

基于深度学习的可变电子交通标志牌的安全性与可靠性研究

刘原志¹, 王柯璇¹, 王荣锦¹, 王嘉明²

1. 东北林业大学 土木与交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040

2. 东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040

摘要： 我国是一个交通大国，公路交通在人们的日常出行中占据重要地位。近年来我国交通事故数量居高不下，在公路交叉口的事故尤为严重。而能够自适应调节交通标识的可变电子交通标志牌可以有效改善这类问题。本研究建立了公路交叉口智能交通预警系统，系统借助深度学习图像处理技术识别交叉口附近的车辆、行人等目标，通过智能控制屏幕显示不同的警告标志，为驾驶人和行人提供预警，进而降低交通事故率。系统使用YOLOv8+DeepSORT算法预测道路使用者轨迹并基于驾驶人视认性以及交通色彩心理学，构建了智能电子交通标志牌预警方案。本研究通过对影响该系统安全性与可靠性的因素进行分析和评估，对因交通标志牌质量或性能而导致的行车问题提供有效解决方案，具有良好的应用前景。

关键词： 安全性；可靠性；交通安全；交通标志牌

Design of Variable Electronic Traffic Signs Based on Deep Learning Research on Safety and Reliability

LiuYuanzhi¹, Wang Kexuan¹, Wang Rongjin¹, Wang Jiaming²

1 College of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

2 College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

Abstract： China is a large transportation country, and highway transportation occupies an important position in people's daily travel. In recent years, the number of traffic accidents in China remains high, especially at highway intersections. Variable electronic traffic signs, which can adjust traffic signs adaptively, can effectively improve such problems. This study establishes an intelligent traffic early warning system for highway intersections. The system uses deep learning image processing technology to identify vehicles, pedestrians and other targets near the intersection, and displays different warning signs through the intelligent control screen to provide early warning for drivers and pedestrians, so as to reduce the traffic accident rate. The system uses yolov8+deepsort algorithm to predict the trajectory of road users, and constructs an intelligent electronic traffic sign early warning scheme based on driver's visibility and traffic color psychology. Through the analysis and evaluation of the factors affecting the safety and reliability of the system, this study provides effective solutions to the driving problems caused by the quality or performance of traffic signs, which has a good application prospect.

Keywords： security; reliability; traffic safety; traffic signs

一、研究背景

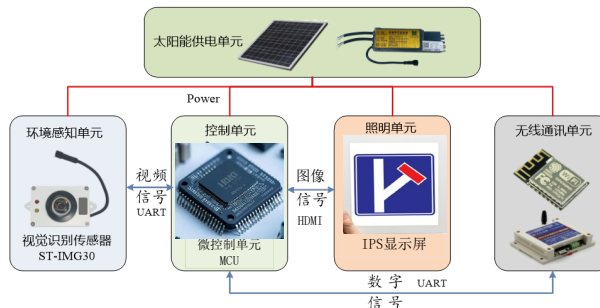
本研究通过对影响该系统安全性与可靠性的因素进行分析和评估，针对这些因交通标志牌质量或性能方面的不足而导致的各类行车问题，深入分析其产生的根源，并集合多方面的专业知识与实践经验，精心制定出切实可行且行之有效的解决方案，以此来保障交通参与者的行车安全，维护道路交通秩序的稳定与顺畅。

二、系统设计原理

（一）硬件装置搭建：

该系统的硬件装置由太阳能供电单元、环境感知单元、电子标识显示单元、无线通讯单元以及控制单元组成。硬件装置整体

结构如图1所示。



> 图1 硬件装置的整体结构

太阳能供电系统含太阳能电池板和锂离子电池组，前者收集太阳能并转换为直流电能储存于后者中，供阴雨天、晚上等无光照时使用。交通监控单元配备夜视摄像头实时监控十字路口交通

状况,利用先进技术在夜间也能捕捉清晰图像以收集交通流、车辆及行人信息,为智能照明策略提供支持。电子标识显示单元用LED屏提供照明与警示功能。无线通信单元借WiFi模块实现远程数据传输与通信。控制单元内嵌AVR微控制器,通过晶闸管控制模块调节LED屏电流控制亮度,还通过SPI接口与SD卡通信,依环境信息调出电子标识图像并在LED屏显示。

(二) 智能图像控制软件开发

智能图像控制系统的软件是用于集成和远程管理硬件设备、监测故障和执行其他相关任务的应用程序。在评估了当前流行的系统开发平台的优势之后,决定采用LabVIEW这一编程环境来构建图像控制软件。该软件是一个基于LabVIEW的多模块应用程序,旨在提供一套完整的图像管理功能和直观的用户界面。远程控制平台开发如图2所示。该软件由以下几个核心模块构成:图像与亮度管理模块、配置调整模块和视觉监控模块。图像与亮度管理模块是智能图像控制软件的重要组成部分,该模块通过TCP/IP协议与系统的硬件设备进行数据交换,实现对图像文件的远程管理和控制;参数设置模块提供了对智能照明系统各项参数的配置和调整功能。用户界面显示当前的参数设置,并提供交互式的输入框和控件,方便用户进行修改,并提供参数恢复功能,允许用户将参数恢复到默认值,以满足不同场景下的需求;视频监控模块利用无线通信技术读取网络摄像头的数据,并将摄像头数据实时显示在监控界面上。



> 图2 远程控制平台开发

(三) 公路交叉口智能电子交通标志牌预警方案建立

(1) 基于深度学习的道路使用者轨迹预测与图像处理

利用尖端的YOLOv8目标检测算法和DeepSORT目标跟踪算法,我们的系统不仅能够预测多种道路使用者的轨迹,以评估交叉口在夜间的风险水平,还能智能地根据道路情况改变图像标识,并在LED屏幕上显示相应的图像。首先,从包含不同道路使用者的视频数据中收集信息,并标记出每一帧中对象的位置和类型。然后,运用预训练的YOLOv8模型来识别视频中的目标,获取它们在每一帧中的位置、类别和置信度。这些检测结果随后被用作DeepSORT算法的输入,该算法结合了卡尔曼滤波器和深度特征提取,对目标进行有效跟踪,并为每个目标分配一个唯一标识符,以便我们可以追踪它们的移动路径。通过非线性回归模型,我们能够预测这些目标的运动轨迹。最终,系统将持续进行目标检测、目标跟踪和运动轨迹预测,并根据最新数据实时更新预测结果,实现对道路使用者运动轨迹的实时预测。

(2) 基于驾驶人视认性的方案构建

同一编号实验均采用同一车辆不同驾驶人在一个月内的累积

数据,并将收集得到的数据取平均值。根据环境亮度不同,电子交通标志牌选取8个亮度,分别是环境亮度最高的日间(天气晴朗,时间为中午11:00——下午2:00)为1500lx、2000lx、2500lx、3000lx;以及环境亮度不足的夜间为400lx、500lx、600lx、700lx。边框颜色参考交通色彩心理学相关论文^[1],共选取2个标志底色,分别为红色和黄色。但如标志的底色为黄色,当标志牌此时的背景颜色为黄色时,和标志的底色相同,显示不出二者的差异,不计入表中。实验因素及结果见表1。

方案编号	环境亮度	标志底色	标志牌亮度/lx	驾驶员平均反应时间/s
1	日间	黄色	1500lx	0.8908
2			2000lx	0.8454
3			2500lx	0.9225
4			3000lx	0.9979
5		红色	1500lx	1.5246
6			2000lx	1.4367
7			2500lx	1.5152
8			3000lx	1.6009
9	夜间	黄色	400lx	0.9828
10			500lx	0.9638
11			600lx	0.9891
12			700lx	1.0035
13		红色	400lx	1.6379
14			500lx	1.6092
15			600lx	1.6974
16			700lx	1.7961

表1 实验因素及结果

标志信息要素包括环境亮度、标志底色,以及标志牌亮度3个部分,通过实验模拟可获取驾驶人对不同情况下交通标志信息的反应时间。首先通过回归分析对标志各信息要素与驾驶人反应时间之间的关系进行拟合,获取不同标志信息要素排布下驾驶人对标志的应答情况。进而构建标志信息要素与驾驶人反应时间之间的交通标志模型^[2]。

采用线性回归分析的方法,剖析交通标志信息要素与驾驶人对其应答情况间的关系。分析中,驾驶人对标志应答情况,即驾驶人对标志信息的反应时间Z为因变量,标志信息的3个要素:环境亮度Y₁、标志底色Y₂及标志牌亮度Y₃为自变量。通过回归分析拟合得到交通标志反应时间模型的函数关系式见式(5),拟合度R²为0.86,R²的取值在0~1之间,取值越接近1说明拟合效果越好。多元多项式回归模型偏相关系数见表2。在交通领域的相关研究中,R²的取值在0.693~0.947之间^[3],本研究的R²取值在0.7以上,说明拟合效果符合要求。

模型	未标准化系数		标准化系数	t	显著性
	B	标准误差	Beta		
(常量)	-7.563	1.223		-5.236	<0.001
Y ₁	0.526	0.013	4.62	6.235	<0.001
Y ₂	0.236	0.131	1.223	8.643	<0.001
Y ₃	0.372	0.058	3.136	6.284	<0.001

表2 多元多项式回归模型偏相关系数表

$$Z = 0.516Y_1 + 0.256Y_2 + 0.361Y_3 - 7.462 \quad (5)$$

回归函数中,各变量的显著性均为<0.001(小于0.05),具有明显的显著性水平;同时,结合实验数据所得16个方案中可以发现,标志底色(Y₂)为黄色时的驾驶人反应速度比为红色时快。且当环境亮度(Y₁)为日间时,标志牌亮度(Y₃)在2000lx左右时,驾驶人对交通标志信息的反应时间Z最短;当环境亮度

(Y_1) 为夜间时, 标志牌亮度 (Y_3) 在 500lx 左右时, 驾驶人对交通标志信息的反应时间 Z 最短。

三、系统可靠性与安全性的影响因素

(一) 设计因素

(1) 可视性设计缺陷

在交通标志牌的设计环节中, 可视性设计是极为关键的部分, 然而却常常存在一些缺陷问题。就标志尺寸而言, 如果其设计得过小, 那么在规定的观察距离之外, 驾驶员便很难清晰地辨认出标志所传达的内容。在高速公路这样车速较快的环境下, 部分距离较远的出口指示标志, 要是尺寸没有达到合理标准, 驾驶员往往需要行驶到距离出口很近的地方才能看清指示信息, 而此时由于距离过近, 根本来不及做出诸如合理变道这样的正确驾驶动作, 这无疑会大大增加发生交通事故的风险。

(2) 结构设计不合理

交通标志牌的结构设计一旦出现不合理的情况, 将会带来诸多安全隐患。在对支撑结构进行强度计算时, 如果出现失误, 没有全方位、充分地考虑当地实际的风力、地震等自然因素, 那么当遭遇大风天气时, 强大的风力作用很可能致使标志牌被直接吹倒, 又或者在发生地震的时候, 由于结构无法承受相应的震动力量, 标志牌就有可能发生坍塌现象。而无论是被吹倒还是坍塌, 都会对过往的行人与车辆造成极为严重的安全威胁, 危及人们的生命和财产安全。

(二) 安装因素

交通标志牌的安装位置有着严格的要求, 其必须符合交通工程学中关于视距、视角等多方面的规范要求。然而, 实际情况中却时常出现安装位置错误的现象。有的工作人员会将标志安装在弯道的盲区内, 这样一来, 驾驶员在驾驶车辆经过弯道时, 根本无法提前获取到相应的路况提示信息, 也就没办法提前做好应对准备, 很容易在弯道处出现意外情况。若标志牌被周围的广告牌、树木等物体遮挡住, 会使得交通参与者在正常行驶过程中看不到标志, 导致交通信息传递受到阻碍, 交通参与者无法根据标志内容做出正确的驾驶决策, 进而对交通安全产生严重的影响, 增加了交通事故发生的概率。

(三) 维护管理因素

(1) 缺乏定期巡检

在日常使用中, 电子交通标志牌可能会出现一些损坏情况, 比如牌面出现轻微的划痕, 电线老化等, 虽然看似不起眼, 但却可能影响其安全性, 导致在特定光线条件下可视性变差; 又或者支撑结构上出现小锈斑, 若不及时处理, 随着时间的慢慢推移, 这些小问题很可能会逐渐演变成大的问题, 进而影响标志牌的正常使用, 甚至还会威胁到其整体的安全性, 使原本能够正常发挥作用的标志牌失去应有的功效。

(2) 修复更新不及时

对于交通标志牌而言, 及时的修复和信息更新是维持其有效性的重要举措, 可往往在这方面容易出现滞后的情况。当标志牌

遭到损坏, 或者因恶劣天气 (如暴雨、大风、暴雪等) 导致部分损坏后, 如果相关部门不能迅速安排人员对其进行修复, 那么损坏的标志牌就会持续处于不正常的状态, 无法准确地为交通参与者提供信息, 容易引发混乱。

四、提高系统可靠性与安全性的措施

(一) 优化设计环节

(1) 增强可视性设计

依据不同的道路等级、车速、环境等因素, 科学确定标志尺寸、合理搭配颜色 (严格按照国家标准执行), 规范字符设计, 提高在各种条件下的辨识度。

(2) 完善结构设计

通过精确的力学计算, 结合当地的气象、地质等实际情况, 选用合适的支撑结构形式和材料, 保证标志牌具备足够的抗风、抗震能力。同时, 优化牌面安装角度, 以达到最佳的反光和可视效果, 提高其整体性能的可靠性。

(二) 规范安装流程

按照交通工程相关标准和规范, 通过精确测量、模拟分析等手段, 确保标志牌安装在交通参与者能及时、清晰看到的位置, 充分考虑视距、遮挡等因素, 避免出现视觉死角。尽量在道路施工前就进行详细的交通标志设置规划, 结合道路设计图纸准确布局。

(三) 强化维护管理

(1) 建立定期巡检制度

制定详细的巡检计划, 定期安排专业人员对交通标志牌进行全面检查, 包括外观检查、功能检测 (测试反应速度、可视角度等), 并做好详细记录, 及时发现存在的问题。

(2) 及时修复更新

针对巡检中发现的问题, 迅速组织人员进行修复, 对于损坏严重无法修复的标志牌及时更换。同时, 密切关注道路变化情况, 及时更新标志信息, 确保交通参与者获取到准确、有效的交通信息。

五、结论

可变电子交通标志牌的安全性与可靠性是一个涉及多方面的系统工程, 需要从设计、安装到维护管理等各个环节进行严格把控和持续优化。本文从该系统的设计思路与安全性可靠性方面提供了良好的设计与解决方案。相比传统交通标志牌, 该系统更好地提升交通标志牌的安全性与可靠性, 适应日益复杂的交通需求。具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 周鑫. 色彩心理学在道路交通标志中的应用研究 [J]. 色彩, 2024, (02): 36-38.
- [2] 刘祥敏, 李佳, 刘一兵, 等. 基于驾驶人满意度的机场陆侧交通标志设计方案评价指标权重研究 [J]. 交通信息与安全, 2022, 40(05): 147-155.
- [3] 解少博, 阿比旦, 魏朗. 公路运行车速预测模型对比分析 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2013, 33(05): 81-85. DOI: 10.19721/j.cnki.1671-8879.2013.05.015.