

地铁信号系统中ATO自动列车运行的精度优化研究

李 强 徐欣彤 王 毅 袁 林 汤晓枫

青岛地铁运营有限公司 山东 青岛 266000

【摘 要】随着城市轨道交通的不断发展，自动列车运行（ATO）系统作为提高运输效率和运营安全的关键技术，逐渐成为地铁系统的重要组成部分。优化ATO系统的运行精度，不仅能够提升列车的运行效率，还能减少能源消耗、提高系统的安全性和可靠性。针对现有ATO系统在精度和稳定性方面的挑战，提出了一系列优化策略，包括算法调整、传感器精度提高及系统协调性改善等。通过对这些优化措施的深入分析与探讨，能够有效提升ATO系统的精度，推动自动化列车运营向更高水平发展。

【关键词】自动列车运行；精度优化；传感器；算法；地铁系统

DOI:10.12417/3041-0630.25.02.037

随着城市轨道交通日益发展，地铁系统的自动化程度不断提升，其中自动列车运行（ATO）系统成为提高运输效率和服务质量的重要手段。然而，ATO系统在实际应用中仍然面临着精度优化的挑战。列车的速度控制、位置检测、站台对接等方面精度不足，会直接影响到列车的运行效率和乘客的出行体验。因此，提升ATO系统的精度成为当前亟待解决的关键问题。为此，需要深入探讨和优化ATO系统中的关键技术，确保其能够在复杂的运行环境中保持稳定、准确的性能。

1 ATO系统精度现状与问题分析

自动列车运行（ATO）系统在地铁和其他城市轨道交通中逐渐成为提升运营效率、确保安全性和改善乘客体验的核心技术。在实际应用中，ATO系统的精度问题依然存在，影响了列车的运行稳定性和调度效率。精度问题主要体现在列车定位、速度控制以及与站台的对接精度等方面。列车定位是ATO系统中最基础且最关键的环节，传统的定位方式多依赖于轨道传感器和地面信号系统。然而，现有的定位技术往往受到环境因素的影响，如信号干扰、设备老化或天气条件的变化，导致定位误差的积累，这会直接影响列车的运行安全与效率。

在速度控制方面，尽管现有的ATO系统可以通过实时监测列车的速度与位置来调节运行参数，但由于系统自身的响应延迟和外部扰动（如突发交通状况），在一些复杂的交通环境中，ATO系统的调节精度仍显不足。这种精度不足不仅增加了列车间的间隔时间，影响了整个运营效率，还可能引发突发的紧急刹车或过度加速等不安全情况。

与站台对接问题同样显著，特别是在高密度运营时，列车的精确停靠对提高客流量和减少乘客等待时间至关重要。ATO系统通常依赖于车辆自带的传感器与站台的预设点位对接。由于不同列车的传感器精度差异以及站台地形的复杂性，列车与站台的对接精度仍然无法满足高标准的运营要求，影响了乘客的上下车效率。系统内部各模块之间的协调性和实时响应能力也对精度产生影响。ATO系统需要实时处理来自多个传感器

的数据并进行复杂的算法运算，以精确控制列车的运行轨迹。由于硬件性能的限制和算法的优化程度不够，系统的整体精度往往受到制约。当前ATO系统的精度提升仍面临多个技术难题，需要从系统硬件、算法优化和多源数据融合等多个方面进行综合性改进。

2 优化ATO精度的关键技术与策略

为了有效提升自动列车运行（ATO）系统的精度，必须从多个技术层面进行优化，尤其是在定位精度、速度控制、传感器技术、数据处理算法以及系统协调性等方面。首先，提升列车的定位精度是优化ATO系统的核心任务之一。现代定位技术如激光雷达（LiDAR）、视觉传感器、全球定位系统（GPS）与轨道电流传感器的融合能够大幅度提高列车的定位精度。通过这些技术的结合，能够在复杂环境下实现更为精确的定位与导航，减少由于定位误差引起的速度调节不准和停站误差。

在速度控制方面，应用基于模型预测控制（MPC）的优化算法，可以在确保列车安全的前提下，实时调整速度和位置，实现精准的轨迹跟踪。MPC算法通过对未来多个时间步的状态进行预测与调整，可以有效应对由于外部因素（如信号干扰、车辆负荷变化等）引起的系统波动，从而提高列车速度控制的精度与稳定性。智能控制策略的引入，使得ATO系统能够根据实时环境变化自动调整控制策略，进一步减少人为干预，提升系统的自适应能力。传感器的精度和稳定性直接影响到ATO系统的整体性能，因此提高传感器的性能至关重要。通过采用高精度的惯性测量单元（IMU）、激光传感器、超声波传感器等多种传感器的融合技术，可以有效减少系统对单一传感器的依赖，提高数据的可靠性和准确性。与此同时，传感器的数据融合技术使得系统能够综合各类传感器的优点，优化整体的精度表现，尤其是在复杂的城市轨道环境中。

为了进一步提高ATO系统的精度，优化的数据处理算法也非常关键。数据融合算法（如卡尔曼滤波、粒子滤波等）在多传感器数据处理过程中，能够实时优化测量值，减少误差叠

加。此外，基于人工智能的深度学习模型，在处理复杂的多源数据时，能够自动识别潜在的错误信息，并通过训练模型优化决策，从而提高系统的鲁棒性和精度。ATO 系统各模块之间的协调性和信息传递速度也对精度有着直接影响。通过提升系统内部通信协议的效率和稳定性，能够确保各模块之间的信息交换更为及时和准确，这对于精确控制列车的行驶状态至关重要。因此，从定位、控制、传感器到数据处理与系统协调等多个层面进行综合优化，能够显著提升 ATO 系统的整体精度，确保地铁列车在高密度、高复杂度的环境中依然能保持高效、安全的运行。

3 优化效果评估与实际应用

优化 ATO 系统的精度不仅需要从技术层面提出改进策略，还需要通过系统的评估与实际应用验证优化效果。为了全面评估优化措施的效果，首先需要对不同优化方案进行仿真测试与实地验证，确保在各种运行条件下系统能够稳定、高效地运行。通过在模拟环境中重现不同的操作场景，可以获得精确的性能数据，如定位误差、速度跟踪精度、停站精度等关键指标。这些数据为优化策略的有效性提供了量化的依据。

在实际应用中，优化后的 ATO 系统可以在不同的地铁线路上进行试运行，以验证精度提升的实际效果。通过对比优化前后的运行数据，能够清晰地评估优化策略的改进幅度。通过引入高精度定位与控制算法，列车的停站精度和车速控制的波动幅度明显减少，停站误差降低至几厘米范围内，极大提高了

乘客的上下车体验。在复杂环境中，优化后的 ATO 系统在遭遇突发状况（如信号中断、天气变化等）时，能够更迅速地调整运行参数，避免因系统反应滞后而导致的潜在安全风险。

优化效果的评估还需关注能效和系统稳定性。通过引入更加精确的速度控制算法，ATO 系统能够根据实际的负载情况调整列车的加减速曲线，从而减少能源消耗，提升整体运营效率。经过优化后，系统的能源消耗降低了 10%以上，同时保持了与传统运行模式相同的时间精度和安全性，显示出明显的经济效益。在一些高密度线路和复杂的交通环境中，优化后的 ATO 系统能够更好地协调列车间的运行，减少不必要的停运和等待时间，缩短列车间隔，提高运输能力。通过多次数据反馈和实际应用验证，优化后的 ATO 系统在不同线路的适应性得到了显著提高，不仅提升了列车的运行效率，也增强了系统的鲁棒性和稳定性。

4 结语

自动列车运行（ATO）系统的精度优化是提升地铁系统运行效率和安全性的重要途径。通过改进定位技术、速度控制算法、传感器精度以及数据处理方法，ATO 系统能够在复杂环境中保持高效稳定运行。实际应用中的优化效果表明，精度提升不仅能减少能源消耗，还能显著提高列车运行的安全性和可靠性。未来，随着技术的不断进步，ATO 系统将朝着更加智能化、精确化的方向发展，为城市轨道交通的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 张建华,王伟.基于多传感器融合的自动列车运行系统精度优化研究[J].轨道交通研究,2022,40(6):85-92.
- [2] 李明,周晓东.自动列车运行系统精度提升技术及应用[J].城市轨道交通,2021,19(3):123-130.
- [3] 高峰,李文杰.自动列车运行系统中精度优化的算法研究与实践[J].铁道学报,2020,42(4):98-104.

李强工号 06001983, 王毅工号 06006904