

# 城市轨道交通票卡凭证分类及适用性分析

金涛<sup>1\*</sup> 刘志钢<sup>2</sup> 胡华<sup>2</sup> 邓紫欢<sup>2</sup>

(1. 上海申通地铁集团有限公司信息中心, 201100, 上海;

2. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 城市轨道交通票卡凭证体系合理的规划和技术选型对于吸引客流、提高运营效益具有重要作用。分析了票卡凭证的类别及特征, 提出了具有普适性、可拓展性的票卡凭证分类框架。阐述了各类票卡凭证的识别技术原理, 对比分析了各类票卡凭证的技术经济特征, 分析了各类别票卡凭证的适用性、发展趋势和应用前景。

**关键词** 城市轨道交通; 票卡凭证; 分类框架; 识别原理; 适用性

**中图分类号** F530.7

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2020.05.013

## Classification and Applicability Analysis of Urban Rail Transit Tickets and Vouchers

JIN Tao, LIU Zhigang, HU Hua, DENG Zihuan

**Abstract** Reasonable ticket voucher system planning and technical selection plays an important role in attracting passenger flow and improving operating efficiency. The types and characteristics of urban rail transit tickets and vouchers were comprehensively sorted out. A universal and scalable classification framework was proposed. The principles of the identification technology for various types of tickets and vouchers were elaborated. The technical and economic characteristics of various types of tickets and vouchers were compared and analyzed. The adaptability, development tendency and application expectations were pointed out.

**Key words** urban rail transit; ticket vouchers; classification framework; recognition principle; application

**First-author's address** Shanghai Shentong Metro group Co., Ltd., 201100, Shanghai, China

随着互联网、移动支付、人工智能等先进技术在城市轨道交通系统中的大力推广应用, 城市轨道交通票卡凭证的形式也越来越丰富。各种新的虚拟化、智能化的票卡凭证, 如 NFC (Near-field com-

munication, 近距离通信)<sup>[2]</sup>、二维码<sup>[3]</sup>、掌静脉<sup>[4]</sup>、人脸凭证<sup>[5]</sup>等应运而生, 且还在不断丰富和发展之中。但无论是传统票卡凭证还是新兴票卡凭证, 其技术经济特征和在城市轨道交通中的适用性都各不相同, 需要合理进行规划和选型。

本文全面梳理了城市轨道交通票卡凭证的类别及特性, 从不同角度提出了兼具普适性和可拓展性的系统分类框架; 并进一步对各类典型票卡凭证的技术原理及技术经济特性进行了总结和对比分析。在此基础上分析了各种票卡凭证的发展趋势及应用前景。

## 1 城市轨道交通票卡凭证分类

目前, 城市轨道交通售检票系统的票卡凭证种类繁多, 不同的票卡凭证具有不同的特点、适用人群和适用情景。合理的票卡凭证分类一方面可为近年快速发展的多样化票卡建立一个具有普适性的技术框架, 有利于票务生态链企业共同探讨治理和发展问题; 另一方面, 通过分类框架可望为新的票卡种类研究提供启示, 为新的票卡发展技术纳入该框架体系提供准备。

城市轨道交通票卡凭证分类如图 1 所示。根据票卡凭证的载体形式可以将其分为实体凭证、虚拟凭证和生物凭证; 根据票卡凭证的付费模式可将其分为储值消费凭证和信用消费凭证; 根据城市轨道交通票务管理部门赋予票卡凭证的不同使用特性, 可将其分为计时票和计次票, 其中, 得到较广泛应用的计时票包括一日票、三日票、一周票和一月票等, 计次票包括单次票和多次票; 根据票卡凭证的识别技术原理可将其分为纸票、磁卡、TOKEN、IC 卡、二维码、NFC、掌静脉凭证、人脸凭证等, 随着相关技术经济的发展, 该分类下的凭证种类还会不断

\* 通信作者

更新和丰富。鉴于票卡凭证识别技术原理的多样性、复杂性和可拓性等特征,本文将重点对其进行阐述和分析。

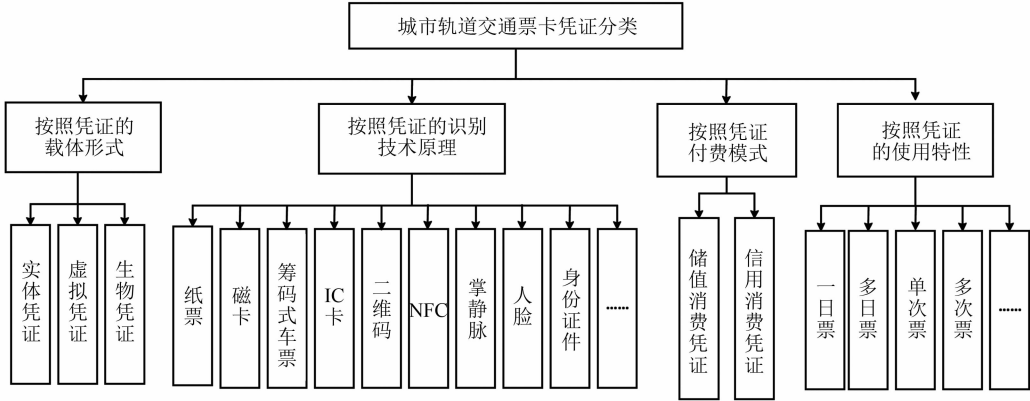


图 1 城市轨道交通票卡凭证分类

城市轨道交通票卡凭证分类及选择的依据主要是不同城市企业票务管理的发展定位和目标以及各城市不同乘客的个性化乘车需求特征,各城市应根据企业票务发展情况和乘客需求特征调查来进行票务框架系统规划和票卡凭证选择。

## 2 票卡凭证识别技术原理分析

### 2.1 实体凭证识别技术原理

实体凭证是利用特定的技术将乘客的乘车信息录入某种材料制作的实物载体,由人工或机器读取,以作为乘客进出城市轨道交通车站的凭证。实体凭证主要包括纸质车票、磁卡、TOKEN、IC卡等。

1) 纸质车票识别技术原理。我国早期的城市轨道交通票卡凭证主要采用的是纸质车票,常见的纸质车票有普通纸票和条形码纸票。普通纸票是将车票的编号、价格等信息都直接印刷在车票上,由票务人员视读确认;条形码纸票是将车票的相关信息通过条形码编码储存,由条形码扫描仪完成信息识别,标识的信息只供读取而不能改写。虽然纸质车票直观、简便,但数据保密性差,易被仿制,可回收利用性差。

2) 磁卡车票识别技术原理。磁卡车票是一种卡片装的磁性记录介质,与各种读卡器配合作用。PVC卡和PET卡都属于磁卡,携带方便,使用较为稳定可靠,成本低。磁卡车票的不足之处是:磁卡系统的机械结构复杂,维护成本高,系统处理磁卡车票时间长,因而会影响闸机的通过能力;磁卡的密钥是随票携带的,易被仿制,且存在车票数据丢失的风险;磁卡车票易折弯,或受水的侵蚀等,使用

寿命短。目前使用磁卡车票的有上海、大连、重庆、杭州等城市的轨道交通。

3) TOKEN 即筹码式车票识别技术原理。TOKEN(见图 2)具有防水、坚固且不易变形,使用次数多等优点,但是也有容易丢失、不适用于商业广告等缺点。相比较纸质/磁卡,TOKEN 由持票人将票投入检票机内,因而其与读卡器天线之间的工作距离较短,信息读取较准确。采用 TOKEN 的有广州、深圳、南京、武汉、长沙等城市的轨道交通,上海松江有轨电车也采用了 TOKEN 车票。



图 2 长沙轨道交通 TOKEN 式票卡凭证

4) IC 卡(也称为“智能卡”)车票识别技术原理。IC 卡是将与相关车票的所有信息存储在集成电路中,并由读写设备获取相关信息。IC 卡按照读写方式可分为接触式 IC 卡和非接触式 IC 卡。接触式 IC 卡将绝大部分电气部件进行封装,把与外部连接的线路做成触点外露,按一定的规则排列接触电极;在进行读写操作时,卡片必须插入读写器的卡座中,通过触点与读写设备交换信息。非接触式 IC 卡则是通过无线方式传输能量和数据<sup>[6]</sup>。从目前的应用情况看,城市轨道交通中所采用的 IC 卡还是

以非接触式 IC 卡为主,如图 3 所示。



图 3 上海轨道交通交通 IC 卡

5) 身份证件(优惠人群)作为票卡凭证的识别方法。身份证件主要用作高龄老人、离休干部、烈士家属、革命伤残军(警)等优惠人群的票卡凭证,包括老人证、离休干部证、烈士家属证、革命伤残军(警)证等。由票务人员人工核验身份证件的真实性和有效性,过闸效率较低,人力成本较高。

## 2.2 虚拟凭证识别技术原理

虚拟凭证是利用特定的技术将乘客的乘车信息等置入模拟的标签或非接触卡中,以某种移动支付终端为载体生成虚拟票卡凭证,并由相应的机器进行读取。

1) 二维码(又称为 QR Code 码)识别技术原理。通过将几何图形按照一定的规律设计成黑白相间的图形,来表示文字、数值等信息,然后通过手机等光电扫描设备以实现信息的自动处理。

目前国内城市轨道交通二维码过闸有 O2O(Online to Online)和 ODA(Offline Data Authentication)等多种方式并存。采用进出站联机检票的方式,是互联网支付较为主流的 O2O 的方式,但存在联机交易时间较长、断网无法使用等缺点,无法适应高密度城市轨道交通早晚高峰大客流快速通过的需求。采用 ODA 的脱机交易模式,二维码验证过程是脱机的,但要求交易信息最快传送到交易清分中心,以避免配对错误。脱机验证和交易有利于提高效率 and 交易系统的可用性,但脱机交易的配对存在差错概率;联机验证和交易在不可伪造和交易准确性方面有优势,但对通信系统要求高,导致系统理论可用性下降。鉴于此,上海轨道交通设计了一种“二维码双脱机回写技术”来解决上述问题<sup>[7]</sup>,于 2018 年 1 月投入运用,目前全网闸机均支持二维码过闸。

上海轨道交通二维码过闸流程如图 4 所示。进出站时,闸机读写器扫描手机二维码并检验合法

性,同时与手机以蓝牙通信的方式完成信息交互;手机获取闸机的车站代码等信息,并在进出站成功后向系统发送交易信息<sup>[2]</sup>,实现了“脱机验证,脱机交易”的双脱机。同时,以手机与闸机之间的蓝牙“联机”为纽带,完成交易配对,弥补了脱机交易的配对缺陷,蓝牙回写还带来二维码票卡不可复制和伪造的优势。

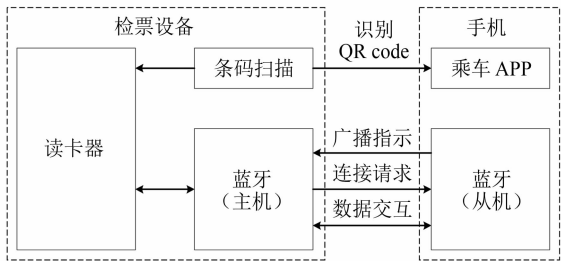


图 4 上海轨道交通“Metro 大都会”二维码过闸流程

2) NFC 识别技术原理。NFC 为近距离通信或近场通信,即让两个电子装置在相距 0 至 10 cm 之内进行通信。手机 NFC 工作模式(见图 5)分为点对点通信模式、读写器模式和 NFC 卡仿真模式 3 种。传统 NFC 卡为专用的实体卡,乘客有获取的门槛。目前在城市轨道交通中应用的 NFC 移动支付主要是手机对卡片仿真模式。该模式是将具有 NFC 功能的设备模拟成一张标签或非接触卡,如支持 NFC 的手机或智能手表可以作为门禁卡、银行卡、交通卡等而被读取。目前使用 NFC 支付的有上海、合肥、武汉、杭州、南京、成都等城市的轨道交通<sup>[8]</sup>。

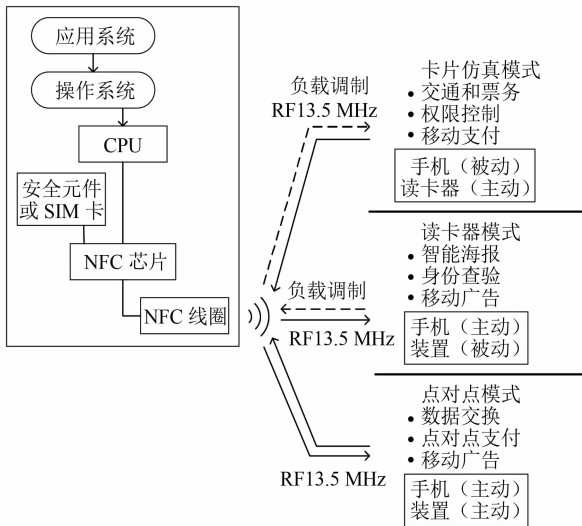


图 5 NFC 的 3 种工作模式技术原理示意图

NFC 的支付过程不会暴露在公用无线网络中,

也不存在交易信息被支付宝或微信等第三方获取的问题,保护了个人隐私,且用户使用操作简单。但 NFC 功能需要特定的硬件设备的支持,使用门槛较高;且由于 NFC 支付涉及了银联、轨道交通运营商、手机厂商、通信运营商等较长的生态链,使得目前 NFC 支付标准不一,导致有的 POS 机还要求用户再次输入密码进行确认,这就大大降低了 NFC 的体验感。

### 2.3 生物凭证识别技术原理

生物识别技术是基于人体的生理特征或行为特征,提取具有唯一性的生物特征信息,建立数字化特征模板,再将转换成的数字信息存储于计算机中,利用可靠的匹配算法来完成验证与识别个人身份。常见的生物特征主要有指纹识别、声纹识别、掌静脉识别、人脸识别、虹膜识别等,但在城市轨道交通系统中比较具有可实施性的主要有掌静脉识别和人脸识别等,上海轨道交通也正在对这两种技术进行研究和试运行。

1) 掌静脉识别技术原理。是利用反射近红外线的强弱来辨认静脉的位置,然后通过读取的静脉数据与预先存储的手掌静脉数据进行对比,从而对个人进行身份鉴定<sup>[9]</sup>,掌静脉识别过程示意图如图 6 所示。掌静脉识别的优点是:一人一证,具有无法复制性,因此识别准确率极高;自助智能过闸,能够节省票务人力成本。上海轨道交通研发了基于掌静脉活体识别技术的轨道交通掌静脉特殊通道,实现了 6 类优惠乘客群体快速、安全、精准的“一掌”自助过闸。目前,已在上海轨道交通浦江线,以及顾村公园站、汉中路站、诸光路站等智慧车站投入使用,运营情况稳定良好。

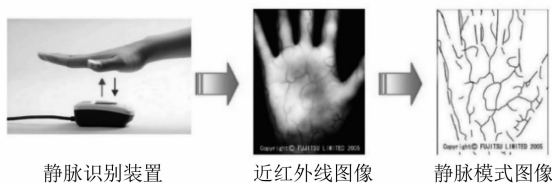


图 6 掌静脉识别过程示意图

2) 人脸识别技术原理。运用计算机和网络技术,将拍摄获取的乘客面部图像特征与数据模型库中的本人进行比对,判断符合性及一致性,并用本人绑定的账户进行支付和结算。人脸识别过程如图 7 所示。但该技术尚未完善和成熟,一旦排队的人多,画面杂乱,就可能出现识别不准的问题<sup>[10]</sup>。

目前,上海轨道交通正在研发闸机脱机“动态

刷脸认证”技术,其实现过程为:乘客过闸前,闸机端与手机端预先建立蓝牙通信,取出人脸特征值,形成本地“动态特征数据库”;与 AI(人工智能)端乘客刷脸识别的特征值进行核对,核对结果一致则闸机终端释放阻挡机构允许乘客进站;闸机通过蓝牙通信将进站信息回写到手机 APP。通过这种脱机验证方式对实名制认证的旅客进行身份鉴别和过闸支付同步操作。人脸识别技术具有较高应用前景,但存在一定局限性,如针对长相相近尤其是对双胞胎的识别仍会存在误识别现象。

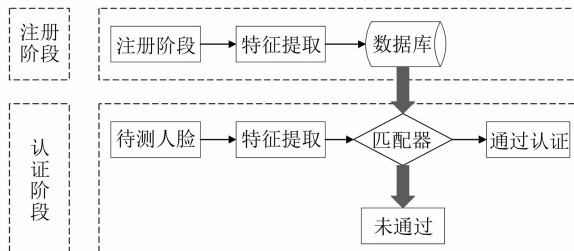


图 7 人脸识别过程

### 3 各类票卡凭证的适用性及发展趋势分析

票卡凭证是城市轨道交通票务系统的重要组成部分,合理的票卡凭证选型能够有效吸引客流和提高运营效益。表 1 为不同票卡凭证的技术经济特征表。表 2 为不同票卡凭证对于不同乘客人群的适用性。

不同的票卡凭证在城市轨道交通售票检票过程中都有其优劣势。各种票卡凭证所使用的技术不一样,因此实现的难易程度和带来的人员及设备成本不一样。比如:纸票和 IC 卡的材料和售检票设备成本相对较低,但维持这两种凭证运营与维保的人员成本相对较高;新兴支付凭证的检票设备成本相对较高,但能够减少人员的使用,掌静脉和人脸等生物凭证对检票设备的要求就更高了。不同的票卡凭证其各自的承载物体也不一样,比如:纸票、磁卡、TOKEN、IC 卡等就以某种特定材料制作的卡片或筹码等实物为载体;二维码、NFC 则以乘客自己携带的某种移动终端为载体,乘客无需在车站排队购买实体凭证;掌静脉和人脸等生物凭证的“承载物”便是每个需要乘坐轨道交通的个体人员,方便性就不言而喻了。因此,纸票、磁卡、TOKEN 适用于非该城市常住人员,如观光、旅游、探亲访友、差旅等出行人员;公交一卡通(一般为 IC 卡)则更适用于该城市常住人员,特别是不具有移动设备的老

表 1 不同票卡凭证的技术经济特征对比

类型	票卡凭证	安全性	便捷性	运营和维保成本	信息读取准确性	系统处理凭证时间
实体凭证	纸票、磁卡、TOKEN	纸质、磁卡车票易被仿制,安全性较差,TOKEN 安全性较高	方便携带,较易丢失	车票成本、现金交易和车票回收所需人员成本高	较高	较慢
	IC 卡	卡片易被克隆,安全性较差	方便携带,但不便于查看卡内信息;较易丢失	车票成本和现金储值交易所需成本较高	高	较快
虚拟凭证	NFC	通过短距离无线互联实现支付,安全性较高	操作步骤较少,便捷	乘客购置 NFC 设备成本较高,可节省售票设备和人力成本	高	快
	二维码	存在交易信息被第三方软件获取的问题,安全性有待进一步提高	操作步骤较 NFC 多,较便捷	需增加检票设备改造成本,可节省人力成本	高	快
生物凭证	掌静脉	一人一证,具有无法复制性,安全性极高	极便捷	需增加检票设备改造成本,可节省人力成本	极高	较快
	人脸	安全性高	极便捷	需增加检票设备改造成本,可节省人力成本	高	较快

表 2 不同票卡凭证对于不同乘客人群的适用性

乘客人群类型	纸票、磁卡、TOKEN(单程票)	IC 卡(一卡通)	NFC	二维码	掌静脉	人脸
常住人员		√	√	√		
非常住人员	√		√	√		
小孩等无移动设备人群	√	√				
优惠人群					√	√

人、小孩,但一卡通需要缴纳押金、提前充值,因此具有手机等移动设备的中、青年通勤人群的首选便是支持信用支付的二维码凭证;NFC 凭证具有特定使用群体,即拥有具有 NFC 功能设备的人群;掌静脉凭证和人脸凭证则非常适用于盲人、离休干部、烈士家属、革命伤残军(警)等优惠乘客群体。

截至 2019 年年底,中国内地已有 36 座城市开通了城市轨道交通,城市轨道交通网络日渐复杂,客流日益增多。传统凭证已不能适应现代移动支付的发展趋势,因而票卡凭证呈现出从传统实体凭证、储值消费方式向智能虚拟凭证、生物凭证、信用消费方式的发展趋势,尤其是二维码、NFC 凭证的使用比例呈现较快的增长趋势。需要特别指出的是,二维码和 NFC 在中国城市轨道交通取得的快速增长和成功,有深刻的外部消费环境为基础。二维码和手机移动支付在大众生活领域的覆盖率极高,乘客已经普遍接受二维码和手机作为支付方式,因而为城市轨道交通移动支付的票卡推广提供了成熟的消费生态技术,培育了熟练使用二维码支付的消费群体。票卡凭证和票务体系的选择与社会消费环境密不可分,脱离大环境的技术和消费方式选择是难于实现的。

2017 年、2018 年、2019 年上海轨道交通传统票卡凭证使用人数的年平均变化情况如下:单程票

(仅用于轨道交通系统的磁卡)依次为 14.38%、10.21%和 7.97%,年均下降 25.5%;传统公交一卡通依次为 84.51%、69.92%和 57.45%,年均下降17.5%。2018 年、2019 年上海轨道交通虚拟票卡凭证使用人数的年平均变化情况如下:二维码依次为 18.89%、33.68%,年均增长 78.3%;NFC 依次为 11.1%、13.2%,年均增长 18.9%。2019 年 12 月工作日二维码和 NFC 的月均占比分别为 36.41%、16.14%,二者占比之和已超过了 50%。可见当前票卡凭证正从传统的专用实体票卡向虚拟票卡转变,二维码、NFC 等移动支付票卡凭证将逐渐分流单程票、IC 卡等传统票卡凭证的客流量,提高乘客票卡凭证自主性获取、支付的同时,降低了票卡凭证运行的成本,从而成为当前阶段主流的票务支付方式,这与通信技术、智能手机、移动支付发展的大环境是分不开的。

在虚拟票卡成为主流和常态后,当前的虚拟票卡(如二维码和 NFC)将以数字身份和验证为基础进一步“拟人化”,随着手机等智慧终端的存在方式而变化。随着社会普遍生物支付环境和应用场景的普遍化,生物识别、无感支付、无闸进站等新的应用场景将在未来的 3~5 年逐步成熟和发展起来。

各城市应把握各种票卡凭证的特征、适用性,迎合技术和市场环境发展条件与趋势进行科学规

(下转第 63 页)

有冲击限制和无冲击限制情况下,最大能力运行和节能运行时计算的区间运行时间如表 4 所示。在牵引计算中考虑冲击限制时,由于对工况的切换过程进行了限制,使有冲击限制的速度曲线要低于无冲击限制的速度曲线,故区间运行时间会相应增加。

表 4 不同冲击限制情况下采用不同运行方式时的  
区间运行时间

冲击限制情况	区间运行时间/s	
	最大能力运行	节能运行
无冲击限制	82.62	90.70
有冲击限制	84.57	93.72

注:最大能力运行时区间运行时间精度提高 2.36%;节能运行时区间运行时间精度提高 3.33%

5 结语

本文在目前地铁牵引计算模型和算法的基础上考虑地铁车辆对控制加速度的变化率限制过程,以最大能力运行和节能运行时为例,构造了考虑冲击限制的牵引计算算法。算例结果表明,该算法可

以使控制加速度的计算值更符合实际情况,并能提高牵引计算仿真精度。

参考文献

[ 1 ] 丁勇.列车运行计算与设计[M].北京:北京交通大学出版社,2011: 2.

[ 2 ] 饶忠.列车牵引计算[M].北京:中国铁道出版社,2010: 24.

[ 3 ] 石红国,彭其渊,郭寒英.城市轨道交通牵引计算算法[J].交通运输工程学报,2004,4(3): 30.

[ 4 ] 石红国,彭其渊,郭寒英.城市轨道交通牵引计算模型[J].交通运输工程学报,2005,5(4): 20.

[ 5 ] 朱晓敏,徐振华.基于单质点模型的城市轨道交通列车动力学仿真[J].铁道学报,2011,33(6): 14.

[ 6 ] 冯晓云,何鸿云,朱金陵.列车优化操纵原则及其优化操纵策略的数学描述[J].机车电传动,2001(4): 13.

[ 7 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁车辆通用技术条件: GB/T 7928—2003 [ S ]. 北京: 中国标准出版社,2004.

[ 8 ] 张安.北京昌平线地铁车辆[J].机车电传动,2011(3): 56.

[ 9 ] 马沂文.《地铁车辆通用技术条件》(GB/T 7928—2003) 标准解读(待续)[J].电力机车与城轨车辆,2005,28(6): 64.

( 收稿日期:2018-08-08 )

( 上接第 58 页 )

划和选型,从而实现城市轨道交通票务系统的高效、安全与便捷运行。

4 结 语

随着城市轨道交通网络化运营和客流量的不断增长,售检票系统架构及运维工作量也越来越大,传统票卡凭证的弊端不断凸显,将智能化的二维码技术、NFC 技术、生物感知技术等融入到城市轨道交通票务系统中,采用多种票卡凭证结合使用的模式,一方面有利于高效实施城市轨道交通票务系统管理,降低票务系统的运维成本,提高票务结算的公平性;另一方面也可以提高乘客出行效率,使乘客获得更舒适的乘车体验。

参考文献

[ 1 ] 梁笛.城市轨道交通自动售检票系统车票选型探讨[J].机电工程技术,2013,42(4): 88.

[ 2 ] 李煜平.二维码支付技术在城市轨道交通中的应用[J].城市轨道交通研究,2018(6): 125.

[ 3 ] 张甲文.NFC 移动支付技术在地铁自动售检票系统中的应用[J].铁道通信信号,2016,52(12): 77.

[ 4 ] 杜东阳,路利军,符端阳,等.手掌静脉识别:基于端到端卷积神经网络方法[J].南方医科大学学报,2019,39(2): 207.

[ 5 ] 钱玥,李云飞,陈良.物联感知和生物识别在实名制票务中的研究[J].计算机工程与应用,2013,49(7): 199.

[ 6 ] 邓先平,陈凤敏.我国城市轨道交通 AFC 系统的现状及发展[J].都市快轨交通,2005(3): 18.

[ 7 ] 徐高峻.脱机二维码支付在城市轨道交通售检票系统中的应用[J].城市轨道交通研究,2018(8): 146.

[ 8 ] 胡畅,龚云海.轨道交通虚拟票务支付模式探讨[J].都市快轨交通,2016,29(3): 52.

[ 9 ] 陈彤.掌静脉识别技术在轨道交通中的应用探讨及趋势展望[J].城市轨道交通,2019(5): 53.

[ 10 ] 龚锐,丁胜,章超华,等.基于深度学习的轻量级和多姿态人脸识别方法[J].计算机应用:kns.cnki.net/kcms/detail/Detail.aspx? dbname=CAPJLAST&filename=JSJY20191025009&v=

( 收稿日期:2019-12-10 )