

城市轨道交通列车故障诊断与自动处置系统的研究^{*}

彭 辉 张群慧

(湖南科技职业学院人工智能学院, 410004, 长沙//第一作者, 讲师)

摘 要 基于现有城市轨道交通列车故障诊断系统存在的不足,通过对列车故障的原因及故障处置步骤进行分析,设计了一种列车故障诊断与自动处置系统。该系统能准确地判断故障的来源,并能够提示司机如何处理已经发生的故障。以故障诊断和故障应急处置功能为例,验证了该系统的可靠性和实用性,并对应急故障的自动化处置做了初步构想。

关键词 城市轨道交通; 列车故障诊断与自动处置系统; 应急故障诊断

中图分类号 U284.92; TP277

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.038

Research on Fault Diagnosis and Automatic Processing System of Urban Rail Transit Train

PENG Hui, ZHANG Qunhui

Abstract Based on the shortcomings of the existing urban rail transit train fault diagnosis system, through analyzing the causes of train fault and the steps of fault disposal, a train fault diagnosis and automatic disposal system is designed. It can not only accurately determine the source of the fault, but also notify the driver about how to deal with it. Taking the functionality of fault diagnosis and emergency disposal as example, the reliability and practicability of the system is verified, and preliminary assumption is made for the automatic disposal of faults.

Key words urban rail transit; train fault diagnosis and automatic disposal system; emergency fault diagnosis

Author's address School of Artificial Intelligence, Hunan Vocational College of Science and Technology, 410004, Changsha, China

为了减少和预防故障发生,国内各个城市的地铁公司采取了多种有效措施:①加强对地铁车辆的日常检查和维护,定期对车辆的重要部件进行检查和更换,防止故障发生;②开发和部署地铁实时监控系統,实时掌控列车运行情况,对潜在的故障进

行预测,对已发现的故障及时进行处理,其中最具代表的系统,包括专家系统和智能运维系统;③通过加强对司机的培训,提高司机的故障判断能力和故障处理水平。以上措施虽然取得了一定成效,但当故障发生时,如何快速解决当前故障,主要取决于司机的经验^[1]。为了让司机掌握列车的故障情况,每列列车的网络控制系统都具有显示当前列车故障的功能。但这种故障显示仅起到提醒作用,不便于司机开展应急处理。

为了使列车故障判断更加准确,提升故障处置效率,本文设计了一种列车故障诊断与自动处置系统。

1 列车故障诊断系统存在的问题

1.1 车载网络控制系统

车载网络控制系统是地铁列车的核心控制单元,它通过以太网和 MVB(多功能车辆总线)方式与其他车载设备进行通信。因以太网控车技术起步较晚,目前大部分列车都使用 MVB 作为控制车载设备的通信方式^[2],而辅以使用以太网作为信息化通信方式。

车载网络控制系统通过发送控制指令、收集车载设备状态、检查故障状态来实现其控制功能。一方面,司机通过操作网络控制系统 HMI(人机界面)将控制指令下发给车载设备,让车载设备按指令要求进行工作。另一方面,网络控制系统 PHM(故障预测与健康管理)模块收集各车载设备的工作状态信息,并根据其状态数据进行故障诊断。PHM 模块的诊断结果由 HMI 进行展现,以提醒司机进行故障处理^[3]。

车载网络控制系统能诊断出车载故障,但是它无法指导司机进行故障处置。HMI 上的每条故障,都需要司机根据已有经验和知识进行排除,处置效

^{*} 2019 年湖南省社会科学成果评审委员会课题(XSP19YBC189);湖南科技职业学院课题(KJ20219)

率不高。

1.2 故障专家诊断系统

故障专家诊断系统是根据专家的知识 and 经验来对车载数据进行检测,以判断是否有故障发生,并在故障发生情况下给出故障处理意见。故障专家诊断系统由两个子系统组成:

- 1) 车载数据中继系统:它负责将车载各个设备的实时数据转发给地面数据处理中心;
- 2) 地面专家系统:它通过分析地面数据处理中心的数据,对列车状态给出专家诊断结果,并在故障情况下,给予专业的故障处理意见。

故障专家诊断系统固然能对故障给出专业的处置意见,但这种处置意见不能及时地反馈给值乘司机以指导司机进行应急操作。

2 列车故障诊断与自动处置系统

本文设计的故障诊断与自动处置系统是一种专门用来对城市轨道交通列车进行应急故障诊断及指导司机进行故障处理的车载应用系统。对比文献[4]介绍的一种智能地铁车载应急处置系统,

本系统摆脱了对车载数据处理中心的依赖,有如下优势:① 由 1 个终端设备替代了数据处理中心和智能人机交互装置,部署更加方便、快捷;② 简化软件架构设计,系统可靠性更高;③ 直接读取 MVB 端口数据,数据采集与处理的实时性更高,便于应急故障的自动化处置设计;④ 融合自动化处置方案,通过系统设置,既支持应急故障的人工处置,也支持应急故障的自动化处置,以缩短处置时间。

列车故障诊断与自动处置系统由 IITU(智能交互终端设备)和配套的软件组成。IITU 的硬件配置与网络控制系统 HMI 显示屏硬件一致,且支持图形化界面显示,具有触摸交互功能。该系统进行部署时,要求在列车两侧的司机室分别安装 1 个 IITU。IITU 通过 MVB 接入到列车数据网络,用于获取各车载设备的 MVB 实时数据。两侧司机室的 IITU 通过以太网互联,便于两个设备间的信息交互。

因城市轨道交通列车以 3~8 节编组进行拓扑设计,故 IITU 在不同列车上的部署拓扑不完全相同。以 6 节编组为例,车载网络拓扑及 IITU 所在位置如图 1 所示。

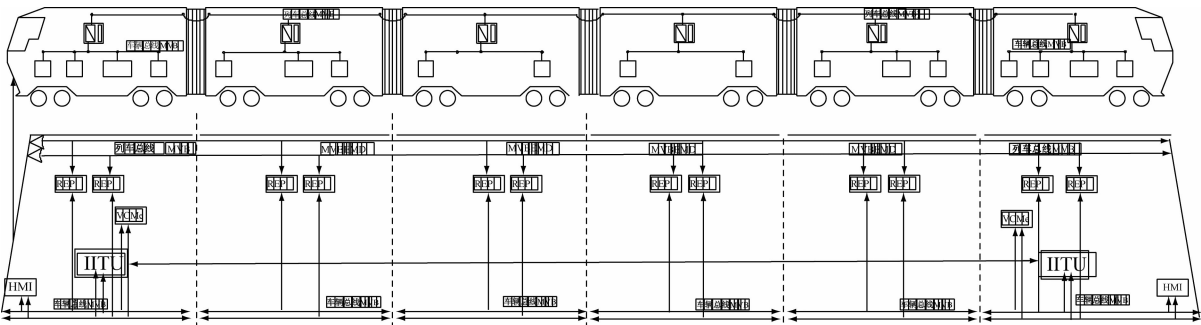


图 1 列车故障诊断与自动处置系统拓扑简图
Fig. 1 Topology diagram of train fault diagnosis and automatic disposal system

IITU 的软件功能由两部分组成:① IPHM(智能交互终端故障预测与健康管理)子模块负责根据 MVB 数据进行故障的实时诊断、故障处置步骤切换及应急处理信号的感知与检测;② IHMI(智能交互终端人机界面)子模块负责故障的显示、故障处理动作指导及处理步骤的显示。IITU 软件架构如图 2 所示。

2.1 应急故障诊断模块

IITU 的故障诊断与网络控制系统的故障诊断有所不同,其是对列车综合工况进行分析和判断,对较为紧急的、影响车辆运维的故障进行诊断,并将诊断结果进行本地保存,以此指导司机进行故障

处置。

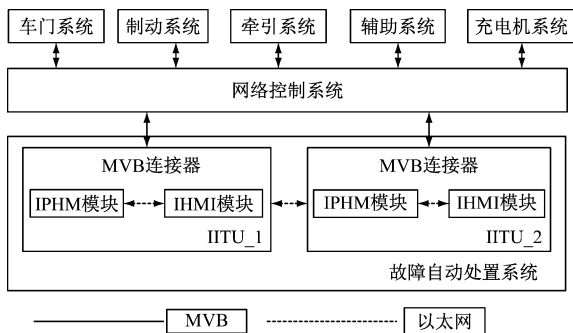


图 2 IITU 软件架构图
Fig. 2 Architecture diagram of IITU software

本文选取一些会导致清客的重大故障进行故障诊断和应急指导。为此,需对所处理的故障做必要选择,具体步骤如下:

- 1) 根据故障产生的源头对故障进行分类组合,得到几个大类的故障。
- 2) 从大类故障中提炼具体故障,减少故障间的干扰。例如,可将制动无法缓解的故障细分为停放制动无法缓解、紧急制动无法缓解等具体故障。
- 3) 根据选取的具体故障,按故障可能发生的原因制定应急处理措施。在处理措施中,有些处理步骤可以被监控,有些处理步骤暂时无法监控,分别将其列入到应急处理步骤列表。

ITU 的故障诊断功能由 IPHM 子模块来实现。IPHM 模块负责根据具体的故障逻辑进行故障诊断,并将诊断后的结果通告给 IHMI 子模块显示,提示司机进行应急故障处理。

以“紧急制动无法缓解”为例,说明故障诊断的过程。该故障发生的条件与列车方向信号、网络及信号系统状态有关^[5]。该故障诊断涉及到的 MVB 端口见表 1。

表 1 “紧急制动无法缓解”故障 MVB 信号
Tab.1 Fault MVB signal of 'emergency braking unable to relieve'

名称	MVB 端口	说明
网络紧急制动	DXMe2	系统施加紧急制动
信号系统紧急制动	DXMe1	ATC 紧急制动
列车速度	PHM	速度为 0 表示静止
列车完整性	PHM	DIM 完整性正常
列车方向	DXMe1	向前或向后
列车紧急制动状态	DIMe1	列车紧急状态

该故障诊断的逻辑见图 3。

IPHM 模块周期性地将所有故障的诊断结果报送给 IHMI 模块。IHMI 对收集到的故障信息进行综合处理,将未消除的故障以列表形式在 ITTU 屏幕上显示。当司机按下 ITTU 屏幕上的故障处置图标后,开启应急处置流程。

2.2 应急故障的自动化处置

导致列车发生某个故障的原因有多种。根据多种可能原因将应急故障处置流程划分为 M 种大步骤;在每一个大步骤内,可能有 N 种小步骤,每个小步骤都可归类于信号可感知的操作或不可感知的操作^[4]。信号可感知的操作步骤是指司机的应

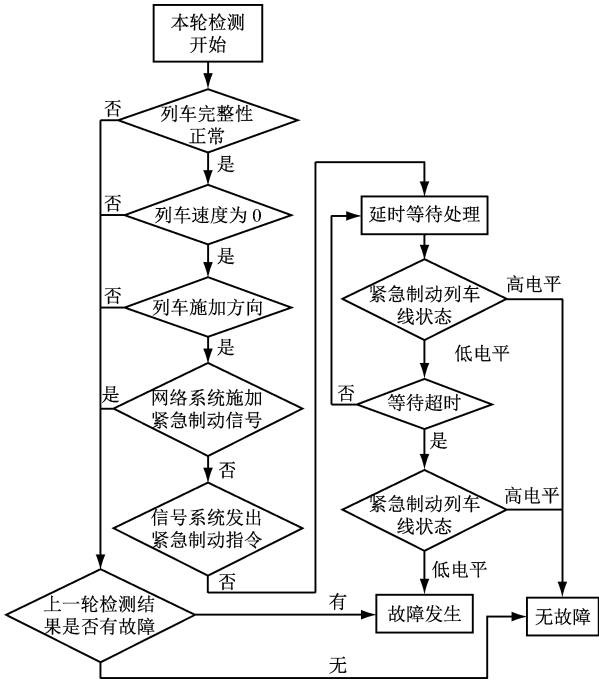


图 3 “紧急制动无法缓解”故障诊断流程
Fig.3 Fault diagnosis procedure of 'emergency braking unable to relieve'

急处置操作可以通过 MVB 数据信号监测到的操作步骤。所有的操作步骤都以配置文件的方式预先加载到该系统中。

在故障应急处置过程中,IPHM 模块主要用于检测可感知步骤所对应的 MVB 信号点位值是否满足处置条件。当信号满足条件后,系统会通知 IHMI 切换至下一个操作步骤。对于不可感知的步骤,需要司机确认后,手工操作 IHMI 屏幕将应急切换至下一个操作步骤。IPHM 和 IHMI 模块间的信息交互过程,如图 4 所示。

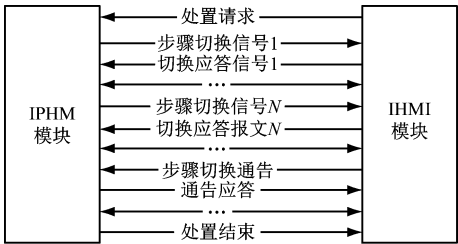


图 4 ITTU 应急处置模块交互图
Fig.4 Diagram of ITTU emergency disposal module interaction

以“紧急制动无法缓解”故障为例,来说明应急故障处置步骤的设计。该故障的处置步骤见表 2。

在故障处置界面中,每个处置大步骤都用独立的页面进行显示,每个大步骤下的小步骤都对应 1

表 2 应急故障的处置步骤

Tab.2 Disposal procedure of emergency fault				
大步骤	小步骤	应急处置步骤描述	信号是否感知	应急处置操作说明
1	①	断开主控钥匙	是	按提示操作
	②	合上主控钥匙	是	按提示操作
2	①	切除 ATP	是	按提示操作
	②	切回 ATP	是	按提示操作
3	①	空开合上	否	按提示操作
4	①	根据网络系统提示,确定触发紧急制动的原因	否	根据故障原因切换至大步骤 5、6、7、8
5	①	复位紧急制动按钮	是	若故障原因是紧急制动按钮拍下,按步骤①操作
	②	升弓	是	若故障原因是紧急制动按钮拍下,按步骤②操作
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
9	①	启用紧急制动旁路	是	大步骤 5、6、7、8 操作无效
	②	操作手柄至牵引位	是	大步骤 5、6、7、8 操作无效
10		如果故障仍然无法消除,申请救援	否	人工操作

个具体操作项。当 ITTU 屏幕页面进入到 1 个大步骤处置界面后,与之对应的“处理步骤”图标(“□”或“○”)会显示选中状态;当完成 1 个小步骤的操作时,与之对应的“○”图标会显示选中状态,否则显示未选中状态(见图 5)。

对于可感知的处理步骤,既支持人工处置方式,也支持自动处置方式。

1) 人工处置方式由司机按照 ITTU 屏幕的提示进行相关操作。通过触发列车 MVB 信号值变化,以满足当前处置步骤对应的 MVB 信号点位值要求。

2) 自动处置方式。当 IITU 的 IPHM 模块检测到当前处置步骤对应的 MVB 信号点位值不满足要求时,向对应的车载设备(网络控制系统或其他车载设备)发起 MVB 信号值切换请求,具体流程如下:① 由 IPHM 发起当前步骤的 MVB 信号点位值切换请求给对应的车载设备;② 对应的车载设备收到信号点位切换请求后,在确认合法的情况下,响应该请求并通过 MVB 发出调整后的信号点位值;③ IPHM 周期性地检查当前步骤的 MVB 信号点位值,当信号点位值满足当前步骤的处置条件后,应

急处置步骤切换到下一个步骤;④ 若 IPHM 检查到当前步骤的 MVB 信号点位值一直不满足故障处置要求且超过规定时间,则通告 IHMI 模块,并提示司机进行人工干预。

“紧急制动无法缓解”故障可感知处理步骤的显示页面如图 5 所示。



图 5 应急故障可感知处置步骤提示图
Fig.5 Notification of emergency fault tangible disposal procedure

当自动处置过程超时后,提醒司机进行手工操作的界面如图 6 所示。



图 6 应急故障自动处置超时提示图
Fig.6 Notification of emergency fault automatic disposal overtime

对于不可感知的步骤,则需要司机进行人工干预。司机确认无误后,再进入下一步应急步骤,此时显示页面见图 7。



图 7 应急故障不可感知处置步骤提示图
Fig.7 Notification of emergency disposal intangible disposal procedure

根据上述分析,IITU 应急故障的自动化处置流程见图8。

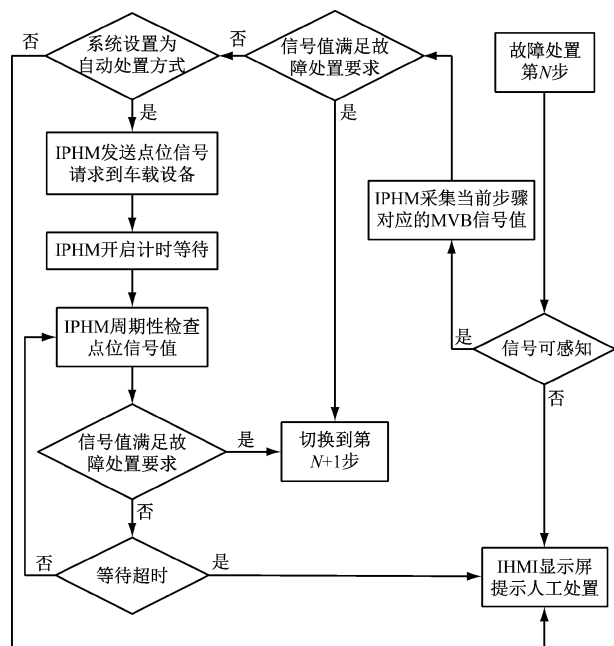


图8 应急故障自动化处置流程

Fig. 8 Procedure of emergency fault automatic disposal

列车每个故障的所有应急处置步骤都按上述流程进行处理,最终达到对应急故障的自动化处置。

3 结语

要实现列车应急故障的自动化处置,除了本系统设计的功能外,后续还需解决应急操作的对象为机械开关时的自动化操作问题,以及车载设备响应信号点位值切换请求时,列车信号和车载设备状态

不一致的问题。因此,列车故障诊断与自动处置系统还需进一步优化。

参考文献

- [1] 刘志刚,胡华,黄远春,等.城市轨道交通应急调度指挥系统的现状及发展趋势[J].城市轨道交通研究,2012(12):5.
LIU Zhigang, HU Hua, HUANG Yuanchun, et al. Emergency dispatch and command system of urban rail transit: current status and development trend[J]. Urban Mass Transit, 2012(12):5.
- [2] 高杰,李文正.新型轨道车辆网络控制系统设计与应用[J].铁道机车车辆,2019(1):118.
GAO Jie, LI Wenzheng. Design and application of new type train network control system for rail vehicles[J]. Railway Locomotive & Car, 2019(1):118.
- [3] 张波.轨道交通装备故障预测与健康管理系统分析[J].城市轨道交通研究,2019(5):175.
ZHANG Bo. Analysis on the prognostic and health management system of rail transit equipment[J]. Urban Mass Transit, 2019(5):175.
- [4] 文林,张轶,彭辉,等.一种智能地铁车载应急处置系统[J].控制与信息技术,2019(5):63.
WEN Lin, ZHANG Yi, PENG Hui, et al. An intelligent on-board emergency disposal prompt system for metro trains[J]. Control and Information Technology, 2019(5):63.
- [5] 肖广明.AC16电动列车紧急制动故障的产生原因及处置[J].现代制造技术与装备,2017(2):135.
XIAO Guangmin. Causes and disposal of emergency braking fault of AC16 electric train[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2017(2):135.

(收稿日期:2020-05-08)

(上接第194页)

- CAI Xuan, WANG Changlin, LIN Ying. Train idling/sliding detection and adjust method based on multiple sensors[J]. Urban Mass Transit, 2015(1):22.
- [7] 吴昕慧,蔡煊,陶汉卿.基于多传感器的列车里程计定位误差检测及校正方法[J].城市轨道交通研究,2016(5):19.
WU Xinhui, CAI Xuan, TAO Hanqing. Detection and correction method of train odometer positioning error based on multi-sensor system[J]. Urban Mass Transit, 2016(5):19.
- [8] 蔡建峰.城市轨道交通车辆打滑对信号系统的影响[J].城市轨道交通研究,2017(8):74.
CAI Jianfeng. Impact of train slips on urban rail transit signaling

system[J]. Urban Mass Transit, 2017(8):74.

- [9] 刘培顶,陈荣武.基于速度传感器的测速定位算法研究[J].铁路计算机应用,2016(2):50.
LIU Peiding, CHEN Rongwu. Algorithm for speed measurement and positioning based on speed sensor[J]. Railway Computer Application, 2016(2):50.
- [10] 董松.城市轨道交通自动化车场库内股道长度的分析[J].都市快轨交通,2019(3):97.
DONG Song. Track length of automatic depot for urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019(3):97.

(收稿日期:2021-07-12)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com