

文章编号: 1009-444X(2011)03-0217-04

基于无线通信技术的 CBTC 信号系统

汤璐洁^{1,2}, 钱剑敏², 梁鉴如³

(1. 上海轨道交通维护保障中心通号公司, 上海 200002; 2. 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620;
3. 上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 介绍了基于通信的列车控制(CBTC)信号系统的基本组成结构,对法国泰雷兹(Thales)公司的 CBTC 信号系统的结构和特点进行了分析. 研究表明:当信号系统通信丢失后,主要子系统处理机制充分体现了信号系统故障导向安全的原则.

关键词: 基于通信的列车控制; 地铁自动控制; 通信丢失

中图分类号: U 231.6 **文献标志码:** A

CBTC Signalling System Based on Mobile Communication Technology

TANG Lu-jie^{1,2}, QIAN Jian-min², LIANG Jian-ru³

(1. Shanghai Rail Transit Maintenance Support Centre, Telecom & Signalling Branch, Shanghai 200002, China;
2. College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China;
3. College of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: The basic composition and structure of CBTC system were introduced, the characteristics and structure of Thales's CBTC system were analyzed. The result shows that the processing mechanism of the major signal subsystem for lost communications can fully reflect the failure-oriented safety criteria.

Key words: CBTC(Communication Based Train Control); metro automatic control; communication lost

移动闭塞是基于通信的列车控制(Communication Based Train Control, CBTC)信号系统. 该系统不依靠轨道电路向列车车载设备传递信息,而是利用通信技术实现“车地通信”,并实时地传递“列车定位”信息^[1]. 通过车载设备、轨旁通信设备,实现列车与车站、控制中心之间的信息交换,完成列车控制. 系统通过轨旁无线接入单元(Access Point, AP)建立车地之间连续、双向、高速的通信,使列车运营过程中的命令和状态可以在车辆和地面之间进行实时可靠的交换,并确定列车的准确位置及列车间的相对距离,保证列车的安全

间隔^[2].

移动闭塞技术是通过车载设备和轨旁设备不间断地双向通信来实现的. 列车不间断地向控制中心传输其标识、位置、方向和速度等信息,控制中心根据列车实时的速度和位置动态计算列车的最大制动距离. 列车的长度加上最大制动距离,再加上列车后方一定的防护距离,便组成了一个与列车同步移动的虚拟分区^[3]. 由于保证了列车前后的安全距离,两个相邻的移动闭塞分区就能以很小的间隔同时前进,这使列车能以较高的速度和较小的间隔运行,从而提高运营效率^[4].

收稿日期: 2011-04-19

作者简介: 汤璐洁(1984-),男,在读硕士,研究方向为控制工程. E-mail: tanglujie@metro.sh.cn

1 CBTC 信号系统架构

CBTC 信号系统一般由 4 部分组成:

1) 列车自动监控系统 (Automatic Train Supervision, ATS).

ATS 是一个非安全子系统,它为控制中心值班员提供人机接口,在线路显示屏上显示列车的具体位置.同时,将接口软件发送的列车进路请求提供给区域控制器 (Zone Controller, ZC).冗余结构的 ATS 可实现与所有列车运行控制子系统的通信,用于传输命令,精确地排列列车进路及监督子系统状况^[5].

2) 区域控制器.

ZC 由移动授权单元 (Movement Authority Unit, MAU) 和微机联锁 (Poste de Manoeuvre Informatise, PMI) 系统组成. ZC 通过运行 CBTC 的移动闭塞概念,确保列车的安全运行. ZC 基于已知的障碍地点和预计的交通荷载,确定其控制区域内所有列车的移动权限.每个 ZC 均采用 3 取 2 的冗余配置,确保系统的安全稳定^[6].

3) 车载控制器 (Vehicle on-Board Controller, VOBC).

VOBC 与列车是一一对应的.它通过速度传感器的输入,测量信标间的距离以及从已检测到的信标开始的行驶距离,实现列车自动保护 (Automatic Train Protection, ATP) 和列车自动运行 (Automatic Train Operation, ATO) 的功能.数据库中包括所有相关的轨道信息,例如信标位置、车站停车点、坡度、土建限速、道岔位置和信号机位置等.与 MAU 采取同样的 3 取 2 的冗余配置,加强车载系统的稳定性.列车操作显示 (Train Operator Display, TOD) 为司机提供了连接 VOBC 与 ATS 的接口,显示的信息包括最大允许速度、即时速度、到站距离、列车运行模式和系统出错信息等^[7].

4) 数据通信系统 (Data Communication System, DCS).

DCS 传送的是安全控制信息,但它本身不是一个安全系统.与 DCS 相连的任何两个节点之间,可以互相通信.系统采用开放的国际标准:以 802.3 (以太网) 作为列车控制子系统间的接口标准,以 802.11 作为无线通信接口标准,这两个标准均支持互联网协议 (IP)^[8].

2 Thales 公司 CBTC 信号系统架构

2.1 系统介绍

Thales 公司的 CBTC 信号系统可以在两种模式下运行:CBTC 模式和后备模式.在 CBTC 模式下,MAU 从 ATS 接收进路请求.随后 MAU 从列车报告的位置开始为列车计算 ATS 所请求进路上的移动授权,即移动授权限制 (Limit of Movement Authority, LMA) 或者人工列车授权 (Authorization for Manual Train, AMT),并延伸至 ATS 所请求进路上最近的障碍点.如果 ATS 进路包含道岔区域,MAU 将请求一条通过联锁区域的 PMI 进路.只有当 PMI 报告该进路已经授权以后,MAU 才将 LMA 延伸至该进路.当 MAU 确定一列受控列车的移动授权可以通过一个信号机时,MAU 会向 PMI 发送一个信号允许命令. PMI 遵照 MAU 的命令去驱动信号机点亮绿灯,这在固定闭塞原理中,也许会因为两列车未满足双红灯保护原理而导致该信号机无法开放绿灯. MAU 通过信息确认区域里所有列车的确切位置,并利用列车的确切位置以及系统所获取的信息,确定延伸列车的移动授权的时间,以便保证移动授权中的信号机安全可靠.列车可以在受控模式 [ATO、列车自动防护人工模式 (Automatic Train Protection Manual, ATPM)] 下运行,利用 LMA/AMT 建立停车点,运行过程应用移动闭塞原理.

2.2 系统特点

Thales 公司 CBTC 信号系统的 6 大特性:

1) 移动闭塞列车控制. MAU 通过与所有设备不间断的通信来确定列车的移动授权,并实现移动闭塞列车控制,后续列车的移动授权也将根据前车的速度以及各种设备的状态时时变化.

2) 双向运营. 系统利用 LMA 管理提供安全的双向运营,并支持到实体站台、虚拟站台和信号机的进路.

3) 通过本地工作站运营的能力. 在中央调度服务器 (Schedule Regulation Server, SRS) 故障的情况下,本地 SRS 不需操作员干预,将自动分配运行线.本地操作员可以承担区域控制,可以更改进路以及对轨旁发命令^[9].

4) 计轴区段 (Axle Counter Block, ACB) 故障下的运营能力. MAU 功能的引入,可以使系统在一些 ACB 故障情况下维持 ATO 运营. 这些故障

包括:

- ① 相邻区段不被占用时的 ACB 受扰;
- ② 区域边界的 ACB 受扰;
- ③ ACB 受扰且相邻区段里只有通信列车.

5) 列车往返运营及列车线路变更. 在轨道被阻塞的情况下, 支持两地之间的往返运营(包括双

向运营).

6) MAU 不可用时后备系统的可用性. 在 MAU 不可用的情况下, ATS 向 PMI 发送进路请求, PMI 基于固定闭塞原则设置进路以及开放信号^[10]. 列车按照 PMI 建立的进路, 在轨道信号防护(Wayside Signalling Protection, WSP)模式下运行.

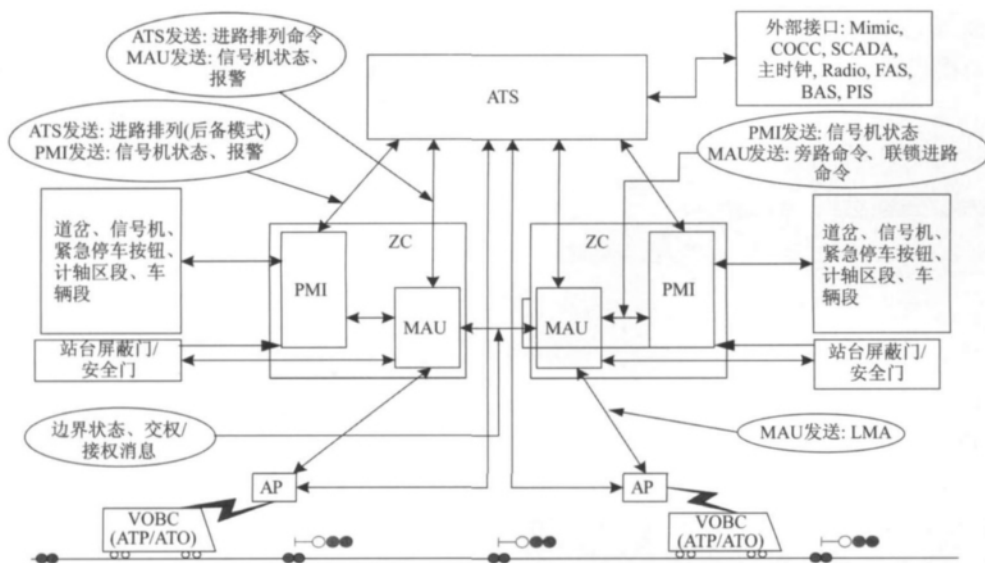


图1 系统架构图^[11]

Fig. 1 Structure diagram of system

3 通信丢失

CBTC 信号系统是基于通信的列车控制信号系统, 各子系统之间良好的通信是系统正常工作的保障. 由于各设备的冗余性, 单个部件的故障不会导致 VOBC 与 MAU 的通信丢失, 多个部件故障才可能导致通信的丢失. 例如设备集中站中 MAU 的两块主处理单元(Main Processing Unit, MPU) 板宕机故障; VOBC 的两块 MPU 板宕机故障; 两个相邻的 AP 故障; 一列列车的两个移动无线电单元(Mobile Radio Unit, MRU) 故障等. 当 VOBC 与 MAU 通信丢失时, 从 VOBC 层面看, 就等同于一个 MAU 故障; 而在 MAU 层面, 就等同于一个 VOBC 故障.

3.1 VOBC 处理机制

当故障引起列车与地面通信故障时, 即 VOBC 检测到与 MAU 通信故障时, 3 s 时间内 VOBC 不会作任何反应, 3 s 时间后 VOBC 会命令 ATO 列车施加常用制动使列车减速, 并设置最近的地点为

列车的紧急停车点, 如下一车站的进站停车点, 下一连锁信号机、通信丢失停车点(该停车点根据司机的反应时间、列车的速度建立)等停车点.

如果通信在 12 s(含之前的 3 s) 时间内恢复, VOBC 将命令 ATO 列车加速, 继续前进. VOBC 速度曲线如图 2 所示.

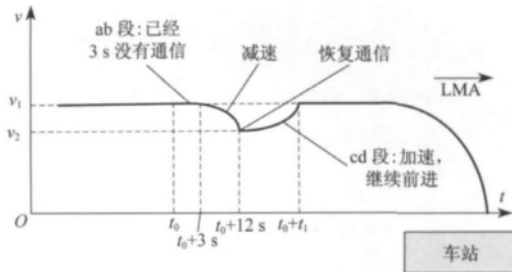


图2 VOBC 速度曲线

Fig. 2 Speed curve of VOBC

如果通信在 12 s(含之前的 3 s) 时间内没有恢复, VOBC 会判定其最后接收到的 LMA 无效, 列车移动授权设置为 0, 命令 ATO 列车施加紧急制动(Emergency Brake, EB).

3.2 MAU 处理机制

12 s 后, MAU 将列车变为非通信列车(Non-Communicating Train, NCT), 如图 3 所示. 此时, 在 ATS 界面上列车名字显示为红底白字. 若列车分配有 LMA 进路, 则列车前方的信号机将变为禁止信号机(红灯信号机), LMA 进路自动变为 AMT 进路. 中央调度员不需要重新给列车排列进路, MAU 会保留原有的进路请求, 根据列车的模式计算合适的授权.

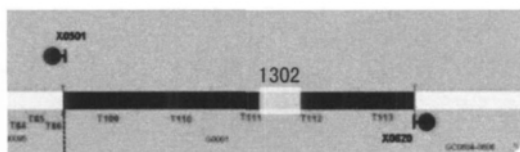


图 3 非通信列车

Fig. 3 Non-communicating train

如果在 63 s(含之前的 12 s)内通信恢复, 缓解 EB 后, 列车可继续正常行驶; 如果在 63 s(含之前的 12 s)内通信没有恢复, MAU 在通信开始丢失 63 s 后, 删除 ATS 界面上的列车图标, 列车所占用的计轴区段, 变成一个非通信障碍物(Non-Communicating Obstruction, NCO), 如图 4 所示. 此时 ATS 界面上列车名仍显示为红底白字, 所占计轴区段下会多出一条湖蓝色色带. 之后, 列车在中央调度员授权下, 可以转换至限制人工向前(Restricted Manual Forward, RMF)模式运行. 当满足 WSP 模式的转换条件后, 列车可以转换至 WSP 模式运行. 根据固定闭塞的双红灯防护原则, 重新命令满足条件^[12]的信号机变为允许信号机(绿/白灯信号机).

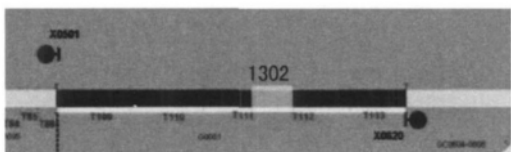


图 4 非通信障碍物

Fig. 4 Non-communicating obstruction

4 结 语

地铁运营情况是错综复杂的, 只有一套稳定、高效, 且具有极强抗故障能力(抗故障能力包括预防故障的能力和故障发生后系统处理机制的合理

性)的信号系统, 才能满足市场的需求. 法国 Thales 公司研发的 CBTC 信号系统在总体设计中兼顾了较强的抗故障能力. 在系统设计过程中, 无论是信号系统后备模式的采用, 还是各子系统设备的冗余设计(针对不同类型设备的不同特性, 分别采用了双机热备、2×2 取 2 和 3 取 2 等 3 种不同类型的冗余设计), 以及在故障发生后系统的处理机制, 均符合信号系统故障导向安全的原则, 旨在确保白天运营时, 轨旁设备和车载设备的正常稳定, 降低故障发生率. 由于故障的发生是不可避免的, 即便系统发生故障, 该系统也会运用合理的故障处理机制, 将故障发生后对运营的影响降至最小, 确保营运列车的安全和乘客的安全.

参考文献:

- [1] 王晶. 城市轨道交通列车自动防护系统建模与仿真实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [2] Rail Transit Vehicle Interface Standards Committee of the IEEE Vehicular Society. IEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements[M]. New York: IEEE Publisher, 1999: 5-8.
- [3] 朱翔. 实现基于通信的列车控制互联互通的若干思考[J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(9): 6-8.
- [4] 郜春海. 基于通信的轨道交通列车运行控制系统[J]. 现代城市轨道交通, 2007(2): 7-10.
- [5] 周洁, 陈衡, Georgescu M. 移动闭塞的原理、系统结构及功能[J]. 城市轨道交通研究, 2004, 7(1): 6-9.
- [6] 杨艳成. 基于 CBTC 的列车自动防护系统(ATP)建模与仿真[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [7] 何林娜, 应子雯. 城轨 CBTC 系统中数据通信子系统的研究[J]. 通信技术, 2009, 42(10): 139-141.
- [8] 谢凡. 城市轨道交通 CBTC 系统的数据传输子系统的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [9] 李春宇, 徐洪泽. 开放空间无线 CBTC 车地通信系统[J]. 铁路通信信号工程技术, 2006, 3(3): 46-48, 55.
- [10] 刘会明. CBTC 系统工程设计中需注意的几个问题[J]. 铁路通信信号工程技术, 2006, 3(3): 33-35.
- [11] 龚振东. 信号与系统中的几个学术问题[J]. 上海工程技术大学学报, 2006, 20(2): 148-152.
- [12] 刘晓娟. 城市轨道交通 CBTC 系统关键技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2009.