

“货到人”系统中考虑环境因素的遗传算法多AGV动态路径规划研究

冯健洋 金桂根

云南财经大学, 中国·云南 昆明 650221

摘要: 伴随着智能物流和自动化仓储技术的迅猛发展, 货到人系统也成为了现代仓储的主要方式。本文中所用 AGV 数量较多, 它们需要共同完成货物的搬运工作, 因此其路径规划问题就成为了系统运行效率和资源利用率的重要因素。但是传统的路径规划方法大多只考虑最短路径或者最短时间, 没有考虑到能耗、拥堵等因素对整个系统性能和可持续发展的影响。本文在分析货到人系统结构和多 AGV 运行特点的基础上, 加入环境因素来建立多目标优化路径规划模型, 用遗传算法来设计动态路径规划方法, 从而达到多 AGV 在复杂动态环境下高效协同运行的目的。利用仿真实验来检验所提出的方法对于降低能耗、缓解拥堵、提高作业效率的可行性, 给绿色物流、智能仓储系统优化提供理论支持和实践参考。

关键词: 货到人系统; 多 AGV; 路径规划; 遗传算法; 环境因素; 绿色物流

Research on Dynamic Path Planning of Multiple AGVs Considering Environmental Factors in the "Goods-to-Person" System Using Genetic Algorithm

Feng Jianyang, Jin Guigen

Yunnan University of Finance and Economics, China Yunnan Kunming 650221

Abstract: With the rapid development of intelligent logistics and automated warehousing technologies, the goods-to-person system has become a major approach in modern warehousing. In this paper, a large number of AGVs are used, and they need to jointly complete the task of goods transportation. Therefore, the path planning problem has become an important factor affecting the operational efficiency and resource utilization of the system. However, traditional path planning methods mostly only consider the shortest path or the shortest time, without taking into account the impact of factors such as energy consumption and congestion on the overall system performance and sustainable development. Based on the analysis of the structure of the goods-to-person system and the operational characteristics of multiple AGVs, this paper incorporates environmental factors to establish a multi-objective optimization path planning model and uses genetic algorithms to design a dynamic path planning method, aiming to achieve efficient and coordinated operation of multiple AGVs in complex and dynamic environments. Simulation experiments are conducted to verify the feasibility of the proposed method in reducing energy consumption, alleviating congestion, and improving operational efficiency, providing theoretical support and practical references for green logistics and intelligent warehousing system optimization.

Keywords: Goods-to-person system; Multiple AGVs; Path planning; Genetic algorithm; Environmental factors; Green logistics

0 引言

电子商务以及供应链迅猛发展之时, 传统的仓储模式已经不能适应高效率、低成本、高灵活性的物流要求。货到人系统依靠自动化设备把货物主动送到操作人员身边, 形成一种“人不动、货移动”的作业模式, 进而大幅度提高拣选的效率 and 准确率。AGV 是主要的执行单元, 负责货物搬运以及路径的执行工作, 路径规划问题成了智能仓储

领域的重要研究方向。目前的研究大多关注于路径最优或者调度效率, 但是在“双碳”目标以及绿色物流理念的推动下, 仅仅从效率的角度出发已经不能满足发展的需要了。能耗、拥堵和设备利用率等也成了重要的评价指标。所以, 动态环境里达成多 AGV 高效、低能耗协同运转就成了关键问题。根据遗传算法具有很好的全局搜索能力, 本文把环境因素加入到路径规划模型中, 提出多 AGV 动态路径

规划的方法来提高系统的效率、节能和绿色发展。

1 “货到人”系统与多AGV路径规划问题分析

1.1 “货到人”系统结构与运行机制

货到人系统一般由仓储货架系统、AGV搬运系统、订单管理系统和作业人员工作站等组成。订单信息经过系统处理后被分配到相应任务上,AGV根据调度指令到达指定货架位置,将货物搬运到拣选工作站,最后返回或者执行下一个任务。整个过程依靠信息系统同物理设备的配合来实现物流作业的自动化、智能化。

该系统模式明显改善了以往的人到货低效作业方式,减少人工行走的距离和时间,提高作业效率。自动化物流系统可以24小时不间断工作,增大仓储系统的吞吐量,在电商高峰期也能保证正常运转。从宏观上讲,自动化物流一方面可以提高企业的生产效率,另一方面也会促进整个社会资源配置效率的提高。智能仓储是现代供应链的重要组成部分,对降低库存成本、缩短交货时间、改善客户体验等起着重要的作用,给现代经济的发展提供强有力的支撑。

1.2 多AGV路径规划问题及环境影响

货到人系统中多个AGV在有限空间内同时工作,所以协同运行就变得十分复杂。因为任务数量多、路径交叉频繁,所以很容易出现节点冲突、对向冲突、追尾冲突等问题,从而影响系统运行效率。随着AGV数量的增多,路径规划问题变得越来越复杂,调度也越加困难。如果路径规划不合理就会造成局部区域的拥堵甚至是系统死锁,从而影响整个作业效率。频繁启停、绕行都会造成设备能耗增加、寿命下降。就环境而言,AGV运行时的能耗问题也不能忽略。能耗过高不仅会造成企业运营成本的增加,也会对环境造成间接的碳排放。拥堵、等待时间变长都会造成能源的浪费。因此,在绿色物流背景之下,将能耗、拥堵等因素加入到路径规划的目标中,对于系统效率和环境效益的统一是有益的。

2 考虑环境因素的路径规划模型构建

2.1 多目标优化模型设计

多AGV路径规划时,一个优化目标很难完全体现系统的性能,所以要建立多目标优化模型。首先就存在路径长度、时间成本这两种主要的目标,从而影响任务完成速度。第二,将能耗模型中的AGV行驶距离、加减速过程等变量加入能耗计算中,更加真实的体现出运行成本。另外系统中拥堵、等待时间等都会起到重要的作用。建立节

点占用情况和路径冲突概率模型,就可以得到AGV运行时的等待时间,将其设为优化目标。

在此基础上构建多目标优化函数:

$$\min F = w_1 \sum L_i + w_2 \sum T_i + w_3 \sum E_i + w_4 \sum W_i$$

其中, L_i 表示路径长度, T_i 表示任务完成时间, E_i 表示能耗, W_i 表示等待时间, w_1, w_2, w_3, w_4 为权重系数。

为了体现环境因素对系统的影响,引入能耗模型:

$$E = \sum (\alpha d + \beta v^2)$$

d 是行驶距离, v 是运行速度, α, β 都是能耗系数。

该模型把时间、路径、能耗一起考虑进去,从而达到效率和环境效益的统一优化。

2.2 约束条件与动态环境建模

路径规划时要考虑到许多约束条件,以保证方案的可行性。第一是路径冲突约束,即任何时刻同一个节点或者路径段只能被一台AGV所占用。其次就是AGV运行约束,速度限制、转弯能力等。另外就是任务优先级的约束,不同的任务按照紧急程度来排序。实际环境当中还存在着任务插入、设备故障这些动态的变化。因此要建立动态环境模型,用实时信息更新来实现路径规划,以提高系统的适应性以及减少能耗的浪费。

3 基于遗传算法的多AGV动态路径规划方法

3.1 遗传算法设计与优化策略

遗传算法是模仿自然选择和遗传进化来达到全局最优解的一种方法。多AGV路径规划问题中用路径编码方式,把AGV从起点到终点的行驶路径表示成一个有序节点序列,这种表示方法结构清楚,便于后面进行遗传操作,可以有效地避免产生不可行解。在初始种群的构造上可以采用随机产生和启发式相结合的方法。使用最短路径算法产生部分高质量的个体,其余个体随机产生,这样既保证了解的多样性又保证了初始质量,有利于提高算法收敛速度。适应度函数的设计属于遗传算法的主要部分。为了更加全面地反映路径的好坏,把路径长度、任务完成时间、运行能耗、拥堵程度等各方面因素结合起来,用加权的方法来构建适应度函数。根据不同的应用场合来调节各个指标的权重,使优化的结果更贴近实际情况,在节能要求高时可以加大能耗的权重。遗传操作中选择算子可以使用轮盘赌或者锦标赛的方法来提高优良个体的保留率,交叉操作作用交换路径片段的方式重组信息,产生新的路径组合,变异操作作用随机改变节点顺序的方式增加种群多样性,避免算法陷入局部最优。为了提高算法性能,可以采用精英保留

法, 把适应度较高的个体直接传到下一代中去, 防止好的解被丢失。除此之外, 还可以使用自适应参数调节的方法, 即在迭代的过程中自动调节交叉概率、变异概率。搜索开始时激发了探索精神, 后来集中到快速收敛的过程, 努力获得高效且优秀的结果。经过上述策略的综合使用之后, 遗传算法可以在复杂的路径规划问题上体现出比较好的稳定性和优化能力。

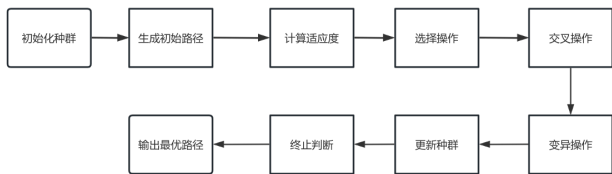
3.2 动态路径规划实现机制

在动态环境里, 路径规划要具有实时调整的能力。采用全局规划和局部重规划相结合的方式, 在保证整体最优的同时提高系统响应速度。当环境发生变化的时候, 只对受到影响的区域做局部路径重规划, 从而减小计算量, 提高算法的实时性和实用性。冲突检测一般用时间 - 空间模型来实现。将 AGV 运行的过程映射到时间、空间两个维度, 对可能存在的冲突做出预判。当检测到节点冲突或者路径冲突的时候, 可以使用等待策略、路径绕行、优先级调整等方式进行避让, 从而保证系统运行的安全性和稳定性。多 AGV 协同调度依靠统一的控制系统来完成各个 AGV 的任务分配以及路径规划。调度系统根据任务优先级、路径冲突情况和设备运行状态来完成资源的合理分配以及系统效率的整体提高。

遗传算法在动态路径规划中的实现流程如下:

首先对种群进行初始化, 产生初始路径集; 然后计算每个个体的适应度值; 在适应度值的基础上选择出优劣; 然后利用交叉操作重组路径信息, 变异操作增加种群多样性; 之后更新种群, 进入下一轮迭代; 在每一轮迭代结束的时候检查是否达到终止条件, 如果达到了则输出最优路径, 否则继续迭代。

该流程可概括为:



通过以上机制, 把遗传算法和动态路径调整结合起来, 在复杂的多变的仓储环境中可以达到高效的、稳定的路径规划的目的, 给多 AGV 系统优化运行提供支持。

4 仿真实验与环境社会效益分析

仿真实验中创建出具有代表性的仓储作业场景, 对不同的路径规划方法加以比较分析。实验环境有规则排列的货架区域、AGV 通行通道和拣选工作站等主要因素, 根据实际运行情况设置不同的任务量和 AGV 数量。采用统一

调度规则和运行参数, 对各种算法进行测试, 保证结果的可比性、客观性。评价指标有任务完成时间、系统运行能耗、路径冲突次数等, 这些指标可以较好的体现系统的运行效率和稳定性。经过多次实验数据取平均值来减小随机因素的影响, 保证结果的可靠性, 为后面分析提供依据。

表1 算法性能对比

算法	完成时间(s)	能耗(kWh)	冲突次数
最短路径算法	1250	18.6	32
基础遗传算法	1100	16.2	21
本文方法	960	13.8	10

从表中可知, 本文的方法在任务完成时间、系统能耗、冲突控制这三个方面都比其他的算法要好。与传统的 shortest path algorithm 相比, 路径规划更为合理, 能减少无效行驶、等待时间等, 任务完成效率大大提高。本文的方法在多目标优化中对路径的选择做了更为全面的评价, 使运行过程更加平稳。冲突次数减少, 说明路径协调能力提高, 局部拥堵现象减少, 运行效率提高。能耗指标下降也说明该方法运行时更加节能, 可以减小设备的负荷, 延长设备的使用寿命, 对系统的长期稳定运行有积极作用。从环境效益上讲, 对能耗数据加以转换, 可以评判碳排放状况, 进而体现路径改善对环境产生的影响大小。

表2 环境影响对比

指标	传统方法	本文方法
能耗(kWh)	18.6	13.8
碳排放(kg)	15.81	11.73

从表 2 可以看出, 本文的方法能耗降低, 碳排放量也跟着减少。根据电力消耗和碳排放之间的转换关系可知, 整个碳排放下降大约 25%。该结果表明, 路径优化可以提高运行效率, 也可以减少能源消耗, 对环境保护有积极意义。从更广泛的意义上讲, 物流系统能耗降低就是能源利用效率提高, 有利于缓解能源压力, 减少对传统能源的依赖。从社会效益角度来讲, 该方法依靠改善任务安排以及路径规划, 提升设备的利用率, 削减空载运转以及重复工作的情况, 从而使得资源调配更为恰当。系统运行效率的提高可以加快作业速度, 提高订单处理能力, 进而提升企业的服务水平和市场竞争力。节能降耗可以减少企业运行成本, 减轻企业的经济负担, 对经济发展起着促进作用。在双碳目标的背景下, 该类优化方法有很强的现实意义, 有利于物流行业向绿色化、智能化方向发展, 对实现可持续发展有重要意义。

5 结语

本文以货到人系统中多 AGV 路径规划问题为研究对

象, 建立了一个考虑环境因素的多目标优化模型, 用遗传算法设计出动态路径规划的方法。经过研究可知, 在复杂的动态环境下可以使用该方法来完成高效的、低能耗的路径规划, 从而达到经济和环境效益的双赢目的。从应用上讲, 该方法可以被广泛应用于智能仓储、电商物流、自动化生产系统等各个领域, 对提高系统运行效率、降低生产成本有非常重要的意义。在绿色物流、可持续发展的大环境下, 它给实现节能减排的目标提供技术支持。未来可以通过人工智能、强化学习等方式改进算法的自适应性, 在实际系统上做验证和优化的工作, 使智能物流系统更加完善。

参考文献:

- [1] 郭二东, 李国华. 基于改进遗传算法的 AGV 路径规划方法研究[J]. 信息技术与信息化, 2024(08):36-39.
- [2] 陈青, 许汉文. 基于改进蚁群遗传算法的 AGV 路

径规划[J]. 机器人技术与应用, 2024(03):46-49.

- [3] 冯舒, 刘明. 基于遗传算法改进的 AGV 路径规划研究[J]. 现代电子技术, 2024, 47(04):123-127.DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2024.04.022.

- [4] 栗统. 基于改进遗传算法的多 AGV 协同路径规划以及柔性装配车间集成调度[D]. 天津大学, 2023.DOI:10.27356/d.cnki.gtjdu.2023.001828.

- [5] 王路路. 基于改进遗传算法的孪生工厂 AGV 路径规划方法[J]. 软件, 2023, 44(05):76-81+106.

- [6] 魏思怡. 基于混合遗传算法的车间 AGV 路径优化研究[D]. 四川大学, 2023.DOI:10.27342/d.cnki.gscdu.2023.004312.

作者简介: 第一作者: 冯健洋, 男, 汉族, 四川达州人, 硕士研究生在读, 云南财经大学, 研究方向: 供应链管理。