

智能工厂中 AGV 协同配送的 AI 调度策略研究

申晓玉

广东创新科技职业学院 广东 东莞 523960

【摘要】：针对智能工厂多 AGV 物料配送中存在路径冲突、任务分配不合理、调度响应滞后等问题，开展 AI 驱动的动态调度策略研究。以生产节拍、物流效率、设备利用率为优化目标，构建融合实时数据感知、动态任务分配与全局路径规划的 AI 调度模型，通过强化学习与智能优化算法实现多 AGV 自主协同与冲突消解。该策略可自适应生产任务变化与车间路况波动，有效减少拥堵死锁、缩短配送周期、提升物流系统柔性稳定性。实验与应用结果表明，AI 调度较传统规则调度在配送效率、资源利用、运行可靠性上均有明显提升，可为智能工厂高效物流配送提供技术支撑与实践借鉴。

【关键词】：智能工厂；AGV 协同配送；AI 调度；动态调度

DOI:10.12417/2705-1358.26.07.003

引言

随着智能制造深度推进，车间物流向自动化、柔性化、智能化转型，AGV 已成为物料协同配送的核心装备。传统调度多依赖预设规则与静态路径，难以适配多机并行、任务多变、路况复杂的实际场景，易出现冲突、拥堵、资源浪费等问题。AI 技术凭借实时感知、全局优化与自主决策优势，为 AGV 协同调度提供了全新解决思路。围绕智能工厂 AGV 动态调度需求，分析现有调度瓶颈，构建 AI 调度框架并验证实施效果，对提升车间物流效率、支撑智能工厂稳定运行具有重要理论与工程价值。

1 智能工厂 AGV 协同配送调度痛点分析

1.1 多任务动态扰动下调度响应能力不足

智能工厂多品种、变批量的柔性生产模式，使得物料配送任务呈现出实时性、突发性、不确定性特征。生产节拍波动、插单生产、工艺变更、工位缺料等场景均会产生随机配送需求，传统 AGV 调度系统多基于预设任务队列与固定优先级执行分配，缺乏对动态事件的快速感知与实时重调度能力^[1]。当任务量突增或节点需求发生改变时，系统无法在短时间内完成任务拆分、优先级重构与资源再匹配，极易出现任务堆积、配送滞后与工位等待现象。同时，调度平台与 MES、WMS 等上层系统的数据交互延迟与信息断层，进一步削弱了任务响应速度，导致 AGV 集群难以与生产节奏保持同步，制约了车间物流的连续性与稳定性。

1.2 多车并行运行引发路径冲突与死锁问题

在高密度、高周转的智能工厂环境中，多台 AGV 共享路

网资源，传统静态路径规划方式无法适应实时交通状态。调度系统缺乏全局交通流监测与动态路径优化机制，多车在交叉路口、狭窄通道、上下料点位等关键区域极易发生路径抢占、相向拥堵、循环等待等问题。部分调度模式仅支持局部避障，无法实现全局路径协同优化，当多车同时逼近冲突区域时，只能通过等待、绕行或倒车等方式被动处理，严重降低通行效率。极端情况下会形成区域死锁，导致局部物流瘫痪，需要人工介入解锁，不仅增加运维成本，还会对连续生产造成重大影响，无法满足无人化、高可靠的智能物流要求。

1.3 任务分配机制僵化导致资源利用率不均

传统 AGV 调度多遵循就近分配、先到先服务等固定规则，缺乏基于全局状态的智能分配能力，难以实现任务与车辆资源的最优匹配。部分 AGV 长期处于高负荷连续运行状态，电池消耗过快、故障率上升，而部分 AGV 则长期闲置，形成明显的任务负载不均衡现象。调度系统未综合考虑 AGV 位置、剩余电量、运行状态、负载能力、维护周期等多维信息，导致任务分配缺乏科学性与合理性。这种粗放式分配模式不仅降低了单台 AGV 的有效作业率，还使得整体集群运力无法充分释放，增加了设备投入成本，难以实现物流资源的集约化与高效化利用。

1.4 调度决策缺乏智能优化与自适应学习能力

传统调度依赖人工设定规则与逻辑判断，不具备自主学习、迭代优化与自适应调整能力，面对复杂场景时鲁棒性较差。系统无法对历史配送数据、冲突事件、路径耗时、任务分布等信息进行深度挖掘与建模，难以在不同生产工况下自主切换最优调度策略。当车间布局调整、新增设备、改变工艺流程时，

原有规则无法快速适配,需要重新编程与调试,灵活性不足^[2]。同时,缺乏对能耗、时间成本、路径长度、冲突概率等多目标的协同优化能力,仅能实现单一指标优化,无法满足智能工厂高效、低耗、稳定、协同的综合调度需求,成为制约物流系统向高阶智能化升级的关键瓶颈。

2 基于 AI 的 AGV 协同配送调度策略构建

2.1 多源数据融合与实时感知体系构建

AI 调度策略的运行基础依托于多源数据融合与全域实时感知体系,通过对车间环境、设备状态、任务信息、交通态势的统一接入与标准化处理,为调度决策提供可靠的数据支撑。该体系以工业物联网为底层支撑,整合 AGV 车载传感器、工位呼叫终端、物流站点、充电区域、交通节点等多维度信息,实现对物料需求、车辆位置、行驶速度、负载状态、剩余电量、路径拥堵情况的实时采集与同步更新。数据层面打破 MES、WMS、ERP 等上层系统与 AGV 调度系统之间的信息壁垒,建立统一的数据交互接口与时序数据库,对动态任务、生产节拍、设备故障、路网占用等信息进行轻量化解析与高效传输,降低数据延迟与丢包率。通过边缘计算节点实现本地数据预处理与异常识别,减少云端计算压力,提升感知实时性。实时感知体系能够全面刻画智能工厂物流运行态势,为任务动态分配、路径全局优化、冲突主动规避提供可信输入,使 AI 调度具备稳定可靠的运行环境^[3]。

2.2 动态任务智能分配与协同决策机制

动态任务智能分配是 AI 调度策略的核心环节,通过对配送任务、AGV 资源、生产约束的全局优化,实现任务与运力的精准匹配。与传统固定规则分配模式不同,AI 驱动的任务分配以综合效益最优为目标,综合考量任务紧急程度、配送距离、工位优先级、AGV 当前状态、能耗成本以及路网负载等因素,构建多约束条件下的协同分配机制。系统对实时到达的插单任务、紧急补料任务、返工配送任务进行自动分级,按照生产节拍与工位等待代价动态调整任务执行序列,避免高优先级任务长期等待或低优先级任务占用关键资源。在多 AGV 并行作业场景中,通过全局负载均衡策略,避免单台或局部区域 AGV 超负荷运行,同时减少闲置车辆数量,提升集群整体作业效率。分配过程支持实时重调度,当出现 AGV 故障、路径阻断、任务取消等突发状况时,系统可快速对未完成任务进行再分配与路径重组,保证配送流程不中断。通过持续优化任务分配结构,提升物流响应速度与资源利用效率,使 AGV 集群始终处于高效协同运行状态。

2.3 全局路径动态规划与主动冲突消解

基于 AI 的全局路径动态规划与主动冲突消解,是解决多

AGV 并行拥堵、死锁、碰撞等问题的关键技术支撑^[4]。路径规划不再局限于单台 AGV 的最短距离,而是以车间整体交通流畅、通行效率最高为目标,构建全域路网拓扑模型。AI 调度系统实时监测各路段占用状态、拥堵等级与通行风险,对多 AGV 路径进行统一规划与时序协调,在路径生成阶段即规避潜在冲突区域。针对交叉路口、狭窄通道、换向点位等关键区域,采用时序避让与区域准入控制策略,通过分配通行时段与行驶顺序,实现多车有序通行,避免路径抢占与循环等待。当系统预判可能出现冲突时,自动对相关 AGV 执行路径微调、减速等待、绕行切换等操作,实现冲突前置消解而非事后处理。与传统局部避障相比,该方式从全局层面降低冲突概率,减少无效停车与倒车行为,提升整体通行效率。在车间布局变化、新增设备、临时障碍等场景下,路径规划模块可快速更新路网信息并自适应生成新路径,提升系统柔性与适应性。

2.4 自适应调度优化与全流程运维管控

自适应调度优化与全流程运维管控,为 AI 调度策略提供持续迭代能力与稳定运行保障。AI 调度系统具备环境自适应能力,可根据不同时段任务量、生产模式、车间状态自动调整调度参数,在高峰任务期侧重效率与冲突消解,在低负荷期侧重能耗优化与设备均衡使用。系统对历史运行数据进行深度分析,识别高频冲突区域、任务拥堵时段、路径瓶颈点位,形成优化建议并自动迭代调度规则,持续提升配送性能。在运维层面,建立 AGV 状态监测、故障预警、自动充电的一体化管控机制,当 AGV 电量低于阈值时,系统主动插入就近充电任务并合理安排接替车辆,避免中途停机^[5]。同时,对调度任务完成率、平均配送时间、冲突次数、设备利用率等关键指标进行可视化统计,为生产管理与物流优化提供量化依据。通过自适应优化与全流程管控,AI 调度策略能够长期保持高效稳定运行,推动智能工厂物流从自动化运行向智能化管控升级,为无人车间与黑灯工厂提供坚实物流保障。

3 AGV 协同配送 AI 调度策略实施成效

3.1 物流配送效率与任务响应能力显著提升

AI 调度策略的落地应用,从任务分配、路径规划到执行全过程实现优化升级,大幅提升智能工厂物料配送的整体效率。系统依托实时数据感知与动态重调度机制,对突发配送需求、紧急补料任务、插单生产等场景实现快速响应,任务平均分配时延与配送周期均得到有效压缩。相较于传统规则调度,AGV 从接收任务到抵达工位的等待时间明显减少,物料到位率与生产节拍匹配度大幅提高,有效缓解工位待料停机现象。AI 调度通过全局优化替代局部决策,使单趟配送路径更趋合理,空驶里程与无效行驶占比显著下降,配送流程的连续性与流畅度得到根本性改善,为车间高效稳定生产提供坚实物流保障。

3.2 多车运行冲突与死锁问题得到有效控制

在多AGV并行作业环境下, AI调度策略通过全局路径协调与主动冲突消解, 从源头降低拥堵、碰撞与死锁风险。系统对交叉路口、狭窄通道、上下料点位等关键区域实行时序管控与通行优先级分配, 避免多车同时抢占同一资源引发循环等待。实时交通态势感知与预判式路径调整, 使冲突不再依赖人工干预解锁, AGV自主避让与协同通行能力大幅增强, 车间物流瘫痪概率显著降低。冲突事件数量、停车等待次数、应急处理时长等指标均得到明显优化, 车间整体通行秩序更加规范, 无人化运行可靠性大幅提升, 为实现少人化、无人化智能车间奠定稳定基础。

3.3 AGV资源利用率与集群协同水平全面优化

AI调度打破传统就近分配、先到先服务等粗放模式, 通过多目标均衡分配实现AGV集群负载合理化。系统综合任务属性、车辆位置、电量状态、行驶负荷等信息进行全局匹配, 避免部分车辆长期高负荷运转而另一部分车辆长期闲置的现象, AGV平均作业率与有效利用率显著提升。在多机协同场景下, 车辆间任务衔接更加顺畅, 接力配送、分区作业、批量转运等协同模式得以高效执行, 集群整体运力得到充分释放。资源均衡利用不仅降低单台设备损耗与故障率, 还减少不必要的车辆投入, 提升物流系统经济性, 实现资源配置与调度效益的双重优化。

参考文献:

- [1] 李凤宪. 芯片工厂物流配送系统中多模式呼叫与AGV调度协同架构设计方法研究[J]. 物流科技, 2025, 48(22): 22-26.
- [2] 罗梦文, 王恺. 考虑车辆路径的多工厂生产与配送联合调度[J]. 运筹与管理, 2024, 33(11): 51-57.
- [3] 谢成. 医院药品配送系统自动导引运输车的使用与效果评价[J]. 中国药事, 2021, 35(08): 957-962.
- [4] 唐捷凯, 胡蓉, 钱斌, 等. 混合帝国竞争算法求解带多行程批量配送的多工厂集成调度问题[J]. 电子学报, 2022, 50(07): 1621-1630.
- [5] 王鹏宇, 石峻峰, 王波, 等. 装配式工厂物料配送多重影响因素分析[J]. 湖北工业大学学报, 2021, 36(01): 106-109+120.

3.4 系统自适应能力与智能化运维水平持续增强

AI调度策略具备较强的环境自适应与自我优化能力, 可应对车间布局调整、工艺变更、任务波动等动态场景, 无需大量人工修改规则即可保持稳定运行。系统通过对历史运行数据的持续学习与分析, 自动优化调度参数与路径偏好, 调度效果随运行时间逐步提升。依托状态监测、故障预警、智能充电等一体化管控功能, AGV在电量不足、设备异常等情况下可被提前感知并有序介入处理, 大幅减少中途停机与意外中断事件。调度全过程关键指标可视化呈现, 为生产管理、流程优化、设备改造提供数据支撑, 推动物流系统从被动响应向主动预判、从固定调度向智能决策升级, 为智能工厂整体数字化与智能化建设提供重要实践支撑。

4 结语

AI调度策略为智能工厂AGV协同配送提供了高效可靠的解决方案, 有效弥补了传统调度在动态适应、全局优化、协同决策等方面的不足, 在提升配送效率、降低冲突概率、均衡设备负载等方面具有显著优势。研究成果可直接服务于智能车间物流系统优化, 为生产物流智能化升级提供理论与技术支撑。未来可结合数字孪生、边缘计算、5G通信等技术, 进一步提升调度实时性与鲁棒性, 拓展多车型、跨区域、多系统协同调度能力, 推动智能制造物流体系向更高自动化、智能化水平发展。