

人工智能驱动下智慧物流配送路径优化研究

徐琳

武汉理工大学 湖北武汉 430000

摘要: 在电商与即时配送行业高速发展的背景下,传统物流配送路径规划依赖人工经验与静态算法,难以应对订单激增、路况动态变化、多约束耦合等复杂场景,成为制约行业降本增效的关键瓶颈。人工智能技术凭借大数据处理、动态感知与智能决策能力,为物流配送路径优化提供了全新技术路径。本文围绕AI驱动的智慧物流配送路径优化展开研究,分析传统配送模式的核心痛点,梳理遗传算法、强化学习、图神经网络等AI技术的应用原理与方法,探讨动态路径优化、多目标协同调度、全局资源配置的实现路径,结合实际案例分析应用成效,并针对当前技术瓶颈与未来发展趋势进行总结。研究表明,人工智能可显著提升配送效率、降低运输成本、提高服务质量,推动物流配送从经验驱动向数据智能驱动转型。

关键词: 人工智能;智慧物流;配送路径;优化算法;动态调度

引言

物流配送是连接供应链末端与消费者的关键环节,其效率直接影响企业运营成本与客户服务体验。据行业数据显示,我国社会物流总费用占GDP比重长期高于发达国家,其中运输配送环节成本占比超50%,而路径规划不合理是导致成本高企的核心因素。传统配送路径规划多采用节约算法、Dijkstra算法等静态模型,或依赖调度员人工经验,仅能基于历史数据与固定地图完成离线规划,无法实时响应动态订单、突发拥堵、天气变化等复杂状况。

随着即时零售、同城配送、生鲜冷链等新业态兴起,配送场景呈现订单碎片化、时效严格化、需求动态化特征,传统模式逐渐暴露出响应滞后、资源错配、空驶率高、准时率低等问题。人工智能技术与物联网、大数据、边缘计算深度融合,能够实时感知多源动态信息,通过智能算法快速求解大规模复杂优化问题,实现路径动态调整与全局资源最优配置。在此背景下,研究AI驱动的智慧物流配送路径优化方法,对推动物流行业降本增效、数字化转型与高质量发展具有重要理论与实践价值。

一、传统物流配送路径优化的局限与痛点

(一) 静态规划难以适配动态场景

传统路径规划基于固定参数与历史数据,属于离线静态决策模式。在实际配送中,早高峰订单集中涌入、路段突发拥堵、车辆故障、客户时间窗变更等动态事件

频发,静态规划方案易快速失效。例如电商促销期间,1小时内新增数百订单即可导致原有路线完全失衡,车辆绕行、等待时间大幅增加,配送延迟率显著上升。同时,传统方法无法实时融合路况、天气、载重等动态变量,规划结果与实际场景偏差较大。

(二) 多约束耦合问题求解能力不足

现代物流配送需兼顾多重约束条件,包括车辆载重与容积限制、客户配送时间窗、道路通行规则、司机工时、燃油成本、碳排放要求等。传统算法在处理多约束、多目标优化问题时,计算复杂度随变量规模呈指数级增长,易陷入局部最优解,难以实现全局平衡。人工调度模式下,调度员难以同时兼顾所有约束条件,常出现超载配送、超时延误、路线交叉重复等问题,造成资源浪费与服务质量下降。

(三) 大规模问题求解效率低下

随着城市配送网络扩张,订单量、车辆数、配送节点规模持续增长,传统算法在大规模VRP问题中计算效率急剧下降。例如涉及500个配送节点、100台车辆的优化问题,传统算法需数小时甚至数天完成计算,无法满足即时配送分钟级响应需求。人工调度模式下,单人最多管理数十台车辆,面对百万级订单与运力资源时,易出现车货匹配失衡、“车等货”“货等车”等现象,资源利用率不足70%。

(四) 缺乏全局协同与智能决策能力

传统模式多聚焦单车或单场站路径优化,缺乏跨区域、多场站、多车型的全局协同调度能力。各配送单元

独立决策，易出现区域运力冗余与短缺并存、路线重叠、空驶率高等问题。同时，传统方法不具备预测与自适应决策能力，无法提前预判拥堵、需求波动等状况并主动调整方案，仅能被动应对突发问题，导致配送稳定性与可靠性不足。

二、人工智能在物流配送路径优化中的核心技术与方法

（一）智能优化算法的应用

遗传算法：模拟生物进化机制，通过选择、交叉、变异操作迭代寻优，适用于离散型路径优化问题。该算法全局搜索能力强，可高效处理大规模解空间，在多车辆、多节点配送场景中，能综合成本、时效、载重等约束生成近似最优解。某同城配送企业应用后，配送里程减少18%，车辆利用率提升25%。

蚁群与粒子群算法：蚁群算法通过信息素正反馈机制模拟蚂蚁觅食，能快速收敛至优质路径，适合动态路径实时优化；粒子群算法模拟群体觅食行为，收敛速度快、参数简单，在连续变量优化与多目标平衡中表现优异。二者结合可实现动态路况下的路径快速迭代优化。

强化学习：以智能体与环境交互试错方式学习最优策略，特别适合动态不确定场景。深度Q网络（DQN）、策略梯度算法可实时感知订单、路况、车辆状态，动态调整配送顺序与路线，每毫秒完成一次决策更新。在即时配送中，强化学习系统可将平均配送时间缩短20%以上，准时率提升至95%。

（二）深度学习与数据融合技术

图神经网络（GNN）：将配送网络抽象为图结构，精准提取节点、路段、车辆间关联特征，解决复杂路网拓扑优化问题。GNN可高效处理大规模路网数据，捕捉拥堵传导规律与需求空间分布，为路径决策提供精准特征支撑，使大规模问题求解时间从小时级缩短至分钟级。

多模态数据融合：整合GPS定位、交通路况、订单信息、车辆传感器、天气数据等多源信息，通过CNN、LSTM模型实现动态感知与预测。系统可提前15-30分钟预测路段拥堵、区域订单峰值，主动调整配送方案，规避延误风险。某生鲜平台应用后，配送延误率降低40%，生鲜损耗率下降15%。

数字孪生仿真：构建物流配送虚拟映射系统，对路径方案进行模拟验证与迭代优化。京东物流“超脑”系统通过数字孪生实现全网线路分钟级模拟，提前识别方案缺陷，优化效率提升40%，同时支持多方案比选与应急演练。

（三）多目标智能调度与协同优化

AI系统可构建成本、时效、碳排放、满意度等多目标优化模型，通过NSGA-II等算法生成帕累托最优解集。系统自动权衡各目标权重，实现“成本最低、时效最快、绿色低碳”的协同最优。同时，支持多车场、多车型、多配送中心的全局协同调度，打破区域壁垒，实现运力资源跨区域动态调配，整体空驶率降低15%-25%。

（四）边缘计算与实时决策闭环

结合边缘计算技术，将部分计算任务下沉至车载终端与移动设备，实现本地实时决策。系统响应时间缩短至毫秒级，即便网络波动也能保障路径规划连续性。形成“感知-决策-执行-反馈”闭环：实时采集车辆与路况数据，AI算法动态生成路径，指令下发终端执行，执行结果回传优化模型，实现持续迭代提升。

三、人工智能路径优化的典型应用场景与成效

（一）即时零售与同城配送

美团、饿了么等平台应用AI智能调度系统，每秒处理超10万次订单匹配与路径规划。综合骑手位置、出餐时间、客户时间窗、实时路况等因素，动态规划最优路径。数据显示，AI调度使骑手每单配送距离减少15%，时间缩短8分钟，日均单量提升30%，客户投诉率下降50%。

（二）电商快递末端配送

京东、顺丰等企业采用AI路径优化系统，自动完成站点分区、订单聚类、车辆路径规划。某试点城市中，配送员日均单量提升30%，行驶里程减少22%，末端配送成本降低18%。菜鸟智能调度系统实时响应订单与运力变化，高峰期准时率保持93%以上。

（三）生鲜冷链与特种配送

针对生鲜时效与温控要求，AI系统优先规划最短时效路径，规避拥堵路段，动态调整温控参数。某生鲜电商应用后，配送时效达标率从65%提升至92%，冷链能耗降低12%，商品损耗率控制在3%以内。特种物资配送中，系统兼顾路线安全性、时效性与保密性，满足多重特殊约束。

（四）干线运输与多式联运

满帮、货拉拉等平台通过AI匹配车货资源，1秒内完成百万级供需对接。结合路况、油价、限行政策规划最优干线路线，运输成本降低12%-20%，车辆等待时间减少60%。多式联运场景中，AI系统优化公路、铁路、航运衔接路径，整体运输时间缩短25%，成本降低9%。

四、当前面临的问题与挑战

(一) 数据质量与协同壁垒

AI模型高度依赖高质量数据，但行业存在数据碎片化、标准不统一、质量参差不齐问题。企业间数据壁垒严重，路况、订单、运力等数据难以共享，导致模型泛化能力不足。动态数据实时采集难度大，偏远区域数据覆盖率低，影响规划精度。

(二) 模型可解释性与落地障碍

深度学习模型多为“黑箱”，决策逻辑难以直观解释，企业与监管方信任度不足。复杂算法模型部署成本高、技术门槛高，中小物流企业难以承担系统开发与运维费用。同时，AI优化方案与传统运营流程衔接不畅，缺乏适配的管理体系与人才支撑。

(三) 动态场景鲁棒性不足

极端天气、大规模拥堵、突发事件等极端场景下，AI模型预测精度下降、稳定性不足。多约束极端耦合时，易出现无解或方案偏离实际需求。边缘设备算力有限，复杂模型部署受限，影响极端场景响应速度。

(四) 复合型人才短缺

AI路径优化需要兼具物流管理、算法开发、数据分析的复合型人才。当前行业人才供给不足，物流从业者缺乏AI技术能力，技术人员缺乏物流行业经验，导致技术与业务融合不深、应用效果打折扣。

五、未来发展趋势

(一) 技术深度融合与创新

强化学习、大模型、数字孪生深度融合，构建更智能的决策系统。多模态大模型实现自然语言交互调度，支持语音指令、需求自动解析。量子优化技术逐步应用，突破大规模问题求解效率瓶颈，求解速度提升百倍。

(二) 全链路全局优化

从单一配送环节向“仓储-运输-配送”全链路优化延伸。AI系统统筹库存布局、订单分配、路径规划、末端投递，实现供应链全局最优。多智能体协同技术成熟，无人机、无人车与传统车辆协同配送，覆盖城乡多元场景。

(三) 绿色低碳与合规发展

融入碳排放、能耗、环保政策等约束，构建绿色配送优化模型。AI系统优先规划低碳路线，推广新能源车辆适配路径，助力“双碳”目标。同时，强化合规管控，

自动规避限行、超时、超载等违规风险。

(四) 普惠化与标准化发展

轻量化、低成本AI解决方案普及，降低中小物流企业应用门槛。行业数据标准、技术规范、评估体系逐步完善，推动技术规范、规模化应用。云化SaaS模式成为主流，企业按需订阅使用，减少前期投入。

结论

人工智能为物流配送路径优化提供了革命性解决方案，有效突破传统模式的静态局限、效率瓶颈与协同短板，在降本、增效、提质方面成效显著。智能优化算法、深度学习、数字孪生等技术融合应用，实现动态感知、实时决策、全局协同与闭环优化，推动物流配送向智能化、高效化、绿色化转型。

尽管当前面临数据、技术、人才、落地等挑战，但随着技术成熟、生态完善与标准建立，AI驱动的智慧物流配送将成为行业主流。未来需加强产学研协同，突破关键技术瓶颈，推进数据共享与标准建设，培养复合型人才，推动AI技术深度赋能物流行业，实现高质量发展与供应链现代化升级。

参考文献

- [1] 纪海莹, 宁伟东, 吴艳红, 等. 新质生产力驱动下人工智能在智慧物流管理中的应用与效能提升研究[J]. 物流科技, 2025, 48(22): 35-38. DOI: 10.13714/j.cnki.1002-3100.2025.22.008.
- [2] 高苏同. 智慧物流与智能制造融合: 区域协同背景下的路径探索与策略构建[J]. 全国流通经济, 2026, (05): 40-43. DOI: 10.16834/j.cnki.issn1009-5292.2026.05.002.
- [3] 曹湘玲. 人工智能技术在电商物流配送“最后一公里”中应用研究[J]. 办公自动化, 2026, 31(02): 113-116.
- [4] 崔瑶. 基于联运的城市快递物流配送路径优化研究[D]. 沈阳工业大学, 2024. DOI: 10.27322/d.cnki.gsgyu.2024.000005.
- [5] 笕蓓秋. 人工智能算法在智能物流配送路径规划中的优化研究[J]. 中国储运, 2026, (01): 90-92. DOI: 10.16301/j.cnki.cn12-1204/f.2026.01.040.