

地铁自动售检票系统 (AFC) 的技术发展与创新应用研究

霍婉婉 王倩 周飞跃

无锡地铁运营有限公司 江苏无锡 214100

DOI: 10.12238/ems.v7i8.14726

[摘要] 自动售检票系统 (Automatic Fare Collection System, 简称 AFC) 作为现代城市轨道交通运营管理的重要组成部分, 其技术水平直接影响着地铁运营效率和乘客出行体验。本文从 AFC 系统的技术架构、核心功能模块、关键技术实现、行业标准规范、智能化发展趋势以及典型应用案例等方面进行深入分析, 重点探讨了移动支付集成、生物识别技术、大数据分析等创新技术在 AFC 系统中的应用现状和发展前景。研究表明, 新一代 AFC 系统正朝着无感化、智能化、互联互通的方向快速发展, 将为城市轨道交通的数字化转型提供重要支撑。

[关键词] AFC 系统; 移动支付; 生物识别; 大数据分析; 轨道交通

[Abstract] The Automatic Fare Collection System (AFC) is a critical component of modern urban rail transit operations, where its technical level directly impacts the efficiency of subway operations and the travel experience of passengers. This article provides an in-depth analysis of the AFC system, covering its technical architecture, core functional modules, key technology implementations, industry standards, trends in intelligent development, and typical application cases. It focuses on the current status and future prospects of innovative technologies such as mobile payment integration, biometric recognition, and big data analysis within the AFC system. Research indicates that the next-generation AFC system is rapidly advancing towards being seamless, intelligent, and interconnected, providing crucial support for the digital transformation of urban rail transit.

[Key words] AFC system; mobile payment; biometric recognition; big data analysis; rail transit

引言

随着全球城市化进程的不断加速, 城市轨道交通作为公共交通体系的重要组成部分, 其运营规模和服务水平持续提升。根据国际公共交通协会 (UITP) 的统计数据显示, 截至 2022 年底, 全球已有超过 200 个城市开通了地铁系统, 年客运量超过 500 亿人次。在这一背景下, 作为地铁运营“窗口”的自动售检票系统 (AFC) 的技术创新和智能化发展成为行业关注的重点。

传统 AFC 系统主要采用磁票或接触式 IC 卡作为车票介质, 存在设备维护成本高、乘客通行效率低等局限性。近年来, 随着移动互联网、生物识别、人工智能等新技术的快速发展, AFC 系统正经历着深刻的技术变革。特别是新冠疫情期间, 无接触式票务服务的需求激增, 进一步推动了 AFC 系统的技术创新。

本文将从技术实现角度, 系统分析现代 AFC 系统的架构设计、关键技术和发展趋势, 为行业技术升级提供参考。研究采用文献分析、案例研究和实地调研相结合的方法, 重点考察了国内外典型城市的 AFC 系统应用实践。

1. AFC系统技术架构

1.1 五层架构模型

现代 AFC 系统通常采用五层架构设计, 自上而下包括: 清分中心层、线路中心层、车站计算机层、车站终端层和车票层。这种分层架构设计既保证了系统的可扩展性, 又确保了各功能模块的独立性。

清分中心层作为系统的最高层级, 负责全网票务数据的清分清算、运营统计和系统监控。该层级采用分布式数据库架构, 日均处理交易数据可达数千万条。以上海地铁为例, 其清分中心系统采用 Oracle RAC 集群, 可支持峰值每秒 5000

笔交易的处理能力。

线路中心层负责单条线路的运营管理,包括票价策略实施、客流统计分析等功能。该层级通常采用双机热备设计,确保系统的高可用性。车站计算机层则负责单个车站的设备监控和数据采集,通过工业以太网与终端设备连接。

1.2 终端设备构成

车站终端层是 AFC 系统的“末梢神经”,主要包括自动售票机(TVM)、自动检票机(AGM)、半自动售票机(BOM)等设备。现代 TVM 普遍采用模块化设计,集成纸币接收器、硬币处理模块、银行卡读卡器等多种功能模块。以广州地铁的新型 TVM 为例,其纸币识别模块采用 CMOS 图像传感器,识别准确率达到 99.9%,处理速度可达 3 张/秒。

AGM 设备的技术演进尤为显著。早期的三杆式 AGM 已逐步被门式 AGM 取代,最新型的 AGM 采用光学传感器阵列,可实现每分钟 40 人次的通行能力。部分城市已开始测试人脸识别 AGM,如北京地铁在大兴机场线试点的人脸识别系统,平均通行时间仅需 0.3 秒。

1.3 车票介质演进

车票层的技术演进反映了 AFC 系统的发展历程。从早期的纸质磁票(如 1993 年上海地铁 1 号线使用的磁票),到接触式 IC 卡(如香港八达通卡),再到非接触式智能卡(如北京一卡通),车票介质不断升级。近年来,移动支付车票(二维码、NFC)快速普及,生物特征作为“无形车票”也开始应用。

值得注意的是,多种车票介质的并存对 AFC 系统提出了兼容性要求。现代 AFC 系统需要同时支持实体卡、二维码、NFC 等多种票务形式。深圳地铁的 AFC 系统就采用了多读卡器集成设计,单个 AGM 可同时支持二维码扫描、NFC 读取和 IC 卡识别。

2. AFC系统关键技术

2.1 移动支付集成技术

移动支付在现代 AFC 系统中扮演着越来越重要的角色。二维码支付技术主要采用动态令牌机制,每个乘车码的有效期限通常为 1-3 分钟,且仅能使用一次。上海地铁“Metro 大都会”APP 采用的二维码过闸技术,创新性地引入了蓝牙辅助定位,解决了手机网络延迟导致的扫码失败问题,将平均交易

时间缩短至 0.8 秒。

NFC 支付技术则主要分为 HCE(主机卡模拟)和 eSE(嵌入式安全元件)两种方案。HCE 方案成本较低但安全性相对较弱,适合银行 IC 卡应用;eSE 方案安全性更高,已应用于智能手机交通卡。北京地铁支持的“手机一卡通”采用 eSE 方案,交易时间仅需 0.2 秒,与实体卡相当。

在安全机制方面,移动支付 AFC 系统普遍采用国密算法 SM4 进行数据加密,交易报文包含动态加密的 MAC 值。系统还建立了完善的黑名单机制,可实时拦截异常交易。根据中国人民银行的要求,AFC 移动支付系统必须通过 PCI DSS 认证,确保支付安全。

2.2 生物识别技术

生物识别技术在 AFC 系统的应用主要集中在人脸识别领域。现代人脸识别 AGM 采用红外活体检测技术,可有效防范照片、视频等欺骗手段。典型的技术参数包括:误识率 $\leq 0.01\%$,拒真率 $\leq 1\%$,识别速度 $\leq 300\text{ms}$ 。广州地铁在部分线路上试点的人脸识别系统,识别准确率达到 99.7%。

掌静脉识别是另一种具有潜力的生物识别技术。日本东京地铁已在部分车站部署掌静脉识别系统,利用近红外线采集手掌静脉图像,形成特征模板。与指纹识别相比,掌静脉识别具有非接触、防伪性强等优势,但其设备成本较高,目前尚未大规模推广。

信用支付模式与生物识别技术结合,形成了“先乘车后付费”的创新服务。北京地铁“亿通行”APP 的人脸识别功能,允许乘客在信用额度内先过闸乘车,系统后续自动扣费。这种模式将平均进站时间缩短了 60%,显著提升了高峰期的通行效率。

2.3 大数据分析技术

AFC 系统产生海量的交易数据和客流数据,为运营决策提供了重要依据。在客流预测方面,现代 AFC 系统采用 LSTM(长短期记忆)神经网络模型,结合历史客流数据和外部因素(如天气、事件等),可实现未来 15 分钟客流量的高精度预测。深圳地铁的客流预测系统准确率达到 92%,为运力调配提供了可靠支持。

动态票价是大数据分析的另一个重要应用。通过分析 OD

(起讫点)数据, AFC系统可以识别客流时空分布特征, 实施差异化的票价策略。伦敦地铁采用的峰谷票价制度, 利用AFC数据分析结果, 将高峰时段客流分流了约15%。

异常行为检测算法帮助AFC系统识别潜在的欺诈行为。系统通过分析交易模式、进出站时间等特征, 建立正常行为基线, 实时监测异常交易。香港地铁的AFC系统采用机器学习算法, 欺诈交易识别准确率达到85%, 每年减少票务损失约500万港元。

3. 行业标准与技术创新

3.1 国际标准体系

AFC系统的标准化工作对实现互联互通至关重要。ISO 24014标准规定了AFC系统互联互通的框架体系, 包括数据格式、接口协议和安全要求等内容。该标准已被欧盟多个国家采用, 实现了跨国公共交通的“一卡通”服务。

EN 301 839标准则专门针对电子票务系统的NFC支付功能, 规定了射频性能、协议栈和应用接口等技术要求。该标准确保了不同厂商设备间的兼容性, 为NFC支付在AFC系统的应用奠定了基础。

在中国, GB/T 20907系列标准规范了城市轨道交通AFC系统的技术要求。其中GB/T 20907.1-2007规定了非接触式IC卡的物理特性, GB/T 20907.2-2007则明确了通信协议和数据格式。这些标准的实施促进了全国交通一卡通互联互通工程的推进。

3.2 技术创新趋势

全场景无感支付是AFC系统的重要发展方向。基于UWB(超宽带)技术的精准定位系统, 可实现乘客身份自动识别和费用自动扣除。上海地铁正在测试的“无感过闸”系统, 定位精度达到10厘米, 乘客无需任何操作即可完成付费。

区块链技术在票务清分领域展现出独特价值。通过建立去中心化的清分网络, 各运营主体可以实时共享交易数据, 自动执行清分规则。东京地铁联合多家私营铁路公司开展的区块链清分试验, 将清分效率提升了30%, 同时降低了对中心化清分系统的依赖。

绿色节能成为AFC设备设计的新要求。新型AGM采用低

功耗处理器和智能电源管理技术, 待机功耗可降低40%。部分城市开始试点太阳能供电的TVM, 如新加坡地铁的太阳能TVM, 日均发电量可满足设备80%的用电需求。

人工智能技术在AFC系统的应用不断深化。智能运维系统通过分析设备运行数据, 可提前预测故障风险。北京地铁的AFC智能运维平台, 故障预测准确率达到85%, 平均维修响应时间缩短了60%。

结束语

本研究系统分析了现代AFC系统的技术架构、关键技术和创新应用, 可以得出以下结论:

(1) 移动支付已成为AFC系统的主流技术, 二维码和NFC支付各有优势, 未来将长期共存;

(2) 生物识别技术显著提升了通行效率, 但需平衡便利性与隐私保护;

(3) 大数据分析为地铁运营提供了全新视角, 使精细化管理和个性化服务成为可能;

(4) 标准化工作仍需加强, 特别是在跨区域互联互通方面;

未来AFC系统将朝着智能化、无感化、服务化的方向发展, 成为智慧城市交通体系的重要支撑。建议行业重点关注以下研发方向:

(1) 新型人机交互技术, 如手势控制、语音交互等;

(2) 边缘计算在AFC系统的应用, 提升实时处理能力;

(3) 隐私计算技术, 实现数据可用不可见。

随着技术的不断进步, AFC系统将在提升运营效率、优化乘客体验方面发挥更大作用, 推动城市轨道交通服务迈向新高度。

[参考文献]

[1] 苗淑香, 李寿金. 研究地铁自动售检票系统的设备智慧运维[J]. 人民公交, 2024, (08): 88-90.

[2] 钟育. 地铁支付系统的演变及改进措施[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(36): 149-152.

[3] 刘斌. 地铁自动售检票(AFC)系统及其发展趋势[J]. 华东科技, 2022, (01): 111-113.