

一种多技术融合的全自动无人驾驶 轨道障碍物检测系统设计

肖阳俊 李拥军 李金波 徐志荣 熊 钢

(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 介绍了常见的障碍物检测技术, 分析了影响障碍物检测的因素, 提出了障碍物自动识别技术对障碍物的定义和要求。阐述了多技术融合的障碍物检测系统方案。通过仿真试验和实物试验, 证明了多技术融合检测系统的障碍物识别率足以满足使用要求。

关键词 无人驾驶; 轨道障碍物探测; 智能识别; 机器学习; 多技术融合

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.01.024

Design of Track Obstacle Detection System for Full Automatic UTO with Multi-technology Fusion

XIAO Yangjun, LI Yongjun, LI Jinbo, XU Zhirong, XIONG Gang

Abstract The common obstacle detection technologies are introduced, factors that affect the obstacle detection are analyzed. On this basis, the definition and requirements of an intelligent recognition system for obstacles are presented, many of the obstacle detection systems with multi-technology fusion are elaborated. Through simulation experiment and practical tests, the recognition rate of the new system is proved to meet the operating requirements.

Key words UTO (unmanned train operation); track obstacle detection; intelligent recognition; machine learning; multiple technology fusion

Author's address CRRC Nanjing Puzhen Vehicle Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

在全自动无人驾驶系统(自动控制等级为GoA4)中,障碍物识别技术是保障列车全自动运行的关键技术之一。只有在车辆上加装主动探测识别系统,替代传统司机值守的功能,才能称作真正意义上的全自动无人驾驶系统,从而让地铁的运行更智能化、更自动化、更安全。

1 障碍物检测技术

1.1 图像识别技术

近年来,人脸识别与车牌识别等静态识别技术已经相对成熟,但轨道交通车辆的图像识别技术因有自身独特性,尚处于不断发展中。首先,车辆要识别的物体是完全动态变化的图像,故物体特征难以捕捉;其次,识别的物体种类繁多,需要建识别比较库;再次,识别时不仅要识别图形差异,还要判断出障碍物距离。可见,图像识别技术又需有优秀的算法和良好的系统总体设计支持。

1.2 激光雷达

激光雷达的应用场景如图1~2所示。

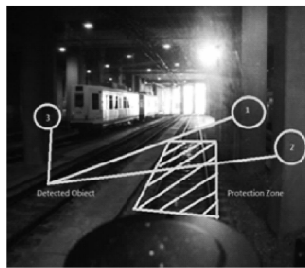


图1 轨检车安装激光雷达 图2 车载激光雷达的识别

激光雷达安装于车辆前方上部^[2],可检测行进方向前方的障碍物。但在地铁岔区及场站环境下,单一激光雷达检测效果一般。

1.3 超声波雷达

类似地,超声波测距原理与激光雷达测距原理基本是一样的,只是反射波的波长不一样。

在开放空间内,超声波测距较为准确,但在弯曲隧道内,受回声干扰比较严重,其检测结果也不太理想。

1.4 红外测距传感器

车辆行驶是动态过程,其环境背景的红外特征和需要识别障碍物的红外特征均变化很快。因此,

红外检测技术在列车低速运行情况下,是一种比较好的辅助手段。

2 影响障碍物检测的因素

2.1 环境光因素

昼夜光线存在变化,当列车交替行驶在隧道与地面之间时,光线也存在变化。光线差异将严重干扰图像识别系统。

2.2 天气因素

雷雨、雾、霾、暴雪等不良天气,会对图像识别系统、激光雷达及红外测距传感器造成巨大影响。同样条件下,超声波雷达由于具有一定的穿透力,反而在识别准确率上具备优势。

2.3 车辆行驶冲击振动

当各种传感器安装在车辆上,列车的高频振动会对激光雷达、摄像头及超声波雷达造成影响。尤其是高清摄像头对振动干扰极敏感。

2.4 线路条件干扰

当列车行驶进入特定区域(如线路岔区、车站、坡道)及列车之间会车时,环境变化剧烈。这就要求障碍物识别系统不仅要识别障碍物出来,而且能根据线路条件进行智能化判断。

例如,当列车经过道岔区段时,必须依据自身的行进方向,判断障碍物是否存在列车行进的线路上。图 3 为道岔区域识别示意图。图 3 中方向 A 为列车行驶方向,但侧线的轨道上停有车辆。当车辆经过道岔区时,如果不做技术处理,则激光雷达、红外及超声波雷达技术均会识别到障碍物从而产生误报,而实际上所停车辆处于其他轨道上,不会对列车安全造成影响。



图 3 道岔区域的识别

此时,选用图像识别技术,结合地理信息系统数据和线路基础数据条件,通过机器学习,可智能判断出障碍物是否真实存在于列车的行驶方向,可

极大地减少误判概率。

2.5 开放区间与封闭区间对检测设备的干扰

地铁列车多数情况下是在地面和地下交替行驶。地面开放环境具有干扰因素多、气候条件复杂等特点,而隧道存在线路弯道、坡道起伏及环境光线等问题,均对检测技术存在巨大影响。例如:超声波在小半径曲线的隧道内干扰很大;视频识别及激光等长距离探测手段在线路曲线区域作用有限;GPS(全球定位系统)定位不能在隧道内使用,而只能改用惯性陀螺仪定位等。

3 对障碍物的定义和要求

障碍物即轨道上影响列车行驶安全的、大于特定尺寸的物体。可见,判断障碍物需满足 3 个条件:侵入车辆前进方向的限界,威胁行车安全,具备一定的尺寸。部分障碍物尺寸要求见表 1。

表 1 部分障碍物尺寸要求

被探测物体名称	说明	尺寸要求
线路设备坠落	供电柱、抱杆	0.15 m×3.00 m
车载设备遗落	受电弓、电气箱体等	0.75 m×0.75 m
基础设施遗落	隔音罩、防护栏、广告牌等	1.00 m×0.50 m
轨道上出现外部物体(如石头)	坍塌的围墙、水泥块等	0.75 m×0.75 m
维修设备遗落	维修班组的设备	0.75 m×0.50 m
车辆	轨道检修车、人力车等	3.00 m×3.00 m
卧轨的成人		0.75 m×0.15 m
站立的成人	维修人员等	1.50 m×0.30 m
躺着的小孩		0.50 m×0.50 m
站立的小孩		0.75 m×0.15 m

如图 4 所示,当列车行驶时,障碍物识别系统会生成安全区域的动态限界(矩形框内)。如果有异物侵入,则识别系统会判断小于尺寸的物体对行车没有危害,认为是非障碍物。

障碍物检测系统的识别性能指标要求见表 2。

4 多技术融合的障碍物检测方案

上述几种检测手段,在技术上和应用上都存在各自的局限性,要提高障碍物检测技术本身很困难。因此建议采用融合多检测技术的手段,利用软件算法和机器学习来提升识别率。如图 5 所示,当车辆处于小半径曲线时,图像识别技术和红外传感器技术的方向灵活性较差,其装置会随车体偏移,



图 4 动态限界(右)

表 2 识别性能指标

性能指标	参数	说明
系统有效监测距离	100 ~ 200 m	直/弯道的最大距离
列车安全运行时速	80 km/h	以最大速度考虑
障碍物识别时间	<300 ms	即识别障碍物的时间
障碍物尺寸	>40 cm × 40 cm	必须限定的障碍物尺寸最小值
误识率	1%	将物体误作障碍物的概率
拒识率	<1%	将障碍物识别为其它物体的概率
识别正确率	98%	识别达到的正确率
容错时间	500 ms	当识别出障碍物时,必须持续一段时间确认,才认为是障碍物

考虑到车辆在小半径曲线行驶时速度较低,故可采用广角(120°)激光雷达加地理信息系统(GIS)定位,就能较好地解决障碍物检测问题。各种技术在曲线上探测障碍物的范围示意图见图 5。

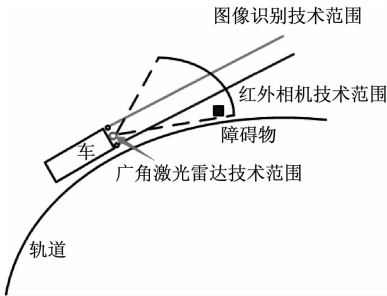


图 5 曲线上探测障碍物示意图

4.1 障碍物检测系统结构及处理流程

4.1.1 系统结构

本研究设计了一种融合了多项技术的模块化障碍物检测系统(以下简为“检测系统”)。检测系统以图像识别技术为主,兼顾激光雷达识别技术,辅以超声波识别和红外识别技术,同时还包含了线路数据库及 GIS。

检测系统结构如图 6 所示,分为 5 个模块及 2 个数据库。传感器融合模块处理多种检测设备的输入、列车定位信息及线路基础数据。处理识别核心模块根据障碍物特征比对数据库及各传感器数据采集进程,判断生成列车状态信息,并将制动指令输出到车辆接口模块。车辆接口模块汇集车辆状态信息及制动系统的状态。用户接口模块为系统的人机接口界面(HMI)输出或报警信息。列车制动模块为安全输出。线路基础数据库包含线路的地图数据、弯道、坡度、限速、设备位置坐标等信息;障碍物特征比对数据库主要是为图像识别系统进行比对识别和深度学习的数据仓库,是图像识别系统的基础。

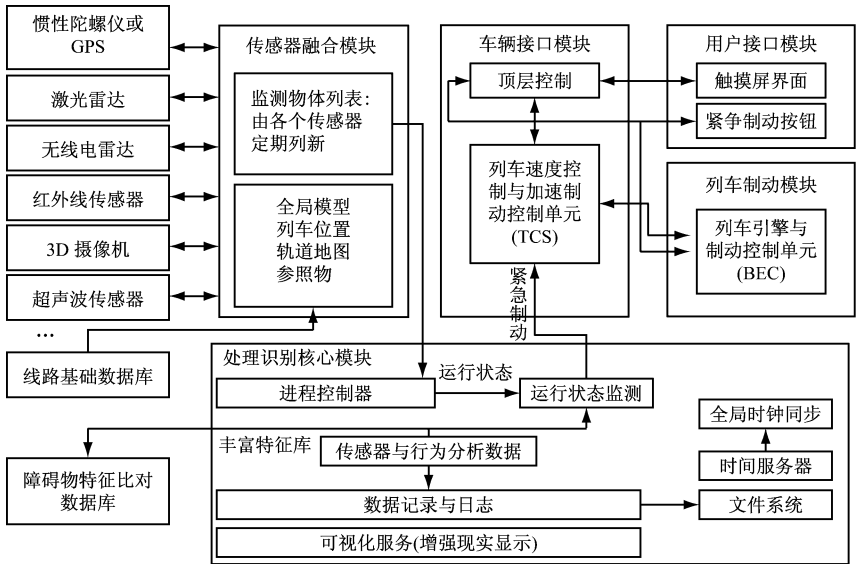


图 6 检测系统结构图

4.1.2 检测系统数据信息处理流程

检测系统的主要数据信息处理流程如图 7 所示。

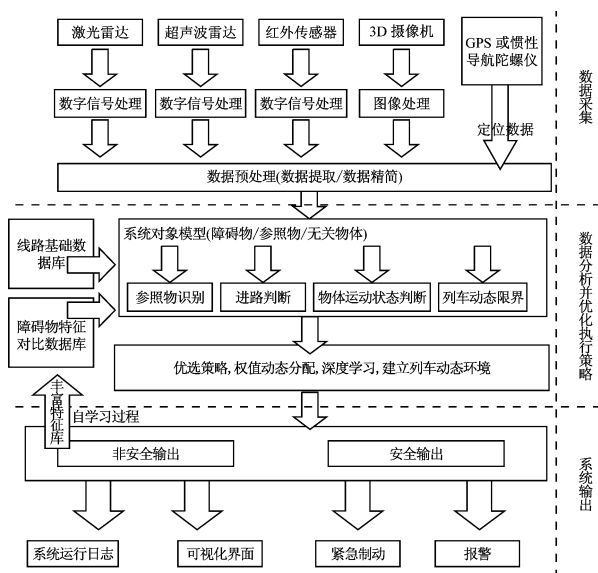


图 7 检测系统信息处理流程图

检测系统的信息处理流程主要分为:数据采集、数据分析并优化执行策略、系统输出。在数据采集阶段,多检测技术同时工作,采集的数据经过提取、精简及优选融合,为系统建模提供准确数据。在数据分析并优化执行策略阶段,依据线路基础数据及参照物识别,生成动态进路及列车运行的动态限界;通过优选融合策略,判断车辆、物体的运动状态。在系统输出阶段,检测系统的输出包含安全输出(紧急制动和报警)和非安全输出(系统日志及监控人员可视界面)。此外,还输出采集信息到特征数据库。

4.2 优化软件设计

(1) 容错设计。如同时采用多种检测手段,则误报率会相应累加。所以,需要容错设计处理叠加的误识别。

(2) 模式匹配。检测系统可自动识别车辆外界环境模式,并相应切换工作模式(如地面模式、隧道模式、夜晚模式及车辆段模式等)。检测系统可在线实时检测,辅助报警,并智能协助调度人员处理行车故障。

(3) 权值动态分配。不同模式下,各检测设备数据计算可按分配的权重不同,累加优化输出结果。权重分配采用学习算法,可动态分配权重。例如,检测系统会自动在列车会车时降低图像识别技

术数据的权重。

(4) 数据库比对和特征深度学习。检测系统的核心技术是图像识别技术。其数据库,包含特征库和参照物库,都需不断丰富更新,以提高自动识别的准确率。

(5) 改进识别算法和深度学习。检测系统针对轨道交通特点,改进使用三维点云分割双目视觉障碍物检测算法,通过深度学习算法来丰富数据库,优化参数阈值。具体识别算法参考 Adaboost 算法的演化版本。

4.3 优化机械结构

检测系统的机械结构应具备一定稳定性,能减弱冲击振动的干扰,或者利用阻尼系统稳定振动,以保证传感器在数据采集时的稳定。为此,摄像机等传感器是加装在机械防抖云台上的。云台附属的陀螺仪和加速度计可检测设备的方向性和防抖状态。关键部位的伺服电机可保证检测设备的稳态。

5 融合技术的识别效果

检测系统经过实验室仿真试验及真实线路现场测试,测试结果见图 8~9。安装在列车司机头上部左右两侧的 3D 摄像机通过双目识别技术采集图像,生成立体数据。软件实时生成车辆延伸的动态限界区域。当车辆尚未进入该限界区域时,如在此区域内发现障碍物特征,则系统将输出警报。如果该区域内未出现异常,则系统认为正常,并将数据采集结果存到特征库。



图 8 障碍物识别的仿真试验

测试系统在印度的孟买地铁 1 号线和苏州地铁试验线的线路上分别进行试验。试验的测试系统主要采用多传感器+图像识别技术,将泡沫板替代人和物体放置在轨道限界内。在长为 11.4 km 的孟

(下转第 119 页)

个重要原因是过于看重市场导向,忽视了运营及客流需求。钢轮钢轨固然成熟,而 APM 也是传统制式,且更符合机场运营特点和客流需求。

(2) APM 在运营灵活性及可靠性等方面优势明显。APM 车辆以其灵活的编组、成熟的无人驾驶技术、良好的环保性及舒适性,较 B 型车可更充分地适应机场客流特征及运营组织需求,提供更高的系统安全性及可靠性,保证捷运系统全天 24 h 不间断运营。

(3) 系统规模及土建投资需结合具体项目分析。不同的机场、不同的捷运系统规划,其客流来源及流线各有不同,其系统设计规模也有所差异。从西安咸阳国际机场案例来看,高峰小时单向客流量在 0.9 万人次的量级以内,故 APM 较 B 型车综合优势明显。面对更高客流量级的需求,一定程度上有利于 A、B 型车发挥大运量的特点,但其运营灵活性方面的不足仍需做进一步比选研究。

参考文献

[1] 李文沛,刘武君. 机场旅客捷运系统规划[M]. 上海:上海科

学技术出版社,2015.

- [2] 中国民用航空局. 2017 年民航行业发展统计公报[R]. 北京:中国民用航空局,2018.
- [3] 中华人民共和国建设部. 城市公共交通分类标准: CJJ/T 114—2007[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 中华人民共和国建设部. 城市轨道交通工程项目建设标准: JB 104—2008[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [6] AITA. Airport Development Reference Manual 10th Edition [M]. Geneva: AITA,2014.
- [7] 中国民航总局. 民用机场服务质量: MH/T 5104—2006[S]. 北京:中国民用航空总局,2006:9.
- [8] 朱忠隆, BAM BERG W, 林晨, 等. 机场自动旅客输送系统规划技术及其应用[J]. 城市轨道交通研究, 2007(9):38.
- [9] 姬永红. 机场自动旅客输送系统技术发展与应用展望[J]. 城市轨道交通研究, 2011(3):10.
- [10] 包亚敏, 杜磊. 机场捷运系统制式比选研究[J]. 科技视界, 2017(7):91.

(收稿日期:2018-06-25)

(上接第 114 页)



图 9 真实线路的障碍物识别测试

买地铁 1 号线上,共测试 156 次,有效识别了 153 次,误报 3 次,识别正确率达 98%。由测试结果可见,测试系统的障碍物识别率较高,满足了障碍物识别的基本要求。

6 结论

本文详细介绍了一种多检测技术融合平台的设计方案及核心架构。通过建立统一平台、数据融合、优化策略和学习算法,最终提高了障碍物识别的正确率。多技术融合的障碍物检测技术为未来列车插上智慧的“眼睛”和“耳朵”,为全自动无人驾驶系统安全行车提供了保障。

参考文献

- [1] 黄涛,吕红强,王维. 基于多技术融合的地铁列车障碍物检测系统设计[J]. 制造业自动化, 2016, (8):59.
- [2] 徐伟,陈宁宁. 一种全自动无人值守列车(UTO)障碍物检测方法[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(4):56.

(收稿日期:2018-09-21)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com