

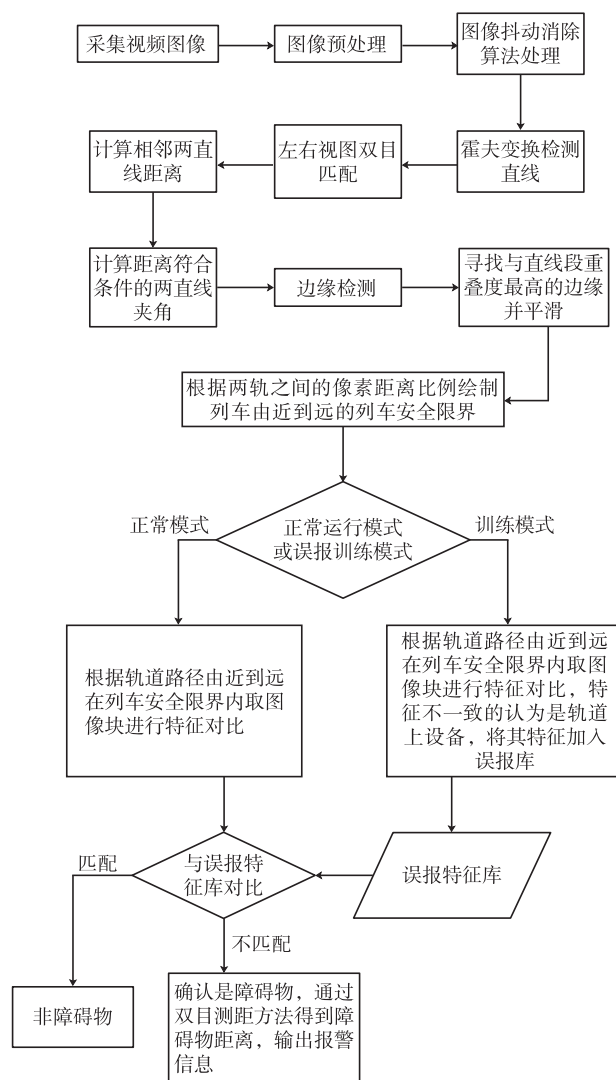


图2 列车障碍物视频识别系统的检测流程

环境下,将程序识别得到的障碍物认为是轨道上的设备,提取其图像特征存入误报库。

(7)障碍物识别与误报排除模块:由实际情况可知,相邻枕木间的轨道区段基本是一样的,因此提取最近区段的轨道图片,计算其7个图像不变矩作为图像特征,再与下一段轨道图像的不变矩特征进行对比。根据轨道路径由近到远在列车运行限界内取图像块进行特征对比,特征不一致的初步认为是障碍物;将其特征与误报库中特征逐一对比,若与误报库中任一特征匹配,则排除是障碍物的可能,均不匹配则认为是障碍物^[4]。

2.1 图像获取

利用摄像头厂家二次开发包连接摄像头,通过其中的视频回调函数在两个线程内同步接收左右摄像头的视频图像(如图3)。



图3 视频识别系统的图像获取实景图

2.2 图像预处理及车辆运行界限提取

图像预处理,就是在图像分析中对输入图像在进行特征抽取前所进行的处理。输入图像由于图像采集环境不同,如光照明暗程度以及采集设备差异等,往往存在噪声、对比度不够等缺点。预处理的主要目的是消除图像中无关的信息,滤除干扰及噪声,恢复有用的真实信息,以增强有关信息的可检测性、最大限度地简化数据,从而提高特征抽取的可靠性。

由于 RGB 图像数据量较大,处理复杂且速度慢。为此首先将 RGB 转换为灰度图像,使用中值滤波对灰度图像进行去噪处理,使用 Scharr 算子进行边缘检测^[5]。此时的检测结果会产生较多噪点与空洞,需要用高斯卷积方法对其进行平滑滤波操作。其次,二次缩放增强图像的平滑度和清晰度,再进行腐蚀与膨胀操作消除图像中孤立的噪点与空洞。最后,对图像进行二值化处理,消除多余的不清晰的边缘信息,将包含完整轨道信息的图像送入下一步处理过程。

轨道检测模块对经过处理的图像进行霍夫变换检测直线,对左右视图采用 SGBM 算法的计算视差进行三维重建^[6],再计算两条轨道的直线距离。摄像机坐标系与世界坐标系之间的转换公式为

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T$$

式中:

X_c, Y_c, Z_c —— P 点在摄像机坐标系下的位置;

X_w, Y_w, Z_w —— P 点在世界坐标系下的位置;

R ——旋转矩阵;

T ——平移矩阵。

R 和 T 可由双目摄像机标定的内外参数得到。根据轨道在图像中的形态特征可知,将最近处的轨

道在固定位置的摄像机下出现相对稳定的区域设定为 ROI 区域,对经过图像预处理后的 ROI 区域进行直线检测。根据成像原理可知平行直线在图像中必相交,计算出两直线各自斜率与其相交形成的夹角 θ ($\tan \theta < 0.1$)。依据两直线相交夹角 θ 与两直线最下端距离确定最近处的轨道直线段后,再沿直线方向进行边缘检测提取轮廓,并拟合为曲线,寻找与直线重叠度最高的曲线,对曲线进行平滑处理后得到左右轨道路径。双目测距模块基于视差原理,即采用三角法测量,由 2 台摄像机对目标进行拍摄,对所得图像提取特征,进行匹配,得到视差,进而由视差计算目标距离。

列车安全限界绘制模块根据两轨之间的像素距离比例由近到远绘制列车的安全限界曲线。列车进行图像处理和安全限界提取后效果如图 4 所示。

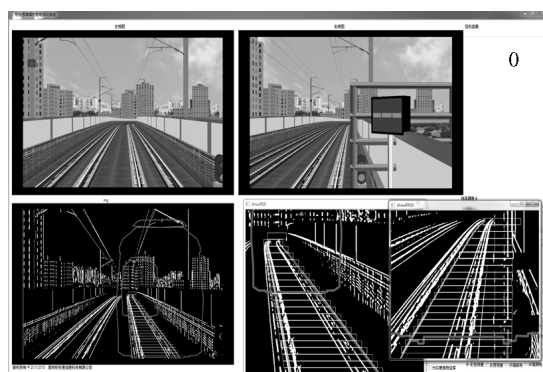


图4 图像预处理及列车运行界限提取效果实景图

2.3 试验结果

在训练模式下,人工确认无障碍物的轨道环境后,在列车运行条件下启动障碍物识别程序。系统根据轨道路径由近到远在列车安全限界内取图像块进行特征对比和障碍识别;将识别到的障碍物均认定为轨道设备,计算其图像特征,将尚未存在于误报特征库中的图像特征加入误报特征库。误报特征库以文件形式存于硬盘,正常模式下将误报特征库全部读入内存。

在正常模式下,根据轨道路径由近到远在列车安全限界内取图像块进行特征对比,特征不一致的初步认为是障碍物;将其特征与误报库中特征逐一对比,若与误报库中任一特征匹配则排除是障碍物的可能,均不匹配则认为是障碍物。目前该系统已通过实验室功能仿真验证测试,测试效果如图 5 所示。实验室仿真环境相对比较理想,目前可以实现对在列车前方 80 ~ 500 m 安全限界范围内的障碍物进

行识别,在500 m内能够识别出40 cm × 40 cm以上大小的障碍物,如石块、行人、车辆等;300 m内能够识别15 cm × 15 cm等相对较小的物体,如掉落在轨道上的电气设备等。考虑到轨道车辆下方空间和触发列车制动的响应时间(包括曲线限速),这样的识别能力已足够满足安全要求。

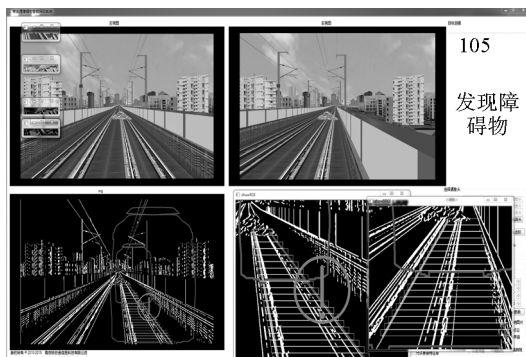


图5 障碍物检测与提取效果实景图

3 结语

通过基于图像的障碍物视频识别技术,实现列车前方障碍物的实时检测,可有效代替司机的瞭望

值守功能。该技术比目前上海轨道交通10号线上使用的机械式障碍物检测系统在技术手段上更先进,从而提高了列车运行的安全性。但是目前该障碍物视频识别技术还存在一些不足:如在复杂的光照和雨雪天气下会对系统的检测距离和检测精度产生不良影响。为此,需要在以后的工作中,进一步完善图像处理算法,提高系统对障碍物检测的精度和可靠性。

参考文献

- [1] 朱翔,王大庆.城市轨道交通无人驾驶技术的若干应用问题[J].城市轨道交通研究,2006(12):36.
- [2] 宋洪军,陈阳舟,邵圆圆.基于交通视频的雾天检测与去雾方法研究[J].控制工程,2013(6):20.
- [3] 尤伉.一种改进快速Hough变换的车道线检测算法[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),2014(2):62.
- [3] 柴贵兰.基于交通视频序列的多运动目标跟踪算法[J].中南大学学报(自然科学版),2010(3):41.
- [4] 徐德江,史泽林,罗海波.利用人眼视觉特性的图像结构差异性杂波度量[J].红外与激光工程,2013(6):1635.
- [5] 张惊雷,王艳娇.基于图像区域分割和置信传播的立体匹配算法[J].计算机工程,2013(7):257.

(收稿日期:2017-11-10)

(上接第165页)



图6 地铁站出入口的雕塑性导向标识

转化为地铁站设计元素,用色彩、符号等设计元素,突出与景点的呼应协调。这些设计元素可在地铁站空间及设施中均有展现,从而营造既统一又具备个性的地铁站系列。汇入文化元素的设计,既能使本地乘客获得心理认同感,也使外地乘客对当地文化在心理上产生敬仰和尊重。如日本浅草地铁站,利用浅草寺和江户时代的历史建筑与文化典故,在地铁的装饰设计中加以引用和展现,塑造了车站独具特色的空间氛围。

4 结语

随着国内地铁建设进入精细化、人性化的新发展阶段,乘客在地铁站空间内的通达性、便捷性、

舒适性和文化性方面的心理体验也将是提升地铁建设和运营管理水平的重要方面。目前,国内在此方面的设计研究相对还有较大的提升空间,对其进行深入、系统的研究将有助于提高地铁车站空间的环境品质,给乘客以良好的出行体验。本文结合国内地铁车站使用现状中存在的问题,提出了乘客心理体验的内涵及系列优化措施,希望能够对此方面的改进和提升有所裨益。

参考文献

- [1] 蔡凯臻.基于公共安全的城市设计理论及策略研究——以公共开放空间为对象[D].南京:东南大学,2009.
- [2] 吕元,曲青青,张雅娟,等.基于空间认知的地下综合体软导向设计研究[J].地下空间与工程报,2015,11(2):271.
- [3] 刘笑楠.北京市中心城地下综合体过渡空间设计策略研究[D].北京:北京工业大学,2015.
- [4] 吕元,张雅娟,胡斌.地下综合体地下寻路实验[J].北京工业大学学报,2014,40(6):878.
- [5] 井慧.轨道交通综合体站域内边界空间媒介化设计研究[D].北京:北京交通大学,2016.

(收稿日期:2017-07-25)