

文章编号: 1005-8451 (2013) 05-0051-04

# 基于虚拟列车的CBTC系统仿真技术 研究与实现

蔡昌俊

(广州市地下铁道总公司 运营事业总部, 广州 510310)

**摘要:** 文章阐述地铁列车模拟控制系统的重要性, 提出模拟列车控制系统算法。重点研究列车运行模拟计算、模拟列车控制系统及应用软件架构设计, 为自主化基于通信的列车控制(CBTC)系统研发提供软件模拟环境。

**关键词:** 基于通信的列车控制; 虚拟列车; 仿真

**中图分类号:** U231.7      **文献标识码:** A

## Research and implementation on simulation technology of CBTC System based on virtual train

CAI Changjun

( Operating Department, Guangzhou Metro Corporation, Guangzhou 510310, China )

**Abstract:** This paper expounded the importance of the metro Train Simulation Control System, proposed the corresponding algorithm about the simulation of Train Control System, researched on several key technical issues including the calculation of the train operating simulation, the simulation of Train Control System and application software flow-chart. It provided the software simulation environment for the development of domestic Communication Based Train Control (CBTC) System.

**Key words:** Communication Based Train Control (CBTC); virtual train; simulation

随着城市轨道交通事业和信息技术的发展, 基于通信的列车控制(CBTC)系统已成为当前国内外轨道交通行业的主流信号系统制式。近年来, 在国家产业政策的扶持下, 国内科研单位也开始了自主化CBTC系统的研发, 但是由于信号系统的高安全性、高可靠性、高可用性的行业准入要求, 使得自主研发系统在既有运行线上运用实际列车进行试验变得非常困难, 因此, 在实验室建立基于虚拟列车的仿真测试平台至关重要。它可以不受空间和时间等因素的限制, 模拟真实的列车运行环境。

CBTC系统车载设备主要包括列车自动保护系统(ATP)和列车自动驾驶系统(ATO)。两者都是采用计算机技术对列车的运行进行控制, 分别负责列车的运行安全防护和列车高效舒适的自动驾驶。这可以降低人工的失误率, 保证行车的安全, 又提升了旅客乘车的舒适性, 是CBTC

系统的核心功能。

本文旨在实现实验室环境下基于虚拟列车技术的ATP和ATO模式的模拟运行, 重点研究列车运行计算系统、应用软件架构设计, 以及列车模拟控制系统的关键技术, 提出可行的列车模拟控制系统设计方案。

### 1 CBTC系统仿真测试环境概述

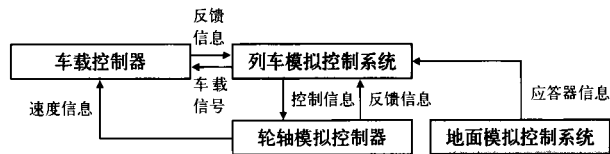


图1 CBTC系统仿真测试环境

如图1所示, 基于虚拟列车的CBTC系统仿真测试环境包括车载控制器、地面模拟控制系统、轮轴模拟控制器和列车模拟控制系统。

#### 1.1 车载控制器

车载控制器是列车信号控制系统的重要部件, 是CBTC系统车载设备应用程序开发和测试的平

收稿日期: 2013-01-16

作者简介: 蔡昌俊, 高级工程师。

台。车载控制器通常安装在驾驶室内。

## 1.2 地面模拟控制系统

地面模拟控制系统则采用计算机仿真技术代替了实际的计算机联锁系统以及区域控制器系统,实现移动授权、应答器报文和计轴占用信息的生成与控制,为列车模拟运行提供外部条件。

## 1.3 轮轴模拟控制器

轮轴模拟控制器则可以接收外部指令,控制内部电动机的转速,带动安装于电动机轴头的速度传感器,生成速度脉冲,模拟列车的物理运动。

## 1.4 列车模拟控制系统

列车模拟控制系统是本项研究重点对象。其主要功能是:

(1) 当激活端驾驶室 ATP 发送车载的控制信号给列车模拟控制系统时,列车模拟控制系统根据接受信息,判断列车当前处于何种状态,根据模拟策略计算列车下一时刻的相应状态,并将相应状态的控制指令实时传输给轮轴模拟控制器,使其按照计算得到的目标速度进行运转。列车模拟控制系统需要接受来自于轮轴模拟控制器的反馈信息,并进行调节,然后反馈给车载控制器的 ATP 系统,同时车载控制器需要周期性地接受来自轮轴模拟控制器传输的速度脉冲信息。

(2) 当激活端驾驶室 ATO 处于控制状态时,ATO 根据其自身的计算策略输出给列车模拟控制系统相应的控制电流,此时列车模拟控制系统启用列车的模拟控制算法,根据此时的位置信息,查找相应的线路数据库,实时计算出列车所处的路况,综合调整出一个列车实际可以输出的控制电流,并由此计算出目标速度,然后通过串口将控制信息传输给轮轴模拟控制器。列车模拟控制系统需要接受来自轮轴模拟控制器的反馈信息,并进行调节,然后反馈给车载控制器的 ATO 系统,同时车载控制器周期性地采集来自轮轴模拟控制器传输的速度脉冲信息。

整个列车模拟控制系统的算法和处理过程全部由微机处理系统计算。列车模拟控制系统对所有输入信息进行处理,并实时地将控制命令进行输出。其中与车载控制器、地面模拟系统以及轮轴模拟控制器的数据传输,综合考虑了数据的实效性和安全性两个方面,并构建了完善的数据传输网络。

## 2 列车模拟控制系统架构设计

### 2.1 硬件环境

列车模拟控制系统硬件设计主体可分为服务器端、客户端和网络通信。服务器端具有稳定而高速的 I/O 通信接口,用来满足与多客户端的信息交互。服务器端具有迅速的信息处理能力,能够同时分析和处理大量数据,保证满足多客户端连接后信息的快速处理能力。服务器和客户端采用基于 TCP/IP 机制的网络通信技术。

### 2.2 软件环境

本系统运行于 Windows 操作系统下,采用面向对象的软件设计技术,基于 VC++6.0 集成开发环境。

软件开发采用面向对象开发技术。通过应用封装、继承等技术,使不同程序之间的关联度减小,使得开发人员专注于程序的研发,而不是把大量精力放到各个模块的协调上。

VC++6.0 集成开发环境是集程序文件的输入、编辑、编译、连接、运行等各种操作为一体的、具有 Windows 窗口界面特色的环境,此集成开发环境拥有强大的调试功能,能为大型复杂软件的开发提供有效的排错手段,具有很高的兼容性和适应性;具有强大的可视化功能,包括软件开发阶段的可视化;计算机图形技术和方法的可视化;具有友好的交互界面,使程序员方便地创建系统工程文件、访问资源编辑器、使用内部调试器、访问程序源代码。

本系统采用基于面向对象开发技术,把系统功能模块化处理,提高了代码的可复用性,实现了程序的低耦合,高内聚,使系统程序间的关联度减小,减小了程序的错误率,也便于程序的维护和升级。软件处理流程如图 2 所示。

## 3 ATP系统仿真

(1) 在 ATP 人工模式下,本系统以牵引计算理论为基础,采用等周期模拟算法,针对列车在不同驾驶手柄下的运行情况,进行分级分时模拟,计算列车在牵引、制动和惰行情况下的速度曲线。

(2) 在 ATP 自动模式下,给列车施加牵引或制动需要依靠司机推杆来控制。在模拟控制时,

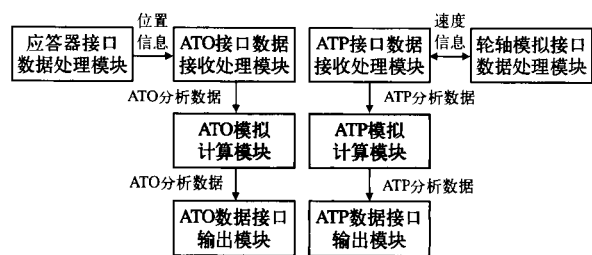


图2 列车模拟控制系统软件处理流程

由于需要列车在区间可以较高速的运行，而又不超过列车的保护速度，所以 ATP 自动模式是由控制软件自动模拟了司机推杆的过程。ATP 系统仿真软件流程如图 3 所示。

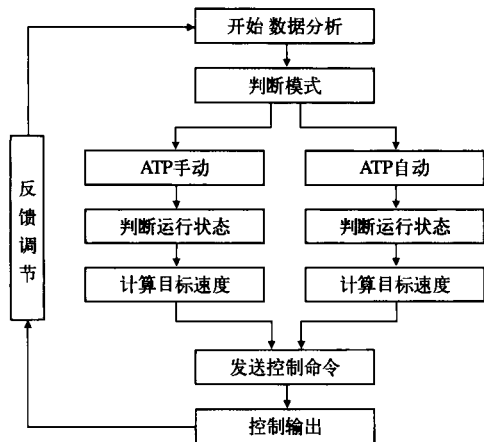


图3 ATP系统仿真软件流程

4 ATO系统仿真

ATO 系统需在不同的工况和环境下，实现自动控制列车加速或减速，保证列车运行的安全性、平稳性、准时性和提高乘客乘车的舒适性，适当时候还要考虑节约能源。ATO 系统仿真软件流程如图 4 所示。

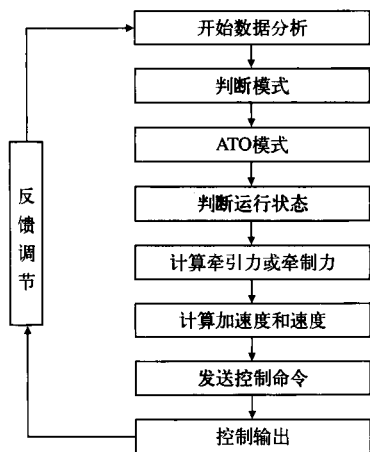


图4 ATO系统仿真软件流程

5 列车运行仿真技术

本模拟系统设计的目的是能够实时接收来自于 ATP、ATO 以及地面设备位置等信息，根据综合情况，通过模拟列车算法实时计算出列车的状态信息，并控制模拟列车的运行。

5.1 列车运行模拟计算

列车运行模拟计算主要需要 2 类数据：车辆数据，线路数据。车辆数据包括计算需要的各种机车车辆参数。线路数据包括线路的平纵断面和各种标记等。车辆数据和线路数据需要预先输入到数据库中，基于不同项目特定的车辆性能和路况进行实时调整。模拟列车系统从数据库中调用机车车辆数据，然后根据具体的线路条件和工况选择进行模拟计算。模拟计算的逻辑结构如图 5 所示。

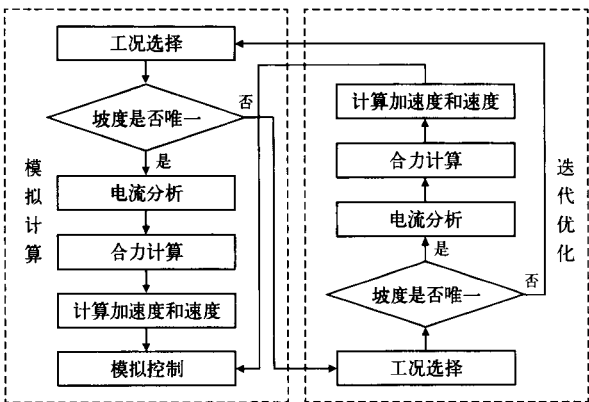


图5 列车运行模拟计算结构图

5.2 面向对象结构设计

面向对象技术可以提高软件生产的规范化，可重用率，所以列车模拟控制系统也采用了面向对象的技术。它以对象 (Object) 为核心，用类 (Class) 来表征具有相同属性的对象集合，形象地表示实际环境中的实体。

(1) 对象 (object)：类的一个实例，例如 ATO 模式下不同的控制电流，定义不同的控制对象。

(2) 类 (class)：相同操作功能和相同数据格式的对象集合。规定对象的公共属性和操作方法。

(3) 消息 (message)：向某对象请求服务的一种表达方式。对象内有方法和数据，外部的用户或对象对该对象提出的服务请求，可以称为向该对象发送消息，对象响应消息并执行相应的动作。图 6 是列车模拟控制系统面向对象设计结构图。

5.3 通信机制

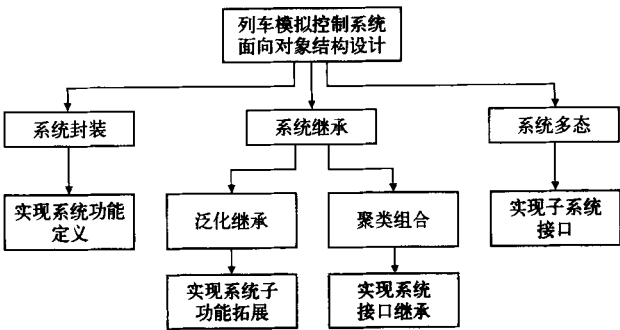


图6 列车模拟控制系统面向对象设计结构图

本系统采用 TCP/IP 机制实现数据在各个控制模块之间的传输。TCP/IP 协议广泛应用在 Linux，UNIX，Mac 和 Windows 等各种平台上，是目前主流的网络协议。同时，很多开发软件也针对该协议，增加了支持 TCP/IP 的接口或者工具包，所以 TCP/IP 成为了事实上的国际标准。因此本系统设计也采用了 TCP/IP 协议支持。其中套接字是通信的基石，是支持 TCP/IP 协议的网络通信的基本操作单元。本系统采用套接字的方式通过网络进行通信，运行于客户端的套接字为 ClientSocket，运行于服务器端的套接字为 ServerSocket，两者共同组成了基于套接字的网络通信方式，维护了系统通信的可靠性和安全性。

6 结束语

本文从 CBTC 系统模拟环境的角度出发，描述了列车模拟控制系统的功能，通过对列车模拟控制系统的设计，仿真及分析，能够高效地对列车运行过程中车载信号系统各项工况进行模拟响应，与真实信号车载控制器等部件相结合，构建了自主研发的城市轨道交通 CBTC 列车自动控制系统基于虚拟列车的仿真调试环境，显著提升了研发工作的效率，为未来工程应用顺利实施提供了有力支撑和保障。

参考文献:

[1] 邵华平，贾利民. 基于计算机技术的一体化列车运行智能控制系统 [J]. 中国铁道科学，2000 (4).  
[2] 刘贺文，赵海东，贾利民. 列车运行自动控制算法 [J]. 中国铁道科学，2000 (4).  
[3] 黄志平，康 熊，周忠良. 列车自动驾驶的仿真实现 [J]. 铁道机车车辆，2001 (6).  
[4] 郭佑民，王志伟，武 福. 列车操纵与运行仿真系统 [J]. 兰州铁道学院学报，2002 (6).

责任编辑 杨利明

(上接 P50)

网需求，按照平均每用户上行带宽 50 kbps、下行 250 kbps 进行计算，50 个用户共需要上行带宽为 500 kbps、下行带宽为 2 500 kbps。

单个 McWiLL 基站能提供上下行各 75 000 kbps 的传输带宽，根据以上业务的需求，铁路集装箱节点站系统容量分析如表 4 所示。

表4 铁路集装箱节点站系统容量

| 业务           | 数量  | 上行 (kbps) | 下行 (kbps) |
|--------------|-----|-----------|-----------|
| 视频回传业务       | 30  | 11 520    |           |
| 语音调度业务       | 100 | 1 500     | 1 500     |
| 上网业务         | 10  | 500       | 1 250     |
| 总需要带宽        |     | 13 070    | 2 750     |
| McWiLL单基站带宽  |     | 75 000    | 75 000    |
| McWiLL两基站总带宽 |     | 150 000   | 150 000   |
| 采用7：3的比例分配   |     | 210 000   | 90 000    |

从表 3 中可以看出，系统容量完全可以满足铁路集装箱节点站的规划需求，考虑到除了 30 路视频回传业务之外，还有数量比较大的语音调度需求，所以本系统的上下行比例建议按照 7：3

进行配置，保证各种业务的稳定运行。

4 结束语

针对目前铁路集装箱节点站较多的情况，经过深入的研究、参考大量的技术文献，对无线技术进行分析和比较，提出了 McWiLL 无线宽带接入系统方案，该方案对铁路集装箱节点站无线宽带接入的设计和施工具有一定的参考作用。

参考文献:

[1] 温 斌，林 波. McWiLL 宽带无线接入技术及应用 [M]. 北京：人民邮电出版社，2009，3.  
[2] 张 伟. 兰州铁路集装箱信息平台的构建研究 [J]. 铁路计算机应用，2010，19 (10).  
[3] 蒋 辉. McWiLL 的演进：面向工业信息化的宽带多媒体集群系统 [J]. 电信科学，2008 (8).

责任编辑 杨利明