

基于5G-V2X的自动驳运泊车

Design of Automatic Transferring and Parking System
Based on 5G-V2X

系统设计

端木传昊¹,孙科学^{1,2},张正¹,唐珂¹,徐荣青¹(1.南京邮电大学,江苏南京210023;2.射频集成与微组装技术国家地方联合工程实验室,江苏南京210023)

Duanmu Chuanhao¹,Sun Kexue^{1,2},Zhang Zheng¹,Tang Ke¹,Xu Rongqing¹(1.Nanjing University of Posts and Telecommunications,Nanjing 210023,China;2.Nation-Local Joint Project Engineering Lab of RF Integration & Micropackage,Nanjing 210023,China)

摘要:

随着新能源汽车和自动驾驶技术的发展,自动泊车系统已成为智能交通的关键组成部分。首先,总结了国内外自动泊车和车路协同技术的发展和现状。然后,给出了感知融合技术和感知网络在内的关键技术与自动驳运泊车系统设计方案。接着,对自动驳运泊车系统进行了云平台设计和各模块设计。最后,针对5G-V2X结合在自动驳运泊车的应用进行了分析和展望。本系统有潜力改变传统的车辆下线运输模式,提供了更加智能化和自动化的驳运泊车解决方案。

关键词:

自动泊车系统;车路协同平台;路侧感知技术;5G;V2X

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.01.015

文章编号:1007-3043(2026)01-0071-06

中图分类号:TN915

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the advancement of new energy vehicles and autonomous driving technologies, automatic parking systems have become a crucial component of intelligent transportation. It first summarizes the development and application of automated parking and vehicle-road collaboration technologies both domestically and internationally. Then the key technologies, including perception fusion and perception networks, as well as the design scheme for automated parking systems are presented. Subsequently, a cloud platform design and module design for the automated parking system are detailed. Finally, an analysis and outlook are provided on the application of 5G-V2X integration within automated parking. This system has the potential to transform the traditional vehicle offline transportation model, providing a more intelligent and automated solution for transport and parking.

Keywords:

Automatic parking systems; Vehicle-road collaboration platform; Roadside perception technology; 5G; V2X

引用格式:端木传昊,孙科学,张正,等.基于5G-V2X的自动驳运泊车系统设计[J].邮电设计技术,2026(1):71-76.

1 概述

随着国内新能源汽车产业的发展,整车厂产能和产量不断增长,但生产线到总装完成后的车辆驳运环节会影响生产效能。目前,整车厂主要由人工将车辆

开到停车场或发运区,耗费大量人力且存在安全隐患。随着单车智能化和车路协同系统(Vehicle to Everything, V2X)技术的发展,新能源汽车厂商积极研究实现自动驾驶驳运。

C-V2X是基于蜂窝网络技术的V2X通信技术。作为支持车辆、道路基础设施和云端的互联互通技术,C-V2X是中国智能网联汽车发展的核心技术之一。中国在智能网联汽车领域,特别是依托C-V2X推进车路云一体化融合方面,出台了一系列政策。2020

基金项目:江苏省研究生实践创新计划(SJCX24_0309)

通讯作者:孙科学,sunkx@njupt.edu.cn

收稿日期:2025-12-01

年,《智能汽车创新发展战略》提出,到2025年中国要基本实现智能汽车的量产应用,智能网联基础设施实现跨行业协同发展。《汽车产业中长期发展规划》提出加速智能网联汽车与智慧城市的融合,推进5G、C-V2X等新一代信息基础设施建设。

为提高自动驳运智能化和泊车安全性,本文探讨了自动驳运泊车系统的核心技术——车路协同,设计了车路协同平台和路侧设施部署,旨在通过车路云一体化自动驾驶系统,实现“车一路一云一网”的协同规划决策,使所有下线车辆能够在物流运输区域依靠智能驾驶、路侧信息和云控协同实现稳定、安全的无人/少人自动驳运。

2 自动泊车发展现状

自动泊车系统是现代汽车智能化的重要组成部分,近年来得到广泛应用。通过车载传感器和控制器,系统能够自动搜索停车位并完成泊车操作,大大简化了驾驶员的停车过程。

1989年,斯坦福大学的Derrick Nguyen和Bernard Widrow教授首次发布了关于使用神经网络实现半挂车自动泊车的研究成果^[1]。1990年,南加州大学的Seong Gon和Bart Kosko则发表了一篇比较卡车倒车控制系统中模糊控制和神经网络的论文,指出在解决小车倒车问题时,模糊控制的精度更高,误差更小^[2]。随后,荷兰的Ming Feng Hsieh等人针对泊车时汽车无法精确沿规划轨迹行驶的问题,提出了一种能够实时控制的泊车控制器^[3]。为适应多种泊车情况,日本千叶大学的Liu等人采用以汽车速度和转向角为控制参数的方式,对车位和转向角的限制进行路径规划,并借助实时壁障算法实现了自动泊车^[4]。

国内对自动泊车系统的研究也越来越深入。1999年,西安电子科技大学的李汉兵等人研究了自动泊车的模糊控制预测器,解决了在不改变Kosko倒车规则的情况下的死区倒车问题^[5]。2001年,清华大学的于伟等人以Kosko的模型控制器为切入点,采用遗传算法对控制器的输入输出参数进行了优化,提高了自动泊车的成功率及准确性^[6]。王玉龙等人提出了基于CNN-Transformer的自动泊车车位感知算法^[7]。针对驾驶员泊车困难和降低泊车事故发生率等问题,仲济艳等人进行了基于模糊控制算法的超声波自动泊车系统的研究与设计^[8]。2020年,秦宇等人针对大数据与5G结合在自动驾驶农业机械的应用进行了分析

和展望^[9]。

车路协同系统是一种通过车辆与路侧基础设施、其他车辆及行人之间的信息交换来提高交通安全、效率和可持续性的智能交通系统。美国车路协同系统协会通过开发和集成车载与路侧设备,并利用无线通信技术进行IntelliDrive实验提升驾驶安全、交通效率和环境保护^[10]。日本汽车联合会通过路侧传感器检测前方路况或视线死角中的障碍,利用车路通信系统实时提供道路信息及浮动车技术的交通数据^[11]。Gonçalo Pereira等人设计了由激光雷达、相机和毫米波雷达组成的智能交通系统协同感知平台。该平台通过融合信息监测3D物体的运动,在城市场景下表现出低延迟和良好的性能^[12]。

谢波等人通过分别在车端和路端布置激光雷达,构建了车路协同感知的传感器系统,来实时感知3D物体的运动轨迹^[13]。此外,穆柯楠将相机作为主要的传感器,通过车端装配的相机实现车道线识别,通过路端相机实现对道路上车辆的识别^[14]。2021年,林晓伯等人结合运营商5G+MEC网络优势,提出了通过5G网络承载车联网的技术方案并进行了实地部署验证,结果验证了5G+C-V2X方案的可行性^[15]。2023年,张应辉等人针对5G-V2X场景中大量车辆执行切换认证的效率问题,提出了一种基于轨迹预测的安全高效群组切换认证协议^[16]。

3 自动驳运泊车系统的设计方案与关键技术

3.1 设计方案

为实现车-车(V2V)、车-路(V2I)、车-人(V2P)、车-云(V2N)等V2X实时信息交互,构建安全、高效、环保的交通系统,自动驳运泊车系统由车、路、云、网4个部分组成,系统总架构如图1所示。其中,路侧识别系统精确感知车辆和行人信息并传送到云平台;云平台负责数据融合与路径规划;自动驾驶车辆接收平台指令并自主决策;通信网络提供低时

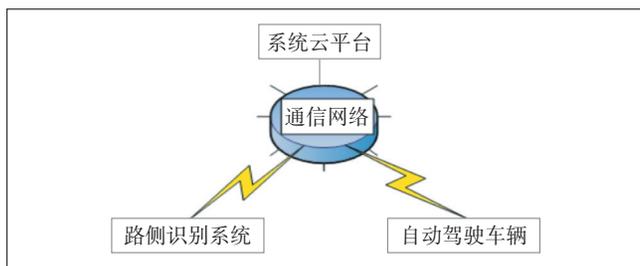


图1 自动驳运泊车系统总体架构

延、高可靠的数据交互支持。各部分协同运行,共同保障系统的平稳运作。

在车路协同框架方面,通过全面感知、高速分析和低时延交互,实现车、路、人的高效协同。5G的大带宽与低时延将路侧与车载数据传输至边缘服务器,数据融合与决策后,将结果反馈至路侧单元(Road Side Unit,RSU),并通过PC5接口广播到V2X终端,提升数据安全性与隐私性。路侧设备如摄像机、激光雷达等采集环境数据,通过5G或光纤回传至边缘服务器融合处理。系统云平台通过算法提升数据处理效率,对传感数据进行分析 and 预警,实现对自动驾驶车辆的实时通信与安全提示。云平台还负责决策指令的生成和远程监控功能。自动驳运泊车系统框架如图2所示。

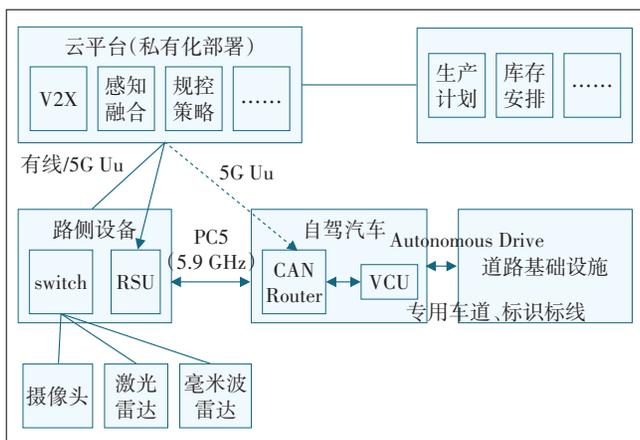


图2 自动驳运泊车系统框架

3.2 关键技术

3.2.1 感知融合技术

智能汽车的感知融合技术是指通过集成多种传感器和信息处理技术,综合利用不同来源的数据,来提升对环境的理解和决策能力。路侧硬件一般由下面几种设备组成。

a) 毫米波雷达。该设备在高分辨率、高精度、穿透能力和隐蔽性等方面有许多优势,但存在传输距离较短、受天气影响、成本高和反射问题等缺点。

b) 激光雷达。该设备扫描范围广泛且精度高,支持360°全方位扫描,适用于大范围测量和制图。它能在噪声和恶劣天气下有效工作,且不受物体颜色和材质的限制,实现非接触、高精度自动化测量,性价比高,成本低于传统设备。然而,激光雷达扫描速度较慢,且在强光环境下容易受到干扰。

c) 摄像机。摄像机基于可见光源,工作在可见光

波段,优点是作用距离远,检测精细,视角广,缺点是受光线影响大,数据量大,处理复杂,占用资源。

因此,路侧硬件部署最佳方案是结合激光雷达、毫米波雷达和摄像机的优势,互补使用,以实现无缝覆盖。为保证大量数据的稳定、实时传输,采用光缆连接至平台服务器;同时,通过5G专网将平台处理后的信息实时传输至车侧,实现高效的车路协同。

3.2.2 融合网络

选取合适的网络传输方式,安全快速地上传和下达路侧实时数据信息及平台侧指令信息尤为重要。目前,5G网络和V2X通信技术是车路协同领域前沿和主流的传输方式,光缆传输则是一种传统稳定的传输方式,对固定场景来说,其成本较低,稳定性较高。

a) 5G专网主要有三大特性,分别为超大带宽、超低时延和超大连接数。业务模式可以分为优享模式、专享模式以及尊享模式,3个等级的网络差异化能力组合逐步增多,服务质量逐步递增。

b) C-V2X技术将单车感知提升为“车一路一云”协同实时感知,有效解决了感知死角、超距范围及成本问题,增强了自动驾驶的安全性和交通效率。在决策方面,单车智能正转向“车一路一云”协同,以应对自动驾驶和非自动驾驶车辆共存的复杂环境需求,实现安全与效率的平衡。C-V2X系统的RSU安装于交通路口,连接信号灯与感知设备,为车辆提供实时路侧信息,支持智能计算与感知融合。

综上所述,对于平台侧与车侧的数据传输,考虑到对安全性、时延等的需求,采用5G-V2X的组网方式。而对于路侧与平台侧的传输,由于路侧和平台侧设备均为固定场景,且距离较近,考虑到成本、稳定性和安全性的需要,采用光缆直连的方式。

4 自动驳运泊车平台设计

在解决了路侧数据的采集和传输问题后,需搭建自动驳运泊车系统云平台,对路侧数据进行分析、运算,并下达正确的指令至车侧。

4.1 云平台设计

云平台作为全局管理和决策中心,承担了数据聚合、深度分析和全局控制等核心任务,通过高效的数据处理与融合感知算法实现系统的智能化管理。云平台与边缘服务器通过光纤或5G网络连接。边缘服务器作为中间处理节点,对从车辆和路侧设备接收的数据进行本地化处理和融合计算,从而降低延迟,提

升实时响应能力。

路侧单元(RSU)包含多个感知模块,如摄像头、激光雷达和毫米波雷达等,可通过对路侧环境、交通状况和动态对象的实时监测,实现精确的环境感知。RSU通过PC5接口与边缘服务器交互,并将经过处理的环境数据或决策信息反馈至周边的车载终端(On-Board Unit, OBU)。

车载终端(OBU)位于系统架构的底层,通过PC5接口与RSU通信,负责接收诸如行人预警、前方障碍等关键信息,以支持车辆的自动驾驶决策。这种信息交互模式极大地提高了车辆的安全性和智能化程度。

云平台流程如图3所示。

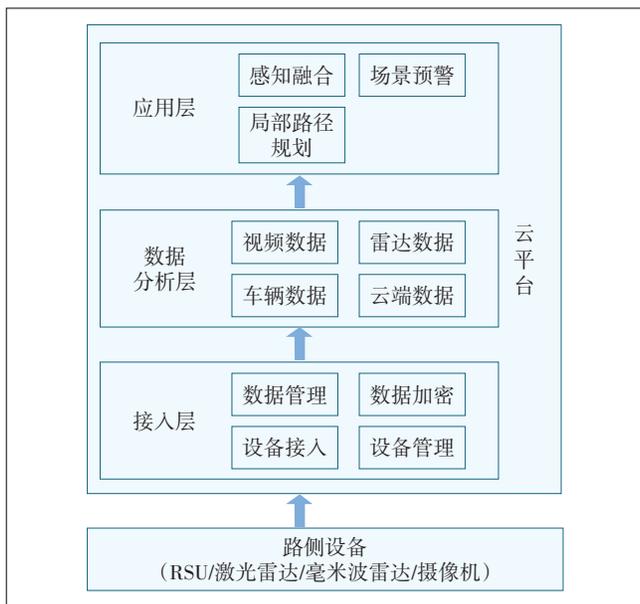


图3 云平台流程

自动驳运泊车系统云平台提供基础通信能力、感知数据分析处理能力、场景预警能力、局部路径规划能力等,其主要模块构成如图4所示,各模块协同实现

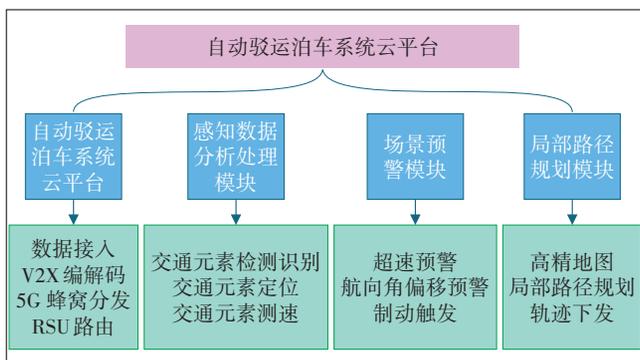


图4 自动驳运泊车系统平台主要功能模块

自动驳运泊车系统的感知、决策与控制功能。同时,为实时显示道路交通运行状况,需要在显示器进行云平台Web前端可视化显示。

4.2 平台模块建设

系统平台(亦称系统云平台)需快速融合多源交通数据,实时显示道路交通状况,毫秒级完成视频、雷达等数据的全天候分析,并提供超速和偏航预警,及时下达制动指令以保障安全。

4.2.1 基础通信模块

基础通信模块主要提供数据接入、终端接入、V2X编解码、5G蜂窝分发和路侧单元(RSU)路由功能。数据接入支持多设备和多路段的数据共享,采用标准V2X消息协议格式,便于不同数据格式的转换;V2X编解码用于将C-V2X的原始编码转换为JSON格式,便于系统处理和下发;5G蜂窝分发通过边缘计算增强通信能力,使车辆与边缘云的连接更加稳定;RSU路由提供局部信息发布,确保通信链路稳定,减少数据延迟,提高传输效率。

4.2.2 感知数据分析处理模块

4.2.2.1 交通元素检测识别

交通元素的检测识别可通过视觉及雷达传感器实现。前者通过连续图像帧的像素框标注,利用CNN卷积神经网络提取目标颜色、纹理等特征,生成像素检测框;后者通过深度神经网络对点云的空间特征进行提取,生成目标的三维包围框。两者的检测结果示意如图5所示,其中,图5(a)中的矩形框为车辆检测结果,而不同颜色块为对应目标的语义分割结果,不同颜色表示不同类型的元素;图5(b)中的红色3Dbox为车辆外包装框检测结果,框的长宽高理论上与实际车辆尺寸一致。

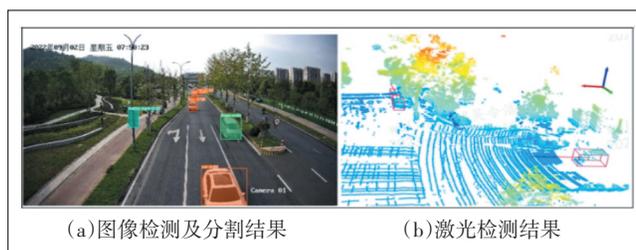


图5 视觉及激光车辆检测结果示意

4.2.2.2 交通元素定位

标定位主要通过雷达测量的方式实现。雷达定位主要包括外参标定、测量后处理等步骤。

外参标定的目标是估计雷达传感器在设定的参

坐标系(设为WGS84系)下的位置与姿态 $T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \in SE^3$ 。外参标定的核心步骤是寻找当前激光传感器下的点坐标 P_i 及对应点在参考系下的坐标 P_r , 两者通过传感器的外参相关联:

$$P_r = RP_i + t \quad (1)$$

对于给定的关联点对坐标,通过SVD分解即可得到传感器外参 T 。

测量后处理通过结合传感器测量值和感知信息,生成目标在参考系下的位置。激光雷达的测量值为单帧点云,包含点的反射强度和三维坐标。根据激光感知结果,得到目标外包围框尺寸及其投影点坐标,通过外参可将其转换为参考系下的绝对位置,实现对目标位置的估计。

4.2.2.3 交通元素测速

交通元素速度估计主要通过激光雷达的帧间位置差来实现。激光雷达的输出频率通常为10 Hz,通过相邻两帧间目标位置的变化及帧间时间差,可以实现对目标速度的估算。假设第 i 帧点云中目标位置为 $P_i(x_i, y_i, z_i)$, 而第 $i+1$ 帧中目标位置为 $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$, 对应两帧时间差为 Δt , 则目标运动速度可通过式(2)计算得到。

$$v = D(P_i, P_{i+1}) / \Delta t \quad (2)$$

其中, $D()$ 表示两点间的欧式距离, Δt 为两帧激光点云之间的时间差。

交通目标的航向角获得有2种方式,一是利用激光雷达感知网络,直接输出目标航向角;二是通过计算相邻两帧目标包围框中心点的夹角,得到航向角。

$$\theta = \text{atan} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3)$$

4.2.3 场景预警模块

系统根据实际运营的危险等级,识别核心场景并设定关键安全指标。该模组关注车辆行驶速度和方向,在车辆超速或偏航时会及时进行预警或干预。

a) 超速预警:当检测到车辆连续多帧的速度超出规定范围20 km/h时触发预警。

b) 航向角偏移预警:当车辆连续多帧偏离道路航向角超出设定范围时触发预警。

c) 压线触发制动:通过Bezier曲线拟合车道线,检测到车辆压线后触发制动指令。

d) 超速触发制动:当车辆连续多帧的速度超出规定范围25 km/h时,触发制动。

4.2.4 局部路径规划模块

4.2.4.1 高精地图

采集并使用全工作区域的高精度地图,确保作业车辆获得准确、全面的路面信息,用于感知、定位和控制等核心模块。

4.2.4.2 局部路径规划

基于目标终点、当前位置和路径信息,确定车辆的核心定位并进行全局路径规划。结合周围感知和障碍信息,实时调整行驶路径,生成局部规划信息供系统决策控制,确保车辆在实时路况下顺利行驶。

4.2.4.3 轨迹下发

当车辆需要路径规划时,系统以当前位置为起点,目标位置为终点,进行路径规划,并将规划路径的经纬度点集合下发给车辆。在行驶过程中,若无障碍物影响,路径保持不变;若遇到障碍物,系统则根据实时位置和目标位置重新规划避障路径,并下发新的路径点给车辆。

综上,局部路径规划主要是车辆在拿到全局导航信息后,根据实际作业车辆在行驶中遇到的具体问题进行的局部化调整,简单来说就是为了控制车辆当前时刻的控制策略。该模块是自动驾驶系统的核心模块,最为复杂,需要云端系统、车辆感知系统、决策控制系统等核心系统的共同参与。

5 系统测试

本文以环形路口无干扰车辆通行、车辆行驶在摆放交通锥及交通标牌的车道内、车辆行驶车道的前方有故障车及三角警告牌、车辆并道侧后方有干扰车辆或非机动车、车辆通过变道后停在有停车点的停车区域这5种情况为例,进行仿真系统功能验证。5种情况的场景描述、测试目标、测试方法、测试标准和测试结果如表1所示。

表1中概述的关键测试场景,如无干扰通行、交通锥避让等,体现了系统对复杂环境的适应能力。本测试的目标聚焦于验证系统的基本行驶功能和应对突发状况的能力,通过模拟真实交通环境,测试方法确保了测试的严谨性。所有测试均按照既定的通过标准进行评估,结果显示系统在仿真环境中表现良好,验证了系统的可靠性和安全性。

6 结束语

自动驳运泊车系统利用5G-V2X技术,实现车路

表1 5种情况下仿真系统功能的验证

测试编号	测试场景描述	测试目标	测试方法描述	通过标准	测试结果
1	环形路口无干扰车辆通行	验证车辆环形路口通行能力	测试车辆以20 km/h的起始车速在环岛1口进入,直行从3口驶出环岛	能按照正确的出口位置安全驶出环岛,无碰撞危险或安全员接管	通过
2	车辆行驶在摆放交通锥及交通标牌的车道内	验证车辆对标志标牌的正确反映	测试车辆以50 km/h的起始车速在A1道路驶向摆放的交通锥	能识别前方障碍物和标牌,并减速绕过障碍物继续前行	通过
3	车辆行驶车道的前方有故障车及三角警告牌	验证车辆对故障车及警告牌的反应	测试车辆以50 km/h的起始车速在A1道路驶向摆放三角牌的故障车	能识别前方三角警告牌并减速之后绕过障碍物继续前行	通过
4	车辆并道侧后方有干扰车辆或非机动车	验证车辆在混行情况下对交通参与者行为预测的反应	测试车辆以50 km/h的起始车速在A1道路行驶,前方有三角牌,左后车道有干扰车以45 km/h靠近	能避免与侧后方车辆或非机动车障碍物发生碰撞	通过
5	车辆通过变道后停在有停车点的停车区域	验证车辆在指定或特殊位置的停车能力	测试车辆以20 km/h驶向A4-A5路口的停车区域	能实现变道并停于右侧车道内,车身基本平行于右侧道路边缘线	通过

协同和多源感知,打造智能高效的无人驳运泊车平台。该系统将提升园区车辆驳运安全和效率,减少人力成本,增强自动驾驶的适应性。5G网络支持实时通信,可快速响应环境变化,实现精确路径规划和避障。场景预警模块即时反馈超速、偏航等问题,保障行车安全。

与其他已有的泊车系统相比,本系统利用5G网络的高速率和低延迟特性,结合激光雷达、毫米波雷达和摄像机等多种传感器,增强了对周围环境的感知能力,提高了泊车精度和安全性。同时,系统还特别强调了预警和路径规划功能,以应对各种复杂交通场景。

系统适用于封闭和半开放环境的无人运输,可扩展至物流园区和港口。通过提升感知模块,系统能在各种天气和地形中保持精确定位和导航。系统的模块化设计便于集成智能交通设施,促进智能交通网络发展,构建高效安全的自动化运输和泊车系统。

参考文献:

[1] NGUYEN D H, WIDROW B. Neural networks for self-learning con-

trol systems[J]. IEEE Control Systems Magazine, 1990, 10(3): 18-23.

[2] KONG S G, KOSKO B. Comparison of fuzzy and neural truck backer-upper control systems [C]//1990 IJCNN International Joint Conference on Neural Networks. San Diego: IEEE, 1990: 349-358.

[3] HSIEH M F, OZGUNER U. A parking algorithm for an autonomous vehicle [C]//2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven: IEEE, 2008: 1155-1160.

[4] LIU K Z, DAO M Q, INOUE T. Theory and experiments on automatic parking systems [C]//ICARCV 2004 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference. Kunming: IEEE, 2004: 861-866.

[5] 汉兵, 谢继信. 模糊预测器在倒车系统中的应用[J]. 西安电子科技大学学报, 1999, 26(3): 392-396.

[6] 于伟, 张乃尧, 白帆. 倒车问题的模糊优化控制方案[J]. 机电一体化, 2001(5): 21-24.

[7] 王玉龙, 翁茂楠, 黄辉, 等. 基于CNN-Transformer的自动泊车车位感知算法[J]. 汽车技术, 2024(8): 1-6.

[8] 仲济艳, 张佑春, 沈丽娜. 基于模糊控制算法的超声波自动泊车系统的研究与设计[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2023, 37(5): 81-84.

[9] 秦宇, 周宇, 赵亮. 面向农机自动驾驶的5G/大数据技术应用展望[J]. 邮电设计技术, 2020(5): 36-40.

[10] PARK H, SMITH B L. Investigating benefits of IntelliDrive in free-way operations: lane changing advisory case study [J]. Journal of Transportation Engineering, 2012, 138(9): 1113-1122.

[11] 彭永清. 世界瞩目的日本"ITS站点"智能交通系统[J]. 交通与运输, 2012, 28(5): 30.

[12] PEREIRA G, D'OREY P M, AGUIAR A. Poster: cooperative perception platform for intelligent transportation systems [C]//2020 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). New York: IEEE, 2020: 1-2.

[13] 谢波, 张迪思, 吴迪瑞, 等. 一种基于路端激光雷达和摄像头后融合的车辆稳定跟踪方法[J]. 激光杂志, 2022, 43(8): 169-173.

[14] 穆柯楠. 基于车一路视觉协同的行车环境感知方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.

[15] 林晓伯, 冯毅, 邱佳慧, 等. 基于5G+C-V2X的车联网解决方案及验证[J]. 邮电设计技术, 2021(10): 13-19.

[16] 张应辉, 钱佳乐, 曹进, 等. 5G-V2X中基于轨迹预测的安全高效群组切换认证协议[J]. 通信学报, 2023, 44(8): 144-154.

作者简介:

端木传昊,南京邮电大学硕士在读,主要从事电子电路设计相关研究工作;孙科学,教授,博士,硕士生导师,主要从事电子电路设计、数字信号处理及其应用以及通信工程领域的相关研究工作;张正,南京邮电大学硕士在读,主要从事电子电路设计相关研究工作;唐珂,南京邮电大学讲师,硕士,主要从事电子电路设计相关研究工作;徐荣青,教授,博士,博士生导师,主要从事基于机器视觉与柔性触觉的人工智能研究工作。