

基于大数据的城市轨道交通信号系统优化研究

何明洋 龚滔滔

成都地铁运营有限公司 四川 成都 610000

摘要：城市轨道交通在城市交通中占据着举足轻重的地位，优化信号系统对促进运营效率与安全性具有非常重要的意义。本次研究通过对大数据技术应用于城市轨道交通信号系统优化进行探究，对现阶段信号系统所面临的问题和挑战进行分析，提出基于大数据技术的信号系统优化策略。研究首先对城市轨道交通信号系统现状进行总结，厘清大数据技术对信号系统优化的潜在作用。然后通过数据采集和处理以及数据分析来研究大数据技术在信号系统优化中的具体作用。研究结果表明：利用大数据技术能够有效地促进信号系统运行效率与安全，支撑城市交通持续发展。今后的研究会进一步探讨大数据技术对信号系统优化的深度应用及如何攻克实现中面临的难题。

关键词：城市轨道交通；信号系统优化；大数据技术；数据采集与处理；系统效率

引言

城市轨道交通系统是快速城市化背景下城市交通网络中的骨干力量，信号系统性能的好坏直接影响着整个交通系统运行效率以及旅客出行体验。在大数据技术蓬勃发展的背景下，将大数据技术应用于城市轨道交通信号系统优化方面显示出了极大的潜力。文章将讨论大数据技术对城市轨道交通信号系统优化的帮助，以提升系统运行效率与安全。

1 城市轨道交通信号系统现状分析

1.1 城市轨道交通信号系统概述

城市轨道交通的信号系统构成了一个高度复杂的技术架构，该系统通过精确控制列车的行驶速度、行驶间隔以及行驶路线，以确保列车能够安全且有序地行驶。信号系统核心功能有列车定位、速度控制、进路控制、信号显示。^[1]随着科技的进步，现代信号系统已由传统固定闭塞向以通讯为主的移动闭塞演变，极大地提升了线路运输能力及安全性。但在轨道交通网络规模日益扩大，客流量不断增长的情况下，既有信号系统也遇到了许多挑战，例如设备老化，维护成本较高，系统缺乏可靠性与灵活性等等。所以如何运用大数据技术对信号系统进行优化以提升系统的性能与效率已经成为了目前的一个研究重点。

城市轨道交通的信号系统主要包括以下几个核心部分：列车自动控制（ATC），其中列车自动控制系统被视为信号系统的中心部分，它是利用车载设备与地面设备进行通讯来达到列车运行状态实时监测与控制的目的。ATC系统由三个子系统组成：列车自动保护（ATP）、列车自动运行（ATO）以及列车自动监控（ATS）。

通信系统：通信系统在整个信号系统中占据着举足轻重的地位，担负着传递列车运行状态，线路条件以及控制指令的任务。在无线通信技术不断发展的今天，无线通信方式在现代信号系统中得到了越来越广泛的应用，GSM-R，LTE-R就是其中之一。

地面设备：地面设备主要由轨道电路，应答器，信号机，转辙机组成，负责对列车的位置，状态及线路条件进行检测并发出控制指令给列车。在电子技术日益进步的今天，地面设备正向着智能化，集成化，模块化方向迈进。

车载设备：车载设备主要由车载控制器，速度传感器，加速度传感器和通信模块组成，负责从地面设备接收控制指令，根据列车当前的运行状况，系统会自动调节列车的行驶速度和行驶方向。

监控与维护系统：监控与维护系统担负着对信号系统运行状况进行实时监控、及时发现并处理故障、保证信号系统稳定、可靠工作的任务。在大数据与人工智能技术不断发展的背景下，信号系统监测与维护也在逐渐自动化与智能化。

1.2 信号系统在城市交通中的作用

城市轨道交通的信号系统构成了确保列车能够安全且高效运行的核心技术支柱。它是通过对列车的位置，速度及方向进行实时监控，并控制其起停及运行间隔时间，以达到对轨道交通整体网络进行高效管理的目的。信号系统在保证旅客及列车安全的前提下，也能提高运营效率、降低列车延误及事故。另外，该信号系统可根据实时客流及运营状况对列车运行计划进行动态调整，从而适应不同时段客流需求并改善旅客出行体验。

信号系统对城市交通的影响主要表现为以下几点：

第一, 信号系统为列车自动控制提供了基础。通过对信号系统进行控制, 使列车能按预定运行图进行自动运行图, 降低人为操作带来的错误与风险。第二, 信号系统可以对列车运行进行优化调度。对列车运行数据进行实时分析与处理后, 信号系统可以根据客流变化及线路状况动态地调整列车运行计划以达到列车运行最优调度。第三, 该信号系统可以实现对列车运行进行实时监测。信号系统通过实时监测列车的运行状态, 可以及时地发现列车在运行过程中出现的各种异常状态, 从而采取相应控制措施以保证列车的运行安全。第四, 该信号系统可以达到列车运行节能减排的目的。通过实时监测列车运行能耗并进行优化控制, 该信号系统可以减少列车运行能耗, 达到列车节能减排目的。这样既提高列车运行经济性又降低列车运行环境影响。

1.3 当前信号系统存在的问题与挑战

尽管信号系统在城市轨道交通中发挥着重要作用, 但随着城市轨道交通的快速发展和客流的不断增加, 现有的信号系统面临着一系列的问题和挑战。^[2]首先, 现有信号系统对于大规模数据、复杂网络的处理具有一定的局限性。城市轨道交通网络规模越来越大、客流越来越多, 信号系统所需处理数据量越来越大、网络复杂度越来越高。其次, 现有信号系统实时性差、可靠性低。信号系统要求对列车的运行状态进行实时的监测, 并且基于实时的数据对列车进行控制与调度。最后, 现有信号系统的兼容性与扩展性。在新技术、新设备层出不穷的情况下, 要求信号系统必须有很好的兼容性与扩展性才能满足技术环境与运营需求的变化。

2 大数据技术在城市轨道交通信号系统中的应用

2.1 大数据技术概述

大数据技术就是通过高级数据处理技术来收集、储存、管理、分析与解释大量, 多样化, 瞬息万变数据的一组技术。城市轨道交通信号系统运用大数据技术主要有以下几点: 首先大数据技术可以对不同渠道的海量数据进行处理分析, 其中包括车辆运行数据, 乘客流量数据和设备状态数据; 其次大数据技术可以提供即时或接近即时的数据分析结果以支持信号系统实时监测与决策; 最后大数据技术也可以通过机器学习、人工智能算法等技术来预测、优化信号系统并提升智能化水平。^[3]

大数据技术最核心的优点就是它可以对传统数据处理技术难以解决的海量数据集进行处理与分析。就城市轨道交通信号系统而言, 利用大数据技术能够大大提高数据处理效率与精度, 并对信号系统优化工作提供有力数据支持。另外, 大数据技术可以通过数据挖掘、模式

识别等方法找出信号系统存在的潜在问题及改善空间, 从而为信号系统不断完善提供科学依据。

2.2 数据采集与处理在信号系统中的应用

数据采集作为大数据技术的应用基础, 涉及对城市轨道交通信号系统各类数据进行采集。这批数据涵盖了多个方面, 包括但不限于车辆的具体位置和行驶速度、乘客进出站点的详细信息, 以及信号设备当前的运行状况等。数据采集旨在获得充分信息以实现信号系统的高效监测与分析。

进行数据采集时需要使用到各种传感器以及数据采集设备例如GPS定位系统, RFID标签, 摄像头以及传感器网络。这些装置可以实时采集车辆及乘客动态信息并对信号系统进行监测与分析提供原始数据。同时在数据采集时也要兼顾其准确性与完整性, 以保证采集的数据能如实地反映信号系统实际工作状态。

数据处理作为大数据技术应用中至关重要的一环, 涉及采集原始数据的清洗, 转换与集成。数据处理旨在从浩如烟海的原始数据中挖掘出宝贵信息, 从而为信号系统分析与优化提供精确数据支持。在进行数据处理时, 必须使用数据清洗技术来消除数据中存在的噪声及异常值, 并使用数据转换技术把数据转换为适用于分析的形式, 利用数据整合技术, 实现了对各种来源数据的集成。

2.3 数据分析在信号系统优化中的作用

数据分析对城市轨道交通信号系统优化起到关键作用。对大量数据进行挖掘和分析能够揭示信号系统工作的内在规律以及存在的潜在问题, 从而为信号系统优化工作提供科学依据。首先数据分析有助于确定信号系统的瓶颈及故障点以便有针对性地改进。进一步地, 数据分析也有助于预测信号系统在未来的性能表现, 从而为信号系统的长远规划和持续维护提供有价值的参考依据。^[4]分析历史数据, 可预测出信号系统发展趋势, 并提前做出必要的更新与改造来满足未来需求的变化。

数据分析对信号系统优化的影响也主要表现为以下几点: 首先是增强信号系统运行的可靠性与稳定性, 通过对信号系统故障数据进行分析, 能够及时发现和解决可能出现的问题, 降低信号系统故障率; 其次是对信号系统资源配置进行优化, 对信号系统使用状况进行分析, 能够对信号资源进行合理配置, 提升信号系统效率; 改善了旅客出行体验, 对旅客出行数据进行分析, 优化了信号系统运行计划, 缩短了旅客等待时间并提高了旅客满意度。

2.4 大数据技术对信号系统优化的案例分析

在大数据技术对城市轨道交通信号系统优化的案例分析中，我们可以从多个城市的应用实践中得到启示。例如，2018年柳州市公安局交警支队与滴滴、航天科工合作，利用互联网浮动车数据监测路口、路段的车辆通行情况，通过统计路口延误率、溢出率、时空通行图等关键指标，合理制定了信号配时方案，并自动下发至路口的信号机运行。这一系统是世界上第一个真正城市级的，完全中国自主知识产权的动态信号控制优化系统。

此外，海信网络科技公司在杭州实施的智慧公交系统项目中，首次应用了回场时间准确预测功能，有效提升了调度的合理性。基于客流并综合考虑其他因素，实现了行车计划的自动生成及优化，提升了编制效率，使人车资源配置更加合理，有效缩短了市民的候车时间，自动发车率提升至90%。这些案例表明，大数据技术在城市轨道交通信号系统优化中的应用，不仅能够提高交通管理的智能化水平，还能显著提升城市交通的运行效率和安全性。

3 基于大数据的城市轨道交通信号系统优化策略

3.1 信号系统优化的目标与原则

城市轨道交通信号系统的优化旨在提升运营效率、减少延误、优化乘客体验以及保障运营安全。实现这些目标需要遵循几个核心原则：首先，优化工作要以数据为基础，利用大数据技术收集和分析信号系统的运行数据，为制定科学决策提供依据；其次，需要保证实时性，通过实时监测信号系统状态，快速响应各种运营情况，并实施动态优化；同时，优化工作要有系统性，考虑信号系统与轨道交通网络其他部分的互动，以实现整体系统的优化；最后，优化策略要具有可持续性，不仅要考虑眼前的效益，还要为轨道交通的长期可持续发展提供支持。

3.2 数据驱动的信号系统优化方法

数据驱动的信号系统优化策略涵盖关键领域，包括数据收集、处理、分析以及算法设计和模拟仿真。通过传感器、摄像机和GPS等工具获取列车位置、速度和乘客

流量等运行信息。采集的数据经过清洗、集成和变换，使其便于分析和应用。接着，运用统计学和机器学习技术分析数据，揭示信号系统的工作规律和潜在问题。基于这些分析结果，设计并实现最短路径、流量平衡等优化算法，以提升信号系统的运行效率。在实际应用之前，通过模拟仿真验证优化策略的有效性和安全性。

4 结束语

文章对城市轨道交通信号系统进行深入剖析，探究大数据技术对于提高其运营效率与安全性所具有的潜在应用价值。国内外学者研究指出：大数据技术可以对轨道交通信号系统进行更准确的数据分析与预测，进而实现信号调度与故障诊断的最优化。论文结论显示：数据驱动优化策略的实施能够有效地提高信号系统响应速度与处理能力、降低信号故障造成的延迟、提高系统可靠性与稳定性。

通过对传统信号系统以及基于大数据优化的系统性能进行比较分析之后可以看出，大数据的运用显著提升信号系统实时监控以及故障预测能力。逻辑推理结果表明：通过对海量运营数据的采集与分析，能够发现信号系统潜在的问题与瓶颈，并在此基础上有针对性地提出改善措施。该数据化优化方法在提升信号系统效率的同时，还能给旅客带来更安全、更舒适的出行体验。

参考文献

- [1] 韦人胜.城市轨道交通信号系统的智能优化与集成管理[J].中国储运,2024(4):167-168.
- [2] 郭弘倩,南迪.基于云架构的城市轨道交通信号系统方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2024(2):72-77.
- [3] 陈泓锦.城市轨道交通信号CBTC系统的应用与优化[J].科技资讯,2024(7):5-7.
- [4] 李德堂,张赞昀,陈炳均.基于城市轨道交通信号系统优化工程规模的研究[J].现代城市轨道交通,2023(s01):30-35.
- [5] 谈思韵.城市轨道交通信号系统线路数据自动生成系统研究[J].现代城市轨道交通,2023(11):36-40.