

基于通信的列车控制数据通信子系统的 智能诊断和预警分析

裴加富 胡恩华 林立 张吉亮

(卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 介绍了基于通信的列车控制(CBTC)数据通信子系统的维护和故障诊断现状,提出了一种数据通信子系统故障智能诊断和预警分析装置,能实现无线场强等参数指标的自动监测分析。详细阐述了该装置的各项功能,总结了其对轨道交通 CBTC 信号系统的维护和安全可靠运行带来的优势及实施效果。

关键词 数据通信子系统;智能诊断;预警分析;无线访问点;无线场强监测

中图分类号 U285.4*6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.01.018

Intelligent Diagnosis and Early Warning Analysis Based on CBTC Data Communication Subsystem

PEI Jiafu, HU Enhua, LIN Li, ZHANG Jiliang

Abstract The current situation of maintenance and fault diagnosis of CBTC data communication subsystem is briefly introduced. An intelligent diagnosis and early warning analysis device is proposed, which is able to implement automatic monitoring analysis on the parameters such as wireless field strength. Functions of the device are elaborated in detail, the advantages and implementation effects of the device applied in the safe and reliable maintenance for rail transit CBTC signaling system are summarized.

Key words data communication subsystem; intelligent diagnosis; early warning analysis; wireless access point; wireless field intensity monitoring

Author's address CASCO Signal Co., Ltd., 200071, Shanghai, China

CBTC(基于通信的列车控制)的DCS(数据通信子系统)主要由地面有线通信网络和车地无线通信网络组成。有线通信网络的监测维护主要是采用通用的网管软件为主,其设备状态监测和故障判断主要以单体设备为主,缺乏设备和子系统间故障

的关联分析,没有实现故障的智能诊断和定位;缺乏有效的预警分析机制,没有实现DCS设备关键性能指标、流量等重点参数的异常波动、突变的预警分析;缺乏有效的故障影响范围分析、故障应急处理指导,不利于用户快速修复故障。而车地无线场强监测部分,主要以手动定时监测、人工分析为主,无法实现昼夜不间断监测和自动化分析及预警。

总之,目前DCS故障诊断和维护缺乏科学的指导和有力的技术支持,故障诊断智能化程度不高、预警分析能力不足,无法实现“预防修”和“状态修”,不能及时发现故障隐患和故障定位,不利于城市轨道交通的可靠安全运营。

1 智能诊断和预警分析装置的结构及功能

基于以上现状,本文提出了DCS故障智能诊断和预警分析装置(以下简为“智能诊断预警装置”),能实时完整采集网络设备数据、自动监测车地无线场强,可以大幅提高DCS网络设备故障诊断智能化程度和隐患预警分析能力,从而有效提高CBTC信号系统的可靠性和可用性,进一步保障城市轨道交通运营的安全可靠。智能诊断预警装置整体结构图如图1所示。

1.1 设备实时监视数据的采集

1.1.1 采集DCS设备状态数据

智能诊断预警装置基于SNMP标准协议,采用DES加密和MD5认证实现DCS室内外设备的安全采集。通过SNMP协议监测采集的DCS设备主要有骨干网和分支网交换机、轨旁AP(无线访问点)、车载交换机、车载MODEM(调制解调器)等,采集范围覆盖整个DCS网络的各个通信节点,以便对DCS故障处所进行准确定位。

对交换机主要采集其运行状态、温度、CPU(中央处理器)、内存利用率、端口状态、输入输出流量、

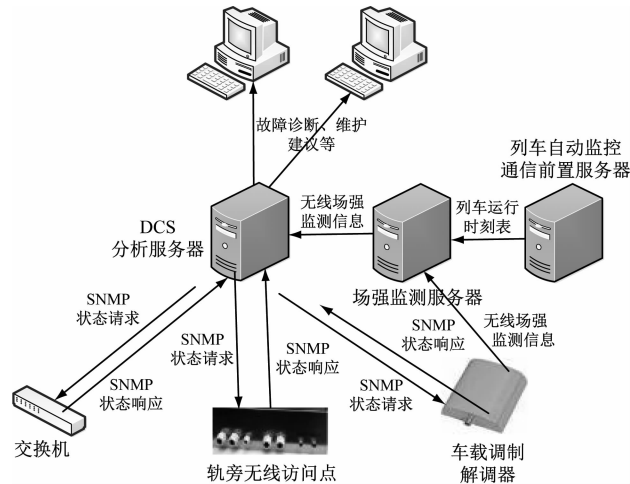


图1 智能诊断预警装置整体结构示意图

传输速率、丢包率、误码率等信息;对轨旁 AP 和车载 MODEM 等设备则主要采集其运行状态、温度、流量及场强等信息。

为确保设备状态实时监测工作不影响 CBTC 信号系统正常的数据通信,DCS 设备状态采集划分独立的 VLAN(虚拟局域网),并设置了 QoS(服务质量)限值和流量限制,从而确保设备监测采集的安全可靠,且不影响其他 CBTC 子系统的正常通信。

为了避免同一时刻有大量的采集数据,智能诊断预警装置采用分组轮询采集方式。具体分组和采集间隔时间根据线路设备数量动态计算。

1.1.2 对无线场强的实时监测

无线场强的质量,直接决定着车地通信的质量和城市轨道交通安全可靠运营。目前主要的无线场强维护方式是:首先,每周选择 1 辆测试车在运营前启动人工场强测试,并以人工分析判断为主;当车地无线通信发生故障时,由维保人员执行手动测试,再逐个环节分析。由于自动化程度和智能化程度极低,其故障诊断效率非常低。

智能诊断预警装置可有效提高对无线场强监测的自动化程度和智能化程度。首先,从列车自动监控系统获取当天线路列车运营计划;然后,根据列车运营计划,自动计算并选择运行时间最长的列车,使车载 MODEM 动态监测轨旁场强并自动向中心场强监测模块实时发送轨旁场强监测信息;最后,中心场强监测模块实时将场强信息发送给无线场强处理、分析和存储模块,从而实现对无线场强进行实时监测和分析的功能。无线场强监测和分析流程如图 2 所示。

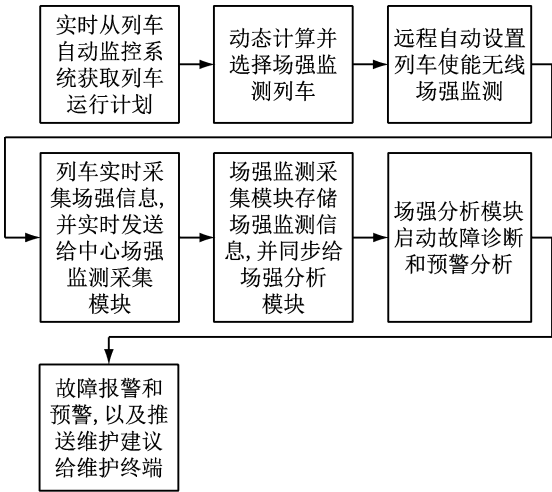


图2 场强实时监测及分析流程

1.2 故障的智能诊断方法

DCS 室内外设备彼此相连,以实现室内外各子系统以及车地通信的功能。智能诊断预警装置对 DCS 各类故障间的关联性和因果性进行深入分析,能有效分解识别故障关联性关系,形成故障逻辑链路,能准确定位根源故障。智能诊断预警装置中的 DCS 故障关联关系(如图 3 所示)主要有从属关系、因果关系及归并关系。

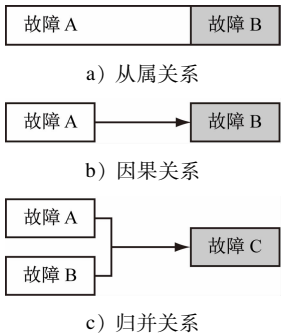


图3 故障关联关系示意图

智能诊断预警装置对存在从属关系的故障信息进行整合分析,并通过主从关联和层次关系展示出故障;对存在因果关系的故障信息进行深入挖掘分析,以准确分析故障根源,定位故障位置;对存在归并关系的故障信息进行整合,将多条故障归并为一条报警进行提示,以提高故障诊断的有效性。

智能诊断预警装置采用可视化的配置工具,按上述三种故障关联关系定义方式,建立并描述 DCS 设备间的故障关联分析模型和故障表达树,以作为故障智能诊断和关联分析的基础。

当监测到 DCS 网络设备或者系统通信发生故

障时,实时解析 DCS 设备关联分析表和故障表达树,则可以快速分析并实现故障根源搜索,从而准确定位故障处所。

对无线场强的监测中,当中心场强监测分析模块监测到场强有频繁的自切(也称为“乒乓”)、场强明显降低或没有波形等异常情况时,智能诊断预警装置会立即触发报警,结合轨旁 AP 及交换机等设备的状态进行故障关联诊断分析,进而通过故障关联分析模型和故障树来确定故障位置和故障原因。

无线场强监测可基于多辆车和多个轨旁 AP 的无线场强监测信息,来实现车地网络设备的关联分析和智能诊断。如果每辆车经过同一轨旁 AP 时都出现场强明显衰减的情况,则可判断该轨旁 AP 设备出现故障;如果一辆车经过多个轨旁 AP 时多次出现场强衰减情况,则可判断车载 MODEM 较大可能出现异常。

1.3 隐患的预警分析方法

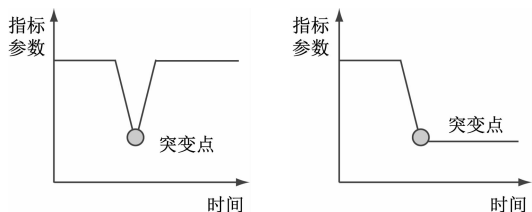
为提前发现 DCS 设备隐患,消除故障隐患于萌芽状态,智能诊断预警装置提出了针对 DCS 设备隐患的预警分析方法:对 DCS 设备的 CPU、内存、流量、误码率、温度、无线场强等关键性能参数进行分析,采用变量特征检测技术和滑动时间窗分析技术,实现了对基于 DCS 设备关键性能指标和相关运行参数的异常波动、突变分析及超限情况发出预警。该预警分析方法可提前发现 DCS 设备故障隐患并预警,提示 DCS 班组维护人员及时查找并消除设备隐患,是实现从“计划修”到“状态修”的必要条件。针对不同类型异常数据的预警分析各有不同。

1.3.1 数据突变的预警分析

关键性能指标或参数突变是常见的现场数据异常,可作为 DCS 设备发生故障或通信异常的前兆。智能诊断预警装置可检查并捕捉 DCS 设备关键性能指标和参数(包括无线场强信息)的突变过程。突变分析主要是通过对相邻时间点的参数值进行比较判定,如果数值差异大于设定的阈值且不在正常范围时,则判定为参数突变。图 4 中的短时向下脉冲式变化,对于及时发现隐患、发出预警具有重要的意义。

1.3.2 数据异常波动的预警分析

关键性能指标或参数的异常波动也是常见的数据异常。通常数据的异常波动都是由设备的潜在故障引发的。智能诊断预警装置通过分析完整



a) 指标或参数突降后恢复 b) 指标或参数突降后不恢复

图 4 关键性能指标和参数突变示意图

的采集数据,能捕捉并判断关键性能指标或参数不同幅度的异常波动,从而及时提醒用户进行设备隐患的预防。异常波动数据分析主要是对一段时间内的突变数量进行统计分析。当突变点的数量超过一定数量时(如图 5 所示),则智能诊断预警装置发出异常波动预警,提醒用户进行检修。

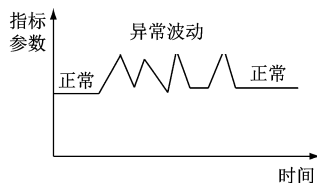


图 5 异常波动示意图

1.3.3 数据趋势异常的预警分析

如果 DCS 无线场强强度逐步衰减,或设备关键性能指标及流量等逐步上升,也会给 CBTC 系统的正常通信带来安全隐患。检查并判断 DCS 关键性能指标和参数的持续变化趋势,可以有效防止持续恶化的设备特性变化。趋势变化分析主要有两个难点:① 趋势变化程度的定义不同,趋势下降是指理论上的每个点都持续下降,或者可以有少数点上升、不变后再下降;② 是趋势变化受制于分析数据的时间范围,有些指标在 1 d 之内有明显的趋势变化,但从一周来看又没有明显趋势变化。智能诊断预警装置主要采用 24 h 趋势变化预警方法和 30 d 趋势变化预警方法。24 h 趋势预警方法以 1 h 为滑动窗口观察参数变化,并比较其前 24 h 内的最大值及最小值,一旦超过阈值且没有短时波动报警,则发出 24 h 长期趋势报警。30 d 趋势预警方法以 1 d 为滑动窗口观察参数变化,比较其前 30 d 内的最大值及最小值,一旦超过阈值且没有短时波动及 24 h 趋势报警,则发出 30 d 长期趋势报警。

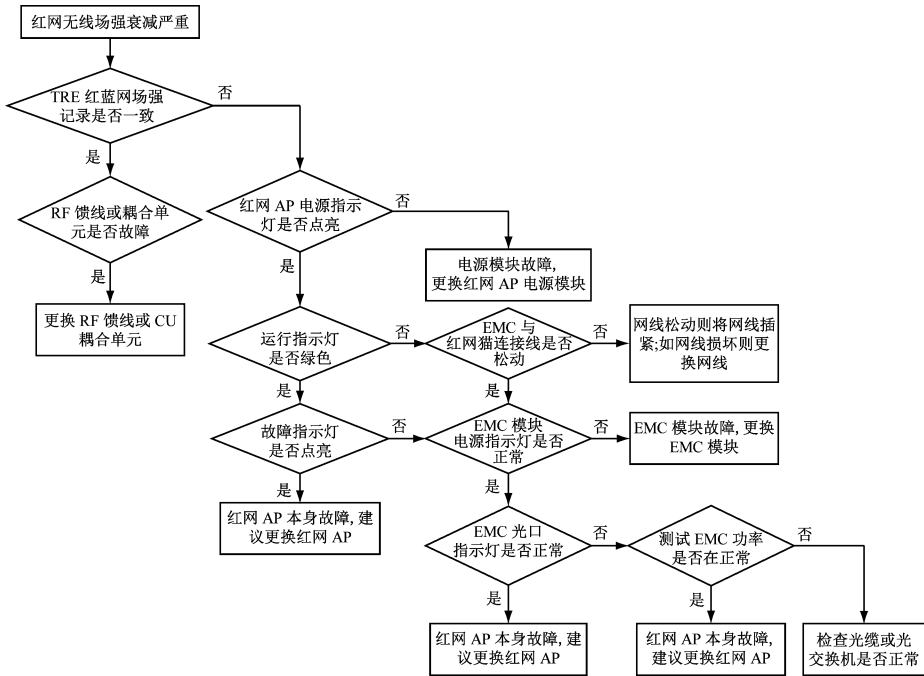
1.4 智能维护

为了方便维保部门有针对性地对有故障或隐患的 DCS 设备进行状态修或预防修,智能诊断预警装置根据 DCS 设备实际运行状态和健康质量情况,按日、周、月等周期生成 DCS 故障维护建议报告,以

便维保部门科学合理地安排设备检修计划,避免过度修,提高维护效率,实现减员增效。

为了在发生故障时压缩故障处理延时,降低故障影响范围,智能诊断预警装置为每类 DCS 故障和预警都提供了智能维护建议和故障处理流程指导。

其中,无线场强异常时的处理指导流程如图 6 所示。抢修或维护人员只需按照智能诊断预警装置提供的维护流程即可完成故障处理,不仅可大幅提高故障抢修和日常维护效率、压缩故障处理延时,也可大幅减少 DCS 核心技术维护人员的工作量。



注: TRE 为轨旁无线设备; RF 为射频; CU 为控制单元; EMC 为机电设备监控

图 6 红网 AP 无线场强异常时的处理指导流程图案例

2 优势及实施效果

智能诊断预警装置采用基于 SNMP V3 安全协议实现了 CBTC 数据通信系统设备完整的监测采集,为故障智能诊断和预警分析提供了全面的数据基础。可以为 DCS 设备维护人员的日常维护提供有效的技术支持和智能维护建议,大幅度减轻信号维护人员的劳动强度,降低对高素质 DCS 维护人员的依赖,降低 DCS 的维护成本,提高 DCS 的维护管理质量和效率。

智能诊断预警装置提出了基于列车自动监控系统时刻表的动态使能无线场强监测功能,实现了车地无线场强的实时和不间断监测,大幅提高了无线场强监测和分析的自动化程度,极大提高了 DCS 监测分析的自动化程度和维护效率。从而有效地提高城市轨道交通运营效率和安全性。

智能诊断预警装置已经在上海轨道交通部分线路试点应用。试点应用结果表明:该装置实现了数据通信设备的集中监控,改变了以往分散值守和

室内外设备巡检的模式;通过故障智能诊断功能大幅压缩了故障处理延时,降低 5 min 晚点率;通过预警分析功能,改变了传统的计划检修模式,逐步向状态修、预防修的主动维修模式转变;通过场强自动监测分析方式代替了人工手动监测和分析作业,有效提高了场强监测效率、降低了维护人力,提高了维护作业的自动化程度。

DCS 还可以与列车自动控制子系统、列车自动监控子系统、联锁子系统等进行深入的跨系统协同关联分析,进一步提升信号设备维保工作的自动化和智能化水平,可在城市轨道交通信号设备维保和安全运营中发挥更重要的作用。

参考文献

[1] 周庭梁,张兵建. 地铁的信号维护支持系统[J]. 城市轨道交通研究,2010(8):101.

[2] 冯晓军,胡恩华. ATC 系统的智能诊断维护方案探讨[J]. 电气化铁道,2014(6):31.

(收稿日期:2018-05-03)