

文章编号: 1005-8451 (2008) 05-0008-04

CTCS3 级列控系统车载设备仿真子系统的设计与实现

徐丽, 张勇

(北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

摘要: 对 CTCS3 级列控系统仿真测试平台中的车载设备仿真子系统进行研究, 介绍仿真子系统的结构和功能, 描述核心功能的实现方法, 包括最严格静态速度曲线的计算、动态速度曲线的计算、车载设备工作模式切换和 RBC 交接等。基于 C++ Builder 6.0 实现了车载设备仿真子系统。

关键词: CTCS3; 车载设备; 列控系统; 仿真测试; 速度曲线

中图分类号: U284.482 : TP39 **文献标识码:** A

Design and implementation of on-board Equipment Simulation Subsystem of CTCS3

XU Li, ZHANG Yong

(State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: It was focused on the design and implementation of on-board Equipment Simulation Subsystem in CTCS3 simulation and testing platform. The architecture and functional modules of the System were described, the implementation of important functions, such as the calculation of most restricted static speed profile, dynamic speed profiles, the mode transition as well as RBC handover were described. The Subsystem has been developed based on C++ Builder 6.0.

Key words: CTCS3Level; on-board equipment; simulation and testing platform; speed profile

CTCS3 级列控系统是基于 GSM-R 的列车控制系统, 通过无线网络实现了列车与地面无线闭塞中心 (RBC) 的双向信息传输, 线路上安装固定应答器为列车提供定位信息, 轨道电路仅用于列车的占用检查和列车完整性检测, 列车的运行控制由信号系统 (CTC, 联锁、轨道电路等)、无线闭塞中心等组成的地面设备和车载设备共同完成。

目前, 适用于客运专线的 CTCS3 级技术规范和关键技术正在研究之中, 建立 CTCS3 级列控系统综合仿真测试平台可以为系统的设计研究及设备集成提供良好的辅助设计、研发平台和验证测试平台, 用于系统研究、方案比较和设备测试评估等。本文重点研究 CTCS3 级列控系统综合仿真测试平台中车载设备仿真子系统的设计和实现。

1 CTCS3 级列控系统仿真测试平台总体结构

CTCS3 级仿真测试平台是一个基于计算机网络的半实物仿真测试系统, 主要包括以下部分: (1) 控制中心设备部分; (2) 车站设备部分: 包括微机联

收稿日期: 2007-09-16

基金项目: 国家自然基金项目 (60742001)

作者简介: 徐丽, 在读硕士研究生; 张勇, 副教授。

锁, 列控中心和 CTC 分机; (3) 车载设备部分; (4) 无线闭塞中心; (5) 列车运行仿真平台部分, 主要实现应答器报文的模拟发送和轨道电路的占用模拟, 以及列车群的模拟; (6) 车地无线通信网络, 由真实的 GSM-R 网络实现; (7) 仿真管理器, 完成仿真管理任务规划、初始化设置、管理控制、回放、结果分析和操作仿真模式的初始化设置、同步各仿真器的工作、仿真场景的管理和切换等功能。在设备测试阶段, 仿真管理器还担当测试主机的功能: 包括测试案例的自动生成, 测试案例的自动执行, 测试结果的自动统计和分析等。

在 CTCS3 仿真测试平台中, 与车载设备相关的部分包括: RBC, 轨旁设备仿真器 (模拟应答器功能), 列车操作模拟器, 仿真管理器和 MMI 等, 车载设备仿真子系统平台的信息传输架构如图 1。

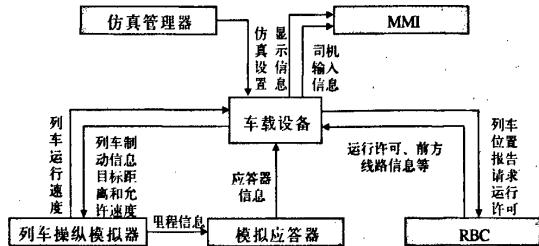


图 1 车载仿真系统的信息传输结构

车载设备仿真子系统需要的外部信息包括：

(1) 列车速度信息。由列车操纵模拟器根据列车牵引特性、线路条件等计算后提供；

(2) 应答器信息。由轨旁设备仿真器根据列车位置向车载设备提供应答器组编号, 列车根据应答器信息进行里程计校准, 等级转换或RBC 交接。列车位置来自于列车操纵模拟器。

(3) 列车静态信息。如列车牵引总重、列车长度、车辆制动力、轴重和列车类型等,由人机接口提供。

(4) 线路固定信息。包括线路的区段长度、静态限速值、线路曲线半径、坡度值、信号点位置即目标点位置等, 由 RBC 提供;

(5) 临时限速信息：由 RBC 根据 CTC 分机下达的临时限速信息提供；

(6) 列车运行许可, 由 RBC 根据微机联锁提供的进路情况, 列控中心提供的区间轨道电路占用情况等信息提供。

2 车载设备仿真子系统总体设计及功能描述

车载设备仿真子系统的硬件由一台 PC 机实现，软件部分是运行于 Windows XP 环境下的应用程序。以下主要描述仿真子系统的软件设计。

2.1 软件总体设计

软件总体设计结构如图 2。

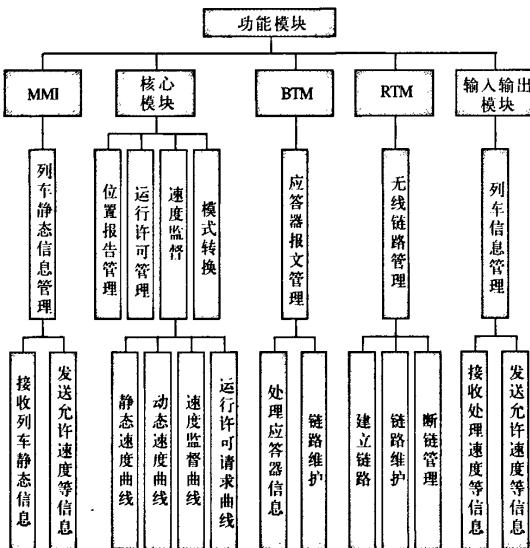


图2 车载设备仿真子系统的软件总体结构图

2.2 模块功能描述

(1) 核心模块

核心模块的功能包括：向 RBC 发送列车位置报告，车载设备通过 GSM-R 接口接收 RBC 传送的运行许可、临时限速及线路参数等，之后车载核心模块将这些信息进行计算，完成生成目标距离模式曲线和相关的请求运行许可曲线，进行速度监督等，并根据 RBC 传送的信息进行移交 RBC 和接收 RBC 的交接，即列车控制权限的交接全过程，进行模式转换的处理，设定与模式相关速度限制，对从外部接口接收到的信息进行过滤，根据给定模式存储信息的完成处理，以及模式间转换的优先级和限制，对应答器消息的非一致性和链接的非一致性做出处理，防止列车溜逸或反向运行等；

(2) 应答器传输模块 (BTM)

· 检查应答器组信息是否完整和正确；对应应答器消息的非一致性和链接的非一致性做出处理；检测应答器位置和标识。

(3) 人机接口 (MMI)

提供司机与车载设备的接口，向司机显示提示信息，司机通过 MMI 输入部分参数。根据当前的模式和司机对当前信息的请求，控制给司机显示用的 MMI 接收机；司机的输入将传送给内核进行处理。

(4) 无线传输模块

无线信息传输模块 (RTM) 负责传输车—地面间的信息, 进行两者间的会晤管理, 包括链路建立、链路维持和拆除链接等管理。此模块在下列情况下应建立通信会晤: 任务开始时, 如果地面设备命令, 除非与同一个 RBC 正在建立或已经建立通信会晤, 当通信会晤建立后, 如果安全连接偶然中断但地面设备未发出断开连接的指令时, RTM 都应认为通信会晤仍然是建立的。RTM 检测到无线通信中断后, 应先释放安全连接, 然后再重新建立 (保持通信会晤)。

（5）输入输出模块

车载设备与列车运行仿真器连接的输入接口模块，将列车运行仿真器产生的列车运行状态信息报告给核心模块。输出接口模块，向列出运行仿真器发送允许速度、制动信息和目标距离等信息。

(6) 运行管理记录单元

规范司机驾驶，记录与运行管理相关的数据。

(7) 设备维护记录单元

对设备诊断、故障和维护情况进行记录。

(8) 测速模块

根据速度传感器模拟器产生的脉冲信息, 实时计算列车运行速度和列车走行距离, 并报告给核心模块。

3 车载设备仿真功能模块的设计

3.1 最严格静态速度曲线的计算 (MRSP)

描述在一段线路上列车应服从的最严格的速度。最严格限速曲线是所有速度限制中的最小值, 也就是所有速度限制中最严格的部分。为了计算动态速度曲线, 车载设备需要根据静态速度限制曲线确定最严格的限制速度曲线。静态速度限制是由地面基础设施、列车特性、信号和车载设备的运行模式共同决定的。静态速度限制有6种类型: 静态速度曲线 (SSP); 临时限速 (TSR); 最大列车速度; 与模式有关的速度限制;

静态速度曲线: 描述了一段指定线路的固定速度限制。静态速度限制可与诸如最大线路速度、曲线、道岔、隧道和桥梁等有关。静态速度曲线基于与线路和列车相关的因素, 线路和列车特性之间的关系决定了每个列车单独的静态速度曲线。

临时限速: 定义临时限速是为施工区段等情况设置一个单独的线路速度限制类别。所有的临时限速应相互独立, 即一个临时限速不会影响其他临时限速, 也不受其他临时限速影响。

模式相关的速度限制: 与模式相关的限速值应使用规定值或者默认值。例外情况: 对于目视行车模式和调车模式, 速度限制也可由地面设备给出。地面设备给出的限速值比规定值/默认值的优先级高。

列车相关的速度限制: 应能定义与列车的实际性能和配置有关的最大列车速度。

3.2 动态速度曲线的计算

CTCS3级中由目标距离模式得到列车在线路上的允许速度, 计算出请求运行许可曲线, 报警曲线、常用制动曲线以及紧急制动曲线。如图3目标距离模式下的速度监控曲线。

其中: EOA 表示运行许可的终止, 此时目标速度为0; SSI 代表速度监督曲线; EBI 代表紧急制动干预曲线; SBI 代表常用制动干预曲线; WBI 代表报警干预曲线; ARC 代表运行许可请求曲线。

速度监督目的是监督与位置相关的列车速度, 使列车遵守最严格的限制速度曲线、LOA/EOA。允

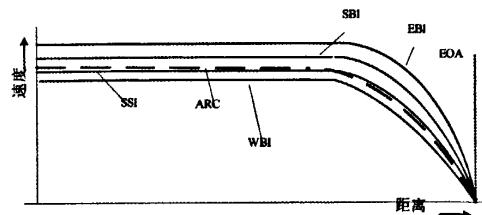


图3 目标距离模式下的速度监控曲线

许速度是要求司机遵循且应向司机显示的速度。如果列车速度超过了报警界限, 则应触发报警, 提示司机采取措施以避免制动介入(动作)。报警被触发后应一直有效, 直到列车速度等于或低于允许速度。常用制动应作为系统干预的第1条干预曲线, 如果列车速度超过了常用制动曲线, 系统应实施常用制动。常用制动触发后, 当列车速度等于或低于允许速度限制时应取消制动命令。如果列车的速度超过紧急制动介入界限, 系统应实施紧急制动。

根据线路固定信息, 计算出加速或减速点。加速点将加速位置后移一个列车长度, 减速点反推减速曲线, 找到减速点对应的减速度, 综合坡度信息, 计算动态速度曲线即允许速度。计算运行许可请求曲线、常用制动曲线和紧急制动曲线则分别为监督曲线加上1个、2个和3个速度差值。报警曲线则为减去一个速度差值。速度差值的算法为: 当列车速度大于100 m/s时, 取差值为5 m/s; 当列车速度在100 m/s和50 m/s之间时, 取差值为3 m/s; 当列车速度小于50 m/s时, 取差值为2 m/s。

3.3 模式转换

列车在运行过程中, 会遇到各种不同路况和紧急信息, 车载设备要随时监测列车运行状态。列车运行模式只有在某些条件满足时, 才能存在, 当某一个条件没有满足时, 就必须进行模式转换。例如: 当前车载设备处于备用模式, 车载设备与RBC已经建立通信会晤, RBC已经获取列车数据并建立了列车管理, 如果RBC未知基于LRBG的列车位置, 则不能生成基于LRBG的MA, 车载设备转入人工负责模式。

3.4 RBC交接过程

车载设备应配合RBC完成RBC的交接功能。假设车载设备能同时建立两个通信会晤, 当车载设备接收到在指定位置切换到另一个RBC的命令时, 应执行: 立即与“接收”RBC建立通信会晤, 当列车的最大安全前端通过指定位置时, 向“移交”RBC

发送一个位置报告,当列车的最小安全末端通过指定位置时,向“移交”RBC发送一个位置报告。一旦车载设备与“接收”RBC建立了会晤,应向“接收”RBC发送列车数据,除非车载设备处于休眠模式。当列车最大安全前端已通过边界时车载设备直接向“接收”RBC发送位置报告,车载设备应使用从“接收”RBC收到的信息,而只从“移交”RBC接收断开链接命令。当建立两个会晤时,如果车载设备在向接收RBC发送列车最大安全前端已经通过边界的位置报告之前就收到了来自接收RBC的信息,则车载设备应存储这些信息。如果车载不能同时建立两个通信会晤,车载设备只有先断开与移交RBC的连接,才能与接收RBC建立通信会晤。

4 仿真流程

仿真系统的工作流程见图4。

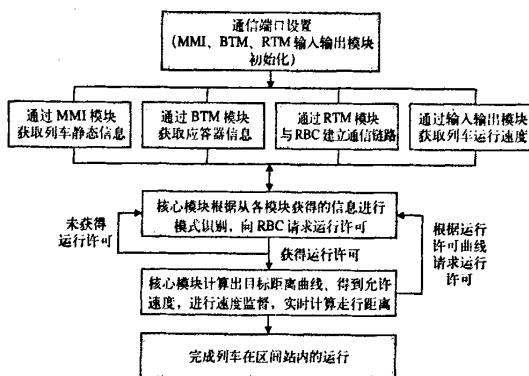


图4 仿真流程图

仿真开始后,MMI向车载设备报告列车静态信息和司机输入信息。车载设备与列车运行仿真平台建立连接,列车运行仿真平台为车载设备提供最后相关应答器组标识号,车载设备在接收到应答器信息后,向RBC发送列车位置报告,请求最初的运行许可。RBC发送给车载设备运行许可MA、线路静态信息、临时限速和紧急信息等信息。车载设备接收到运行许可和线路数据及临时限速信息后,由核心模块进行最严格静态速度曲线和各种动态速度曲线的计算。车载设备向MMI发送当前速度、允许速度、目标距离、里程和车载设备标识号等需要向司机显示的信息。车载设备从列车操纵模拟器获得列车当前速度值,向列车操纵模拟器发送允许速度、工作模式、制动信息和目标距离。在仿真过程中,车

载设备实时监督列车运行状态,实时计算速度控制曲线和请求运行许可曲线,仿真系统根据计算出列车当前位置,将当前速度与速度—距离模式曲线进行比较,对列车速度进行监控。在接近目标速度监控区段时,为司机提供制动预示以使司机能够尽早地实施制动。如果列车速度超出了允许速度范围,则给出报警,以便使避免制动干预。如果速度值达到了常用制动干预曲线,则将会实施常用制动。如果速度值达到了紧急制动干预曲线,则将会实施紧急制动。当速度值减小到可缓解速度值时,常用制动或紧急制动可被缓解。同时车载设备还必须实时根据当前状态,看是否满足:当执行模式转换后;当司机输入列车的完整性信息后;当检测到列车完整性丢失时;当列车最小安全末端通过RBC/RBC的边界时;当执行等级转换后;通信会晤成功建立后;在经过每个应答器组时等情况下,车载设备应向RBC报告列车位置。核心模块监测模式符合情况,随时准备进行模式转换。

车载设备仿真子系统内各个模块同时运行,仿真子系统与其它系统地面设备子系统通信,实时监控,完成列车在区间、车站内的运行及控制。

5 结束语

本文对CTCS3级列控系统仿真测试平台中车载设备仿真子系统进行了研究,描述了仿真子系统的结构和功能,描述关键功能模块的实现方法,包括动态速度曲线的计算、模式转换和RBC交接等。根据列车运行全过程,描述了仿真流程。目前已基于C++ Builder 6.0平台实现了仿真子系统的功能,并与其它子系统进行了联调。

参考文献:

- [1] 胡耀华. 我国铁路提速中的列车超速防护系统的分析与研究[J]. 中国铁路, 2002 (8).
- [2] 唐涛, 邹春海. ETCS系统分析及CTCS的研究[J]. 机车电传动, 2004 (6).
- [3] 王志莉, 黄厚宽, 王涛. 列车控制仿真系统中速度控制曲线的计算[J]. 铁路计算机应用, 2005, 14 (4).
- [4] 范丽君. 列车运行控制系统车载设备发展探讨[J]. 机车电传动, 2004 (6).
- [5] 邹春海, 唐涛, 张建明. 高速铁路列车运行控制系统车载设备的软件设计[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23 (5).