

电梯群控算法中的智能调度策略研究

任玉荣 王陈欢 王剑平

浙江省特种设备科学研究院 浙江杭州 310000

摘要: 伴随着城市化进程不断加快, 建筑物高度不断提升, 电梯这一垂直交通工具对于现代建筑的意义日益凸显。尤其是大型商业建筑, 办公楼以及居民小区等场所, 电梯是否能够得到合理的调度, 不但关系着旅客出行效率的高低, 而且还直接影响着能源消耗以及设备寿命。传统的电梯控制系统大多采取固定策略, 很难满足乘客流量需求的变化, 造成资源浪费及等待时间增加。针对上述问题, 智能调度策略研究随之兴起, 以现代计算机技术, 人工智能算法以及大数据分析为基础, 智能调度策略可以结合实际情况, 对电梯运行进行动态优化, 由此提升了整体运行效率、降低了能耗、提升了用户体验, 文章就此展开了探讨。

关键词: 电梯; 群控算法; 智能调度; 策略

引言

电梯调度问题属于复杂组合优化问题, 特别是多电梯并行不悖场景中, 控制难度更进一步加大。传统电梯群控系统通过简单顺序控制或者区域划分的方式, 在完成基本分配任务的同时, 在遇到复杂高峰时段客流变化时往往性能较差。近几年, 随着人工智能、机器学习、模糊逻辑以及遗传算法等多种智能算法的飞速进展, 电梯群控调度问题得到了全新的解决方案。该智能调度策略既能利用历史数据与实时信息对旅客流量进行预测, 又能根据旅客呼叫信号、楼层布局以及电梯运行状态等因素对调度方案进行动态调整, 以达到电梯群控系统全局优化。

一、电梯群控系统概述

(一) 电梯群控系统的组成

电梯群控系统主要由硬件与软件构成。硬件包括电梯本体, 控制器, 传感器, 显示屏和呼梯按钮。电梯本体作为群控系统执行设备承担着上下左右输送旅客的工作。控制器在电梯运行过程中起着核心作用, 它担负着接受调度命令和控制电梯启停, 加减速的任务。利用传感器对电梯所处楼层, 门状态及载重进行监控, 保证系统能实时了解电梯运行情况。显示屏和呼梯按钮作为电梯系统与乘客交互的重要工具, 乘客可以通过呼梯按钮来输入他们的需求, 而显示屏则用于反馈电梯的运行状态和到达情况。

在电梯群控系统中, 软件部分充当着核心角色, 涵盖了调度算法、数据处理单元以及人机交互界面。调度

算法确定了电梯调度策略以保证电梯按照乘客的要求合理配置运行路线。数据处理模块对从传感器获取到的实时数据进行分析和处理以保证调度算法能作出最优决策。人机界面将电梯实时运行状态通过中央管理系统显示出来, 管理人员可通过此界面监测并调整电梯系统的运行状态。该软硬件有机结合使电梯群控系统能对复杂高层建筑内多台电梯协同运行进行高效智能管理, 提升了系统整体运作效率及旅客舒适度。

(二) 电梯调度问题的定义

电梯调度问题主要是指如何将电梯运行任务分配给多电梯系统, 使其达到等待时间最小、能耗最优、乘客满意度最高的多目标。例如, 某高层建筑电梯调度工作的中心任务就是通过实时响应各层旅客需求来合理地安排电梯运行路线及停靠楼层, 使得旅客等待时间最短、运行效率最高效。该问题复杂之处在于电梯数量、楼层数及乘客流量都在不断发生变化, 电梯在运行中要处理好不同时段高峰期与非高峰期的关系, 同时也要处理好乘客呼梯要求不确定的情况。为使调度过程达到最优, 该系统既要考虑电梯目前的运行状况, 例如电梯所处楼层, 运行方向以及载客量, 又要对未来乘客的需求进行预测, 保证了调度时可以有效地减少空载运行以及不必要的靠泊, 继而减少能源消耗。同时在电梯调度问题中也要兼顾不同楼层及旅客的要求, 避免单个旅客或者楼层等待时间过长。所以电梯调度问题并不只是简单地运行路径选择, 它是多目标优化, 要考虑到时间、效率、能耗和乘客总体感受等诸多因素才能形成电梯调度的最优策略。

二、传统电梯调度算法

(一) 定时调度算法

该算法将电梯运行按预设时间表划分为不同时间，并对不同时间制定不同调度规则。在实践中，定时调度算法一般是按照建筑物内部使用方式如上下班高峰时段、午餐时间，或者晚上空闲时间来分割。例如早高峰时，该算法优先考虑更多的电梯上行处理来自底层的大量旅客需求，下班高峰时优先考虑把电梯调度到上层来接下行旅客。为了实现这种调度，系统可能设定固定的时间周期（如5分钟或10分钟），在每个周期内根据历史数据或经验值设定电梯的运行策略。

这种以时间为基础的调度方法虽能在一定程度上促进调度效率的提高，特别适用于乘客流量有明显规律的建筑物，但是有其局限性。因其不能对乘客需求动态变化做出实时反应，非高峰期时可能发生电梯空载运行或者资源浪费等问题，甚至造成部分乘客候车时间过长。另外定时调度算法很少考虑能耗优化问题，仅依靠预设时间表进行任务分配，灵活性不足且智能化程度不高。因此，在当今的电梯群控系统设计中，定时调度算法经常被视为核心调度策略，并经常与其他先进的智能算法相结合，以满足不断变化和复杂的乘客需求。

(二) 最短等待时间优先算法（SWT）

该算法的核心思想是当乘客在不同楼层呼叫电梯时，系统会计算每个电梯到达该楼层所需的时间，选择最短时间内能够到达的电梯进行响应。在计算等待时间时，系统会综合考虑电梯当前所在楼层、运行方向、速度、以及当前电梯的负载情况。举例来说，假设有三部电梯，分别位于第2、第6和第10层，而一名乘客在第4层呼梯。此时，SWT算法会根据电梯的运行状态，选择距离第4层最近的电梯，例如第6层的电梯，如果其运行方向一致且无满载情况，则优先派遣该电梯响应。

SWT算法的优势在于能够有效减少单个乘客的等待时间，尤其是在建筑中乘客流量相对分散的情况下，这种策略表现出较好的响应速度。然而，该算法也有一定的局限性。当系统中存在大量的呼梯请求时，SWT算法可能会导致某些电梯频繁响应较近的请求，忽略了其他楼层的乘客需求，尤其是在电梯运行方向相反的情况下，可能会出现某些乘客长时间得不到服务的情况。此外，SWT算法主要关注的是单次等待时间的最小化，较少考虑系统的整体运行效率和能耗优化。例如，虽然SWT减少了某个乘客的等待时间，但可能增加了电梯的空载运行和不必要的停靠次数。因此，SWT算法在实际应用中

常与其他优化算法结合，以提升整体系统的平衡性和运行效率。

三、智能调度策略

(一) 基于人工智能的调度算法

基于人工智能的电梯调度算法利用机器学习与深度学习相结合的方法对电梯系统进行智能化调度从而提升整体效率与乘客体验。区别于传统调度算法，人工智能调度可以动态地适应旅客需求的复杂方式，通过历史数据的分析和学习来预测旅客呼梯需求，实时优化呼梯。比如，该系统能够通过学习建筑物内部使用数据来确定每天高峰期与低谷期以及基于这些规律来预先调整电梯调度策略。针对早高峰，该算法有可能提高上行电梯调度频次，提前在乘客要求较高低层区域配置较多电梯，缩短等待时间。

人工智能调度算法一般依赖于海量传感器数据，例如电梯当前楼层、运行状态、门开关状态、载重信息和各层呼梯次数。对系统进行分析可产生最佳调度方案。比如，基于神经网络的调度模型可以预测下一时刻的乘客需求，从而动态调整电梯的运行路径，避免无效的空载运行、降低能耗。一个典型的人工智能调度系统可能会同时考虑等待时间、乘客数量、楼层分布和电梯运行方向等多重因素，在每个调度周期内（如几秒内）不断调整优化策略，为了保证不同层旅客都能获得公平，快捷地服务。

人工智能算法也可以通过加强学习，不断改善调度策略。该系统通过反馈机制来研究何种调度方式是最有效的。例如，通过应用深度Q网络（DQN）等先进技术，该系统能够在长时间的运行过程中，学会优先挑选那些能全面降低等待时长和能源消耗的调度方案。该数据驱动动态调度方式显著提高电梯群控系统智能化程度，满足现代建筑复杂多样的要求。

(二) 基于多目标优化的调度算法

基于多目标最优的电梯调度算法综合考虑了多种关键因素，以均衡旅客等待时间、电梯运行能耗和提高整体服务效率为多目标的智能调度策略。传统的调度方法往往只专注于优化某一特定领域，如缩短乘客的等待时长，但在实际操作中，只针对一个目标可能会引发其他相关问题。多目标优化算法考虑了上述目标，从而保证了调度决策实现了多维度最优平衡。为了实现这一点，常用的多目标优化方法包括遗传算法、粒子群优化等，通过模拟自然进化或群体行为，逐步找到全局最优解。

在实践中电梯调度系统要处理多种复杂约束与要求。如高峰时段系统需迅速对大量旅客呼梯请求做出响应以

最小化等待时间；还要兼顾电梯能效问题，以免电梯空载运行或者过度无谓靠泊。多目标优化算法可通过定义若干目标函数来权衡各调度决策，例如最小化乘客的平均等待时间，最小化能耗和优化电梯运行的平衡度。如假定系统所设等待时间权重取0.6，能耗权重取0.4，算法进行每一次调度决策都会同时统计两个目标函数综合评分并选取最优解。

这样，以多目标优化为核心的调度算法就可以自动地对各种场景中的调度策略进行调节。比如非高峰期算法可能会优先选择能耗优化来降低电梯的频繁操作；且高峰时段等待时间的权重加大，系统会把更多的电梯配置给需求量较大的楼层。这类算法具有灵活性、智能化等优点，可以自适应需求变化，提升电梯系统整体效率。

（三）基于智能预测的调度策略

基于智能预测调度策略采用大数据分析预测模型对乘客需求进行预判，继而实现电梯提前调度与优化运行。该调度策略在分析建筑物内乘客流量历史数据的基础上，综合考虑时间、楼层分布以及具体时段需求模式，预测出未来时段各层呼梯需求。该系统能够利用ARIMA（自回归积分-滑动平均模型）或神经网络等预测工具，基于过去电梯的使用记录来预测未来的需求。比如，该系统通过对最近数月呼梯数据进行研究，能够确定每天上下班高峰时段、午餐时间和会议时间，并且按照这些规律对电梯进行预先调度，从而缩短高峰时段旅客候车时间。

该预测模型能够准确地分钟时间粒度上对电梯进行超前调度，到达有较高预测需求的楼层或者地区。例如，在早高峰时段，预测模型可能显示底层楼层的呼梯需求会在某一时刻急剧增加，系统就会提前将空闲电梯调度到这些楼层，确保乘客一呼叫电梯便能快速响应。该预调度方式，有效地缩短电梯空载运行时间，减少不必要的候车时间。智能预测调度策略在提升响应速度的同时也显著地优化系统能效，通过对将来某一时刻可能需要运行哪台电梯进行预测，该系统能够避免电梯的频繁运行或者无效靠泊，降低能源的消耗。比如，当预测模型表明部分楼层未来数分钟不存在呼梯需求时，该系统就能降低这类楼层停靠频率或者保持电梯处于待机状态。通过将大数据分析和实时预测相结合，智能预测调度策略可以有效地提高电梯群控系统整体效率及服务质量。

（四）基于强化学习的电梯调度算法

基于强化学习的电梯调度算法属于自学习型调度方法，该系统可以通过不断地与周围环境进行互动，使调度策略逐渐优化，从而使电梯运行更加智能、动态。强

化学习以“探索”与“利用”为机制核心，该算法通过对电梯历史运行数据与乘客需求模式的学习，尝试寻找不同条件下最优调度策略。每当电梯执行完一个调度任务时，该系统都要通过反馈机制来对调度效果进行评价，如乘客的等待时间长短和电梯能耗大小。这些反馈在算法中作为“奖励”或者“惩罚”来驱动系统持续地对决策进行调整，从而获得较高长期收益。

Q-learning是一种广泛应用的强化学习方法，它利用Q值表来量化每一个状态-动作的价值。比如电梯目前在某层，是继续向上运行还是换向运行，系统根据目前Q值来选择最佳动作。该系统在时间上经过反复测试与调整不断地更新Q值使每一次调度决策更加趋近于最优解。在更为复杂的场景中，深度Q网络（DQN）等先进技术得到了广泛的运用，通过深度学习技术来处理更广阔的状态空间，从而达到更高的学习和决策效率。在实践中，强化学习电梯调度算法能够动态地适应环境的复杂多变。比如，在建筑物中乘客流量发生变化时，该算法将不断地基于新数据进行策略学习和调整，该系统通过强化学习既可以缩短单个乘客等待时间又可以使整体能耗达到最优。

结束语

总之，通过对定时调度、最短等待时间优先、多目标优化、智能预测以及基于人工智能和强化学习的调度算法的研究，明确了现代智能调度系统的发展趋势和技术创新点。研究表明，随着大数据、人工智能和强化学习等技术的不断进步，电梯调度系统逐渐从静态规则向动态、自适应的智能化方向发展。这种转变不仅能更好地应对复杂多变的建筑环境和乘客需求，还能在降低能源消耗的同时提升整体服务质量。

参考文献

- [1] 王卫东, 季启明, 王东华. 基于人像识别的电梯智能群控技术研究[J]. 机械制造, 2023, 61(12): 1-3.
- [2] 卞其群. 基于改进ABC算法的电梯群控调控系统在智能化建筑中的应用[J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2023, 41(1): 63-67.
- [3] 徐孟斌. 电梯群控系统节能调度策略研究[D]. 北京建筑大学, 2022.
- [4] 马福军. 基于呼梯预约和大数据分析的电梯群控研究[J]. 计算机时代, 2022(007): 000.
- [5] 王素娟, 吴小滔. 电梯群控系统调度算法研究[J]. 现代电子技术, 2022, 45(11): 4.