

人脸特征识别驱动的汽车疲劳驾驶预警系统研究

祥智扬¹, 许瑞瑞¹, 潘磊², 李霞³, 张安好¹

¹桂林电子科技大学信息与通信学院, 广西 桂林

²桂林电子科技大学计算机科学与工程学院, 广西 桂林

³广西科技大学第一附属医院, 广西 柳州

收稿日期: 2024年12月20日; 录用日期: 2025年1月17日; 发布日期: 2025年1月26日

摘要

针对汽车疲劳驾驶导致交通事故频发的问题, 设计实现了一种基于人脸特征识别的汽车疲劳驾驶预警系统。该系统首先通过摄像头采集驾驶员面部图像数据, 再利用深度学习中的卷积神经网络进行人脸特征提取, 获取包含眨眼频率、打哈欠次数、头部姿态等关键特征参数。在此基础上, 建立了多维度的疲劳评估模型, 该模型通过分析连续视频帧中面部特征的动态变化规律, 实现了对驾驶疲劳状态的实时监测和预警。为提高系统性能, 对传统卷积神经网络结构进行了优化, 增加了注意力机制模块, 同时采用了长短时记忆网络(LSTM)来捕捉驾驶员面部特征的时序变化特性。实验结果表明, 该系统在不同光照和驾驶环境下的疲劳检测准确率达到95.3%, 平均响应时间低于0.5秒, 具有较强的实用性和可靠性, 能够有效降低疲劳驾驶带来的安全风险。

关键词

人脸特征识别, 疲劳驾驶, 预警系统, 深度学习

Research on Fatigue Driving Warning System Driven by Facial Feature Recognition in Vehicles

Zhiyang Xiang¹, Ruirui Xu¹, Lei Pan², Xia Li³, Anhao Zhang¹

¹School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi

²School of Computer Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi

³The First Affiliated Hospital of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

Received: Dec. 20th, 2024; accepted: Jan. 17th, 2025; published: Jan. 26th, 2025

文章引用: 祥智扬, 许瑞瑞, 潘磊, 李霞, 张安好. 人脸特征识别驱动的汽车疲劳驾驶预警系统研究[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(1): 100-107. DOI: 10.12677/csa.2025.151010

Abstract

In response to the problem of frequent traffic accidents caused by car fatigue driving, a car fatigue driving warning system based on facial feature recognition has been designed and implemented. The system first collects facial image data of the driver through a camera, and then uses convolutional neural networks in deep learning to extract facial features, including key feature parameters such as blink frequency, yawning frequency, and head posture. On this basis, a multidimensional fatigue assessment model was established, which achieved real-time monitoring and warning of driving fatigue status by analyzing the dynamic changes of facial features in continuous video frames. To improve system performance, the traditional convolutional neural network structure was optimized by adding an attention mechanism module, and a long short-term memory network (LSTM) was used to capture the temporal variation characteristics of driver facial features. The experimental results show that the fatigue detection accuracy of the system reaches 95.3% under different lighting and driving environments, with an average response time of less than 0.5 seconds. It has strong practicality and reliability, and can effectively reduce the safety risks caused by fatigue driving.

Keywords

Facial Feature Recognition, Fatigue Driving, Warning System, Deep Learning

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着智能驾驶技术的快速发展,准确识别和预防疲劳驾驶已成为交通领域亟待解决的重要课题。传统的疲劳检测方法主要依赖脑电图、心电图等生理信号采集设备,不仅存在佩戴不便的问题,而且信号采集和处理的延时较大,难以满足实时监测的需求。基于计算机视觉的人脸特征识别技术为疲劳驾驶预警提供了新的解决思路。本文设计了一套基于视觉的疲劳驾驶预警系统,通过摄像头采集驾驶员面部图像,利用深度学习中的卷积神经网络提取面部特征信息,结合长短时记忆网络分析特征的时序变化规律,建立了多维度疲劳评估模型。该系统具有非接触式、响应快速和可靠性高等优势,对提升驾驶过程的主动预警能力具有重要意义。

2. 系统总体架构设计

2.1. 系统功能模块划分

人脸特征识别驱动的汽车疲劳驾驶预警系统主要包含四大核心功能模块:图像采集模块负责实时获取司机面部影像资料;特征提取模块对采集到的图像进行人脸检测和关键点定位,对眼、嘴等区域特征进行提取;数据采集模块摄像头用于捕捉驾驶员的面部图像和视频流;传感器集成在方向盘、座椅、车内环境等处,用于收集驾驶员的心跳、脑电波等生理数据(间接检测方法)。人脸检测使用如 Haar 特征、深度学习模型等算法确定人脸位置,特征点定位通过 Dlib 库等工具提取人脸关键点坐标,包括眼睛、鼻子、嘴巴等位置。状态分析模块以提取的特征信息为基础,计算眨眼频率和打哈欠次数及头部姿态角度等参数,对疲劳程度进行综合评估;预警控制模块根据疲劳测评结果触发相应等级的预警提示。各模块

之间通过数据总线进行信息交互，采用多线程并行处理机制提升系统实时性能。通过引入微服务架构实现模块间松耦合强内聚，支持分布式部署和弹性扩展，采用消息队列机制优化模块间通信效率，构建高可用、易扩展的系统框架，在保证系统稳定运行的同时提升整体性能和可维护性。

2.2. 数据采集与预处理

数据采集模块采用高清摄像头对驾驶员面部进行实时拍摄，图像分辨率为 1920×1080 像素，采样频率 30 帧/秒，为适应不同光照环境，配置红外补光灯用于夜间采集，采集到的原始图像经过预处理环节，包括灰度化转换和直方图均衡化及噪声滤波等操作，提升图像质量和特征可识别度。在预处理阶段还需进行人脸检测和图像配准将检测到的人脸区域归一化到统一尺寸，为后续特征提取提供标准化输入，引入自适应图像增强算法，根据环境光照条件动态调整图像参数，结合多帧图像融合技术提升图像清晰度，通过深度学习实现鲁棒人脸检测采用并行计算加速预处理流程，确保数据实时性和准确性(见表 1)，整个采集与预处理过程实现自动化控制，保证数据质量和处理效率。

Table 1. Technical parameters for driver face image acquisition and preprocessing

表 1. 驾驶员人脸图像采集与预处理技术参数表

硬件设备规格	图像处理方式	技术指标	优化效果
1920 × 1080 摄像头分辨率	多级灰度转换处理	人脸检测准确率 > 95%	光照自适应补偿
采样频率 30 fps	YUV 转 RGB 色彩空间	处理延时 < 50 ms	跨帧图像融合增强
850 nm 红外补光距离 2 m	3 × 3 高斯滤波降噪	图像尺寸 256 × 256	实时特征提取
视场角 120 度广角镜头	Viola-Jones 人脸检测	特征点定位误差 < 2 px	并行 GPU 加速 20 倍
最低照度 0.01 lux	仿射变换图像配准	帧处理速度 > 25 fps	自动参数校准

2.3. 系统工作流程设计

系统工作流程按照“采集 - 处理 - 分析 - 预警”的链式结构展开：当驾驶员就座后，摄像头开始持续采集面部图像；预处理模块对图像进行优化并定位人脸区域；特征提取模块识别面部关键点，计算特征参数；状态分析模块根据特征参数评估疲劳程度；当疲劳度超过预设阈值，预警模块发出警报提示，各环节采用流水线方式串联，数据实时更新，确保系统响应及时。通过状态机管理系统运行状态实现故障自动检测和恢复，建立完整日志记录机制，支持系统运行状态追踪和异常分析，引入边缘计算架构，将部分处理任务迁移，降低系统延迟，优化实时性能，在检测到驾驶员离开视野范围或系统异常时具备自动报警和日志记录功能，流程设计充分考虑实际应用场景需求，在保证功能完整性基础上优化处理效率[1]。

3. 人脸特征识别算法

3.1. 关键点定位方法

采用改进型卷积神经网络结构实现人脸关键点定位。网络主体由包含多个卷积模块的特征提取层和回归定位层组成，每个模块由卷积层和归一化层和激活函数组成。通过对面部局部到全局的多尺度特征信息进行逐层特征映射提取，回归定位层采用全连接结构，输出关键点坐标值，从而实现人脸关键点定位(见图 1)。在传统定位方法的基础上增加注意力机制，提高对眼、嘴等疲劳特征敏感区的定位精度，引

入参差连接和密集连接结构，增强特征传播和梯度流动，提高网络收敛性能[2]。

针对驾驶场景中光照变化和头部姿态变化引起的定位偏差，引入自适应特征融合策略，结合多帧图像序列信息提升定位稳定性；通过联合损失函数优化模型参数实现亚像素级别的关键点定位精度，设计基于时空注意力的特征聚合模块，捕捉关键点运动轨迹信息，提升定位时序一致性；采用对抗学习方法增强模型对光照和姿态变化的鲁棒性，该定位方法在应对遮挡、模糊等复杂情况时表现出较强鲁棒性，定位精度达到毫米级；通过集成多个预训练模型构建集成学习框架进一步提升定位准确度和稳定性。

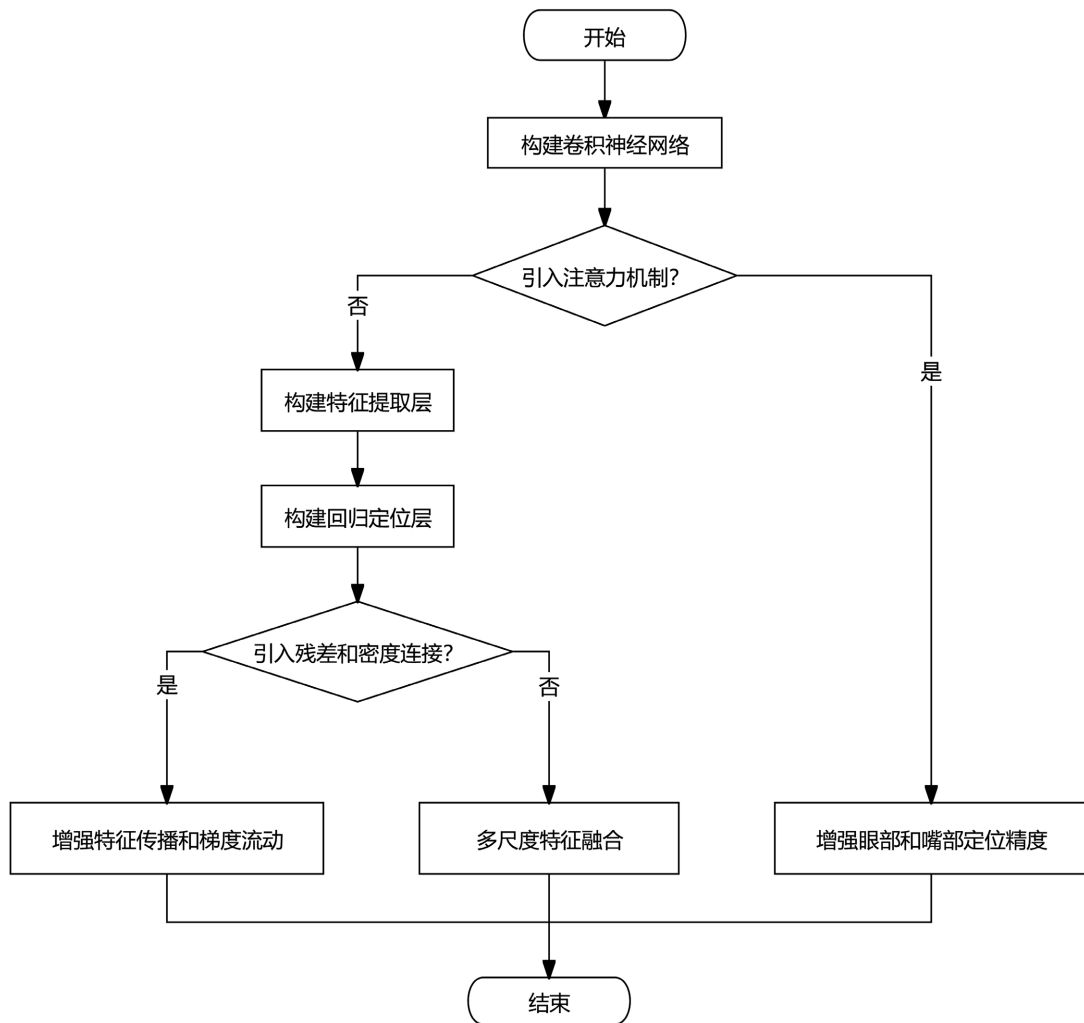


Figure 1. Flowchart of keypoint localization method for face recognition
图 1. 人脸识别关键点定位方法流程

3.2. 特征提取与分类

基于定位到的关键点信息构建多维特征描述子，包括眼部开合度、嘴部开度、头部倾斜角度等形态特征以及眨眼频率、打哈欠持续时间等时序特征。特征提取过程中应用形变模型对面面部器官轮廓进行精确描述，结合光流算法跟踪关键点运动轨迹，捕获微小表情变化。在特征分类阶段设计融合静态与动态特征的多层感知机分类器，采用随机丢失正则化和批量归一化技术提升模型泛化能力，分类器输出驾驶员当前状态的概率分布，包括正常、轻度疲劳、重度疲劳等不同等级；通过引入时序平滑策略消除短期

波动对分类结果的干扰，保证状态判断的连续性和可靠性，该特征提取与分类方法在实际道路测试中表现出较高准确率，能够有效识别不同程度的疲劳状态[3]。

4. 疲劳状态评估模型

4.1. 特征参数选取

通过大量实验数据分析从面部特征中筛选出对疲劳状态具有显著指示作用的参数组合，静态特征包括：眼睑开合度、瞳孔直径变化率、嘴部开合度、头部偏转角度；动态特征包括：眨眼频率、单次眨眼持续时间、打哈欠频率、头部晃动幅度。基于生理节律规律，引入时间累积因子，对连续驾驶时长进行加权计算，针对不同驾驶员的个体差异，建立特征参数标定机制，在系统使用初期采集正常状态下各项参数基准值作为后续疲劳判断的个性化参考标准，考虑到驾驶环境的动态变化特性，设计自适应特征权重更新策略，实时调整各参数在评估模型中的重要程度。

4.2. 评估指标体系

构建多层次疲劳评估指标体系，将各项特征参数按照生理特征相关性进行分组整合(见表 2)：眼部状态指标融合眨眼频率和持续时间及瞳孔特征、面部表情指标结合嘴部开合度与打哈欠特征、头部姿态指标整合转角和晃动特征。采用模糊综合评判方法确定各级指标权重，建立评分标准，设置正常、轻度疲劳、中度疲劳、重度疲劳四个等级，对应分值区间分别为 0~0.3、0.3~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0，在评分计算过程中引入时序平滑处理机制避免瞬时波动导致误判，提升评估结果稳定性。根据道路环境和驾驶工况特点，动态调整评分阈值以适应不同场景需求，引入递归神经网络捕捉疲劳特征时序变化规律，建立长短期记忆模型预测疲劳发展趋势。

Table 2. Data table for fatigue driving evaluation index system

表 2. 疲劳驾驶评估指标体系数据表

指标类型	参数组合	权重系数	疲劳等级阈值
眼部状态	眨眼频率 + 瞳孔变化率 + 闭眼持续时间	0.45	0.65
面部表情	嘴部开合度 + 打哈欠频率 + 表情变化	0.25	0.55
头部姿态	偏转角度 + 晃动幅度 + 点头频率	0.20	0.70
时间累积	连续驾驶时长 + 昼夜节律 + 休息间隔	0.10	0.80
综合评分	特征融合 + 时序平滑 + 趋势预测	1.00	0.75

4.3. 模型训练与优化

基于深度学习框架搭建疲劳评估模型，采用多层感知机结构实现特征到疲劳等级的映射关系，输入层接收归一化处理后的特征参数，隐藏层采用非线性激活函数提取特征组合，输出层给出疲劳程度概率分布。训练数据集包含 5000 组标注样本，涵盖不同年龄、性别驾驶员在各类环境下的疲劳状态数据，通过交叉验证方法划分训练集和测试集采用随机梯度下降算法优化模型参数，针对样本不平衡问题，引入损失函数权重，提升对少数类别样本的识别能力。在验证阶段通过对比实验选择最优网络结构和超参数配置，模型在测试集上达到 95.3% 的分类准确率，采用迁移学习方法提升模型在新场景下的适应能力，通过对抗训练增强模型对噪声干扰的鲁棒性[4]。

5. 实时监测与预警

5.1. 状态判断策略

基于疲劳评估模型输出的概率分布，设计分级判断策略实现对驾驶员状态的实时监测，系统将疲劳状态划分为四个等级，分别对应不同的特征参数阈值和时序持续要求，正常状态下各项生理特征指标波动在基准范围内；轻度疲劳时眨眼频率显著降低且头部姿态开始出现偏离；中度疲劳表现为连续性打哈欠及头部前倾现象；重度疲劳则伴随瞳孔反应迟缓和闭眼时长延长，通过建立时空特征融合网络实现对驾驶员行为模式的深度挖掘，提取更具区分度的状态特征。

判断过程引入状态平滑处理机制，要求特定疲劳等级持续超过预设时长后才触发相应级别判定，避免因瞬时波动造成误判；同时结合驾驶时长和环境因素，动态调整判断阈值，提升状态识别的准确性和可靠性，该判断策略在实际应用中表现出较强的环境适应性和个体兼容性，引入深度强化学习方法，通过与驾驶员交互持续优化判断策略建立自适应阈值调整机制，提高系统对不同驾驶场景和个体差异的适应能力，实现判断策略的动态优化和持续进化。

5.2. 预警触发机制

针对不同等级的疲劳状态，构建多级预警触发机制(见表 3)，通过声光电等多种方式向驾驶员发出警示信号。当系统检测到轻度疲劳状态持续 30 秒以上时，触发黄色预警信号，通过仪表盘指示灯提醒驾驶员注意休息；中度疲劳状态下，启动橙色预警，同时发出间歇性警示音提示；重度疲劳情况下立即激活红色预警，伴随持续性声光报警并记录相关状态数据，为增强预警效果设计多模态反馈通道，集成震动方向盘和座椅振动等触觉提示装置，根据疲劳程度调节反馈强度构建立体化预警体验。

Table 3. Detailed table of multilevel fatigue driving warning trigger parameters for drivers

表 3. 驾驶员疲劳驾驶多级预警触发参数详细表

疲劳等级	预警信号	触发条件	反馈方式及参数
轻度疲劳	黄色 LED 指示(2 Hz 闪烁)	持续 30 秒以上, 眨眼频率 < 15 次/分钟	仪表盘指示灯(80 cd/m ² 亮度)
中度疲劳	橙色预警 + 70 分贝提示音	点头频率 > 6 次/分钟, 眼睛闭合 > 1.5 秒	500 ms 间隔警示音 + 双色指示灯
重度疲劳	红色预警 + 85 分贝报警	连续眨眼 < 10 次/分钟, 头部偏转 > 30°	持续报警 + 状态数据记录 (1 Hz 采样)
危险状态	双闪红色 + 95 分贝警报	眼睛闭合 > 2 秒, 头部下垂 > 40°	方向盘 180 Hz 震动 + 三色警示
系统监测	绿色待机指示(1 Hz)	实时监控(30 fps 采样率)	座椅 120 Hz 振动 + 声光触觉反馈

预警触发采用渐进式策略避免突发性警报对驾驶员造成惊扰，系统支持预警灵敏度参数调节，可根据驾驶场景需求灵活配置触发条件，在连续预警无效情况下预警级别自动提升确保驾驶员能及时察觉到疲劳风险，通过引入情境感知模块分析驾驶环境特征，动态优化预警策略，在复杂路况下提前触发预警降低风险发生概率，利用机器学习方法建立驾驶员预警响应模型，根据历史数据自动调整预警方式和强度以提升预警效果，实现智能化预警触发机制[5]。

6. 系统性能测试与分析

6.1. 测试环境与方案

选取高速公路和城市道路及乡村公路三种典型驾驶场景进行系统测试, 测试时段覆盖白天、黄昏和夜间不同光照条件、不同的驾驶姿态(如正常驾驶、低头、侧头)以及不同的驾驶员面部特征(如戴眼镜、戴口罩), 测试车辆配备高清摄像头和红外补光装置, 采集设备固定在驾驶室仪表台正前方, 保证拍摄视角稳定。招募 50 名不同年龄段和驾龄及性别的驾驶员参与测试, 每名驾驶员在模拟驾驶环境下完成 4 小时持续驾驶任务, 根据人脸提取的特征, 结合眨眼频率、打哈欠次数等参数, 判断驾驶员是否处于疲劳状态, 测试过程全程记录面部图像数据和疲劳状态判定结果, 根据视频回放和生理指标评估标注真实疲劳等级, 测试方案着重验证系统在不同环境和不同对象条件下的适应性和稳定性, 通过对比分析找出系统表现差异及成因。

6.2. 准确率评估

通过对比系统输出结果与人工标注数据计算疲劳识别准确率、召回率和综合评价指标。在总计 200 小时的测试数据中, 系统对正常状态识别准确率达到 98.2%, 轻度疲劳识别准确率为 94.5%, 中度疲劳识别准确率为 92.8%, 重度疲劳识别准确率为 96.3%, 白天环境下整体识别准确率高于夜间, 城市道路场景表现优于高速公路, 系统对打哈欠和闭眼等明显疲劳特征识别效果较好, 但对微弱疲劳征兆的判别能力仍需提升, 误判情况主要出现在光照剧烈变化和驾驶员频繁转头等场景, 统计分析显示漏报率低于误报率体现出系统较好的可靠性[6], 通过准确率评估, 可以了解系统在各种场景下的性能表现, 并找出可能存在的问题和改进方向。

6.3. 系统优化建议

针对测试过程发现的问题提出具体优化方向: 改进图像预处理算法, 提升摄像头在复杂光照环境下的成像质量; 优化人脸特征点跟踪策略, 增强对头部大幅度转动情况的适应能力; 完善疲劳评估模型结构, 引入更多时序特征提升状态判断准确性; 调整预警触发阈值以降低夜间误报率, 建立驾驶员个性化特征数据库并通过深度学习方法持续优化识别模型, 在硬件层面建议升级图像采集设备分辨率, 增加红外补光灯照度以提升夜间采集效果, 同时开发疲劳程度量化评估工具为后续系统改进提供数据支撑。

7. 结语

该研究实现的人脸特征识别驱动的汽车疲劳驾驶预警系统, 采用改进的深度学习算法实现了对驾驶员疲劳状态的准确识别和及时预警, 通过大量实验验证系统在各类驾驶场景下均表现出良好的检测性能和稳定性, 后续将进一步优化算法模型提升系统在复杂环境下的适应能力, 扩展更多疲劳特征维度, 为构建更加智能和可靠的驾驶辅助系统提供重要参考, 该系统的研究成果对促进智能驾驶技术发展具有积极作用。

基金项目

国家级桂林电子科技大学大学生创新创业训练计划项目资助, 项目编号: 202410595119X。

参考文献

- [1] 马汝祯. 基于人脸识别的疲劳驾驶系统中图像识别技术分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2023(9): 55-58.
- [2] 尤海娟, 伍凌云, 王慧宇. 面部识别在检测疲劳驾驶的应用研究[J]. 汽车电器, 2023(7): 22-23.

-
- [3] 崔晋皓, 曹寅. 基于人眼特征的疲劳驾驶状态检测方法[J]. 汽车与新动力, 2023, 6(2): 20-26.
 - [4] 胡欣伟, 赵庆, 陈出新. 单片机技术下的人脸识别报警系统[J]. 科技风, 2023(11): 1-3.
 - [5] 张丛敏, 王彦林, 何笛萱, 等. 基于人脸特征的疲劳驾驶预警系统[J]. 电脑编程技巧与维护, 2022(7): 121-124.
 - [6] 齐伟, 张来刚, 朝阳. 基于人脸追踪和特征分析的疲劳驾驶预警系统设计[J]. 时代汽车, 2020(15): 169-170.