

机电系统数字化转型下 上海地铁自动售检票系统架构及功能探讨*

董晓婷

(上海申通地铁建设集团有限公司, 200070, 上海)

摘要 [目的]在各地城市轨道交通机电系统的数字化转型规划和实践中,为适应数字化转型,有必要进行自动售检票系统架构重构和功能重新定义。[方法]根据上海地铁机电系统建设指导意见提出的现场层、车站层和线网层云边端三层架构,并结合上海地铁自动售检票系统接入车站数字化运行平台现阶段实践,在传统自动售检票系统架构基础上,提出了上海地铁自动售检票系统中心层和设备终端层两层架构体系,并重新定义了两层架构的功能,介绍了各层间网络组成。[结果及结论]上海地铁自动售检票系统重构后系统架构的两层间采用直接网络链接通信方式,以适应自动售检票系统业务特点,终端设备层接入车站数字化运行系统也满足了车站日常机电系统管理融合性要求,还明确了车站数字化运行平台中车站服务的功能。重构后的架构适应了数字化转型带来的变化,实现了系统业务与数字化转型下运营管理的结合,简化了管理层级,减少了建设投资。

关键词 地铁;自动售检票系统;系统架构;车站服务;数字化转型

中图分类号 U293.2⁺²

DOI:10.16037/j.1007-869x.20240959

Discussions on the Architecture and Functions of Shanghai Metro Automatic Fare Collection System under Electromechanical System Digital Transformation

DONG Xiaoting

(Shanghai Shentong Metro Construction Group Co., Ltd, 200070, Shanghai)

Abstract [Objective] In the planning and practice of digital transformation of urban rail transit electromechanical system in various cities, it is necessary to carry out architecture reconstruction and functional redefinition for automatic fare collection system (hereinafter abbreviated as AFC) to adapt to digital transformation. [Method] Based on the guidance on the construction of the Shanghai Metro electromechanical system, a cloud edge three-layer architecture for the on-site layer, sta-

tion layer, and network layer is proposed. Combined with the current practice of Shanghai Metro AFC connected to the station digital operation platform, a two-layer architecture system of Shanghai Metro AFC center layer and equipment terminal layer is proposed on the basis of conventional automatic ticketing system architecture. The functions of the two-layer architecture are redefined, and the network composition between each layer is introduced. [Result & Conclusion] After the reconstruction of Shanghai Metro AFC, a direct network connection is adopted between the two layers of the system architecture, to adapt to the business characteristics of the AFC system. The terminal equipment layer is connected to the station digital operation system to meet the integration requirements of the station daily electromechanical system management, and the service functions in the station digital operation platform are also clarified. The restructured system architecture adapts to the changes brought by digital transformation, combines system business with operational management under digital transformation, resulting in simplified management hierarchy and reduced construction investment.

Key words metro; automatic fare collection system; system architecture; station service; digital transformation

数字化转型是指利用云计算、大数据、人工智能等数字技术,对自身的业务、运营和管理模式进行根本性的变革和重塑,以适应数字化时代的需求和变化。数字化转型的核心是将数字技术与企业战略、业务、运营和管理深度融合,推动企业向数字化、智能化、网络化方向发展。

围绕国家战略,各地轨道交通企业积极探索数字化转型实践。2021年,苏州地铁在十四五发展规划中提出了具体转型规划^[1];广州地铁通过顶层规划提出了数字化转型愿景,并在重要业务领域,指明了业务转型方向^[2]。

*上海申通地铁集团有限公司科研计划项目(JS-KY22R039)

上海地铁提出《上海申通地铁集团数字化转型发展实施意见》^[3],明确“一云三域”的集团云平台总体架构,并在此指导下发布了《基于云平台 and 物联网技术的轨道交通机电系统建设指导意见》,为轨道交通机电系统的设计提供技术依据,并着力在上海地铁新一轮建设工程中实施。

在国家指导性文件发布后,各地城市轨道交通管理方陆续发布的城市轨道交通数字化转型实施文件,为各专业系统的下一步发展提供了技术发展路径。相应的,各地城市轨道交通企业开始在新线建设时期开展机电系统数字化转型的设计和实现。其中,传统 AFC(自动售检票)系统具有系统层较多、接口封闭的特点,在面对数字化转型时需要对系统架构进行再次研究,以适应数字化转型带来的管理变化。对此,本文基于上海地铁机电系统的数字化转型规划及 AFC 系统接入现阶段实施方案,着重探讨数字化转型下 AFC 系统架构重构及功能的设计,以期重构后的 AFC 系统架构适应数字化转型要求,并明确各层的功能。

1 上海地铁机电系统数字化转型规划

上海地铁机电系统数字化转型后总体采用云-边-端架构,包括现场层、车站层和线网层等 3 个层级^[4]。目前,上海地铁数字化转型实践集中在车站层和现场层。

车站层支撑的设施设备管理、客运管理及安全管理等业务,由车站数字化运行系统承载,可实现车站设备物联接入和车站数据统一管理。车站数字化运行系统由车站物联网络、车站数字化运行平台和车站数字化应用共同构成,采用开放的平台架构,提供开放标准的数据接口和服务接口。上海地铁机电系统数字化转型后的车站层逻辑架构如图 1 所示。其中,门禁系统及 AFC 系统等车站机电系统现场层设备通过以太网物联环网经由多功能控制器接入车站数字化运行平台,实现数据交互处理^[5]。

2 既有的 AFC 系统接入方案

在既有的 AFC 系统中,车站层包括车站计算机系统,现场层包括自动售票机、自动检票机等终端设备。随着车站数字化运行转型工作推进,上海拟计划在上海轨道交通 17 号线西延伸段、2 号线西延

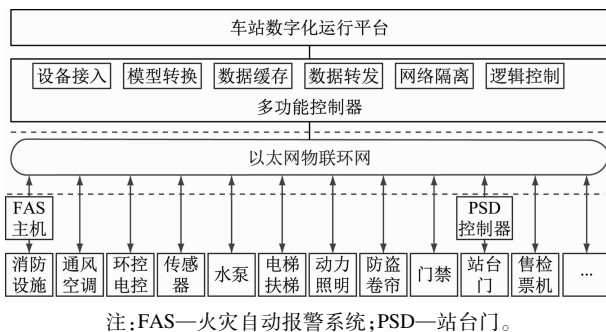


图 1 上海地铁机电系统数字化转型后的车站层逻辑架构
Fig. 1 Station-level logical architecture of Shanghai Metro electromechanical system after digital transformation

伸段及后续的近期工程建设中,将 AFC 系统按统一接口要求接入车站数字化运行系统。

上海地铁 AFC 系统已应用近 20 多年,形成了完整的线网级标准,但无法适应数字化运行转型的工作要求。若要将 AFC 系统按要求接入车站数字化运行系统,则须重构系统架构并重塑接口,其工程建设实践难度较大。对此,近期建设的上海轨道交通 17 号线西延伸段及 2 号线西延伸段项目采用临时方案将既有 AFC 系统接入数字化运行系统,其逻辑架构如图 2 所示。

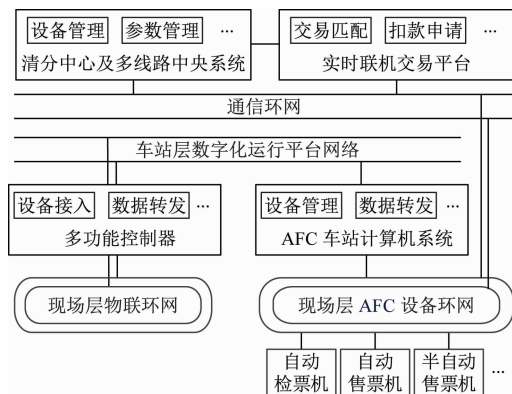


图 2 既有 AFC 系统接入数字化运行系统的逻辑架构图
Fig. 2 Logical architecture diagram of existing AFC system accessing digitalized operation system

由图 2 可知:AFC 系统车站层的车站计算机应用仍由 AFC 专业实施,相应硬件资源由车站数字化运行平台提供; AFC 系统车站层与现场层之间的业务功能、接口保持不变; AFC 车站计算机应用的网络须同时接入 AFC 车站通信环网和车站数字化运行平台网络,车站计算机系统与车站数字化运行平台的接口按车站数字化运行平台要求实现;车站计算机系统与 AFC 设备之间接口、车站计算机系统与清分中心之间接口,以及多线路中央系统之间接口

均保持不变,现场层的 AFC 设备仅接入 AFC 车站计算机系统,与车站数字化运行平台没有接口。

从上述分析可以看出,既有的 AFC 系统接入方案基本保留了原 AFC 系统的网络、功能及架构体系,没有实现数字化转型下的 AFC 系统架构重构。近年来,在传统 AFC 系统架构基础上有三层等多种架构实践探索,但无论如何调整,均仅集中对线路中央系统层与清分系统层进行优化设计。

随着数字化转型的持续推进,在云-边-端机电系统数字化转型下,按照《基于云平台 and 物联网技术的轨道交通机电系统建设指导意见》实现 AFC 系统架构及功能重构非常有必要。

3 数字化转型下 AFC 系统架构重构

3.1 数字化转型下 AFC 系统架构

与上海地铁机电系统架构相对应,AFC 系统架构中清分系统及多线路中央系统集中处理全线网的业务,可以汇聚为“云”层,统一部署在线网中心的云生产平台,负责线网层业务应用;AFC 系统的终端设备部署于车站,用于实现乘客进出站的售票、检票业务,对应于“端”设备;而“边”的管理功能则可由车站数字化运行系统实现。

考虑随着互联网+应用与 AFC 系统的深入融合,近年来 AFC 的业务处理更多体现在终端设备通过网络直接与线网级业务应用交互,因此在数字化转型下的 AFC 系统架构可精简为两层架构,如图 3 所示。

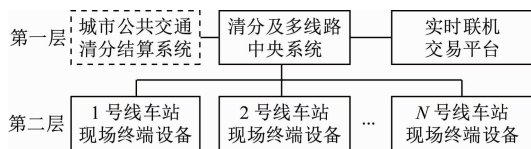


图 3 数字化转型下的 AFC 系统架构图

Fig. 3 AFC system architecture diagram under digital transformation

数字化转型后,AFC 系统中既有的线路计算机系统及车站计算机系统,辅助管理线路运营作用持续减弱,故数字化转型下的 AFC 系统取消了线路及车站的系统架构层,这对日常运营的影响较小,相关业务功能可通过中心级计算机系统实现。

3.2 数字化转型下 AFC 系统网络架构

为了实现 AFC 终端设备系统业务功能,同时满足设备接入车站数字化运行平台的管理需求,须结合车站数字化运行平台的网络架构和 AFC 系统专

业架构,进行重新规划。数字化转型下的 AFC 系统网络架构如图 4 所示。

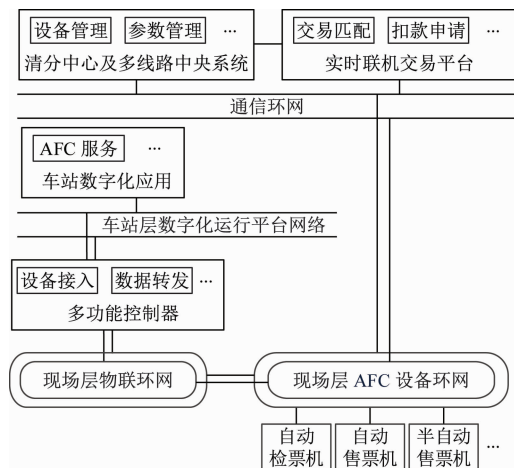


图 4 数字化转型下的 AFC 系统网络架构图

Fig. 4 Network architecture diagram of AFC system under digital transformation

AFC 系统的车站终端设备自组环网,并通过车站三层交换机接入车站物联网及通信环网,实现设备同时直接接入车站物联网、清分中心及多线路中央系统。

车站数字化运行系统通过以太网物联网实现对 AFC 车站终端设备的监控;AFC 车站终端设备通过以太网物联网来上传物模型信息。清分系统及多线路中央系统通过通信环网实现对 AFC 车站终端设备的管理,AFC 车站终端设备通过通信环网实现业务数据的上传。

4 AFC 系统的功能重新定义

AFC 系统历经 20 多年的发展,清分层、中央层、车站层及终端设备层等各层功能明确。在数字化转型下,AFC 系统架构进行了重构,也需要重新定义各层的功能。

4.1 中心层功能

中心层包括清分及多线路中央系统和实时联机交易平台,其主要功能包括原清分系统、线路中央计算机系统全部功能和车站计算机系统的部分功能,具体包括:

1) 车票管理。实现车票初始化、车票发行、车票分拣,还包括车票调配功能,实现路网级的车票统一管理。

2) 票务管理。实现车票交易数据处理、运营收益、运营清分、票务对账,以及与外部第三方的对账

管理,还包括现金收益管理、车站车票库存管理。

3) 收益管理。实现了路网级收益报表、线路级收益报表和车站级收益报表。

4) 参数管理。包含参数编辑、参数版本维护,还包含参数的转发。

5) 运营管理。包含了路网客流统计分析、系统运营信息、系统运行模式,还包括设备状态监控、系统运行模式设置。

6) 安全管理。包含密钥管理、黑名单管理等。

中心级通过提供服务方式实现线路运营单位对线路的收益、设备状态的查询,同时还为车站日常运营提供现金收益管理,实现车站日常运营的票款结算。

4.2 终端设备层功能

AFC 系统终端设备的核心功能依然为车票发售及车票检票等各项车票业务功能,同时新增接入车站数字化的功能。

AFC 系统终端设备车票业务功能的实现须通过网络与中心级的直接通信,实现系统参数的接收、交易数据的上送等业务功能,并接受状态监控。AFC 终端设备实现物模型属性定义并通过车站物联网与车站数字化平台通信,发布设备运行状态信息、客流数据信息,并执行车站数字化运行系统下发的物模型属性设置命令。

终端设备的物模型属性定义除了包含设备的运行状态信息,还包括设备内如工控机工作电流等运行检测数据,用于对设备健康的辅助监测。AFC 系统终端设备的物模型属性定义举例如表 1 所示。

4.3 AFC 车站服务功能

在新型系统架构中,AFC 车站服务本质上不再属于 AFC 系统的层级一部分,但仍可由 AFC 系统专业实现,并以应用服务的形式提供给车站数字化运行系统。

数字化转型后的 AFC 系统不设有独立车站计算机系统,不配置相关硬件设施,其车站运营管理由车站数字化运行系统的 AFC 车站服务替代。车站数字化运行系统的 AFC 车站服务主要功能为实现对 AFC 系统终端设备状态及客流等信息的监控,以满足车站运营管理的需要。

AFC 车站服务通过多功能控制器实现对 AFC 系统终端设备的监视、控制。AFC 车站服务通过订阅终端设备发布的相关消息,接受 AFC 终端设备的物模型消息;终端设备通过订阅 AFC 车站级服务发

表 1 AFC 系统终端设备物模型属性定义举例

Tab.1 Example of attribute definitions for AFC system terminal equipment physical model

名称	标识符	数据类型	访问类型
设备节点编码	deviceNodeCode	长整型	读
开启状态	openState	布尔型	读
开控制	openControl	布尔型	读写
关控制	closeControl	布尔型	读写
当日累计客流	accumulatePassengerFlow	长整型	读
停止服务	outofService	布尔型	读
紧急模式	emergencyMode	布尔型	读
阻挡机构故障	blockingMechanismFault	布尔型	读
工控机工作电流	pcCurrent	浮点型	读
工控机电源控制	pcControl	布尔型	写
读写器工作电流	rwCurrent	浮点型	读
读写器电源控制	rwControl	布尔型	写

布的控制消息,实现终端设备打开、关闭、模式设置等。

5 结语

随着城市轨道交通数字化转型的持续发展,传统的车站机电专业系统如何适应数字化转型带来的系统架构变化成为各地城市轨道交通建设者、运营管理必须思考的问题。本文通过分析各地轨道交通数字化转型的规划和实施经验,根据上海地铁指导意见,提出 AFC 系统在面对数字化转型时重塑系统架构为中心级、车站终端设备两层系统架构,并明确了各层的功能定义,特别指出了车站数字化运行系统中 AFC 车站服务的功能。

AFC 系统的两层系统架构体系充分利用当前网络技术发展的最新成果,能适应互联网+广泛应用带来的终端-中心两级业务处理模式的现状,简化了传统 AFC 系统架构,减少了车站服务器等设备,一定程度上降低了投资。

数字化转型下的 AFC 系统架构和各层功能,可为已建成的运营线路的大修改造提供参考,优化各层级的管理职责,适应地铁运营单位的管理模式,提升 AFC 系统的响应,改善乘客的服务体验。

参考文献

- [1] 苏州市轨道交通集团有限公司. 苏州轨道交通资产数字化转型创新实践[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(3): 278.
Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd. Innovation practice of digital transformation of Suzhou rail transit assets [J]. Urban Mass

- Transit, 2023, 26(3): 278.
- [2] 陈倩慈. 广州地铁集团数字化转型探索与思考[J]. 城市轨道交通, 2023(4): 50.
- CHEN Qianci. Exploration and thinking on digital transformation of Guangzhou Metro Group[J]. China Metros, 2023(4): 50.
- [3] 毕湘利. 依托数字化转型推进上海地铁高质量发展[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(11): 彩 12.
- BI Xiangli. Relying on digital transformation to promote high quality development of Shanghai Metro[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(11): C12.
- [4] 蔡佳妮. 城市轨道交通车站数字化转型思考及实践[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(12): 6.
- CAI Jiani. Reflection and practice on urban rail transit station digital transformation [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(12): 6.
- [5] 姜臻祺, 韩玉雄. 基于数字底座技术的城市轨道交通车站机电系统架构设计与应用[J]. 现代城市轨道交通, 2024(4): 22.
- JIANG Zhenqi, HAN Yuxiong. Architecture design and application of station electromechanical systems of urban rail transit based on digital base technology [J]. Modern Urban Transit, 2024(4): 22.
- [6] 李景虎, 蔡佳妮, 范海斌, 等. 数据与模型双核驱动的城市轨道交通自动售检票智能运维系统架构设计与实现[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(6): 202.
- LI Jinghu, CAI Jiani, FAN Haibin, et al. Design and realization of urban rail transit AFC intelligent operation and maintenance system architecture driven by dual-core of data and model[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(6): 202.
- [7] 林忠山, 肖芳. 城市轨道交通自动售检票系统架构轻量化改造设计方案[J]. 电子技术与软件工程, 2022(11): 72.
- LIN Zhongshan, XIAO Fang. Design scheme of lightweight transformation of automatic fare collection system architecture in urban rail transit[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2022(11): 72.
- [8] 聂红红, 马殷元. 基于混合云平台的城市轨道交通自动售检票系统[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(8): 166.
- NIE Honghong, MA Yinyuan. Urban rail transit AFC system based on hybrid cloud platform[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(8): 166.
- [9] 王宁. 基于云平台的轨道交通自动售检票系统设计与实现[J]. 无线互联科技, 2023, 20(11): 70.
- WANG Ning. Design and implementation of rail transit automatic ticket booking system based on cloud platform[J]. Wireless Internet Technology, 2023, 20(11): 70.
- [10] 袁珊珊. 城市轨道交通自动售检票系统物联网技术应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(8): 176.
- YUAN Shanshan. Research on the application of Internet of Things technology in urban rail transit automatic fare collection system[J]. Intelligent Building & Smart City, 2024(8): 176.
- [11] 卢利颖. 物联网技术在自动售检票系统的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 84.
- LU Liying. Application of Internet of Things technology in AFC systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 84.
- [12] 张义鑫, 林磊, 张宁, 等. 基于云平台和微服务架构的城市轨道交通 AFC 系统[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(6): 131.
- ZHANG Yixin, LIN Lei, ZHANG Ning, et al. AFC system of the urban rail transit cloud platform based on microservice deployment [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(6): 131.
- [13] 王瑞宗, 陆鑫, 陈玉燕. 轨道交通自动售检票系统三层云架构设计[J]. 电子技术与软件工程, 2021(21): 73.
- WANG Ruizong, LU Xin, CHEN Yuyan. Design of three-layer cloud architecture for automatic fare checking system of rail transit [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(21): 73.
- [14] 谭雪娇. 云计算技术在地铁自动售检票系统中的应用[J]. 工程建设与设计, 2021(18): 109.
- TAN Xuejiao. Application of cloud computing technology in subway automatic fare collection system[J]. Construction & Design for Engineering, 2021(18): 109.
- [15] 景亮, 方晖, 张森. 基于云平台的城市轨道交通自动售检票系统设计[J]. 现代城市轨道交通, 2020(11): 110.
- JING Liang, FANG Hui, ZHANG Sen. Design of urban rail transit AFC system based on cloud platform[J]. Modern Urban Transit, 2020(11): 110.
- [16] 涂晓燕. 城市轨道交通自动售检票系统的演进探析[J]. 铁道运营技术, 2020, 26(4): 61.
- TU Xiaoyan. Analysis of evolution of urban rail transit automatic ticket sale and check system[J]. Railway Operation Technology, 2020, 26(4): 61.
- [17] 陈鑫鑫, 潘章. 基于城轨云的自动售检票系统网络安全技术研究[J]. 工业信息安全, 2024(5): 82.
- CHEN Xinxin, PAN Zhang. Research on network security technology of automatic fare collection system based on urban rail transit cloud[J]. Industrial Information Security, 2024(5): 82.
- [18] 赵睿. 城市轨道交通自动售检票智能支付系统研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(10): 31.
- ZHAO Rui. Research on the intelligent payment system for automatic fare collection in urban rail transit[J]. Science & Technology Information, 2024, 22(10): 31.
- [19] 王瑞宗, 陆鑫, 林忠山. 中小规模城市轨道交通线网三层架构自动售检票系统设计方案[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(3): 196.
- WANG Ruizong, LU Xin, LIN Zhongshan. AFC system design scheme for small-and medium-sized urban rail transit line network with three-tier architecture[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(3): 196.

· 收稿日期:2024-08-06 修回日期:2024-12-20 出版日期:2025-07-10
Received:2024-08-06 Revised:2024-12-20 Published:2025-07-10
· 通信作者:董晓婷,高级工程师,Dongxiaoting838012@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