

基于机器视觉的城市轨道交通 对标停车系统研究

王 睿

(中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 车辆自动驾驶技术是基于环境感知技术对周围环境进行感知, 并根据获得的信息, 通过车载中心电脑控制车辆的转向和速度, 使车辆能够安全、可靠地行驶, 并达到预定目的地的车辆控制技术。基于自动驾驶技术中的机器视觉, 通过安装在车辆上的车载摄像头识别车标及车辆信号灯, 允许车辆在没有人工参与的前提下, 在自主进站停车过程中, 识别车辆的位置并实施制动停车。机器视觉通过传感器及相机来代替人类双眼的功能进行测量和判断, 是未来车辆发展的趋势, 对标停车只是机器视觉可以完成的功能之一。未来, 通过安装在车辆上的摄像头可以实现轨道交通的机器视觉, 实时掌握路面信息, 感知周围环境, 在缓解交通压力、提升城市交通效率、提升能量利用等方面发挥更多的作用。

关键词: 自动驾驶; 机器视觉; 车载摄像头; 对标停车; 城市轨道交通; 地铁车辆

中图分类号: U284.48; U268.4

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.02.120

Research on Benchmarking Parking System of Urban Rail Transit Based on Machine Vision

WANG Rui

(CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Vehicle auto-driving technology is a control technology that senses the surrounding environment based on environmental awareness, and controls the steering and speed of the vehicle through the on-board center computer according to the acquired information, so that the vehicle can drive safely and reliably and reach the predetermined destination. Based on the machine vision in automatic driving technology, vehicle signs and signal lights were recognized by on-board camera installed on the vehicle, which allows the vehicle to identify the position of the vehicle and implement braking parking in the process of self-stop parking without human participation. Machine vision measured and judged the function of human eyes by sensors and cameras, which was the trend of vehicle development in the future. Benchmarking parking was only one of the functions that machine vision can accomplish. In the future, through the camera installed on the vehicle, the machine vision of rail transit can be realized, real-time road information can be grasped, and the surrounding environment can be perceived, which will play a more important role in alleviating traffic pressure, improving urban traffic efficiency and improving energy utilization.

Keywords: auto-driving; machine vision; on-board camera; benchmark parking; urban rail transportation; metro vehicle

0 引言

目前, 城市交通发展迅猛, 但大部分仍为人工驾

驶, 人工驾驶易受情绪等诸多因素影响, 在行车密度、行车速度等外界因素影响不断加大时易导致操作失误, 从而造成各类交通事故。而自动驾驶可有效避免情绪波动等人为因素影响并提高行车安全性, 也将驾驶员

收稿日期: 2018-07-24; 修回日期: 2018-09-03

从重复、繁重的劳动中解放出来。因此,开发自动驾驶系统,提升车辆安全性,充分利用行车速度和行车密度参数,避免因人为操作失误而导致安全事故,成为下一阶段交通行业急需解决的问题^[1]。

现阶段,车辆的自动化程度不高,基本上以人为操作为主,从而存在着车辆平均速度低、安全性难以满足需求、停车定位不准确等缺点。在人工驾驶情况下,决定车辆安全的最主要因素是驾驶员。而随着自动驾驶技术的使用,车辆将通过车载传感器来感知周围环境,从而获取道路、车辆位置及障碍物等信息,使车辆能够安全、可靠地在道路上运行,并到达指定位置。

1 自动驾驶系统

车辆自动驾驶技术是基于环境感知技术对周围环境进行感知并通过决策规划层对车辆进行控制,最终到达目的地的一项车辆控制技术。目前在列车控制方面,有列车自动驾驶系统(Automatic Train Operation,简称ATO)^[2]。ATO技术是目前较为成熟的自动驾驶技术,这项技术是根据已有的线路条件,结合车辆的速度及车辆所在位置,为车辆实施牵引、制动提供依据^[3]。而在城市轨道交通领域如智轨、虚拟轨道等方面,自动驾驶系统可以实现从辅助驾驶到无人驾驶的功能和需求。目前有越来越多的公司,诸如谷歌、特斯拉、百度、通用、福特、奔驰等,都加大了对汽车自动驾驶技术研发的投入,可以预见的是,未来自动驾驶系统技术将飞速成长。

相对于复杂的汽车驾驶环境,轨道交通的环境更为简单、道路信息更为明确,列车自动驾驶系统在一定程度上比汽车的自动驾驶系统更容易实现。2018年初,北京燕房线正式通车,标志着我国正式具备了自主研发自动驾驶列车的能力。随着燕房线的正式通车,轨道交通技术势必会产生一场无人驾驶的革命,自动驾驶列车也将提上议程,装备雷达、摄像头、GPS装置等设备的车辆将为主控器提供规划的依据,达到UTO(Unattended Train Operation,完全无人自动驾驶)模式,最终实现车辆的自动驾驶。

2 对标停车系统

ATO模式列车的停车过程是依靠跟踪一条恒定制动率的推荐速度曲线来实现的。ATO系统根据信号系统或者车载传感器将列车速度及位置信息实时反馈到控制器中,进而分析比较实际速度和推荐速度之间的差值,计算出所需制动指令值,传送给列车实施制动。列车根据制动指令值,计算并输出所需的总制动力,根据具体情况决定由电制动、空气制动或者混合制动执行制动^[4]。

目前,该项技术在列车到站后最终的停车精确性上还有欠缺。当制动牵引没能准确执行ATS(Automatic

Train Supervision,列车自动监控系统)提供的信号,或信号系统软件出现诸如提供的信号不够精确等小问题时,就会出现地铁车辆门没有正对屏蔽门的情况。当偏差过大的时候,驾驶员就会把自动控制调整为手动,调整对位。然而,一名地铁驾驶员从开始培养到独立驾驶往往需要3年左右的理论培训和1年左右的驾驶实习。同时,在夜间的情况下,因为疲劳等原因造成的对标停车不准的情况会频繁出现。因而设计一套可辅助对标停车的辅助驾驶系统或者配备自动对标停车系统的自动驾驶系统可以提高对标停车的冗余性,提升驾驶安全和稳定性,避免因疲劳驾驶、操作失误等人为原因导致的安全隐患。

3 基于机器视觉的对标停车

3.1 对标停车及机器视觉概述

1) 驾驶员对标停车

驾驶员实施制动时,通过操作司控室手柄实施制动。在实现报站后,逐步将速度降到5 km/h或者6 km/h,再通过对准车标或者屏蔽门逐步将速度降到0,实现对标停车。

2) 机器视觉

机器视觉是一项基于图像的感知分析技术和方法,目前广泛运用在自动检测、过程控制、机器人寻迹探测等方面。机器视觉最早来源于仿生学,通过仿生人眼的功能,运用摄像机、照相机等传感器代替人眼进行测量和判断。机器视觉是通过图像摄取装置将被摄取目标信息转换成图像信号,传送给专用的图像处理系统,得到被摄目标相关数据信息,然后依据像素分布和亮度、颜色等信息,将其转化为数字信号;图像系统通过一系列算法进行运算,来抽取目标特征,从而依据这些特征来实现对目标物体的信息捕捉^[5]。

3.2 根据边缘检测和图像颜色深度信息提取车标

在地铁车辆停车过程中,驾驶员通过对准车标停车,因而实现地铁车辆对标停车需要2个步骤:识别和定位。

3.2.1 识别

图像采集设备获取的车标图像质量往往不符合要求,因此需要对图像进行预处理,具体操作如下:

①图像压缩/模糊

考虑到目前采集设备分辨率较高,为保证实时性,提高运算速度,可适当缩小图像的像素。

②处理RGB彩色图像

RGB彩色模型需同时考虑3个维度的矩阵,占据存储空间较大,导致运算速度较慢,信息处理实时性较差。因此,可以对彩色图像进行降维处理,将RGB模型转化为二值模型^[6]。

③图像局部增强

可采用开运算或闭运算对目标图像进行处理,突

出车标目标区域位置。

3.2.2 定位

①边缘检测

运用边缘检测算子, 找到车标轮廓纹理, 提取出车标边缘。

②提取车标

在提取出车标边缘后, 锁定车标位置, 最后提取车标^[7]。

具体的流程图如图1所示。

以城轨车辆停车位置标识牌为例, 运用 MATLAB 程序做演示, 效果图如图2所示。

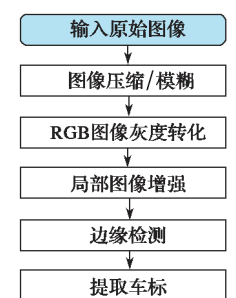


图1 图像识别逻辑框图

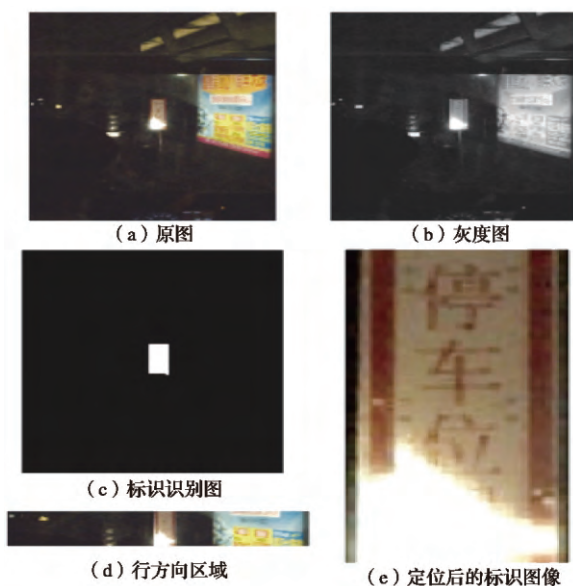


图2 MATLAB 演示图

此算法也可以用于识别信号灯, 效果更加显著。

以城轨隧道内的显示灯识别为例, 运用 MATLAB 做演示, 效果图如图3所示。

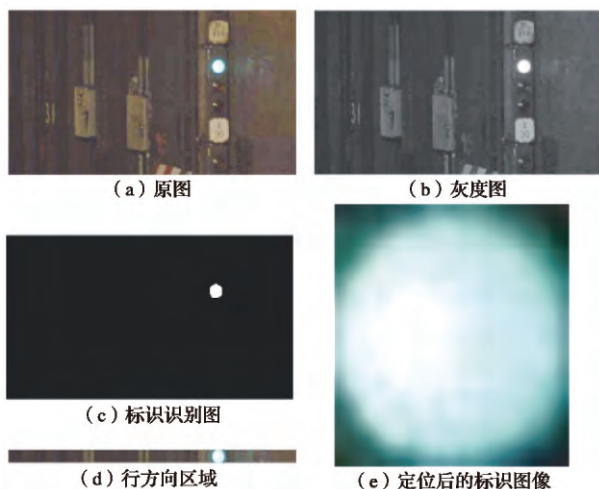


图3 MATLAB 演示图

3.3 通过颜色深度识别信号灯系统

考虑到地铁隧道内场景较为简单, 信号灯系统比较清楚, 因此环境噪声相对较小, 对于信号灯系统, 可以通过对颜色深度的识别进行分析。

3.3.1 识别

与车标识别一样, 需要对图像进行预处理, 具体操作如下:

① RGB 彩色图像

RGB 彩色模型需同时考虑 3 个维度的矩阵, 由于 RGB 的强度特点可以通过矩阵来描述, 因此可以将原图像信息直接输入到处理系统中, 提取 RGB 的数值信息。

②图像模糊与简化运算

考虑到目前采集设备分辨率较高, 为保证实时性, 提高运算速度, 可适当缩小图像的像素。同时, 考虑到地铁隧道内部混合光较少, 需要识别的色彩较为单一, 可以将图像转化为 HSL 或者 HSV 图形进行识别。

3.3.2 定位

①信号灯颜色检测

根据地铁隧道内的线路信号灯条件, 设置光强的阈值的算子。记录高于阈值的区域, 检测出信号灯的位置。

②强化图形效果

在提取信号灯位置后, 锁定信号灯位置, 考虑到可能存在信号牌等产生的一些杂波信号, 通过滤波器将杂波信号去除。

③提取信号灯

在去除杂波信号后, 锁定唯一的信号灯位置, 即可提取信号灯的信号。

其流程图如图4所示。

以隧道内信号灯识别为例, 运用 MATLAB 做演示, 效果图如图5所示。

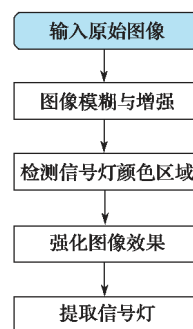


图4 信号灯识别逻辑框图

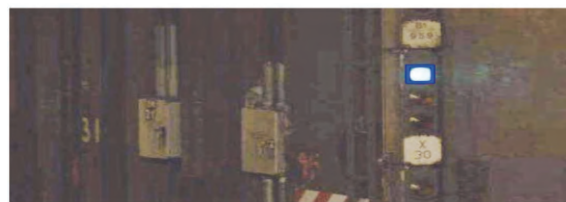


图5 MATLAB 演示图

3.4 图像位置比对确定车辆位置信息

3.4.1 图像采集

安装在车辆前部的前置摄像机可以同步采集实时图像数据, 并将数据传到处理器中, 转化为具有多个像素点的图像, 而每一个像素点都具备明确的位置信息和被分配的色彩数值。摄像机的像素信息是唯一确定的, 即使出现误差, 也可以通过预处理进行转化。

3.4.2 成像原理

摄像机可以同步捕捉到车辆前部的信息, 并将信息聚到感光器件上进行处理, 其等效原理图如图6所示。

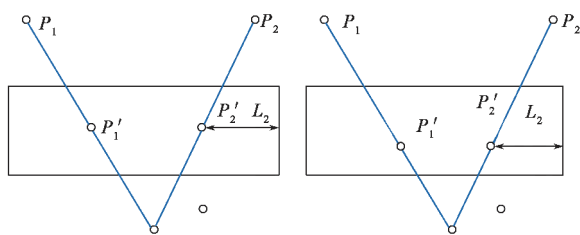


图 6 成像原理图

如图 6 所示, P_1 和 P_2 是物点, 在图像上的点 P_1' 和 P_2' 是像点。当车辆向前行驶时, P_2' 的位置向偏离图像中心线的位置移动, L_2 的长度减少, 因此可以通过判断 P_2 在图片中的位置来判断车辆的位置。

3.4.3 比对信息

1) 寻找特定点或边缘对比

通过找到特定的点或特定的边 (或整个边缘) 进行对比。通过对比已经采集的 P_2 到图像边缘的距离 L_{20} 和入站时 P_2 到图像边缘的距离 L_{2E} 。通过判断距离的公式, 找到车辆到车标的距离 D_{2E} 。

$$D_{20}=f(L_{20})$$

$$D_{20}-D_{2E}=N(L_{20}-L_{2E}) \quad \forall N \in N^+$$

即 $L_{2E}=L_{20} \Rightarrow D_{2E}=D_{20}$

式中: L_{20} 为采集的 P_2 到图像边缘的距离; L_{2E} 为入站时 P_2 到图像边缘的距离; D_{20} 为采集的车辆到车标的距离; D_{2E} 为入站时车辆到车标的距离; N 为正整数。

2) 对比整体图像信息

采集列车进站时的信息, 并将车辆位置信息和采集的图像信息一一对应。在车辆进站的路段, 选取一定的间隔 (取决于隧道条件、进站速度、摄像机的精度等), 采集图像数据, 并将图像的像素信息转化为已识别车标的二值信息图, 记做 I_e 。 I_{ie} 则表示在第 i 个位置已识别的车标的二值信息图。在整个车辆进站过程中, 实时采集车辆进站的图像数据, 并转化为二值信息图, 并记作 I_o 。

$$I_i = \neg (I_o \oplus I_{ie})$$

I_i 为在车辆进站的第 i 个位置, 摄像机所摄图像与已采集的二值图取异或得出数值信息图。

累加所有 I_i 的值, 记做 Id_i 。

$$I_{\max} = \text{find}(\max(Id_i))$$

find 函数表示找到 Id_i 的序数。

距离公式即可通过下述公式确定:

$$D=D_i$$

式中: D 为车辆到车标的距离; D_i 为第 i 个位置上车辆到车标的距离。

通过上述方法确定车辆到车标的距离信息, 从而明确车辆位置信息。

4 优势及前景分析

4.1 基于机器视觉的停车系统在 ATO 中的优势

目前城市交通的对标停车方式有 2 种, 一种是人

工对标, 另一种是基于地面应答的自动对标。人工对标主要是通过驾驶员的经验和技巧, 通过在停车标前的一定距离将速度降到合理的区间内, 然后在车标位置处实施制动并完成停车任务。而自动对标系统则依靠 ATO 系统, ATO 直接收集线路参数、临时限速等信息, 同时通过车地无线通信系统将指令传送到 ATP (Automatic Train Protection), ATP 则收集列车速度和位置信息, 并回传给 ATO 进行处理, 从而向制动系统发送指令完成制动。

考虑到实际驾驶过程中, 人工驾驶存在可能因为个人情绪波动带来的人为操作失误, 而且解放劳动力和提升驾驶员工作效率也是未来城市交通的必然要求, 因此基于视觉的对标停车系统优于人工驾驶的对标停车系统。

目前轨道车辆开始逐渐普及的 ATO 系统, 其停车精度已经可以达到 $\pm 0.3 \text{ m}$, 按照理论计算, 列车停在 $\pm 0.3 \text{ m}$ 精度范围的概率可达到 99.99%。而实际上, 高峰期内列车停车精度往往只能达到 $\pm 0.5 \text{ m}$ 甚至更大, 这主要是由于信号延时而导致的^[3]; 且无线传输系统在列车设计速度超过 120 km/h 的进站停车时也存在巨大的风险, 这也在一定程度上限制了车辆速度。同时, 考虑到轨旁 AP 通信周期往往是几十到上百毫秒, 再加上考虑单个 AP 的覆盖范围有限, 因此在进站停车过程中, 当存在切换过程时也可能导致几百毫秒的延迟, 因此基于 CBTC 的对标停车系统存在精度不足、稳定性不高以及限制城轨车辆最高速度等问题。

基于机器视觉的对标停车系统可以在一定程度上解决这些问题, 当车辆距离车站一定位置时可以通过探测降速标识实现降速, 考虑到这个过程不存在传输过程, 也不存在 AP 切换过程, 可直接通过机器学习在车上控制器内完成分析。目前控制器主流算法处理时间可控制在 50 ms 以内, 最快可达到 25 ms , 优于目前 CBTC 对标停车方案的几十到几百毫秒, 而且减少了通信的过程, 直接通过网线传输, 简化了流程, 在实际应用中效果更好。而在标线上, 车辆可直接通过车辆标识确定车辆位置, 不断对车辆位置校正, 再结合控制算法, 对车辆的制动力进行调整, 从而避免因为信号响应、延迟等问题导致对标不准确的问题。因此基于机器视觉的对标停车系统可以保证制动过程的及时性, 避免延迟, 从而提升车辆驾驶的稳定性。

4.2 运用场景分析

①辅助驾驶模式: 在人工驾驶的情况下, 考虑到人工驾驶存在一定的误差, 可通过屏幕或语音播报, 给驾驶员提示相关信息, 协助驾驶员对标停车。

②无人驾驶模式: 基于机器视觉的自动驾驶系统对于车辆的主动防撞功能和非接触式检测功能具有较高的要求, 运用双目摄像机可以完成对车标的识别, 通过图像处理及机器学习, 完成对标 (下转第 127 页)

上有较大的轮轨横向力, 外侧车轮轮轨横向力较小且与无槽轨方向相反。

③ 59R2 槽型轨的轮轴横向力大于无槽轨。

④ 轮背接触时在轮背接触点和踏面接触点共同承担轮轨垂向力。

综上所述, 从保护轮对方面考虑, 在车辆设计时应保证轮对与槽轨不发生接触, 增大滚动圆横向跨距是避免轮背接触的有效方法。对于 59R2 槽型轨适当地增大滚动圆横向跨距对车辆动力学性能有益, 但在确定滚动圆横向跨距时应当考虑轮轨间隙、道岔等因素的影响, 以保证车辆整体动力学性能。

参考文献:

- [1] 李刚, 李芾, 黄运华. 100% 低地板轻轨车辆的发展与运用 [J]. 机电传动, 2013 (4): 51-55.
- [2] 李秋义. 我国现代有轨电车轨道系统技术发展的思考 [J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(10): 122-125.

- [3] 张兵舰, 沈钢. 槽型轨与车轮接触几何关系初步研究 [J]. 铁道车辆, 2006, 44(12): 1-3.
- [4] 陈鹏. 槽型轨及普通钢轨对独立轮对轻轨车辆轮轨动力特性的影响 [J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(2): 65-68.
- [5] 干锋, 戴焕云, 高浩, 等. 铁道车辆不同踏面等效锥度和轮轨接触关系计算 [J]. 铁道学报, 2013, 35(9): 19-24.
- [6] PIOTROWSKI J, CHOLLET H. Wheel-rail contact models for vehicle system dynamics including multi-point contact [J]. Vehicle System Dynamics, 2005, 43(6/7): 455-483.
- [7] JOAO P, JORGE A. A computational efficient general wheel-rail contact detection method [J]. Journal of mechanical science and technology, 2005, 19(S1): 411-421.
- [8] 丁军君, 李芾, 黄运华. 基于半赫兹接触的车轮磨耗计算 [J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(2): 195-199.

作者简介: 杨 阳 (1991—), 男, 工程师, 主要研究方向为机车车辆设计理论、轨道交通车辆系统动力学理论、轮轨接触理论。

(上接第 110 页) 停车功能, 提高了车辆自动驾驶的精确性、稳定性和安全性。

4.3 未来发展趋势

机器视觉是通过传感器及相机来代替人类双眼的功能进行测量和判断, 而这也是未来车辆发展的趋势, 对标停车只是机器视觉可以完成的一个功能。未来, 通过在车辆上安装摄像头可以实现轨道交通的机器视觉, 实时掌握路面信息, 如同人类的双眼般感知周围环境, 而且更加可靠、稳定, 也是车辆实现自动驾驶技术的必然要求。

5 结语

通过研究与分析车辆对标停车技术, 运用基于摄像机系统的机器视觉识别车标或信号灯并判断车辆距离。在 ATO 系统逐步完善与发展的前提下, 机器视觉将进一步发展并融入车辆自动驾驶系统, 提高车辆的安全性和冗余性, 为未来基于机器视觉的车辆自动驾驶技术准备条件。同时在提升城市交通效率、提升能

量利用率等方面发挥越来越大的作用。

参考文献:

- [1] 彭金帅. 浅析无人驾驶汽车的关键技术及其未来商业化应用 [J]. 科技创新与应用, 2015 (25): 46.
- [2] 张强, 陈德旺, 于振宇. 城市轨道交通 ATO 系统性能指标评价 [J]. 都市快轨交通, 2011, 24 (4): 26-29.
- [3] 王鹏. 地铁列车 ATO 模式对标停车不准故障分析 [J]. 铁道机车车辆. 2015, 35 (1): 118-120.
- [4] 王鹏飞, 樊贵新, 王新海, 等. 城轨车辆在 ATO 模式下停车精度问题的分析与讨论 [J]. 铁道机车车辆, 2011, 31 (6): 77-79.
- [5] 王耀南, 李树涛, 毛建旭. 计算机图像处理与识别技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 孙即祥. 现代模式识别 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001.
- [7] 牛欣, 沈兰荪. 基于特征的车辆牌照定位算法 [J]. 交通与计算机, 2000, 18(1): 31-33.

作者简介: 王 睿 (1991—), 男, 硕士, 研究方向为城市车辆自动驾驶与无人驾驶。