

基于人工智能的老龄化社会电梯乘客安全行为主动预警系统研究

温炯良¹ 蒙传伟² 王娟³ 郭美华⁴ 魏胜君⁴

1.广东省特种设备检测研究院肇庆检测院 广东 肇庆 526000

2.广东华凯电梯有限公司 广东 佛山 528200

3.广东省标准化研究院 广东 广州 510000

4.中山职业技术学院 广东 中山 528400

摘要: 随着城市高层建筑的普及和人口老龄化进程加速, 电梯已成为现代生活中不可或缺的垂直交通工具。其运行安全直接关系到公共安全体系的完善程度。当前电梯安全监控技术在对乘客异常行为的主动识别与快速响应方面仍存在提升空间, 难以满足老年人、行动不便人群等特殊群体的安全保障需求。本研究提出一种融合多源感知数据的智能预警框架, 通过非侵入式监测手段探索电梯场景下的风险预判机制。项目以技术路径可行性验证为核心目标, 旨在为构建适老化公共安全环境提供理论参考与实践思路。

关键词: 人工智能; 老龄化社会; 电梯; 安全行为; 主动预警

一、研究背景与现实意义

电梯作为封闭式公共空间, 其安全事故多表现为乘客突发性行为异常。老年群体因身体机能衰退, 在电梯内突发晕厥、跌倒的风险显著高于普通人群; 孕妇、残障人士等特殊群体在轿厢失衡状态下更易发生二次伤害; 儿童攀爬轿厢部件的行为也存在安全隐患。现有监控系统主要依赖两类技术路线: 一是基于人工值守的视频回查机制, 其响应时效受人力配置限制; 二是采用单一传感器触发报警, 如在轿厢底部安装压力感应装置。这两类方式在复杂使用场景中面临共性挑战: 光照条件变化易导致视频识别稳定性下降, 乘客密集时的相互遮挡可能造成关键目标丢失, 系统对行为意图的预判能力不足则延长了应急响应链条。

国内研究发现, 章娟^[1]构建的住宅适老化评价工具创新性引入内在能力维度, 将老年人生理机能与空间安全性关联分析; 刘洋^[2]通过大样本流行病学调查证实电梯紧急呼叫响应延迟是跌倒高风险因子; 张晓^[3]聚焦老旧住宅公共空间视觉环境, 发现电梯厅照度不足会显著影响老年空间定向能力。在智能监控技术层面, 李聪林^[4]探索数字孪生技术在电梯监测中的应用, 优化传感器布局策略; 王文杰^[5]开发的视觉监控系统采用骨骼关节点追踪降低隐私风险; 汪猛^[6]基于边缘智能的检测方法将响应时延压缩至2秒内; 祁衍^[7]采用图神经网络提升遮挡场景识别准确率至93%。适老化改造实施研究揭示, 江蕊雅^[8]对杭州市的调查显示电梯紧急呼叫改造意愿达82.6%, 但智能监控安装意愿不足30%; 刘亚鹏^[9]

在合肥老旧小区发现电梯防滑改造需求迫切程度高达91.4%。跌倒干预机制研究表明, 刘丽香^[10]验证“APP参与式”管理模式可降低老年住院患者跌倒率; 徐榕^[11]构建的老年友善医院评价体系将电梯紧急制动响应时间纳入核心指标; 黄蓉蓉^[12]开发的图像版跌倒效能量表证实环境风险感知差异影响防护行为采纳率。当前研究瓶颈在于: 刘奕莎^[13]提出的空间安全设计原则尚未与智能监测技术结合^[5,8]; 陈琳^[14]的跌倒检测算法未适配老年慢速跌倒特征; 章娟^[1]的评价工具缺乏智能系统动态数据整合。未来需融合环境工效学与边缘计算技术^[6,9], 建立“人-机-环境”协同预警范式, 同时完善适老化改造政策支持体系^[6,8]。

二、系统设计方法论

(一) 架构设计原则

系统构建遵循“感知-分析-决策”三层逻辑, 形成闭环管理机制:

感知层采用异构传感器协同工作模式。可见光摄像头负责捕捉姿态动态, 热成像模块补充低光照环境数据, 压力传感器监测重心分布变化。多源数据采集通过时空对齐技术实现信息互补, 为行为分析构建冗余保障。例如在黄昏时段, 可见光摄像头受窗外强光干扰时, 热成像数据可维持基础识别能力。

分析层建立行为理解模型, 重点解析两类特征: 一是关节空间向量的时序变化规律, 构建“站立-倾斜-倒地”等状态迁移路径; 二是多目标间的空间位置关系, 通过相

对距离模型区分正常拥挤与意外挤压场景。该层引入遗忘机制，对短暂异常动作（如弯腰拾物）进行缓冲判断，降低误报概率。

决策层设计分级响应机制。初级预警触发本地声光提示，给予乘客自主取消机会；二级报警联动电梯控制系统停靠最近楼层，打开轿厢门；三级响应通过物联网平台通知物业救援，同步发送定位信息至急救中心。这种递进式策略形成“自主处置-设备干预-人工救援”的立体防护网。

（二）关键技术探索路径

1. 行为特征抽象方法

研究人体运动连续性与突发异常的关联规则。通过分析相邻帧间关节位移矢量，建立正常活动范围阈值。对超出阈值的运动轨迹（如快速下坠）启动重点跟踪，结合姿态保持时长判断行为性质。特别针对老年群体跌倒慢速化特点，开发渐进式识别模型，避免快速动作检测算法漏报。

2. 多源数据互补机制

探索不同传感器数据的时空关联性。例如热成像数据在夜间可替代可见光视频，压力分布突变与视觉姿态变化的时间同步性可作为摔倒判据。当多传感器结论冲突时，引入基于历史行为模式的置信度评估算法。开发传感器自诊断模块，对失效设备自动切换备用信号源。

三、创新性技术探索

区别于传统监控方案，本研究在三个方向进行突破性尝试：

（一）从被动响应到主动预判

系统通过建立乘客行为基线模型，识别偏离常态的动作模式。当检测到非常规体位保持（如蜷缩角落）、动作连续性中断（如突然静止）等特征时，启动预报警确认流程。创新性引入“行为链分析”概念，将乘梯过程分解为进入-站立-离开三阶段，在各阶段设置差异化监测策略。例如在离开阶段延长监测时长，防范老人因腿力不足滞留在轿厢角落的风险。

（二）从独立模块到系统协同

研究电梯控制系统与安全模块的信息交互协议。在确认紧急状况后，系统可自动执行三层联动响应：控制电梯停靠最近楼层、保持轿厢门开启状态、解除门禁限制。开发应急优先权机制，当系统触发二级以上报警时，自动覆盖其他楼层呼叫指令，确保救援通道畅通。

四、实施路径规划

（一）阶段性开发方案

1. 需求分析阶段

联合医疗机构、社区养老服务中心开展场景调研。重点收集老年群体高频风险行为案例（如取物跌倒、突发性眩晕），建立优先级评估矩阵。开展适老化设计专项研讨，

邀请老年代表体验原型交互界面。同步研究《电梯物联网监测终端技术规范》（GB/T 42616-2023）等标准文件，确保系统设计符合行业规范。

2. 原型验证阶段

在实验电梯搭建模拟测试环境。通过三维动作捕捉系统生成标准测试序列（如缓慢滑倒、突发性蹲坐），验证核心识别逻辑的可行性。重点验证三类特殊场景：穿厚重羽绒服的老人缓慢跌倒检测，轮椅进出时的空间避让识别，强光照射下的目标跟踪稳定性。建立误报案例库，分析光线反射、行李遮挡等干扰源的影响规律。

（二）效果评估维度

1. 技术可行性维度

关注误报与漏报的平衡关系。建立动态阈值调整机制，根据使用场景特点自适应优化敏感度参数。开发“学习-反馈”闭环，通过试点数据持续优化算法模型。特别关注系统在极端环境（如雷雨天气电磁干扰）下的失效恢复能力。

2. 工程适用性维度

系统评估设备安装对电梯正常运行的影响。研究非侵入式安装方案，最大限度利用现有线槽走线。开发传感器微型化方案，控制单设备重量在200克以内。遵循电梯电磁兼容抗扰度要求，进行实验室辐射抗扰度测试。

五、应用前景与挑战

（一）潜在应用价值

1. 提升特殊群体保障能力

系统对独居老人乘梯安全具有积极意义。当检测到老人长时间未出电梯或异常倒地时，自动触发亲属通知机制。创新设计“平安签到”功能，老年乘客进入电梯后，系统自动发送乘梯开始通知，超时未出则预警，形成轻量化日常监护。

2. 优化公共安全管理效能

为地铁站、医院等高人流场所提供可持续监管方案。通过行为数据分析，识别电梯不当使用行为（如电瓶车进梯），辅助管理政策制定。历史数据可生成设备负荷热力图，指导预防性维护资源投放，减少故障停机时间。

（二）待突破的技术难点

1. 密集场景识别瓶颈

早晚高峰时段乘客拥挤造成的相互遮挡，携带婴儿车、行李箱等大件物品对视野的阻碍，这些复杂场景易导致目标丢失。需研究基于深度信息的空间分层感知技术，开发动态兴趣区域聚焦算法，提升多目标跟踪鲁棒性。

2. 跨设备兼容性挑战

既有电梯型号跨度达20年，控制系统接口协议各异。研究通用型协议转换中间件，通过硬件抽象层适配不同控制器。推动建立行业统一通信标准，降低系统集成复杂度与

维护成本。

六、伦理与标准化思考

(一) 伦理框架构建

智能监控技术的应用必须重视伦理边界：

1. 数据最小化原则

采用骨骼关节点坐标等抽象特征替代原始影像，技术上规避人脸信息采集。研究压力分布模式识别，通过鞋底压力变化判断跌倒状态，避免身体敏感部位监测。

2. 用户控制权保障

在轿厢设置双模式开关：日常启用基础监测模式（仅骨骼关节点分析）；特殊需求时可启动物理遮挡功能，系统自动切换至传感器辅助模式。建立透明化数据看板，乘客可通过扫码查看自身数据使用记录。

(二) 标准化推进路径

1. 技术规范层

制定《电梯智能监控终端安装规范》，明确设备抗震性（参照GB/T 24476）、电磁兼容性（参照GB/T 24808）等指标。规定系统必须独立于电梯主控系统运行，确保安全功能不受设备故障影响。

2. 数据接口层

统一预警系统与电梯控制柜的通信协议，定义标准报警指令集（如紧急停靠、开门保持）。建立物业平台数据交互模板，规范事件类型编码与时间戳格式。

七、结论与展望

本研究构建的智能预警框架，核心价值在于实现“风险早发现-干预准定位-救援快到达”的闭环管理。在技术路径上，通过多源感知融合提升复杂环境适应性；在实施策略上，采用边缘计算架构平衡效能与隐私；在应用推广上，突出适老化设计体现人文关怀。现阶段工作聚焦技术可行性验证，后续需重点突破三方面：

(一) 跨学科协作深化

联合医学专家建立行为-健康关联模型，通过姿态特征预判心脑血管疾病风险；邀请人机工程学者优化交互界面，降低高龄用户使用门槛；协同法律团队制定数据合规指南，明确监控数据权属边界。

(二) 示范工程落地

选择三类典型场景建设示范工程：老旧小区改造项目验证低成本部署路径，新建养老社区展示全功能应用，公共交通枢纽测试高并发处理能力。通过差异化试点积累实施经验。

参考文献：

[1]章娟.基于老年人内在能力的住宅环境适老化评价工具研究[D].哈尔滨工业大学,2024.

[2]刘洋.我国社区老年人跌倒状况及居家环境影响因素研究[D].北京协和医学院,2023.

[3]张晓.老龄化背景下老旧住宅公共交通空间视觉环境安全性研究[D].重庆大学,2023.

[4]李聪林.基于数字孪生的电梯运行监测方法研究[D].中国计量大学,2023.

[5]王文杰.基于视觉感知的电梯轿厢智能监控系统设计与实现[D].四川大学,2023.

[6]汪猛.基于边缘智能的滚装电梯载客异常检测方法研究[D].杭州师范大学,2022.

[7]祁行.基于图神经网络的电梯轿厢内乘客异常行为识别方法研究[D].武汉理工大学,2020.

[8]江蕊雅.居家适老化改造意愿及影响因素研究[D].杭州师范大学,2023.

[9]刘亚鹏.合肥多层老旧住宅适老化研究[D].合肥工业大学,2018.

[10]刘丽香.基于"APP"的患者参与模式对预防老年住院患者跌倒的影响[D].南昌大学,2019.

[11]徐榕.老年友善医疗机构评价指标体系的构建[D].湖南中医药大学,2023.

[12]黄蓉蓉.图像版跌倒效能量表的跨文化调适及信效度检验[D].武汉大学,2019.

[13]刘奕莎.健康导向下老年人照料设施空间环境安全设计研究[D].重庆大学,2020.

[14]陈琳.基于智能手表加速度计的老年人跌倒检测算法研究[D].湖南大学,2020.

基金：肇庆市科技创新指导类项目136《基于人工智能主动预警乘客安全行为的电梯监控系统研究与开发》，中山市项目《面向老龄化社会的乘客安全行为主动预警人工智能电梯系统研究》