

文章编号: 1005-8451 (2017) 04-0015-06

基于Linux-FLTK的动车组人机界面软件设计

许 杰, 杨 川

(中国中车长春轨道客车股份有限公司 国家轨道客车工程研究中心, 长春 130062)

摘 要: 列车人机通信系统是列车网络监控系统的重要组成部分, 其主要功能可显示车辆当前运行状态、报警和故障信息, 可实现列车重要控制功能, 可保存车辆运行历史数据等。本文设计了一种基于Linux-FLTK (Fast Light Tool Kit) 的人机界面, 采用性能优越的ARM架构作为硬件平台、采用稳定性强的嵌入式Linux作为软件平台, 利用开源图形工具FLULD进行程序界面开发。经过验证, 该程序具有编程结构简化、开发周期短, 可移植性强, 目标程序小等优点, 在轨道车辆领域得到广泛应用。

关键词: 列车人机界面; 动车组; Linux; FLTK

中图分类号: U266.2 : TP39 **文献标识码:** A

EMU's HMI software based on Linux-FLTK

XU Jie, YANG Chuan

(National Engineering and Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co. Ltd., Changchun 130062, China)

Abstract: Human-machine interface system is an important part of train control and monitoring system. The main functions of HMI are displaying the train's current operating states and failure information, alarming. It can also implement train control function and store the historical dates of train's operations, and so on. This article designed a human-machine interface based on Linux-FLTK, using ARM framework as the hardware platform, embedded Linux as the software platform, open-source graphics tool FLULD to develop the program interface. After verification, the program has the advantages of programmed with simple structure, short development cycle, strong portability, small target program. Now it has the wide field of application in rail vehicle industries.

Keywords: human machine interface(HMI); EMU; Linux; FLTK

列车人机交互单元(HMI, Human Machine Interface)可以向操作员或检修维护人员提供重要列车信息, 是列车网络控制系统的重要组成部分, 为驾驶员的操作及安全运行提供信息保证^[1]。随着现代轨道交通设备的不断进步, 已经逐步取代了传统的仪表显示方式, 使司机室布局更加合理, 界面设计更加人性化, 显示更加简洁、标准。为司机操作, 尤其是处理大量故障数据和状态信息, 提供了极大的便利^[2]。

本文针对中国标准动车组TPX60系列显示器, 开发了一种基于Linux-FLTK平台的HMI设计方案, 采用软件构架设计, 引入了界面设计与通信协议分离的思想, 有效地使交互通信与数据处理分离开来, 降低内存占用率, 方便后期更改与升级, 在可移植性、

可维护性和开发成本等方面都得到了良好的改善。界面设计充分融入国内列车显示操作的优势, 结合项目技术要求, 更好地适应动车组司乘人员操作习惯。

1 动车组网络结构简介

本文中国标准动车组采用两级总线结构模式, 车辆内部各个单元设备之间采用MVB通信方式, 列车级数据采用WTB通信方式, 人机接口单元与列车网络监控系统(TCMS, Train Control and Monitoring System)之间采用MVB通信方式^[3], 拓扑结构如图1所示。

动车组列车采用双司机室结构, 分别位于列车两端。每个司机室均设有两个显示器HMI, 互为冗余设备, 分别命名为HMI1与HMI2, 均安装在司机台的正向面板, 左右对称放置。HMI主要的功能是与TCMS的中央控制单元CCU1或CCU2完成大量的信息交互, 包括各类车辆运行状态、警报、提示、

收稿日期: 2016-11-21

基金项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划重点课题(2014J004-C)。

作者简介: 许 杰, 工程师; 杨 川, 工程师。

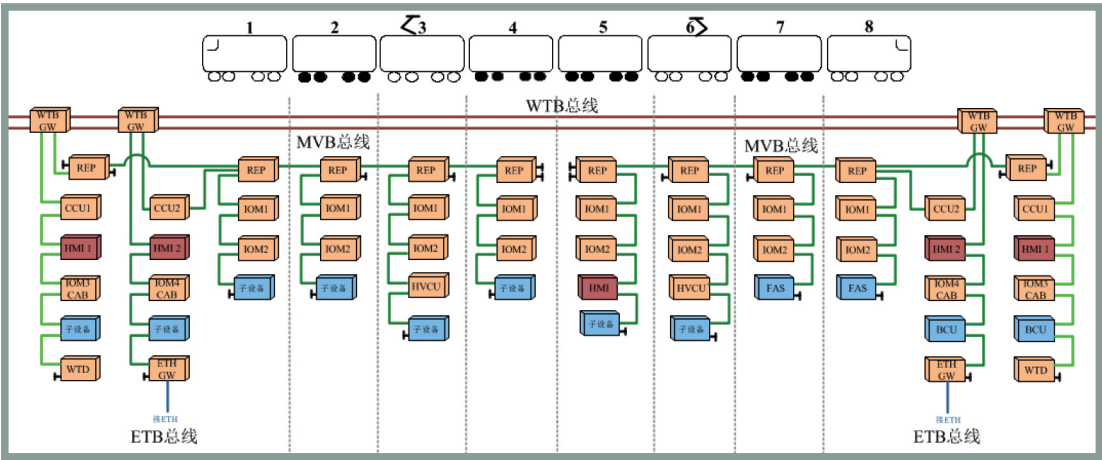


图1 动车组网络拓扑图

故障等过程数据的获取和各类控制信号的发送，同时，HMI从输入/输出模块（IOM）获取各类输入输出信号，也可以直接通过MVB总线/以太网总线实时获取运行信息，反映动车组当前运行工况，指导司机行车和操作^[4]。

2 架构设计

2.1 基于FLTK的程序设计及编程机制

FLTK (Fast Light Tool Kit) 是用来设计和实现用户界面的一种图形设计专用工具，是一种使用C++开发的图形用户界面（GUI）工具包，可应用于Unix、Linux、Windows和Ma-cOS等多种开发平台^[5]。使用C++语言开发，支持嵌入式系统（Embedded System），提供了用户期待从GUI工具箱中获得的大多数窗口构件，能够通过一个开放式的接口来增强扩展性，利用内核帧缓冲输入输出，消除对特定程序架构的依赖，具有体积小、速度快，优良移植性等突出特点，赢得越来越多关注，应用范围越来越广泛。

FLTK采用事件响应处理机制，是一个采用面向对象模型的C++库，通过回调函数来处理消息事件的响应，灵活的事件处理机制和函数，使编程算法更加灵活。

2.2 构架设计

目前大多数的显示器采用顺序结构，将数据通信和数据的处理混为一谈，类似的方案会在很大的程度上降低程序的运行效率，增加系统负荷，并且不利于后期的维护和移植^[6]。为了规避传统程序框架带来的问题，本文采用应用程序与通信协议相互

分离、独立处理的总体思路，将整个结构框架分割成界面绘制（直观的界面）、界面数据接口配置、数据后台处理模块、通信接口4大模块^[7]，如图2所示。这种分层设计方式减少了显示器程序对于通信协议和端口配置的依赖性和相关性，使显示器应用程序与传输协议隔离开来，软件架构更加清晰明确，降低了程序之间的耦合度，提高了程序的可靠性和灵活性。不会因为后期通信协议的变动而牵涉显示部分程序的相应修改，方便后期的维护升级，同时也增强了软件的重用性和可移植性。

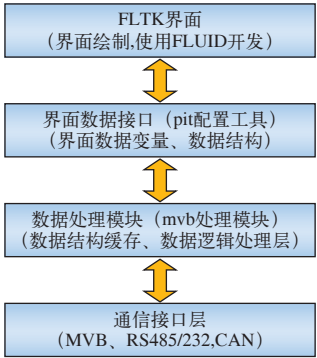


图2 程序与协议分离框架

2.2.1 FLTK界面设计及功能布局

界面绘制部分主要完成程序交互界面的外观设计和决定使用什么样的控件来显示数据，设计原则是将列车的重要数据和信息直观、简洁、友好地显示在HMI上，并要对数据进行分析，对互联设备的故障及时准确地反馈给司机和列车上的工作人员，并提供必要的帮助与提示。

作为司乘人员和列车的交流窗口，HMI应全面实时地为司机提供必要的车辆状态信息、指导司机操作，反馈测试结果和诊断信息，目录结构必须清晰明了，自顶而下分层设计，界面应人性化、功能全面、直观，切换流畅。采用以下几种方法来实现该目的。

2.2.1.1 切换界面分级

按照数据处理的急缓程度和重要级别进行分级，将由整体到单体、高层到底层的关系全部安排恰当，采用顶级切换方案^[6]，即顶层界面具有优先切换的权利，主要是为了方便司机随时将界面快速地切换到需要的界面。

HMI 软件主框架整体分为两层：第 1 层为各子系统界面窗口，也就是顶级界面，各界面之间可以互相切换；第 2 层主要是对第 1 层界面的细化，即子菜单界面，切换更加详细的信息，同一顶级菜单下的子界面可相互切换或返回对应的顶级菜单。显示器结构主框架界面示意图如图 3 所示。

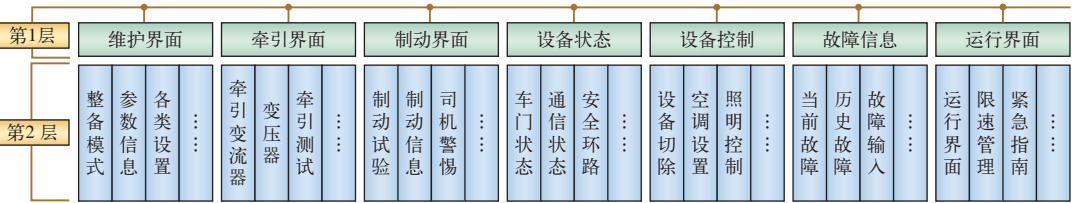


图3 显示器结构主框架界面示意图

2.2.1.2 操作模式分类

HMI 主要面向司乘人员和列车检修维护人员，针对不同的操作人员，设置不同的操作权限，防止在列车运行或检修过程中发生误操作。软件设计为司机模式和维护模式两种模式，2 种模式可相互转化，如图 4 所示。

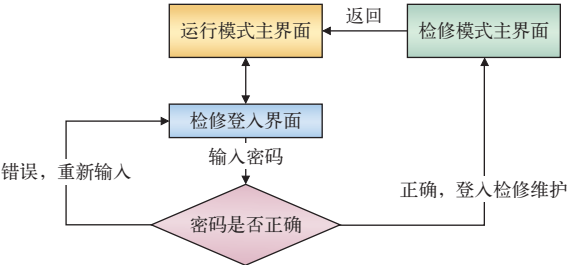


图4 显示器操作模式分类示意图

2.2.1.3 界面区域固定划分

按照项目统型需求^[4]、国际铁路联盟标准 UIC612-3^[8]，将显示界面划分为 A、B、C、D 大区，每个大区包含若干小区。A 区在界面的最上端，属于公共信息显示区；B 区为主显示区；C 区主要显示

设备状态；D 区为按键信息提示区。以上各区的尺寸定义如图 5 所示，各区功能如表 1 所示。

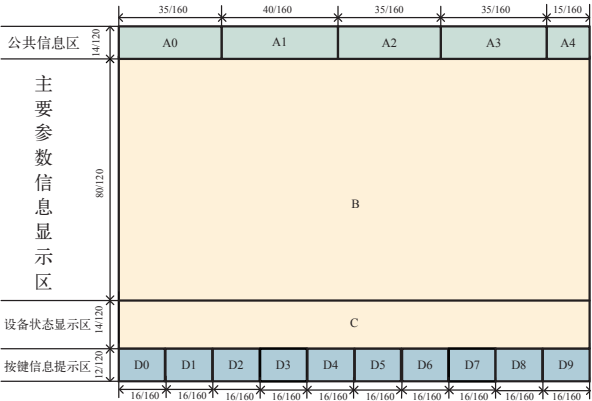


图5 显示器分区划分图

表1 各区功能划分

A 公共 信息 区域	A0	日期显示区
	A1	时间显示区
	A2	实时速度
	A3	模式以及恒速速度值信息
	A4	故障信息提示区
B	主要参数信息显示区	
C	设备状态显示区：包括门状态信息等重要维护信息、辅助变流器与电机信息等	
D0-D9	按键信息提示区	

2.2.1.4 友好、醒目的界面内容

HMI 界面是直观展示车辆信息的平台，友好清晰、直观简洁、形象醒目、人性化的界面显示方式

将对司乘人员提供更多的指导和帮助。界面以黑色为主要背景，可以最大限度的增加界面的对比度，可以更加醒目地显示列车信息；同时采用图标、文字、控件、图形、罗马数字相结合的显示方式，直观、形象显示列车信息，给司机以直接的视觉感受。如图 6 所示。

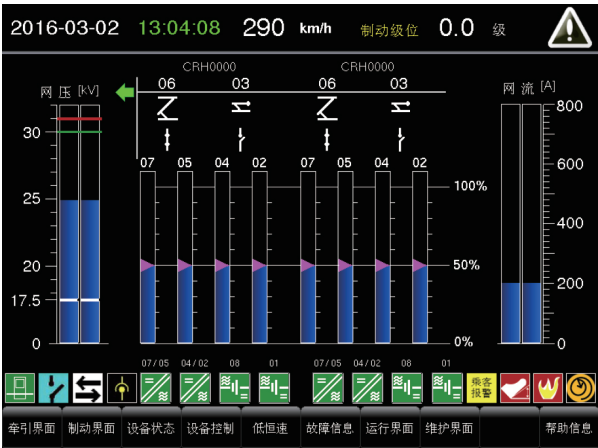


图6 友好界面示意图

- (1) 利用不同颜色的图标醒目直观地提示列车的信息车门、使能、空转、烟火、钥匙、受电弓、故障等级等信息。
- (2) 柱状图和醒目的三角标志动态显示当前编

组车辆的牵引制动力之和与弓网电压、电流以及本车辆的各个电机所发挥的实际牵引 / 制动力。

(3) 通过数字清晰的显示当前列车编组情况、列车车号、设备位置、列车速度等级、日期时间等信息。

(4) 适当使用文字进行描述，使显示内容更加准确，丰富的提示和帮助，给予司机更多的操作指导。

2.2.2 FLTK数据处理模块的实现

数据处理接口主要处理需要实时变化更新的数据变量与数据结构，并与界面上的各种控件相关联，从而实现界面的动态变化和实时刷新，小于 60 Hz 的刷新周期可有效防止系统运行性能降低和显示卡顿。

主控单元 (CCU1 或 CCU2) 将各子系统上传的重要状态数据经过必要的换算和处理后传送给 HMI，HMI 对 CCU 发出的数据进行接收、逻辑处理、状态显示和数据存储，也可以将车辆重要的操作信号传给 CCU 进行操作和控制 (如牵引辅助设备、空调控制、照明调节等系统的控制)。

主要工作流程如图 7 所示。

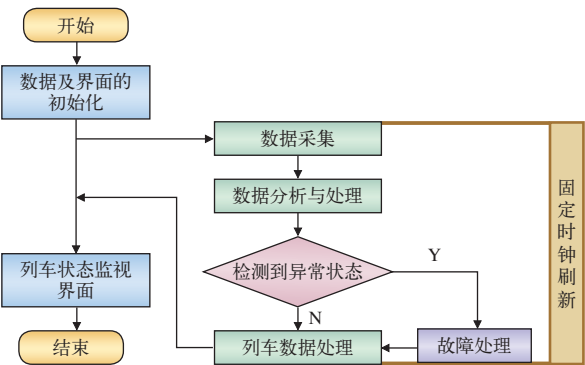


图7 显示器主要流程示意图

系统接通电源后，应用程序开始运行，应用程序需要完成显示界面的绘制和后台处理。为了降低 CCU 的占用率，使显示器界面切换流畅，数据状态显示及时准确，本文采用了以下几种方法：

(1) 对于不用显示需求的数据，采用不同的刷新频率进行刷新，可以在减少 CPU 占用率的基础上不影响车辆状态和报警信息的及时显示，比如，车辆状态数据和实时报警状态采用不低于 200 ms 的界面刷新速率，故障数据采用 400 ms 的界面刷新速率，非重要数据采用分页和低速率刷新，刷新周期为 500 ms。

(2) 采用多线程框架结构^[9]。采用多线程的方式去同时完成故障处理和驱动处理，互不干扰，防止主线程阻塞，提高了界面的响应速度。

(3) 界面刷新分时启动，启动那个界面就将该界面的定时刷新启动，关闭该界面的时候，停止该界面的刷新，不占用多余的资源。故障数据判断处理模块需要进行时时刷新，以便于故障数据的准确及时提供。通过该方法能够将程序运行后的 CPU 占用率降低到 30% 以下。

2.2.3 FLTK通信数据的处理

通信处理模块负责完成与各种通信接口的数据交换和处理。具体的执行流程如图 8 所示。

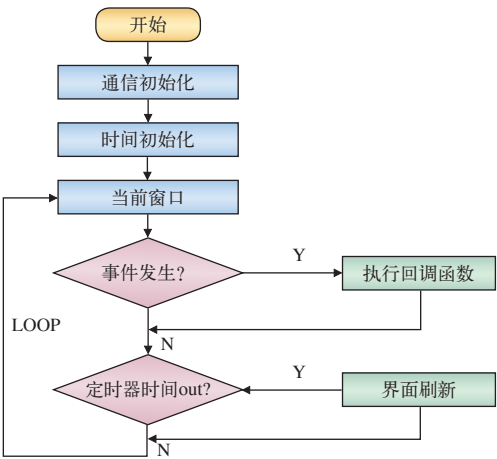


图8 显示器数据处理流程图

列车网络系统大部分设备通过 MVB 线缆组成网络，以多线程的方式不断检测各设备的状态，对采集的数据进行分析处理，并且传送至 HMI 终端显示。动车组项目主要通过 FLTK 的一些数据处理函数和自编写的函数处理与各个通信接口的数据交互，完成数据的读取和发送。

其中，在通信数据处理模块中，FLTK 编制的显示器最重要的功能有 2 项。

2.2.3.1 数据同步

动车组两端的 4 台显示器在网络中处于同等地位，配备不同的设备地址，位于同一端的显示器互为热备冗余。任一个主控显示器都可进行数据设置，而当几个显示器数据不一致时，网络无法判断从哪个显示器获取数据，此时需要将位于不同设备地址的显示器发送和接收的数据进行同步，以保证网络数据的一致性，防止误操作。

(1) 位于列车同一端的两个显示器，如 HMI1 与 HMI3，或 HMI2 与 HMI4，通过显示器内部的数据线进行同步。当数据不一致时，通过发送校正数据代码，进行 2 个显示器的数据同步。

(2) 位于列车两端的两组显示器，则是通过 CCU 的中间传递和逻辑处理，进行数据的同步。如空调指令的发出，当一端的显示器发出命令后，则将该数据上传至 CCU，CCU 通过列车级数据总线，传输至另一端的显示器进行显示，以实现操作和显示的同步性。

通信流程如图 9 所示。

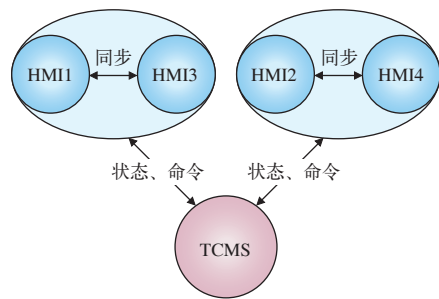


图9 HMI与TCMS同步示意图

2.2.3.2 信号实时性分类

根据数据的不同实时性要求，显示器将实时性要求高的数据每个周期都发送，实时性要求较低的数据分时进行发送^[4]。将数据划分为 P1、P2、P3、P4、P5 端口，说明如下：

(1) P1 端口数据：由编组中的主控车编排发出，其中主控车发送命令，包括控制指令，速度等数据，每个周期都发送，不进行分时。

(2) P2 端口数据：由编组中的从控车发送状态信号给主控车，用于主控车进行列车级的控制（主控车本单元用于列车级控制的状态信号可以从 MVB 总线中获取，无需通过 WTB 总线传输）。主控车 P1 端口与从控车 P2 端口的识别通过 P1 端口中字节 1 中的“主控车标志”信号区分。P1 端口传输示意图如图 10 所示。

(3) P3 端口数据：由编组中的所有单元编排发出，主要为车辆关键设备状态，每个周期都发送，不分时。

(4) P4 端口数据：由编组中的所有单元编排发出，主要为车辆设备状态，分时发送。

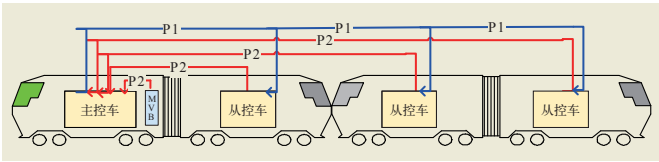


图10 过程数据实时性分类架构

(5) P5 端口数据：由编组中的所有单元编排发出，主要为车辆故障信息，分时发送。

2.2.4 FLTK通信接口

通信接口传送的数据为从各种通信方式（MVB、Lonworks、RS485、CAN^[9-10] 等）传递过来的原始数据，该数据的传递方式与内容和协议保持一致。

MVB 通信程序主要对采集的数据进行分析处理，并且传送至 HMI 终端显示，以分线程的方式不断检测各设备的状态。FLTK 中已经集成了 MVB 的端口程序，所以在程序编写过程中，需要包含头文件 `#include<mbv.h>`，MVB 类只有一个对象命名为 `mbv`，在调用关于 `mbv` 函数时都是使用该对象，需要在 `main` 函数中调用 `mbv.init` 对 `mbv` 初始化。

MVB 设备初始化主要包括硬件初始化、初始化源宿端口和启动操作模式 3 部分，如图 11 所示如果设备正常则会执行后面的循环，不断地轮询设备直到程序退出。

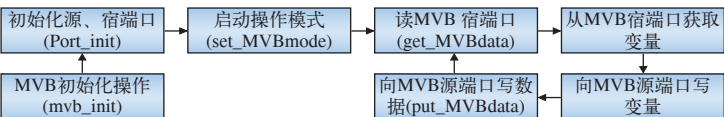


图11 MVB设备通信流程

对 MVB 配置文件 MVB.pit 进行操作，将通信协议的处理和主程序的数据处理分离开来。根据不同的通信协议，对项目需求的端口进行初始化、读取数据、写入数据等端口操作。配置 MVB.pit 的主要目的是为了保持通信协议和显示屏的数据一致性，建立通信接口的数据交换机制。这样就可以通过一个外接的 pit 文件配置表，将通信协议的配置和程序源代码的编写隔离开。运行 MVB 配置工具 `mbvcfg.exe`^[5]，生成一个各端口配置的二进制 Pit 文件。

3 结束语

结合实际项目，本文设计了一种基于 Linux-
(下转 P24)

连接形式与站场结构非常相似,可读性高,同时有很高的灵活性,便于在程序完成之后增加或删除结点。搜索进路时二叉树的数据结构有利于进路搜索,提高搜索效率,从而达到快速选排进路的目的。

文中的计算机联锁系统是对二叉树数据结构的简单应用,系统的功能还有待改进,只起到进路搜索和选排,最后锁闭进路的功能。

参考文献:

- [1] 赵志熙. 计算机联锁系统技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [2] 林瑜筠, 李 鹏, 李岱峰, 等. 铁路信号新技术概论 [M]. 修订版. 北京: 中国铁道出版社, 2007: 53-80.
- [3] 宋保卫. 新型铁路车站计算机联锁系统的设计与实现 [D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2009.
- [4] 李佳蔚. 铁路信号计算机联锁技术介绍 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8 (5): 20-22.
- [5] 文武臣, 王晓明. 计算机联锁的数据结构及进路搜索算法 [J]. 重庆工学院报: 自然科学版, 2008, 22 (6): 51-53.
- [6] 王文波, 马学霞. 铁路车站计算机联锁软件进路搜索算法研究 [J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (4): 63-66.
- [7] 朱 怡. 基于计算机联锁的进路表搜索生成系统的设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [8] 陈志颖, 董 昱, 杨 柳, 等. 计算机联锁进路搜索算法的分析与研究 [J]. 铁道通信信号, 2007, 43 (4): 4-6.
- [9] 张 敏, 陈 敏. 一种针对站场型结构数据的计算机搜索算法 [J]. 电子制作, 2012 (10): 145.
- [10] 姜海涛, 张为群, 黄 康, 等. 二叉树在自动进路搜索中的应用 [J]. 铁路计算机应用, 2002, 11 (8): 8-10.
- [11] 任晶晶, 郭宇明. 一种改进的进路搜索算法 [J]. 仪器仪表用户, 2005 (1): 70-71.
- [12] 吴益芳. 进路搜索数据结构与算法研究 [J]. 铁道通信信号, 2010, 46 (8): 34-36.
- [13] 梁艺凡. A* 进路搜索算法的研究与实现 [J]. 铁道标准设计, 2013 (2): 117-119.
- [14] 耿 杰. 基于深度优先搜索的铁路站场遍历算法研究 [J]. 铁道学报, 2012, 34 (4): 51-55.
- [15] 徐 鑫, 陈光武. 计算机联锁软件设计及进路搜索算法的研究与应用 [J]. 铁路计算机应用, 2011, 20 (1): 49-51.
- [16] 肖 蒙, 宁海安, 赵志荣. 基于有向图的进路搜索算法研究与设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2012 (6): 69-70.
- [17] 高利民, 李文慧, 孙 慧. 双向广度搜索算法在联锁进路自动生成中的应用 [J]. 铁路计算机应用, 2007, 16 (5): 43-45.
- [18] 陈 光, 杨 扬. 计算机联锁系统进路表自动生成算法 [J]. 铁路计算机应用, 2015, 24 (5): 5-8.

责任编辑 徐侃春

(上接 P19)

FLTK 的动车组人机界面方案,从框架结构、界面设计、通信模块等方面进行了阐述,以性能优异的开发平台和稳定性的 Linux 操作系统为基础,利用功能强大的开源工具 (FLTK) 进行开发设计,最终实现了各项设计初衷。程序与协议无关的顶层设计思想使程序目录层次更加清晰,同时具有友好美观的人机交互界面,该应用软件已在现场完成了各项功能性测试,首列车运行状况良好,累计运行约 61 万 km,受到客户的一致好评。

参考文献:

- [1] 倪文波, 王雪梅. 高速列车网络与控制技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2008, 5.
- [2] 客金坤, 梅 樱, 郭红卫. 基于图形化编程语言的列车人机界面设计 [J]. 都市快轨交通, 2007, 24 (1): 66-68.
- [3] 常振臣, 沙 森. 高速列车网络控制系统原理与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016: 30-67.
- [4] 中国铁路总公司. 时速 350 公里中国标准动车组总体技术条件 (网络部分) [Z]. 北京: 中国铁路总公司, 2014: 65-85.
- [5] 黄元芳, 汪 琳. 基于嵌入式系统下实现 FLTK 中文化的方案设计 [J]. 武汉冶金管理干部学院学报, 2007, 17 (4): 69-73.
- [6] 陈立娜, 姚 军, 宋会平. 基于 QT 的现代有轨电车 HMI 设计与实现 [J]. 石家庄职业技术学院学报, 2014, 26 (6): 40-43.
- [7] 饶天贵, 李宇锋. 南非双流制电力机车司机显示单元软件设计 [J]. 机车电传动, 2015 (1): 55-57.
- [8] UIC612—3. Display System in Driver's Cab Technical and Diagnostic Display [S]. 2009, 6.
- [9] 任亚飞, 唐 涛. 基于嵌入式 Linux 的列控系统车载人机界面的实现 [J]. 铁路计算机应用, 2005, 14 (12): 23-26.
- [10] Richard Stevens Stephen A. Rago. UNIX 环境高级编程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000, 2.

责任编辑 徐侃春