

基于人体生物学的指纹识别技术在出行支付环境下的应用研究

孙迪¹, 武艺²

¹安徽新华学院财会与金融学院, 安徽 合肥

²安徽新华学院商学院, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年6月7日; 录用日期: 2026年7月1日; 发布日期: 2026年7月9日

摘要

本文以当前出行支付的发展现状为研究背景, 聚焦于人体生物特征识别领域中的指纹识别技术, 对其在日常出行支付场景中的实际应用情况展开了系统研究。文章分别从技术的安全性能、使用便捷程度以及识别准确率三个核心维度进行了分析, 既总结了指纹识别技术相较于传统支付方式所具备的显著优势, 也客观指出了其在实际推广应用过程中暴露出的各类问题。在此基础上, 本文重点针对这些现存问题, 结合实际应用场景提出了相应的解决思路 and 具体改进措施, 旨在为指纹识别技术在出行支付领域的应用优化提供参考, 进一步提升该技术的实际运行效率, 改善广大用户的使用体验, 推动指纹识别技术与出行支付场景实现更深度、更顺畅的融合发展。

关键词

指纹识别技术, 出行支付, 安全性, 便捷性, 准确性

Research on the Application of Fingerprint Recognition Technology Based on Human Biology in Travel Payment Environments

Di Sun¹, Yi Wu²

¹School of Accounting and Finance, Anhui Xinhua University, Hefei Anhui

²School of Business, Anhui Xinhua University, Hefei Anhui

Received: June 7, 2026; accepted: July 1, 2026; published: July 9, 2026

Abstract

This article takes the current development status of travel payment as the research background,

文章引用: 孙迪, 武艺. 基于人体生物学的指纹识别技术在出行支付环境下的应用研究[J]. 交叉科学快报, 2026, 10(4): 898-908. DOI: 10.12677/isl.2026.104107

focusing on fingerprint recognition technology in the field of human biometrics, and conducts a systematic study on its practical application in daily travel payment scenarios. The article analyzes the technology from three core dimensions: security performance, ease of use, and recognition accuracy. It not only summarizes the significant advantages of fingerprint recognition technology compared to traditional payment methods but also objectively points out various issues exposed during its practical promotion and application. On this basis, the article focuses on these existing problems and, combined with practical application scenarios, proposes corresponding solutions and specific improvement measures, aiming to provide a reference for optimizing the application of fingerprint recognition technology in the field of travel payment, further enhance the actual operating efficiency of the technology, improve the user experience, and promote a deeper and smoother integration of fingerprint recognition technology with travel payment scenarios.

Keywords

Fingerprint Recognition Technology, Travel Payment, Security, Convenience, Accuracy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

(一) 研究背景与意义

如今前沿技术快速发展, 出行支付方式正经历深刻变革。现金、刷卡支付逐渐被移动支付替代, 而生物识别中的指纹识别技术, 凭借成熟度高、应用广泛的优势[1], 在出行支付领域展现出广阔前景。

指纹识别技术作为发展成熟的生物识别方式, 已在多行业普及, 将其应用于公交、地铁、出租车等出行场景, 有望构建更加快捷、安全、便捷的出行支付, 助力打造智慧出行的新方式。

随着数字经济与智慧交通深度融合, 出行支付的便捷性、安全性成为核心需求。指纹具有独一无二、相对稳定的生物特性, 且识别技术成熟、采集较为便捷, 不仅能缩短支付时间、提升通行效率, 还能有效降低支付风险, 减轻运营方负担[2]。

深入开展指纹识别技术在出行支付领域的应用研究, 对提升用户出行支付体验、推动交通运营数字化转型、增加智慧出行支付方式, 具有重要的现实意义。

(二) 研究目标与问题

本研究最终旨在对出行支付场景下的指纹识别技术应用进行全面综合的评价, 系统梳理其实际应用中的优势与不足, 并针对性地探索切实可行的解决路径, 为该技术在出行支付领域的进一步推广应用提供一定的理论参考和实践借鉴。本研究的主要目标如下:

第一, 分析指纹识别出行支付在数据存储安全、用户隐私保护以及防伪防骗等维度的实际安全性能; 第二, 考察指纹识别出行支付在操作便捷度、用户易用性以及不同设备适配性等方面的实际表现; 第三, 评估指纹识别出行支付在识别成功率、误识率以及系统运行可靠性等方面的准确程度; 第四, 全面总结指纹识别技术在出行支付应用中存在的突出优势和现实困境, 并在此基础上提出具有针对性的解决思路 and 具体改进方案。

2. 指纹识别技术概述

(一) 人体生物学基础

指纹识别技术在支付领域的应用, 核心是依托人类手指独有的生物生理特征, 凭借其唯一性、不可更改性和终身随身携带的特性, 成为了理想的生物凭证, 同时也为该技术的实际落地使用提供了生物学层面的理论依据[3] [4]。

1、指纹的生物学形成机制

指纹的形成始于胚胎发育阶段, 主要分为三个关键时期, 其形态构建与皮肤表皮、真皮层的相互作用密切相关[4]。妊娠 6~8 周为奠基期, 胎儿手指皮肤分化出表皮与真皮层, 细胞团排列为后续嵴线生长奠定基础, 基因决定指纹基本类型。10~16 周为嵴线定型期, 真皮与表皮细胞快速增殖, 形成指纹沟线结构。16 周后进入稳定发育阶段, 指纹形态定型, 且嵴线表面分化出汗孔, 既提升指纹唯一性, 也能助力指纹传感器采集信号, 为后续识别提供稳定基础。

2、遗传与环境的协同作用

每个人的指纹由遗传基因与胎儿宫内发育环境共同决定, 是全球公认的独特生物标识, 其唯一性、稳定性和便捷性使其成为适配出行场景的理想支付凭证。

指纹具备终身稳定性, 从胚胎发育阶段便已形成, 成熟后终身不变, 且细节特征组合的唯一性极高, 即便同卵双胞胎也无完全相同的指纹, 为身份识别提供了天然优势。

依托这一特性, 指纹在出行支付、安全验证等场景中发挥关键作用, 既解决了传统支付的安全隐患, 又通过简化操作提升了使用便捷性, 成为连接用户与服务的核心纽带, 其不可复制性也为支付安全提供了坚实保障。

3、出生后的结构稳定性

指纹的纹路形态自出生起便具有终身不变的特性, 这一特性的形成机理, 与人体皮肤的新陈代谢规律以及嵴线的固有排列结构密切相关。

皮肤细胞的自然更新不会改变指纹的整体图案。人体表皮细胞的更新周期约为 28 天, 但新生细胞始终会沿着原本的嵴线与沟线模板进行增殖、迁移, 逐步替代衰老脱落的细胞, 不会改变指纹原有的整体分布格局。

正常的生理性变化也不会影响指纹的核心特征。随着年龄增长, 嵴线会逐渐变粗、沟线会相应加深, 长期从事体力劳动的人, 手指还可能出现局部磨损, 但指纹的核心特征, 比如关键分叉点、端点的相对位置关系, 始终不会发生改变, 这也让指纹成为了可靠的终身生物凭证。

(二) 支撑出行支付应用的核心生物学特性

指纹所具备的生物特征唯一性、终身稳定性以及采集便捷性这三大核心特性, 直接奠定了其在出行支付领域的应用基础。这些与生俱来的生物特质, 恰好与出行支付场景对安全可靠、快速高效以及广泛兼容的核心需求高度契合[3]。

1、唯一性

指纹的唯一性是其作为生物支付凭证的核心优势, 这一特性由其生物属性决定。一枚指纹包含嵴线、沟线及分叉、端点等 100 至 150 个细节特征, 组合形式海量, 任意两枚指纹重合概率低于 10^{-60} , 唯一性远超其他生物识别技术。

在出行支付场景中, 指纹从根源上解决了传统支付易被伪造、盗刷的问题。现金、银行卡与密码均存在安全隐患, 而指纹不可复制仿制, 能够核验身份信息, 降低账户盗刷、身份冒用等违法风险, 体现了指纹生物特征在出行支付场景中的安全保障。

2、稳定性

指纹终身不变的特性, 使其成为永久有效的支付凭证, 恰好契合出行支付高频、长期使用的核心需求。

人的指纹在 6 至 14 岁发育成熟后, 嵴线整体形态及细节特征便长期稳定。即便随年龄增长嵴线变粗、沟线加深, 或手指轻微磨损, 也仅为表面变化, 不会改变核心特征的相对位置, 不影响识别准确性。

随着指纹识别技术的成熟稳定应用, 用户指纹信息可长期保持有效, 无需频繁重新录入。在公共交通出行场景中, 指纹核验能够长期维持较高的识别准确率, 既减少了用户重复录入信息的繁琐操作, 降低日常使用门槛, 也有效减轻了出行运营平台的设备调试与系统维护压力。

3、易采集性

指纹的体表暴露特性及独特纹路结构, 可实现快速采集甚至移动中采集, 很好地解决了其他生物识别技术的采集不便。指纹位于指尖, 凸起嵴线与凹陷沟线的物理结构, 无需复杂设备即可完成采集。

相比之下, 虹膜识别需用户贴近镜头, 静脉识别依赖红外线透射技术, 操作相对复杂且会消耗一定的时间, 无法满足地铁闸机单次通行要求。

人流密集的出行场景中, 用户多处于移动状态, 指纹支付仅需手指轻触感应区即可采集, 无需刻意对准。在一些大型综合交通出行场景下, 通过优化指纹识别感应区域设计, 能够实现指纹信息快速稳定采集。相较于传统手机二维码支付, 指纹支付操作流程更加简便, 核验响应更为迅速, 有效提升了人员出行的通行效率。

(三) 指纹识别原理与方法

指纹识别技术, 是依托指纹特有的生物学特征, 也就是嵴线与沟线的纹路差异, 来完成个体身份识别与认证的技术。该技术充分利用指纹的唯一性和稳定性, 通过图像采集、图像预处理、指纹特征提取、特征匹配以及身份验证这一系列技术环节, 将人体的指纹生物特征转化为可被计算机处理的数字特征信息。而在出行支付这一特定场景下, 对指纹识别技术还提出了响应速度快、系统鲁棒性强、误识率低等更为严苛的技术要求。

1、生物学特征的数字化转换

指纹识别技术的本质, 是采集指尖皮肤表面嵴线与沟线形成的纹路, 在保留指纹唯一性特征的同时, 剔除环境干扰。其实现主要依托两大核心基础。

一是物理可识别性。指纹嵴线与沟线胚胎期即形成且终身稳定, 细节特征组合独一无二, 二者高度差约 50~100 微米, 纹路形态可被传感器捕捉并转为可测信号。

二是多维度信号数字化编码。主流技术分为三类: 光学识别利用明暗差异生成图像; 电容识别依靠电极间电容差形成信号; 超声识别通过回声强弱构建三维图像[1]。

这些技术先将物理信息转化为数字图像, 再经算法提取特征点坐标与方向, 生成标准化数字模板, 完成生物信号到数字信号的转换, 保证识别精准与稳定。

2、关键技术环节的原理支撑

图像预处理的核心是消除环境干扰, 修复潮湿、油污、光线变化造成的图像畸变, 还原真实指纹特征, 为识别提供保障。

通过归一化统一图像尺寸与亮度, 消除设备采集差异; 经高斯滤波降噪、直方图均衡化增强对比度, 可大幅提升模糊指纹的识别率。区域分割则精准提取有效识别区域, 剔除背景干扰。

系统提取嵴线端点、分叉点等稳定特征, 将其编码为数字向量完成量化[4]。在匹配环节, 通过比对实时特征与存储模板, 当位置误差 ≤ 3 像素、方向误差 $\leq 10^\circ$ 的匹配点占比超 90%, 即判定为同一指纹。

同时系统设有容错机制, 允许轻微错位, 并依靠几何关系约束避免误匹配, 提升识别可靠性。

(四) 现有指纹识别技术的应用领域

如今指纹识别技术已在公共安全、金融、消费电子、交通运输等多个行业实现了广泛普及和落地应用, 各类应用场景的实际需求, 也与指纹识别技术的融合程度不断加深。

1、公共安全与司法

指纹被誉为人体自带的身份证, 在公安刑侦领域作用突出。警方在案发现场提取指纹痕迹后, 可与全国指纹数据库快速比对, 高效锁定嫌疑人。2019 年某盗窃案中, 民警依托现场指纹比对全国库, 仅 10 分钟便告破案件, 效率较传统侦查大大提升[5]。

在出入境边防检查场景中, 全国各机场、口岸的自助通关设备均以指纹识别作为核心身份核验手段, 逐步替代传统人工查验流程。通过指纹生物特征的快速比对, 旅客单人次通关时间大幅缩短, 口岸整体通行效率得到显著提升。我国边检系统已建成覆盖范围广泛的指纹数据库, 系统识别准确率极高, 能够精准甄别持伪造变造证件及冒用他人身份的人员, 有效防范各类非法出入境行为, 为国门安全提供了坚实的技术支撑。

2、金融支付

目前国内不少银行的智能 ATM 设备与线下收银 POS 终端, 已逐步搭载指纹识别核验功能。用户可借助指纹完成存取款、线下消费等业务办理, 省去输入密码的繁琐流程。相比传统密码支付具备更为可靠的安全防护能力¹。

支付宝、微信支付等主流移动支付平台也已上线指纹支付功能, 用户将指纹与手机绑定后, 转账、购物无需输入密码, 轻触指纹识别区 1~5 秒即可完成支付。同时, 平台引入活体检测技术, 能有效防范手机被盗后他人盗刷的风险, 进一步保障支付安全。

3、智能设备与消费电子

如今智能手机、平板电脑以及笔记本电脑几乎都标配了指纹扫描模块, 用户通过指纹验证就能快速解锁设备, 替代了传统的密码输入方式。2025 年国内智能手机的平均指纹识别成功率已达到 68%, 其中超声波指纹识别技术在高端智能手机中的渗透率进一步提升, 占比已超过 40%²。

在智能家居领域, 指纹识别也成为了主流的身份授权方式。以指纹门锁为例, 普通家用指纹门锁通常可存储 100 组指纹³, 用户可以为家人、访客分别设置不同的识别权限, 还能通过手机 APP 远程删除过期的指纹权限, 管理起来更加便捷灵活。

3. 指纹识别技术在出行支付中的应用

(一) 安全性分析

指纹识别技术在出行支付中的安全保障, 主要依托生物学唯一性和场景化风险管控两大核心。生物学唯一性意味着每个人的指纹独一无二, 其细节特征组合重复概率低于百亿分之一, 理论安全等级极高; 场景化风险管控则针对不同出行支付场景特点, 通过智能风险监测系统识别异常, 一旦发现设备越狱、网络异常等情况, 自动触发二次核验, 实现全链条风险控制。

指纹作为天然生物标识, 从根源上大大减少了身份冒用的可能性。针对硅胶指纹膜、3D 打印指纹等伪造手段, 行业普遍采用多模态活体识别技术防范。闸机部署光学加红外双模检测系统, 利用红外光检测皮肤血红蛋白流动特性, 使伪指纹通过率大大降低; POS 机采用电容加温度双重验证, 结合皮肤与仿制品的电导率差异及活体温度检测。

针对生物信息泄露问题, 行业已建立全流程加密保护模型。采集端仅提取精简特征码, 数据量为原始图像的 1/500, 上海地铁系统不存储可还原原始指纹的图像; 传输层采用国密 SM4 算法加密, 通过 TLS1.3 协议建立加密通道, 密钥每 10 分钟自动更新; 存储层采用本地加分布式碎片化存储, 终端与云端均不保存完整特征码。

¹<https://www.docin.com/p-4918813151.html>.

²<https://www.chinairm.com/hyzz/20250403/162834838.shtml>.

³<https://www.kmw.com/news/5369483.html>.

(二) 便捷性探讨

指纹识别技术可有效破解传统出行支付在介质依赖、操作流程、用户覆盖上的三大核心障碍。传统支付高度依赖实体出行卡或移动设备, 易丢失且受电量、网络信号制约; 支付流程需多步操作, 早晚高峰易引发拥堵; 老年人、儿童等特殊群体因操作能力或经验不足, 难以便捷享受移动支付。

为此, 指纹支付从优化业务流程、适配多元用户、突破场景限制三个维度对传统出行支付应用模式进行了系统性改造。在通行效率方面, 指纹支付单人次核验耗时远低于手机扫码支付, 能够显著提升交通枢纽早高峰时段的闸机通行能力, 有效缓解客流拥堵问题。

在极端场景适配性上, 指纹支付展现出更强的鲁棒性。当旅客双手拎物、雨天打伞等操作不便时, 指纹支付的识别成功率远高于需要手持手机对准扫码区的传统支付方式, 大幅降低了因操作困难导致的通行中断。

全人群覆盖有望实现, 算法优化解决各类群体可能会出现的问题: 针对老年人指纹磨损退化的问题, 优化后的算法能够精准识别低质量指纹; 对于儿童细小指纹的识别精度得到了显著提升; 同时通过特殊的图像处理技术, 能够有效处理体力劳动者指纹上的油污、划伤等干扰因素, 进一步扩大了指纹支付的适用人群范围。

(三) 准确性评估

出行场景中潮湿、温差大、设备高频使用等干扰问题, 现已通过硬件升级与算法优化协同解决, 为指纹识别准确率提供了稳定保障。

在复杂的环境条件下, 指纹识别系统可通过硬件与算法的协同优化, 应对各类外界干扰因素。在潮湿多雨的环境中, 超声波指纹传感器能够发射超声波穿透水层, 直接提取人体真皮层的指纹特征, 其识别稳定性远高于依赖表面光学成像的传统传感器。在低温环境下, 传感器搭载的低功耗加热模块可将触控区域温度维持在适宜的工作范围, 有效避免低温导致的识别失效问题, 显著提升了系统的识别可靠性。在高温多汗的使用场景中, 通过专用的汗液条纹消除算法, 能够有效修正汗液造成的指纹嵴线模糊问题, 使系统在恶劣条件下仍能保持较高的识别准确率[6] [7]。

为适应公共交通高频使用与复杂环境的需求, 指纹支付终端通过硬件与算法的双重优化提升了系统可靠性。硬件上采用高防护等级设计与耐用性结构, 可满足长期高强度运行要求; 算法上引入智能自校准机制, 能够动态修正传感器精度漂移, 确保设备全生命周期内识别性能的一致性。

4. 技术应用的优势、挑战和风险权衡

(一) 技术优势

指纹识别技术凭借其与生俱来的生物识别核心优势, 再结合出行支付场景的深度定制化技术改造, 已经成为当前出行支付领域具有很大竞争力且相对优秀的技术替代方案。安全可靠、便捷高效、全生命周期成本较低, 是其能够在公交、地铁、出租车等各类出行场景中快速普及并获得广泛认可的三大核心优势。

1、安全

相较于传统支付方式及其他生物认证手段, 指纹凭借自身独特的生物特性, 具备天然的安全防护优势, 尤其在抗伪造能力和风险处置效率两个方面表现突出。

指纹识别凭借其极高的特征唯一性, 结合多模态活体检测技术, 具备极强的抗伪造能力, 能够有效防范伪指纹冒用风险, 其安全防护水平显著优于传统 IC 卡与人脸支付等主流身份核验方式。

在风险处置方面, 指纹支付的响应更为迅速。一旦发现安全隐患, 通过系统平台一键删除对应指纹特征码, 即可实时完成权限注销。相比之下, 传统 IC 卡挂失需等待一段时间才能生效, 密码泄露后还需

逐一修改多个平台账号密码, 操作繁琐且存在明显的时间差风险。

2、便捷

指纹识别的技术特性, 与出行支付快速通行、低门槛使用、跨场景复用的核心需求高度契合, 凸显出比传统支付更强的综合竞争力。

在通行效率方面, 指纹支付展现出显著的速度优势。其单人次核验与支付流程耗时极短, 远快于传统手机扫码支付方式。采用指纹支付的闸机通行能力得到显著提升, 能够有效缓解站点拥堵状况, 大幅改善乘客的出行体验。

通过持续的算法迭代优化, 系统对老年用户因自然磨损导致的低质量指纹具备了极高的识别通过率, 显著优于传统手机支付方式; 同时能够精准识别儿童细小指纹, 并针对体力劳动者指纹上常见的油污、磨损等干扰因素进行了专门优化, 彻底消除了不同群体在支付环节可能遇到的障碍。

跨场景复用成本极低, 依托统一编码和区块链技术, 用户的指纹身份信息可在多个交通及消费场景间实现安全复用, 无需在不同平台重复录入身份信息或开通专属支付介质, 大幅降低了用户的使用成本与运营方的系统对接成本。

3、成本

从长远来看, 指纹识别技术在出行支付领域的应用, 能有效帮助交通运营主体降低全生命周期运营成本, 经济性优势显著。

在硬件改造成本方面, 指纹识别技术具备显著的经济性优势。当前主流电容式指纹识别模块市场售价处于较低水平, 远低于虹膜、掌静脉等其他生物识别模块; 公交指纹 POS 终端及地铁闸机改造的单台成本较为合理, 中小城市可通过分批更新的方式逐步推进, 有效分摊改造成本压力, 降低一次性投入门槛。

在长期运维成本方面, 指纹支付的应用能够带来全方位的成本节约。指纹支付替代实体 IC 卡后, 可省去实体 IC 卡的制卡成本及后续的卡务管理费用, 为公共交通运营企业带来显著的成本节约。同时指纹支付终端的故障率远低于传统扫码设备, 能够大幅降低设备的日常维修及配件更换成本, 进一步压缩了系统的全生命周期运维支出。

(二) 面临的主要挑战

尽管有这样大的好处, 但由于指纹识别技术规模化推广出行支付应用, 还面临四方面的障碍。

1、极端环境与特殊人群

极端天气会直接影响指纹识别效果, 北方严寒低温易造成手指皮肤干裂僵硬, 识别准确率大幅下降; 南方梅雨潮湿环境则会腐蚀传感设备, 缩短设备使用寿命。同时皮肤病、长期从事机械作业的人群指纹特征不明显, 识别成功率偏低, 再加上出行场景设备标准不统一, 跨场景识别误差偏大, 用户实际使用体验较差。

2、跨区域与跨主体问题

国内指纹出行尚未形成统一国家规范, 各地标准参差不齐, 指纹数据难以跨区域通用。再加上不同运营主体数据相互隔离, 用户需要反复录入信息, 极大降低使用意愿。同时相关法律责任界定模糊, 扣费纠纷处置周期漫长, 也使得公众对该技术的安全保障缺乏足够信任。

3、用户隐私顾虑与使用习惯固化

指纹出行支付的推广仍存在障碍: 一是公众隐私信任度不足, 对指纹信息与个人出行消费数据的绑定存在顾虑, 且部分试点因信息使用规则不明确导致用户参与度偏低; 二是用户使用习惯转换难度较大, 中老年群体对生物信息采集抵触情绪明显, 年轻用户也需要优惠激励才愿意尝试, 整体市场培育周期较长。

4、规模化落地的成本压力

指纹出行项目在建设和运营阶段都存在较大经济压力, 前期设备改造资金缺口明显, 中小城市推广投入高昂, 且整体回本周期漫长。同时后期设备更换、算法校准等维护费用持续增加, 加重运营主体负担, 客流量较小的线路更是难以推进, 严重制约了该技术的普及落地。

(三) 风险权衡

在肯定指纹识别技术优势的同时, 必须清醒认识到其大规模应用可能带来的新风险和挑战, 这些问题往往被技术乐观主义所忽视。

1、数字鸿沟风险

尽管指纹支付在理论上能够覆盖全人群, 但在实际应用中, 数字鸿沟问题可能进一步加剧。一方面, 农村地区和老年群体对生物识别技术的接受度和使用能力较低, 容易被排除在便捷支付体系之外; 另一方面, 指纹识别技术的推广可能导致传统支付方式的逐步退出, 使得那些无法或不愿使用指纹支付的人群面临出行困难。例如, 部分城市在推广移动支付后, 现金购票窗口大幅减少, 给老年人和外来务工人员带来了不便。

2、单一认证系统风险

过度依赖指纹识别作为唯一的支付认证方式, 可能带来严重的系统性风险。一旦指纹信息泄露, 用户将面临严重的安全威胁, 因为指纹无法像密码那样随意更改。此外, 大规模的指纹数据库成为黑客攻击的重点目标, 一旦发生数据泄露事件, 后果比较严重。同时, 系统故障或网络中断可能导致整个支付体系瘫痪, 影响城市公共交通的正常运行。

3、生物特征不可撤销

与传统密码和银行卡不同, 指纹是不可撤销的生物特征。一旦用户的指纹信息被泄露或滥用, 将无法通过更换指纹来解决问题。虽然目前行业普遍采用特征码存储而非原始图像存储, 但随着人工智能技术的发展, 通过特征码还原原始指纹的可能性正在增加。此外, 指纹信息可能被用于其他未经授权的用途, 如身份追踪、行为分析等, 侵犯用户的隐私权。

4、算法偏见与公平

指纹识别算法可能存在潜在的偏见, 对某些人群的识别准确率较低。例如, 研究表明, 某些患有指纹疾病的人群就无法使用指纹扫描。这种算法偏见如果不加以解决^[8], 可能导致不同人群在享受公共服务时受到不公平待遇, 违背了公共交通的普惠性原则。

(四) 应对策略与建议

1、技术迭代

针对出行场景中恶劣气候影响指纹识别的问题, 可通过硬件改造、算法优化及统一设备标准加以解决。硬件上, 研发适配低温的智能指纹传感器, 搭配低功耗石墨烯加热片, 可使零下环境下指纹识别通过率回升; 传感器表面采用氟龙与二氧化硅复合超疏水涂层, 能将高温高湿环境下设备使用周期延长, 减少运维开销。

算法层面, 依托轻量化卷积神经网络修复模糊、破损指纹, 将无完整指纹人群识别通过率提高; 同时采用指纹、声纹与设备位置融合的多模态认证, 为特殊指纹人群提供替代方案, 增加多样的辨识角度。

此外, 依据工信部出台的相关技术规范, 明确三类传感器输出标准, 计划 2027 年年末实现新增设备全部达标、存量设备完成改造, 将设备间匹配误差控制在 3%以内。

2、标准协同

应加快制定全国统一标准, 可借鉴深圳实践经验, 重点明确三项要求: 采用国密 SM9 非对称算法加

密提取指纹特征；划定数据共享边界，仅传输加密比对结果，严禁传输原始指纹特征码；厘清责任，设备故障由厂商赔付，算法问题由技术方整改。

同时搭建全国出行支付指纹联盟链平台，联合地铁、公交及支付机构共同治理。指纹特征哈希值上链存储，原始数据留存本地，既实现跨区域核验，又保障个人信息安全、实现数据的互联互通。

先在长三角、珠三角开展跨城互认试点，实现一城录入、多地通用，计划 2027 年将该模式推广至全国及重点旅游城市，切实解决指纹出行不便的问题。

3、用户教育与体验优化

隐私保护方面需做到公开透明。相关部门可出台出行支付领域指纹隐私保护白皮书，向用户清晰告知信息采集范围、存储形式及保存期限等内容；同时上线指纹使用记录查询功能，用户可在线查看具体支付时间、地点等明细，以此提升用户对这项技术的信任度。

推广上采用分级引导与激励相结合的方式。针对中老年群体，在社区、公交站点开设体验课程，由工作人员现场教学，并推出刷指纹乘公交五折等长期优惠；面向年轻群体，则联合支付宝、微信支付等平台，以积分奖励引导其逐步使用指纹支付。

此外进一步简化注册与解绑流程。依托微信、支付宝小程序搭建指纹一站式注册支付系统，用户在手机上就能完成指纹注册与账户绑定，无需线下设备；解绑时可一次性清除所有场景的指纹信息，切实解决注册、解绑环节的不便。

4、政策扶持与成本分摊

为缓解改造资金压力，可出台专项扶持政策。由中央财政设立智慧交通生物识别改造专项基金，对中小城市公交、地铁的指纹识别设备改造项目，给予最高 50% 的资金补贴；同时鼓励地方引入社会资本参与建设，如部分一线城市与支付宝合作，由企业垫付 70% 改造资金，换取三年支付手续费收益，实现运营方、企业与用户多方共赢。

设备部署采用分阶段、按客流分级的规模化投放模式：第一阶段优先覆盖机场、高铁站及省会核心城市地铁线路；第二阶段推进地级市主干公交、地铁设备铺设；第三阶段延伸至县级城市核心公交线路，以大流量场景带动小流量场景，降低整体投入成本。

此外，引导设备生产企业降本增效，推动国内传感器厂商扩大产能，将超声波指纹模块价格降至 80 元以下；鼓励研发指纹识别与扫码支付一体化设备，进一步降低单台设备采购成本，减轻交通运营主体的硬件投入负担。

(五) 解决方案的潜在风险

解决方案在实际推进过程中可能会面临多种潜在的困难和局限性。

1、技术迭代方面

石墨烯加热片和超疏水涂层的应用将使单台设备成本增加 15%~20%，对于资金紧张的中小城市运营主体来说负担较重，轻量化卷积神经网络在修复严重破损指纹方面效果有限，对于无完整指纹的人群识别率仍有待提高，不同厂商的技术路线差异较大，统一标准可能导致部分厂商前期研发投入浪费，面临较大的行业阻力，而增加声纹和位置认证虽然提高了安全性，但也增加了系统的复杂性和响应时间，可能在一定程度上抵消指纹支付原本的便捷性优势。

2、标准协同方面

标准制定涉及住建、交通、金融、公安等多个部门，跨部门协调成本高且周期长，联盟链平台虽然能够实现数据共享，但如何在保障跨区域核验的同时防止数据滥用，仍然缺乏成熟的技术和制度机制，部分城市已经建立了自己的指纹支付系统，全国统一标准要求的系统改造将额外增加地方财政负担，可能引发地方执行层面的抵触，同时现有联盟链的交易处理能力有限，难以满足全国范围内大规模出行支

付的实时性要求，高峰期可能出现核验延迟甚至系统卡顿的问题。

3、用户教育与体验优化方面

在社区和公交站点开设体验课程需要投入大量的人力和物力，且中老年群体的学习接受度参差不齐，教育效果难以量化评估，长期的价格优惠会持续增加运营主体的财务负担，一旦优惠力度减弱或取消，用户留存率可能出现下滑，仅通过发布白皮书和提供使用记录查询功能，难以从根本上消解公众对指纹信息泄露和滥用的深层担忧，信任体系的构建需要更长时间的市场验证，同时部分老旧智能手机无法流畅运行注册所需的小程序，仍有部分用户无法便捷完成线上注册流程。

4、政策扶持与成本分摊方面

大规模的设备改造补贴将显著增加中央和地方财政支出，在当前经济下行压力较大的背景下，专项基金的可持续性面临挑战，社会资本参与建设往往追求短期回报，企业垫付改造资金换取支付手续费收益的模式，可能导致运营方为追求短期利润而降低服务质量，或在后期提高收费标准转嫁成本，优先覆盖核心城市和高客流线路的分阶段投放策略，会进一步拉大城乡之间、不同区域之间的公共服务差距，加剧数字鸿沟，而盲目推动传感器厂商扩大产能可能导致市场供过于求，引发行业竞争，反而不利于技术的长期健康发展。

5. 总结

综上所述，将指纹识别这一生物特征识别技术应用于出行支付领域，具备充分的研究与落地可行性。其应用不仅依托指纹本身的生物学特性，更有技术、场景及政策等多方面支撑，当前应用中出现的各类问题，也均有对应的解决方案。

从生物特性来看，指纹具有唯一性，在胚胎发育阶段便已形成且互不重复，可充分保障支付安全；人体成熟后指纹终身稳定，一次采集即可长期使用，能有效节约应用成本。同时手指末端的天然纹理结构，让指纹识别操作简单便捷，十分贴合出行场景快捷、简易的短期支付需求。

技术层面，指纹识别已达到支付级安全标准，多模态传感器与识别算法精度可靠，拒真率和认假率均处于较低水平。结合活体检测、数据全生命周期加密存储与安全分发技术，可有效抵御指纹伪造、信息泄露风险。针对不同环境的硬件适配方案日趋成熟，能够适配复杂使用环境与多样化设备，满足各类出行场景需求。

从场景与外部支撑来看，用户对无介质便捷支付需求旺盛，指纹支付可以很好地满足人群出行支付；对运营方而言，该技术能降低改造、运维成本，提升运营效率。加之相关政策支持生物识别技术在交通领域落地，上下游产业协同发展，应用环境持续完善。

目前指纹出行支付存在的极端环境适配、标准不统一、隐私安全等问题，均可通过技术升级、统一行业标准、公开隐私保护细则等方式解决，不会对整体应用造成根本性阻碍。由此可见，指纹识别技术在出行支付领域具备切实可行性，未来有望成为主流出行支付方式。

基金项目

安徽新华学院 2024 年度省级大创项目：基于人体生物学的指纹识别技术在出行支付环境下的应用研究(编号：S202412216150)。

参考文献

- [1] 田野. 基于特征的数据指纹识别技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2025.
- [2] 陆平, 曹茜茜. “互联网+”生物识别的未来[J]. 互联网经济, 2018(6): 16-19.

- [3] 何阿妹, 蔡贤玲, 陈珉惶. 指纹识别技术发展及应用现状[J]. 产业创新研究, 2023(6): 102-104.
- [4] 刘欢喜. 人体生物特征的综合分析与应用[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [5] 徐杰, 刘哲元, 霍鑫, 等. 人工智能指纹识别技术在警务实战中的应用[J]. 刑事技术, 2021, 46(3): 299-304.
- [6] 许欢庆, 金力, 钱源, 等. 指纹识别系统的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2022, 18(28): 86-89.
- [7] 陈希贤. 基于指纹生物特征的防伪技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2017.
- [8] Drahansky, M., Dolezel, M., Urbanek, J., Brezinova, E. and Kim, T. (2012) Influence of Skin Diseases on Fingerprint Recognition. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, **2012**, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2012/626148>