

基于大语言模型的 CIR 设备远程故障监测及智能诊断系统

潘东亮¹ 张志圆² 邹华勇²

1 国能包神铁路集团有限责任公司

2 天津七一二移动通信股份有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17482

[摘要] 针对铁路机车综合无线通信设备(CIR)在故障分析过程中存在人工依赖度高、处理效率低以及诊断准确性不足的问题,本文提出一种基于大语言模型的CIR设备远程故障监测及智能诊断系统。该系统实现了从数据采集、远程传输、协议解析、智能诊断到报告自动生成的全流程自动化。重点在于基于大语言模型技术,引入向量化故障知识库,对故障现象、时间序列与设备状态等多维度信息进行语义关联与智能推理,最终依据标准化模板自动生成Word格式的故障分析报告。实际应用表明,该系统显著提高了故障分析效率,降低了人工干预需求,提升了铁路通信设备运维的智能化水平。

[关键词] CIR; 大语言模型; 故障诊断; 智能运维; 自动分析; 生产报告

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A

LLM-Based Remote Fault Monitoring and Intelligent Diagnosis System for CIR Equipment

Dongliang Pan¹ Zhiyuan Zhang² Huayong Zou²

1 CHN Energy Baoshen Railway Group Co., Ltd.

2 Tianjin 712 Mobile Communication Co., Ltd.

[Abstract] To address the issues of high manual dependency, low processing efficiency, and insufficient diagnostic accuracy in the fault analysis process of railway locomotive comprehensive wireless communication equipment (CIR), this paper proposes an LLM-based remote fault monitoring and intelligent diagnosis system for CIR equipment. The system enables end-to-end automation of the entire workflow from data collection, remote transmission, protocol parsing, and intelligent diagnosis to automated report generation. The core innovation lies in leveraging LLM technology to construct a vectorized fault knowledge base, enabling semantic correlation and intelligent reasoning across multi-dimensional information such as fault phenomena, time series, and equipment status. Ultimately, the system automatically generates standardized Word-format fault analysis reports based on predefined templates. Practical application demonstrates that this system significantly improves fault analysis efficiency, reduces the need for manual intervention, and enhances the intelligence level of railway communication equipment operation and maintenance.

[Key words] CIR; LLM; Fault Diagnosis; Intelligent O&M; Automated Analysis; Production Report

引言

铁路运输作为国家经济命脉,其运行安全性、效率与可靠性至关重要。机车综合无线通信设备^[1](CIR)是列车运行控制、调度通信与安全信息交互的关键车载装置,其运行状态直接关系到行车安全与运输效能。随着铁路网络规模扩大与行车密度提高,传统CIR运维模式面临巨大挑战。目前,CIR故障分析主要依赖维护人员现场操作与经验判断,故障数据常需技术人员登车或待机车回段后下载,分析周期长、效率低,且易受主观因素影响,存在诊断一致性差、报告质量不均、关键信息遗漏等问题,难以适应铁路故障实时响应与快速处置的需求。尽管现有CIR

监测系统与记录分析工具提供了一定数据支持,但在处理海量、异构、多源设备数据时,仍缺乏高效的智能分析手段。

近年来,人工智能技术迅速发展,大语言模型(Large Language Model, LLM)在自然语言理解、知识推理与文本生成等领域展现出强大能力,为上述问题提供了新的解决路径。LLM不仅可处理自然语言,还能解析设备日志、通信协议与故障描述,从历史报告与知识库中学习专家经验,模拟人工诊断推理流程。本文基于大语言模型技术,结合CIR运维实际场景,设计并实现了一套涵盖车载数据采集、远程传输、地面解析、智能诊断与报告自动生成的端到端解决方案。该系统致力于减轻人工负担,提升故障

分析的准确性、一致性与效率,推动铁路运维模式向智能化转型,为构建铁路智能运维(AI0ps)体系提供技术支撑。

1 可行性分析

1.1 传统CIR设备运维与故障处理研究。早期研究主要围绕人工运维模式优化与故障处理经验总结,核心是提升人工操作的规范性与效率。通过学习CIR设备的日常维护^[2]与常见故障处理^[3]方法,提高设备的运行稳定性。

1.2 CIR设备监测技术发展。随着铁路信息化推进,研究重点转向在途监测与数据远程传输^{[4][5]},旨在解决故障数据获取效率低的问题。基于无线网络的CIR数据实时采集方案,实现了设备运行数据的远程传输,并实现了设备台账管理、故障记录统计等功能,形成了运维流程的数字化管理。

1.3 AI技术在设备故障诊断中的应用探索。近年来,人工智能技术开始渗透设备运维领域,为故障诊断提供智能化解决方案,为本系统的大语言模型应用奠定了技术基础。在电力领域构建的电力变压器故障诊断多智能体大模型,展示了大模型在电力装备故障诊断中的应用模式^[6]。

2 系统总体架构

本系统由车载数据采集、地面数据处理与智能分析三大模块组成,系统架构如图1所示。

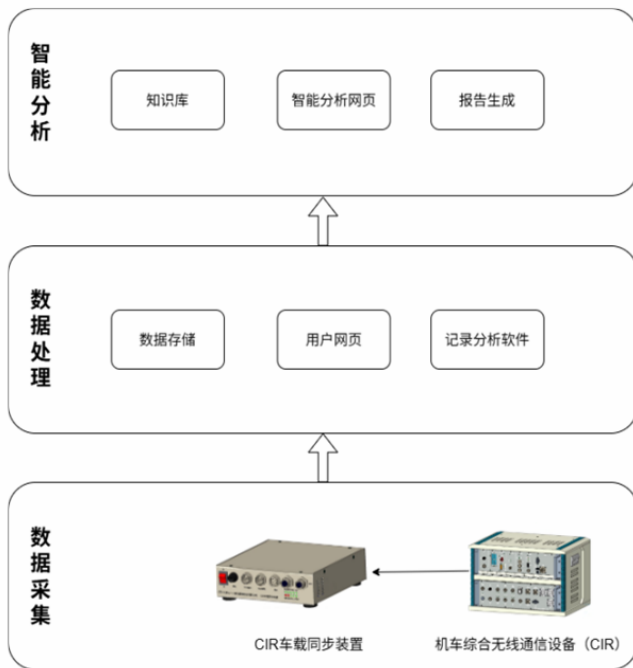


图1 系统总体架构

3 车载数据采集模块

该模块包括CIR主机与CIR车载同步装置。车载同步装置通过M12接口与CIR记录转接单元相连,实时接收设备运行数据。装置内置4G/5G通信模组,支持通过无线网络将数据加密传输至地面服务器。

3.1 地面数据处理模块。地面服务器接收并存储CIR设备上

传的运行数据,按设备号、时间等属性生成结构化转储文件。用户可通过Web平台按条件查询与导出数据。记录分析软件提供数据解析服务,输出含多字段的解析结果文件(CSV格式)。

3.2 智能分析模块。作为系统核心,该模块基于大语言模型构建故障分析引擎。系统将历史故障报告等文本资料向量化并构建故障知识库,支持用户通过Web界面上上传解析数据,结合实时数据与知识库进行多维度故障推理,依据模板自动生成故障分析报告。

4 系统详细设计

4.1 记录转接单元改造。为CIR记录转接单元增设以太网接口(M12型),并升级CIR软件支持监测信息以太网输出。

4.2 车载同步装置设计。主控采用瑞芯微RK3568芯片,支持4G(EM05-CN)或5G(RM500U-CN)通信模组,配备铁路专用电源RSD-30H-12,实现机车110V至直流12V转换。装置设计电源开关、保险、串口监测接口、双以太网口及状态指示灯。

XX 电务段 Sxxxx 车收不到进路预告数据分析报告

XX 电务段:

2025年5月2日16点58分,Sxxxx车次,司机反馈在X地点收不到进路预告,17点09分XX站6道发车时恢复正常。详细分析情况如下:

一、问题描述

2025年5月2日16点58分,Sxxxx次xxxx-1车,司机反馈在X地点收不到进路预告。

二、问题分析

1. 查看开关机时间,设备在2025-05-02 16:30:33:296 上电,如下所示。

序号	数据编号	时间	来源	目标编号	设备	编号	报文内容	区间	状态	电压	温度
1	240954	2025-05-02 16:30:33:296	广播	记录单元	产路预告	008	记录单元上电成功	进路预告	3	3.9V	0.0

2. 查看车次号注册情况,在2025-05-02 16:31:32:465 注册车次号成功,如下所示。

序号	数据编号	时间	来源	目标编号	设备	编号	报文内容	区间	状态	电压	温度
3024	240977	2025-05-02 16:31:32:465	主控单元	两个单元	注册成功	418	车次号注册成功	418	3	3.9V	111.905

3. 查看故障时间段CIR综合信息的命令,显示本机IP未获取:

4. 查看故障时间段内主控日志,主控单元工作正常:

5. 查看故障时间段数据AT命令,发现出现ATH+,意为数据模块连接异常:

三、分析总结

通过以上数据以及现场分析出故障现象为在故障时间段数据模块连接异常。

四、后续措施

检查数据模块指标功能是否正常。

XX 有限公司

2025年5月2日

图2 CIR车载同步装置外观

4.3 数据采集与传输。CIR设备启动后自动向指定IP和端口转发实时数据。车载同步装置监听数据流,完成接收、协议封装(添加设备号、时间戳、序列号等)、可靠传输(应答确认、超时重传、心跳检测)、4G/5G无线传输与远程管理等功能。

4.4 数据处理与分析。地面服务基于SpringBoot实现,接收数据并按“厂家/年月日/设备号-机车号-时间.DR”格式存储。Web前端采用Vue2+ElementUI开发,支持数据导出为转储文件(.svdr)。记录分析软件解析数据并输出CSV文件,包含序号、时间、端口、业务、命令、报文说明等字段,如表1所示。

表1 数据解析结果示例

序号	数据编号	时间	源端口	目的端口	业务	命令	报文说明	区间	状态	电池电压	经度	纬度	长度	报文
1	2449954	2025-05-02 16:30:33:296	广播	记录单元	内部活动性检测	00H	记录单元上电报文	尚未收到区间信息	3	3.9V	0	0	14	10 02 00 08 00 00 07 00 F0 00 D1 41 10 03
2	2449955	2025-05-02 16:30:33:297	卫星单元	主控单元	内部维护(F7H)	03H	GPS单元向主控查询定位输出格式	尚未收到区间信息	3	3.9V	0	0	14	10 02 00 0A 06 00 01 00 F7 03 B2 2E 10 03
3	2450768	2025-05-02 16:31:50:038	MMI_A	主控单元	调度通信	车次号设置	请求车次号注册(设置)/ 注销>注册(设置)。SXXXX	XX铁路 车站1-车站2	3	3.9V	111.9 85513	21.81 2668	25	10 02 00 13 03 00 01 00 03 11 01 53 36 39 36 34 20 20 3B 30 3B F1 04 10 03
4	2450977	2025-05-02 16:31:32:465	主控单元	两个MMI	调度通信	车次号注册结果	车次号注册/注销结果>> 注册:成功	XX铁路 车站1-车站2	3	3.9V	111.9 85513	21.81 2668	23	10 02 00 0E 03 00 07 00 CD 03 03 02 03 02 20 29 D4 91 10 03
5	2471089	2025-05-02 16:31:56:413	主控单元	记录单元	调度通信	综合信息	综信>网络(GSMR.语音 场强:6.数据场强:6) 车 次号(SXXXX.注册) 机 车号(SXXXXXXX.注册) 线 路(XX铁路 车站1-车站 2) 机车编号:0 本机 IP(XX.XX.XX.XX) 本务 机 模式号(101(GSMR). 自动) GRIS(XX.XX.XX.X)	XX铁路 车站1-车站2	3	3.9V	111.9 8338	21.81 2058	66	10 02 00 41 01 00 05 00 03 55 02 39 06 06 65 10 10 0A 0E 4A D5 0A 0E 38 01 00 00 00 00 53 36 39 36 34 3B 33 31 36 30 34 34 36 31 3B B3 A4 D6 EA CC B6 CF DF 20 B3 A4 C9 B3 2D CF E6 CC B6 2F D6 EA D6 DE 3B D2 57 10 03
6	2450636	2025-05-02 16:32:00:373	主控单元	两个MMI	内部维护(83H)	54H	网络:GSMR 来源:GSM-R 网络注册完成 注册状态 (CREG 值):已经注册 网 络代码:46020 场强:31 网络制式:GSM-R 位置 区:xxxx 小区:xxxe 模 块(SIM)状 态:MODULE_SIMREADY	XX铁路 车站1-车站2	3	3.9V	111.9 8552	21.81 2672	35	10 02 00 1D 01 04 00 00 00 00 02 04 00 00 00 00 83 54 02 01 00 01 C4 B3 1E 02 1A 57 28 67 02 39 AF 10 03
7	2453370	2025-05-02 16:32:07:747	800M电台	MMI_A	800M预警	LBJ状态	LBJ当前状态>>`未发 送过报警信息`~守候状 态`~未接收过报警信息 ~工作状态:正常工作 ~列尾状态:客列尾未连 接`~机车号:XXXXXXX ~KLW-ID:无效`~列尾 风压:无效`~启动报警 原因:无效`~列车接近 预警功能状态:功能关闭 ~列车防护报警功能状 态:功能打开	XX铁路 车站1-车站2	3	3.9V	111.9 85537	21.81 2595	29	10 02 00 17 13 00 03 00 0B 04 00 01 02 31 60 44 61 FF FF FF FF FF FF 02 01 4C 74 10 03

4.5 智能诊断与报告生成。智能分析Web界面,如图2所示,基于Gradio构建,支持上传解析文件并输入故障相关信息。系统借助嵌入模型(如Qwen3-Embedding)将历史报告向量化存储于Faiss库,实现相似案例检索。基于LangChain构建分析流水线:首先提取相关数据片段与检索知识库;随后提交至大语言模型(Qwen3)进行多步推理与根因分析;最后使用python-docx按标准模板生成Word报告,涵盖故障现象、分析过程、结论与建议。

5 应用效果分析

系统在神朔铁路公司试点应用表明,其有效实现了运维模式由人工主导向智能自动化转型。效率方面,报告生成全程自动化,效率提升90%以上,单次分析耗时由数小时降至分钟级。质量方面,通过LLM与向量知识库融合,实现多维度数据关联与根因推理,显著提高诊断一致性与准确性。机制层面,系统支持事后精准分析与知识库持续学习,逐步具备故障预警与健康评估能力,为预测性维护提供数据基础,推动铁路运维智能化发展。

6 结束语

本文设计并实现了基于大语言模型的CIR设备远程故障分析与诊断系统,构建了集数据采集、传输、解析、诊断与报告生成于一体的完整解决方案。系统有效解决了传统运维效率低、人

工依赖强、知识传承难等问题,通过LLM与领域知识结合,为复杂设备故障智能分析提供了技术途径。应用表明,系统可显著提升运维效率与质量,标准化流程为设备健康管理奠定基础。未来将持续优化模型与知识库,探索跨设备通用诊断能力,并与维修调度系统集成,助力铁路智能运维生态建设。

【参考文献】

- [1]李强.机车综合无线通信设备(CIR)的运用与维护[J].信息记录材料,2017,18(12):169-170.
- [2]张志成,赵文.简析机车综合无线通信设备的应用及维护[J].科技风,2016(20):62.
- [3]刘艳稳.铁路机车综合CIR无线通信设备故障处理策略[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2016(10):189-190.
- [4]张浩,高尚勇,姜宏敏.机车综合无线通信设备在途监测系统[J].铁道通信信号,2017,53(06):58-60.
- [5]王远波.机车综合无线通信设备在无线网络安全监测中的应用[J].中国安全科学学报,2021,31(S1):109-113.
- [6]林金山,李元,方葵萱,等.电力变压器故障诊断多智能体大模型构建与初步应用[J/OL].西安交通大学学报,2025:1-8.