

基于5G技术的城市轨道交通乘客信息系统优化研究

张淑芳¹ 李梓维¹ 陈鹏²

1 江苏锡铁慧通科技有限公司 2 青岛博宁福田智能交通科技发展有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18034

[摘要] 鉴于传统乘客信息系统在实时性、接入能力及扩展性方面存在的不足,本文提出基于5G的优化方案。通过设计“云-边-端”架构,达成资源调度与业务部署;将5G切片与边缘计算相结合,对传输时延和终端接入性能予以优化;构建安全防护体系,以确保系统稳定运行。

[关键词] 5G技术;城市轨道交通;乘客信息系统;架构优化;传输性能

中图分类号: U213.2 **文献标识码:** A

Research on the Optimization of Passenger Information Systems in Urban Rail Transit Based on 5G Technology

Shufang Zhang¹ Ziwei Li¹ Peng Chen²

1 Jiangsu Wuxi Metro Huitong Technology Co.,Ltd

2 Qingdao Bonin Fortune intelligent transportation technology development Co.,LTD

[Abstract] In light of the shortcomings of traditional passenger information systems in terms of real-time performance, access capability, and scalability, this paper proposes an optimization solution based on 5G technology. By designing a "cloud-edge-device" architecture, resource scheduling and service deployment are achieved. The integration of 5G network slicing and edge computing optimizes transmission latency and terminal access performance. A security protection system is established to ensure the stable operation of the system.

[Key words] 5G technology; urban rail transit; passenger information system; architecture optimization; transmission performance

城市轨道交通的乘客信息系统肩负着乘客引导、信息发布以及应急通知等重要功能^[1]。然而,传统系统存在一系列稳定性问题,如4G网络带宽有限、时延较高致使信息滞后,高峰期接入量较大易引发并发阻塞,还有电磁干扰与网络安全等方面的问题。5G技术凭借其高带宽、低时延、海量连接的三大核心特性,为乘客信息系统(Passenger Information System, PIS)的升级优化提供了技术支撑^[2]。基于此,本文从系统整体架构出发,结合5G网络特性与轨道交通业务需求,开展PIS系统全链路优化研究,旨在提升系统的实时性、扩展性与可靠性,为智能轨道交通乘客服务提供新的解决方案。

1 基于5G的PIS系统架构优化设计

1.1 系统总体架构

针对传统PIS系统“中心-终端”二级架构资源调度不灵活、业务响应滞后等问题,本文设计基于5G的“云-边-端”三级架构,包括云平台层、边缘节点层和终端设备层,各层功能及交互关系如下:

云平台层:部署于城市轨道交通控制中心,采用混合云架构

(公有云+私有云)。私有云存储核心运营数据、管理业务逻辑及全局调度;公有云提供弹性算力支持非核心业务。通过5G核心网的网络切片技术,为云平台与边缘节点间的传输分配专用切片资源,保障数据传输安全与低时延。

边缘节点层:部署于地铁站台机房或列车车载服务器,是连接云平台与终端设备的枢纽。它集成5G小基站与边缘计算服务器,具备本地化数据处理与业务缓存能力。对于实时性要求高的业务,边缘节点直接处理并推送至终端,避免时延损耗,还能本地管理终端设备,降低云平台负载压力^[3]。

终端设备层:包括车载显示屏、站台LCD屏、乘客个人移动终端等。终端设备通过5G NR技术接入边缘节点,支持多种业务接口协议,可实现实时信息接收、互动查询等功能,且采用自适应码率调整技术,确保网络带宽波动时服务体验流畅。系统架构如图1所示。

1.2 车载PIS子系统优化

车载PIS子系统是乘客获取行车信息的主要渠道,其优化重点在于提升信息更新实时性与设备稳定性。

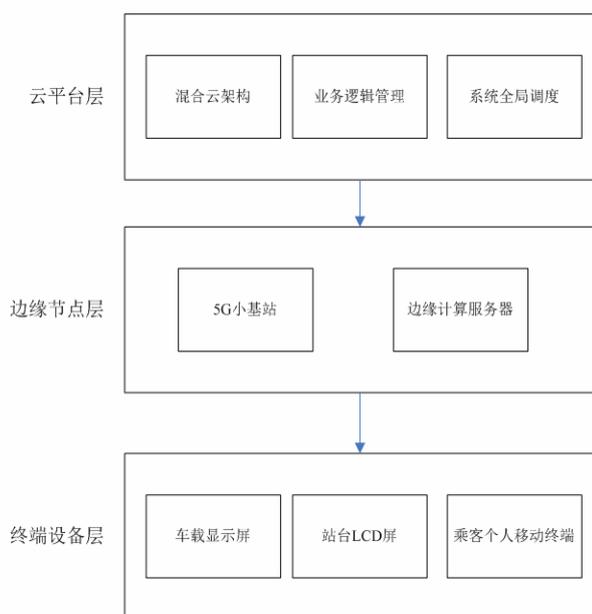


图1 系统总体架构图

(1) 5G车载通信模块集成: 运用工业级5G CPE设备, 支持独立组网模式, 借助多输入多输出技术强化列车在高速移动场景下的信号接收能力。同时, 在列车顶部安装高增益定向天线, 降低隧道、高架等复杂环境下的信号衰减, 确保5G网络覆盖率达到99.9%以上。

(2) 设备状态监测与智能运维: 在车载显示屏、音响等终端设备中植入传感器, 实时采集设备电压、温度、运行状态等数据, 通过5G网络上传至边缘节点。边缘节点对数据进行异常检测, 当检测到设备故障时, 自动触发告警并推送至运维平台, 实现故障的提前预警与快速处置, 降低设备故障率^[4]。

1.3 站台与站厅PIS子系统优化

站台与站厅PIS子系统面临终端数量多、业务类型复杂等问题, 优化聚焦于提升终端并发接入能力与业务服务质量。

5G小基站密集部署与干扰协调: 在站台候车区、站厅通道等人员密集区域, 采用微站+皮站的5G小基站部署方案, 实现网络信号的均匀覆盖。通过干扰协调算法(如ICIC, 小区间干扰协调), 避免相邻基站之间的信号干扰, 提升网络频谱利用率。同时, 为站台PIS终端分配专用的5G频段, 保障业务传输的独立性。

终端分组管理与负载均衡: 将站台与站厅的终端设备(如LCD屏、查询机)按照区域进行分组, 每个分组对应一个边缘节点。边缘节点通过负载均衡算法, 动态调整各终端的接入带宽与处理资源, 避免某一终端组出现过载现象。例如, 当早高峰站东侧终端接入量激增时, 边缘节点可将部分终端切换至西侧边缘节点, 确保所有终端的信息更新速率保持稳定^[5]。

2 网络安全防护设计

2.1 乘客移动终端接入安全

针对乘客个人移动终端(如手机、平板电脑)接入系统的场

景, 着重借助身份认证与授权机制, 筑牢安全的首道防线。采用多因素认证体系, 要求用户在接入时完成“密码+动态验证”的双重校验。动态验证支持短信验证码、生物识别(如指纹、面容识别)等多种方式, 以适配不同终端的使用场景。同时, 建立分级授权机制, 依据用户身份与接入目的, 分配差异化权限。普通乘客仅被授予信息查询、服务交互等基础权限, 禁止其访问系统核心配置与运营数据, 以防止越权操作。

2.2 边缘节点安全防护

边缘节点作为数据传输与本地处理的核心枢纽, 其安全直接影响系统局部运行稳定性, 需要针对性制定防护策略。在边缘节点部署入侵检测系统(IDS)与入侵防御系统(IPS), 实时监测网络流量、端口访问及进程运行状态, 对端口扫描、恶意代码注入等攻击行为进行快速识别与拦截; 采用AES-256加密算法对边缘节点本地存储的数据(包括缓存的多媒体内容、终端设备状态数据)进行加密处理, 防止数据被窃取或篡改; 同时建立定期安全审计与漏洞扫描机制, 每周自动扫描边缘节点的系统漏洞与配置隐患, 每月开展全面安全审计, 形成风险报告并制定修复方案, 及时消除安全隐患。

2.3 云平台安全加固

在混合云架构基础上, 需进一步强化云平台的安全防护能力, 保障核心数据与全局调度安全。部署下一代防火墙(NGFW)与虚拟专用网络(VPN), 隔离公有云与私有云、云平台与外部网络的通信链路, 仅开放必要业务端口, 阻断非法访问与网络攻击; 实施精细化权限管理, 基于角色的访问控制模型设置系统管理员、运维人员、业务人员等不同角色, 明确各角色的操作权限与数据访问范围, 核心运营数据的访问需经过多级审批; 启用云平台安全监控与告警机制, 实时监测云服务器的资源占用、日志记录及异常行为, 一旦发现数据泄露、非法登录等风险事件, 立即触发多级告警并启动应急响应流程。

3 PIS业务承载与传输性能优化

3.1 实时信息传输时延优化

城市轨道交通中实时信息的传输时延, 是影响乘客信息系统(PIS)服务质量的关键指标。结合5G技术特性, 可从以下三个方面进行优化。其一, 应用5G网络切片技术: 在5G核心网中为PIS实时业务创建专用切片, 于切片内采用网络资源预留机制, 分配固定的带宽、计算及存储资源, 避免与其他业务产生资源争夺。同时, 借助网络切片的隔离性, 确保实时业务传输不受其他业务干扰, 将端到端时延控制在50ms以内。其二, 优化传输协议: 把传统的超文本传输协议替换为快速UDP互联网连接协议(Quick UDP Internet Connections, QUIC)。QUIC协议基于用户数据报协议实现, 具备连接建立速度快、拥塞控制能力强、支持多路复用等优势。在PIS实时信息传输过程中, QUIC协议可减少握手延迟, 当网络出现丢包情况时, 通过快速重传机制保障数据传输的连续性, 进一步降低传输时延。其三, 实施数据压缩与优先级调度: 对传输的实时信息进行轻量化处理, 采用JavaScript对象表示法数据格式替代可扩展标记语言格式, 减少数据冗余; 同时,

运用LZ77压缩算法对数据进行压缩,降低数据传输量。在边缘节点与终端设备中部署优先级调度算法,将列车应急通知、到站倒计时等关键信息设置为最高优先级,确保在网络带宽有限时优先传输,保障核心业务的实时性。

3.2海量终端接入与并发控制

城市轨道交通高峰期单站终端接入量可达数万台(包括乘客移动终端与固定终端),需通过以下措施提升系统的并发处理能力:

5G mMTC特性适配:利用5G mMTC支持百万级/km²终端连接的特性,对PIS终端进行轻量化改造,采用窄带物联网技术实现部分低速率终端的接入,降低对5G NR网络的负载压力。同时,通过终端休眠机制,对闲置终端进行周期性休眠唤醒,减少空口信令开销。

边缘节点分布式计算:采用分布式数据库部署于边缘节点,实现终端数据的分布式存储与处理。当海量终端同时接入时,各边缘节点独立处理本区域内的终端请求,避免数据集中传输至云平台导致的瓶颈问题。通过负载均衡器实现边缘节点间的协同调度,确保整体系统负载均衡分布^[6]。

并发请求限流与排队机制:在边缘节点中部署令牌桶限流算法,对终端的并发请求进行流量控制。当请求量超过边缘节点处理能力时,多余请求进入排队队列,按照“先进先出”的原则依次处理;同时,向排队终端返回“请求繁忙,请稍后重试”的提示信息,提升用户体验。通过该机制,可避免系统因突发流量冲击而出现崩溃现象。

4 实验验证与性能测试

4.1实验方法

为验证PIS系统性能优化效果,搭建OPNET仿真平台模拟城市轨道交通环境。实验设定:选一条10个站点、全长20km地铁线路,含3km隧道段、5km高架段、12km地下段;列车时速60-80km,高峰期站台终端达5000台。5G网络用SA组网,3.5GHz频段、100MHz带宽;车站部署边缘节点(4核CPU、16GB内存),云平台用8节点集群(8核CPU、32GB内存)。测试指标有传输时延、并发接入量、平均无故障时间和网络覆盖率。开展对比实验,设4G传统系统与5G优化系统,在相同条件下测试性能指标。

4.2实验结果

实验持续运行72小时,采集并分析两组方案的性能数据,结果见下表1所示。结果表明,基于5G技术的PIS系统优化方案在传输时延、并发接入、可靠性及网络覆盖等方面均表现优异,能够有效解决传统PIS系统的瓶颈问题,为城市轨道交通乘客信息服

务提供有力支撑。

表1 实验结果

测试指标	实验组	对照组
传输时延	平均38.2ms,隧道段最大49.5ms,高架段最小31.7ms	平均215.6ms,隧道段最大320.3ms
并发接入	单基站最大12800台,接入成功率99.8%	单基站最大3500台,接入成功率87.2%
可靠性	8560小时,2次轻微告警(不影响业务)	3200小时,12次故障(3次业务中断超5分钟)
网络覆盖	整体99.92%,隧道段99.85%,高架段99.98%	整体95.3%,隧道段88.7%

5 总结

综上所述,本文通过“云-边-端”架构革新、业务传输策略优化及安全防护体系构建,为城市轨道交通PIS系统升级提供了可行路径。随着5G网络在轨道交通领域的全面覆盖,优化后的PIS系统将成为提升出行体验、保障运营安全的重要支撑,助力智慧轨道交通建设迈向新高度。

[参考文献]

- [1]徐磊,张欣萍,李文正.基于5G技术的城市轨道交通车联网络系统设计与应用[J].铁道车辆,2025,63(4):98-105.
- [2]杨鑫.5G网络技术在城市轨道交通智能调度系统中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(9):070-073.
- [3]梁志正.5G网络技术在城市轨道交通智能调度系统中的应用效果评估[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):133-136.
- [4]刘一帆,薛孟.5G通信技术在城市轨道交通的应用[J].科学技术创新,2025(2):94-97.
- [5]黄鹏.5G技术在轨道交通融合通信中应用的研究[J].长江信息通信,2025,38(1):198-201.
- [6]王思鸿,王潇骁,孙煜.基于5G专网的上海轨道交通智乘系统设计与研究[J].电气自动化,2025,47(1):113-115+118.

作者简介:

张淑芳(1991--),女,汉族,江苏省无锡市人,本科,工程师,研究方向:轨道交通通信系统研究。

李梓维(1999--),男,汉族,辽宁省辽阳市人,本科,助理工程师,研究方向:轨道交通通信系统研究。

陈鹏(1989--),男,汉族,山东省青岛市人,本科,青岛博宁福田智能交通科技发展有限公司,高级工程师,从事轨道交通通信系统研究。