DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)08-0088-05

基于乘客电梯交通模式辨识的智能调度优化方法

孙一平[1], 林 立[2], 阮 力[1], 张 驰[1], 周学文[3]

(1.湖南省特种设备检验检测研究院,长沙 410000;2.多电源地区电网运行与控制湖南省重点实验室,湖南 邵阳 422000;
3.邵阳资水科技有限公司,湖南 邵阳 422000)

摘 要:传统电梯调度策略采用经验驱动的固定控制逻辑,难以适配高层建筑乘客交通流的动态演变特性,普遍存在调度响应滞后、资源配置失衡及能耗冗余等痛点。为破解这一难题,立足数据驱动范式,开展电梯交通模式精准辨识与多目标智能调度协同优化研究,把"密度峰值初始化"引入电梯领域并给出工业级实测;提出"日运行曲线→4类模式(高峰、平峰、午间、低峰)→三段权重(候梯时间、乘梯时间、能耗)"一键映射的工程化模板。首先,构建涵盖乘客流量强度、乘梯高峰时域特征、楼层呼叫分布熵、轿厢满载率及呼叫间隔周期的多维度交通特征指标体系,实现对垂直交通流的全面表征;其次,提出改进 *K*-means 与随机森林耦合的双层辨识模型,先通过主成分分析(principal component analysis,PCA)完成高维特征降维,再采用密度峰值法优化 *K*-means 聚类中心初始化策略,结合随机森林算法筛选核心特征并验证分类结果,有效解决传统聚类算法易陷入局部最优的瓶颈;最后,引入帕累托最优前沿理论,设计动态加权多目标调度优化算法,以平均候梯时长、乘梯时长及电梯运行能耗为优化维度,依据辨识的交通模式自适应调整目标权重,实现调度效率与节能效益的协同提升。实验结果表明,所提辨识模型的分类准确率稳定在94.2%以上,相较于传统调度方法,高峰时段平均候梯时间缩短18.5%,电梯综合能耗降低12.3%,且在住宅、写字楼、商业综合体等不同建筑场景下均表现出良好的适配性。该研究为电梯智能调度系统的升级迭代提供了理论依据与技术支撑,对推动垂直交通领域的智能化、绿色化发展具有重要意义。

关键词:电梯;交通模式辨识;智能调度; *K*-means 算法;多目标优化;双层辨识模型

中图分类号: TU857;TP273.4 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003-7241(2026)08-0088-05

Intelligent scheduling optimization based on passenger elevator traffic pattern identification

Sun Yiping[1], Lin Li[2], Ruan Li[1], Zhang Chi[1], Zhou Xuewen[3]

(1. Hunan Special Equipment Inspection and Testing Research Institute, Changsha 410000, China;
2. Hunan Key Laboratory of Multi-Source Regional Power Grid Operation and Control, Shaoyang 422000, Hunan, China;
3. Shaoyang Zishui Technology Co., Ltd., Shaoyang 422000, Hunan, China)

Abstract: Traditional elevator dispatch strategies rely on empirically driven fixed control logic, which struggles to adapt to the dynamic evolution of passenger flows in high-rise buildings. These approaches commonly suffer from delayed response, resource allocation imbalances, and energy redundancy. To address these challenges, this study adopts a data-driven paradigm to conduct research on precise identification of elevator traffic patterns and collaborative optimization of multi-objective intelligent scheduling. The paper introduces the density peak initialization into the elevator field and gives the industrial level measurement. It puts forward the engineering template of one-click mapping of daily operation curve→4 kinds of modes (peak, flat, noon, low). First, a multi-dimensional traffic feature index system is established encompassing passenger flow intensity, peak-time temporal characteristics, floor call distribution entropy, elevator occupancy rates, and call interval cycles, achieving comprehensive representation of vertical traffic flows. Second, an improved two-layer identification model is proposed combining *K*-means and random forest algorithms. This model first performs high-dimensional feature reduction through principal component analysis (PCA), then optimizes *K*-means clustering center initialization using density peak method, while integrating random forest algorithms to screen core features and validate classification results, effectively overcoming the bottleneck of traditional clustering algorithms prone to local optima. Finally, by applying pare to frontier theory, a dynamic weighted multi-objective scheduling optimization algorithm is designed. This algorithm adjusts target weights adaptively based on identified traffic patterns, using average waiting time, elevator usage duration, and operational energy consumption as optimization dimensions to achieve synergistic improvements in scheduling efficiency and energy-saving benefits. Experiments demonstrate that the proposed identification model maintains

收稿日期:2026-01-03;**录用日期**:2026-03-12

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2025JJ80249);湖南省示范性科技成果转化项目(2024CK1014)2024年邵阳市自然科学研究项目(2024PT4046)

作者简介:孙一平(1992—),女,硕士,主要从事特种设备检验检测研究。

通信作者:林 立(1972—),男,博士,教授,主要从事电力电子与电力传动方向的研究。

引用本文:孙一平,林立,阮力,等.基于乘客电梯交通模式辨识的智能调度优化方法[J].自动化技术与应用,2026,45(8):88-92.(Sun Yiping,Lin Li,Ruan Li,et al. Intelligent scheduling optimization based on passenger elevator traffic pattern identification[J]. Techniques of Automation and Applications,2026,45(8):88-92.)

a classification accuracy rate above 94.2%. Compared to traditional scheduling methods, it reduces average waiting time during peak hours by 18.5% and decreases comprehensive elevator energy consumption by 12.3%. The model also demonstrates excellent adaptability across various building scenarios including residential complexes, office towers, and commercial complexes. This study provides theoretical basis and technical support for the upgrade and iteration of intelligent elevator dispatching system, which is of great significance to promote the intelligent and green development of vertical transportation.

Keywords: elevator; traffic mode identification; intelligent scheduling; *K*-means algorithm; multi-objective optimization; dual-layer recognition mode

随着城市高层建筑密度持续提升与智慧城市建设的深入推进,电梯作为垂直交通核心载体,其运行效率与能耗水平直接关联用户出行体验、建筑运维成本及绿色低碳发展目标[1-3]。当前多数电梯采用集选控制等固定调度策略[2],仅依靠实时乘客呼叫信号执行响应式调度,未充分挖掘电梯运行数据中隐含的交通流周期性、突发性及时空分布特征,在早高峰通勤、午间集中出行、商业综合体客流集散等典型场景下,极易出现候梯时间过长、电梯空驶率偏高、能耗冗余等突出问题[4-11]。同时,住宅、写字楼、商业综合体等不同建筑类型的乘客交通模式存在显著差异,单一化调度方法难以适配多样化的垂直交通需求,亟需依托数据驱动的智能算法,构建精准交通模式辨识与动态自适应调度的一体化技术体系[12-16]。

电梯交通模式辨识的核心是通过挖掘运行数据规律实现场景匹配,调度优化则需基于辨识结果针对性调整策略,其本质是机器学习模型与多目标优化理论在垂直交通领域的交叉应用[13-16]。现有研究中,交通模式辨识多采用单一聚类算法[17-20],传统 *K*-means 算法存在聚类中心初始化敏感、对非线性特征拟合能力弱的缺陷,导致模式分类精度受限[21-24];调度优化方案多聚焦候梯时间单目标优化,忽略能耗与乘梯舒适度等关键指标,且权重分配依赖经验设定,缺乏动态适配机制,难以满足现代建筑智能化、节能化的双重需求[25-26]。基于此,本文构建融合流量、时段、楼层分布的多维度特征指标体系,提出改进 *K*-means 与随机森林耦合的辨识模型,设计基于帕累托最优的动态加权多目标调度优化方法,通过实验验证方法有效性[27-29],为电梯垂直交通智能管控提供新路径。

1 电梯交通特征提取与数据处理

1.1 交通特征指标体系构建

精准刻画电梯交通模式的核心是构建科学完备的特征指标体系,本文基于交通流动力学理论与电梯运行能效评估框架,从交通流强度、时空分布特性、运行状态能效 3 个维度,选取 8 项核心特征指标,全面覆盖乘客出行规律与电梯系统运行特性,为后续模式辨识提供可靠的数据基础。具体指标设计如下:1) 时段平均客流量。单位时间内电梯承载乘客总数,反映交通流强度的核心量化指标,是划分平峰与高峰时段的基础依据。2) 高峰时段持续时长。日客流量超平均水平 1.5 倍的连续时长,结合交通流波动特性界定通勤早高峰、午间集中出行等典型高峰区间。3) 楼层呼叫频次占比。各楼层乘客呼叫次数占总呼叫次数的比例,体现垂直空间内乘梯需求的分布差异,为调度策略的楼层优先级分配提供支撑。4) 平均乘梯距离。乘客单次乘梯的楼层差均值,反映出行距离的统计特征,与电梯启停能耗直接相关。5) 电梯启停频率。单位时间内电梯启动、停止的累计次数,关联电梯机械损耗与能耗水平,是评估运行效率的关键参数。6) 空驶率。电梯无乘客运行里程占总运行里程的比例,表征电梯资源利用效率,是衡量调度策略优劣的重要能效指标。7) 呼梯响应延迟。乘客呼叫电梯至轿厢到达呼叫楼层的平均时间,直观反映调度响应的及时性。8) 客流波动系数。时段客流量标准差与均值的比值,量化交通流的稳定性,为辨识突发性、周期性交通模式提供数据支撑。该指标体系突破传统单一流量指标的局限性,实现交通流特性与系统运行状态的耦合表征,为模式辨识模型提供高辨识度的输入特征。

1.2 数据预处理

为保证后续模型训练的精度与泛化能力,以某城市核心商圈写字楼、高端住宅小区各 1 台额定载重 1 000 kg 的乘客电梯为研究对象,采集连续 1 个月的运行数据(采样频率 1 次/min),原始数据涵盖乘客呼叫楼层、目的楼层、呼叫时间戳、轿厢负载、电梯运行状态等多维度信息。由于现场传感器噪声、设备故障等因素,原始数据存在异常值、缺失值等问题,需通过系统化预处理消除干扰,具体步骤如下:1) 数据清洗。采用 3σ 准则识别并剔除超出正常范围的异常值,如超出建筑楼层总数的呼叫数据、负载为负值的故障数据;针对少量随机缺失值,采用线性插值法补全,对于连续缺失超过 5 min 的数据段,判定为传感器故障并直接剔除,确保数据集的有效性。2) 特征计算。基于清洗后的原始数据,按照 1.1 节的指标定义完成 8 项核心特征指标的计算,构建特征数据集,单台电梯样本数达 43 200 组,覆盖每日 1 440 min 的全时段运行状态。3) 特征标准化。采用 Z-score 标准化方法处理特征数据,消除不同指标间的量纲差异(如客流量的“人次”与启停频率的“次/h”),标准化公式为

$$x_i' = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \tag{1}$$

其中,x_i 为原始特征值,μ 为特征均值,σ 为特征标准差,x_i' 为标准化后特征值;4) 特征降维。引入主成分分析(PCA)对标准化后的高维特征进行降维处理,通过计算特征协方差矩阵的特征值与特征向量,选取累计方差贡献率达 90%以上的主成分,在保留核心特征信息的前提下,

有效降低数据维度,避免模型训练过程中的“维度灾难”,同时提升后续聚类算法的运算效率与分类精度。

2 电梯交通模式辨识模型设计

针对传统单一聚类算法在电梯交通模式辨识中存在的聚类中心不稳定、易陷入局部最优、泛化能力弱等缺陷,本文构建改进 *K*-means 聚类与随机森林耦合的双层辨识模型,通过“聚类初始化优化-分类结果验证”的协同机制,实现交通模式的精准、稳定辨识,为后续调度优化提供可靠的模式依据。

2.1 改进 *K*-means 聚类算法

传统 *K*-means 算法因初始聚类中心随机选取,易导致聚类结果随初始化不同产生波动,甚至陷入局部最优解,难以适配电梯交通流特征的复杂性。本文引入密度峰值聚类(density peaks clustering, DPC)算法优化初始聚类中心选取策略,从数据密度分布角度提升聚类的合理性与稳定性,具体改进步骤如下:1) 计算样本核心参数。定义样本 i 的局部密度 ρ_i 为其邻域内(距离阈值 d_c)的样本数量,反映样本的聚集程度;定义样本 i 的相对距离 δ_i 为样本 i 与密度高于自身的所有样本间的最小距离,表征样本作为聚类中心的潜在能力。2) 筛选最优初始中心。以 ρ_i 为横轴、δ_i 为纵轴构建决策图,选取两类参数均处于高值区间的样本点作为初始聚类中心,从根源上避免随机初始化带来的偏差。3) 迭代完成聚类分配。计算各样本与初始中心的欧氏距离,将样本分配至距离最近的聚类簇,基于簇内样本均值迭代更新聚类中心,直至连续两次迭代的中心位置偏差小于 0.001,判定为聚类收敛,输出初步交通模式聚类结果。

2.2 随机森林优化分类模型

为进一步降低单 1 聚类算法的误分类风险,提升模型辨识稳定性,在改进 *K*-means 聚类的基础上,引入随机森林算法构建二级分类验证模型,形成“聚类-分类”的双层辨识架构。将改进 *K*-means 聚类得到的交通模式类别作为标签,以经 PCA 降维后的核心特征为输入变量,训练随机森林分类器;利用多棵决策树的独立训练与投票机制,输出最终辨识结果,有效修正聚类过程中因噪声数据导致的分类偏差。模型参数设置兼顾分类精度与泛化能力:决策树数量设为 100 棵,保证分类结果的鲁棒性;每棵树最大深度设为 12,避免过拟合;特征采样比例设为 0.7,通过增加决策树的多样性进一步提升模型的抗干扰能力。

2.3 交通模式分类结果

基于预处理后的写字楼、住宅电梯运行数据集,采用所提耦合辨识模型开展实验,结合不同建筑类型的交通流演变规律,最终将电梯交通模式精准划分为 4 类。模式 1(早高峰模式):7:30—9:00,客流量集中、上行呼叫占比超 75%,客流波动系数达 0.8,典型应用于写字楼通勤场景。模式 2(平峰模式):9:00—11:30、14:00—17:00,客流量稳定、楼层呼叫分布均匀,空驶率低于 15%,适用于多数非高峰时段。模式 3(午间模式):11:30—14:00,双向客流均衡、平均乘梯距离小于 5 层,短距离乘梯需求突出,常见于写字楼、商业综合体。模式 4(低峰模式):17:00 时后及夜间时段,客流量稀少、空驶率超 40%,覆盖住宅晚间、写字楼下班后的低需求场景。

3 电梯智能调度优化方法

电梯调度优化的核心是基于精准辨识的交通模式,构建兼顾运行效率与节能效益的多目标决策体系。传统调度方法采用静态权重分配策略,难以适配不同交通模式的差异化需求。为此,本节提出模式驱动的动态加权多目标优化调度方法,通过构建科学的目标函数体系,结合改进粒子群优化算法实现调度方案的全局最优求解,形成“模式辨识-目标适配-算法寻优-策略输出”的闭环优化流程。

3.1 多目标优化目标函数构建

以电梯运行效率与节能性为核心,兼顾用户体验与系统运维成本,构建平均候梯时间最小化、平均乘梯时间最小化、电梯能耗最小化 3 个相互耦合的优化目标,并基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP),结合不同交通模式的优先级差异设置动态权重系数,将多目标优化问题转化为可求解的单目标优化问题。

3.1.1 平均候梯时间最小化

平均候梯时间是衡量用户乘梯体验的核心量化指标,直接反映调度响应的及时性,定义为时段内所有乘客从呼叫电梯到轿厢到达呼叫楼层的时间均值 T_1,计算公式为

$$T_1 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(t_{ak} - t_{ck}) \tag{2}$$

其中,N 为时段内乘客呼叫总次数,t_{ck} 为第 k 次乘客呼叫电梯的时间,t_{ak} 为电梯到达第 k 次呼叫楼层的时间。该目标聚焦乘客端体验,是高峰模式下的优先优化维度。

3.1.2 平均乘梯时间最小化

平均乘梯时间表征电梯轿厢内乘客的行程流畅性,与电梯运行路径规划、停站次数直接相关,定义为乘客进入轿厢至到达目标楼层的时间均值 T_2,计算公式为

$$T_2 = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}(t_{dj} - t_{ej}) \tag{3}$$

其中,M 为时段内乘梯乘客总数,t_{ej} 为第 j 位乘客进入电梯时间,t_{dj} 为到达目标楼层时间。

该目标兼顾运行效率与乘梯舒适度,是平峰、午间模式下的重要优化指标。

3.1.3 电梯能耗最小化

电梯能耗 E 主要由驱动电机运行能耗与启停能耗两部分构成,与电梯运行负载、启停频率、运行时长呈正相关关系,公式为

$$E = \sum_{m=1}^{L}(P_{om}t_{om} + P_{sm}t_{sm}) \tag{4}$$

其中,L 为电梯数量,P_{om} 为第 m 台电梯运行功率,t_{om} 为运

行时间，P_{sm} 为启停功率，t_{sm} 为启停累计时间。该目标聚焦系统节能效益，是低峰模式下的优先优化维度。

3.1.4 动态加权单目标转化

根据不同交通模式的优先级差异，设置动态权重系数 ω_1（候梯时间权重）、ω_2（乘梯时间权重）、ω_3（能耗权重）、（$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$）、能耗时间 T_3，转化为总目标函数 F 为

$$F = \omega_1 T_1 + \omega_2 T_2 + \omega_3 T_3 \tag{5}$$

高峰模式（模式 1），优先保障效率，假设 $\omega_1 = 0.45$，$\omega_2 = 0.35$，$\omega_3 = 0.2$（符合实际的一组权重数）。

平峰/午间模式（模式 2、3），平衡效率与能耗，假设 $\omega_1 = 0.35$，$\omega_2 = 0.30$，$\omega_3 = 0.35$（符合实际的一组权重数）。

低峰模式（模式 4），优先节能，可设 $\omega_1 = 0.20$，$\omega_2 = 0.15$，$\omega_3 = 0.65$（符合实际的一组权重数）。

3.2 动态调度优化算法实现

针对传统粒子群优化（particle swarm optimization，PSO）算法易陷入局部最优、收敛精度不足的缺陷，设计引入非线性惯性权重与精英交叉策略的改进 PSO 算法，实现调度方案的全局最优求解，具体步骤如下：1）粒子编码。以电梯群的呼叫分配方案为粒子，采用整数编码格式 $[a_1, a_2, \cdots, a_N]$，其中 $a_k (k = 1, 2, \cdots, N)$ 表示第 k 次乘客呼叫分配的电梯编号；2）参数初始化。设置粒子种群规模为 50，最大迭代次数为 100，学习因子 $c_1 = c_2 = 2$，惯性权重采用非线性递减策略（从 0.9 平滑降至 0.4），平衡算法前期全局寻优与后期局部收敛能力；3）适应度计算。以总目标函数 F 为适应度评价指标，适应度值越小代表调度方案越优；4）粒子迭代更新。迭代更新粒子的位置与速度，引入精英保留策略，将每次迭代的最优粒子直接保留至下一代种群，并融入交叉变异操作避免算法早熟收敛；5）调度策略执行。当迭代满足收敛条件（连续 10 代适应度值波动小于 0.001）时，输出最优电梯呼叫分配方案，结合当前交通模式实现动态调度。

4 实验验证与结果分析

4.1 实验环境与数据

实验以 2 台 16 层写字楼电梯为研究对象，搭建基于 MATLAB 2022a 的仿真平台，采集 1 个月运行数据（含早高峰、平峰等全模式场景），划分训练集（70%）与测试集（30%），验证辨识模型精度与调度优化效果。对比方法选取：辨识模型对比传统 *K*-means、单一随机森林；调度方法对比传统集选控制、固定权重 PSO 算法。

4.2 交通模式辨识结果

测试集上不同辨识模型的性能指标对比见表 1，可知本文改进模型（改进 *K*-means + 随机森林）分类准确率达 94.2%，较传统 *K*-means 提升 8.7%，较单一随机森林提升 3.5%；同时聚类稳定性（以迭代标准差衡量）显著优于传统方法，说明多特征融合与算法改进可有效提升辨识精度与可靠性。

4.3 调度优化效果分析

基于辨识结果，在不同交通模式下对比各调度方法的核心指标，结果见表 2。可知本文动态加权调度方法在各模式下均表现最优：高峰模式平均候梯时间较传统集选控制缩短 18.5%，解决高峰拥堵问题；低峰模式能耗降低 12.3%，实现节能目标；平峰、午间模式兼顾效率与能耗，平均乘梯时间缩短 10.2%以上，全面提升电梯运行性能。

表 1 不同辨识模型性能对比

Tab. 1 Comparison of performance of different identification models

辨识模型	分类准确率/%	迭代标准差	训练时间/s
传统 *K*-means	85.5	0.062	12.3
单一随机森林	90.7	0.031	18.5
本文改进模型	94.2	0.018	21.1

表 2 不同调度方法核心指标对比（均值）

Tab. 2 Comparison of core indicators (mean values) for different scheduling methods

交通模式	调度方法	平均候梯时间/s	平均乘梯时间/s	能耗降低率/%
模式 1（早高峰）	传统集选控制	42.6	28.3	5.1
	固定权重 PSO	35.2	24.1	8.7
	本文方法	34.7	23.5	10.2
模式 4（低峰）	传统集选控制	18.3	15.2	4.8
	固定权重 PSO	17.5	14.8	9.5
	本文方法	16.9	14.1	12.3

5 结论

本文针对电梯交通模式辨识精度不足、调度策略适配性差的问题，提出了融合改进 K-means 与随机森林的辨识模型，设计动态加权多目标调度优化方法，主要研究结论如下：

1）构建多维度交通特征指标体系，可全面刻画电梯交通流规律，为模式辨识提供可靠数据支撑。

2）改进辨识模型通过优化初始聚类中心与二级分类校正，分类准确率达 94.2%，实现了不同交通模式的精准识别。

3）动态加权调度方法可根据辨识结果自适应调整优化目标优先级，显著缩短候梯、乘梯时间，降低电梯能耗，优于传统调度方法。

未来可以引入实时客流预测算法,结合历史数据与实时信息实现提前调度,还可以适配多电梯集群场景,优化电梯间协同调度策略,提升高层建筑垂直交通整体管控水平,为特种设备智能化升级提供更全面的技术解决方案。

参考文献

[1]张磊,王强. 高层建筑电梯交通模式辨识与动态调度研究[J]. 控制工程,2021,28(5):987-993.

[2]Li J, Wang Y, Zhang H. Elevator traffic pattern recognition based on improved DBSCAN algorithm[J]. IEEE Access,2020(8):12456-12467.

[3]Zeng X, Li Y, Wang H. Data-driven elevator dispatching: a survey of algorithms, technologies, and future directions[J]. IEEE Access, 2022(10):89743-89759.

[4]陈明,刘敏. 基于*K*-means聚类的电梯智能调度优化方法[J]. 机械设计与制造,2022(3):234-237.

[5]Zhao C, Chen L, Liu Z. Multi-objective elevator scheduling optimization based on particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems,2020,39(2):1890-1901.

[6]Chen W, Zhang L, Liu C, et al. Intelligent elevator group control systems: A comprehensive review of optimization algorithms and practical implementations[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (IEEE T-ITS),2023,24(7):7215-7232.

[7]国家市场监督管理总局. 电梯智能控制系统技术要求(GB/T 39478—2020)[S]. 北京:中国标准出版社,2020.

[8]王晨. 基于LSTM的高层住宅电梯群客流模式识别[J]. 计算机应用,2023,43(4):1201-1207.

[9]张陈,徐本连,李馨雅,等. 基于多策略增强粒子群算法的电梯群控调度方法[J]. 自动化技术与应用,2026,45(5):55-61.

[10]巩盛. 电梯节能能量自动回馈控制系统研究[J]. 自动化技术与应用,2024,43(7):66-70.

[11]Chen J, Zhao Y, Liu H. Dynamic scheduling of elevator groups based on real-time traffic pattern recognition[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics,2024,20(8):8562-8571.

[12]李静. 基于增量式朴素贝叶斯分类方法的电梯交通模式识别技术探索与实践[J]. 建筑电气,2025,44(2):45-52.

[13]顾玲丽,董佳琦,许洪华,等. 基于LSTM的高层住宅电梯群客流模式识别[J]. 计算机仿真,2023,40(4):449-454.

[14]王晨,刘畅,张鹏. 基于深度强化学习的电梯群控智能调度优化方法[J]. 控制工程,2025,32(3):412-418.

[15]李建峰,赵晓东,陈阳. 基于CNN-LSTM融合模型的电梯交通模式辨识方法[J]. 计算机应用研究,2025,42(7):2056-2061.

[16]Liu M, He Z, Zhang J. Multi-Objective optimization in elevator dispatching: Trade-offs between efficiency, energy saving, and user experience[J]. IEEE Access,2024,12:35628-35645.

[17]张贵阳,张福生,杨兰玉,等. 基于多目标粒子群算法的电梯群控调度优化[J]. 控制与决策,2024,39(9):2234-2240.

[18]陈明,刘军,吴涛. 超高层建筑电梯交通模式分类及动态调度策略[J]. 智能建筑,2024,21(6):56-62.

[19]周志强,马晓丽,王浩. 基于模糊聚类的电梯交通模式识别与节能调度[J]. 自动化仪表,2024,45(4):78-83.

[20]赵宇,孙伟,李娜. 电梯群控系统交通模式辨识及调度优化仿真[J]. 系统仿真学报,2024,36(8):1765-1771.

[21]黄伟,朱敏,高翔. 基于改进蚁群算法的电梯动态调度优化研究[J]. 电子技术应用,2024,50(10):112-117.

[22]刘芳,周明,王健. 基于增量学习的电梯交通模式在线辨识方法[J]. 计算机工程与应用,2023,59(12):234-240.

[23]陈斌,赵亮,李雪. 基于迁移学习的电梯交通模式识别与调度适配[J]. 智能系统学报,2023,18(5):987-993.

[24]吴刚,郑涛,刘敏. 电梯群控系统交通模式辨识与模型预测控制[J]. 控制理论与应用,2023,40(7):1156-1162.

[25]张磊,王芳,陈强. 高层建筑电梯交通流模式分类及智能派梯策略[J]. 建筑科学,2023,39(11):102-108.

[26]Zhang Q, Ye X, Wu C. Advances inintelligent elevator dispatching: From traditional algorithms to data-driven and AI-enhanced systems[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (IEEE T-ITS), 2025,26(3):1289-1308.

[27]武曦,全力,朱孝勇,等. 基于能耗最优的电动拖拉机转矩控制策略研究[J]. 农机化研究,2025,47(8):266-272.

[28]林立,李旺,王翔. 异步电机直接转矩控制系统实验平台研究[J]. 邵阳学院学报(自然科学版),2025,22(3):19-27.

[29]王晓瑜,阎宇威. 基于物联网与PLC的立体车库控制系统设计与实现[J]. 自动化技术与应用,2026,45(2):30-33,108.