

基于 CLRnet 算法的非机动车安全保障 HMD 设备

孙帅¹, 宋懿航¹, 梁飒², 张祥祥³, 张淞涵¹

1. 东北林业大学 土木与交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150006

2. 东北林业大学 计算机与控制工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150006

3. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150006

DOI: 10.61369/ERA.12272

摘要 : 本项目旨在开发一款基于 CLRnet 算法的非机动车安全保障 HMD 设备, 本团队将此设备装于头盔上, 用于非机动车骑行者的车道识别和实时危险检测。其主要目标是解决中老年和新手骑行者面临的安全挑战, 这些骑行者由于经验不足和反应迟缓, 更容易发生交通事故。该设备集成了摄像头和传感器系统, 用于监测周围的道路情况, 包括车道标线、车辆距离和交通信号。当骑行者偏离非机动车道时, 系统会及时发出预警, 引导骑行者回到正确的行驶轨迹, 从而提高骑行安全性和警觉性。该项目的意义在于其能够减少交通事故的发生, 并促进更安全的骑行环境。通过利用先进的深度学习技术, 这款设备将为交通安全提供创新性解决方案, 对现代城市非机动车骑行者具有广泛的影响。

关键词 : 智能预警; 车道识别; 实时危险检测; 安全意识普及

Non Motor Vehicle Safety HMD Equipment Based on Clrnet Algorithm

Sun Shuai¹, Song Yihang¹, Liang Sa², Zhang Xiangxiang³, Zhang Songhan¹

1.School of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150006

2.College of Computer and Control EngineeringNortheast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150006

3.School of Forestry,Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150006

Abstract: this project aims to develop a non motor vehicle safety HMD device based on clrnet algorithm. The team will install this device on the helmet for lane recognition and real-time hazard detection of non motor vehicle riders. Its main goal is to solve the safety challenges faced by middle-aged, elderly and novice riders, who are more prone to traffic accidents due to lack of experience and slow response. The device integrates a camera and sensor system to monitor the surrounding road conditions, including lane markings, vehicle distances and traffic signals. When the rider deviates from the non motorized lane, the system will send an early warning in time to guide the rider back to the correct path, so as to improve the riding safety and alertness. The significance of the project is that it can reduce the occurrence of traffic accidents and promote a safer riding environment. By using advanced in-depth learning technology, this device will provide innovative solutions for traffic safety and have a wide impact on non motorized riders in modern cities.

Keywords: intelligent early warning; lane recognition; real time hazard detection; popularization of safety awareness

随着城市化进程加快, 非机动车成为城市交通系统的重要组成部分, 尤其在大城市中, 非机动车数量激增, 成为缓解交通拥堵和环保问题的关键。然而, 非机动车的快速增长也带来了交通安全隐患, 尤其是对中老年人和新手骑行者, 因缺乏经验和应急能力, 容易发生事故。根据《道路交通安全法》规定, 非机动车应遵守交通安全规定, 尤其在无非机动车道时, 应靠车行道右侧行驶。数据显示, 2016至2021年, 非机动车交通事故率上升, 受害者多为中老年人和新手骑行者。如图1为国家统计局数据统计交通事故数。

现有的非机动车安全装备大多是被动防护, 缺乏对交通环境的主动感知和智能干预。为解决这一问题, 本项目旨在开发一款基于 CLRnet 算法的非机动车安全保障 HMD 设备, 旨在为骑行者提供实时交通状况感知和动态预警。该设备通过内置摄像头和传感器监测道路环境, 特别是非机动车道, 若骑行者偏离车道, 系统会及时发出预警信号, 提高骑行安全性。

CLRnet 作为高效的深度学习算法, 已在车道识别和偏离警示中取得显著成果, 本项目利用其优势, 实现对复杂交通环境的精确识别和实时监控。该智能预警系统不仅能提升骑行者的安全感, 还能在潜在风险发生前提供有效预防, 减少事故发生率。

本研究在技术创新的同时, 也促进了社会交通安全意识的提升。本设备的推广将有效提高骑行者, 特别是中老年人和新手骑行者的安全意识, 帮助他们养成良好的骑行习惯, 助力建设更安全的城市交通环境。

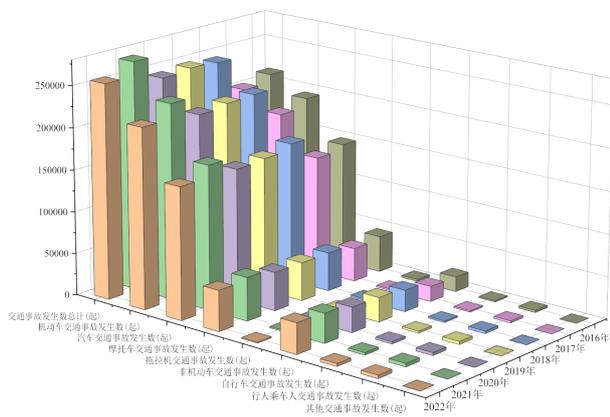


图1 国家统计局数据局统计交通事故数

一、国内外相关研究概述

(一) 车道线检测技术研究现状

车道线检测技术一直是智能交通领域的研究热点。为了提高车道检测的准确性和实时性，国内外研究者提出了多种基于深度学习和传统图像处理方法的车道线检测算法。Jung 等人 (2020) 提出了一种优化空间嵌入的车道线检测方法^[1]，通过减小车道检测模型的大小和计算量，提升了实时性和嵌入式设备上的可用性。Qin 等人 (2020) 则提出了一种“超快速结构感知深度车道检测”方法^[2]，通过利用道路结构的信息提高了车道检测的精度。此外，S Yoo 等人 (2020) 提出了一种基于行分类的端到端车道标线检测方法^[3]，该方法通过卷积神经网络 (CNN) 从原始图像中直接学习车道标线的特征，提高了车道标线检测的准确性。国内方面，蒙双等人 (2021) 提出了一种基于改进 OctConv 模块的车道线检测算法^[4]，该方法通过优化卷积神经网络的结构，增强了对车道线特征的提取能力。这些研究为车道检测技术的发展奠定了坚实的基础，并为后续的智能交通安全系统提供了技术支持。

(二) 车道偏离预警技术研究现状

车道偏离预警系统 (LDWS) 作为提高道路交通安全的重要技术，广泛应用于现代车辆中。国内外学者在车道偏离预警算法的研究中提出了多种方法，主要包括基于视觉的车道偏离识别、基于传感器的车道偏离检测及融合技术等。何建辉等人 (2020) 提出了一种利用车辆两端位置和偏航角进行预警框架设计的方法^[5]，从而判断车辆是否发生车道偏离，并在偏离一定安全阈值后发出警告。Yue Chen 等人 (2020) 通过改进图像处理、车道检测和车道偏离识别技术^[6]，提出了一种新型的 LDWS 模型，并通过与现有模型比较，证明了该模型在准确性和处理时间上的优势。此外，Jiaju Wu 等人 (2021) 提出了一种基于视觉的车道偏离警告框架^[7]，该框架结合了深度学习方法和传统线检测算法，有效提升了车道偏离检测的前瞻性和实用性。国内在此领域的研究也取得了显著进展。李宏海等人 (2022) 提出了一种基于 Cardinal 样条的车道偏离预警系统参数估计方法^[8]，通过实验验证了该方法在提高测量精度和拟合效果方面的优势。雷承学等人 (2023) 研究了基于模糊算法的车道偏离预警系统^[9]，设计了一种

符合实际需求的车道偏离预警系统，进一步增强了系统的稳定性和可靠性。

(三) 较已有研究优点

本项目较已有研究具有显著的优点，主要集中在以下几点：

1. 本装置实现了一种主动安全措施，与传统的被动安全设备（如反光装备或普通头盔）不同，本项目通过集成实时车道检测和警告系统，采用 CLNet 技术，能够在骑行者面临潜在危险时主动发出警告，比如骑行车道，显著提升了骑行者的安全性。
2. 本项目实现了深度学习的集成，通过使用 CLNet 深度学习算法，能够精确地在复杂环境中识别车道，比起仅依赖图像处理的传统方法，它具有更高的准确性。CLNet 结合了卷积神经网络 (CNN) 和残差网络 (ResNet)，在特征提取方面具有优势，确保了在低光照或能见度差的路况下也能有更好的表现。
3. 本系统完成了综合传感器的集成，如加速度计、陀螺仪和距离传感器等，通过考虑动态行为和环境因素，提升了车道偏离检测的准确性。这种多传感器的方式相比于传统的仅依赖视觉数据的车道检测方法更加可靠。
4. 本系统可实时动态反馈，通过提供听觉和视觉的双重警报，确保骑行者能够及时意识到安全隐患。模块化硬件设计使得系统能够延迟实时处理，这在动态的交通环境中至关重要，能够使骑行者及时做出反应。

二、设计原理

(一) 系统概述

随着智能交通系统 (ITS) 和人工智能技术的快速发展，基于深度学习的智能安全预警系统已成为提升非机动车安全的重要手段。本项目设计的 HMD 设备系统结合 CLNet 深度学习算法和嵌入式硬件平台，旨在通过精准的车道识别与动态预警功能，确保骑行者在复杂交通环境中的安全。

CLNet (Cross Layer Residual Network) 是一种深度残差网络，采用多层次结构优化，能够高效提取路面图像中的车道特征，实现对道路环境的实时感知。系统不仅实时监测骑行者所在非机动车道，还能分析周围交通状况（如车距、交通标志等），并根据评估结果实时发出偏离警告，提示骑行者调整行驶轨迹，避免交通事故。如图2为 CLNet 基本原理图。

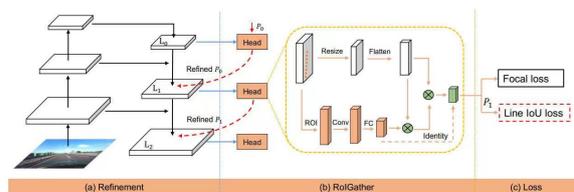


图2 CLNet 基本原理图

硬件架构采用模块化设计，确保各组件协同高效工作，满足实时性和精度要求。通过集成传感器、高清摄像头、嵌入式计算单元及警告输出装置，系统不仅提供车道偏离预警，还能通过语音和视觉反馈增强骑行者的安全感知。通过深度学习技术的应

用，该系统旨在减少交通事故，促进更安全的骑行环境，为城市非机动车骑行者提供创新性的安全解决方案。

(二) 系统工作流程

本系统工作流程的核心目标是确保从数据采集、处理、分析到预警反馈的高效协作，保证在非机动骑行过程中，能够实时监测骑行者的行为并提供有效的安全预警。系统的工作流程主要包括图像采集与预处理、数据处理与车道识别、偏离检测、预警反馈及持续监控等环节。每个环节依赖于硬件模块的协同配合，结合深度学习算法，实现实时、精确的车道偏离检测与智能预警。如图3为技术路线图。



图3 技术路线图

1. 图像采集与预处理

系统启动后，摄像头实时捕捉前方道路图像，确保高分辨率（1080p 或 4K）、高帧率及低光照适应性。采集的原始图像经预处理以提高图像质量并消除噪声，确保后续深度学习模型处理的高效性。预处理包括去噪、灰度化、对比度增强和几何校正，去噪有效减少光线变化与震动影响，灰度化减少计算负担，增强车道标线对比度，从而提高车道识别的准确性。

2. 数据处理与车道识别

预处理后的图像传输至嵌入式处理单元，CLRnet 深度学习模型进行车道识别和环境感知。CLRnet 基于卷积神经网络（CNN）和残差网络（ResNet），具有强大的特征提取能力，自动识别车道边界、车道线、交通标志等。为了实现实时处理，采用 GPU 加速确保图像处理在数百毫秒内完成，输出车道的相对位置、车道类型及障碍物信息，为后续的偏离检测提供支持。

3. 偏离检测与行驶轨迹分析

车道识别完成后，系统通过图像与传感器数据实时监测骑行者与车道边界的距离，并与理想行驶轨迹进行对比。加速度计和陀螺仪提供运动数据，帮助系统捕捉骑行者的动态变化，如加速、减速、转向及震动。系统结合视觉和运动信息，判断骑行者是否发生不规范的车道偏离行为。当检测到异常偏离时，立即触发警报。多传感器数据融合减少单一传感器故障或数据缺失对检测精度的影响，提高检测的准确性。

4. 预警反馈

当系统检测到偏离行为时，通过声音报警与视觉反馈两种方式提醒骑行者。声音报警通过耳机或扬声器传递警告音，自动调节音量以适应外界噪声环境，确保警告的清晰与穿透力。视觉反馈通过头盔上的小型 LED 或 OLED 屏幕直观展示偏离方向、距离

及纠正建议，增强骑行者的安全意识，尤其在复杂道路环境中提供操作指导，避免忽视警告信号导致事故。

5. 持续监控与数据反馈

系统持续实时监控骑行过程，循环采集图像数据、处理车道信息并进行偏离检测。每次偏离事件（包括时间、位置和程度）均被记录，为后续行为分析与改进提供数据支持。系统的反馈机制根据骑行者的行为进行自适应调整。例如，若骑行者多次偏离，系统逐渐增加警报强度，甚至通过更响亮的声音或闪烁的视觉提示引起骑行者的高度关注，确保安全警示及时有效。

6. 系统自我优化与学习

通过持续收集骑行数据，系统具备自我优化与学习能力。深度学习模型根据骑行者的行为数据与路况变化，调整车道识别与偏离检测精度。随着骑行数据的积累，系统能够提升对不同路况的适应性，未来还可实现个性化的安全预警，针对不同骑行者的行为习惯提供更精确的安全保障。如图4为 CLRnet 网络架构图。

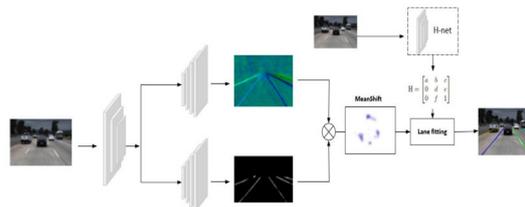


图4 CLRnet 网络架构图

(三) 系统硬件设计

系统硬件设计是 HMD 设备系统能够实现高效、稳定运行的核心，涉及多个关键组件的协同工作。为了确保系统能够在动态和复杂的交通环境下提供实时的安全警示，硬件设计必须具有高性能、低功耗、紧凑性以及强大的环境适应性。本系统的硬件架构包括图像采集模块、传感器模块、嵌入式处理单元、预警反馈模块以及电源管理模块五大部分。

1. 图像采集模块

图像采集模块是系统的输入源，主要通过高精度摄像头获取骑行者前方道路的实时影像。为确保图像质量，摄像头必须具有较强的低光适应能力、广角视野和高速拍摄能力。摄像头通常采用 CMOS 传感器，能够提供高清（720p/1080p）甚至超高清（4K）分辨率，确保捕捉到足够的道路细节，如车道标线、交通标识以及其他潜在障碍物。如图5为车道位置的选择说明。

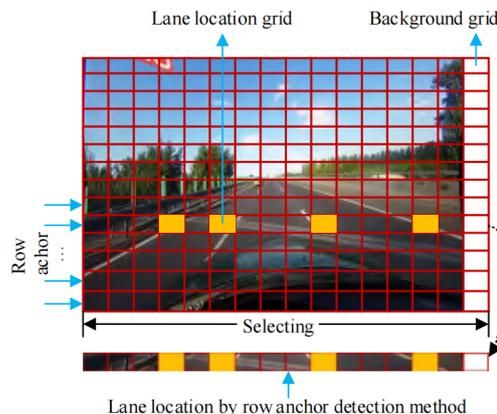


图5 车道位置的选择说明

图像采集模块的设计不仅要考虑图像分辨率，还要关注实时性和抗干扰能力。在复杂的道路条件下，摄像头捕捉到的图像需要经过去噪、亮度和对比度调整，以确保深度学习模型的输入质量。为了进一步增强图像的稳定性，摄像头还配备了图像防抖（EIS）技术，尤其是在骑行过程中可能产生的震动或颠簸的情况下，确保影像清晰度和稳定性。

2. 传感器模块

传感器模块通过多个传感器提供与骑行者动态状态及周围环境的交互数据。主要包括加速度传感器、陀螺仪、距离传感器和压力传感器等，这些传感器共同为车道偏离检测和运动分析提供多维度的辅助数据。

加速度与陀螺仪传感器通过实时监测骑行者的加速度与角速度，能够有效判断骑行者的行驶状态，包括速度、加速、减速、转向等变化。陀螺仪和加速度传感器的协同工作确保能够高精度地检测到骑行者的急转弯或急刹车等异常行为，辅助车道偏离检测。

距离传感器主要用于检测周围环境中其他交通工具与骑行者的相对距离。在与车道标线的关系分析中，距离传感器能够为车道偏离计算提供精准的空间数据，帮助系统判断骑行者是否靠近或超出车道边界。

压力传感器能够监控骑行者头盔与头部的接触情况，提供额外的安全数据，用于判断骑行者是否在正常佩戴头盔的情况下进行骑行。压力传感器的使用可以进一步增加系统的可靠性，确保系统在长时间使用过程中不会出现故障。

3. 嵌入式处理单元

嵌入式处理单元是整个系统的核心计算模块，负责接收图像数据和传感器数据，并运行深度学习模型进行实时推理。该模块采用了高性能的嵌入式处理平台，如 NVIDIA Jetson 系列或高通 Snapdragon 处理器，这些处理器集成了强大的 GPU 加速单元，能够支持深度神经网络（DNN）推理任务，确保图像识别和数据处理的低延迟。如图6为通过 CLRNnet 可实现的车道识别可视化效果。

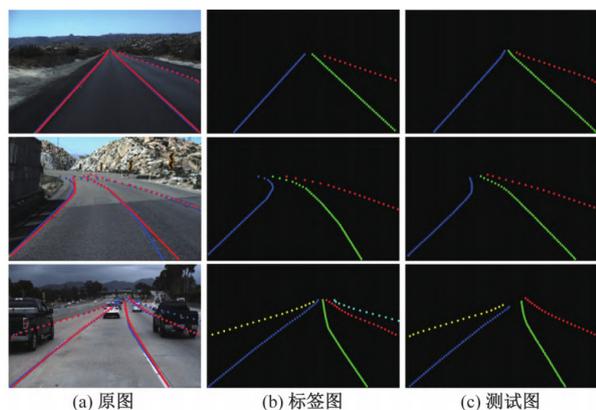


图6 通过 CLRNnet 可实现的车道识别可视化效果

在处理过程中，嵌入式单元会对传感器数据进行预处理，剔除噪声和冗余信息，通过集成的 GPU 进行图像的特征提取和分类。系统使用 CLRNnet 深度学习模型进行车道识别与偏离检测，CLRNnet 结合了深度残差网络（ResNet）和多层卷积神经网络

（CNN），能够在复杂的环境中提取到细节丰富、准确的车道特征。

为保证系统的稳定性和可靠性，嵌入式处理单元还集成了故障诊断和热管理功能。处理单元能够自动检测运行过程中的潜在故障，并通过温控系统防止过热，确保长时间的稳定运行。

4. 预警与反馈模块

预警与反馈模块用于实时向骑行者提供系统的处理结果。根据车道偏离检测结果，系统通过声音报警和视觉反馈两种方式向骑行者发出预警信号。

声音报警系统：声音报警系统能够在骑行者偏离车道时，通过耳机或小型扬声器发出警告音。系统采用了可调节音量的设计，确保在嘈杂的交通环境中，警告能够清晰地传达给骑行者。

视觉反馈系统：视觉反馈系统通常使用小型 LED 或 OLED 显示屏，这些显示屏安装在头盔或骑行者的眼前，能够实时显示车道偏离的方向、距离及纠正建议。通过显示屏，骑行者可以直观地看到当前车道偏离状态，并根据视觉反馈调整骑行行为。

该模块的设计不仅注重响应速度和警告的及时性，还考虑了反馈的易读性和操作的简便性，确保骑行者在紧急情况下能迅速做出反应。

三、实质性技术特点和显著进步

（一）实质性技术特点

本系统是一种创新的智能安全预警解决方案，针对非机动车骑行者在复杂交通环境中的安全问题。通过多传感器融合技术与深度学习算法，本系统能够实时监测骑行状态并精准识别潜在安全隐患。系统集成高精度图像采集、传感器数据融合及深度学习推理模块，能够识别道路环境、车道标线、交通标志等要素，自动检测车道偏离、急刹车、急转弯等危险行为。

系统不仅依赖图像数据进行车道偏离检测，还融合了加速度传感器、陀螺仪、距离传感器等数据源，提供精确的动态分析与决策支持。通过应用深度学习模型 CLRNnet，系统能从复杂场景中提取关键特征，提升车道识别准确性与鲁棒性，确保在恶劣天气或低光环境下仍能稳定工作。

此外，本系统具备智能反馈机制，可根据骑行者的实时状态和历史行为进行个性化预警。当偏离行为频繁发生时，系统会自动增强警报强度，提高骑行者的警觉性，从而提升安全性。

（二）显著进步

本系统在智能安全预警领域取得了显著进展，尤其在骑行安全和交通事故预防方面。与传统系统相比，本系统通过集成多种传感器和深度学习算法，大幅提高了车道偏离检测和行为分析的精度与实时性。CLRNnet 深度学习模型的应用，使得系统在复杂环境下保持高识别精度，减少了传统方法对复杂背景和干扰的敏感性。

此外，系统实现了对骑行者行为的多维度感知，结合加速度计、陀螺仪等传感器进行动态行为分析，从而更加精准地识别异常行驶行为。这一进步有效减少了由于单一传感器信息丢失或噪

声干扰导致的误判问题。

通过个性化智能反馈机制，本系统能够根据骑行者的历史行为自适应调整预警强度，为不同骑行者提供定制化的安全服务。智能预警设计显著提升了骑行者的安全意识，并有效降低了交通事故发生率。

综上所述，本系统在提升非机动车骑行者安全性方面取得显著进步，推动了智能交通技术的创新发展。通过精准、实时的安全预警，系统有望提升全球非机动车骑行安全标准，促进绿色交通模式的普及和可持续出行。

四、应用前景

本系统通过创新的智能预警技术，填补了非机动车骑行安全领域的空白，尤其是在复杂城市交通环境下。随着城市化进程加快和骑行文化兴起，非机动车（如电动自行车、电动滑板车等）已成为日常交通的重要组成部分。然而，当前我国在非机动车安全预警系统的研究和应用仍处于初步阶段，缺乏针对复杂道路环境的高效、安全解决方案。

本设备系统结合多传感器数据与深度学习算法，实现高精度车道偏离监测与行驶状态评估，具有广阔的市场前景和应用潜

力。该系统不仅能提升骑行者安全性，减少事故，还为政府和交通管理部门提供智能化的骑行行为监测与分析工具，助力城市交通规划与管理。

因此，本系统不仅具备强大的市场应用潜力，还能促进智能交通技术的创新，为实现绿色出行与智能交通目标提供技术支撑。

五、结语

本系统是一项具有重要潜力的创新技术，旨在提升非机动车骑行者在复杂交通环境中的安全性。通过多传感器融合、深度学习算法及实时预警机制，本系统能精准监测骑行行为并及时发出警告，有效预防潜在事故。其创新性在于结合图像识别、动态行为分析与个性化预警，提供全方位安全保障。尽管该系统已在设计与功能上取得显著进展，但仍面临技术和应用上的挑战，比如系统的处理速度与算法优化仍需提升，以应对更为复杂的交通场景。同时政策和法规的支持将对技术普及与应用起到关键作用。

综上所述，尽管面临挑战，本系统仍具有广阔前景，随着技术进步与政策支持，预计未来将广泛应用，为城市交通安全与可持续出行提供有力支撑。

参考文献

- [1]Jung, Seokwoo et al. "Towards Lightweight Lane Detection by Optimizing Spatial Embedding", CoRR abs/2008.08311 (2020).
- [2]Zequn, Qin et al. "Ultra Fast Structure-Aware Deep Lane Detection", European Conference on Computer Vision abs/2004.11757 (2020): 276-291.
- [3]Yoo S, Lee H, Myeong H. End-to-End Lane Marker Detection via Row-wise Classification[J]. IEEE, 2020.
- [4] 蒙双, 陈乐庚, 肖晨晨. 基于改进 OctConv 的车道线检测算法研究 [J]. 计算机仿真, 2021, 38(05): 142-145+218.
- [5] 何建辉, 潘陈兵. 基于视觉的车道偏离预警系统研究 [J]. 时代汽车, 2020, (08): 16-19.
- [6]Chen, Yue, and Azzedine Boukerche. "A Novel Lane Departure Warning System For Improving Road Safety", Intelligent Cloud Computing (2020): 1-6.
- [7]Wu, Jiayu et al. "A Vision-based Lane Departure Warning Framework", 2021 IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE) (2021): 139-143.
- [8] 李宏海, 陆红伟, 卢立阳, 等. 基于 Cardinal 样条的车道偏离预警测评关键参数估计 [J]. 公路交通科技, 2022, 39(07): 157-165.
- [9] 雷承学, 孟少华, 申彩英, 等. 基于模糊算法的车道偏离预警研究 [J]. 现代车用动力, 2023(03): 10-12+42.