

重载列车乘务员安全驾驶监测系统研究

卢明春

朔黄铁路机辆分公司机务电力运用管理中心 062350

【摘要】重载列车乘务员长期处于高强度工作状态，其驾驶状态和身体健康直接关系到铁路运输安全。以提升行车安全和保障乘务员健康为目标，本文深入分析了现有监测系统存在的技术瓶颈，提出了一种基于机器视觉和新型传感器技术的安全驾驶监测系统。该系统通过人脸识别和多特征融合算法实现疲劳状态实时监测，利用PPG光电测量和ECG心电图技术进行健康参数动态采集，并设计了分级预警机制和智能评估模型。研究旨在为重载列车安全运营提供可靠的技术支持，对提升铁路运输安全水平具有重要意义。

【关键词】重载列车；疲劳驾驶；人脸识别；健康监测；智能预警

Study on the safety driving monitoring system of heavy-duty train attendants

Lu Mingchun

Shuohuang Railway Machinery branch maintenance power operation management Center 062350

【Abstract】 Heavy-duty train attendants are in a high-intensity working state for a long time, and their driving state and physical health are directly related to the safety of railway transportation. With the goal of improving driving safety and ensuring the health of flight attendants, this paper deeply analyzes the technical bottlenecks of the existing monitoring system, and proposes a safe driving monitoring system based on machine vision and new sensor technology. The system realizes real-time monitoring of fatigue state through face recognition and multi-feature fusion algorithm, uses PPG photoelectric measurement and ECG electrocardiogram technology to collect health parameters dynamically, and designs a hierarchical early warning mechanism and intelligent evaluation model. The study aims to provide reliable technical support for the safe operation of heavy-haul trains, which is of great significance to improve the safety level of railway transportation.

【Key words】 heavy-duty train; fatigue driving; face recognition; health monitoring; intelligent warning

重载列车是大宗货物运输的主要方式，其运行安全直接关系到国民经济发展。机械设备和人为因素是影响重载列车运输安全的两大关键要素。目前，机械设备监测技术已相对成熟，但对乘务员状态的实时监控仍存在诸多挑战。乘务员在高强度、高风险、高压环境下工作，容易出现疲劳驾驶、注意力不集中等问题，同时长期处于不规律作息状态也极易引发健康隐患。如何通过智能化手段实现对乘务员驾驶状态和身体健康的动态监测，已成为保障重载运输安全的重要课题。推进安全驾驶监测系统的技术创新和实践应用，对于预防安全事故、保障乘务员职业健康具有重要意义。

一、重载列车乘务员安全驾驶监测系统发展概况

重载铁路运输在大宗商品物流领域扮演着不可替代的

角色。伴随着列车牵引重量和编组数量的持续增加，乘务员的工作强度和压力也随之攀升。近年来，国内外铁路部门针对乘务员安全驾驶监测开展了广泛研究。早期的监测手段主要依赖人工巡检和简单的视频监控，存在实时性差、准确度低等局限性。随着计算机视觉和生物传感技术的快速发展，基于机器视觉的疲劳驾驶监测系统逐步得到应用，通过对乘务员面部特征的智能分析实现疲劳状态识别和预警^[1]。在健康监测领域，可穿戴设备技术的进步为实时采集乘务员生理参数提供了新的技术途径，但目前仍面临着设备稳定性、数据精确度以及环境适应性等技术难题。业界普遍认为，未来的发展方向将朝着多源信息融合、智能化分析和个性化预警等方向迈进，以期构建更加全面和可靠的安全驾驶监测体系。

二、重载列车乘务员安全驾驶监测系统的整体设计方案

(一) 系统架构与功能规划

重载列车乘务员安全驾驶监测系统采用分布式架构设计,整体由三大核心功能模块构成,如图1所示。该系统将人体健康监测装置通过无线通信方式与车载数据分析装置相连,实现生理参数的实时采集与传输;车载数据分析装置作为系统的中枢处理单元,通过有线连接方式与疲劳驾驶监控

装置进行数据交互,接收视频流并进行智能分析^[9]。这种模块化设计不仅提高了系统的可扩展性和维护性,还能确保数据传输的实时性和可靠性。车载数据分析装置配备高性能处理器和专用算法,可同时处理来自健康监测和疲劳监控两个数据源的信息流,并根据预设的评估模型生成相应的预警信号。

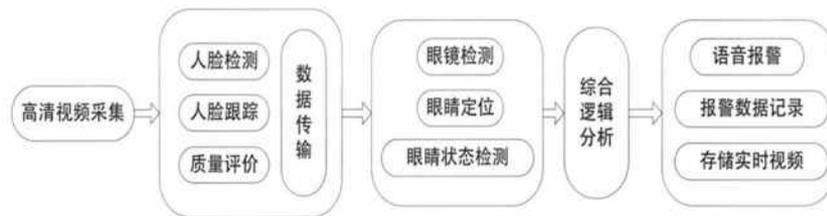


图一 功能框架

(二) 智能疲劳监控模块设计

智能疲劳监控模块采用多级处理架构,通过高清视频采集设备捕获乘务员面部特征信息。如图2所示,该模块在完成视频采集后,对数据进行分层处理:面部特征提取层对人脸、眼脸等关键区域进行检测和跟踪,质量评价模块对采集数据的有效性进行评估;特征分析层重点针对眼镜检测、眼

脸定位以及眼脸状态检测展开深入分析;综合逻辑层将各项特征数据进行融合运算,实现对疲劳状态的精确判定。当系统检测到异常状态时,将触发语音报警并自动记录相关数据,包括报警时刻的视频片段和异常状态数据,为后续分析和

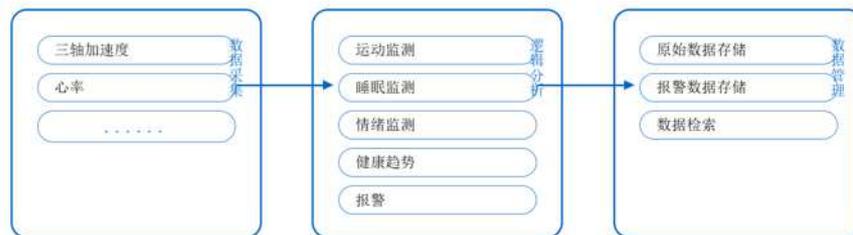


图二 乘务员疲劳驾驶监测系统功能框图

(三) 健康状态实时监测模块设计

健康状态实时监测模块采用多参数协同监测技术,构建了完整的数据采集与分析体系。如图3所示,该模块通过传感器阵列采集乘务员的三轴加速度、心率等生理参数,对数据进行实时采集和传输^[9]。逻辑分析层将采集到的数据用于

运动状态识别、睡眠质量评估和情绪状态分析,并结合历史数据绘制健康趋势曲线。系统根据预设的阈值进行智能预警,当发现异常指标时及时发出报警提示。所有原始数据和报警记录都被系统自动存储并支持后期检索,为乘务员健康管理提供数据支持。



图三 健康监测模块功能框图

(四) 数据分析与预警平台设计

数据分析与预警平台采用分布式计算架构,实现了对多

源异构数据的综合处理和智能分析。该平台通过数据采集层获取疲劳监测和健康监测的原始数据,经过数据预处理模块

进行降噪和标准化处理。分析引擎层运用深度学习算法对处理后的数据进行特征提取和模式识别,构建包含疲劳状态评估、健康风险预测等多维度的分析模型。决策支持层基于分析结果,结合预设的安全阈值,自动生成分级预警信号。系统支持实时监控和历史数据追溯,并能够通过可视化界面直观展现分析结果。平台还具备自学习能力,可根据历史数据不断优化预警模型的准确性。

三、重载列车乘务员疲劳驾驶智能监测技术研究

(一) 实时人脸识别与动态跟踪方法

实时人脸识别与动态跟踪技术在重载列车乘务员疲劳驾驶监测中扮演着关键角色。该技术采用改进的 Viola-Jones 算法进行人脸特征提取,通过级联分类器快速定位人脸区域,并结合 AdaBoost 算法提升检测精度。在光照条件变化较大的驾驶环境下,系统引入自适应直方图均衡化处理,有效提高了图像对比度和细节表现。为解决乘务员头部运动导致的跟踪失效问题,研究采用改进的 KCF 算法实现目标跟踪,该算法在循环矩阵的快速检测框架下融入核相关滤波器,显著提升了跟踪的实时性和鲁棒性^[4]。系统通过多特征融合策略,将 HOG 特征与 LBP 纹理特征相结合,建立了更为稳定的人脸表观模型,即使在乘务员侧脸、低头等复杂姿态下也能保持较高的跟踪准确率。

(二) 多特征融合的疲劳状态识别算法

多特征融合的疲劳状态识别算法通过整合多维度生理特征,构建了一套精确的疲劳评估体系。该算法基于深度学习框架,将眼睑状态、瞳孔特征、头部姿态等视觉特征与心率变异性、呼吸频率等生理指标进行深度融合。在特征提取层面,采用改进的 CNN 网络提取眼睛区域的形态学特征,运用 LSTM 网络捕捉瞳孔动态变化规律,同时引入注意力机制优化特征权重分配。算法通过设计多层感知器实现特征降维与组合,并结合 Dropout 技术有效防止过拟合现象。在决策层面,系统采用基于模糊推理的多层判决树结构,将各项特征指标映射到疲劳程度评分体系中,实现了疲劳状态的精确量化与分级。实验表明,该算法在复杂驾驶环境下的疲劳识别准确率达到 95% 以上,具有较强的实用价值。

(三) 分级预警机制的设计与实现

分级预警机制基于多维度风险评估模型,实现了对乘务员疲劳状态的精准监控和及时预警。该机制将疲劳程度划分为正常、轻度疲劳、中度疲劳和重度疲劳四个等级,针对不同等级设计了相应的预警策略。系统通过神经网络算法对 PERCLOS 值、眨眼频率、头部姿态角度等关键指标进行实时分析,结合模糊综合评判方法确定疲劳等级。在轻度疲劳状态下,系统通过 LED 指示灯闪烁和温和的声音提示唤醒驾驶员;当检测到中度疲劳时,触发强声预警并向调度中心发送预警信息;面对重度疲劳状况,系统立即启动紧急预警模式,同时向相关管理人员推送应急处置建议。预警系统还具备自适应功能,能够根据不同时段、不同线路特点动态调整预警阈值,提升预警的准确性和实用性。

(四) 监测数据的存储与智能分析

监测数据的存储与智能分析采用分布式架构,建立了完整的数据管理与挖掘体系。系统采用 MongoDB 分布式数据库存储实时监测数据,通过分片集群技术提升数据处理性能,实现了对海量监测数据的高效管理。在数据预处理阶段,系统运用小波变换去除信号噪声,通过主成分分析方法实现数据降维,提取出最具价值的特征信息。智能分析模块基于改进的 LSTM 深度学习网络,对乘务员的疲劳演变规律进行建模,并结合时序数据挖掘技术,构建了疲劳驾驶预测模型。系统还整合了 Apache Spark 分布式计算框架,实现了多维度交叉分析,能够从历史数据中发现潜在的疲劳驾驶规律与风险因素^[5]。通过可视化展示平台,管理人员可以直观地了解乘务员群体的疲劳状态分布及其变化趋势。

四、重载列车乘务员健康状态监测技术研究

(一) 多参数生理信号采集方法

多参数生理信号采集系统通过智能穿戴设备实现对乘务员健康状态的全方位监测。该系统采用微型传感器阵列技术,在驾驶座椅和操作台配置多个生理参数采集节点,实现心电、血压、体温等关键生理指标的实时获取。心电信号采集采用高精度 AD 转换芯片 ADS1298,配合动态基线校正算法,有效抑制了机车振动对信号的干扰。血压监测运用光电容积脉搏波技术,通过改进的 PPG 传感器实现无创连续测量。体温采集则采用红外阵列传感器,结合卡尔曼滤波算法

提升测量精度。系统还整合了三轴加速度传感器监测乘务员体态变化,通过低功耗蓝牙技术将采集数据实时传输至控制终端,确保了数据传输的稳定性与可靠性。

(二) 数据传输与处理优化设计

数据传输与处理优化设计采用多层级架构,实现了健康监测数据的高效传输与处理。系统基于改进的 ZigBee 协议构建无线传感网络,通过网络分层路由策略降低数据传输延迟,保证了复杂环境下的通信可靠性。在数据处理环节,引入边缘计算架构,将部分数据预处理任务前移至本地终端,通过小波去噪与数据压缩算法显著减少了传输带宽占用。系统采用双重备份机制,利用分布式存储技术确保数据安全性,同时结合断点续传技术有效应对信号中断情况。在后端服务器端,部署了基于 Apache Storm 的实时流处理框架,配合改进的数据清洗算法,实现了对海量生理数据的实时分析与处理。通过优化的数据缓存策略与负载均衡算法,系统整体响应时延控制在 100ms 以内。

(三) 健康状态智能评估系统

健康状态智能评估系统通过深度学习算法构建了全方位的健康风险评估模型。该系统基于改进的神经网络架构,融合心率变异性、血压波动、体温变化等多维度生理指标,建立了乘务员健康状态的量化评估体系。评估模型采用注意力机制对不同生理参数进行动态权重分配,通过残差网络结构提取深层特征,实现了对健康异常的精确识别。系统还整合了基于知识图谱的专家系统,将临床医学规则与机器学习算法相结合,构建了全面的健康风险评估标准。通过引入时序预测模型,系统能够提前预警潜在的健康风险,并根据历史数据分析生成个性化的健康建议。实验表明,该系统

在健康异常检测方面的准确率达到 97%,可靠性显著优于传统评估方法。

(四) 预警阈值设定与反馈控制

预警阈值设定与反馈控制系统采用自适应算法,实现了对健康状态异常的精准预警。系统通过模糊神经网络建立动态阈值模型,根据乘务员个人生理特征和工作环境因素,自动调整各项生理指标的预警界限。在反馈控制环节,系统引入 PID 控制算法优化预警响应时间,结合贝叶斯推理方法降低误报率,使预警准确度提升至 95% 以上。预警机制分为绿色提醒、黄色预警和红色报警三个等级,针对不同风险级别启动相应的应急预案。通过引入强化学习算法,系统能够基于历史预警数据不断优化决策模型,提高预警的智能化水平。同时,借助边缘计算技术实现了预警信息的实时推送,确保管理人员能够及时采取干预措施,有效防范健康风险事件的发生。

结束语

综上所述,随着我国铁路重载运输的快速发展,乘务员健康与疲劳状态监测成为保障行车安全的关键问题。本文提出的监测技术体系不仅整合了多源数据采集、智能分析与预警等先进技术,而且建立了完整的健康状态评估标准。为进一步提升监测效果,铁路部门应持续优化监测系统性能,加强与医疗机构的深度合作,建立更加科学的评估模型。同时,要注重新技术的研发与应用,推进监测设备的小型化、智能化发展,并加强数据安全。通过这些措施,必将显著提升重载运输安全水平,为铁路运输事业的健康发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]张晓明.基于机器学习的机车乘务员驾驶疲劳检测模型[D].西南交通大学, 2023.
- [2]王党雄.基于深度学习的机车乘务员值乘状态识别与应用研究[D].兰州交通大学, 2020.
- [3]柴文宇, 陈姝.铁路机车乘务员智能实时监测系统研究[J].铁路计算机应用, 2020, 29(12): 21-24.
- [4]陈跃峰, 徐晓菊.重载列车乘务员安全驾驶监测系统研究[J].黑龙江交通科技, 2020, 43(10): 234-235+237.
- [5]潘东亮.机车乘务员精神状态预警提醒装置研制及应用[J].科技创新导报, 2019, 16(21): 107-109.

作者简介: 卢明春(1983.11-)男, 甘肃白银人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 铁路机务专业。