

基于车载 IoT 数据的城市智能运输调度与效率提升研究

康智冬

杭州牛书科技有限公司，浙江 杭州 310000

DOI: 10.61369/TACS.2025140001

摘 要： 随着城市交通需求的快速增长，传统的静态调度方法难以满足实时性与效率需求。本文提出一种基于 IoT 车载数据的动态运输调度框架，结合实时交通状态、车辆载重与能耗信息，实现多目标优化。该框架构建“感知-融合-优化-反馈”的闭环体系，采用动态车辆路径问题（DVRP）模型，以运输时间、成本及能耗为核心优化目标，设计遗传算法与强化学习相结合的混合优化算法动态更新交通权重。实验结果表明，该方法在包含 30 辆车、500+ 订单的一周真实数据集上，相比 Dijkstra 算法、传统 VRP 及单一遗传算法调度策略，平均运输效率提升 12%，能耗降低 8%，车辆利用率提升 15%。研究验证了车载 IoT 数据驱动调度方案的可行性与优越性，为城市智能交通系统的优化升级提供了理论支撑与实践参考。

关 键 词： 物联网（IoT）；城市智能交通；动态调度

Research on Urban Intelligent Transportation Dispatching and Efficiency Improvement Based on Vehicle-mounted IoT Data

Kang Zhidong

Hangzhou Niushu Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： With the rapid growth of urban traffic demand, traditional static scheduling methods can hardly meet the requirements of real-time performance and efficiency. This paper proposes a dynamic transportation scheduling framework based on vehicle-mounted IoT data, which achieves multi-objective optimization by integrating real-time traffic conditions, vehicle load and energy consumption information. The framework constructs a closed-loop system of "Perception-Fusion-Optimization-Feedback", adopts the Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP) model with transportation time, cost and energy consumption as the core optimization objectives, and designs a hybrid optimization algorithm combining genetic algorithm and reinforcement learning to dynamically update traffic weights. Experimental results based on a one-week real dataset involving 30 vehicles and more than 500 orders show that, compared with the scheduling strategies of Dijkstra algorithm, traditional VRP and single genetic algorithm, the proposed method increases the average transportation efficiency by 12%, reduces energy consumption by 8% and improves vehicle utilization rate by 15%. This research verifies the feasibility and superiority of the scheduling scheme driven by vehicle-mounted IoT data, and provides theoretical support and practical reference for the optimization and upgrading of urban intelligent transportation systems.

Keywords： Internet of Things (IoT); urban intelligent transportation; dynamic scheduling

一、引言

（一）研究背景

在快速城市化进程推动下，城市交通与物流一体化发展趋势日益显著，城市交通流量与物流订单规模呈现爆发式增长态势。城市智能交通系统（Intelligent Transportation Systems, ITS）作为解决交通拥堵、提升运输效率、推动低碳发展的核心支撑，已成为城市治理现代化的重要抓手^[1]。然而，传统城市运输调度模型多基于静态路网信息与历史数据制定调度方案，缺乏对实时交通状态、车辆运行状态及订单需求波动的有效感知与动态响应能力。

随着物联网（Internet of Things, IoT）技术在汽车领域的广泛普及，车载 IoT 设备（如 GPS 定位器、车载传感器、能耗监测仪等）能够高频采集车辆位置、行驶速度、载重状态、能耗数据及发动机运行参数等实时信息。这些数据蕴含着丰富的运输系统运行状态信息，为突破传统静态调度的局限性提供了新的契机^[2]。如何有效挖掘与利用车载 IoT 数据，构建动态、实时、高效的运输调度系统，提升城市交通资源配置效率，降低运输能耗，已成为当前城市智能交通发展面临的核心问题。

（二）问题提出

现有 ITS 优化方法在车载 IoT 数据的利用方面存在明显不足，

主要体现在三个方面：一是调度模式静态化，多数传统调度方法依赖历史交通数据制定固定调度计划，无法实时响应交通拥堵、订单新增等动态变化，导致调度方案与实际运行需求脱节；二是数据利用碎片化，现有方法对车载 IoT 数据的采集维度不完整，且缺乏有效的数据融合机制，难以充分发挥数据的价值；三是优化目标单一化，现有调度优化多以运输时间或成本最小化为核心目标，忽视了能耗指标，与当前低碳交通发展需求不符。这些不足严重制约了运输调度效率的提升，难以满足城市交通与物流一体化发展的需求。

（三）研究贡献

针对现有研究的不足，本文基于车载 IoT 数据构建城市智能运输调度体系，主要贡献如下：（1）提出基于 IoT 的动态调度闭环系统，构建“感知-融合-优化-反馈”全流程架构，实现对交通状态、车辆状态及订单需求的实时感知与动态响应；（2）在调度优化目标中引入运输效率与能耗双重核心指标，构建多目标优化模型，兼顾运输经济性与低碳性；（3）设计遗传算法与强化学习相结合的混合优化算法，通过强化学习动态更新交通权重，提升算法对实时交通变化的适应能力；（4）基于30辆车、500+订单的一周真实物流数据集开展实验验证，证明了所提方法的可行性与优越性。

（四）论文结构

本文后续内容安排如下：第二部分梳理相关研究现状；第三部分详细阐述基于车载 IoT 数据的动态运输调度方法，包括系统架构、优化模型与算法设计；第四部分介绍实验设计与数据来源；第五部分分析实验结果并展开讨论；最后总结全文并展望未来研究方向。

二、相关研究现状

（一）城市智能运输调度研究

城市运输调度的核心是车辆路径优化问题，自 Dantzig 和 Ramser 提出 VRP 模型以来，相关研究已取得大量成果^[3]。传统 VRP 研究多基于静态路网信息，采用精确算法（如分支定界法）或启发式算法（如遗传算法、模拟退火算法）求解运输路径优化问题。然而，静态 VRP 模型难以适应城市交通的动态变化，实际应用效果受限。近年来，动态车辆路径问题成为研究热点，部分学者尝试结合实时交通数据优化调度方案，但多数研究仍依赖交通管控部门提供的宏观交通数据，缺乏对车辆微观运行状态的感知。

（二）IoT 技术在智能交通中的应用研究

IoT 技术的发展为智能交通系统的升级提供了技术支撑。现有研究中，IoT 技术多应用于交通状态监测、车辆定位追踪等基础场景^[4]。例如，部分学者利用车载 GPS 数据实现车辆轨迹追踪与交通流量预测；也有研究通过路侧 IoT 设备采集路网信息，辅助交通管控决策。但在运输调度领域，现有研究对车载 IoT 数据的融合利用不足，尚未形成“数据-模型-调度-反馈”的完整闭环，难以充分发挥 IoT 数据的实时性优势^[5]。

三、研究方法

（一）系统架构设计

（1）IoT 感知层：作为数据采集核心，通过车载 GPS 定位器、速度传感器、载重传感器、能耗监测仪等设备，高频采集车辆位置、行驶速度、加速度、载重、实时能耗、发动机转速等数据，同时通过城市交通管控平台获取实时路网拥堵状态数据，数据采集频率为 10s/次，确保数据的实时性与完整性。

（2）数据融合层：对感知层采集的多源异构数据进行预处理与融合。首先通过数据清洗剔除异常数据（如 GPS 定位漂移数据、传感器故障数据），然后采用加权平均法对同一指标的多源数据进行融合，最后通过数据标准化处理将不同维度数据转换为统一尺度，为后续优化计算提供高质量数据支撑^[6]。

（3）调度优化层：基于融合后的实时数据，构建动态调度优化模型，通过混合优化算法求解最优调度方案，包括车辆路径规划、订单分配、行驶速度调整等内容，实现运输效率与能耗的多目标优化^[7]。

（4）执行反馈层：将优化后的调度方案下发至车载终端与调度中心，指导车辆执行运输任务；同时实时采集车辆执行过程中的实际数据，反馈至数据融合层与调度优化层，动态调整优化模型参数与调度方案，形成闭环优化机制。

（二）动态调度优化模型构建

1. 模型假设

为简化问题，基于实际运输场景提出以下假设：（1）车辆型号统一，最大载重与最大续航里程已知；（2）订单需求已知且不可拆分，需在规定时间内完成配送；（3）路网拓扑结构已知，实时交通拥堵状态可通过 IoT 数据实时获取；（4）不考虑车辆维修、交通事故等突发状况。

2. 目标函数

本文构建以运输时间最短、运输成本最低、能耗最少为目标的多目标优化模型，目标函数如下：

$$\min f = \alpha T + \beta C + \delta E$$

其中，T 为总运输时间（单位：h），包括行驶时间与订单装卸时间；C 为总运输成本（单位：元），包括燃油成本、车辆折旧成本与人工成本；E 为总能耗（单位：L）； α 、 β 、 δ 分别为时间、成本、能耗的权重系数，满足 $\alpha + \beta + \delta = 1$ ，可根据实际调度需求调整，本文通过层次分析法确定 $\alpha = 0.4$ 、 $\beta = 0.3$ 、 $\delta = 0.3$ 。

（三）混合优化算法设计

（1）初始化种群：将车辆调度路径编码为染色体，每个染色体对应一组调度方案，染色体长度为订单数量与车辆数量的乘积，随机生成 N 个初始染色体（本文 N=50），构成初始种群。

（2）适应度函数计算：以多目标优化模型的目标函数值的倒数作为适应度函数，适应度值越大，对应调度方案越优。

（3）遗传操作：采用轮盘赌法选择优秀染色体进入下一代种群；采用单点交叉方式进行交叉操作，交叉概率设为 0.8；采用随机变异方式进行变异操作，变异概率设为 0.1，确保种群多样性。

四、实验设计

（一）数据集来源

实验数据采用某城市物流企业的真实运营数据，数据周期为1周（7天），包含30辆物流车辆的运行数据与500+条物流订单数据。车辆数据包括实时位置、行驶速度、载重、能耗等，订单数据包括订单编号、货物重量、收发地址、时间窗要求等；同时收集该城市同期的实时交通拥堵数据（来源于城市交通管控平台），构建实验数据集。

（二）对比方法

为验证本文所提方法的优越性，选取以下三种常用调度方法作为对比：（1）Dijkstra 算法：传统最短路径算法，以行驶距离最短为目标规划路径；（2）传统 VRP 算法：基于静态路网信息的调度算法，以运输时间最短为目标；（3）单一遗传算法：仅采用遗传算法求解调度优化问题，不考虑实时交通权重动态更新。

（三）评价指标

选取以下三个核心指标评价调度方案的性能：（1）运输时间：所有车辆完成运输任务的总时间，反映运输效率；（2）能耗：所有车辆的总能耗，反映低碳性；（3）车辆利用率：车辆实际载重与最大载重的平均比值，反映资源配置效率。

（四）实验环境

实验采用 Python 3.8编程语言实现，运行环境为 Intel Core i7-10700K 处理器、32GB 内存、Windows 10操作系统。算法参数设置如下：遗传算法种群规模50，迭代次数100，交叉概率0.8，变异概率0.1；强化学习学习率0.1，折扣因子0.9。

五、结果与讨论

（一）实验结果分析

表1为四种方法的实验结果对比。由表1可知，相比三种对比方法，本文所提方法在各项评价指标上均表现更优：（1）运输时间：本文方法总运输时间为286h，相比 Dijkstra 算法（342h）、传统 VRP 算法（325h）、单一遗传算法（301h）分别缩短16.4%、12.0%、5.0%；（2）能耗：本文方法总能耗为1256L，相比三种对比方法分别降低18.2%、8.0%、3.2%；（3）车辆利用率：本文方法车辆利用率为78%，相比三种对比方法分别提升20.0%、15.3%、6.8%。实验结果表明，本文所提方法能够有效提升运输效率，降低能耗，优化资源配置。

参考文献

- [1] 陈疏朗. 智能运输方式如何缓解城市物流带来的压力 [J]. 中国储运, 2025, (06): 124-125.
- [2] 《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》发布三周年系列调研简报（三）：智能运输组织更科学、更高效、更经济 [J]. 城市轨道交通, 2023, (06): 13-14.
- [3] 刘艺, 游克思, 陈荃荃, 等. 城市新建商务区末端智慧地下物流应用探索 [J]. 交通与运输, 2021, 37 (02): 63-68.
- [4] 王臣. 基于地铁的城市快递物流智能运输系统的设计 [J]. 技术与市场, 2020, 27 (11): 55-56.
- [5] 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要 [J]. 城市轨道交通, 2020, (04): 8-23.
- [6] 标准制修订 [J]. 质量与标准化, 2020, (Z1): 106-109.
- [7] 刘蕴博, 勾兆丁, 薛鑫喆, 等. 基于地铁的城市快递物流智能运输系统设计 [J]. 物流技术, 2019, 38 (10): 7-11.
- [8] 周建儒. 基于 Java Web 的智能交通管理系统的设计与仿真 [J]. 信息技术, 2017, (03): 144-146.

表1 四种调度方法性能对比

调度方法	运输时间 (h)	能耗 (L)	车辆利用率 (%)
Dijkstra 算法	342	1535	65
传统 VRP 算法	325	1365	68
单一遗传算法	301	1297	73
本文方法	286	1256	78

（二）动态适应性分析

为验证本文方法的动态适应性，选取实验数据中某一交通拥堵时段（早高峰7:00-9:00）进行专项分析。结果表明，在交通拥堵状态下，本文方法通过强化学习实时更新交通权重，能够快速调整调度路径，避免拥堵路段；而传统 VRP 算法与单一遗传算法因未考虑实时交通变化，仍按预设路径行驶，导致运输时间增加20%以上，能耗增加15%以上^[9]。这一结果证明，本文方法具备良好的动态适应性，能够有效应对实时交通变化。

（三）政策与应用启示

本文研究成果对城市智能交通系统的优化升级具有重要的政策与应用启示：（1）在技术层面，应加快车载 IoT 设备的普及与升级，完善多源数据融合机制，构建统一的智能运输调度数据平台；（2）在政策层面，政府应出台相关政策支持智能运输调度技术的研发与应用，推动物流企业与交通管控部门的数据共享；（3）在应用层面，物流企业可基于本文提出的调度框架优化现有调度系统，提升运营效率，降低运营成本，推动低碳物流发展。

六、结论与展望

（一）结论

本文提出一种基于车载 IoT 数据的城市智能运输调度框架，构建“感知-融合-优化-反馈”四层架构，设计多目标动态调度模型与遗传算法-强化学习混合优化算法。实验结果表明，该方法相比传统调度方法，能够显著提升运输效率、降低能耗、提高车辆利用率，具备良好的动态适应性与实用性。研究充分证明，车载 IoT 数据的有效利用是突破传统静态调度局限性的关键，为城市智能交通调度的优化提供了新的思路与方法。

（二）展望

未来研究可从以下三个方向展开：（1）拓展优化目标维度，将交通安全、客户满意度等指标纳入优化模型，实现更全面的多目标优化；（2）引入深度学习技术，提升数据预测精度，实现调度方案的提前预判与主动优化；（3）考虑多类型车辆（如新能源车辆、无人驾驶车辆）的协同调度，适应未来交通发展趋势。