

文章编号: 1005-8451(2013)03-0052-04

CBTC系统的车载ATP原理样机仿真与研究

段宏伟

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要:介绍了城市轨道交通中使用最为广泛的CBTC系统, 同时对车载运行控制子系统中的列车自动防护(ATP)进行功能分解, 并对各个功能模块进行需求分析、接口和软件设计。在此基础之上, 研制一套基于PC104硬件平台和vxWorks操作系统的车载ATP原理样机, 对ATP功能进行仿真。研究结果表明车载ATP仿真系统实现了列车的安全防护功能, 获得了满意的效果。

关键词:城市轨道交通; 基于通信的列车控制系统; 列车自动防护

中图分类号: U285+U284 文献标识码: A

Principle prototype simulation and research on on-board ATP based on CBTC System

DUAN Hongwei

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In this paper, the CBTC (Communications Based Train Control) System which was the most widely used on Urban Transit was introduced. Furthermore, the function of Automatic Train Protection (ATP) for on-board Operation Control System was analyzed. The requirement analysis and the design of interface and software were made. On this basis, it was developed a principle prototype of on-board ATP based on PC104 hardware platform and the vxWorks Operating System, and simulated the function. The results showed that the On-board ATP Simulation System implemented the function of safety protection, and obtained satisfactory results.

Key words: Urban Transit; Communications Based Train Control(CBTC) System; Automatic Train Protection(ATP)

目前在地铁、轻轨等领域已广泛使用、经过验证相对成熟可靠的运行控制系统为CBTC列车运行控制系统。CBTC列车运行控制系统实现了车-地间信息的无线连续传输, 更进一步缩短了列车行车间隔, 提高了运营效率。车载运行控制系统作为CBTC (Communications Based Train Control System, 基于通信的列车控制系统) 系统中一个必不可少的核心子系统, 实现对列车的行车安全防护和自动驾驶功能。车载设备由列车自动防护(Automatic Train Protection, ATP) 和列车自动驾驶(Automatic Train Operation, ATO) 两个设备组成。其中ATP为SIL4级设备对列车的安全运行进行防护, ATO为SIL1级设备可以对列车进行自动驾驶。其中列车的自动驾驶采用人控优先, 人机结合的方法。车载ATP是列车安全运行的基础, 对列车的各项状态进行监控, 本

文主要对ATP的功能进行分解和设计, 实现原理样机的仿真。

1 CBTC系统功能划分

基于通信的列车自动控制仿真系统CBTC仿真系统由ATS、ZC、CI、ATP、ATO、VSIM、WSIM子系统组成。其中:

列车自动监督(Automatic Train Supervision, ATS)子系统负责列车运行计划的调整、下发车次号等功能。

CI: 联锁子系统负责列车进路的排列, 轨道状态采集等功能。

ZC: 区域控制器子系统, 主要为列车生成移动授权, 转发地面的控车命令等。

ATP、ATO为车载子系统, 完成列车状态的监控和自动驾驶。

WSIM为轨旁仿真系统, VSIM为列车仿真

收稿日期: 2012-08-22

作者简介: 段宏伟, 在读硕士研究生。

系统，完成对列车运行途中轨旁状态的仿真和列车自身状态的仿真。CBTC 系统构成示意图及车载 ATP 在整个系统中的位置如图 1 所示。

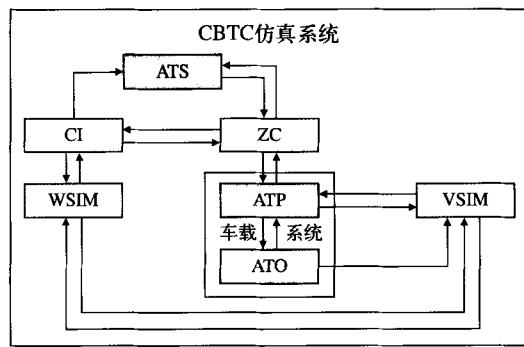


图1 CBTC系统连接示意图

2 车载ATP的功能划分与需求分析

2.1 列车定位、测速及位置报告

定位和测速 ATP 完成防护功能的保证，列车运行途中要实时更新列车位置，通过测速电机及冗余的雷达可获得列车速度及位置更新。列车位置处于未知状态时（包括列车从车辆段投入正线运营和列车从特定故障中恢复），此时列车需经应答器进行列车的绝对定位和运行方向的确定。列车周期向 ZC 报告位置，此位置为列车的安全位置，为了实现列车的安全行车，需要计算列车的安全包络，安全包络是指列车的最大安全前端和最小安全后端。车载 ATP 设备应考虑列车的定位的可能的最大测距误差，实时动态计算列车的安全包络。测距误差为位置校准后，定位信标读取误差和测距累积误差。列车的安全包络如图 2 所示。

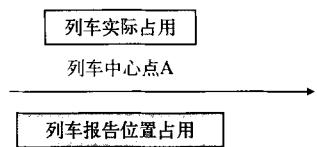


图2 列车的安全包络示意图

2.2 列车状态防护

列车的状态防护又由列车完整性防护、列车溜车防护、列车的运行方向防护、速度信息丢失防护、ATO 状态监督、车门状态监督、通信检测等几项组成。列车通过车钩电路对列车的完整性进行监督。列车停稳后，一旦检测到列车的非正常移动（包括前溜和后溜），列车将采取紧急制动。

列车通过位置的更新来获得列车的实际运行方向，通过与列车期望运行方向的比较来防护列车，一旦检测到列车的运行方向与期望运行方向相反且移动超过了 1 m，则触发紧急制动。列车周期获取列车的速度信息，如果在规定时间内未得到列车的速度信息则判定为列车的测速设备故障，速度信息状态丢失，触发紧急制动。ATP 周期获取 ATO 状态信息，如果 ATO 状态异常，则提示司机选择其他较低的驾驶模式，如果当前模式为 ATO 模式则触发紧急制动。ATP 在列车运行途中对车门进行锁闭，实时监督车门状态。

2.3 速度防护

速度防护是 ATP 的核心功能，关系到列车的安全和列车运行效率。ATP 接收 ZC 的移动授权点和线路信息得到永久限速和道岔位置等信息，然后再使用临时限速一起反推当前位置到移动授权点的紧急制动曲线。再紧急制动曲线的基础上下降一个过走距离即为全常用制动曲线。其中防护曲线的计算采用了 IEEE1474 中的标准 CTBC 系统的制动曲线参考模型如图 3 所示。模型考虑了最不利情况下的列车制动曲线。

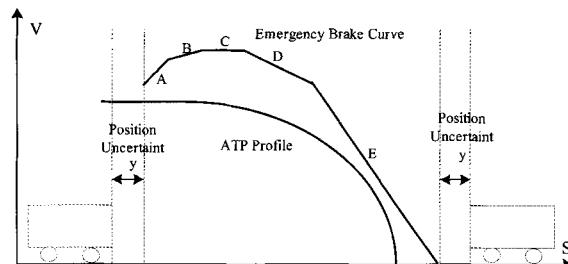


图3 标准CTBC系统的制动曲线参考模型图

完成计算制动曲线之后，ATP 实时检测列车的当前速度，并监督是否触犯了当前位置的紧急制动曲线或者全常用制动曲线中的速度。

2.4 车门及屏蔽门控制

车载 ATP 检测到列车在站台停稳停准之后，要实现车门与屏蔽门的联动功能。在没有门旁路的情况下，且当列车处于 SM 或 AM 模式，在站台停车窗内停稳时，车载 ATP 通过电子地图获得

开门方向，并允许相应侧车门打开，由ATO或司机打开车门。此外，车载ATP监督车门打开/关闭命令，应及时向地面发送开关屏蔽门命令，实现车门屏蔽门联动。

2.5 区域切换

列车运行途中，要发生车载ATP与相邻ZC的切换情形。在列车的最大安全前端进入切换区域，ATP向当前ZC发出区域切换申请，列车最小安全后端驶离切换区域后，ATP切断与当前ZC的连接，向目标区域ZC发起通信连接，待收到目标ZC的移动授权后，区域交接成功。若区域交接未成功，则列车在授权点前停车。

2.6 列车停准与停稳监督

ATP通过运行方向和当前站台从数据库中获取停车点，通过与当前列车位置的比较判断列车是否停准。如果在允许误差之内，则认为停准，通知ZC。如果大于误差且在预定值之内则进行调整。列车在预定周期内检测到当前速度为0（速度值低于某一预定值），且列车牵引切断制动已施加则认为列车已停稳。

2.7 停车保证

ATP收到ZC的停车保证请求和新的移动授权后，计算新的紧急制动曲线。如果能够保证列车在新的授权点停车，则ATP给ZC肯定应答，正常防护列车行驶，保证列车安全。如果列车不能保证在新的移动授权点停车，则ATP给ZC否定应答，同时列车紧急制动。

2.8 制动输出

列车实时判断列车的状态是否违反了安全的界限，如果越过安全点立即触发紧急制动。当列车收到站台的紧急制动命令时也将触发紧急制动。紧急制动是机械操作。紧急制动一旦触发将不能缓解，必须等列车停车后再人工缓解。列车停车后，司机需要人工确认触发紧急制动的原因是否已经消除。对于站台的紧急制动命令，需得到站台的紧急制动缓解命令后，才能消除紧急制动。

2.9 自动折返

自动折返功能是车载ATP系统实现列车连续运营的基础。列车到达折返站台后，等待乘客下车结束，当司机按下折返按钮后，ATP将完成对列车的自动换端和折返并对其过程进行防护，申请新的车次号投入新一轮的运营。

3 接口设计

车载ATP系统由车载设备内部接口和外部接口构成。

车载设备内部接口主要是车载ATP系统与列车定位系统、测速系统的安全接口。

外部接口由以下几个部分组成：

(1) 车载ATP系统通过串口通信与车载无线通信单元相连，无线通信模块通过无线传输与轨旁控制系统相连，实现车载控制系统与ZC系统的通信。

(2) 车载ATP系统通过I/O口与列车制动系统连接，实现对列车的制动功能。

(3) 车载ATP系统通过CAN总线与列车牵引单元相连，实现与列车牵引系统的通信。

4 软件设计

车载ATP仿真系统采用模块化设计，共有列车状态防护、速度防护、通信检测、控制输出几项核心功能。为了更加全面的仿真车载ATP的功能，在原理样机的仿真软件中加入了安全设备的取二功能，周期性对车载ATP的核心数据进行双系比较。如果发生双系数据比较不一致的情况，根据故障导向安全的原则列车发生紧急制动。

同时，为了方便调试和监控列车模拟的各项故障和运行状态，在开发原理样机的仿真系统的同时设计并实现了上位机显示软件。通过冗余的车载以太网实现数据传输。

提供的上位机显示界面使调试者可以直观的感受列车的运行状态及各项信息，方便对各项参数的收集与配置，同时也可对列车运行状态进行监督。合理舒适的界面环境也为车载系统的进一步优化和开发提供了帮助。

5 结束语

本文着重介绍了CBTC系统中车载ATP的核心功能和与其他子系统的接口设计。在此基础之上，开发了一套原理样机，最后与其他子系统进行了系统联调。对车载ATP的功能进行了测试。同时，开发的上位机系统清晰地实时显示了系统

运行期间车载系统的各项状态。

仿真结果表明：车载 ATP 仿真系统软件实现了对列车各项功能的监督功能，对列车进行了安全防护，达到预期效果。本原理样机只是简单地实现了 ATP 系统中的基本功能，更加复杂的防护功能还有待进一步优化和调试。

参考文献：

- [1] 王黎 . CTCS3 级列控系统车载子系统仿真研究 [D]. 成都：西南交通大学，2009.
- [2] 宋岩 . 管轨运输车载运行控制系统原理样机设计与实现 [D]. 北京：北京交通大学，2009.

- [3] 郭宁，郭进 . 列车运行控制仿真系统（二）ATP 列车超速防护仿真研究 [J]. 铁道通信信号，2008, 44 (4) : 13-16.
- [4] 阳光武，肖宇讷，张卫华 . 列车曲线上制动时的安全性分析 [J]. 铁道学报，2009, 31 (1) : 36-39.
- [5] 李伟 . CTCS-3 级列控系统车载设备测试平台关键问题研究 [D]. 北京：北京交通大学，2009.
- [6] IEEE Std 1474.1-1999. IEEE Standard for Communications-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements[S]. 1999.

责任编辑 徐侃春

(上接 P51)

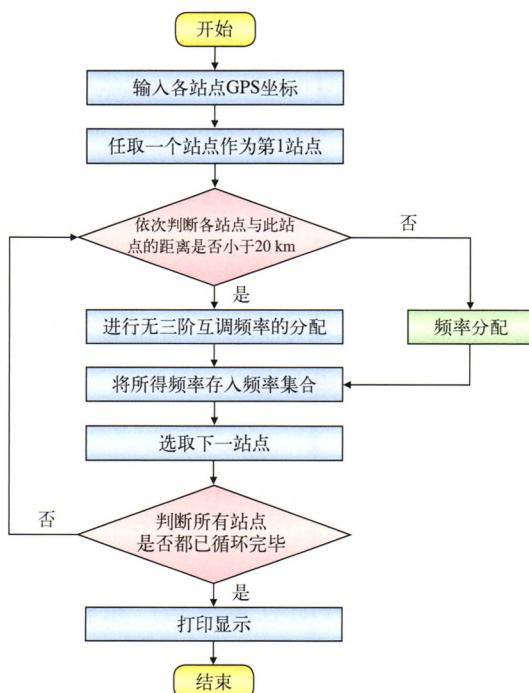


图6 软件设计流程示意图

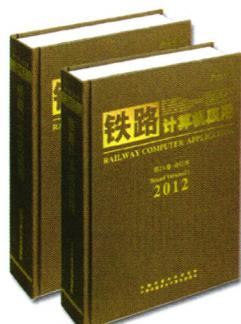
路运输生产实际要求为前提，综合考虑经济因素和长期发展等因素来确定实施，且应经过现场实验验证。基于以上几点，经过多次现场试验论证，最终确定并实现了合理的频率分配方案。

参考文献：

- [1] ShiBo. Research and Analysis on technical solution of GSM-R wireless communication for flat shunting [J]. Railway communication and signal ,2008(5):3-5.
- [2] 王琦 . 无线调车灯显设备从模拟向数字方式过渡的探讨 [J]. 铁路运输与经济，2010 (7) : 87-89.
- [3] 周峻颖，张祖荫 . 移动通信中无三阶互调的实时频率分配算法及实现方案 [J]. 舰船电子工程 ,2002 (6) : 47-50.
- [4] 贺娟妮，宋宇博，程媛媛 . GIS 在调车作用监控中的应用研究 [J]. 兰州交通大学学报，2008 (1) : 114-116.
- [5] 耿肇英，赵建利，耿焱 . C# 应用程序设计教程 [M]. 北京：人民邮电出版社，2009.

责任编辑 徐侃春

《铁路计算机应用》2012年合订本（限量版）出版发行



合订本为大16开本，全彩印刷，每册定价 **160** 元。



限量发行200套，从速订阅。

凡在 2013 年 1 月至 6 月订购 2012 和 2013 年合订本各 1 册的读者，将特别赠送本刊创刊 20 周年（1992.6—2012.7）全部文献光盘 1 套（价值 280 元）。

订购热线：010-51849236
E-mail: bjb@rails.cn