

# 列车全自动运行信号系统时间同步方案

黄柒光 梁 宇

(卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海)

**摘 要** [目的] 时间同步是保证信号系统中各子系统协同联动的基础,其直接关系到列车的运营准点率和运行安全性,也是实现列车全自动驾驶的基础。因此,需对列车全自动运行信号系统的时间同步方案进行研究。[方法] 介绍了时间同步设备在信号系统中的作用;提出一种信号系统时间同步方案,并对所提信号系统时间同步方案进行了说明。[结果及结论] 所提时间同步方案为:信号系统的通信前置机通过网络从时钟系统获取统一时间源,且仅由通信前置机的主机提供时间服务;应用服务器作为客户端同步通信前置机的主机,且仅应用服务器主机作为服务端,为下一层设备提供时间服务;网关服务器和各终端设备同步应用服务器主机的时间,网关服务器主机作为时钟源为下一层设备提供时间服务;ATC(列车自动控制)车载设备和 DCS(数据通信子系统)设备作为客户端,同步网关服务器主机的时间。所提方案对信号系统内部与外部采用不同的同步方式,避免外部时钟跳变导致内部信号系统跳变,确保了设备的时间同步精度,其时间同步精度可达毫秒级,保障了列车全自动运行的需求。

**关键词** 城市轨道交通; 信号系统; 时间同步

**中图分类号** U285

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.02.038

## Time Synchronization Scheme for Train FAO Signaling System

HUANG Qiguang, LIANG Yu

(CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] Time synchronization is the foundation for ensuring the coordinated linkage of sub-systems within the signaling system, which directly affects the punctuality and operational safety of trains, serving as the basis for achieving train FAO (fully automatic operation). Therefore, it is necessary to study the train FAO signaling system synchronization scheme. [Method] The role of time synchronization devices in the signaling system is introduced. A time synchronization scheme is proposed and explanation is provided for the scheme. [Result & Conclusion] The proposed time synchronization scheme is as follows: the communication front-end processor of the signaling system obtains a unified time source from the clock system through the network, and time services

are provided only by the host of the communication front-end processor. The application server as the host of client synchronizing with the communication front-end processor, and only the application server host is used as the server to provide time services to the lower-level devices. The gateway server and various terminal devices synchronize with the time of the application server host, with the gateway server host serving as the clock source to provide time services to the lower-level devices. The ATC (automatic train control) on-board devices and DCS (data communication sub-system) devices serve as clients to synchronize the gateway server host time. The proposed scheme utilizes different synchronization methods for the internal and external environments of the signaling system, avoiding internal signaling system jumps caused by external clock jumps, ensuring the time synchronization accuracy of the equipment. The time synchronization accuracy can reach millisecond level, thereby guaranteeing the requirements for train FAO.

**Key words** urban rail transit; signaling system; time synchronization

对于列车全自动运行系统,时间同步设备是保证信号系统中各子系统协同联动的基础,其直接关系到列车的运营准点率和运行安全性。时间同步包括信号系统与外部时钟源的同步、安全子系统轨旁 ATC(列车自动控制)系统与 ATC 车载设备的同步,以及采用 LTE(长期演进)车地无线通信 BBU(基带处理单元)之间的同步。对于全自动运行线路而言,时间不同步将导致列车运行不准点、开关车门时间过短等故障现象,易引起乘客的不满情绪。基于此,本文主要介绍了在列车全自动运行情况下,信号系统与外部时钟源、各子系统之间及各车载设备之间的同步机制,研究了外部时钟源跳变对信号系统的影响,以及某一层设备的时间错误对下一层设备的影响。

## 1 时间同步设备在信号系统中的作用

时间同步设备在信号系统中的作用为保证信

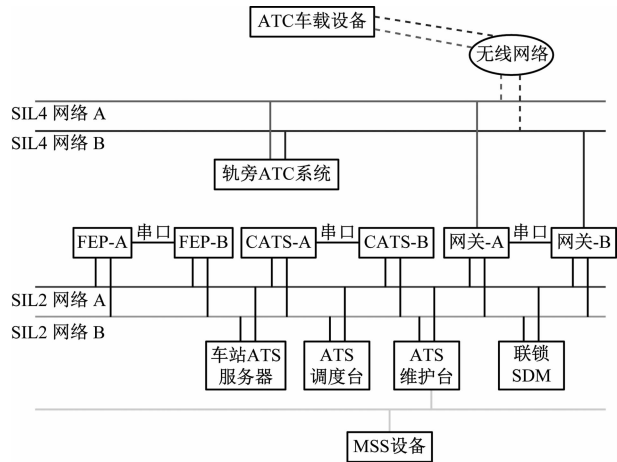
号系统中各子系统协同工作,以及确保列车运行安全和运营准点。在全自动运行线路中,针对早点或晚点情况,轨旁 ATS(列车自动监控)系统通过比较列车计划与实际到站或离站时间,调整停站时间和区间运行时间,并将调整后的时间发给 ATC 车载设备,ATC 车载设备结合轨旁传递的设备状态及授权终点,计算 ATO(列车自动运行)速度曲线。若轨旁 ATS 系统与 ATC 车载设备时间不同步,将影响 ATO 运行速度、列车的区间运行时间及到站时间,进而影响列车的准点率。

此外,时间同步设备还在信号系统中起到了确保列车安全自动开关门的作用。在全自动运行线路中,当列车停靠在站台时,ATC 车载设备通过轨旁应答器和车载传感器获取列车位置信息,并结合所采集的列车速度判断列车准确停靠站台后,ATC 车载设备向列车请求切除牵引、施加制动。当获得列车反馈成功信息后,ATC 车载设备向列车发送开车门指令,同时通过联锁设备发送开屏蔽门指令。根据所调整的早点、晚点停站时间,轨旁 ATS 系统通过车地无线通信将时间调整信息传递至 ATC 车载设备,ATC 车载设备根据接收到的停站时间关闭车门。若轨旁 ATS 系统与 ATC 车载设备时间不同步,很有可能导致开车门时间过短,进而影响乘客上下车。

## 2 信号系统时间同步方案

列车全自动运行信号系统包括 ATC 设备、ATS 设备、CI(计算机联锁)设备、MSS(维护支持系统)设备、DCS(数据通信子系统)设备。其中:ATC 设备、CI 设备下位机是保证系统安全的设备,安全等级为 SIL(安全完整性等级)4,由冗余网络组成;ATS 设备、CI 设备上位机的安全等级为 SIL2,由另一对冗余网络组成;MSS 设备的安全等级为 SIL0,由非冗余网络组成。外部时钟系统连接到 ATS 设备的 FEP(前端处理器),ATS 设备经网关与 SIL4 设备相连,ATS 设备经维护台与 SIL0 设备相连。全自动运行信号系统时间同步网络架构示意图如图 1 所示。

在全自动运行线路中,为实现列车的全自动运行,必须使信号系统各子系统之间的时间同步,特别是信号车载设备与轨旁设备之间的时间同步。信号系统中的关键设备及通信通道均采用冗余配置,且均为热备状态,以确保在一个关键设备或通



注:CATS 为中心应用服务器;SDM 为诊断和维护子系统。

图 1 全自动运行信号系统时间同步网络架构示意图

Fig. 1 Diagram of time synchronization network architecture for FAO signaling system

信通道故障的情况下,列车仍可以全自动运行。

两台通信前置机 FEP 通过网络及串口连接通信,将先启动应用程序的 FEP 作为主机,后启动应用程序的 FEP 作为备机。在网络不稳定的情况下,通过串口通信获取对方通信前置机状态,以确保通信通道和通信前置机设备均为冗余状态。通信前置机主机启动后作为时间服务端提供时间服务,通信前置机备机停止提供时间服务。

两台应用服务器 CATS 通过网络及串口连接通信,将先启动应用程序的 CATS 作为主机,后启动应用程序的 CATS 作为备机。在网络不稳定的情况下,通过串口通信获取对方 CATS 的状态,以确保通信通道和 CATS 设备均为冗余状态。

两台网关服务器 Gateway 通过网络及串口连接通信,将先启动应用程序的网关服务器作为主机,后启动应用程序的网关服务器作为备机。在网络不稳定的情况下,通过串口通信获取对方网关状态,以确保通信通道和网关设备均为冗余状态。

在全自动运行线路中,信号系统内部时间同步采用 NTP(网络时间协议),其精度为毫秒级,通过采用 Meinberg 时钟同步软件实现时间同步。信号系统由通信系统的时钟接口获取时间源后,通过在通信前置机部署的自开发应用程序与时钟源进行时间同步。为避免外部时间源跳变影响信号系统内部子系统,在一定时间偏差范围内(可配置),通信前置机需实时同步外部时间源,如外部时间源非正常跳变且超过一定时间偏差(可配置),则通信前

置机判断外部时间源出现故障,停止同步外部时间源,并给出告警信息。当外部时间源恢复正常后,经确认可在通信前置机人工输入命令,以同步外部时间源。

信号系统对于轨旁设备与车载设备的同步要求较高。外部时钟系统使用 GPS(全球定位系统)或北斗卫星进行时间同步校准,避免产生累计误差。信号系统内部以通信前置机获取的时间进行同步,同时需确保通信前置机主机作为时间服务端提供时间服务,通信前置机备机停止提供时间服务,避免因两台通信前置机同时为下一层设备提供时间服务,而导致的硬件或操作系统异常,进而使得两台通信前置机的时间偏差过大,影响下一层设备的时间同步准确性及精度。

在全自动运行线路中,为确保轨旁设备与车载设备能够保持时间同步,对于提供时间服务端的关键设备,信号系统将会对其进行冗余配置,同时与下一层设备进行交叉连接,以提高时间同步的可靠性。将 FEP、CATS、Gateway 和 ATS 维护台作为客户端,同步上一层的时钟信息,同时为下一层设备提供时间基准。

为保证时间同步精度:①若两台应用服务器出现双主机现象,则自动退出一台主机应用程序,启动应用服务器主机和备机时间服务、关闭通过应用服务器的应用程序控制,确保两台应用服务器仅有主机提供时钟服务,避免两台应用服务器的时间偏差过大,进而影响下一层设备的时间同步准确性及精度。②若两台网关服务器出现双主机现象,则自动退出一台主机应用程序,启动网关主机和备机时间服务,关闭通过网关的应用程序控制,以确保两台网关服务器仅有主机提供时间服务,避免两台网关时间偏差过大,进而影响下一层设备的时间同步准确性及精度。

信号系统内的各子系统设备进行时间同步时,需提供时间服务端设备。若服务端设备的时间跳变超过一定数值(可配置),则下一层客户端设备时间同步服务会立即停止,进而避免下一层客户端设备同步跳变。若服务端设备的时间跳变小于一定数值,则下一层客户端将在一定时间内完成时间平滑调整,并与服务端设备时间保持一致,该过程可采用 Meinberg 时钟同步软件实现。

时间服务端设备采用 SNTP(简单网络时间同

步协议),下层客户端设备的时间同步精度只能达到秒级,不能满足列车全自动运行的需求,因此提供时间服务端的设备均需采用 NTP 进行时间同步。

本文所提时间同步方法的特点有:①可确保信号系统内 ATC、ATS、CI、MSS、DCS 五个子系统时间的统一,且时间同步精度可达毫秒级,能够满足列车全自动运行的需求;②关键设备和通信通道采取冗余配置且均为热备状态,可避免某台设备或通信通道故障对下一层设备同步时间的影响,提高了系统的可靠性;③对于所有冗余时间服务端设备,仅有主机提供时间服务,可避免两台时间服务端设备由于操作系统或硬件偶发原因出现的故障或跳变,导致的两台时间服务端设备时间偏差过大,进而影响下一层设备的时间同步;④时间服务端设备可在一定时间范围内跳变,下一层设备可在一定时间内平滑调整同步时间服务端设备的时间,避免出现由于时间跳变影响列车全自动运行的情况;⑤当时间服务端设备跳变超过一定时间时,下一层设备可自动停止同步时间服务,避免其他设备时间变化过大,进而影响列车全自动运行。

某项目中,采用 SNTP 和 NTP 的 ATC 车载设备与 ATS 网关时间同步分析情况,如表 1 和表 2 所示。由表 1 和表 2 可知:采用 NTP 的时间同步精度远高于采用 SNTP 的时间精度。

表 1 采用 SNTP 的 ATC 车载设备与 ATS 网关时间同步分析情况

Tab. 1 Analysis of time synchronization between ATC on-board device using SNTP and ATS gateway

序号	源 IP 地址	目的 IP 地址	时钟层数	本地时钟相对于主参考时钟的最大误差/s
1	10.1.13.32	10.69.7.25	3	1.774 7
2	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8
3	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8
4	10.1.13.32	10.69.7.25	3	1.474 5
5	10.1.13.32	10.69.7.25	3	1.474 5
6	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8
7	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8
8	10.1.13.32	10.69.7.25	3	1.474 5
9	10.1.13.32	10.69.7.25	3	1.474 5
10	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8
11	10.69.7.25	10.1.13.32	6	7.947 8

注:IP 为互联网协议;时钟层数用于表示时钟精确度,取值为 1~15。

表 2 采用 NTP 的 ATC 车载设备与 ATS 网关时间同步分析情况

Tab. 2 Analysis of time synchronization between ATC on-board device using NTP and ATS gateway

序号	源 IP 地址	目的 IP 地址	时钟层数	本地时钟相对于主参考时钟的最大误差/s
1	10.2.146.254	10.2.146.27	14	0.096 6
2	10.2.146.91	10.2.146.254	13	0.162 4
3	10.65.7.26	10.2.146.91	14	0.162 4
4	10.65.7.26	10.2.146.91	14	0.096 6
5	10.2.146.91	10.65.7.26	13	0.096 6
6	10.33.146.254	10.33.152.60	14	0
7	10.2.146.254	10.2.152.40	14	0
8	10.2.146.91	10.2.146.254	13	0.096 6
9	10.60.146.120	10.61.33.254	11	0.001 1
10	10.65.4.25	10.2.146.91	14	0.167 2
11	10.65.4.25	10.2.146.91	14	0.167 2
12	10.2.146.91	10.65.4.25	13	0.096 6

### 3 信号系统时间同步说明

关于信号系统时间同步方法的说明如下:

1) 信号系统的通信前置机通过网络从时钟系统获取统一时间源,当通信前置机获取时间信息后,同步本机操作系统时间。两台通信前置机的主机为下一层客户端设备和通信前置机的备机提供时间服务,通信前置机的备机停止作为服务端提供时间服务。

2) 当通信前置机主机因硬件、操作系统或应用程序故障退出时,通信前置机备机应用程序升为主机,同时作为服务端提供时间服务。对于发生故障的原主机,当应用程序启动后将其作为备机,备机应用程序主动停止时间服务。若备机应用程序没有启动,主机将向备机操作系统发送停止时间服务指令,以确保仅有主机提供时间服务。

3) 将两台应用服务器作为客户端,同步通信前置机的主机时间。两台应用服务器中仅由应用服务器主机作为服务端为下一层设备提供时间服务,应用服务器备机作为服务端停止提供时间服务。当应用服务器主机因硬件、操作系统或应用程序故障退出时,应用服务器备机应用程序升为主机,同时提供时间服务。对于发生故障的原主机,当应用程序启动后将其作为备机,备机应用程序主动停止时间服务。若备机应用程序没有启动,主机将向备

机操作系统发送停止时间服务指令,以确保仅有主机提供时间服务。

4) 将 ATS 工作站、ATS 维护台、ATS 车站服务器和联锁 SDM 工作站作为客户端,同步两台应用服务器的主机时间。将两台网关服务器作为客户端,同步应用服务器的主机时间。两台网关服务器中仅有网关主机作为服务端为下一层设备提供时间服务,网关备机作为服务端停止提供时间服务。

5) 当网关主机因硬件、操作系统或应用程序故障退出时,网关备机应用程序升为主机,同时作为服务端提供时间服务。对于故障的原主机,当应用程序启动后将其作为备机,备机应用程序作为服务端主动停止时间服务。若备机应用程序没有启动,主机将向备机操作系统发送停止时间服务指令,以确保仅有主机提供时间服务。

6) 将 ATC 设备、DCS 设备作为客户端,同步两台网关服务器中的主机时间。ATS 维护台与 MSS 子系统通信,并作为服务端为 MSS 设备提供时间服务,MSS 设备作为客户端同步 ATS 维护台时间。

### 4 结语

本文介绍了全自动运行系统中的时间同步方法。信号系统的内部与外部分别采用不同的时间同步方法,避免外部时钟跳变直接影响内部信号系统。信号系统内采用 NTP,且冗余设备仅主机提供时间服务,确保了设备的时间同步精度,其时间同步精度可达毫秒级,保障了列车全自动运行的需求。目前,本文所提时钟同步方案已成功用于上海、北京、成都和郑州等多个城市的线路,线路运行情况良好,至今未出现由时钟不同步引起的相关故障问题。

### 参考文献

- [1] 黄柒光,梁宇.城市轨道交通信号系统时钟不同步故障分析及优化[J].城市轨道交通研究,2018,21(12):149.  
HUANG Qiguang, LIANG Yu. Analysis and optimization of clock synchronization failure in urban rail transit signal system[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(12): 149.
- [2] 陈浩,雷成健.基于车-车通信的全自动运行信号系统研究[J].现代城市轨道交通,2021(3):24.  
CHEN Hao, LEI Chengjian. Research on full automatic operation signal system based on train-to-train communication[J]. Modern Urban Transit, 2021(3): 24.

(下转第 211 页)

功能的正确配合。电空混合制动的防滑控制已在多个城轨线路中成功应用。

防滑保护系统能将列车的当前制动力与当前轮轨黏着调整为接近水平,在防滑控制过程中产生一定的轮轨间清洁作用,通过车轮与轨道间的相对滑动在一定程度内改善轮轨黏着,但却不能实质性地改变轮轨间的黏着状态,特别是低黏着状态。因此,若要缩短列车滑行状态下的制动距离,需要与其他增黏措施结合使用。

## 参考文献

- [1] 代宝乾,汪彤,丁辉,等. 地铁运营系统危险有害因素辨识分析[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(10): 80.  
DAI Baoqian, WANG Tong, DING Hui, et al. Recognition and analysis of risky hazardous factors in subway operation system[J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(10): 80.
- [2] 郭强,车超,赵扬宇,等. 城市轨道交通车辆防滑性能评估标准浅析[J]. 现代城市轨道交通, 2018(5): 13.  
GUO Qiang, CHE Chao, ZHAO Yangyu, et al. Analysis of assessment standards for transit vehicle slide protection performance[J]. Modern Urban Transit, 2018(5): 13.
- [3] 方少安. 列车防滑控制与不利黏着时制动力计算[J]. 铁道车辆, 2011, 49(1): 30.  
FANG Shaoran. The anti-slip control of train and calculation of brake force with harmful adhesion[J]. Rolling Stock, 2011, 49(1): 30.

## (上接第202页)

- WANG Changchang, DU Guangqun. Optimization design of parameters of air-cooled radiators for train-carrying electrical equipment based upon FLoTHERM [J]. Rolling Stock, 2019, 57(4): 17.
- [5] 姚英姿,胡良果. 基于Flotherm的干式变压器散热研究[J]. 现代机械, 2021(2): 79.  
YAO Yingzi, HU Liangguo. Research on heat dissipation performance of dry-type transformer based on Flotherm[J]. Modern Ma-

## (上接第206页)

- [3] 崔轶昕,刘琴,赵程,等. 基于车地和车车通信列车运行自动控制系统分析研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(6): 41.  
CUI Yixin, LIU Qin, ZHAO Cheng, et al. Analysis and research on automatic train operation control system based on train-ground and train-train communication[J]. Modern Urban Transit, 2022(6): 41.
- [4] 张家晨. 基于车-车通信的列车自主运行系统应用与展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(增刊2): 13.  
ZHANG Jiachen. Application and prospect of train autonomous op-

- [4] 韦皓. 动车组超低黏着轨面制动防滑性能试验研究[J]. 铁道学报, 2017, 39(9): 67.  
WEI Hao. EMU anti-slide performance experimental study on ultra-low adhesion rail surface[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(9): 67.
- [5] 李荣伟,李培曙. 有效改善粘着 适应高速车辆制动要求[J]. 铁道车辆, 2000, 38(6): 9.  
LI Rongwei, LI Peishu. Improve adhesion effectively to meet requirements of high-speed braking[J]. Rolling Stock, 2000, 38(6): 9.
- [6] 崔虎山,陈磊,刘中华,等. 地铁车辆制动防滑控制故障分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(4): 15.  
CUI Hushan, CHEN Lei, LIU Zhonghua, et al. Analyses of anti-slip control fault in metro braking system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 15.
- [7] 邱伟明,周若湘. 地铁列车轮轴卡死处理方案及分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005, 28(4): 59.  
QIU Weiming, ZHOU Ruoxiang. Disposition scheme and analysis for metro train with blocked axle[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2005, 28(4): 59.

· 收稿日期:2021-10-25 修回日期:2021-12-25 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-10-25 Revised:2021-12-25 Published:2024-02-10  
· 通信作者:张兴旺,高级工程师,rqszxw@126.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

chinery, 2021(2): 79.

· 收稿日期:2021-07-16 修回日期:2021-07-16 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-07-16 Revised:2021-07-16 Published:2024-02-10  
· 通信作者:陈修强,工程师,xiuqiangchen@126.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

eration system based on vehicle-to-vehicle communication [J]. Modern Urban Transit, 2022(S2): 13.

· 收稿日期:2021-08-05 修回日期:2021-11-26 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-08-05 Revised:2021-11-26 Published:2024-02-10  
· 通信作者:黄柒光,高级工程师,124153289@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license