

基于云平台架构的城市轨道交通实时客流监测系统

张方冰 李金龙 曲鸣川

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京)

摘 要 [目的] 针对城市轨道交通现有系统无法满足客流数据实时传输的缺点, 研究实时客流数据传输、分析、存储的解决方案。[方法] 介绍了城市轨道交通客流现状与传统自动售检票系统; 从系统架构、数据传输、功能应用等角度对基于云平台架构的城市轨道交通实时客流监测系统进行分析。[结果及结论] 基于目前的城市轨道交通云平台架构与自动售检票系统的既有条件, 可在不增加终端采集设备、硬件设备和传输能力的情况下, 利用现有硬件资源、通信通道实现实时客流数据的传输与处理。利用既有自动售检票系统闸机采集到的票卡数据, 在 SC(车站计算机) 端增加直通路网中心的数据接口, 以实现票卡计数数据实时上传至路网中心进行分析处理, 即可实现实时客流监测、客流预测、应急决策辅助等业务功能。

关键词 城市轨道交通; 实时客流监测系统; 云平台架构; 数据传输

中图分类号 U293.13

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.022

Real-Time Passenger Flow Monitoring System for Urban Rail Transit Based on Cloud Platform Architecture

ZHANG Fangbing, LI Jinlong, QU Mingchuan

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 100037, Beijing, China)

Abstract [Objective] In view of the shortcomings that the existing urban rail transit system unable meeting the requirements for passenger flow data real-time transmission, solutions for real-time passenger flow data transmission, analysis, and storage are studied. [Method] Current situation of urban rail transit passenger flow and traditional automatic fare collection (AFC) system are introduced; the real-time passenger flow monitoring system of urban rail transit based on cloud platform architecture is analyzed from the perspectives of system architecture, data transmission, and functional application etc.. [Result & Conclusion] Based on the existing conditions of the current urban rail transit cloud platform architecture and AFC system, the transmission and processing of real-time passenger flow data can be realized by using existing hardware resources and communication channels without increasing termi-

nal collection equipment, hardware equipment and transmission capacity. By using the ticket card data collected by AFC gate, a data interface directly connected to the network center is added to the station computer (SC) end, aiming to realize real-time upload of the ticket card counting data to the network center for analysis and processing, thus achieving business functions such as real-time passenger flow monitoring, passenger flow prediction, and emergency decision-making assistance.

Key words urban rail transit; real-time passenger flow monitoring system; cloud platform architecture; data transmission

1 现状分析

1.1 城市轨道交通客流现状概述

截至到 2022 年末, 我国已有 55 座城市开通运营城市轨道交通线路, 总的运营里程已达 10 291.95 km。其中以北京、上海、广州、深圳为首的一线城市, 城市轨道交通骨干网络已搭建完成, 城市轨道交通成为了满足居民公共交通出行的主体交通方式^[1-5]。

随着城市轨道交通网络线路功能的完善及站点周边用地的开发, 城市轨道交通网络的可达性将持续提升, 承担的乘客出行量也将逐年增长。目前, 广州、北京等超大型城市的城市轨道交通客运量都曾突破单日 1 000 万人次, 上海、深圳、成都、重庆等城市轨道交通客流效益较好的城市, 平时客运量也达到单日几百万人次。巨大的客运量随之而来的是车厢拥挤、换乘节点堵塞、客流短时冲击性大等一系列客运组织层面的问题。这些问题显示, 对于城市轨道交通客流实时情况的掌握与解决方案研究的需求已日益迫切。

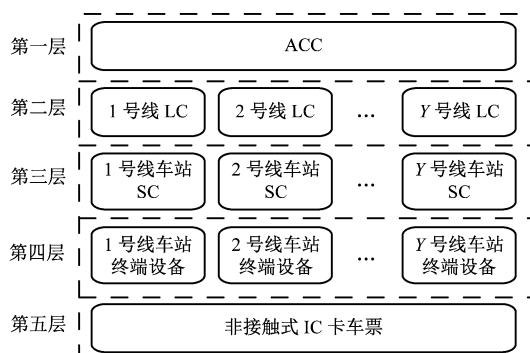
目前, 传统的城市轨道交通建设过程中, 没有规划设计独立的客流系统, 客流监测统计功能是作为 AFC(自动售检票)系统的一项功能进行实现, 客流信息主要通过闸机的票卡数据获得, 随着视频技术的发展, 也有部分客流数据可以通过视频监控分

析得到,但准确度还有待提升。目前最为有效、最可靠的数据来源仍然是乘客经过闸机获得的进出站数据,此数据经由 AFC 系统层层传输至车站计算机系统、线路中心及路网中心,在路网中心进行数据处理实现 OD(起讫点)分配、断面量、换乘量等客流指标数据的分析计算。

1.2 传统 AFC 系统概述

目前,城市轨道交通在建设阶段会设计多个弱电系统以实现对设备、车辆的监测与控制,其中 AFC 系统中包含闸机、售票机、半自动售票机等位于车站的终端设备,其数据传输链路依托于 SC(车站计算机)、LC(线路中心)以及位于路网中心的 ACC(自动售检票清分中心)。

传统的 AFC 系统数据传输的构建分为五层架构,如图 1 所示。



注:IC 为集成电路。

图 1 AFC 系统数据传输架构图

Fig. 1 AFC system data transmission architecture diagram

在数据层面,闸机传输的扇门开关计数数据生成的 OD 数据是当前客流数据的来源。目前,AFC 系统是将终端设备识别到的所有票卡数据、交易数据、设备状态数据、故障数据等大量终端采集数据传输汇聚至 SC,再经由 SC 打包上传至 LC,通过 LC 处理后,将客流数据与交易数据传输至 ACC。由于数据传输量巨大,为保传输的稳定安全,目前传输机制采用的是打包传送。这也就造成了数据时效的延迟。

2 城市轨道交通实时客流监测系统架构

2.1 基于云的软件微服务架构

城市轨道交通云计算技术,是指利用服务器集群,在硬件设备层面上将原有系统整合,并采用虚拟化技术在服务器集群中实现独立的数据服务,通过大容量的全线网络向车站和线路中心及路网中

心客户端提供实时、历史、报警等各种数据服务和运营调度管理服务。

城市轨道交通云技术的发展,带来了更集约的计算、存储能力。在硬件云化的基础上,将数据库、软件服务、可视化展示等进行更深层次的整合,采用软件微服务方案,建立统一融合架构。云技术与微服务一方面攻克了城市轨道交通行业共享数据难题,另一方面在新系统开发时,直接在车站级接入平台就可完成系统工作,在上层做相应的系统软件开发即可。

云技术带来的数据平台可提供多种数据组件供选择,包含的数据库主要有 Redis 分布式缓存数据库、关系数据库(如 SQL Server、MySQL 等)、文件存储数据库、数据仓库等。可满足超大型城市每天百万级的交易数据进行实时配对分析,避免了原有的清分清算系统以交易数据清算为核心带来的客流数据分配速度慢的问题。同时借助车站云与中心云之间的高传输通道可实现车站层客流数据与线路中心及路网的实时传输。

2.2 城市轨道交通实时客流监测系统架构

考虑到既有线路传统 AFC 系统数据传输的五层架构较为成熟,故将实时客流监测系统的硬件资源依托于既有的 AFC 系统。在现有 AFC 系统所应用的硬件设备、终端设备的基础上,仅通过系统软件开发依托云平台提供的计算资源和通信通道实现车站客流数据到路网中心的传输,并可以在路网中心依托云计算资源进行客流业务拓展。

本研究的城市轨道交通实时客流监测系统的的天数据传输分为四层架构(见图 2):第一层为乘客的乘车凭证层,包含票卡、互联网二维码等;第二层为闸机等票卡识别终端设备;第三层为云部署车站客流监测系统,SC 前三层架构依托于传统 AFC 系统及云平台原有的硬件资源与传输,在车站层,由 SC 将采集到的实时终端设备数据中筛选出的客流相关的票卡计数数据通过云数据库内部传输至位于车站的实时客流监测系统,数据一份依托骨干传输网络直接传输至路网中心,另一份在车站层支撑车站进出站量监测的功能;第四层为路网客流监测中心。

考虑到目前各地运营线路对于客流数据的采集尝试使用了多种设备、装置。本系统架构具备多元数据源的兼容能力,通过蓝牙、WiFi、UWB(无线载波通信)、5G、红外热敏、车辆称重等多种途径采

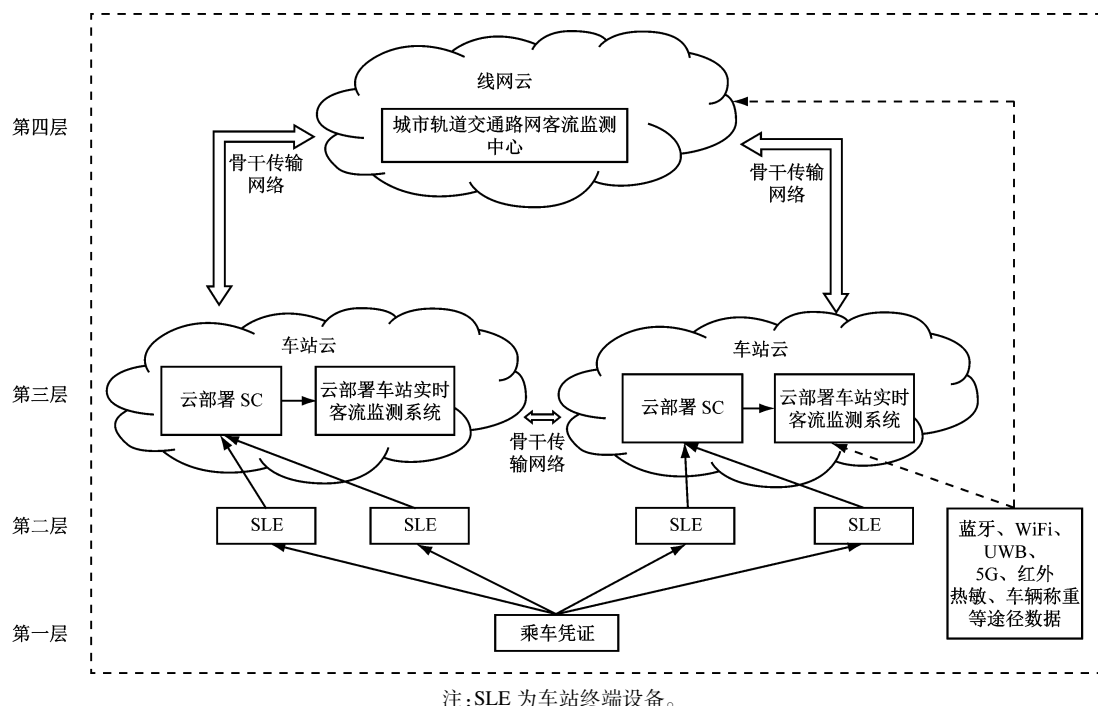


图2 城市轨道交通实时客流监测系统数据传输架构图

Fig. 2 Data transmission architecture diagram of real-time passenger flow monitoring system for urban rail transit

集的客流数据可通过云传输,为车站端、线网端的实时客流监测系统功能提供多元化的数据支撑。

3 城市轨道交通实时客流监测系统数据传输

交易数据的清算与客流数据统计分析是两种数据处理业务,从数据处理的模式角度考虑,前者是对数据库频繁的写入与更新,而后者则存在大量的数据查询。因此,为了加快数据传输及计算的速度,城市轨道交通实时客流监测系统仅采集传输与客流信息相关的数据信息,筛除掉庞大的设备状态数据、交易结算数据,从而保障数据传输的实时性、高效性。本研究的城市轨道交通实时客流监测系统的客流数据所需的字段样例如表1所示。

相较于传统的AFC系统,实时客流监测系统更强调数据的实时性与连续性。本系统需要将数据实时传输至路网客流监测中心,并进行处理。目前,AFC系统数据实时传输延迟主要有以下几个原因:一是设备传输的打包机制延迟,闸机设计时一般采取打包上传的机制,从而保证交易数据的高准确性;二是SC、线路中心数据传输的延迟,受通信资源影响,SC、线路中心往往也采取打包传输的机制;三是ACC数据处理的延迟,由于ACC数据处理能力造成模型演算的时间延迟。针对以上3个数据延

表1 数据传输字段样例表

Tab. 1 Sample table of data transmission fields

序号	字段名称	字段含义	数据类型	备注
1	DEVICE_ID	设备ID	INT	闸机设备的ID编码
2	LINE_ID	线路编号	INT	线路的编号
3	STATION_ID	车站编号	INT	车站的编号
4	TRADE_TYPE	交易类型	INT	进站/出站
5	CARD_SERIAL_NUMBER	交易卡编码	INT	交易卡号编码
6	TRADE_TIME	交易时间	INT	设备读取卡片时间

迟问题,底层设备延迟的解决方法是通过分离传输数据,将闸机数据中与客流分配模型需要的数据提取出来,单独通过传输通道实时传输至SC、线路中心。一方面,客流数据对于数据的准确性需求相较于交易数据低,可以接收实时传输带来的数据丢失风险;另一方面,客流数据需求量较小,闸机通信网络能力可以做到实时传输。实时客流监测系统的构建基于云原生(即构建车站云、中心云及相应通信主干网),以解决车站至路网中心的数据实时传输问题。路网中心通过实时客流监测系统,利用云平台提供的适应于客流分配模型的大数据组件如sql server等,可以大幅降低客流分配模型的计算时间至秒级。

4 城市轨道交通实时客流监测系统业务功能分析

城市轨道交通实时客流监测业务根据架构所对应的部署位置、作用及服务对象,可以分为车站级业务与中心级业务两个层级。车站级主要服务于站务员对实时进、出站数据的监控,为客运量管控措施提供信息辅助;中心级除了对全网各站实时客流的监控外,还可以通过进、出站所构建的 OD 矩阵分析出更多的客流指标,以提供给其他业务系统,作为辅助运营决策的依据。在中心级可统一外部接口用于与外部系统的数据交互。

基于对客流业务的理解,本文分析出以下几个可以实现的功能。

4.1 车站级客流监控

实时客流数据获取困难,是制约精细化运营乘客管理的瓶颈点。实时客流监测系统可以对车站的进、出站量进行实时采集并传输到 SC,呈现实时客流状态趋势图,以便于车站管理人员了解站内实时客流监控信息。

目前的客流预测成果受制于数据下发通道的缺失而难以应用于车站客流管理层面,实时客流监测系统通过将车站层与路网中心层直接连接,可以接收路网中心下发的车站客流预测结果,并结合实时监控的客流,在车站管控界面呈现客流数据实时与预测的变化趋势,提供给站务人员进行综合分析,以合理判断客流管控的开展时机。

4.2 客流特征指标计算

车站的实时客流监测数据自各车站上传至路网客流监测中心,在路网客流监测中心进行 OD 对的匹配,进而可以通过客流分配模型得到进出站量、乘降量、断面量、换乘量、客运周转量等客流特征指标。路网中心可以结合各业务系统提供的业务数据(如 ATS(列车自动监控)系统提供的时刻表数据)实现客流路径的精准匹配。

4.3 为客流预测模型提供更及时的校正参数

目前,在实际工况下需要提前预备至少 10 min 以上的预测时间才能满足应急流程的执行或业务人员的操作响应时间。然而目前通过 AFC 系统传输到路网中心的客流数据往往已经是 15 min 以前的数据,这就导致客流预测模型需要预测更长时间后的数据结果才能满足业务需求,而预测时间增加其准确性就会大大降低。实时客流监测系统可以

为客流预测模型提供更及时的数据去校正模型预测结果,从而提高预测结果的精准度,满足动态运营的需求。

4.4 客流管控下运能匹配性研究

目前,对于客流运能匹配的研究都是在以满足客流的需求为目标,以调整行车运输方案去匹配客流需求。然而,城市轨道交通线路的行车能力受到信号、电力、车底能力等因素的限制,运载能力的动态灵活调整能力低且有运能上限。当行车能力不能满足拥挤的客流需求时,城市轨道交通系统内积压的客流就会对运营安全产生威胁。而实时客流监控系统可以提供实时数据依据,为动态化、精确化的客流管控提供基础。

动态精细化客流管控是在行车能力一定的条件下,通过客运管控调节乘客的合理进站量,进而得到合理的运能匹配效果。

基于计划行车运行图,可以计算出分时段的客流最大承受能力。将行车能力转化为客流指标通过 OD 反算分别匹配到各车站的客流承受量。可以依据最大承受量区分报警分级区间,通过监测到的实时进站数据,实现车站、线路、甚至线网级的客流报警与管控的联动功能。对反算的 OD 矩阵成果,运营单位可以根据需求进行调整,以满足线路能力的均匀分配,解决网络中客流拥挤点问题。如轨网中的放射线路由于串联了城市中心与外围郊区,往往会有较明显的潮汐客流,早高峰大量乘客集中从外围住宅端前往城中心的岗位端,进城方向车辆往往在经过前几站后就有很高的满载率,在经过换乘车站时,车厢无法容纳换入客流,导致换乘站出现严重的客流拥挤,造成极大的疏散风险。这种客流出行不均衡的问题需要通过全网的客运能力协同调配,并通过车站端的进站管控才能做到全网客运能力协调合理地达到运能效率最大化。

5 结语

城市轨道交通云技术的发展为运营生产系统运行提供了集约的计算资源池,同时具有资源可灵活分配、规格可动态调整、资源利用率高等特点,符合国家对于节约能源、降低碳排放的理念,也支撑了城市轨道交通降本增效可持续发展。实时客流监测系统的设计也是依托云平台架构在不增加硬件设备的条件下,实现客流数据实时监测功能。对于已经开通运营或未采用云方案建设的线路,需要

根据实际情况,通过硬件改造与软件开发相结合的形式来实现实时客流监测系统的业务功能。

目前,城市轨道交通已经从以设备运行为关注点的运营思想,转变到以乘客为核心的运营理念,基于提高运营公司服务水平为出发点的智慧化功能将逐渐展现。结合实时客流监测系统输出的客流数据作为需求,可辅助依据客运量进行实时动态调整的行车指挥系统、导向系统、通风空调系统、照明系统间的协同合作,其将引领城市轨道交通进一步实现高水平智慧化的服务。

参考文献

- [1] 房霄虹. 城市轨道交通增购列车时机及方案研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(3): 160.
FANG Xiaohong. Timing and scheme of additional procurement of vehicles in urban rail transit [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(3): 160.
- [2] 姚振康, 高国飞, 郑汉, 等. 基于谱聚类的城市轨道交通车站间客流分型研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(2): 99.
YAO Zhenkang, GAO Guofei, ZHENG Han, et al. Time distribution types of passenger flow between urban rail transit stations based on spectral clustering[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022,

(上接第134页)

本文所提优化模型仅从提升城轨客流效益和用地协同优化的角度出发,但用地开发强度的提升亦会同步带来道路交通需求的增长,优化模型未充分考虑站点周边道路交通的实际承载情况。

参考文献

- [1] KUBY M, BARRANDA A, UPCHURCH C. Factors influencing light-rail station boardings in the United States[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004, 38(3): 223.
- [2] 吴祥国, 张建嵩, 胡义良, 等. 重庆市轨道交通客流时间特性及影响因素探讨[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(11): 117.
WU Xiangguo, ZHANG Jiansong, HU Yiliang, et al. A tentative study on the time characteristic and influencing factors of urban rail passenger flow in Chongqing[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(11): 117.
- [3] 王玉萍, 马超群. 城市轨道交通客运量影响因素与成长规律[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2013, 33(3): 69.
WANG Yuping, MA Chaoqun. Influencing factors and development trends of urban rail transit passenger flow [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2013, 33(3): 69.
- [4] 姚恩建, 李斌斌, 刘莎莎, 等. 考虑土地利用性质匹配度的城轨客流分布预测[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(6): 107.

35(2): 99.

- [3] 张含笑, 刘宇然, 刘旭. 满载率控制的城市轨道交通行车组织优化研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 134.
ZHANG Hanyao, LIU Yuran, LIU Xu. Optimization of urban rail transit scheme considering on vehicle load factor[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 134.
- [4] 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.
- [5] 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.

· 收稿日期:2022-11-01 修回日期:2023-03-14 出版日期:2024-12-10
Received:2022-11-01 Revised:2023-03-14 Published:2024-12-10
· 通信作者:张方冰,工程师,897691440@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

- YAO Enjian, LI Binbin, LIU Shasha, et al. Forecast of passenger flow distribution among urban rail stations considering the land-use matching degree[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(6): 107.
- [5] 高德辉, 许奇, 陈培文, 等. 城市轨道交通客流与精细尺度建成环境的空间特征分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 25.
GAO Dehui, XU Qi, CHEN Peiwen, et al. Spatial characteristics of urban rail transit passenger flows and fine-scale built environment[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(6): 25.
- [6] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1225.
CHENG Qiyue. Structure entropy weight method to confirm the weight of evaluating index [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(7): 1225.
- [7] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations [J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 353.

· 收稿日期:2024-01-10 修回日期:2024-02-21 出版日期:2024-12-10
Received:2024-01-10 Revised:2024-02-21 Published:2024-12-10
· 第一作者:邓策方,硕士研究生,dengcf2024@163.com
通信作者:金安,正高级工程师,604757660@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