

# 基于大数据的地铁通信信号故障预测与智能维护策略

焦瑞金

(郑州轨道交通运营有限公司 郑州 450000)

**摘要** 随着地铁系统的日益复杂和运营规模的扩大,通信信号系统的稳定性和可靠性成为保障地铁安全、高效运行的关键。文中利用机器学习、数据挖掘和统计分析方法,构建了一个精准的故障预测模型。该模型能识别潜在的故障模式,提前预警潜在风险,从而有效避免通信信号系统发生故障。同时,结合智能维护策略,该系统能自动定位故障位置,实现远程监控和快速响应。

**关键词:** 大数据;地铁通信;故障预测;智能维护

**中图分类号** U231+.7

## Fault Prediction and Intelligent Maintenance Strategy of Metro Communication Signal Based on Big Data

JIAO Ruijin

(Zhengzhou Rail Transit Operation Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

**Abstract** With the increasing complexity of the subway system and the expansion of the operation scale, the stability and reliability of the communication signal system have become the key to ensure the safe and efficient operation of the subway. This paper uses machine learning, data mining and statistical analysis methods to build an accurate failure prediction model. The model can identify potential failure modes and warn latent risks in advance, thus effectively avoiding the failure of the communication signal system. At the same time, combined with intelligent maintenance strategies, the system can automatically locate the fault location, realize remote monitoring and quick response.

**Key words** Big data, Subway communications, Failure prediction, Smart maintenance

## 0 引言

地铁通信信号系统作为地铁运营的神经中枢,负责列车运行控制、信息传输及安全监控等核心功能,其稳定性和可靠性直接关系着地铁系统的整体运营效率与乘客安全<sup>[1]</sup>。因此,探索一种更加科学、高效、智能的维护策略,成为业界亟待解决的问题。大数据技术的兴起为地铁通信信号的故障预测与智能维护提供了新的思路和方法。

## 1 关键技术

### 1.1 大数据技术

大数据技术指专门用于处理、分析和挖掘海量数据的技术集合,它涵盖数据的采集、存储、处理、分析、应用等多个环节。大数据技术可通过传感器、物联网设备、社交媒体、企业信息系统等多种渠道来实时或批量地采集各种类型的数据;利用分布式文件系统、分布式数据库、NoSQL数据库等技术,大数据技术可实现海量数据的可靠存储和高效访问;数据处理包括数据清洗、数据转换、数据压缩等,也

可利用大规模并行处理(MPP)、流处理等技术,实现对数据的快速处理和分析;数据可视化则通过图表、仪表板等形式,将复杂的数据分析结果以直观、易懂的方式呈现出来,帮助用户更好地理解数据背后的故事。

### 1.2 地铁通信信号

(1)通信系统。城市轨道交通中的通信系统和信号机一起执行车辆调配命令,是ATC(铁道自动化控制系统)的信息传送信道。该系统是地铁系统的重要组成部分,是实现各子系统相互衔接、协调的重要手段<sup>[2]</sup>。地铁通信系统组成如图1所示。(2)信号系统。在城市轨道交通中,信号控制是保证列车安全运行和提高交通效率的重要手段。目前,城市轨道交通信号控制系统正在向智能化、集成化的方向发展<sup>[3]</sup>。城市轨道交通信号系统以列车自动控制系统(TTS)为主体,包含列车自动保护(ATP)、列车自动行驶(ATO)和列车自动监测(ATS)3个子系统。

### 1.3 地铁通信信号故障预测

地铁通信信号系统作为确保列车安全、高效运行的关键基础设施,其稳定性和可靠性直接关系到整个地铁网络

**作者简介:**焦瑞金(1996—),硕士,助理工程师,研究方向为地铁通信信号系统。

的运营质量。威布尔分布是一种能对地铁通信信号进行故障预报和分析的方法,具有广泛的应用,如机械损伤和因单个器件零件引起的系统失效等。失效概率密度函数如式(1)所示:

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{\beta}{\eta}\right)^{\beta-1}t^{\beta-2}, t>0, \eta>0 \quad (1)$$

故障分布函数如式(2)所示:

$$F(t)=1-e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (2)$$

可靠度函数如式(3)所示:

$$R(t)=e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3)$$

在威布尔分布的参数型中,曲线形态由威布尔分布确定, $\eta$ 是一个用于刻画故障发生的概率密度的参量。采用 $\beta$ 形态参量,可以很好地反映装备的可靠性数据的分布情况。

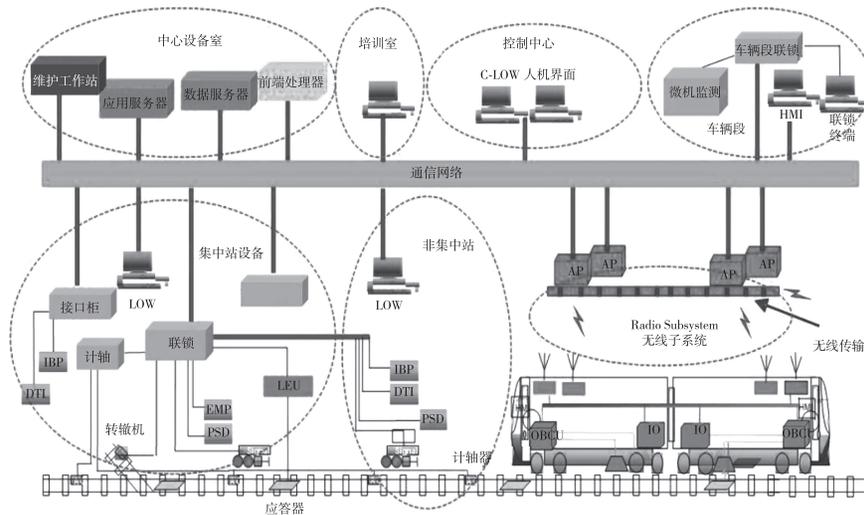


图1 地铁通信系统的组成

## 2 实验研究与应用

### 2.1 地铁通信信号系统架构

数据通信体系是进行数据传输和安全指令传递的信道,一般包括电缆主干网和无线通信网(见图2)。

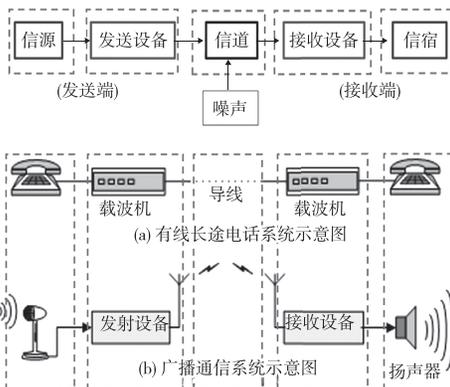


图2 数据通信系统的结构

电缆主干网为环状,每个通信结点都使用了工业级别

### 1.4 地铁通信信号智能维护

地铁通信信号智能维护可以实现对通信信号系统的实时监测、故障预测、智能诊断与预防性维护,以提高系统的稳定性和可靠性,保障地铁安全、高效运行。其中,需要根据数据特点和业务需求,选择合适的预测模型,如支持向量机(SVM)、随机森林、神经网络等<sup>[4]</sup>。在系统发生故障时,智能故障诊断系统能快速识别故障类型、定位故障原因,并给出维修建议。这通常依赖于知识图谱、专家系统等工具,通过比对故障现象与已知故障案例的相似度,快速定位故障类型和出现原因。同时,系统会将分析结果以图形化、可视化的方式展示给运维人员,方便其了解设备状态和系统运行情况。运维人员则基于故障预测和智能诊断结果,制定针对性的预防性维护策略。

的千兆开关,每个结点上都有一个轨道边的控制装置,并和一个控制中心的通信控制器相连。在有环网络中,双网备份方式具有较高的容错性。通过将无线接入点(如基站RRU等)布置在线路旁边,能覆盖所有线路,且车辆和地面都设置了冗余设备,以保证车-车、车-地之间的通信能平稳持续地进行。

### 2.2 信号故障预测与模型

FMECA指通过对各种故障类型的全面辨识,综合评估各类故障类型。(1)信号故障分析。失效形式、效应和危害分析(FMECA)指通过对某一产品或某一系统存在的全部失效形式进行研究,再通过对失效形式的剖析,判断各种失效形式给整个体系造成的损失,进而依据失效形式的严重性和出现的概率来判定其危害。假设一个失效形式M1有一个危险程度为 $X_1$ 和一个失效的冲击程度为 $X_2$ 。在危险矩阵中,可计算 $Ca^2$ ,如式(4)一式(5)所示:

$$OM^2=(X_1^2+X_2^2)(X_1^2-X_2^2) \quad (4)$$

$$d=\frac{(AX_1^2+BX_2^2+CX_3)}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \quad (5)$$

$$ca^2 = OM^2 - d^2 = (X1^2 + X2^2) - \frac{X1^2 - X2^2}{2} \quad (6)$$

(2)故障预测模型。采用线性回归的思想,可以将失效概率的分布模式转化为线性方程,将非线性问题转化为线性问题。通过对某类通用产品的失效数据进行统计分析,得到其在服役期间的可靠性曲线。传统的可靠性研究以相同时期内生产的同类产品为研究对象,对它们的可靠性进行研究。计算可靠性  $R(t)$  的概率分布计算如式(7)一式(9)所示:

$$N(t) = \frac{1-N}{N-N_s} \quad (7)$$

$$N_s = \sqrt{AX1^2 - BX1^2} \quad (8)$$

$$R(t) = \frac{1+N(t)}{N_s+N(t)} \quad (9)$$

不可靠度  $F(t)$  与可靠度  $R(t)$  之间的关系如式(10)一式(12)所示:

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n AX + BY \quad (10)$$

$$T = (\partial N_s + \beta N(t))^2 - 4N^2 \quad (11)$$

$$F(t) = 1 - \frac{\lambda(t) - R(t)}{N + T} \quad (12)$$

地铁通信信号的预测可研究多批同类产品可靠性的建模方法,提高其拟合与预报的有效性。同时,利用该方法,使其在后输入产品中,实时地对其进行动态校正,从而达到对其进行适应性调节的目的。利用海量的实测资料,对曲线进

行校正、反馈修正,最后得到相同工况下的实际可靠性曲线。

### 2.3 智能维护体系

(1)监测体系。通过对通信设备的功能进行调节与分割,突破体制与线之间的界限,突破各维修系统监控需各自独立的难题,构建“端-管-云”监控系统,形成一套完整的设备端到终端的实时监控(见图3)。1)终端数据的获取。通号专业可以完成道岔转辙机、计轴、列车通信控制(CBTC)、电源及机房环境等装置的信息收集与汇总;为通信专业实现音频、视频、电话、计算机、时钟同步系统,定位系统等信息的收集与汇总。2)管线的资料收集。为LTE(Long Term Evolution, Long Term Evolution)<sup>[5]</sup>、数字集群(Digital Cluster)、5G、物联网、线路有线传输、高速数据网、信息网络等管线装置实现数据的收集与汇聚。3)云数据的整合。通过云计算平台,可以对各个通信网络进行实时监控,进行跨系统的故障溯源、故障诊断和报警,为维护管理人员提供帮助。(2)业务体系。当前,部分检修工作仍以经验为主、以定性方法进行检修,存在“维修不足”“维修过剩”等资源配置不当的现象。(3)技术体系。云计算平台(Cloud Platform)系统处于线路网络层,主要承担网络中心的资源配置工作。云中心可以划分成云存储区、核心服务区、管理区域以及外部接口区域。采用数据总线,可以有效采集结构化数据、非结构化数据和实时流数据。智能解析机制可综合应用大数据、机器学习等分析方法,对大型装备进行预防性监测和动力学分析,实现故障的智能化定位和预警、故障根源分析以及业务量预测。

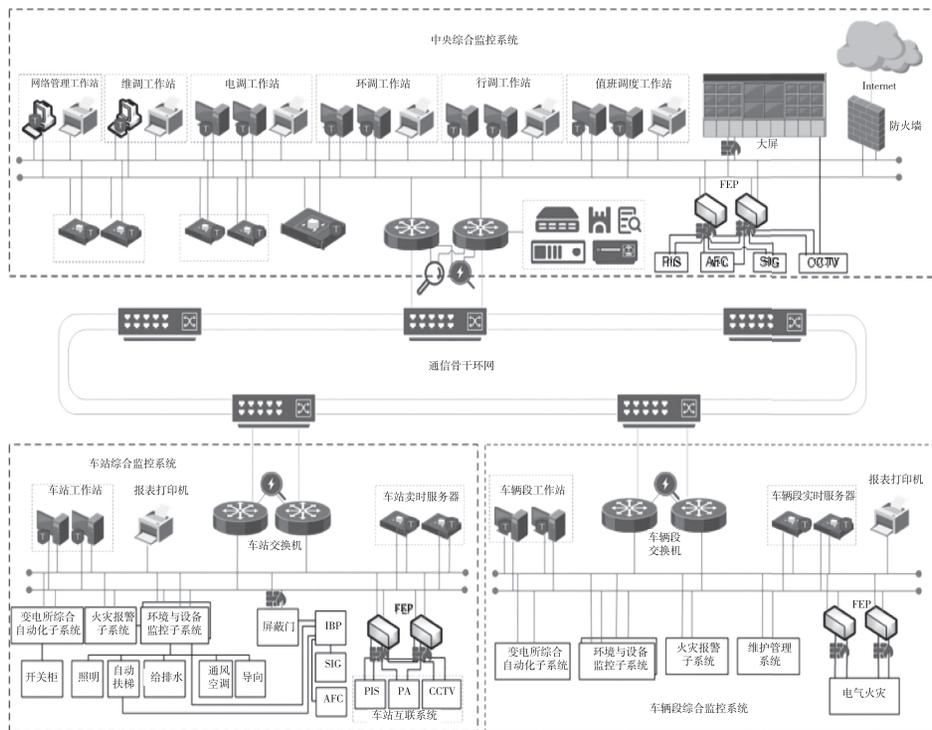


图3 地铁实时监控系统

### 3 结语

本文拟采用大数据技术来采集轨道交通系统的故障

及运行状态数据,并对其运行时间、负荷状况、故障记录等进行综合分析。通过对现有维修监控体系的分析,构建了

(下转第189页)