

基于 LabVIEW 的列车牵引控制器 数据监视软件设计

郝遥迪¹, 刘承波², 尚付磊¹, 孙伟¹, 林显琦¹

(1. 中车青岛四方车辆研究所有限公司, 山东 青岛 266000

2. 济南铁路局青岛监造项目部, 山东 青岛 250001)

摘要: 针对目前列车牵引控制器数据分析可视化程度低、功能不完善的问题, 开发了一种基于 Labview 的列车牵引控制器网络数据监视分析软件。通过模块化设计, 实现了命令下发、程序下载、实时监控、动态故障与状态显示、静态故障分析、高速数据流文件存储和绘制实时趋势图等功能。通过 CSV 配置文件, 实现对多种不同传输协议的列车牵引控制器网络数据的监控和分析。通过使用 TCP/IP 多线程技术以及同步技术, 极大提高程序的运行效率和界面的友好性。测试实验表明, 系统各项功能运行良好, 通用性强, 人机界面直观友好, 有较好的容错机制和强大的数据可视化分析能力。

关键词: 列车牵引控制器; 模块化; LabVIEW; 数据分析

Design of data monitoring software for train traction controller based on LabVIEW

HAO Yaodi, LIU Chengbo, SHANG Fulei, SUN Wei, LIN Xianqi

(1. CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266000, China

2. Qingdao Manufacturing Supervision Project Department of Jinan Railwag Bureau, Qingdao 250001, China)

Abstract: Aiming at the problems of low visualization and imperfect functions of the current train TCU (Traction Control Unit) data analysis software, a train TCU network data monitoring and analysis software based on LabVIEW was developed. Through modular design, functions such as command issuing, program downloading, real-time monitoring, dynamic fault and status display, static fault analysis, TDMS (Technical Data Management Streaming) storage, and real-time trend drawing are realized. Through the CSV configuration file, the software was also suitable for monitoring and analyzing TCUs with different transmission protocols. Through the use of TCP/IP multi-threading technology and synchronization technology, the operating efficiency of the program and the friendliness of the interface were greatly improved. Test experiments show that the system works well, and it has strong versatility, intuitive and friendly man-machine interface, good fault-tolerant mechanism and powerful data visualization analysis capabilities.

Key words: TCU; modular design; LabVIEW; data analysis

0 引言

列车通信以太网的应用日趋广泛。在列车

牵引控制器的设计、调试、运营和检修过程中, 控制器网络数据的实时监测和分析对于维护列车安全稳定运行具有重要意义^[1]。

国外对列车网络管理与控制系统的技术研究和使用起步较早。国内列车通信网络发展还不够成熟。关于列车牵引控制器网络数据测试分析的产品还存在交互性差^[2]、成本高、功能单一、不易扩展、通用性差及难以满足现代轨道交通数据采集系统标准化、精密化和智能化的需求^[3]的不足。因此,本文基于 LabVIEW 设计了一种软件方案,使得软件交互性好,功能高度集成,易于扩展,通用性强,实现对多种不同列车牵引控制器网络数据的监控、分析和处理。该系统对列车在途实时监测^[4]具有可移植性,且历史数据的存储可为进一步的故障诊断提供参考^[5]。

1 牵引控制器架构

列车牵引控制器(TCU)主要负责信号的采集与输出、牵引控制、逻辑控制、人机交互与网络通信等功能。其实物图如图1所示。图2是控制器的逻辑架构图,其中母板负责信号传输及处理,同时具备CAN、以太网和RS232等人机调试接口。CPU板的ARM芯片负责顶层逻辑和通信,DSP负责算法执行,FPGA负责外设接口及PWM调制实现。盖板负责CPU内部数据传输,具有eNet、CAN2.0B、CANopen和MVB通信功能。

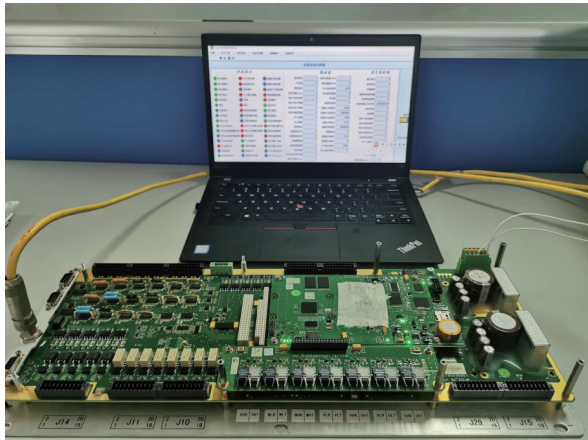


图1 牵引控制器实物图

Fig. 1 Physical picture of TCU

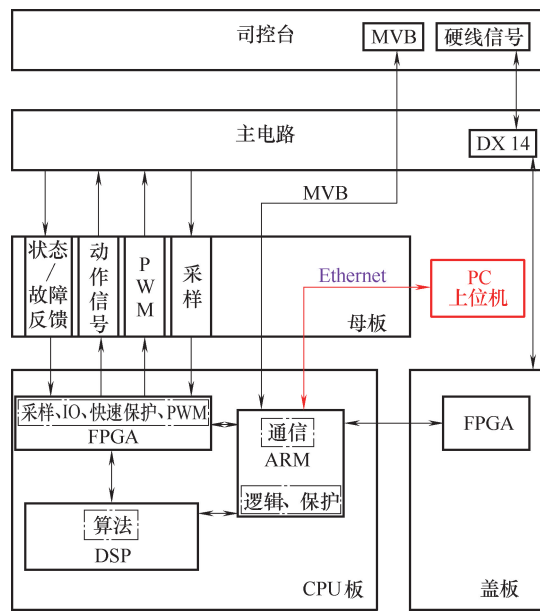


图2 控制器功能架构图

Fig. 2 Controller functional architecture diagram

为了方便对TCU进行逻辑、算法和调制的试验以及检修维护,通过母板以太网连接PC上位机,实现对TCU的在线监控、程序下载、故障解析和数据存储。这样进行功能集成将大大简化调试工具数量,提高工作效率。

2 软件设计

2.1 整体方案

本设计基于现有的地铁牵引控制器设备,开发了一款适用于各个列车系统牵引控制器的网络数据监视、记录和分析的通用软件,可以满足列车牵引控制系统在设计开发、现场调试和故障排查等阶段的各项需求。该软件需要满足以下几点设计要求:

- 1) 交互性好,可视化程度高,界面简洁美观,易于操作,具有良好的容错机制。
- 2) 多功能,易于扩展。
- 3) 通用性好,适用于多种高速动车组以及城市地铁车辆等系统的列车牵引控制器以太网数据监控和分析。
- 4) 可移植,可作为列车在途实时监测系统的子系统,移植到整车监测系统中。

LabVIEW 独特的 G 语言和丰富的软件开发工具包给系统编程带来了很大的便利，它为用户提供简单、直观的图形编程法，在开发虚拟仪器方面有着较强的优势。LabVIEW 采用数据流模型，可以实现自动多线程，充分利用了处理器的处理能力。本设计以循环事件结构为整体框架，进行各个功能的模块化设计，程序易于扩展。图 3 是软件功能设计框图。

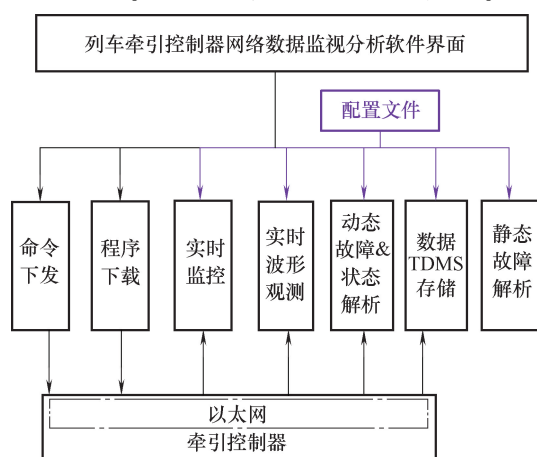


图 3 软件功能设计框图

Fig. 3 Software functional designblock diagram

2.2 动态配置模块设计

设计使用 CSV 配置文件，存储列车牵引控制器底层以太网数据传输协议。配置信息包括各变量名、对应的偏移地址以及对应数据换算函数名。通过使用配置文件可以实现对监控、数据存储、动静态故障分析和绘制曲线图等功能模块的灵活配置，极大提高软件的通用

性。对于不同列车，只需更改配置文件来适应不同列车牵引控制系统的底层协议即可。图 4 为配置文件信息。

	A	B	D	F	G	H
1	L_LCcoder1_DI	级位编码1	823_a_CT0Current_CT0_AI	斩波电流		753
2	L_LCcoder2_DI	级位编码2	824_a_FCVolt_TV6_AI	FC电压		761
3	L_LCcoder3_DI	级位编码3	825_a_GndVolt_TV4_AI	接地电压		767
4	L_TracCmd_DI	牵引指令	827_a_SpeedSensor_T_AI	机车速度v/min		780
5	L_BrakeCmd_DI	制动指令	820_a_Tmot1b_PT100_AI	电机1轴承温度		783
6	L_LinV_VDI	零位	826_a_Tmot1s_PT100_AI	电机1定子温度		784
7	L_LinVforward_DI	向前指令	827_a_Tmot2s_PT100_AI	电机2定子温度		786
8	L_LinVrearward_DI	向后指令	828_a_Tmot2b_PT100_AI	电机2轴承温度		785
9	L_TracEn_DI	牵引允许	838_a_Tpu1_PT100_AI	PU1温度		787
10	L_MVBADDRESS2_DI	MVB地址线2	830_a_Tpu2_PT100_AI	PU2温度		788
11	L_KM1FB_DI	风机控制接触器反馈	822_a_ConVoltLocal_AI	控制电压		759
12	L_FANSWFB_DI_gui	风机马达保护器反馈	474_a_CTUCurrent_CTU_RMS_AI	U相电流RMS		756
13	L_MVBADDRESS1_DI	MVB地址线1	829_a_CTUCurrentRMS_CTW_AI	W相电流RMS		757
14	L_PUTEMPSW_DI	PU温度开关	831_a_TCUtemp_AI	控制器温度		782

图 4 配置文件

Fig. 4 Configuration file

2.3 存储模块设计

为存储一段时间内的网络数据，使用高速数据流 TDMS 文件进行数据存储，它具有很快的文件读写速度。存储过程记录采集时间、变量和对应数据。采集时间为 50 ms。TDMS 文件还可以实现对所有变量存储值的波形观测。对收集的列车牵引控制系统历史数据进行分析，可以预测牵引控制系统的健康状况，提高工作效率。

2.4 命令下发模块设计

如图 5 所示，命令下发界面包含三个分面板，设备信息面板用于录入设备信息：设备编号、端口号、IP 地址以及建立网络连接。程序下载面板用于下载 ACU 的 DSP、FPGA 和 APP 应用程序文件。控制面板主要用于控制一些变量等。

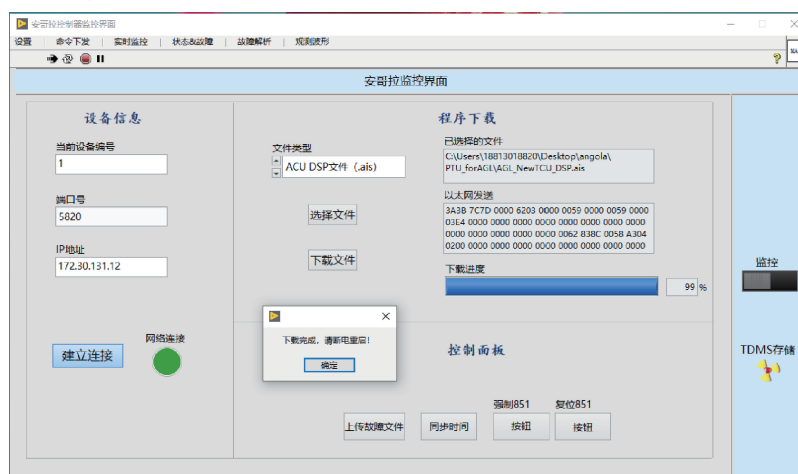


图 5 命令下发界面

Fig. 5 Command issuing interface

2.5 实时监控模块设计

为直观地实时监控各个模拟量和状态变化，设计了监控模块。监控界面依据配置生成监控和故障分析列表，显示各变量的状态或数值。布尔控件的不同颜色表示位数据 0 或 1 状态。将无符号双字节整形经过换算转换成双精度浮点数，数据显示控件即可显示模拟量的实际值。

为实时显示故障状态，设计了状态 & 故障界面。同样，状态 & 故障界面也经配置文件对状态、故障变量名和网络数据包的取值位进行配置。

轨道交通工作人员可根据各变量或状态的监控，实时地掌握车辆牵引系统的运行状况。

2.6 观测波形模块设计

为查看一段时间内某变量的变化趋势，设计了观测波形界面。横坐标为时间，纵坐标为读取所选变量的数据值。还可将需要保存的波形保存至 Excel 文件。

2.7 静态故障分析模块设计

通过故障代码进行故障分析，设计了静态故障分析界面。无须网络通信与实时监控，在相应组别输入框中输入故障代码，即可查看故障具体的原因。

3 实验测试与分析

3.1 实验准备

图 6 是实验设备结构图。实验使用 PC 机、列车牵引控制器机箱、网线和 AC 220 V/DC 110 V 直流稳压电源进行实验。系统实验在大型地铁牵引控制系统实验平台进行软件测试，配置文件内容依照该地铁列车牵引控制系统底层数据传输协议。

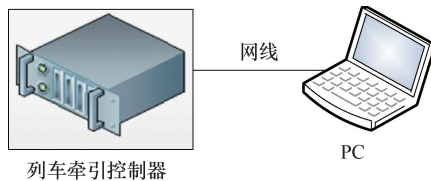


图 6 测试设备结构图

Fig. 6 Structure diagram of test equipment

3.2 应用实现

在命令下发界面输入正确的端口号和 IP 地址，建立网络连接。如需更新硬件底层程序，则可以下载相应的程序文件，然后设备断电重启。成功建立网络连接后，进入实时监控界面，开始实时采集与显示。监控界面如图 7 所示，变量显示列表依据配置文件生成，实现了灵活配置的功能。



图 7 监控界面

Fig. 7 Monitoring interface

状态 & 故障界面如图 8 所示，变量数据及故障状态的监控列表，监控列表实时刷新。强制某变量，可以观测到相应的数值变化。

单击右侧 TDMS 存储按钮，存储一段时间的数据，如图 9 为 TDMS 文件查看器，可以看

到存储的各个变量的数据和相应的采集时间，数据采集时间准确度约为 50 ms。如图 10 所示，可以观测变量的波形变化。将数据与实时监控数据对比，数据存储无误。



图 8 状态 & 故障界面

Fig. 8 Status & fault interface

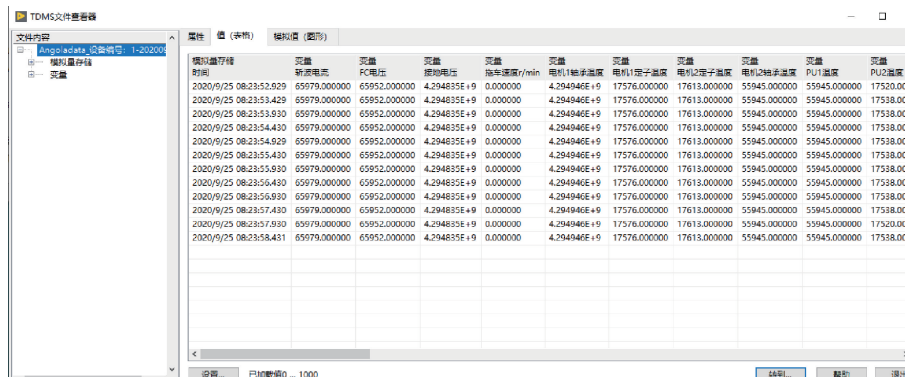


图 9 TDMS 数据存储

Fig. 9 TDMS data storage

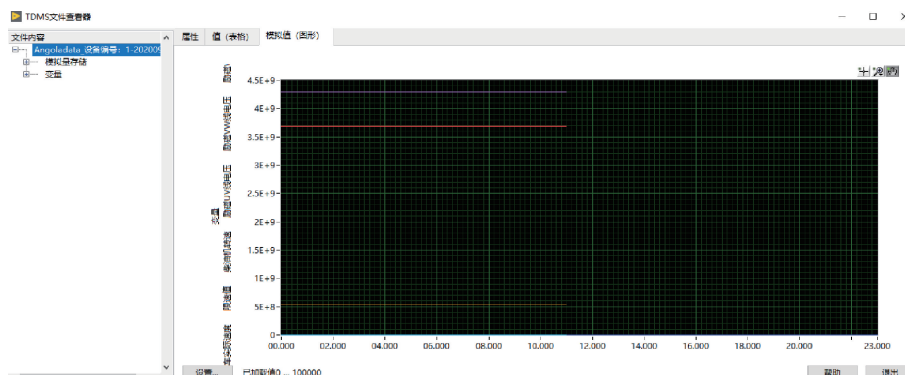


图 10 TDMS 图形

Fig. 10 TDMS graphics

完成绘图配置，进行实时绘图。将曲线图与同时保存的 TDMS 数据进行对比，结果一致，实现了对变量变化趋势的绘制。绘图界面如图 11 所示。

静态故障分析功能已实现。如图 12 所示，在相应组别输入框中输入故障代码，即可查看对应的故障具体位置。

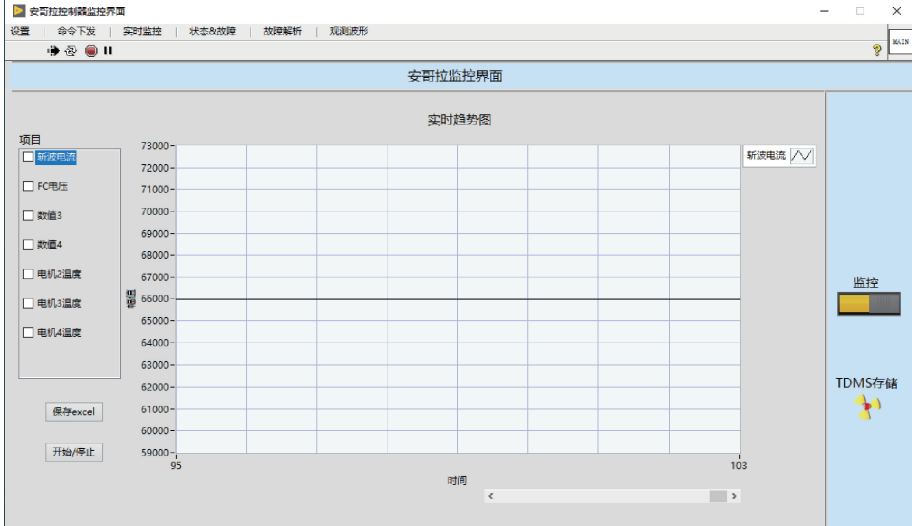


图 11 绘图界面

Fig. 11 Drawing interface



图 12 静态故障分析界面

Fig. 12 Static failure analysis interface

经过测试，软件运行良好，通用性好，功能均已实现，且在软件的运行中，界面输入、显示、界面切换、文件读写以及子面板的调用等都正常。软件实现网络连接的持续查询，断开有提示可再连接通信。综上所述，软件人机界面直观友好，层次体系明晰，有强大的数据

可视化分析能力和良好的容错机制。

4 关键技术

4.1 容错机制的完善

为实现网络连接断开或者设备异常时，软件有相应的错误处理机制，采用两个 TCP/IP

线程 Socket1 和 Socket2。Socket1 负责网络数据包的读写；Socket2 负责查询网络连接状态。在网络连接后，上位机会持续发送一两个字节的生命信号数据包，实现网络连接的持续查询。在检测到网络断开时有提示并结束两个 TCP/IP 线程，设备恢复正常网络再次建立连接，可重新连接通信。图 13 为 TCP/IP 多线程通信流程图。

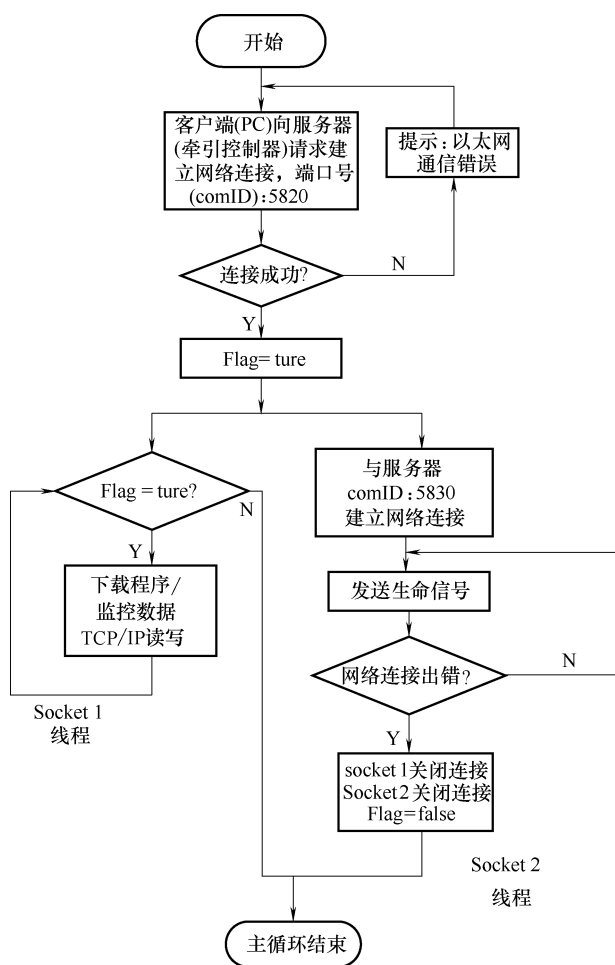


图 13 TCP/IP 多线程通信

Fig. 13 TCP/IP multi-threaded communication

4.2 同步技术

实时监控与程序下载两个循环执行的任务具有关联性，它们需要占用同一个 TCP/IP 线程 Socket1 执行任务。本文使用 LabVIEW 的一项同步技术—队列来控制这两个循环任务，避免对 TCP/IP 端口（comID）的访问冲突。队列结构是一种先进先出（FIFO）的结构，保

证有序的数据传递，可以有效避免竞争。

5 结束语

本文基于 Labview 对列车牵引控制器机箱开发设计了一个数据采集与监视分析的软件。此软件实现了网络数据的实时显示、端口数据的采集存储，同时具有动静态故障分析、程序下载以及绘制变量变化趋势图的功能。该软件界面简洁，操作方便，交互性好，功能强大，通用性好，极大简化现场人员对牵引控制系统的数据采集、监视和检修。该系统可作为列车在途实时监测系统的子系统，其历史数据的存储可为后续深度挖掘提供参考，为故障诊断提供支撑。**EA**

参考文献

- [1] 马思群, 刘志峰, 马瑞, 等. 基于 LabVIEW 的高速列车远程监测系统 [J]. 测控技术, 2018, 37 (7): 140-144.
- [2] 郝遥迪, 王立德, 陈煌, 等. 基于 C# 语言的 MVB 网络数据监视分析软件设计 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (9): 61-64.
- [3] 易龙江, 高军伟, 张志强, 等. 基于 LabVIEW 的轨道交通数据采集系统设计 [J]. 青岛大学学报 (工程技术版), 2016, 31 (3): 44-48.
- [4] 刘丽. 高速列车牵引传动系统健康状态监测与预警方法研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2019.
- [5] 华路捷, 谢谦, 刘宠, 等. 城市轨道交通车辆实时监测与分析系统研究 [J]. 都市快轨交通, 2020, 33 (1): 134-138.

作者简介



郝遥迪

郝遥迪（1994—），女，硕士，理工程师，主要从事计算机监控方面的研究。

（收稿日期：2021-04-08）