

新能源工程机械远程监控平台开发

逯岳奇¹, 纪少波^{1*}, 车仁海², 侯德峰², 赵家洋², 徐昊智¹, 安萌¹

1. 山东大学核科学与能源动力学院, 山东 济南 250061;

2. 山东泉海汽车科技有限公司, 山东 聊城 252800

摘要:为解决纯电动装载机远程监控困难的问题,基于Qt软件架构方法,分析纯电动装载机远程监控中对多源信息实时感知、智能故障预警、网络健康管理及数据高效管理的需求,开发一套远程监控平台,该平台集成视频与音频实时同步传输,实现多视角还原作业现场,控制局域网(controller area network, CAN)报文解析以动态显示车速、油压、电量等关键参数并实现异常报警,智能故障分级预警以监测整车控制器、电机、电池等核心部件故障及运行风险并进行多重报警,网络健康动态监测以实时识别网络异常并联动整车系统,以及数据自动存储与清理功能。该平台可有效提高纯电动装载机远程作业的安全性。

关键词:新能源;装载机;远程驾驶;远程监控平台

中图分类号:TP277

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2026)01-0021-06

引用格式:逯岳奇,纪少波,车仁海,等. 新能源工程机械远程监控平台开发[J]. 内燃机与动力装置, 2026, 43(1):21-26.

LU Yueqi, JI Shaobo, CHE Renhai, et al. Development of a remote monitoring platform for a new energy construction machinery[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2026, 43(1):21-26.

0 引言

装载机广泛应用于建筑施工、矿山开采、港口物流、农业作业等多个领域^[1-2],是现代工程建设中不可或缺的设备之一^[3]。装载机在作业过程中存在一系列问题:装载机通常在尘土飞扬、噪声巨大的环境中作业,长期在这样的环境中工作,驾驶员容易产生呼吸道疾病和听力损伤问题^[4];装载机在作业过程中产生的振动和冲击,可能导致驾驶员腰椎等部位的慢性损伤;装载机在矿山或隧道施工中,存在塌方、落石、瓦斯爆炸等潜在风险,对驾驶员的生命安全构成直接威胁^[5];在一些特殊的施工区域,如狭窄的隧道或地下矿井,空间有限往往使得驾驶员无法在车上进行操作;此外,装载机在作业过程中还存在盲区问题,尤其是在复杂地形或密集的施工环境中,驾驶员难以全面观察周围情况,容易发生碰撞或碾压事故。综上所述,在装载机上作业时,不仅容易对驾驶员的身体健康产生不良影响,还面临着诸多安全隐患。为提高作业安全性,实现装载机在危险环境中的无人化作业以及远程驾驶技术已成为装载机制造业的研究热点^[6]。

在远程驾驶过程中,良好的人机交互方案可以提高驾驶员对车辆的感知能力,优化驾驶体验,提高远程作业效率以及操作安全性^[7]。在工程实践中,可以通过优化感知能力改善人机交互体验。构建驾驶员对实车的多维度感知通道是优化感知能力的关键。Yamada等^[8]利用视频技术复现了作业场景,增强了

收稿日期:2025-12-11

基金项目:山东省重点研发计划项目(2024TSGC0440)

第一作者简介:逯岳奇(2002—),男,黑龙江大庆人,硕士研究生,主要研究方向为汽车测控技术, E-mail: sddxlyq@163.com。

***通信作者简介:**纪少波(1979—),男,山东烟台人,工学博士,教授,博士生导师,主要研究方向为汽车电子控制技术, E-mail: jobo@sdu.edu.cn。

驾驶员对远程作业环境的视觉感知能力。鲁恒愿等^[9]开发了适用于远程操纵挖掘机的人机交互软件,该软件可显示挖掘机的工作状态及运行数据,为驾驶员提供更清晰直观的实车信息。

为了使驾驶员在远程操作装载机时获得良好的操作体验,并能够实时掌握装载机周围的环境和整车状态,本文中设计一款可实现装载机作业环境还原、运行参数显示、网络状态检测、故障提醒等功能的远程监控平台,从多维度优化驾驶员对装载机运行状态的感知能力,提高远程驾驶的工作效率与安全性;同时,开发平台数据的保存及定期删除功能,满足远程驾驶系统的可回溯性需求(即支持历史数据的查询与分析),为工程机械远程监控与无人驾驶提供有力支撑,具有重要的工程应用价值和推广意义。

1 远程监控平台功能需求分析

为提高驾驶员远程操控纯电动装载机的交互体验,同时确保其能实时感知装载机周边环境动态与整机运行状态,需开发一套兼具功能完备性、操作便捷性与系统稳定性的远程监控平台。该平台应满足远程驾驶的基本需求,提供直观的场景复现、状态监控、故障提醒等功能,确保驾驶员能够高效、安全地完成作业任务。根据远程驾驶的实际需求,远程监控平台需满足的核心需求包括:1)人机交互性。针对驾驶员长时间盯屏操作的需求,界面设计以降低视觉负荷、提高操作舒适度为核心,布局简洁无冗余,视频画面、状态参数等关键信息应突出显示;采用温和配色缓解视觉疲劳,并支持多视角切换以覆盖不同区域监控。2)功能完备性。集成状态监测、故障预警、作业环境还原等功能,同步实现视频、音频及整车数据的智能管理,并支持数据自动存储与定期清理,避免数据冗余。3)高实时性与可靠性。实现视频、音频及状态数据的低延迟传输,确保平台能够实现长时间稳定运行,避免出现卡顿、崩溃等问题。4)可拓展性与可维护性。平台采用模块化设计,便于后续功能升级和优化,以及功能扩展和代码维护。

基于上述需求分析,确定本远程驾驶系统的远程监控平台功能框图如图1所示,其功能包括:1)视频图像显示。实时呈现装载机周边作业场景的多路视频,主摄像头居中放大显示,辅助摄像头以缩略图形式环绕布局,画面清晰、流畅、低延迟,音频同步传输,支持多视角监控。2)状态参数显示。实时显示速度、油压、温度、电量等关键参数,采用数字与图形双模式直观

呈现,参数异常时触发图形变色预警。3)故障提醒。故障发生时通过弹窗和声音报警即时提示,显示故障代码辅助定位;多故障并存时优先显示最高级别故障;同步监测网络状态,网络异常时视为系统故障,触发平台警报并向整车控制器发送故障码联动处理。4)数据管理。存储状态参数、故障记录、视频等数据并支持导出,设置自动定期清理机制防止存储溢出。

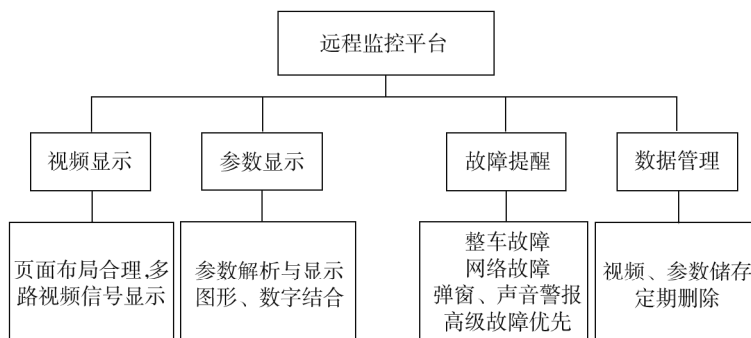


图1 远程监控平台功能框图

2 远程监控平台开发

远程监控平台所使用的开发工具为Qt开发软件,编程语言为C++,Qt是一个跨平台的C++应用程序开发框架,可以为开发者提供构建图形用户界面所需的工具和功能,尤其适用于需要高效、跨平台、图形界面丰富的工业控制和数据交互场景^[10]。

2.1 平台界面设计

远程监控平台的界面设计注重人机交互体验,通过合理布局与色彩搭配提高操作效率,监控平台显示界面示意图如图2所示。主摄像机画面(装载机正前方视角)以最大框架置于屏幕左上方,作为视觉焦

点;其右侧为参数显示区,采用图文结合形式呈现关键参数,符合人眼的观察习惯;页面底部横向排列左、后、右三路摄像机视角,便于驾驶员快速掌握周边环境。

2.2 视频实时预览功能

采用海康威视高清网络摄像机,该摄像机配备可供二次开发的软件开发工具包。将功能库的动态链接库(dynamic link library, DLL)、头文件和 lib 库文件导入 Qt 编程环境中,实现摄像机的通道连接与参数配置^[11]。

2.2.1 系统初始化

调用初始化函数完成系统初始化,如果初始化失败,则生成相应故障码发送至整车控制器,并根据发生故障的摄像机位置上报不同故障等级:主摄像机初始化失败视为二级故障,其他摄像机初始化失败则视为一级故障。通过绑定摄像机网际互联网协议(internet protocol, IP)、端口、用户名以及密码完成设备的登录。不同故障等级采取的策略如表 1 所示。

图 2 远程监控平台显示界面示意图



表 1 不同故障的处理策略

故障等级	处理措施
一级	显示提醒
二级	限制行走系统、工作系统
三级	紧急下电、停止驾驶

2.2.2 获取 Qt 控件的窗口句柄

窗口句柄(handle to a window, HWND),用于指定视频流的显示位置,软件开发工具包(software development kit, SDK)可将解码后的视频帧直接绘制到该窗口。设置高清主码流,通过传输协议对装载机端传输的网络数据进行接收,开启用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)通信,并选用阻塞取流方式降低资源占用率。

2.2.3 登录识别码(identifier, ID)和预览

根据设定的登录名和参数向设备发送实时视频流请求,开启视频预览功能,此时平台界面显示远程车端的实时画面,通过登录时所获取的预览句柄可实现停止预览功能。摄像机使用完毕后,应对设备进行注销和资源释放操作。

2.3 参数显示功能

为了保证远程驾驶系统的操作安全性,除实现工作场景还原外,车速、油压、电池电量、挡位等重要行驶参数也在远程监控平台界面实时显示,方便驾驶员时刻掌握装载机车况,参数显示功能实现流程图如图 3 所示。实现参数显示功能的重点是数据的接收与解析,远程监控平台接收的所有装载机端整车数据均为经控制局域网(controller area network, CAN)总线传输至以太网模块后转换的网络数据格式,由于数据格式为 CAN 消息形式,所以实现该功能的核心是通过 UDP 对网络数据进行接收与处理,并根据数据库 CAN(database CAN, DBC)文件进行字段提取和解析^[12]。实现参数显示功能流程的开发步骤为:

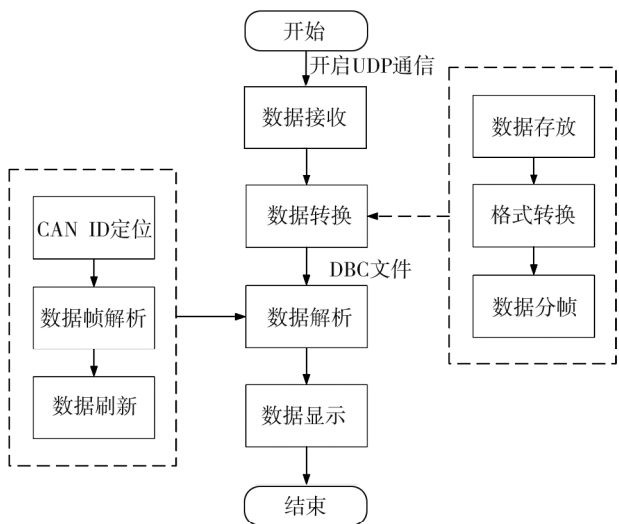


图 3 参数显示功能实现流程图

- 1) 数据接收。使用 Socket 套接字实现 UDP 通信,与电脑本地接收数据的 IP 地址、端口完成绑定,采用阻塞式读取获取原始数据,动态调整缓冲区以匹配数据包尺寸,避免数据截断或溢出,确保原始数据的完整性。
- 2) 数据转换。通过 UDP 获取的原始数据难以直接解析,需要进一步处理,根据消息种类数量构建一个多维数组,作为存放整车数据的容器;将原始数据流转换为十六进制整数数组,匹配 CAN 消息数据格式;按长度为 12 字节分割数据进行分帧,每帧对应一个 CAN 消息。
- 3) 数据解析。长度为 12 字节的数据

帧中前4字节对应CAN ID,其余8字节包含了该ID携带的数据;根据前4字节进行ID判断,定位到所需CAN消息后根据相应DBC文件解析数据帧;解析过程中部分CAN消息包含跨字节传输的物理量数据。

4) 数据显示。完成CAN消息的解析提取后,通过可视化技术将需要显示的数据与对应图标绑定,针对不同数据类型设置不同的颜色、字体、格式以进行区分,同时设置数据正常范围阈值,对超出阈值的数据进行变色警示;以50 ms为周期更新数据,平衡数据更新实时性与界面流畅度。

2.4 故障提醒功能

远程监控平台实时接收装载机端传来的CAN消息,包含姿态传感器、毫米波雷达及整车故障的信息。装载机正常行驶无异常时不做处理,如果车辆发生故障,则根据故障类型选择不同方式进行示警,主要监控故障类型如表2所示。当多处故障同时发生时,优先显示高等级故障。

受限于网速波动,视频数据传输过程中可能出现视频信号丢失或延迟,导致远程操作界面发生图像卡顿、丢帧等现象,严重时影响作业连贯性与安全性。因此,平台除接收整车故障之外,还针对远程驾驶系统开发了网速监测与预警功能。该功能基于Qt网络接口函数实现,通过接口函数获取网络接口表(包含如接口类型、状态、速度、发送和接收的数据量等系统中所有网络接口的信息)。采集连接至工控机网络接口的上行流量,可得到当前平台接收到的字节数。设置采样周期为1 s,将连续两次采样得到的字节数相减再除以采样周期,即可获得当前网速。

当前网速

$$S_t = (I_t - I_{t-1}) / \Delta t, \quad (1)$$

式中: I_t 为当前采集接口数据长度,字节; I_{t-1} 为上次采集接口字节数,字节; Δt 为采样间隔时间,s; t 为离散采样时刻的索引。

网速监测及异常诊断时,作业场景的变化可能导致装载机端摄像机传输的数据量发生改变,因此设置固定网速异常阈值易发生误判,应对远程监控平台运行时的网速波动异常阈值进行动态调整。

1) 设置冷启动阈值。平台运行初期,由于缺乏历史数据参考,需要预设一个保守阈值,待数据充足后切换为动态计算。

2) 计算实时参考网速。平台运行一段时间后,为了更加贴近当前作业阶段的网速特征,使用当前时刻前3 min的平均网速作为参考值,基于历史数据计算的参考网速

$$\mu_{t-1} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N}^{t-1} S_i, \quad (2)$$

式中: N 为历史数据数量, i 为求和索引。

3) 计算实时网速标准差。标准差反映历史数据的波动程度,若网速波动较大,则阈值范围放宽,避免频繁误报;若波动较小,则阈值范围收缩,提高异常检测的灵敏度,标准差

$$\sigma_{t-1} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=t-N}^{t-1} (S_i - \mu_{t-1})^2}. \quad (3)$$

4) 设置网速动态波动阈值。基于实时计算的参考值及标准差,计算当前时刻网速波动下限

$$S_{\min,t} = \mu_{t-1} - k\sigma_{t-1}, \quad (4)$$

式中: k 为波动因数,通过对现场网络速度监测数据的统计分析,将 k 设置为2。

若当前网速连续3次低于 $S_{\min,t}$ 时视为当前网络不稳定,在远程监控平台进行弹窗警告,同时将此故障打包成CAN消息,通过无线通信模块发送至整车控制器,并入整车故障进行处理。整个故障提醒功能

表2 平台监控故障类型

检测对象	故障类型	故障等级
加速制动踏板	踏板欠压	二级
	踏板过压	二级
	踏板开度异常	二级
转向模块	转向模块欠压	二级
	转向模块过压	二级
	转向角度异常	二级
控制面板	面板CAN丢失	一级
电控手柄	手柄CAN丢失	三级

实现流程如图 4 所示。

2.5 数据管理功能

为了实现对纯电动装载机的有效管理与后期维护,应保存远程驾驶时的行驶数据以及视频、音频数据,且同步考虑存储压力与回溯周期需求,需要对数据进行定期清除。数据管理功能及实现步骤为:1)摄像机数据保存。基于海康威视 SDK 实现视频流本地化存储功能,可通过调用相关函数获取视频数据,选择采用 MP4 格式存储;通过静态函数获取系统当前时间,并使用类型转换函数将日期对象转换成字符串格式,确定视频存储路径,并将获取的系统时间作为文件名便于后续查找。2)行驶数据保存。保存的行驶数据包括踏板开度、手柄开度、车速、油压、转速、转矩、故障码等,确定数据保存路径并以当前日期作为文件名,保存格式为 CSV 文件;保存数据分为时间、数据类型、数据内容 3 列,保存间隔精确到毫秒。3)定期删除。由于保存视频数据及行驶数据的文件夹均以保存时间命名,定期获取指定目录下所有文件和文件夹的基本信息,通过文件名判断保存时间与当前时间相差是否超过一周,并删除一周前文件,以保证充足的存储空间。

远程监控平台实际运行效果如图 5 所示。通过该平台驾驶员可清晰了解车辆周边环境、掌握车辆工作装置姿态、获取车辆关键运行数据,结合开发的故障提醒功能,可有效提高远程作业安全性。

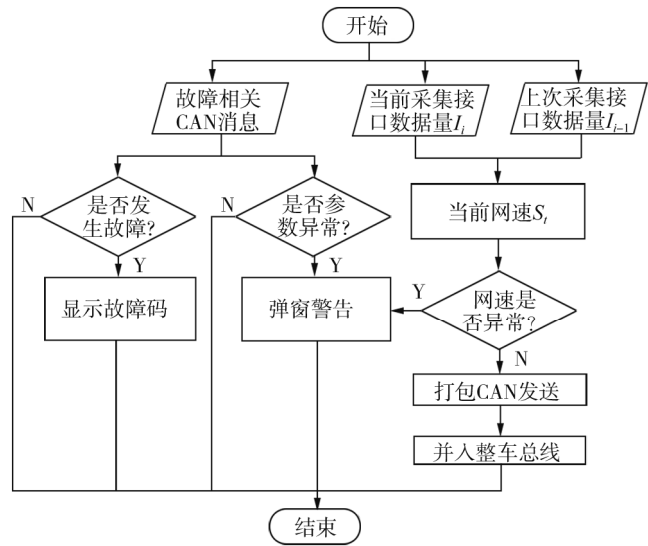


图 4 故障提醒功能实现流程图



图 5 远程监控平台运行界面

3 结论

1) 基于 Qt 框架开发了集成化的纯电动装载机远程监控平台,集成了实时视频环境还原、关键运行参数显示、智能故障预警提醒、数据存储管理等核心功能,有效解决了驾驶员在复杂恶劣环境下直接操作装载机的安全风险和健康问题,为实现安全高效的远程驾驶提供了重要支撑。

2) 平台通过视频流对接、网络数据接收解析等技术,从环境视觉、实时车况、系统健康 3 个维度为驾驶员提供全面的感知能力。动态网速阈值算法可识别网络不稳定状态,提高远程驾驶的可靠性和操作安全性。

3)平台开发了针对视频流和车辆运行数据的自动存储功能,并实现了基于时间戳的定期自动删除机制。这既满足了后期设备状态分析、故障排查、操作回溯等需求,又合理避免了因数据无限累积导致的存储资源压力问题,确保了平台的长期稳定运行。

参考文献:

- [1] FEIX T, CHENG Z, WONG S V, et al. A comprehensive overview of the development and research of energy savings of electric wheel loader[J]. World Electric Vehicle Journal, 2025, 16(3): 16030164.
- [2] ZAUNER M, ALTENBERGER F, KNAPP H, et al. Phase independent finding and classification of wheel-loader work-cycles [J]. Automation in Construction, 2020, 109: 102962.
- [3] 王欣. 工程机械行业现状及未来发展趋势研究[J]. 中国设备工程, 2024(20): 133-135.
- [4] CHEN P, SUN Z, MEHLSCHAU J J, et al. Development of a remote control system for a front-end loader[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1996, 12(6): 623-631.
- [5] PARK S, CHOI Y, PARK H. Optimization of truck-loader haulage systems in an underground mine using simulation methods [J]. Geosystem Engineering, 2016, 19(5): 222-231.
- [6] 李运华, 范茹军, 杨丽曼, 等. 智能化挖掘机的研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2020, 56(13): 165-178.
- [7] YU Y, LEE S. Remote driving control with real-time video streaming over wireless networks; design and evaluation[J]. IEEE Access, 2022, 10: 64920-64932.
- [8] YAMADA H, KAWAMURA T, OOTSUBO K. Development of a teleoperation system for a construction robot[J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 2014, 26(1): 110-111.
- [9] 鲁恒愿. 远程操纵挖掘机人机交互系统设计与实现[D]. 西安: 长安大学, 2021.
- [10] 甘万正. 基于QT的工业机器人人机交互系统的设计[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [11] 陈俊良, 葛俊锋, 叶林, 等. 基于海康威视 SDK 的视频监控软件的开发[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(7): 97-98.
- [12] 李波. 基于底盘测功机的整车驾驶性客观测试与评价方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2022.

Development of a remote monitoring platform for a new energy construction machinery

LU Yueqi¹, JI Shaobo^{1*}, CHE Renhai², HOU Defeng²,
ZHAO Jiayang², XU Haozhi¹, AN Meng¹

1. School of Nuclear Science, Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Shandong Quanghai Automotive Technology Co., Ltd., Liaocheng 252800, China

Abstract: To address the challenges of remote monitoring for pure electric loaders, a remote monitoring platform is developed based on the Qt software architecture method. This platform analyzes the requirements of real-time perception of multi-source information, intelligent fault early warning, network health management, and efficient data management in remote monitoring of pure electric loaders. The platform integrates real-time synchronized transmission of video and audio to achieve multi-perspective reconstruction of the working site; parses controller area network (CAN) messages to dynamically display key parameters such as vehicle speed, fuel pressure, and battery level while triggering abnormal alarms; implements intelligent hierarchical fault early warning to monitor faults and operational risks of core components such as vehicle controllers, motors, and batteries and issue multiple alarms; conducts dynamic network health monitoring to real-time identify network anomalies and interact with the vehicle system; and features data automatic storage and cleanup functions. The practical application results show that the platform can effectively improve the security of remote operations.

Keywords: new energy; loader; remote driving; remote monitoring platform

(责任编辑:刘丽君)