

ZC 模拟器在张江试验线 TECIS 联锁测试中的应用

李澎东^{1,2}, 陈昕¹, 任颖¹, 杨晓荣¹

(1. 湖南中车时代通信信号有限公司, 湖南长沙 410005;
2. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室, 湖南株洲 412001)

摘要:介绍了一种用于联锁系统功能测试的 ZC (区域控制器) 模拟器, 使用敏捷开发模式, 从功能需求、设计架构、实现方式和应用情况对模拟器进行了描述。试验证明, 采用 ZC 模拟器使联锁功能测试更加全面、便利、直观, 提高了测试效率。该方法也为 CBTC 信号系统各子系统应用软件测试模拟器开发提供了参考。

关键词: ZC 模拟器; CBTC; 联锁; 试验线

中图分类号: U284.3; TP337

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.05.026

ZC Simulator Implementation in TECIS Computer Interlocking Testing for Zhangjiang Test Line

LI Pengdong^{1,2}, CHEN Xin¹, REN Ying¹, YANG Xiaorong¹

(1. Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Changsha, Hunan 410005, China;
2. State Key Laboratory for Traction and Control System of EMU and Locomotive, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: A ZC simulator using the agile development model for functional testing of computer interlocking system was introduced from the functional requirements, design architecture, implementation method and application situation. The test results showed that using simulator could make the interlocking function test more comprehensive, convenient and intuitive, which improved the testing efficiency. The method also provided a reference for the development of CBTC signal system subsystem software application test simulator.

Keywords: ZC simulator; CBTC; computer interlocking; test line

0 引言

城市轨道交通列车运行控制系统主要是基于通信的列车控制 (Communication Based Train Control, CBTC) 系统, 其主要包括 ATC、ATS、ZC、联锁和 DCS 5 个子系统。在各子系统成功研发初期, 各子系统完全同步研发的可能性较小, 故业内很多信号厂家采用模拟器模拟其他子系统的方式开展子系统软件功能测试。为了配合中车自主研发的 TECIS 联锁系统完成张江试验线现场 CBTC 模式下的联锁功能测试, 开发了 ZC 模拟器。

本文首次采用 QT Creator 平台进行 ZC 模拟器开发, 不仅顺利完成了 TECIS 联锁系统张江试验线现场 CBTC 模式下的联锁功能测试, 也为 CBTC 各子系统采用 QT Creator 平台进行系统软件测试做了有意义的尝试。相较于真实 ZC, 模拟器运行在 PC 平台, 具有可操作显示界面, 可以更加方便地协同联锁系统进行正常及异常功能测试, 且开发周期较短, 在系统测试方面优势明显。

1 模拟器需求分析

张江试验线共有甲乙丙 3 个车站, 甲站为真实站台, 其余站为虚拟站台。线路设信号机 18 架、道岔 4 个、

区段 15 个。全线需提供 1 套 ZC 模拟设备, 为 2 套联锁提供 CBTC 模式下的联锁功能测试所需 ZC 基本功能。

试验线有一列真实列车, 考虑到多车追踪场景, 模拟设备需具备增加和删除虚拟列车并对已增加列车进行管理的功能, 主要包括列车注册/注销、发车/制动、列车模式切换、列车定位、按授权行车和发送列车开关门请求。

此模拟设备采用工控机作为硬件平台, 采用冗余网络进行系统间数据交换。

2 模拟器设计

2.1 实现平台选择

本文所述 ZC 模拟器基于 QT Creator 平台开发。选择该平台主要基于以下几点:

①该平台提供了大量的 GUI 给程序开发者来建立适合的、高效的图形界面程序及后台执行的应用程序。

②该平台具备优良的跨平台特性。

③该平台基于 C++ 语言进行编程, 面向对象的良好封装机制使得该平台的模块化程度非常高, 可重用性较好。

④该平台具有开源的特性。以前该平台开源版本使用 GPL 协议, 应用的空间相对较小, 而现在开源协议已经变成 LGPL, 意味着将该平台作为一个库连接到一个闭源软件已经可以实现。

2.2 模拟器组网

ZC 模拟器与联锁系统连接图如图 1 所示。

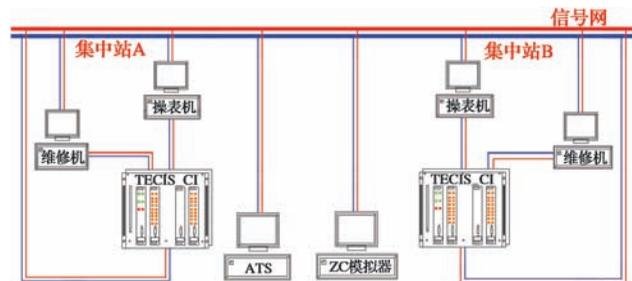


图 1 系统组网图 (双网)

2.3 模拟器软件架构设计

ZC 模拟器不仅需完成真实 ZC 基本功能, 还需完成列车管理功能, 所以需设计 ZC 模块及列车管理模块。因真实 ZC 无操作显示界面, 为了监视列车运行状态和线路设备状态及完成列车注册/注销、列车模式切换、按授权行车和发送列车开关门请求等操作功能, 开发了用于操作和显示的界面, 这部分在显示模块中实现。此外 ZC 模拟器需实时收发来自 ATS 及联锁子系统信息, 且模拟器各模块之间也实时交换信息, 故开发交换层和网络收发层模块完成对应功能。模拟器软件架构图如图 2 所示。

显示模块和列车管理模块采用面向对象的方法基于 C++ 语言开发, ZC 模块采用 ANSI C 开发, 支持在

嵌入式环境和 PC 环境中编译使用。模拟器通信采用双网、UDP 协议, 并定义了详细的模拟器与联锁及 ATS 间通信协议。



图 2 模拟器软件架构图

3 模拟器实现

3.1 网络收发层

网络收发层通过红蓝网收发数据, 当单网故障时, 不会影响 ZC 模拟器的正常工作。网络收发层与线路中 2 个区域的联锁通过 UDP 进行连接, 并与 ATS 通过 UDP 连接。具有数据校验功能, 按照约定的安全通信协议保障与 ATS、联锁之间数据的安全性, 避免重复、删除、插入、重排序、损坏、延迟、伪装等可能的威胁。网络接收到数据后, ZC 模拟器会对发送方的身份信息 (真实性)、信息帧的正确性 (完整性)、信息帧的时效性 (时限性)、信息帧序列的正确性 (次序性) 进行检查, 以避免错误数据引起 ZC 模拟器的功能失效。

当运行时间达到预定时间后, ZC 模拟器将按照约定的安全通信协议对 ZC 模拟器的应用数据分别进行打包, 并发往 ATS 与各个联锁。

3.2 交换层

交换层通过接收显示模块的人机操作信息中的“加车”命令, 实例化多个列车管理模块用以模拟多列车运行, 并将每个实例化的列车的运行模式、通信状态、位置、速度、运行方向、车门状态等通过交换层告知 ZC 模块。

交换层将 ZC 模块计算的各个通信列车的移动授权信息转发到指定的实例化列车管理模块中, 用于各个列车管理模块控制列车制动。将显示模块中的列车操作指令, 如“发车”、“停车”、“打开车门”、“自动折返”等指令发送到列车管理模块, 用于模拟司机对列车的操作。

ZC 模块将接收到的实例化列车管理模块的数据, 如: 列车识别号、列车信号模式、速度、列车门请求状态、位置、授权信息等通过交换层传递到显示模块, 显示模块通过列车信息栏进行显示; 将计轴区段识别号、计轴区段占用信息、计轴区段锁闭信息、保护区段信息等通过交换层传递到显示模块, 显示模块通过计轴区段信息栏进行显示。

交换层还负责转发 ZC 模块接收到的联锁请求的进路办理及进路取消操作和自动折返触发信息到显示模块, 供显示模块进行显示。

3.3 显示模块

根据模拟器软件显示需求, 设计模拟器显示界面



图 3 模拟器显示界面

如图 3 所示, 主要包括以下 7 个区域:

图 3 中①区为控区显示界面区域, 显示 ZC 与联锁连接状态、运行等级、线路设备状态、列车位置等信息。

图 3 中②区为列车信息栏, 显示列车 ID、列车模式、速度、列车门开 / 关请求状态、列车所处位置和列车相关联逻辑区段授权信息。

图 3 中③区为计轴区段信息栏, 显示计轴区段 ID、计轴区段是否占用、计轴区段是否锁闭、该计轴区段是否作为进路的保护区段、该计轴区段是否处于进路预留状态信息。

图 3 中④区为进路设置取消信息栏, 用于显示当前联锁请求的进路办理及取消操作。

图 3 中⑤区为自动折返信息栏, 用于显示列车自动折返触发信息。

图 3 中⑥区为加车菜单栏, 显示增加列车的 ID、增加列车的控制级别 (通信车 / 非通信车)、运营方向、初始位置及加车按钮。

图 3 中⑦区为控车菜单栏, 显示需要操作的列车 ID, 列车发车、制动、开车门和关车门命令按钮, 列车切换到 CBTC 模式 (CBTC 按钮), 列车降级为非通信车 (BLC 按钮), 删除当前列车并清除其相关联占用及授权信息 (注销按钮), 清除当前列车移动授权, 自动折返激活按钮, 清扫按钮及进路测试命令框信息。

3.4 ZC 模块

本文以 ZC 模块核心移动授权功能实现为例说明 ZC 模块设计。其他功能为 ZC 子系统基本功能, 本文不再赘述。

在 CBTC 运营级别时, 移动授权由 ZC 模拟器生成并发送给列车管理模块指导其按照要求的方向、速度运行。移动授权为列车安全运行的最大范围, 以此来保持列车之间的安全间隔。ZC 模拟器根据通信列车汇报的位置, 结合联锁汇报的轨旁设备状态及进路状态信息、ATS 下发的临时限速信息, 综合生成移动授权。通信列车移动授权计算如图 4 所示。

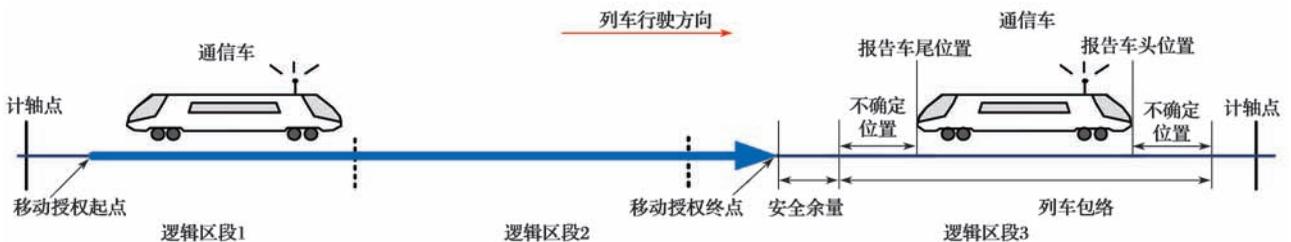


图 4 通信列车移动授权计算

ZC 模拟器对其管辖范围内所有列车的位置进行确认, 确定线路上运行列车的前后关系, 建立列车位置与线路的对应关系。CI 周期性与 ZC 模拟器交互数据, CI 向 ZC 模拟器汇报进路办理、区段占用空闲、道岔位置锁闭、信号状态等信息, ZC 模拟器再结合车载设备汇报的位置信息, 在保证追踪安全间隔的原则下, 确定通信列车 MA 的起始位置和终止位置。起始位置

为列车车尾安全位置, 终点位置为系统允许列车运行到的最大位置。

ZC 模拟器运算的 MA 中不仅包含起始和终止的位置, 而且还包括 MA 范围中的可能变化的轨旁设备的信息, 设备包括道岔、屏蔽门、紧急停车按钮。ZC 模拟器为列车计算 MA 时, ZC 模拟器给列车匹配的进路是已开放的进路, 且保证列车运行的方向与进

路的防护方向一致。对于未开放的进路，ZC 模拟器不能将其匹配给列车使用。当列车处于接近区段时，ZC 模拟器如果检查到列车为该进路始端信号机前方的第一列车时可将该进路匹配给本列车使用，但该列车不是信号机前方的第一列车时，以该信号机为始端的进路不能匹配给该列车。当列车处于未办理的进路上时，当前列车所处的进路不能匹配给该列车使用，ZC 模拟器需通知 ATP 实施紧急制动。

3.5 列车管理模块

实现列车管理功能如下：

①列车注册/注销功能支持在 ZC 模拟器区域内除道岔区域外的位置增加通信列车和非通信列车，并支持将列车从本区域注销的测试功能。

②模式切换功能支持对指定列车在通信列车与非通信列车之间切换，并汇报给 ZC 模拟器。

③列车定位功能支持通信列车在注册后应能定位自身所在的逻辑区段，非通信列车在注册后应能定位自身所在的计轴区段。

④按授权行车功能支持通信列车接收到 ZC 模拟器发来的移动授权后，应能按照移动授权设置的范围和方向运行。

⑤发送列车开关门请求功能，为通信列车与非通信列车提供开关门请求按钮，ZC 模拟器将在站内停稳的列车的开关门请求转发给对应的联锁，联锁判断满足条件后执行开关门。

4 应用情况

TECIS 联锁张江测试范围全面覆盖信号机、道岔、轨道区段、进路、故障 - 安全、性能及接口等，包含联锁软件、安全平台及系统等百余条测试项目。试验结果证明，采用 ZC 模拟器进行 TECIS 计算机联锁张江试验，试验线测试方案系统设计合理、软硬件配置完备、

测试项目齐全、实现方式切实可行，整体方案满足地铁业主对联锁提出的验证要求。TECIS 计算机联锁张江试验线 CBTC 模式下的联锁功能测试顺利通过行业内专家评审。

5 结语

本文参考互联互通相关标准及不同厂家 ZC 子系统设计，首次根据 QT Creator 平台特性使用敏捷开发模式开发了 ZC 模拟器。新开发的 ZC 模拟器具有可操作显示界面，测试方便，开发周期较短，涵盖功能全面，不仅为联锁 CBTC 模式下的联锁功能测试提供了便利，也为模拟器开发提供了新的方法和思路。

下一步将对模拟器 ZC 算法进行提取和优化，并迁移到安全计算机平台上做进一步的研究与应用。

参考文献：

- [1] 卜庆宇, 宋沛东. CBTC ZC 子系统功能简介 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015(1): 47-49.
- [2] 刘剑, 黎晓东, 姜庆阳. 城市轨道交通 CBTC 区域控制中心子系统的研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2012(2): 1-3.
- [3] 李凤华. 城市轨道交通 CBTC 系统区域控制器的研究与仿真 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2012.
- [4] 毛振华. CBTC 系统中区域控制器和外部联锁功能接口的设计 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [5] 上海富欣智能交通控制有限公司. 适用于列车自动控制系统 ATC 的环境仿真器: 201210476786.5 [P]. 2013-03-27.
- [6] 蔡志明, 卢传富, 李立夏, 等. 精通 Qt4 编程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 36-323.
- [7] 郑伟, 王超, 陈宁宁. CBTC 系统车载人机界面的设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2016(1): 80-82.

作者简介: 李澎东 (1989-), 男, 工程师, 主要从事城市轨道交通 CBTC 信号系统 ZC 研究。

动态消息

《机车电传动》编辑部声明

为顺应网络环境下期刊出版的新要求，推进期刊网络出版传播，凡向本刊投稿并被本刊录用，在著作权法的框架内，该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、

翻译权、汇编权等权利在全世界范围内转让给本刊及本刊授权的相关数据库。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网、手机等进行网络出版或提供信息服务，根据本刊编辑部稿酬标准一次性支付作者著作权使用报酬（即稿费，包含印刷版、光盘版和网络版等各种使用方式的报酬）。

《机车电传动》编辑部