

智能调度系统下的轨道交通行车间隔优化研究

刘 壮

沈阳铁路局调度所 辽宁 沈阳 110100

摘要: 本文聚焦智能调度系统下的轨道交通行车间隔优化研究。首先阐述行车间隔优化的理论基础,包括核心问题、智能调度系统关键技术及强化学习的应用。分析了智能调度系统的分层架构与对间隔优化的支撑能力,并对比其与传统调度的差异。随后构建行车间隔优化模型,设定多目标协同平衡的优化目标,识别量化关键影响因素,适配不同场景优化策略。旨在为提升轨道交通运营效率与服务质量提供理论支持与实践参考。

关键词: 智能调度系统; 轨道交通; 行车间隔优化

引言: 轨道交通作为城市交通的重要构成,其运营效率与服务品质备受关注。行车间隔优化是提升轨道交通运营水平的关键环节,科学调整发车间隔可减少乘客等待时间、提高列车满载率。智能调度系统的出现为行车间隔优化带来新契机,凭借大数据、智能算法等先进技术,能更精准地应对复杂运营环境。基于此,本文深入探讨智能调度系统下轨道交通行车间隔优化,分析理论基础、技术架构并构建优化模型,以推动轨道交通智能化发展。

1 轨道交通行车间隔优化理论基础

轨道交通行车间隔优化旨在提升运营效率与服务品质,其核心在于科学调整列车发车间隔。这一过程涉及诸多复杂因素,需综合考量乘客流量、列车运行速度、线路条件等。合理的行车间隔能减少乘客等待时间,提高列车满载率,实现资源的高效利用。

1.1 行车间隔优化核心问题

行车间隔优化的核心问题聚焦于如何在复杂的运营环境下,实现行车间隔的精准调整与动态平衡。一方面,要精准把握不同时段、不同区段的客流需求特征。高峰时段客流量大且集中,需缩短行车间隔以快速疏散乘客;低峰时段客流稀疏,适当延长间隔可降低运营成本。另一方面,要充分考虑列车运行的物理限制与安全要求。线路的坡度、弯道半径、信号系统等因素都会影响列车的运行速度与间隔调整范围^[1]。另外,还需协调好与其他交通方式的衔接,确保乘客出行的连贯性与便捷性。解决这些核心问题,需要综合运用运筹学、控制理论、大数据分析等多学科知识,构建科学合理的优化模型与算法,为行车间隔的优化提供坚实的技术支撑。

1.2 智能调度系统关键技术

智能调度系统的关键技术涵盖多个方面,为行车间隔优化提供了强大的技术保障。首先是大数据采集与分

析技术,通过在轨道交通各关键节点部署传感器,实时采集客流、列车运行状态等海量数据,并运用先进的数据分析算法挖掘数据背后的规律与趋势,为调度决策提供精准依据。其次是智能算法技术,如遗传算法、粒子群算法等,这些算法能够在复杂的优化问题中快速搜索到最优解或近似最优解,实现行车间隔的智能调整。再者是通信技术,确保调度中心与列车、车站之间的信息实时、准确传输,实现远程监控与实时调度。人工智能技术中的机器学习、深度学习等也在智能调度系统中发挥着重要作用,通过对历史数据的学习与训练,不断提升调度系统的智能化水平与决策能力。

1.3 强化学习在调度优化中的应用

强化学习作为一种机器学习方法,在轨道交通调度优化中展现出独特优势。其基本原理是通过智能体与环境的交互,不断试错并学习最优策略。在调度优化场景中,智能体可视为调度系统,环境则是轨道交通的运营状态,包括客流、列车运行等信息。智能体根据当前环境状态采取相应的调度行动,如调整行车间隔、改变列车运行路线等,然后根据行动结果获得奖励或惩罚信号。通过不断重复这一过程,智能体逐渐学习到在不同环境下能够获得最大奖励的最优调度策略。强化学习能够适应动态变化的运营环境,自动调整调度策略,无需依赖精确的数学模型,为解决复杂的调度优化问题提供了新的思路与方法,有助于提升轨道交通调度的智能化水平与运营效率。

2 智能调度系统的技术架构与间隔优化支撑能力

智能调度系统凭借其先进的技术架构,为行车间隔优化提供了全方位的支撑。其分层架构设计合理,各层次分工明确、协同工作,共同实现高效的调度功能。这种架构不仅提升了系统的可扩展性与维护性,还能更好地适应轨道交通不断发展的需求。

2.1 智能调度系统的分层架构

智能调度系统采用分层架构设计,一般可分为数据采集层、数据处理层、决策层与执行层。数据采集层负责通过各种传感器与设备,实时采集轨道交通运营过程中的各类数据,如客流数据、列车位置数据、设备状态数据等,为后续处理与分析提供原始信息^[2]。数据处理层对采集到的海量数据进行清洗、整合与挖掘,运用先进的数据分析算法提取有价值的信息,如客流时空分布规律、列车运行状态评估等,为决策层提供科学依据。决策层根据数据处理层提供的信息,结合预设的优化目标与规则,运用智能算法生成最优的调度方案,如行车间隔调整方案、列车运行计划等。执行层则负责将决策层生成的调度方案转化为实际操作指令,下发给相关设备与人员,确保调度方案的顺利实施。

2.2 智能调度系统对间隔优化的核心支撑能力

智能调度系统宛如轨道交通行车间隔优化的“智慧大脑”,为其提供了全方位且强大的核心支撑能力。在数据支撑上,系统犹如敏锐的“数据捕手”,借助各类先进传感器与设备,实时、精准地采集客流、列车位置、设备状态等海量运营数据。随后,凭借强大的数据处理引擎,对这些数据进行深度清洗、整合与挖掘,精准剖析客流需求在时空上的分布规律,评估列车运行状态,为行车间隔的精准调整筑牢坚实的数据基石。算法支撑层面,系统内置多种智能算法“武器库”,多目标优化算法、动态规划算法等各显神通。它们能依据不同的运营场景与优化目标,如高峰时段的客流疏散、低峰时段成本控制,迅速搜索并生成最优的行车间隔调整方案。实时调整能力上,系统如同警惕的“安全卫士”,实时监测运营状态。一旦遭遇客流突变、设备故障等异常,立即自动调整行车间隔,保障运营稳定安全。此外,其模拟仿真功能还能对不同行车间隔方案预先评估优化,为实际调度提供科学参考。

2.3 智能调度与传统调度的间隔优化能力对比

智能调度与传统调度在行车间隔优化能力上存在显著差异。传统调度主要依赖人工经验与固定的调度规则,在面对复杂多变的运营环境时,难以实时、精准地调整行车间隔。而智能调度系统借助先进的数据采集与分析技术、智能算法以及实时调整能力,能够根据实时客流、列车运行状态等信息,动态、精准地调整行车间隔。在客流高峰时段,智能调度可迅速缩短行车间隔,提高运输能力;在低峰时段,则适当延长间隔,降低运营成本。同时,智能调度还能提前预测客流变化趋势,提前制定优化策略,实现行车间隔的主动优化,显著提

升轨道交通的运营效率与服务质量。

3 智能调度系统下行车间隔优化模型构建

在智能调度系统下构建行车间隔优化模型,是实现高效调度的关键。优化目标设定需考虑多目标协同平衡,既要满足乘客出行需求,减少等待时间,提高服务质量,又要兼顾运营成本,实现资源的最优配置。

3.1 优化目标设定:多目标协同平衡

在智能调度系统下行车间隔优化中,优化目标的设定需实现多目标协同平衡。乘客出行需求是首要考虑因素,减少乘客等待时间是提升服务质量的关键。通过优化行车间隔,使列车发车更加频繁,能够显著降低乘客在站台的等待时间,提高出行的便捷性与舒适度。然而,过度缩短行车间隔会增加运营成本,包括列车购置、维护、能源消耗等方面的费用。因此,需在满足乘客需求的同时,兼顾运营成本控制,实现资源的最优配置^[3]。另外,还需考虑列车运行的安全性与稳定性,确保在调整行车间隔的过程中不会对整体运营秩序造成负面影响。通过综合权衡这些目标,构建一个多目标协同平衡的优化体系,实现轨道交通运营效率与服务质量的全面提升。

3.2 关键影响因素识别与量化

关键影响因素识别与量化是构建行车间隔优化模型的重要环节。需求侧因素中,客流量是核心因素之一。不同时段、不同站点的客流量存在显著差异,高峰时段客流量大且集中,低峰时段则相对稀疏。

3.2.1 需求侧因素

需求侧因素在行车间隔优化中起着关键作用,其中客流量是最主要的需求侧因素。客流量的时空分布特征对行车间隔的调整具有重要影响。在时间维度上,一天中不同时段的客流量差异明显,早晚高峰时段客流量大且集中,是行车间隔优化的重点时段。通过对历史客流数据的分析,可以准确把握各时段的客流高峰与低谷,为不同时段制定合理的行车间隔提供依据。在空间维度上,不同站点的客流量也存在较大差异,一些商业中心、交通枢纽等站点的客流量较大,而一些偏远站点的客流量相对较小。根据各站点的客流量情况,灵活调整列车在该站点的停靠时间与行车间隔,能够更好地满足乘客的出行需求,提高运输效率。特殊事件如大型活动、节假日等也会导致客流量的突发增长,需提前制定应对策略,调整行车间隔。

3.2.2 供给侧因素

供给侧因素对行车间隔优化同样具有重要影响。列车运行速度是关键因素之一,较高的运行速度能够在相

同时间内完成更多的运输任务，从而为缩短行车间隔提供可能。但运行速度的提升也受到线路条件、信号系统等多种因素的限制，需在确保安全的前提下合理提高。列车编组数量决定了每列车的运输能力，增加编组数量可以提高单列车的载客量，在一定程度上缓解客流压力，减少列车开行数量，间接影响行车间隔。然而，编组数量的增加也会对线路通过能力、车站站台长度等提出更高要求。线路通过能力是指单位时间内线路能够通过的最大列车数量，它受到线路坡度、弯道半径、信号系统等因素的制约，是确定行车间隔的重要上限指标。车站的设施设备状况，如站台宽度、扶梯数量等，也会对乘客的上下车效率产生影响，进而影响行车间隔的调整。

3.2.3 干扰因素

干扰因素在轨道交通运营中不可避免，对行车间隔优化产生重要影响。设备故障是常见的干扰因素之一，如列车故障、信号系统故障、供电设备故障等。一旦发生设备故障，可能导致列车运行受阻，部分线路或区段无法正常运行，从而打乱原有的行车计划，需要临时调整行车间隔以应对故障影响。恶劣天气如暴雨、暴雪、大风等也会对轨道交通运营造成干扰。恶劣天气可能影响列车的运行速度与安全性，导致列车限速运行或部分线路停运，进而影响行车间隔。此外，突发事件如恐怖袭击、火灾等虽然发生概率较低，但一旦发生，将对轨道交通运营造成严重冲击，需要迅速调整行车间隔，组织乘客疏散，确保乘客生命安全。针对这些干扰因素，需建立完善的预警机制与应急预案，提前制定应对策略，降低其对行车间隔优化的不利影响。

3.3 多目标优化模型构建

多目标优化模型构建是智能调度系统下行车间隔优化的核心环节。在明确优化目标为多目标协同平衡，即兼顾乘客等待时间、运营成本与列车运行安全性等目标后，需综合考虑关键影响因素，将其纳入模型构建中。以乘客等待时间最小化、运营成本最低化、列车运行安全性最大化等为目标函数，将需求侧的客流量、供给侧的列车运行速度、编组数量、线路通过能力以及干扰因素等作为约束条件，构建多目标优化模型。该模型可采用数学规划方法，如线性规划、非线性规划等，也可运用智能算法，如遗传算法、粒子群算法等进行求解。通

过求解多目标优化模型，能够得到在不同运营场景下的最优行车间隔方案，为智能调度系统提供科学合理的决策依据，实现行车间隔的精准优化。

3.4 不同场景下的优化策略适配

不同运营场景下，行车间隔优化策略需进行适配调整。在高峰时段，客流量大且集中，优化策略应以满足乘客运输需求为主要目标。可适当缩短行车间隔，增加列车开行密度，提高运输能力。同时，根据各站点的客流量情况，灵活调整列车在该站点的停靠时间，确保乘客能够快速上下车。在低峰时段，客流量相对稀疏，优化策略应侧重于降低运营成本。可适当延长行车间隔，减少列车开行数量，但需确保乘客等待时间在合理范围内^[4]。对于特殊场景，如大型活动、节假日等，客流量会出现突发增长。需提前制定应急预案，根据活动规模、时间、地点等因素，预测客流量变化趋势，提前调整行车间隔，增加备用列车，确保能够及时疏散乘客。另外，在面对设备故障、恶劣天气等干扰因素时，需迅速启动应急响应机制，根据故障或天气情况，临时调整行车间隔，保障运营的安全性与稳定性。

结束语

智能调度系统为轨道交通行车间隔优化提供了强大助力，通过分层架构设计、多技术融合，实现了对行车间隔的精准动态调整。多目标优化模型的构建及不同场景下优化策略的适配，进一步提升了轨道交通运营效率与服务质量。然而，轨道交通运营环境复杂多变，未来仍需不断探索创新，持续完善智能调度系统，优化行车间隔策略，以更好地满足乘客出行需求，推动轨道交通行业向更高水平发展。

参考文献

- [1] 巩圣亮,徐靖昊,张清波,等.智能化调度系统在城市轨道交通中的应用[J].时代汽车,2025(14):8-10.
- [2] 张文豪,安杰,苏海涛,等.智能调度系统在城市轨道交通中的应用研究[J].时代汽车,2025(18):190-192.
- [3] 焦天雨.轨道交通行车间隔优化与运力提升研究[J].运输经理世界, 2025(3): 10-12.
- [4] 池丹.城市轨道交通行车间隔优化与运力提升策略[J].时代汽车, 2025(20): 186-188.