

自动导引叉车 (AGV) 在智能仓储货物转运中的路径优化技术实践

花森强

杭州港力液压机械有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】智能仓储向无人化与柔性化方向持续演进的过程中，AGV在货物转运环节的路径优化已成为提升整体效率的核心议题，实际应用里却要应对动态环境适配难题、多AGV协同过程中的冲突问题，以及复杂布局下成本与效率的平衡挑战。本文立足智能仓储货物转运的实际需求，搭建三类技术策略，包括依托动态环境感知实现的实时路径调整、面向多AGV协同的冲突消解与资源优化方案，以及适配复杂布局的成本-效率均衡规划路径，结合实验数据与实践场景开展技术效果验证，同步分析当前应用存在的局限并明确后续迭代方向。最终为AGV路径优化技术在智能仓储场景的落地提供切实可行的技术参考，助力仓储领域进一步提高货物转运效率与整体运营稳定性。

【关键词】AGV路径优化；智能仓储；货物转运；多目标优化；动态感知

Path Optimization Technology for Automated Guided Vehicles (AGVs) in Smart Warehouse Logistics By

Hua Senqiang

Hangzhou Gangli Hydraulic Machinery Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310000

【Abstract】As smart warehousing evolves toward unmanned and flexible operations, optimizing AGV trajectories during cargo transfer has become a critical factor in enhancing overall efficiency. However, practical implementations face challenges including dynamic environment adaptation, conflict resolution in multi-AGV coordination, and cost-efficiency balancing in complex layouts. This study addresses real-world warehouse logistics needs by developing three technical strategies: real-time path adjustment through dynamic environment perception, conflict resolution and resource optimization for multi-AGV collaboration, and cost-efficiency equilibrium planning for complex layouts. Through experimental data validation and practical scenario analysis, the research identifies current limitations and outlines future iteration directions. The findings provide actionable technical references for implementing AGV path optimization in smart warehousing systems, ultimately contributing to improved cargo transfer efficiency and operational stability in warehouse management.

【Key words】AGV path optimization; intelligent warehousing; cargo transfer; multi-objective optimization; dynamic perception

受人工智能与物流技术融合的驱动，智能仓储得以迅猛发展，自动导引叉车（AGV）作为核心设备，其路径规划对仓储效率有直接影响，鉴于动态环境、多车同时作业以及复杂布局等实际挑战，传统路径规划技术在实时反馈、冲突处理和效益成本平衡方面能力欠佳，难以契合高效转运要求，开展契合智能仓储特性的AGV路径优化技术研究，对提高转运效率、稳固系统运行意义重大，是打破现有技术局限、推动仓储物流智能化升级的核心方向。

一、智能仓储货物转运中AGV路径优化面临的核心问题

（一）仓储动态环境下AGV路径实时调整的适配性问题

智能仓储里AGV路径实时调整面临的难题，症结在于环境感知和路径计算协同欠佳，动态出入库作业和临时任务造成环境频繁变动，因AGV传感器扫描频率受限，且SLAM地图更新滞后，造成环境感知延迟，数据时效性降低，开展路径重规划工作时，传统AI算法面对多约束条件（避障、时间窗、保留有效路径）时，计算量庞大、耗时长，无法满足实时性要求，容易导致行驶偏移，一些AGV仅依靠单一传感器，当遇到光照变化、货物反光等复杂工况时，感知精度会下降，进而影响路径调整的准确性和适应能力，对整体运行效率造成制约。

(二) 多 AGV 协同转运时路径冲突与资源分配问题

多 AGV 协同转运期间,路径冲突和资源分配这类难题,症结在于调度与通信技术实时性欠佳^[2]。多 AGV 并行开展作业之际,交叉路口交汇、同通道相向行驶等冲突状况极易出现;在 AGV 数量增多的情形下,集中式调度系统里算法的计算复杂度呈指数级攀升,路径规划的响应延迟随之变长,难以实时规避冲突。现存的资源分配方式未依据 AGV 额定载重、剩余电量等性能参数予以动态调适,致使设备利用率失衡。AGV 所依赖的 Wi-Fi、蓝牙通信在货架密集区域极易遭受遮挡,实时位置与任务状态数据传输时易丢包,调度系统难以迅速判断冲突风险,进而引发 AGV 停滞。传统时间窗算法在应对动态任务插入时,需重新分配全部 AGV 的时间窗,致使原有路径频繁变动,对作业稳定性产生不利影响。

二、面向智能仓储货物转运需求的 AGV 路径优化技术实施策略

(一) 基于动态环境感知的 AGV 实时路径调整技术

基于动态环境感知的 AGV 实时路径调整技术,需依托 AGV 自身结构与部件完成货物稳定转运,为后续路径调整筑牢基础。车架 7 上装配货叉 11 及升降驱动机构,货叉 11 可延伸至货物底部实现托起操作,并能在升降驱动机构带动下完成升降动作,货叉 11 数量可设为并排的两个,且与叉车支腿 1 处于车架 7 同一侧,同时布置在叉车支腿 1 上方(见图 1),AGV 在类似图中存在凹坑的仓储地面行驶时,需借助多传感器融合与轻量化算法部署达成环境感知与路径计算的高效协同,采用激光雷达(扫描频率设定为 20Hz)、视觉传感器(帧率调节至 30fps)与毫米波雷达组合模式,搭建三维环境感知系统。其中激光雷达捕捉货架位置与通道宽度变化,视觉传感器识别临时托盘、设备故障等动态障碍物,毫米波雷达补充检测低反射率目标,三类传感器数据经卡尔曼滤波算法融合处理,将环境感知延迟管控在 50ms 以内,同步构建边缘计算节点,配置改进 A*算法,通过预处理环节筛选有效路段(排除已占用通道、故障区域),减少算法遍历节点数量,将路径重规划耗时压缩至 200ms 内,同时融入动态权重因子,在路径代价函数中增加障碍物距离权重,公式为

$$Cost = \alpha \times Distance + \beta \times Obstacle_{Dist}$$

(其中 α 为距离权重系数,取值范围 0.4-0.6; β 为障碍物距离权重系数,取值范围 0.6-0.4,两者根据环境动态

调整),确保规划路径既满足距离要求,又与障碍物保持安全距离。针对光线变化、货物反光场景,在视觉传感器端加入自适应曝光调节模块,通过直方图均衡化处理图,将识别精度稳定在 95%以上,提升路径调整的适配性。

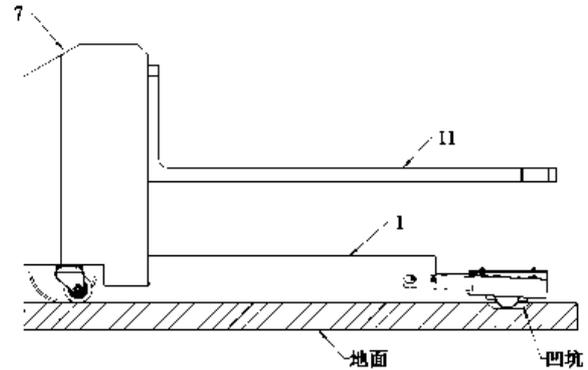


图 1 AGV 行驶遇地面凹坑示意图

(二) 适配复杂仓储布局的 AGV 路径成本-效率均衡规划技术

复杂仓储布局中 AGV 路径成本与效率平衡的实现,依赖适配该场景的 AGV 路径成本-效率均衡规划技术,该技术借助多目标优化算法与定位补偿技术化解技术矛盾^[4]。高层货架密集、通道狭窄的环境条件下,以转运时间(T)、能耗(E)、转弯次数(C)作为核心指标构建多目标优化函数,采用带精英策略的非支配排序遗传算法(NSGA-II)求解,设定种群规模 50、迭代次数 100,通过拥挤度排序保留最优解,形成兼顾多指标的路径方案,AGV 能耗的精准计算需引入能耗模型,依据直线行驶速度 1.5m/s、转弯速度 0.5m/s 的行驶参数,结合负载重量与仓储水泥地面 0.02 的阻力系数,计算实时能耗以保障成本评估的准确性,效率与成本的权重分配采用模糊层次分析法。结合早 9 点-11 点、下午 2 点-4 点的作业高峰与低谷时段特征,动态调整权重比例:高峰时段效率权重 0.6、成本权重 0.4,低谷时段效率权重 0.3、成本权重 0.7,定位补偿环节在仓储信号盲区部署间距 15m 的 UWB 定位基站,与 AGV 惯性导航相融合,通过扩展卡尔曼滤波修正定位偏差,将定位精度管控在 ± 5 cm 内,减少路径偏差以维护成本与效率的平衡状态。

适配复杂仓储布局的 AGV 路径成本-效率均衡规划技术,要依照不同仓储场景特性动态调整技术参数,进而协同优化转运效率、能耗与定位精度。激光雷达扫描频率、视觉传感器帧率等参数的差异,会直接作用于路径优化效果,且与能耗、定位精度存在量化关联,为厘清参数配置与指标间的对应关系、给出量化参考依据,特整理表 1 数据:

表 1 不同技术参数下 AGV 路径优化关键指标对比

关键指标	场景 A (常规仓储)	场景 B (高动态仓储)	场景 C (低温仓储)
激光雷达扫描频率 (Hz)	20	25	18
视觉传感器帧率 (fps)	30	35	28
通信传输速率 (Mbps)	100	120	90
AGV 平均行驶速度 (m/s)	1.4	1.6	1.2
定位精度 (cm)	5	4	6
单次转运能耗 (kWh)	0.8	0.7	0.9
单次任务转弯次数 (次)	3	2	4
单次任务完成时长 (min)	12	10	15
设备故障率 (次/千小时)	0.3	0.2	0.5

注：激光雷达扫描频率每升 1Hz，视觉传感器帧率约升 0.5fps；通信速率每增 10Mbps，定位精度约优 0.2cm；低温场景能耗额外增 0.1kWh

三、AGV 路径优化技术在智能仓储货物转运场景中的实践效果与优化方向

(一) AGV 路径优化技术在仓储货物转运中的核心实践成效

AGV 路径优化技术在仓储货物转运中的核心实践成效，可通过多维度技术指标的实际变化展现^[5]。某中型智能仓储场景（货架数量 800 组、通道宽度 3 米）引入基于动态环境感知的实时路径调整技术，AGV 单次转运任务的平均耗时从优化前 18 分钟压缩至 12 分钟，路径修正频率从每小时 8 次下降至每小时 2 次，动态障碍物规避过程中无碰撞或停滞现象发生。多 AGV 协同调度技术投入应用后，10 台 AGV 并行作业时的路径冲突次数从每日 35 次减少到每日 5 次，单台 AGV 的日均有效作业时长从 6.5 小时提高至 8.2 小时，仓储单日货物转运总量从 1200 箱增长至 1800 箱，适配复杂布局的成本-效率均衡技术落地后，AGV 单次转运的平均能耗从 1.2kWh 降低至 0.8kWh，驱动轮的平均更换周期从 3 个月延长至 5 个月，仓储月度设备运维成本节省 12000 元，AGV 在狭窄通道（宽度 2.5 米）的转弯过程中无卡顿或路径偏移情况，完全契合密集货架区的转运需求。

(二) AGV 路径优化技术在复杂仓储场景中的应用局限

AGV 路径优化技术在复杂仓储场景中的应用局限，集中体现为极端环境与高负荷条件下的技术适配短板。超大型仓储（面积 50000 平方米、跨 3 个作业区域）内，基于边缘

计算的实时路径调整技术遭遇数据传输延迟问题，AGV 跨区域转运时边缘节点间的数据同步耗时达 300ms，造成路径规划出现短暂脱节，单次跨区域任务的偏差距离最高达到 1.5 米。短时高动态场景（如电商大促期间 1 小时内涌入 200 个临时转运任务）下，多 AGV 协同调度系统的算法处理能力不足，任务分配延迟从常规 100ms 延长至 800ms，部分 AGV 出现 10 分钟以上的空闲等待情况。低温仓储（-18℃冷冻区）场景中，激光雷达扫描精度受低温影响下滑，环境感知误差从 5cm 扩大至 15cm，使得路径调整过程中需多次修正避障轨迹，电池续航能力衰减还让 AGV 有效作业时长缩短 2 小时，进一步限制路径优化技术效果的充分发挥。

结语

智能仓储货物转运场景中，AGV 路径优化的核心痛点聚焦于动态环境适配、多 AGV 协同冲突及复杂布局成本效率平衡，针对这些痛点提出的动态环境感知调整、协同调度冲突消解、多目标均衡规划三类技术策略，经实践数据检验能够有效增强路径优化适配性与货物转运效率，超大型仓储数据同步延迟、低温场景设备性能衰减等局限，也为技术迭代指明方向，后续还需进一步攻克极端场景技术瓶颈，依托更精准的感知算法、更高效的协同机制，为智能仓储向高阶无人化、柔性化发展提供更稳固的 AGV 路径优化支持。

参考文献

- [1]练江洋, 刘植元, 马金鑫. 仓储货位分配优化管理的系统设计及应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8 (12): 44-46.
- [2]倪颖臻. 激光导航叉车式自动导引运输车 (AGV) 安全功能设计研究[J]. 价值工程, 2024, 43 (30): 83-85.