

新一代基于云架构信号系统建设方案

刘敏杰¹ 吴刚²

(1. 常州地铁集团有限公司, 213010, 常州; 2. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州)

摘要 [目的] 以推进城市轨道交通信息化、发展智能系统、建设“智慧城轨”为主题, 构建高度集成的城市轨道交通云平台是新时代技术发展方向, 信号系统与云平台融合属于信号系统的一个重要发展趋势, 需对如何构建高效、可靠、经济的基于云架构的信号系统进行深入研究。[方法] 结合常州地铁新一轮城市轨道交通建设方案的需求, 根据现有云平台技术特点和信号系统技术现状, 对信号系统云化可行性及建设方案进行分析、论证; 重点研究线网统一的ATS(列车自动监控)建设方案、信号系统云化范围、云平台架构的选择、云化后信号系统ATS互联互通方案等内容。[结果及结论] 明确了信号系统云化的定义, 论证了信号系统ATS云化的可行性; 根据信号系统云化后能否通过SIL2(安全、完整性等级2)评估, 确定了ATS云化的具体设备清单; 提出了新一代基于云架构的信号系统建设方案, 建议承载ATS的城市轨道交通云平台架构可逐步从模式一向模式三过渡, 并应具备更新迭代的能力。信号系统设备融入云平台后能够提升信号系统的处理能力, 减少硬件设备数量, 并有利于实现线网资源信息互通, 促进调度智能化的发展。

关键词 城市轨道交通; 信号系统; 云平台; 建设方案

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.050

New-generation Signaling System Construction Scheme Based on Cloud Architecture

LIU Minjie¹, WU Gang²

(1. Changzhou Metro Group Co., Ltd., 213010, Changzhou, China; 2. Guangzhou Metro Design and Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] With the theme of promoting urban rail transit information, developing intelligent system, and building 'smart urban rail' for a highly integrated urban rail transit cloud platform is the direction of technological development in the new era. The integration of signaling system and cloud platform is an important development trend of signaling systems. In-depth research is needed on how to build an efficient, reliable, and cost-effective signaling system based on cloud architecture. [Method] Combining the needs of Changzhou Metro new round of urban rail transit construction scheme, based on the technological characteristics of existing cloud plat-

form and current situation of signaling system, the feasibility and construction scheme of signaling system cloudification are analyzed and verified. The research of contents such as line network unified ATS (automatic train supervision) construction scheme, signaling system cloudification scope, cloud platform architecture selection, and signaling system ATS interoperability scheme after cloudification are emphasized. [Result & Conclusion] The definition of signaling system cloudification is clarified, discussing the feasibility of signaling system ATS cloudification. According to the estimation whether the signaling system can pass SIL2 (safety, integrity level 2) after cloudification, a list of specific equipment for ATS cloudification is determined. The new-generation signaling system construction scheme based on cloud architecture is proposed, and the urban rail transit cloud platform architecture carrying ATS is suggested to transit from mode 1 to mode 3 gradually, possessing the ability to update and iterate. Signaling system equipment can level up the processing capacity of the signaling system and reduce hardware device amount after integration into cloud platform, contributing to realizing line network resource/information exchange and promoting modulating the development of intelligent scheduling.

Key words urban rail transit; signaling system; cloud platform; construction scheme

信号系统在城市轨道交通中承担行车调度指挥的重要功能, 传统运营模式下, 线网内各线路信号系统独立完成线路级的调度指挥。在云计算、信息安全、人工智能等信息技术不断成熟以及相关产业政策支持下, 云平台在国内各主要城市的轨道交通中已逐步开展应用。云平台为实现信号系统线网级调度提供了良好平台, 有利于打破各线路调度指挥的壁垒, 实现线网层面的行车调度, 提升运营管理效率。本文结合常州地铁新一轮地铁建设方案的需求, 通过调研总结国内云平台 and 信号系统建设方案的经验, 提出基于云架构的信号系统建设方案。

1 传统信号系统面临的问题

在基于传统服务器架构下,信号系统均为独自垂直开发系统,与外部系统相对独立。未采用云平台架构的地铁线路均采用传统服务器架构部署,各站点均独立设置服务器。在当时的建设环境下,独立建设信号系统能降低各系统之间的相互影响,提高建设效率。网络化运营时代,城市轨道交通各系统间彼此关联越来越紧密,系统间数据关联性也越来越强,原来独立建设的信号系统会面临如下问题:

1) 硬件使用不均衡,难以动态调整。控制中心大部分系统硬件刚投入时使用率不足 30%。随着系统设备运行时间及上线列车数不断增加,系统服务器的使用率会达到 70% ~ 90%,使得系统疲惫不堪。国内某地铁线路在上线列车数达到 52 列时,数据库服务器的 CPU 占用率尖峰值为 84%。信号系统设备长期工作于高负载率工况将降低设备使用寿命,容易造成信号系统宕机,而传统硬件架构不具备性能动态调整功能。

2) 软件绑定硬件,系统改造困难。软件和硬件耦合度高,软件绑定硬件。软件基于硬件开发,存在定制化产品停产、备品备件种类多等问题,设备到年限后面临停产而不得不重新建立新的生产系统。国内已有数条地铁线路的信号系统进行了改造,如北京地铁 1、2 号线,上海轨道交通 5 号线等,基本上都是采用信号系统整体更新方案,改造费用高,改造时间长,且引起其他系统如车辆系统等较大的连带改造。

3) 不同供货商难以实施互联互通。传统城市轨道交通建设模式下,由于不同设备供应商提供的产品不同,各线路 ATS(列车自动监控)的硬件配置、接口数据形式存在较大差异,构建线网层调度指挥系统以及实现线路互联互通运营存在较大困难,不仅需要不同供货商共同配合进行接口设计、标准协议等的统一和互联互通测试,而且存在对接周期较长、衔接成功率低等问题。

在不改变信号系统既有控制中心、车载和车站级区域分布结构的前提下,将信号系统设备融入云平台,充分结合云平台资源统一管理,具有可扩展性强、兼容度高、部署成本低和生命周期成本低等特性,不仅能够提升信号系统的处理能力,减少硬件设备数量,还有利于实现线网资源信息互通,促进调度智能化发展。

2 信号系统云化定义和可行性分析

2.1 信号系统云化定义

信号云定义为:为信号系统提供云计算及云服务的各类软硬件系统、组件的集合,是组织指挥列车运行、保证行车安全、提高运输效率、传递信息、改善行车人员劳动条件的重要的城市轨道交通设施^[1]。

信号系统云化是指发挥云计算和存贮技术适用于大规模部署、资源共享的技术优势,利用城市轨道交通云平台提供的硬件资源和软件资源承载信号系统部分或全部软硬件。

2.2 信号系统云化需求

信号系统云化在行业内已有相关标准和案例来支撑和验证。目前,信号系统云化的主要是城市轨道交通信号系统的 ATS 子系统。ATS 监督列车运行,根据列车时刻表为列车运行自动设定进路,并对列车运行进行自动调整,实施列车运行管理。ATS 是行车调度设备,具有较大数据运算、存储需求,适合部署在城市轨道交通云平台上以提高数据计算、存储能力。另外,ATS 的安全、可靠及可扩展性都将直接或间接影响到列车运行管理。作为城市轨道交通日常运输生产活动的管理核心,ATS 云化是行车调度指挥的发展需求。

针对信号系统涉及行车安全的 ATP/ATO(列车自动防护/列车自动运行)系统及联锁系统,其云化可行性分析仍需综合考虑信号系统的安全性、计算性能、芯片特殊要求、软硬件架构、云化实施成熟度及运营安全风险等多方面因素影响,以实现信号云的技术保障、工期保障及运营运维保障。

2.3 ATS 云化可行性分析

信号系统的 ATS 云化可行性分析如表 1 所示。

3 信号系统云化方案

3.1 常州地铁云平台建设方案

结合中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的要求,以及国内城市轨道交通云平台建设运营的经验,常州地铁也适时提出了符合常州地铁高质量发展的轨道交通云平台建设规划,即:构建一个自主可控、功能完备、技术领先、安全可靠、可持续发展的城市轨道交通云平台,实现对城市轨道交通业务应用的统一部署承载和资源动态分配^[3]。

表 1 ATS 云化可行性分析^[2]

Tab.1 Feasibility analysis of ATS cloudification

序号	云化因素	云化需求	云化结论
1	安全性	《城市轨道交通 CBTC 信号系统-ATS 子系统规范》(CZIS/T 0030—2015) 中,ATS 安全性要求为 SIL2(安全完整性等级 2)级。为了实现安全性等级,需要底层设备硬件、软件满足相应的 RAM (随机存储器) 要求:① 系统可用性应不低于 99.98%;② MTBF (平均无故障工作时间) 应大于 3 500 h;③ MTTR (平均修理时间) 应不大于 30 min	ATS 一直使用商品现货作为硬件载体,是首个能验证上云的系统。在软件开发中,遵循 SIL2 级安全完整性开发流程和开发方法。云平台的软硬件采用数据保护策略、集群管理,各项 RAM 指标均符合 ATS 相关规范规定要求
2	计算性能	应用软件对服务器运算性能要求特别高,且在单个服务器上配置最大计算能力的虚拟机依然不能满足业务应用的计算能力要求情况下,不能云化	现有服务器配置的能力能够满足信号系统对服务器系统运算性能要求
3	特殊要求	业务应用对服务器的芯片有特殊要求,且芯片不支持在虚拟化环境中运行,不能云化;应用对服务器的板卡有特殊要求,且板卡不支持在虚拟化环境中运行,不能云化	信号系统支持 X86 架构,没有特殊芯片要求;信号系统对服务器没有特殊板卡的要求
4	软件许可加密	云化应考虑应用软件对软件许可加密方式和要求,应用软件许可加密方式下支持虚拟化的场景,不能云化	信号系统没有特殊的应用软件许可加密要求

不同城市的轨道交通线网规模不同,其云平台建设方案也稍有区别。常州地铁通过对传统轨道交通线网及线路调度指挥系统现状进行分析,提出基于云平台和数据共享方式的线网及线路层融合调度指挥系统建设方案。

3.2 线网统一的 ATS 建设方案

基于云平台的兼容性、可扩展性,由云平台统一为线网 ATS 和各线路中央级 ATS 提供各类计算、存储服务资源、云桌面资源和网络资源。线网统一的 ATS 建设方案如图 1 所示。分别根据线网 ATS 设备和线路 ATS 设备对数据存储、计算性能及网络通信需求划分独立的资源池,不同层级 ATS 与不同线路 ATS 分别搭载在不同的物理机上,并配套建立网络安全防护以实现相互独立,从而使云计算资源得以高效利用。线网调度工作站、线路调度工作站及线路运行图编辑工作站均采用云桌面形式,通过接入交换机接入ATS云网络,并与虚拟化的服

务资源进行数据交互。线网层 ATS 与线路层 ATS、线网层 ATS 与云平台承载的线网其他系统、线路层 ATS 与云平台承载的其他系统直接通过内部云网络进行通信。

3.3 ATS 云化范围

SIL(安全完整性等级)是风险降低的定量度量,是系统在使用过程中降低事故风险所必须达到的可靠性程度,分为 1~4 级。SIL2 级要求每小时、每一功能可能承受的危險側故障率应大于 10^{-7} 且小于 10^{-6} 。ATS 云化后,也应通过开展 SIL2 级评估,防止因云平台安全系统设计不足而降低信号系统运行的过程风险。结合 ATS 云化后能否通过 SIL2 级评估,ATS 云化分为全部云化和部分云化。信号系统 ATS 中的调度工作站及与联锁/ATP 系统接口的网关涉及安全命令,其上云后能否通过 SIL2 级决定了 ATS 能否全部上云。

1) 全部云化。若云平台提供的云化系统 SIL 能满足信号系统安全性的需求,或能配合安全认证机构通过 ATS 安全认证,那可将 ATS 软硬件完全由云平台承载。

2) 部分云化。若云平台无法达到上述 SIL 要求,则可对涉及行车安全的相关功能由独立硬件承载,涉及安全控制功能部分不纳入云平台部署及管理,以满足 ATS 系统 SIL2 级认证要求。

常州地铁经过调研国内在建和开通线路 ATS 云化的应用情况和技术现状,认为采用 ATS 部分上云的方式较为稳妥。由于国内大多数云平台厂家可以提供 SIL2 级的桌面云系统,即对 ATS 中应用

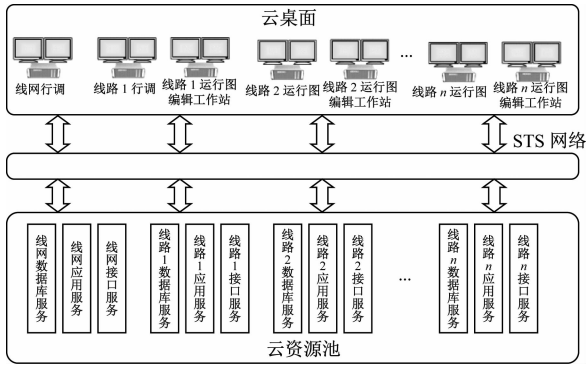


图 1 线网统一的 ATS 建设方案

Fig.1 Line network unified ATS construction scheme

服务器、通信前置机及工作站等采用裸金属/虚拟机、云桌面方式部署,因此,考虑安全因素,与联锁/ATP 系统接口的网关部署在云下,采用传统架构方案。具体云化部署清单如表 2 所示。

表 2 云化部署清单

Tab. 2 List of cloudification deployment

设备名称	部署地点	部署方式	备注
运行图显示工作站	控制中心	云桌面	云平台承载
时刻表/运行图编辑工作站	控制中心	云桌面	云平台承载
调度员等各类工作站	控制中心	云桌面	云平台承载
ATS 维护工作站	控制中心	云桌面	云平台承载
应用服务器	控制中心	独立裸金属或虚拟机	云平台承载
数据库服务器	控制中心	独立裸金属或虚拟机	云平台承载
通信前置机	控制中心	独立裸金属或虚拟机	云平台承载
大屏接口计算机	控制中心	独立裸金属或虚拟机	云平台承载
联锁/ATP 系统接口的网关	控制中心	传统架构	

3.4 ATS 对云平台架构的选择

基于云平台的城市轨道交通生产业务系统架构,主要有 3 种建设模式:基于云的业务独立架构(模式一);基于云并构建大数据平台的业务架构(模式二);基于云并构建中台的业务架构(模式三)。不同建设模式系统架构和特点如表 3 所示。

模式一是目前国内地铁 ATS 云化采用较多的模式。该模式下的云平台更多承担的是硬件资源整合的角色,实现硬件信息化设备的整合管理,但各子系统间通信复杂且需要进行专门接口开发,各子系统间并未实际融合共享。在模式二和模式三下,目前云平台和大数据平台的技术对于系统响应速度在亚秒级,暂无法满足实时调度中需对 ATS 毫秒级响应的要求。因此,建议在云平台统一设计时将应用划分为实时数据处理部分与非实时数据处理部分。实时性要求较高的(调度、联动类)部分仍采用既有数据直通应用,各子系统实时数据库独立设计,同时数据进入非实时数据处理平台,保证非实时数据处理平台的数据融合共享能力。

随着云平台技术的飞速发展,建议承载ATS的

表 3 不同建设模式系统架构和特点

Tab. 3 System architecture and characteristics of different construction modes

建设模式	系统架构	特点
模式一	云平台仅提供 IaaS(基础设施即服务)层资源(计算、存储、网络、安全);各专业设置各自的数据库和应用,应用直接访问本专业数据库,完成本专业相关功能	数据直通应用(传统数据应用架构),各专业相对独立,各专业间数据交互需云平台划分虚拟接口,各专业需进行接口开发
模式二	云平台提供 IaaS 层资源(计算、存储、网络、安全);大数据平台提供 PaaS(平台即服务)层资源(数据采集、数据处理、数据服务、数据管理等)	技术成熟、工程实施难度小,数据共享能力强,基于大数据应用开发成本低。
模式三	云平台提供 IaaS 层资源(计算、存储、网络、安全);中台(技术中台、数据中台、业务中台)提供 PaaS 层服务能力;各应用利用中台的组件搭建应用	软硬件解耦,组件化开发应用,提高应用开发效率,降低应用开发成本。具备很好的数据共享、业务共享能力和软件开发的迭代更新能力

城市轨道交通云平台架构在满足安全性、实时性的前提下,逐步从模式一向模式三过渡,并应具备更新迭代的能力,以满足未来“智慧城轨”不断变化的上层应用需求。

3.5 ATS 互联互通

基于云平台建立线网级信号系统互联互通标准,使各条线路同在一朵云下拥有同样的云环境,同样的安全控制软件的接口、通信协议、数据定义,实现车/轨旁设备和云之间的交互信息。云化后的 ATS 的互联互通,主要通过建立云平台环境下统一的 ATS 软件接口、数据定义及通信协议,形成统一的接口形式,实质上是属于云端不同线路之间 ATS 应用与各线路信号系统的互联互通。互联互通的 ATS 应支持与不同供货商车载设备、地面 ATP 设备和联锁设备的接口连接,实现 ATS 对不同线路列车的运营管理。

ATS 接口支撑的功能包括互联互通线路站场信息共享、跨线运行列车信息共享、跨线运行列车计划调整信息共享、跨线运行列车接入站首站跳停命令下达功能等。互联互通的 ATS 接口,应根据行业内各信号系统供货商 ATS 接口数据的字节数量、长度、类型进行包容性设计,并预留一定码位和字节数以满足后期扩展需求。

4 结语

城市轨道交通云平台已逐步在国内主要城市

的轨道交通中推广应用,信号系统与云平台融合也已成为重要发展趋势。改变传统硬件配置方式后,信号系统硬件配置的通用化水平有了较大提高,从而更有利于实现信号系统接口的标准化,为线网层面信号系统互联互通提供良好基础。本文提出的基于云架构的信号系统建设方案,既不失信号系统作为行车控制系统的高安全性、高可靠性,也为真正实现平台融合、数据整合及资源共享打下了坚实基础。随着云平台技术及信号系统技术的迅速发展,已经出现了智能调度、云联锁等新技术,相信在未来会有更适合于城市轨道交通信号系统的建设方案和智慧化应用。

参考文献

[1] 徐伟,张德明,宋欣. 城轨信号系统云平台 RAM 指标分析[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(12): 65.
XU Wei, ZHANG Deming, SONG Xin. RAM analysis on cloud platform for signal system in urban rail transit[J]. Railway Signaling & Communication, 2021, 57(12): 65.

[2] 吕广杰,刘庆良,吴超,等. 城市轨道交通自主可控云平台业务系统迁移探析[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 48.
LYU Guangjie, LIU Qingliang, WU Chao, et al. Business system migration for the independent controllable cloud platform of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 48.

[3] 冷勇林,付胜华,付芙蓉. 城市轨道交通信号系统设备精简

(上接第 250 页)

[2] 李定南. 国内外悬挂式单轨列车的发展与展望[J]. 国外铁道车辆, 2017, 54(3): 1.
LI Dingnan. Development and prospects of the suspended monorail train in China and abroad[J]. Foreign Rolling Stock, 2017, 54(3): 1.

(上接第 254 页)

[3] 王英,辛继伟,陈海建,等. 地铁乘务管理体系标准化探讨[J]. 都市快轨交通, 2013, 26(3): 62.
WANG Ying, XIN Jiwei, CHEN Haijian, et al. Discussion on standardization of metro crew service management[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2013, 26(3): 62.

[4] 高麒,王子伟. 城市轨道交通全自动运行线路乘务派班方案优化设计[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(增刊 2): 9.
GAO Qi, WANG Ziwei. Optimum design of crew assignment scheme for fully automatic operating line[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(S2): 9.

[5] 刘中举,朱孟雯. 城市轨道交通乘务派班管理系统设计与实现[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25(5): 57.
LIU Zhongju, ZHU Mengwen. Crew dispatching management sys-

tem for urban rail transit[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(5): 57.

[6] 张琦. 城市轨道交通乘务管理与驾驶员配属关系研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5): 59.
ZHANG Qi. Relationship between crew team management and staffing in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 59.

化及云架构探究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 134.
LENG Yonglin, FU Shenghua, FU Fangrong. Research on equipment simplification and cloud construction of urban rail transit signal system[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 134.

[4] 沈冬冬,景顺利. 基于城轨云平台的都市圈智能调度系统设计[J]. 无线互联科技, 2023, 2(3): 17.
SHEN Dongdong, JING Shunli. Design of intelligent dispatching system for metropolitan area based on urban rail cloud platform[J]. Wireless Internet Technology, 2023, 2(3): 17.

[5] 丁军,王开强. 基于云平台的下一代信号系统[J]. 城市轨道交通, 2022(3): 58.
DING Jun, WANG Kaiqiang. Next generation signaling system based on cloud platform[J]. China Metros, 2022(3): 58.

[6] 赵振杰,郭建伟,刘海川,等. 基于城轨云的全自动运行系统设计与实践[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(10): 213.
ZHAO Zhenjie, GUO Jianwei, LIU Haichuan, et al. Design and practice of fully automatic operation system based on urban rail cloud[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 213.

· 收稿日期:2023-04-20 修回日期:2023-07-28 出版日期:2024-02-10
Received:2023-04-20 Revised:2023-07-28 Published:2024-02-10

· 第一作者:刘敏杰,高级工程师,lmj83695150@126.com
通信作者:吴刚,高级工程师,wugang-zh@gmdi.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

· 收稿日期:2022-11-08 修回日期:2023-03-02 出版日期:2024-02-10
Received:2022-11-08 Revised:2023-03-02 Published:2024-02-10

· 通信作者:朱舟,高级工程师,zhuzhou1983927@163.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

tem for urban rail transit[J]. Railway Computer Application, 2016, 25(5): 57.

[6] 张琦. 城市轨道交通乘务管理与驾驶员配属关系研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5): 59.
ZHANG Qi. Relationship between crew team management and staffing in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 59.

· 收稿日期:2023-03-22 修回日期:2023-07-20 出版日期:2024-02-10
Received:2023-03-22 Revised:2023-07-20 Published:2024-02-10

· 通信作者:万勇兵,高级工程师,wybingsh@163.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