

安全输入输出平台在深圳龙华现代有轨电车 道岔控制器中的应用

董高云 王建涛 陈宜航

(卡斯柯信号有限公司,200071,上海//第一作者,正高级工程师)

摘 要 简述了 VIOP(安全输入输出平台)的架构,对双系冗余 VIOP 的系统接口、模块组成、内外部通信连接状况,以及通过 VIOP 的双系热备 AM(采集模块)实现对同一继电器节点状态的分时采集原理,通过双系热备 DM(驱动模块)实现双断驱动原理等关键技术进行了介绍。简述了 VIOP 的整体冗余网络架构以及 VIOP 诊断维护功能。重点对采用 VIOP 的 iLOCK-200T 型道岔控制器在深圳龙华现代有轨电车示范线项目 SmarTram 信号系统中的应用情况进行了介绍。描述了龙华现代有轨电车大和站的 1 个主逻辑单元带多个 VIOP 的架构配置情况和工作原理。对后续 VIOP 迭代的技术方案进行了展望,指出未来可以考虑通过远程更新、网络通信远程部署等方式降低成本,实现道岔控制器的精简与高效控制。

关键词 现代有轨电车;道岔控制器;安全输入输出平台

中图分类号 U284.72*3;U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.035

Application of VIOP Platform in Switch Controller of Shenzhen Longhua Modern Tram

DONG Gaoyun, WANG Jiantao, CHEN Yihang

Abstract The architecture of VIOP (vital input/output platform) is introduced briefly. Some key technologies are introduced, including dual-system redundant VIOP system interface, module composition, internal-external communication connection status, time-sharing acquisition principle of the same relay node states realized through VIOP dual-system hot-standby AM (acquisition module), and dual-break drive principle realized through dual-system hot-standby DM (drive module). The whole redundant network architecture of VIOP and VIOP diagnostic maintenance function are briefly introduced. Then the application of iLOCK-200T switch controller with VIOP in SmarTram signaling system of Shenzhen Longhua Modern Tram Demonstration Line project is emphatically introduced. The architecture configuration and working principle of one main logic unit with multiple VIOP at Longhua Modern Tram Dahe Station are described. The technical

scheme of the next VIOP iteration is prospected. It is pointed out that the cost can be reduced by remote updating and network communication remote deployment in the future, realizing simple and efficient control of switch controller.

Key words modern tram; switch controller; vital input/output platform

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

VIOP(安全输入输出平台)是卡斯柯信号有限公司自主研发的一种软硬件一体化且达到了铁路信号最高安全等级——SIL4 级(安全完整性 4 级)的通用系统级安全平台^[1]。该平台采用符合 BS EN 50129:2013 的安全技术,能够检查出软、硬件失效并将系统导向安全侧,从而保证了输入和输出的安全性。该平台主要作为各类有安全输入输出要求的铁路信号安全产品(如计算机联锁、车站列车控制中心等)的应用平台。各个不同的安全产品若采用统一的 VIOP,可以避免重复开发,节省研发成本,缩短研发周期。该平台可以实现输入输出的通用化和平台化,同时能够实现逻辑运算部分和 I/O(输入/输出)部分的分散部署,提高了安全产品在现场部署和应用的灵活性。

有轨电车正线的道岔控制子系统又称道岔控制器,它是有轨电车信号系统的核心子系统。该子系统可以同时接收并处理来自控制中心、车载和轨旁设备进路命令,主要具有正线岔区进路信号机、道岔和进路的安全管理等功能。

卡斯柯信号有限公司新研发的 iLOCK-200T 型道岔控制器的主逻辑运算单元采用了自主研发的二乘二安全计算机平台 CVC-200T,输入输出单元则采用了 VIOP。采用 VIOP 的该型道岔控制器成功应用于深圳龙华现代有轨电车项目中。

本文介绍了 VIOP 输入输出平台的架构及其在

iLOCK-200T 型道岔控制器中的工作原理,描述了采用 VIOP 的 iLOCK-200T 型道岔控制器在深圳龙华现代有轨电车示范线项目的 SmarTram 信号系统中的应用情况。结合近 3 年来的运营情况来看,VIOP 在深圳龙华现代有轨电车信号系统中运行稳定、工作状态良好。

1 VIOP 的架构及其关键技术

VIOP 是卡斯柯信号有限公司自主研发的一种 SIL4 级通用安全输入输出平台。该平台通过软件编码技术降低硬件设计复杂度,从而降低硬件成本,同时采用基于相异、自检技术的非编码技术和二取二架构来保证系统安全和运行稳定性。VIOP 可以作为通用的 I/O 模块,通过不同的配置灵活应用于有轨电车道岔控制器、国铁和城市轨道交通计算机联锁、国铁车站列车控制中心等不同的安全产品中。采用 VIOP 可避免重复开发,节省研发成本,缩短研发周期。图 1 和图 2 分别为双系冗余的 VIOP 架构图和系统接口图。

由图 1 和图 2 可知:双系冗余的 VIOP 的每一系均由 CPM(通信处理模块)、AM(采集模块)和 DM(驱动模块)组成。3 个模块在 1 个系统机笼内,CPM 与 AM、DM 通过 BP(背板)上的 CAN(控制器局域网)进行内部通信,与 MCC(主控计算机)和 SDM(诊断维护)系统通过冗余网络进行外部通信,其采集模块和驱动模块通过电缆与继电器连接。220 V 市电通过电缆连接到系统的电源模块,由电源模块给系统供电。双系冗余的 VIOP 之间未采用多数主备冗余系统使用的切换单元进行主备切换,而是采用了双系 CPM 之间的软件通信来进行主备管理,并与外界进行网络通信。整个系统采用 2 乘 2 取 2 架构,冗余的 AM 同时采集同一继电器的不同接点,冗余的 DM 同时驱动同一继电器的不同线圈。

CPM 主要负责初始化阶段的读取配置,接收 MCC 的驱动命令,并把配置信息和驱动命令传送给从板卡;将从板卡的采集信息传给 MCC,并将从板卡的维护信息上传给维护设备。CPM 为上层应用提供函数接口,用户可以根据需要开发一些简单的应用程序。

双系热备的 AM 以分时方式采集同一个继电器不同节点的状态,AM 上的 CPU1(中央处理器 1)和 CPU2(中央处理器 2)采到的是由采集模块硬件电路所生成的代表继电器节点开闭状态相异的 32 位冗余编码数据。AM 通过特有的安全通信协议将采集到的双通道冗余编码发给 CPM。

双系热备的 DM 分别控制同一继电器的不同线圈,DM 的 2 个 CPU 获得驱动命令后,进行双通道一致性比较,并根据比较结果控制驱动电路,以实现双断驱动。

图 2 中,VIOP 的 CPM 由负责采集的 EIOCOM-1 和负责驱动控制的 EIOCOM-2 共同组成。各个车站的 VIOP 均通过 VIIB32-E 采集现场设备的状态,且热备的双系采集板可以采集同一个继电器的不同节点状态。每块 VIIB32-E 的双 CPU 可以分别采集现场 32 个节点的双通道状态,并通过安全协议将采集到的 32 位冗余码通过 CAN 总线发给 EIOCOM-1。EIOCOM-1 对双通道的一致性对比后,再将比较结果一致的码位通过安全通信协议经由网络上传给 MCC(CVC-200T 构成的逻辑处理单元)进行逻辑处理,最终的处理结果由 MCC 采用安全通信协议经由网络发给 CPM 的 EIOCOM-2。该板

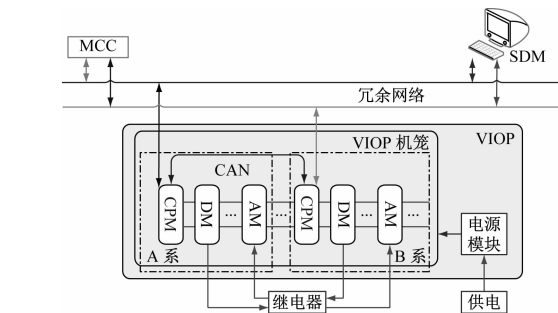
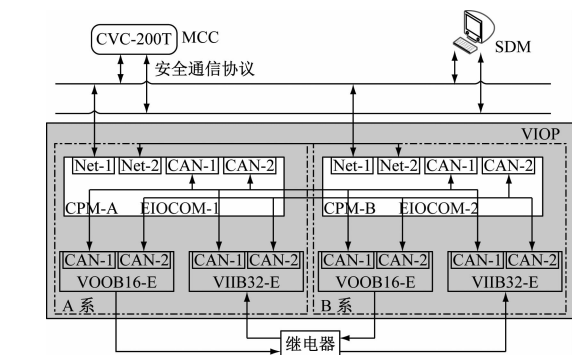


图 1 双系冗余的 VIOP 架构图

Fig. 1 Architecture diagram of dual-system redundant VIOP



注: EIOCOM-1、EIOCOM-2 为采集控制板; VIIB32-E 为采集板; VOOB16-E 为驱动板; NET-1、NET-2 为冗余网络。

图 2 双系冗余的 VIOP 系统接口图

Fig. 2 System interface diagram of dual-system redundant VIOP

先解析从 MCC 收到的双通道驱动消息,通过进行双通道一致性比较得到驱动命令;再通过 CAN 协议传给 DM 的 VOOB16-E,完成 16 路节点的驱动操作。整个过程中,仅主机通过 2 个冗余网络由 MCC 收发消息,备机仅作为转发消息的 IP(互联网协议)路由。此外,在 VIOP 运行过程中,还可以实时采集和记录各个硬件模块板卡的运行状态。这些维护信息可以通过网络上传给 SDM,用于实时监控 VIOP 的运行情况,并且在现场发生故障时做出相应的诊断分析。

2 VIOP 在龙华现代有轨电车道岔控制器中的应用

深圳市龙华新区现代有轨电车示范线(以下简称“龙华有轨电车示范线”)是我国第一条采用 BOT(建设-经营-转让)模式进行项目建设的有轨电车工程^[2]。该示范线全长约 11.7 km,共设车站 20 座,线路最高运行速度为 70 km/h。龙华有轨电车示范线于 2017 年 6 月 29 日开始试运行,并于 2017 年 10 月 28 号开通载客试运营,客运量突破 3 万人次/d,至今已稳定运行超过 3 年。

龙华有轨电车示范线信号系统采用的是卡斯柯信号有限公司研发的 SmarTram 系统^[3-4]。其中,正线道岔控制子系统是 SmarTram 系统的核心子系统,主要承担正线岔区进路信号机、道岔和进路的安全管理、信号管理、外部接口管理及维护诊断等功能。由于道岔控制器需要操作和控制信号机、道岔等安全信号设备,因此必须采用 SIL4 级的安全系统且具备安全的驱采控制功能,而 VIOP 能够满足道岔控制器所需要的安全 I/O 驱采控制。图 3 为龙华有轨电车示范线 iLOCK-200T 型正线道岔控制子系统的外部接口图,图 4 为其内部架构图。iLOCK-200T 型正线道岔控制子系统主逻辑单元采用了卡斯柯信号有限公司自主研发的 CVC-200T 平台,其驱采单元采用了 VIOP。根据项目需求将逻辑和驱采部分集中部署或分散部署,可以实现其与轨旁信号机、转辙机以及 ATP(列车自动防护)信标的全电子化接口。VIOP 可以在 -40~70℃ 环境下正常工作。

龙华有轨电车示范线全线正线道岔控制器的布置见图 5。整条正线线路上共有 8 个车站(见图 5)布置了道岔控制器。除大和站外,每个道岔控制器均由 1 个 CVC-200T 安全计算机构成的主逻辑单

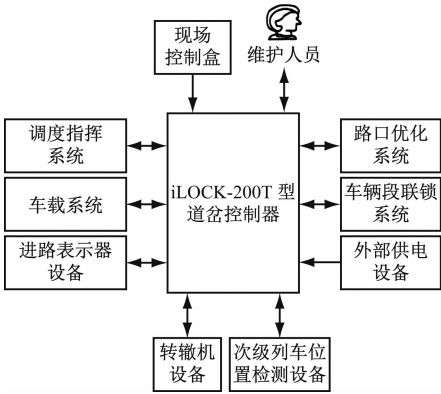


图 3 龙华有轨电车示范线 iLOCK-200T 型正线道岔控制子系统接口图

Fig. 3 Interface diagram of iLOCK-200T main line switch controller sub-system on Longhua Tram Demonstration Line

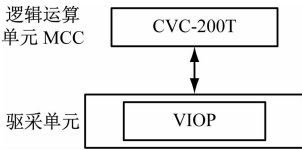
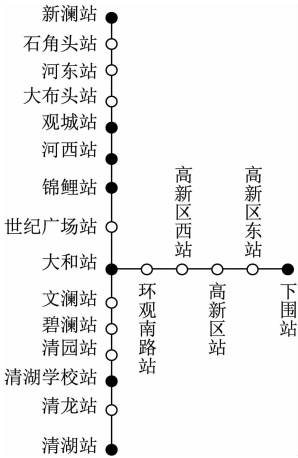


图 4 龙华有轨电车示范线 iLOCK-200T 型正线道岔控制器内部架构图

Fig. 4 Internal architecture diagram of iLOCK-200T main line switch controller sub-system of Longhua Tram Demonstration Line



注：●代表该车站布置了道岔控制器；○代表该车站未布置道岔控制器。

图 5 龙华有轨电车示范线正线道岔控制器布置图

Fig. 5 Station layout diagram of switch controller in Shenzhen Longhua Tram

元和包含 1 个 VIOP 安全 I/O 平台的驱采单元组成,每个 VIOP 机柜根据车站的规模(道岔、信号机、计轴等的数量)配置不同数量的 VIIB32-E 和 VOOB16-E,从而构成不同规模的 AM 和 DM。相

关信息体现在各个不同车站道岔控制器的配置文件中,相应采集部分和驱动部分通过 CPM 的配置文件分别烧录在小扣板和机笼背板中的数据存储盘中。通过烧录器或 FTP(文件传输协议)上传的方式完成配置文件的烧录。

图6为具有多个 VIOP 驱采机柜的龙华有轨电车示范线大和站道岔控制器的架构图及其现场布置示意图。大和站是15座主线车站和5座支线车站的丁字型交汇站,因涉及不同的有轨电车线路变道需要,道岔较多,因此,采用了1个逻辑单元和3个 VIOP 安全 I/O 单元分开布置的架构,充分体现了采用独立 VIOP 的优越性。3个 VIOP 通过不同的 IP 地址和安全配置参数,经由安全通信协议与 MCC 之间进行通信,同时各 VIOP 还采集各自控制设备的状态,统一发给 MCC 处理,再由 MCC 下发驱动命令到3个 VIOP 的 CPM 后,由 CPM 转发给 DM 的从板卡 VOOB16-E,从而完成各个 VIOP 的驱动操作。3个 VIOP 的不同 IP 地址和安全配置参数,可以保证其与 MCC 之间消息的准确传输。这种1个主逻辑单元附带多个驱采单元的模式,可以实现主逻辑单元和多个驱采模块的远程布置。VIOP 除可以部署在本站外,由于采用网络连接,只要进行合理的网络架构设计,甚至还可以将其远程布置在下一站,从而可以节省主逻辑单元的数量,进一步降低成本,也充分体现了通用 VIOP 的优越性。

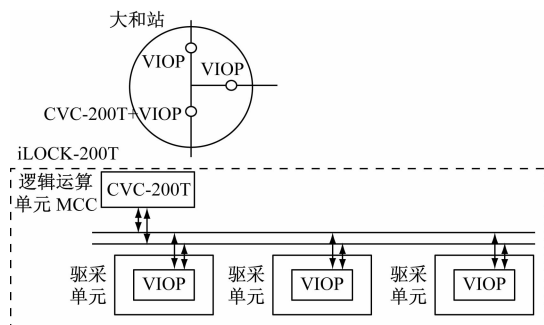


图6 龙华有轨电车示范线大和站道岔控制器布置及架构图

Fig.6 Switch controller layout and architecture diagram of Longhua Tram Demonstration Line Dahe Station

3 结语

深圳龙华现代有轨电车道岔控制器自2017年10月28号开通载客试运营以来运行稳定。随着 VIOP 的进一步开发迭代,并考虑到未来龙华现代有轨电车二期工程的需求,建议在后续的龙华有轨

电车道岔控制器的 VIOP 迭代中考虑以下技术方案。相关技术方案若后续在 VIOP 上实施,需评估方案变更的影响。涉及到安全的变更,需按相应要求进行 VIOP 的迭代安全评估。

1) 目前龙华有轨电车各车站道岔控制器的配置文件均采用烧录器或单站 FTP 上传的方式完成配置文件更新。配置文件更新的整体效率比较低,不利于工程实施,后续可以考虑采用远程烧录的方式在列车控制中心通过网络下发道岔控制器的配置文件到各车站,并且采取相应的安全校验措施确保配置更新的正确性,以实现配置文件的远程更新。

2) 目前 CPM 中的通信控制单元采用不同的板卡分别控制采集板和驱动板,后续可以考虑采用统一的通信控制板卡,实现对采集板和驱动板的控制,以减少硬件板卡数量,从而简化整体架构。

3) 采集板与 CPM 中的通信控制单元之间通过 CAN 总线进行的32位冗余码位传输,整体效率较低,后续可以考虑改为安全变换后的单码位,以提高整体传输效率。

4) 采集板和驱动板可以逐步升级为全电子板卡,以便进一步减少设备、降低成本,使整个系统变得更为紧凑。

5) 可进一步考虑逻辑运算单元和 VIOP 的远程部署,在某些车站仅部署由 VIOP 组成的驱采单元,通过网络与部署在其他车站的 CVC-200T 逻辑运算单元通信,实现对该单元的远程驱采控制,从而进一步减少 CVC-200T 逻辑运算单元的用量,进一步降低成本,实现道岔控制器的精简与高效控制。

参考文献

- [1] 王建涛,陈宜航,方圆,等.铁路信号系统安全输入输出平台[J].铁道通信信号,2019,55(3):53.
WANG Jiantao, CHEN Yihang, FANG Yuan, et al. Vital input and output platform for railway signalling system[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(3): 53.
- [2] 蔡国光,胡鲲.深圳龙华有轨电车示范线:城市综合发展的经典之作[J].城市轨道交通研究,2017,20(7):116.
CAI Guoguang, HU Kun. Shenzhen Longhua Tram Demonstration Line: a classic of urban comprehensive development[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(7): 116.
- [3] 刘华祥,孙军峰,蒋耀东,等.SmarTram型有轨电车信号系统[J].铁道通信信号,2018,54(12):91.
LIU Huaxiang, SUN Junfeng, JIANG Yaodong, et al. Signal system for SmarTram type tram[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(12): 91.

(收稿日期:2022-12-31)