

地铁列车网络控制系统逻辑在线监视软件的设计与实现

王成福,龙海泉,李 锐,陈 斐

(株洲中车时代电气股份有限公司 技术中心,湖南 株洲 412001)

摘 要:本文介绍了分布式列车电子控制系统,对地铁列车网络控制系统逻辑在线监视软件的设计和实现进行了详细论述.软件通过 PLC(programmable logic controller,可编程逻辑控制器)控制引擎实现了对网络控制系统的图形化监视.该软件对列车整车调试、试运行状态监视、故障排查和故障分析提供了非常有效的帮助和便利,提高了地铁列车的运维水平.

关键词:列车网络控制系统;PLC;监视;调试

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A

Design and Implementation of Subway Train Control and Management System Logic Monitoring Software

WANG Cheng-fu, LONG Hai-quan, LI Rui, CHEN Fei

(Technology Center, Zhuzhou CRRC Times Electric Co. Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: This paper describes the distributed train electronic control system, which introduces the design and implementation of the logic online monitoring software network in metro vehicle's control system in detail. The software implements the graphical monitoring of the network control system by PLC control engine, and clearly contributes to vehicle debugging, status surveillance of pilot running, troubleshooting and malfunction analysis, which improves the running attention level of metro vehicle.

key words: train control and management system; PLC; monitoring; debugging

0 引 言

在城市化进程中,公共交通将占据越来越重要的地位,而城市轨道交通因为其对环境污染小、快速、准时、乘坐舒适等诸多优点,成为最主要的、

发展最快的交通工具.截止 2016 年,我国已经有约 40 个城市建设或规划建设轨道交通.预计到 2020 年全国拥有轨道交通的城市将达到 50 来个,轨道交通里程将近 6 000 km 的规模.

列车网络控制系统(TCMS)是实现列车整车

控制、通信控制、信息传递、状态监视与故障诊断的“大脑”。针对列车网络控制系统的逻辑,采用PC机进行图形化直观的在线监视,可以非常有效地帮助列车整车调试、试运行状态监视、故障排查和故障分析,提高列车的运维水平。

1 列车网络控制系统

中车株洲所研制的分布式列车电子控制系统DTECS(distributed train electric control system)作为目前国内应用最广泛的列车网络控制系统,一般由车辆控制模块(VCM_e)、数据记录模块(EDRM)、中继器(REP)、数字量输入输出模块(DXMe)、数字量输入模块(DIMe)、模拟量输入输出模块(AXMe)、人机接口(HMI)等功能模块组成,各功能模块通过WTB、MVB总线进行连接,完成列车整车控制、信息传递、状态监视与故障诊断等功能^[1]。VCM_e是DTECS的核心模块,主要实现车辆的控制、总线主管理、通信控制、故障诊断等^[2]。因此,运行于VCM_e模块的逻辑控制程序,是列车网络控制系统的关键,其控制逻辑图是设计人员进行VCM_e程序设计的依据,也是进行整车调试、试运行状态监视、故障排查、故障分析的“法宝”。

2 在线监视软件的设计与实现

为实现对列车网络控制系统逻辑的在线监视,监视软件设计了三个主要模块:逻辑图导出模块、逻辑图绘制模块和在线监视模块。其中逻辑图导出模块是实现将VCM_e导出的符合PLC open XML协议的文件转变成自定义的XML文件,以供逻辑图绘制模块使用^[3]。逻辑图绘制模块是实现将导出的自定义XML格式进行解析并绘制图形。在线监视模块是通过连接VCM_e设备进行在线监视。逻辑图导出模块的关键技术是解析MultiProg导出的符合PLC open XML标准协议的XML文件,逻辑图绘制模块的核心根据自定义的XML文件信息实现逻辑图的绘制^[4]。在线监视模块的关键技术是通过ProConOS(可编程控制器操作系统)协议实现在线监视、变量的强制。软件框图如图1所示。

2.1 逻辑图导出

地铁列车网络控制系统的VCM_e模块逻辑程序采用MultiProg作为编程工具,MultiProg是KW-Software(德国科维公司)一个标准的编程系统,它基于IEC 61131-3标准,并且包括了IEC特征的

全部范围。该编程系统包括一个独立于PLC的内核,用于运用各种IEC编程语言编程^[5]。MultiProg具备逻辑图导出功能,可导出符合PLC open XML协议的文件,该XML文件保存了逻辑图图元的位置、形状、连接点等信息,但专业性强、无可可视化图形界面,不能直观展示,难于理解和使用。

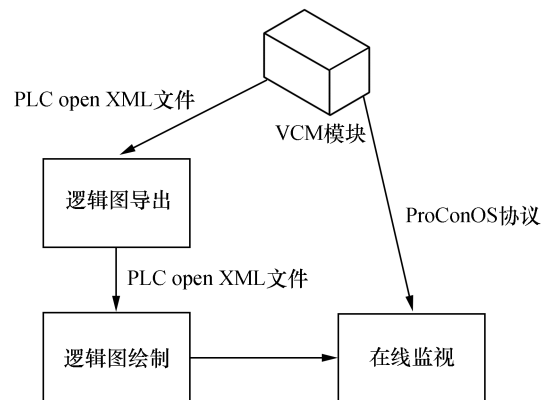


图1 在线监视软件框图

Fig.1 Softwareblock diagram of monitoring

2.2 逻辑图绘制

MultiProg导出的XML文件,其数据结构符合PLC open XML协议,其核心部分组织方式是按POU(project and program organization unit)分组,每个POU下又包含若干个表单,表单中包含了变量、功能块、注释和连接关系等信息^[6]。监视软件根据PLC open XML协议,解析MultiProg导出的XML文件,以表单作为基本单位,保存本表单中所有图元和连接关系,该表单文件以自定义XML格式保存,同一POU下的表单文件保存在以该POU命名的文件夹下,实现表单文件按功能分组^[7]。

表单文件由两种元素组成,一种是DesignerItem,表示逻辑图中的图元,含注释、变量(常量是一种特殊变量)、功能块三种类型,由ValueType属性标示。图元元素包含的属性主要包括图元名称、左边界相对距离、上边界相对距离、图元宽度、图元高度、图元方向、图元ID、图元类型、图元注释、变量类型、使用范围、所在表单号、所在POU名称、左侧连接点相对位置、右侧连接点相对位置、左侧连接的变量集合、右侧连接的变量集合。另一种元素是Connexion,表示图元与图元之间的连接关系,其包含的属性主要包括连接线起点图元ID、连接线终点图元ID、起点连接名称、终点连接名称、起点是否取反、终点是否取反、连接线点集合^[8]。

在监视软件中分别设计DesignerItem和Con-

netion 两个类对应上述两种元素,类的数据结构与两个元素的各个属性一一对应.绘制逻辑图时,监视软件读取表单文件中的图元、连接信息,也就是对基于 DesignerItem、Connetion 两个类的对象列表进行初始化操作.再采用 Windows GDI+ 图形引擎绘图技术,根据 DesignerItem、Connetion 两个类的对象列表信息,实现逻辑图的绘制和直观展示.

2.3 在线监视

1) ProConOS 协议

ProConOS(可编程控制器操作系统)是一种实时的、多任务的,符合 IEC 并快速的 PLC 运行系统.ProConOS 通信层主要包括协议层、驱动层和应用层^[9],如图 2 所示.

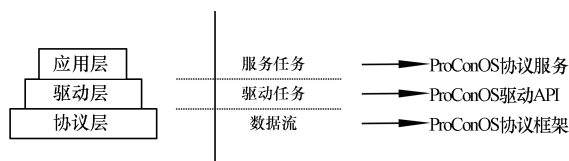


图 2 ProConOS 通信层

Fig.2 Communication layer of ProConOS

ProConOS 通信都是由客户端主动发起请求,服务端进行确认/回复^[10].在该监视软件中,监视软件作为客户端,VCM 程序作为服务器端.主要是采用其协议进行数据通信,包括数据监视、变量强制等.ProConOS 协议框架如图 3.

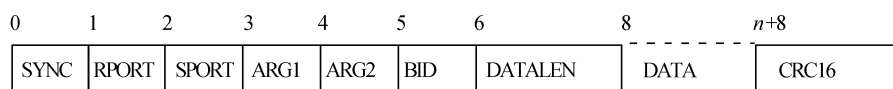


图 3 ProConOS 协议框架

Fig.3 Protocol framework of ProConOS

其中 SYNC 为帧头,固定为 0xAA;RPORT 为客户端接收数据端口,SPORT 为服务器端发送数据接口,ARG1 和 ARG2 为具体的通信命令,BID 为协议块 ID,DATALEN 为通信数据长度,DATA 为通信数据内容,CRC16 为 CRC16 校验.

2) 连接

设置本机 IP 与 VCMe 模块的 IP 处在同一 IP 段,并输入 VCMe 的 IP,监视软件通过以太网连接 VCMe.

3) 监视

监视软件完成与 VCMe 模块的连接后,选择需要监视的表单,开始进行监视,通过 ProConOS 协议与 VCMe 模块进行实时通信,即可进行列车网络控制系统逻辑图的在线监视.数据监视通信主要分为两个步骤:第一步是客户端请求变量列表,服务器端进行确认;第二步是客户端请求数据内容,服务器端进行数据内容回复.

客户端请求变量列表:RPORT 为 0X01,SPORT 为 0X00,ARG1 为 0x20,ARG2 为 0x40,BID 为 0X08.DATA 数据内容为 ListData 类型的数据,ListData 类型的数据包括了一个数据头 Head 和多个 VarStatusList 类型的结构体对象.数据头 Head 长度固定为 6 字节,内容为 0X11、0X07、0XB6、0X00、0X0D、0X00.每个变量对应 VarStatus-

List 结构体的一个对象,如果请求 N 个变量,即有 N 个对象.VarStatusList 结构体如下:

```
typedef MT_PACKED struct VarStatusList
{
    void *opAddr GNU_PACKED;
    /* 变量地址 */
    U_int offset1 GNU_PACKED;
    /* 变量序号 */
    U_int noOfBytes GNU_PACKED;
    /* 字节长度 */
    U_int dataType GNU_PACKED;
    /* 数据类型 */
    U_char reserve GNU_PACKED;
    /* 预留 */
    char opID GNU_PACKED;
    /* 变量 ID */
    U_char offset2 GNU_PACKED;
    /* 字节偏移 */
    U_char bitPos GNU_PACKED;
    /* 位偏移,采用 1..8 而不是 of 0..7 */
} GNU_PACKED VarStatusList;
```

对于客户端请求变量列表的命令,服务器端的确认命令:RPORT 为 0X01,SPORT 为 0X00,ARG1 为 0x00,ARG2 为 0x00,BID 为 0X08,DAT-ALLEN 为 0X00,DATA 为空.

客户端请求数据内容: RPORT 为 0X01, SPORT 为 0X00, ARG1 为 0x25, ARG2 为 0x40, BID 为 0X09, DATALEN 为 0X02, DATA 为 0X12、0X07.

对于客户端请求数据内容的命令,服务器端的回复: RPORT 为 0X01, SPORT 为 0X00, ARG1 为 0x00, ARG2 为 0x00, BID 为 0X09, DATALEN

为 DATA 的长度, DATA 为客户端请求变量列表中全部变量的值(按变量列表顺序排列,值的长度为变量列表中的长度).监视软件通过变量列表和服务器端返回的变量值即可获取每个变量的具体数值,实现数据监视.

监视软件界面如图 4.

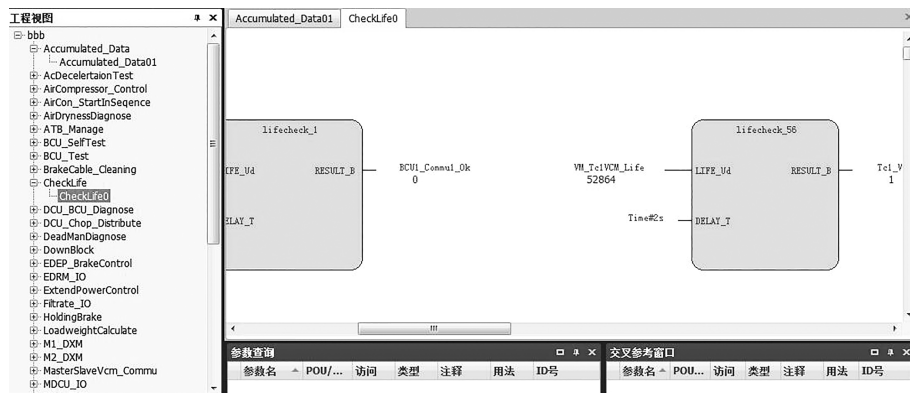


图 4 逻辑图在线监视界面

Fig.4 Software interface of logic monitoring

该图展示了“CheckLife0”功能块的逻辑图,该图显示变量“VM_Tc1VCM_Life”的值是52 864,变量“BCU1_Comm1_Ok”的值为0.通过图形化的逻辑图在线监视和波形监视,在整车调试、试运行状态监视中,可以非常直观方便的查看各个变量的值,并通过逻辑图可以很清楚地看出各个变量之间的输入、输出、逻辑关联关系.从而确定网络控制系统各个模块之间的通信状态和应用业务逻辑.同样,在故障排查和故障分析过程中,通过监视逻辑图各个变量的值、各个变量之间的逻辑关系,可以很方便的进行故障定位,明确故障来源和具体原因.

4) 波形回放

在线监视软件在波形监视过程中,自动将监视数据进行缓存,结束监视时,可以选择保存监视的数据到本地.保存到本地的数据,后续可以通过该监视软件进行波形回放处理.还原相关变量/参数的变化情况,从而辅助进行故障原因定位.

5) 变量查询

在逻辑图中,可以通过输入变量名称,进行变量名称的模糊/精确查询,实现对该变量在全部表单中的查询.查询结果列表包括变量名称、所在表单名称、输入/输出、注释说明、变量类型等信息,可以很清楚的说明该变量的数据流和相关逻辑关

系,在故障排查时可快速进行故障定位.

6) 变量强制

在整车调试、试运行状态监视、故障排查和故障分析过程中,为了模拟某些故障或者状态数据,在线监视软件可以对某些变量进行强制设置某个值,通过值的变化和相关的逻辑关系,进行整车调试、故障定位.

2.4 软件性能分析

以 Intel Pentium I 150 MHz 的 CPU,同时 16 个用户任务,每个任务有 10 万条的指令为例,通过实际测算,PLC 执行完所有任务花费的时间约为 40 ms.可见,PLC 控制内核具有很高的执行效率,可以很好地满足上位机在线监视的性能要求.

3 结束语

该监视软件很好地实现了地铁列车网络控制系统逻辑的在线监视,可以非常有效地帮助设计人员、调试人员、用户进行列车整车调试、试运行状态监视、故障排查和故障分析,提高地铁列车的运用和维护水平.该软件已经在上海地铁 11 号线北延线、广州地铁 1 号线增购、深圳地铁 1 号线增购、深圳地铁 11 号线、南昌地铁 1 号线等项目广泛应用,得到了设计人员、调试人员、用户的一致好评.

(下转第 53 页)

- measured dynamically based on the relevant low-frequency principal components reconstruction[J]. Measurement Science and Technology, 2016, 27(10): 105005.
- [13] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[C]// Advances in Neural Information Processing Systems. 2012: 1097-1105.
- [14] ROSTERN E, PORTER R, DRUMMOND T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(1): 105-119.
- [15] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition [J]. ArXiv Preprint ArXiv, 2014, 1409-1556.
- [16] GUO Y, SOHEL F, BENNAMOUN M, et al. Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition[J]. International Journal of Computer Vision, 2013, 105(1): 63-86.
- [17] CHOPRA S, HADSELL R, LECUN Y. Learning a similarity metric discriminatively, with application to face verification[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, USA: IEEE, 2005: 539-546.
- [18] ZAGORUYKO S, KOMODAKIS N. Learning to compare image patches via convolutional neural networks[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, USA: IEEE, 2015: 4353-4361.

(上接第 42 页)

- [6] ANDERSON T, HALEAKALA R. Theory, measurements, and prototypes of plasma antennas[C]// IEEE antennas and Propagation Society International Symposium (AP-SURSI), 2014: IEEE. IEEE, 2014: 567-568.
- [7] 赵建森, 张芝涛. 40.68 MHz 交流等离子体天线电磁兼容性实验研究[J]. 高压电技术, 2014, 40(6): 1756-1761.
- [8] 黄方意, 时家明, 袁忠才, 等. 基于等离子体的定向天线阵列理论与实验研究[J]. 物理学报, 2013, 62(15): 269-276.
- [9] 庄钊文, 袁乃昌, 刘少斌, 等. 等离子体隐身技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-260.
- [10] 陈文波, 龚学余, 邓贤君, 等. THz 电磁波在时变非磁化等离子体中的传播特性研究[J]. 物理学报, 2014, 63(19): 82-87.

(上接第 46 页)

参考文献:

- [1] 杨卫峰, 曾嵘. DTECS 系统 TCN 协议的设计[J]. 机车电传动, 2009(2): 22-23.
- [2] 宁寿辉, 李常贤, 王杰. TCN 列车网络管理的研究与实现[J]. 机车电传动, 2007(5): 31-32.
- [3] 湛育民, 彭冬良. 基于 OPC 技术的地铁网络控制调试软件的设计与实现[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012, 35(1): 40-42.
- [4] LI G, LI W J, SU Q Q, et al. Monitoring and control system of underground coal gasification based on industrial Ethernet and PLC [C]// Switzerland: Trans Tech Publications, 2014: 1376-1380.
- [5] IEC 61375-1, Electric railway equipment-Train bus-Part 1: Train Communication Network[S]. Switzerland: IEC, 2007.
- [6] 刘群欣. TCN 列车网络管理及监视配置软件的研究与实现[J]. 机车电传动, 2013(3): 46-49.
- [7] 赵众, 邹芳云, 徐宁, 等. OPC 客户端程序开发机器在集散控制系统中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2007, 34(3): 42-46.
- [8] 陈江婷, 罗三定. 图形化组态的数字图像处理实验系统的设计[J]. 科技广场, 2010(3): 102-105.
- [9] MA H, XU J B. Design of remote monitoring and control system for mine Water Storehouse based on PLC [C]// Switzerland: Trans Tech Publications, 2012: 1595-1601.
- [10] ZHANG H W. Online Monitoring System of the Mine Main Fan [C]// Switzerland: Trans Tech Publications, 2013: 376-379.