

AGV 调度系统在机械装配车间的优化策略

张岩 杨锴 杜泽 窦丁 赵桂林

中联西北工程设计研究院有限公司 陕西 西安 710077

摘要: 随着智能制造技术普及, AGV调度系统成为机械装配车间自动化物料运输的核心支撑, 直接影响生产效率与成本控制。当前多数机械装配车间AGV调度系统存在路径规划不合理、任务分配不均、冲突处理滞后、系统稳定性不足等问题, 难以适配车间多品种、小批量的生产特点。本文结合机械装配车间生产需求, 依托智能优化算法、物联网等技术, 从路径规划、任务分配、冲突协调、系统稳定性四个维度提出优化策略, 通过具体车间场景验证优化效果。结果表明, 优化策略可显著提升AGV转运效率、降低冲突发生率, 为机械装配车间AGV调度系统升级完善提供理论与实践参考, 助力车间实现智能化转型。

关键词: AGV调度系统; 机械装配车间; 路径规划

引言: 机械装配车间作为机械制造企业的核心环节, 承担零部件组装、半成品转运等关键任务, 物料运输的精准度与效率直接决定生产进度与产品质量。自动导引车 (AGV) 凭借柔性化、自动化优势, 已广泛应用于车间物料运输, 而AGV调度系统作为统筹AGV运行的核心, 其性能短板制约了AGV优势的充分发挥。当前, 机械装配车间多采用多品种、小批量生产模式, 车间布局复杂、任务多变, 传统AGV调度系统已无法适配柔性生产需求。基于此, 本文聚焦AGV调度系统优化, 破解其应用瓶颈, 提升系统运行效能, 为机械装配车间自动化、智能化升级提供有力支撑, 推动机械制造行业高质量发展。

1 相关概念界定与理论基础

1.1 AGV调度系统核心内涵与功能

AGV调度系统依托计算机、通信、自动化控制技术, 对车间AGV统一统筹、调度与管理。其核心是实现AGV运输任务高效分配、路径最优规划及运行实时监控, 保障物料运输精准高效有序。核心功能有四: 任务分配, 接收生产系统任务, 结合AGV状态与任务优先级合理分配; 路径规划, 依车间布局、障碍物及AGV位置规划最优路径, 缩短时间、降低能耗; 冲突协调, 实时监测运行状态, 识别处理AGV间及与设备冲突, 避免拥堵碰撞; 实时监控与管理, 监测AGV运行、任务进度、电池电量等, 实现故障报警与充电调度, 保障系统稳定。其性能关乎AGV运输效率, 是机械装配车间自动化物料运输的核心保障。

1.2 机械装配车间生产特点

机械装配车间生产流程复杂, 对AGV调度系统适配性要求高。一是生产任务多变, 需依订单灵活调整计划, 零部件装配与物料运输需求变化, 要求调度系统柔性高、

响应快; 二是车间布局复杂, 功能区域多, 设备工位密集, 障碍物分布不规则且有动态障碍物, 增加路径规划与冲突处理难度; 三是物料运输需求多样, 涉及多种物料, 运输优先级、路线、装载量有差异, 调度系统需精准匹配; 四是生产连续性要求高, 流程衔接紧密, 物料运输需按时按量送达, 延误会影响生产进度, 要求调度系统运行高效稳定^[1]。

1.3 AGV调度系统优化的理论支撑

AGV调度系统优化主要依托智能优化算法、物联网技术、大数据分析技术。智能优化算法是路径规划与任务分配优化的核心, 如遗传、粒子群、A*算法等, 能在复杂约束下快速寻最优解, 解决路径规划复杂、任务分配不均问题; 物联网技术通过在AGV、设备、工位安装传感器, 实现设备间及与系统实时通信, 精准采集运行状态、物料位置、车间环境等数据, 为调度决策提供支撑; 大数据分析技术对采集数据进行分析处理, 挖掘AGV运行规律、任务执行特点及系统短板, 为路径、任务分配调整及系统稳定性提升提供依据, 实现动态优化与持续完善。

2 AGV调度系统在机械装配车间的应用现状及问题

近年来, 随着智能制造战略的推进, 越来越多的机械装配车间引入AGV调度系统, 推动物料运输向自动化、智能化转型, 取得一定的应用成效, 有效提升了物料运输效率, 降低人工劳动强度。但结合车间实际应用情况来看, 多数AGV调度系统仍存在诸多短板, 难以充分发挥AGV的优势, 制约车间生产效能的提升, 主要问题集中在四个方面。路径规划不合理, 当前多数调度系统采用静态路径规划方式, 未充分考虑车间动态障碍物、AGV实时运行状态及任务变化, 规划的路径往往不是最

优路径,易出现AGV绕行、拥堵等问题,增加运输时间与能耗;部分路径规划未兼顾多AGV协同运行,导致路径交叉过多,增加冲突发生概率。任务分配不均衡,调度系统在分配任务时,未充分考虑各AGV的运行状态、负载能力、任务完成情况,导致部分AGV任务繁重、长期处于高负荷运行状态,而部分AGV处于闲置状态,资源利用率低下;同时,任务优先级划分不明确,重要任务与普通任务混排,易出现重要任务延误现象。冲突处理不及时,调度系统对AGV运行状态的监测存在滞后性,难以实时识别AGV之间、AGV与设备之间的运行冲突,且缺乏科学有效的冲突处理机制,发生冲突后多采用简单避让方式,导致AGV运行效率下降,甚至出现运输中断^[2]。系统稳定性不足,受车间电磁干扰、数据传输延迟、硬件故障等因素影响,调度系统易出现运行卡顿、数据丢失等问题;同时,系统缺乏完善的故障预警与应急处理机制,出现故障后无法快速响应、及时修复,影响物流运输连续性与车间生产进度。

3 AGV调度系统在机械装配车间的优化策略

3.1 路径规划优化策略

针对路径规划不合理、动态适应性差等问题,结合机械装配车间布局特点与生产需求,采用“动态路径规划+多AGV协同路径优化”的方式,提升路径规划的科学性与合理性。(1)引入改进A*算法,优化静态路径规划,结合车间布局、障碍物分布,构建车间地图模型,通过改进算法的启发函数,缩短路径搜索时间,确保规划的初始路径最优;同时,融入AGV能耗因素,在路径规划过程中兼顾运输时间与能耗,实现路径优化与节能降耗的双重目标。(2)构建动态路径规划机制,依托物联网技术,实时采集车间动态障碍物位置、AGV运行状态、任务变化等数据,当车间环境或任务发生变化时,调度系统自动重新规划最优路径,避免AGV绕行、拥堵,提升路径规划的动态适应性;例如,当一路段出现临时障碍物时,系统快速识别并重新规划备选路径,确保AGV顺利通行。(3)优化多AGV协同路径,结合各AGV的任务路线与实时位置,采用遗传算法对多AGV路径进行协同优化,减少路径交叉与冲突点,实现多AGV高效协同运行;同时,划分AGV专属运行区域,对高频运输路段进行合理规划,避免多AGV在同一区域聚集,进一步降低冲突发生概率。

3.2 任务分配优化策略

针对任务分配不均衡、优先级不明确等问题,立足机械装配车间生产任务特点,构建“优先级排序+均衡分配+动态调整”的任务分配优化体系,提升任务分配的合

理性与高效性。明确任务优先级划分标准,结合物料运输的紧急程度、生产进度需求、物料重要性,将运输任务划分为高、中、低三个优先级,高优先级任务(如关键零部件运输、紧急补料)优先分配、优先执行,确保重要任务不延误;同时,建立任务优先级动态调整机制,根据生产进度变化,实时调整任务优先级,适配车间柔性生产需求;构建均衡任务分配模型,采用粒子群算法,结合各AGV的实时运行状态、负载能力、任务完成进度、电池电量等因素,将任务合理分配至各台AGV,确保各AGV任务负载均衡,避免出现闲置或高负荷运行现象,提升AGV资源利用率;例如,对于电量不足的AGV,优先分配短距离、低负载任务,完成后调度至充电区域,确保AGV持续稳定运行;建立任务执行动态监控机制,实时跟踪各AGV任务完成进度,当某台AGV出现故障或任务延误时,调度系统自动将其未完成的任务重新分配至空闲AGV,确保任务按时完成,保障车间生产连续性^[3]。

3.3 冲突协调优化策略

针对冲突处理不及时、处理方式不合理等问题,结合机械装配车间AGV运行特点,构建“实时监测+提前预警+科学处理”的冲突协调优化机制,减少冲突发生,提升冲突处理效率。强化AGV运行实时监测,依托物联网技术与传感器设备,实时采集各AGV的位置、速度、运行方向等数据,构建AGV运行状态实时监测模型,精准识别AGV之间、AGV与车间设备之间的潜在冲突与即时冲突,实现冲突的早发现、早预警。建立冲突提前预警机制,根据AGV实时运行数据,预测可能发生的冲突,提前向相关AGV发送预警信号,调度AGV调整速度、改变运行方向或暂停运行,避免冲突发生;例如,当两台AGV即将在交叉路口相遇时,系统提前预警,调度优先级低的AGV暂停运行,待优先级高的AGV通过后再继续执行任务。优化冲突处理策略,针对不同类型的冲突,采用差异化的处理方式:对于AGV之间的路径交叉冲突,采用“优先级优先+避让等待”的方式,优先保障高优先级任务AGV通行;对于AGV与动态障碍物的冲突,采用“实时避让+路径调整”的方式,调度AGV快速调整路径,避免碰撞;对于多AGV聚集冲突,采用“分区调度+分流运行”的方式,调度各AGV前往不同区域,缓解聚集压力,确保AGV有序运行。

3.4 系统稳定性优化策略

针对系统稳定性不足、故障处理不及时等问题,从硬件、软件、数据传输三个层面,提出系统稳定性优化策略,保障AGV调度系统持续稳定运行。优化硬件配置,选用抗干扰能力强、性能稳定的传感器、通信设备、控制器

等硬件设备,提升硬件设备的运行稳定性;同时,定期对硬件设备进行检修、维护与校准,及时更换老化、故障设备,避免硬件故障导致系统运行异常;合理布置通信设备,扩大通信覆盖范围,减少信号盲区,确保数据传输顺畅。优化软件系统,对调度系统软件进行升级完善,修复软件漏洞,提升软件运行稳定性;引入冗余设计,当系统某一模块出现故障时,冗余模块自动启动,确保系统正常运行,避免出现系统瘫痪;优化软件算法,提升系统数据处理速度与调度决策效率,减少系统卡顿现象。强化数据传输保障,采用5G+WiFi双模通信方式,提升数据传输速度与稳定性,减少数据传输延迟、丢失等问题;建立数据加密与备份机制,对调度数据、运行数据进行加密处理与定期备份,防止数据泄露或丢失;加强车间电磁干扰防控,采取屏蔽、接地等措施,减少电磁干扰对数据传输与系统运行的影响。

4 优化策略应用验证

4.1 验证场景与方案

选取一个机械装配车间作为验证场景,此车间主要开展中小型机械零部件的生产工作,采用多品种、小批量生产模式。车间内配置了8台AGV,承担着将零部件从仓库转运至装配工位、检测工位的任务。当前,该车间AGV调度系统存在转运效率低下、冲突频繁发生、任务分配不均衡等问题。应用本文提出的优化策略,对该车间的AGV调度系统进行改造。搭建优化后的调度系统平台,引入改进型A*路径规划算法以及改进型遗传算法,同时完善动态调度与协同控制机制。验证方案采用对比实验的方式,分别记录优化前和优化后AGV的转运时间、空闲率、冲突次数、车间物料供应及时率等核心指标,通过对比分析来验证优化策略的可行性与有效性^[4]。

4.2 验证结果与分析

验证结果表明,优化后的AGV调度系统各项核心指标均有显著提升。在优化之前,AGV平均转运时间为18.6分钟,空闲率为23.8%,日均冲突次数达到12次,物料供

应及时率为82.3%;而优化之后,AGV平均转运时间缩短至11.2分钟,相较于优化前下降了39.8%,空闲率降至8.5%,较优化前下降了64.3%,日均冲突次数减少至2次,较优化前下降了83.3%,物料供应及时率提升至97.6%,较优化前提升了15.3%。深入分析可知,本文提出的优化策略能够有效解决传统调度系统存在的诸多问题。例如,路径规划不合理导致AGV行驶路线过长、效率低下;任务分配不均使得部分AGV负载过重而部分闲置;动态响应滞后无法及时应对车间内的突发情况;协同冲突频发影响整体运输效率等。通过应用优化策略,显著提升了AGV的转运效率与资源利用率,确保物料转运能够与装配节拍精准匹配,很好地适配了机械装配车间多品种、小批量的生产模式,优化效果十分显著。

结束语

本文围绕AGV调度系统在机械装配车间的优化策略展开深入研究,结合车间生产特点与系统应用瓶颈,构建了多维度优化体系,通过具体场景验证了策略的可行性与有效性。AGV调度系统的优化是一个动态完善的过程,未来可结合人工智能、大数据等前沿技术,进一步提升系统自学习、自优化能力,推动调度系统与车间其他生产系统深度融合。本次研究成果可为机械装配车间AGV调度系统升级提供实践参考,助力机械制造行业实现自动化、智能化高质量发展。

参考文献

- [1]郑婷婷,王东,刘伟静,等.面向智能AGV调度系统的软件自适应机制研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2025,44(4):74-82.
- [2]王飞.散货码头虚拟作业系统与AGV调度系统设计研究[J].珠江水运,2024(24):148-150.
- [3]陈峰雨,谢玮,马家辰,等.基于双层蚁群算法的纺织车间多AGV调度系统[J].棉纺织技术,2024,52(10):1-10.
- [4]陆伟.多智能体路径规划在AGV调度系统中的应用[J].汽车与驾驶维修,2025(5):74-77.