

武汉地铁列车远程运维系统关键技术及主要应用功能

向清河¹ 高翔² 朱东飞¹ 李海新² 杨焱¹

(1. 武汉地铁集团有限公司, 430070, 武汉;

2. 株洲中车时代电气股份有限公司, 412001, 株洲//第一作者, 正高级工程师)

摘要 为实现地铁列车的实时监控,以武汉地铁列车远程运维系统为研究对象,详细介绍了其总体架构,阐述了海量数据采集、车地无线通信及实时数据处理等关键技术,并以武汉地铁21号线为例,详细说明了其实际应用中的实时状态显示、故障远程诊断及日常维护管理等主要的应用功能。实际运行效果显示,武汉地铁列车远程运维系统能实时、全面提供线路及列车设备的实时数据,有助于提高维修检修的效率和准确性。

关键词 地铁; 列车; 远程运维系统

中图分类号 U279.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.035

Key Technologies and Main Application Functionality of Wuhan Metro Train Remote Operation and Maintenance System

XIANG Qinghe, GAO Xiang, ZHU Dongfei, LI Haixin, YANG Ye

Abstract To realize real-time monitoring of metro trains, taking the train remote operation and maintenance system of Wuhan Metro as the research object, the overall architecture is elaborated and key technologies such as mass data acquisition, vehicle-wayside wireless communication and real-time data processing are expounded. Based on Wuhan Metro Line 21, the real-time status display, fault remote diagnosis and daily maintenance management in actual application are explained in detail. Practical operation results show that Wuhan Metro train remote operation and maintenance system can provide comprehensive real-time data of lines and train equipment, improving the efficiency and accuracy of maintenance.

Key words metro; train; remote operation and maintenance system

First-author's address Wuhan Metro Group Co., Ltd., 430070, Wuhan, China

轨”)的蓬勃发展,用户对其RAMS(可靠性(Reliability)、可用性(Availability)、可维修性(Maintainability)和安全性(Safety))的要求也越来越高。

目前,在列车运行时,列车牵引、制动及空调等系统的实时工作状态信息大多可被采集,并传至司机室中的HMI(人机界面),供司机实时了解车辆的情况。但地面调度员和车辆维护人员无法实时全面地查看列车在途状态。当列车出现故障时,多采取事后处理方式,待故障列车回库后通过人工方式获取相关记录数据,再进一步对故障分析定位。为了使司机、维护人员和管理人员能全面、及时、准确地掌握车辆和车载设备的运行状态,进而快速响应故障及应急处置,提高车辆利用率^[1],提升检修水平和检修质量,可将移动互联网、物联网及大数据等相关高新技术与远程运维需求深度融合,建立地铁列车远程运维系统。本文以武汉地铁列车远程运维系统(以下简为“武汉运维系统”)为例,对其关键技术及应用情况进行分析。

1 武汉运维系统的架构

武汉运维系统以全感知设备的传感技术、信息无缝的传输及共享为基础,以信息智能处理为手段,实现了物联网、车地无线网络及列车控制网络的多网融合,具有信息采集、信息传输、信息加工及信息显示等能力。

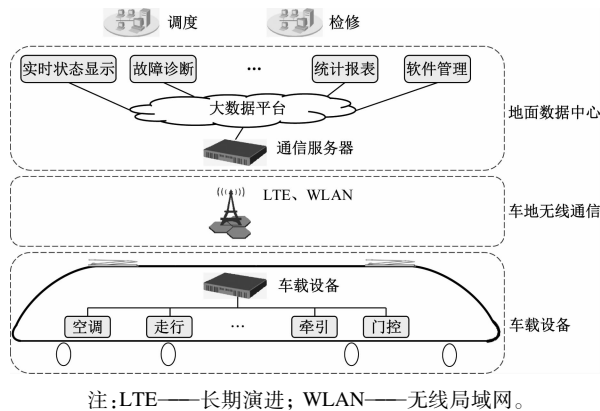
武汉运维系统由车载设备、车地无线通信及地面数据中心三大部分构成,如图1所示。

1.1 车载设备

为了提高武汉运维系统智能分析的准确性,需要尽量获得丰富、全面的列车健康信息数据,包括各类设备的实时状态数据、告警信息及故障信息等。

武汉运维系统在列车上新增1个高度集成的智

近年来,随着我国城市轨道交通(以下简为“城



注:LTE——长期演进; WLAN——无线局域网。

图1 武汉运维系统结构

Fig. 1 Architecture of Wuhan Metro train remote operation and maintenance system

能化物联网网关——车载设备,不仅可从 MVB(多功能车辆总线)、列车信息网等渠道采集海量的数据,还可实现对各类数据的清洗、临时存储及快速计算等。在将列车可感知的数据进行统一收集汇总后,智能化物联网网关通过车地无线通信通道,将数据实时发送到地面数据中心。

1.2 车地无线通信

车地无线通信为列车健康管理系统、视频监控系 统、乘客信息系统等的车地间数据传输提供服务。目前,车地无线通信的主流技术制式有 WLAN、LTE 等。

武汉运维系统的车载设备,具有多通道车地无线通信接口,既可支持公网的 4G 网络通道,也可支持 LTE 及 WLAN 制式的专用通信通道,可根据不同应用场景自由选择并切换制式。

1.3 地面数据中心

地面数据中心由通信服务器、大数据平台和应用系统组成。

通信服务器采用双机冗余设计,具备高并发、高频率、高可用性的数据接收能力,可以接收包括实时数据报文、数据文件和视频流媒体数据。其性能可以支持同时接收 1 000 列列车的 100 ms 级数据的能力。

大数据平台基于 Hadoop 大数据技术,具备分布式的数据解析、处理和存储能力,负责对车辆数据进行解密、解析和计算、存储工作,为应用系统提供数据推送、数据分析等后台综合处理能力。

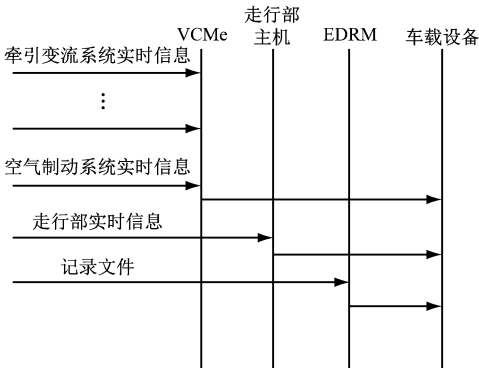
应用系统基于 B/S(浏览器/服务器)架构,以 WEB(网页)及 APP(应用程序)的形式为用户提供远程实时监视、日常维护管理、故障诊断报警、数据

查看、算法分析等维护管理功能。

2 关键技术

2.1 海量数据采集技术

数据来源不同,所采用的采集方式也不同。武汉运维系统的数据采集流程如图 2 所示。



注:VCMe——车辆控制模块; EDRM——事件记录模块。

图2 数据采集流程示意图

Fig. 2 Diagram of data acquisition process

武汉地铁 21 号线列车 TCMS(列车控制和管理系统)由 VCMe、EDRM、HMI 模块等组成,用于监视车载牵引系统、制动系统和列车内各主要设备的状态,实现对车辆的管理、监视和诊断功能。TCMS 可分为列车控制级及车辆控制级,均采用 MVB 进行数据传输。

武汉运维系统升级了现有 VCMe。车载设备采用新增接口与 VCMe 通信,实时获取由 VCMe 通过 MVB 接口采集的 TCMS 网络上车载子系统(如牵引变流系统、网络控制系统、辅助变流系统、空气制动系统、门控系统及空调系统等)的实时数据。

车载设备通过以太网接口,接入到列车信息维护以太网,通过网络获取列车 EDRM 的故障记录、事件记录、制动故障记录等大容量文件信息。

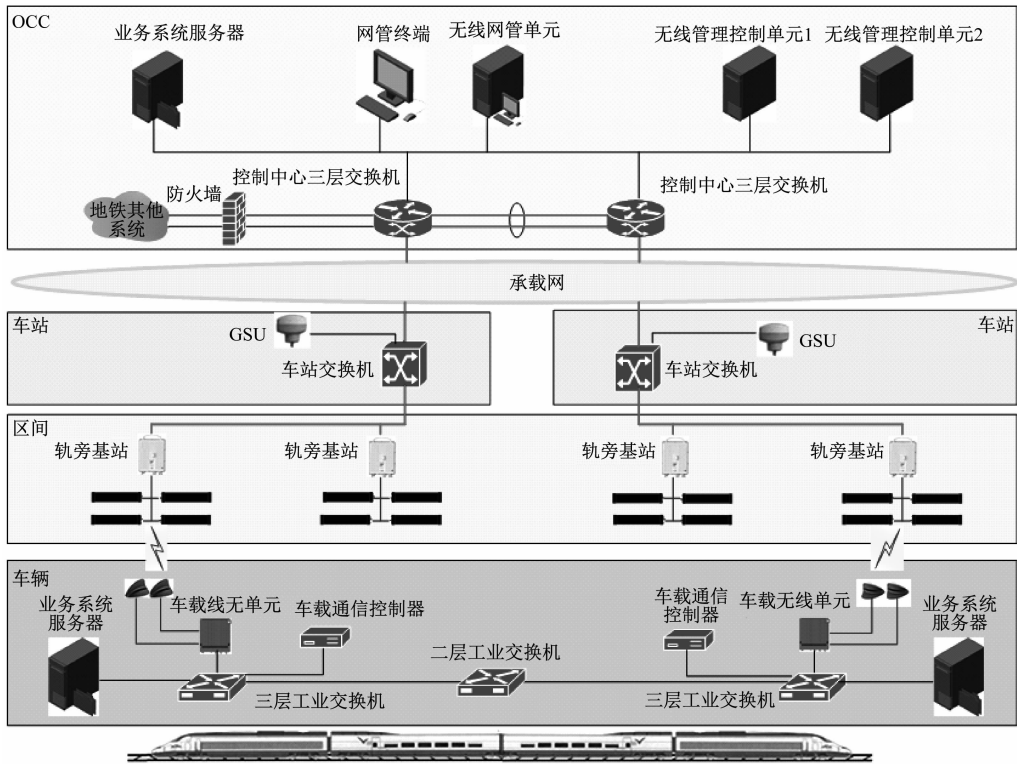
此外,武汉地铁运营单位特别要求增设传感器,用以监测轴温的实时变化。武汉运维系统的每对轮对轴箱都新增了传感器,其采集到的信息通过 RS485 协议和走行部主机传输。车载设备通过以太网接口,接入到列车信息维护以太网,获取走行部主机的实时运行数据。

2.2 车地数据无线传输

车载设备的数据需通过车地无线通道传输到地面数据中心。由于列车处于高速移动状态,其运行环境复杂、干扰源多,为避免车地无线信道不稳

定对数据传输产生影响,武汉运维系统使用目前已在武汉地铁 PIS(乘客信息系统)业务中广泛使用的

WirelessFiber 车地无线通信系统。该无线通信系统架构如图 3 所示。



注:OCC——运营控制中心;GSU——基于全球定位系统的同步单元。

图 3 WirelessFiber 车地无线通信系统架构

Fig. 3 Architecture of WirelessFiber vehicle-wayside wireless communication system

WirelessFiber 车地无线通信系统由 OCC 子系统、地面子系统及车载子系统组成,可实现车载 PIS、视频监控系统等的业务实时双向大带宽传输。WirelessFiber 车地无线通信系统具有以下特点和创新:

- 1) 最大带宽为 750 Mbit/s,双向平均带宽大于 350 Mbit/s,并可根据业务需求灵活调配上下行带宽。
- 2) 采用专有空中接口、TDMA(时分多址)、OFDM(正交频分复用)等技术增强抗干扰能力,基站间距最高可达 1 km,支持列车运行速度为 300 km/h 时的通信需求,基站切换时延 < 50 ms。
- 3) 具备多级业务 QoS(服务质量)分级控制功能,支持 VLAN(虚拟局域网)划分和优先级定义,能满足不同业务的带宽需求。

在借用现有 WirelessFiber 车地无线通信系统基础上,武汉运维系统还采用了如下改进措施来提高车地数据传输的可靠性:

- 1) 原始数据采用压缩编码,以节省传输带宽。

根据测算,车载设备采集实时数据和记录文件的带宽需求约为 2 Mbit/s。数据压缩后的实测带宽为 500 kbit/s。

2) 为了确保关键信息不丢失,对于实时告警信息,武汉运维系统采用 UDP(用户数据报协议),以及改进拥塞、应答确认控制等可靠性传输保证手段,即使发生数据包丢失或在网络拥塞的情况下也可实现数据的可靠传输。而对于实时状态信息,则采用普通的 UDP 传输。

2.3 实时数据处理

武汉运维系统需采集列车运行过程中的高频数据。在线网化、智能化的运营中,高并发以及高频率的数据接收是整个运维系统的运转基础^[2]。武汉运维系统采取 NIO(同步非阻塞的输入、输出模型)技术的 Netty 网关框架,可支持 1 000 列列车以上、100 ms 级的数据接收处理能力,并支持横向扩展,能满足整座城市地铁线网的列车数据接收需求。

此外,武汉运维系统采用基于 Hadoop 的大数

据平台作为基础软件架构。通过 Kafka 组件将数据接入大数据平台,以 spark 流计算对数据进行分布式处理、解析计算,并进行分布式 HBase 数据库存储,可实现毫秒级处理和存储数据,并支持自动调度、无缝扩容等能力,符合不间断运行维护的要求。

3 主要应用功能

武汉运维系统现已成功在武汉地铁 21 号线应用。根据武汉地铁运营有限公司的需求,现阶段武汉运维系统的主要应用功能为:城轨列车的实时状态显示、故障远程诊断、日常维护管理。

3.1 实时状态显示

实时状态显示功能覆盖了列车的主要专业系统(如牵引系统、辅助电源系统、网络控制系统、空气制动系统、门控系统、空调系统、乘客信息系统、广播系统等),可对在线列车的运行状态进行远程实时监视。OCC 车辆调度人员可实时掌握运营线上每列列车的运行状态。

根据监测范围不同,实时状态显示可分为线路数据实时显示(见图 4)及单台车数据实时显示(见图 5)。

线路数据实时显示功能实时显示单线路列车总体情况,包括当前线路地图展示、各列车基于地图的位置分布、列车运行状态、列车健康状态及列车基本信息等。

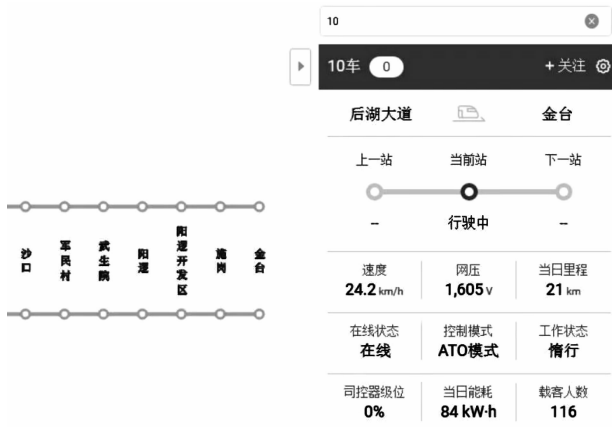


图 4 线路数据实时显示界面

Fig. 4 Real-time display interface of line data

单台车数据实时显示功能可实时显示单台车所有状态,包括当前列车位置(含速度、网压、当前站、终点站、上下行等信息)、当日运行里程统计及总里程统计、速度、网压等关键实时数据的波形曲

线、各子系统当前健康状态、整车实时健康状态、当前时刻列车故障报警、当前时刻的故障预警。单台车数据实时显示功能可显示牵引、制动、辅助、车门、乘客报警、烟火、通信、空调、旁路、轴温等车载系统的状态。单台车数据实时显示功能还能在地面同步复制车载司机屏,实现车载监视数据与地面监视数据的同步,有助于地面人员实时掌握列车运行工况及司机的操作情况。



图 5 单台车数据实时显示界面

Fig. 5 Real-time display interface of single train data

3.2 故障远程诊断

武汉运维系统采用实时数据作为数据源,计算列车的实时状态,判断列车当前状态是否正常。

当列车出现异常停车、故障等状态时,武汉运维系统会实时报警。后台专家系统地面数据中心通过远程诊断,从智能辅助角度给出故障类型、故障根源,并及时提供推荐处置方案。用户可在故障列表(见图 6)中点击指定故障的“故障诊断”来获取。

子系统	故障码	故障等级	故障名称	发生时间	状态	操作
PIS	7001	轻微故障	PIS严重故障	2018-12-03 14:53:21	● 已处理	故障诊断
PIS	7005	一般故障	4车ACSI故障	2018-12-03 14:53:21	● 已处理	故障诊断
PIS	7001	轻微故障	PIS严重故障	2018-12-03 14:48:52	● 已处理	故障诊断
PIS	7005	一般故障	4车ACSI故障	2018-12-03 14:48:52	● 已处理	故障诊断
VCM	1041	一般故障	TMC2车PIS通信故障	2018-12-03 14:48:48	● 已处理	故障诊断
VCM	1062	一般故障	网压施加紧急制动	2018-12-03 14:42:54	● 已处理	故障诊断
VCM	1062	一般故障	网压施加紧急制动	2018-12-03 14:42:48	● 已处理	故障诊断
VCM	1095	一般故障	TMC2车ATC故障	2018-12-03 14:27:34	● 已处理	故障诊断
VCM	1094	一般故障	TMC1车ATC故障	2018-12-03 14:27:34	● 已处理	故障诊断
BCU	4119	严重故障	一单元BCU小事件	2018-12-03 11:33:39	● 已处理	故障诊断

图 6 故障列表界面

Fig. 6 Interface of fault list

3.3 日常维护管理功能

日常维护管理功能服务于日常检查维护人员,可提供列车文件数据下载、列车车载软件管理及相

(下转第 197 页)