面向电梯群控的多目标优化模型研究

曾泽宇

（宜春职业技术学院，江西　宜春　336000）

摘　要：针对电梯群控中单目标优化难以同时兼顾等待时间、乘坐时间和系统能耗的问题，建立多目标优化模型，并采用归一化加权适应度函数实现不同指标的统一评价。仿真过程中采用遗传算法进行求解，并分别与仅优化单一目标的方法进行对比。结果表明，该模型在3个优化维度上的指标均未出现明显劣化，在兼顾各项指标的同时，能够保持较好的综合性能，有效避免单一目标优化中的“顾此失彼”问题，验证了多目标模型的权衡能力和工程实用性。此外，可根据实时客流和能耗需求动态调整权重分配，为不同工况下的电梯群控策略提供灵活、高效的多目标决策支持。

关键词：电梯群控；多目标优化；加权适应度函数；能耗优化

中图分类号：TP311　　**文献标识码：**A

Research on multi-objective optimization model for elevator group control

ZENG Zeyu

（Yichun Vocational Technical College，Yichun，Jiangxi 336000，China）

Abstract：To address the difficulty of simultaneously balancing waiting time，riding time，and system energy consumption in single-objective elevator group control optimization，a multi-objective optimization model is established，and a normalized weighted fitness function is employed to achieve unified evaluation of different indicators. The model is solved using a genetic algorithm in the simulation，and comparisons are made with methods that optimize only a single objective. The results show that no significant deterioration is observed in the three optimization dimensions，while good overall performance is maintained by balancing all the indicators，effectively avoiding the trade-off problem associated with single-objective optimization and demonstrating the trade-off capability and engineering applicability of the multi-objective model. In addition，the weight allocation can be dynamically adjusted according to real-time passenger flow and energy consumption requirements，thereby providing flexible and efficient multi-objective decision support for elevator group control strategies under different operating conditions.

Key words：elevator group control，multi-objective optimization，weighted fitness function，energy consumption optimization

1　引言

在高层建筑中，电梯系统的运行效率直接影响建筑的服务品质。据统计，电梯能耗约占建筑总能耗的5%~10%[1]。电梯群控需要将实时请求合理分配给多台电梯，本质上属于多目标优化问题：缩短乘客等待时间要求系统快速响应，但可能增加系统能耗；过度追求节能则可能延长乘客等待时间，降低乘坐体验。因此，仅进行单一目标优化难以满足实际运行需求，建立能够统筹多个指标的多目标优化模型具有重要的工程价值[2]。

目前，电梯调度方法主要包括基于规则的方法、模糊逻辑方法、神经网络方法以及群体智能算法等[3]。其中，遗传算法凭借较强的全局搜索能力受到广泛关注。然而，现有研究多关注编码方式或搜索策略的改进，对多目标建模的讨论相对不足，部分研究仅针对等待时间进行优化，忽略了乘坐时间和系统能耗等指标[4]。

针对上述问题，本文围绕平均等待时间、平均乘坐时间和系统能耗3个指标建立多目标评价模型，并采用遗传算法进行求解，通过与单目标优化方法进行对比，验证所建模型的综合优化能力。

2　问题描述与系统建模

2.1　电梯群控系统

假设系统中共配置K台同规格电梯，最大服务楼层

数为F。任意请求可表示为三元组(n_i, m_i, p_i)，其中n_i表示出发楼层，m_i表示目的楼层，p_i表示乘客人数，下标i表示请求的发送时序。系统接收到的所有请求可表示为交通流$L=\{(n_1, m_1, p_1), (n_2, m_2, p_2), \cdots, (n_N, m_N, p_N)\}$。群控系统的任务是在合理分配$L$中各请求、确定每台电梯服务顺序的基础上，使系统综合性能指标达到最优。

电梯的主要运行参数包括层间运行时间t_{floor}，单位为s/层；单次停靠时间t_{door}，单位为s；最大载客人数$C_{\max}$。约定当电梯内人数达到最大载客人数时，该电梯不再响应外部请求。

2.2　调度方案的评价维度

电梯调度质量涉及多个评价维度，且不同维度之间存在一定的耦合和矛盾关系。例如，仅追求最短等待时间可能导致电梯频繁启停，从而增加系统能耗；而只考虑节能，又可能延长乘客等待时间。因此，本文从以下3个维度对调度方案进行综合评价。

乘客从发出请求开始，到电梯到达出发楼层并开门接载乘客所经历的时间间隔定义为等待时间。乘客进入电梯后，到抵达目的楼层所经历的时间定义为乘坐时间，其中包括运行过程中的中途停靠以及乘客上下梯所耗费的时间。系统能耗是指电梯运行过程中消耗的能源，主要包括匀速运行、频繁启停以及载重变化产生的附加能耗[5]。

3　多目标优化模型

针对上述3个评价维度，即平均等待时间、平均乘坐时间和系统能耗，本文分别建立相应的评价函数。对于任意给定的调度方案，首先根据个体编码信息将请求序列分配至各台电梯，其次对每台电梯的运行过程进行模拟，统计各项指标，最终计算综合适应度。

$$F=w_1\cdot\text{norm}(f_{\text{AWT}})+w_2\cdot\text{norm}(f_{\text{ART}})+w_3\cdot\text{norm}(f_{\text{RES}}) \quad (1)$$

考虑到3个评价指标的量纲和数值范围存在差异，式(1)中采用norm表示max-min归一化处理，以实现不同指标之间的统一评价。

3.1　用户平均等待时间

假设系统共接收P个乘客请求，对于每位乘客q，其等待时间WT_q按照已建立的递推关系进行计算：

$$WT_q=WT'+|E_{\text{cur}}-i|\cdot T_A+W_{\text{num}}\cdot T_{\text{WA}} \quad (2)$$

式中，WT'表示电梯完成前序任务后抵达相应位置的时刻；E_{cur}表示电梯接载该请求时所处的楼层位置；T_A表示电梯在楼层之间运行所需的时间；W_{num}表示接载该请求前电梯内已有的乘客人数；T_{WA}表示每人次上下电梯的平均耗时。遍历所有乘客请求后，可得到平均等待时间：

$$f_{\text{AWT}}=\frac{1}{P}\sum_{q=1}^{P}WT_q \quad (3)$$

3.2　用户平均乘坐时间

乘客q的乘坐时间RT_q取决于电梯从接载楼层n_q运行至目的楼层m_q的运行时间以及中途停靠时间：

$$RT_q=|m_q-n_q|\cdot T_A+W_{\text{extra}}\cdot T_{WA} \quad (4)$$

式中，W_{extra}表示中途上下梯的额外人数。由所有乘客的乘坐时间可计算得到平均乘坐时间：

$$f_{\text{ART}}=\frac{1}{P}\sum_{q=1}^{P}RT_q \quad (5)$$

3.3　系统耗能

电梯能耗主要来源于运行过程中的匀速运行、频繁启停以及载重变化。本文采用线性加权模型对各台电梯的能耗进行估算。设系统共有K台电梯，第k台电梯的能耗E_k按下式计算：

$$E_k=\alpha\cdot D_k+\beta\cdot S_k+\gamma\cdot L_k \quad (6)$$

式中，D_k为电梯k的累计运行层数；S_k为总启停次数，即开关门事件总数；L_k为载重-距离积，其定义为$L_k=\sum_j(c_j\cdot d_j)$，其中c_j表示第j段行程电梯内的乘客人数，d_j表示该段行程的运行层数；α, β, γ分别表示单位运行距离、单位启停次数和载重-距离积对应的能耗系数，其取值根据电梯规格确定，或在仿真过程中进行归一化处理。最终得到系统总能耗：

$$f_{\text{RES}}=\sum_{k=1}^{K}E_k \quad (7)$$

4　仿真实验

仿真过程中采用遗传算法进行求解[6]。实验场景设置为20层建筑，配置6台同规格电梯。对于任意一台电梯，层间运行时间设置为3 s/层，单次停靠时间为10 s，最大载客人数为16人。高峰模式下的权重设置为$w=(0.5, 0.3, 0.2)$。将本文提出的多目标优化模型(GA-Multi)与3种单目标遗传算法进行对照实验。4种方法模型综合适应度的收敛曲线如图1所示。

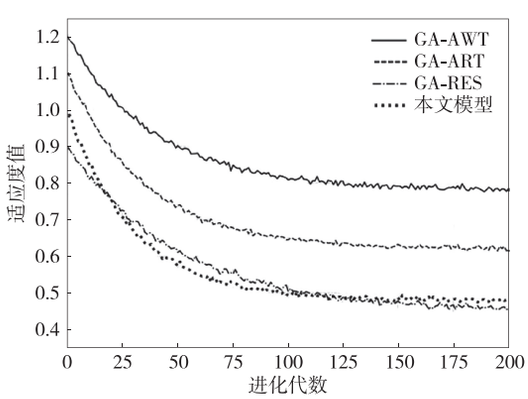

图1　最优适应度变化曲线

由图1可知，当进化至约100代时，4条曲线均逐渐趋于平稳，说明算法基本实现收敛。在此基础上，为进一步验证算法的综合性能，本文从等待时间、乘坐时间和系统能耗3个实际指标出发，对不同方法得到的调度结果进行对比，结果如表1所列。通过分析不同调度方

法在各项指标上的表现，可以进一步考察多目标优化模型对电梯运行效率与能耗的综合影响。

表 1 交通流规模为 100 时各方法性能对比

方法	等待时间/s	平均乘坐/s	耗能（归一化）
GA-AWT	35.8	46.2	0.82
GA-ART	52.1	28.7	0.65
GA-RES	58.3	38.1	0.38
GA-Multi（本文模型）	40.6	31.5	0.48

由表 1 可知，各单目标方法在对应优化目标上均达到最优，但其他指标出现不同程度的劣化。其中，GA-AWT 的等待时间最短，但能耗最高；GA-RES 的能耗最低，但等待时间最长。相比之下，GA-Multi（本文模型）在各项指标之间取得了较好的平衡：等待时间为 40.6 s，接近 GA-AWT 的 35.8 s；平均乘坐时间为 31.5 s，接近 GA-ART 的 28.7 s；能耗为 0.48，接近 GA-RES 的 0.38。由此可见，GA-Multi 在 3 个评价维度上均未出现明显劣化，体现了多目标优化模型较好的综合权衡能力。

5 结束语

针对电梯群控中单目标优化存在的局限性，本文建立了融合平均等待时间、平均乘坐时间和系统能耗 3 个指标的多目标优化模型，并采用归一化加权适应度函数实现不同指标的统一优化。通过遗传算法进行仿真求解，并与 3 种单目标优化方法进行对比。结果表明，多目标模型能够在等待时间、乘坐时间和系统能耗之间实现较好的平衡，避免单一目标优化导致其他指标明显劣化，具有一定的权衡能力和工程实用性。同时，根据实时客流和能耗需求动态调整权重，可为不同运行工况下的电梯群控策略提供更加灵活的决策支持。

参考文献：

[1] 朱德文，付国江. 电梯群控技术综述[J]. 建筑电气，2018，37(5)：15-20.
[2] 杨祯山，邵诚. 电梯群控系统调度策略研究综述[J]. 控制工程，2015，22(3)：432-438.
[3] 王振宇，刘志远. 基于多目标优化的电梯群控调度方法[J]. 计算机与数字工程，2019，47(8)：1982-1986.
[4] 李中华，张伟. 考虑能耗的电梯群控多目标调度算法[J]. 自动化技术与应用，2020，39(6)：45-49.
[5] 陈建平，王旭东. 基于改进遗传算法的电梯群控系统优化[J]. 微计算机信息，2017，33(4)：98-101.
[6] CORTÉS P，LARRAÑETA J，ONIEVA L. Genetic algorithm for controllers in elevator groups：analysis and simulation during lunchpeak traffic[J]. Applied Soft Computing，2004，4(2)：159-174.

作者简介：

曾泽宇（1997—），硕士，助理讲师，研究方向：优化算法，E-mail：bzsxrt_zzy@163.com。

（上接第 185 页）

[3] 周雅，王乾，方如举. 配电网中基于混合 DRL 的任务卸载与多资源协同调度优化方法[J]. 电力系统保护与控制，2026，54(4)：165-174.
[4] 刘默扬. 分布式电源渗透下配电网扩容规划策略研究[J]. 数字化用户，2025(47)：145-147.
[5] 许家伟，朱大智，王岩. 结合决策树的业扩报装供电特征提取与可解释性分析[J]. 微型电脑应用，2025，41(8)：282-285.
[6] 于福海，刘永阔，丁秋琳，等. 考虑负荷时序与电源匹配的配电网最优业扩模型[J]. 电力科学与技术学报，2025，40(2)：163-169.

作者简介：

马彦博（1992—），硕士，工程师，研究方向：营销工程及用电检查、计量采集等。