

基于改进遗传算法的AGV集结路径研究

赵睿,楼佩煌,钱晓明,武星,胡泊

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:AGV是自动物流仓储系统中的重要组成部分。针对多台AGV集结问题,在对路径时间窗进行分解的基础上,使用改进遗传算法进行求解,详细描述了算法求解的步骤。该遗传算法加入了基于时间窗的调整策略,能够有效减少冲突以及死锁发生的概率,加快求解的收敛速度,能在规定时间内求解出使集结总时间最短的方案。仿真分析表明:与传统遗传算法以及深度优先搜索算法比较,该算法的效果和各项性能更好。

关键词:路径规划;遗传算法;时间窗

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)01-0111-04

A Study on AGV Aggregation Path Based on Improved Genetic Algorithm

ZHAO Rui, LOU Pei Huang, QIAN Xiaoming, WU Xing, HU Bo

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The AGV is an important part of the automated logistics warehousing system. Based on the time window, this paper elaborates an improved genetic algorithm dealing with AGV assembly problems and the steps of the algorithm solution in details. The genetic algorithm, added in an adjustment strategy based on time window, is effective in reducing the probability of collisions and deadlocks, accelerating the convergence of the solution, and finding the optimal solution of the total assembly time in a specified time. The simulation proves that the algorithm enjoys superiority over the traditional genetic algorithm and depth-first search algorithm in terms of effect and performances.

Keywords: path planning; genetic algorithm; time window

0 引言

随着中国制造2025和工业4.0的不断推进,多AGV(automated guided vehicle)系统也越来越多地应用于各类仓库和生产车间中^[1]。然而实际环境要复杂得多,多AGV系统可能面临尺寸、质量、形状差异较大的搬运任务,而单台AGV由于载重、尺寸限制无法完成全部的搬运任务。为了解决这个问题,需要将具备协同搬运能力的AGV加入到多AGV系统中。

当搬运任务发布,确定了多AGV系统中需要执行协同搬运任务的AGV序列之后,需要为这几台AGV规划从当前位置到达任务点的路径,使AGV从分散状态集中到需要执行协同搬运任务的工位点,即协同搬运AGV的集结。集结速度的快慢直接影响了多AGV系统响应任务的速度。集结速度过慢会导致搬运任务的等待时间过长,如果路径规划不当还会造成AGV行驶时冲突,则任务可能陷入死锁状态。

为了寻找合适的路径规划算法,许多学者对此进行了深入研究。文献[2]通过区域划分及引入启发式策略,提

出基于区域自治的分布式动态路径规划算法,可显著提高路径规划的效率;文献[3]提出了一种将遗传算法和人工势场法相结合的复杂环境下双层路径规划思想,能够提高机器人路径规划能力;文献[4]以AGV运行时间最短为目标,将多种群遗传算法引入到两阶段路径规划策略;文献[5]引入分节拍的处理思想,通过将约束条件变成一种染色体裂变和合并操作结合的遗传算子,对每个节拍内的分拣路径进行优化。

综合以上考虑,对于双向单车道的工作环境,选择了一种通过遗传算法进行求解基于时间窗的最短路径规划方案^[6],用以解决多AGV系统中的AGV集结问题。

1 问题描述与建模

在该模型中,路径网路是双向单车道的网络布局^[7]。对每条路径设置标志位 F_{ij}^l ,代表第 i 个交叉点与第 j 个交叉点相连的路径可行驶的方向,值可取0、1、-1、2。0表示路径双向可以通行,1表示路径可以由第 i 个交叉点向第 j 个交叉点通行,-1表示路径可以由第 j 个交叉点向第 i 个交叉点通行,2表示路径禁止通行,同一时刻路径只能有

基金项目:国家自然科学基金项目(61973154);江苏省重点研发计划项目(BE2016004-3);南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金项目(kfj20180517)

第一作者简介:赵睿(1995—),男,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为智能制造和移动机器人。

一种通行状态。

本文假设选定执行协同搬运任务的AGV都处于空闲状态,选定的AGV初始状态可以在路径网络的任意位置,且不受系统中其他AGV的影响。因此,只要考虑选定执行任务的几台AGV的冲突关系,不用考虑整个多AGV系统里其他AGV的堵塞问题。假定AGV的状态只有匀速行驶、停止和转弯,不考虑AGV遇到障碍以及在交通路口减速加速的过程。

以上述假设为基础,可以得出多AGV系统的时间窗模型为:

$$T = \{t_{jm}^i = [t_{jms}^i, t_{jme}^i]\} \quad (1)$$

$$t_{jme}^i - t_{jms}^i = \frac{L_j^i}{V_o} \quad (2)$$

$$t_{jme}^i - t_{jms}^i = \frac{\theta_i}{\omega_o} \quad (3)$$

即AGV的运行总时间是由一段段时间窗组成的,时间窗包括AGV进入和驶出路径网络上的每一段子路径和每一个转弯点,分别给出其计算公式;其中,子路径的时间窗计算公式为式(2),转弯点的时间窗计算公式为式(3)。 t_{jm}^i 是路径的第 m 个时间窗口; t_{jme}^i 是路径的第 m 个时间窗口的终了时间点; t_{jms}^i 是路径的第 m 个时间窗口的起始时间点; V_o 是AGV的运行速度,取0.5 m/s; L_j^i 是第 i 个交叉点与第 j 个交叉点相连的路径长度; ω_o 是AGV转弯时的角速度; θ_i 是第 i 个拐弯点的拐弯角度。

本文的优化目标是使所有AGV由初始点到达集合点的用时最短,即到达集合点最晚的那台AGV用时最短。AGV运行时间包括运行时间和等待时间(阻塞时间),即建立的目标函数如下:

$$\min T = \max(T_{rx} + T_{wx}) \quad (4)$$

约束条件为:

$$2 \leq \sum_{x=1}^N \alpha_x \leq N \quad (5)$$

$$O_j^i = \frac{L_j^i}{L_{o_i} + L_v} \quad (6)$$

$$N_{lj}^m = y_j^i \sum_{l=1}^x p_{lj}^{lm} \quad (7)$$

$$N_{li}^m = y_j^i \sum_{l=1}^x q_{li}^{lm} \quad (8)$$

$$N_{lj}^m + N_{li}^m \leq O_j^i \quad (9)$$

$$\alpha_x = \begin{cases} 1, & \text{编号为 } x \text{ 的 AGV 得到搬运任务} \\ 0, & \text{编号为 } x \text{ 的 AGV 没有得到搬运任务} \end{cases} \quad (10)$$

$$p_{lj}^{lm} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } l \text{ 在 } t_{lj}^i \text{ 时间窗内在路径 } i \text{ 到 } j \text{ 上} \\ 0, & \text{车辆 } l \text{ 在 } t_{lj}^i \text{ 时间窗内不在路径 } i \text{ 到 } j \text{ 上} \end{cases} \quad (11)$$

$$q_{li}^{lm} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } l \text{ 在 } t_{li}^i \text{ 时间窗内在路径 } j \text{ 到 } i \text{ 上} \\ 0, & \text{车辆 } l \text{ 在 } t_{li}^i \text{ 时间窗内不在路径 } j \text{ 到 } i \text{ 上} \end{cases} \quad (12)$$

$$y_j^i = \begin{cases} 1, & \text{两交叉路口间的路径存在} \\ 0, & \text{两交叉路口间的路径不存在} \end{cases} \quad (13)$$

$$N_{lj}^m \times N_{li}^m = 0 \quad (14)$$

其中: T_{rx} 表示第 x 辆小车的运行时间; T_{wx} 表示第 x 辆小车的

等待时间; O_j^i 表示路径容纳能力; L_j^i 表示路径长度; L_{o_i} 表示AGV运行时的最小间距; L_v 表示AGV本身的长度; N_{lj}^m 表示由 i 交叉点驶向 j 交叉点的AGV数量; N_{li}^m 表示由 j 交叉点驶向 i 交叉点的AGV数量。

约束条件表示的具体含义如下:式(5)表示参与协同搬运的AGV数量不得超过系统中总的AGV数量,不得少于2台;式(6)表示每个双向路径的最大容纳能力固定;式(7)、式(8)表示在时间窗 t_{lj}^i 内在路径上的AGV数量;式(9)表示在一条路径上行驶的AGV不能超过设定值;式(14)表示一条路径上不能有相对行驶的AGV。

2 改进遗传算法的求解流程

2.1 个体编码设计

遗传算法是一种启发式搜索算法,适应于本文研究NP难的问题。对于路径规划问题,编码方式可以采用AGV的路径串表示染色体,路径串上的一个个路径节点表示染色体上的基因。染色体的长度可变,但是起点和终点由AGV当前位置和目标位置决定。每条染色体的编码不得产生闭环回路,即AGV运行过程中不得回头。

2.2 种群初始化

根据任务选取的AGV数量,确定染色体支线的数量 n ;根据AGV的初始位置和任务点的位置,确定染色体的头尾基因;查询上位机的路径网络信息以及上位机交通管理的约束条件,从初始点开始,选取任一个可以到达的下一节点作为下一个基因,直到找到终了节点。如果寻找的过程中产生了回路,即寻找到了之前走过的路径节点,则把这段回路整个删除,重新寻找。由于路径网络复杂度不高,因此种群数选为30。重复上述步骤30次,产生一个包含30个个体 S_i 的初始种群。

2.3 适应度计算

适应度是评价个体优劣的衡量指标,适应度越高则个体被选中的概率越高。适应度值计算标准采用如下的评价函数:

$$F(S_i) = \frac{1}{l_{\text{length}} \times c_1 + N_i \times c_2 + t_i \times c_3} \quad (15)$$

式中: l_{length} 表示整条路径的总长度; N_i 表示路径拐弯点的个数; t_i 表示由于时间窗调整需要等待的时间; c_1 、 c_2 、 c_3 表示权重值,且 $c_1 + c_2 + c_3 = 1$ 。

2.4 交叉变异操作

交叉操作是将两个父代的个体提取其中的一部分基因,互相进行替换以及重组生成新的个体,为的是增加个体基因的丰富性。交叉操作是否进行由交叉概率 P_c 决定,取 $P_c = 1$ 。由于染色体是由 N 条独立的子染色体组成,因此不能用常规的单点或双点交叉模式。为了保证AGV到达集合点的时间差距不会太大,因此需要保证 N 条子染色体适应度比较接近,提出一种平均化交叉模式。

该交叉模式的基本思想是保证染色体的评价价值比较平均,不会出现评价价值特别低的子染色体,从而拖慢整体的集合时间。该交叉操作包含以下几个步骤:首先根据评价价值从两个父代个体中 S_1 和 S_2 选出最差的一条子染色体,然后将 S_1 中最差的子染色体用 S_2 中对应的子染色体替换掉,将 S_2 中最差的子染色体用 S_1 中对应的子染色体替换掉,从而得到两个子代 P_1 和 P_2 。

变异操作是否进行由变异概率 P_m 决定,取 $P_m = 0.1$ 。随机的选取每条子染色体的一个基因,然后将其替换为一个新的路径节点位置。

变异操作会有以下几种可能出现的情况:

1) 变异的节点与初始路径无法连通,属于独立于原路径的节点:

对无法连通的子路径段进行节点搜索,增加节点使其连通;

• 4,6,9,11,12,15

由图1可知,节点6与路径不相连,因此增加节点补充在路径上,变异后子染色体为

• 4,1,3,6,17,9,11,12,15

2) 变异的节点与初始路径重合,则将变异点与重合点之间的节点删除重新选择;

• 4,12,9,11,12,15

由图1可知,节点6与路径不相连,因此增加节点补充在路径上,变异后子染色体为

• 4,10,2,5,7,15

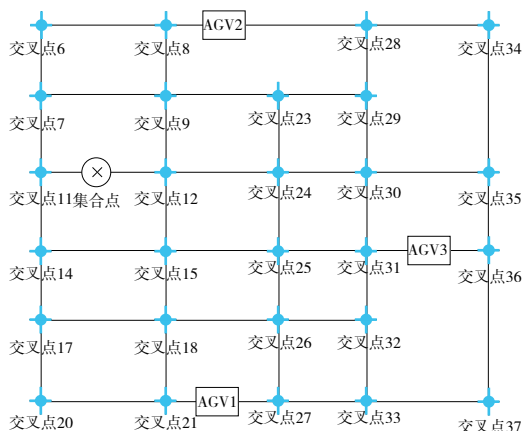


图1 车间路径网络模型

2.5 基于时间窗进行调整

初始种群和经过交叉变异的种群需要通过调整时间窗,从而解决AGV运行时干涉或者死锁的问题。对于3车集合的问题来说:以集合点为11-12之间的某个任务为例,该任务需要3台AGV共同执行协同搬运任务。随机在种群中选择1条染色体,该染色体由3条子染色体组成,如表1所示。

表1 染色体基因表以及对应的时间窗

车辆号	子染色体(站点号)	时间窗/s
AGV1	21—18—15—25—24—12—终点	2.8—13.4—25.1—33.6—42.1—50.6—57.7
AGV2	8—9—12—终点	3.2—15.3—23.2—30.2
AGV3	31—25—15—12—终点	11.7—22.3—31.3—39.8—46.8

通过分析时间窗可知,时间窗冲突如下:

路径15—25,AGV1和AGV3产生了相向冲突,时间窗口为[22.3,33.6]。由于同一段时间窗内,一条路径只能允许一个方向通行AGV,这种路径冲突需要重新规划时间窗;在路径12—终点,AGV1和AGV3产生了同向冲突,时间窗为[39.8,57.7]。由于路径单向可以容纳多台AGV运行,通过分析得出:两台AGV间隔距离>最小运行间隔,并且路径承载数>2,不需要调整时间窗。

有两种方法可以对时间窗的冲突进行调整:延迟时间窗和路径重新规划。

1) 延迟时间窗

该方法是通过暂停AGV的运行,来使得该AGV的时间窗后移,从而解决时间窗的冲突问题。对于路径15—25在时间窗口[22.3,33.6]的冲突,则可以通过延迟AGV1到达时间或者AGV3到达的时间。需要延迟的时间为:

$$t_{AGV1} = t_{\Delta} + \frac{L_{v_0}}{v_0} = 31.3 - 25.1 + \frac{1}{0.5} = 8.2(s) \quad (16)$$

$$t_{AGV3} = t_{\Delta} + \frac{L_{v_0}}{v_0} = 33.6 - 22.3 + \frac{1}{0.5} = 13.3(s) \quad (17)$$

通过延迟AGV1时间窗,3台AGV需要花的时间为65.9—30.2—46.8;延迟AGV2的时间窗,3台AGV需要花费的时间为57.7—30.2—60.1。虽然延迟AGV3的时间窗花费时间较多,但是总集合时间较短,因此选择延迟AGV3的时间窗,总集合时间为60.1s。

2) 重新规划路径

对于15—25的路径冲突也可以采用重新规划AGV1或者AGV3的路径,从而避免产生相向冲突。对于两条冲突路径,遵循以下几条原则进行调整:根据到达集合点的总时间进行排序,优先对集合时间最长的AGV进行重新路径规划;将重新规划后的路径与初始路径进行比较,如果增加了路径段,则放弃重新规划的路径,选择次长路径进行重新规划。如本例中对AGV1进行重新规划,路径是21—18—15—12—终点。

重新规划后仅存在通向冲突,并且符合路径的容纳能力,不需要调整时间窗。总的集合时间为46.8s。

综合两种调整方法,选择集合时间更短的重新规划路径法。

2.6 迭代终止条件

如果变异后的连续 N_r 代子个体中最佳个体没有变化,或者达到了最大迭代次数 N_m ,则停止迭代。本文中 $N_r = 10$, $N_m = 100$ 。

3 仿真与分析

为了评估该方法的优化性能,对其进行计算机仿真分析。对于路径网格内的12个工作站,生成10个搬运任务,每个任务所需的AGV数量在2~4台之间,并随机生成AGV的初始位置,数据信息如表2所示。

表2 任务以及AGV位置信息

编号	任务位置	AGV数/台	任务AGV位置
1	6-7	2	13-14;15-25
2	23-24	4	3-5;6-8;2-22;18-21
3	13-16	3	9-12;30-31;31-32
4	18-21	3	13-16;23-29;9-12
5	34-35	2	8-9;26-32
6	5-10	3	18-21;6-8;16-17
7	32-33	3	34-35;16-17;28-29
8	25-26	4	15-18;11-12;27-33;11-14
9	7-11	4	1-3;27-33;28-34;6-7
10	3-5	2	24-30;13-14

3.1 实验相关数据

利用上文所提出的IGA、传统最短路径算法DGA进行求解路径序列,对结果进行比较。比较集合总时间和死锁次数。采用生产系统仿真软件Plant Simulation进行仿真。设定的AGV运行速度为0.5 m/s,每个任务进行100次仿真运行,结果取平均值。

3.2 仿真结果分析

该系统集结效率的评价指标主要有集结时间和死锁故障率。图2对比了3种路径规划方式下,AGV由分散状态集结到任务点需要的总时间平均值。如果实验发生死锁,则该次实验不计入平均时间。图3对比了3种路径规划方式下,AGV由于相向冲突造成的死锁次数,死锁次数越少表示系统运行的可靠性越高,需要人工介入进行调整的概率越小。

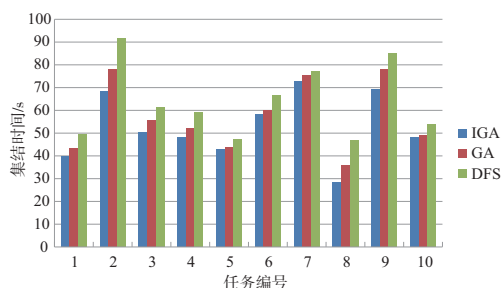


图2 平均集结时间/s

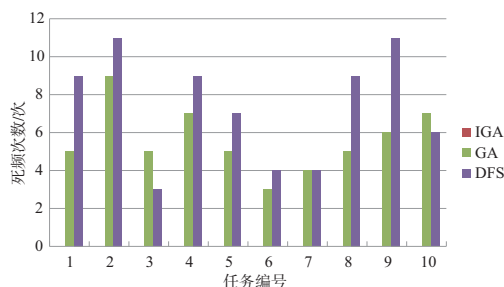


图3 死锁产生次数

通过对比可知,对于3种路径规划方式,IGA时间普遍小于GA与DGA,优化效率更高,而两车集结时,3种规划方法的优化效率差距不大。IGA能够有效避免死锁的发生,而DGA更容易造成AGV的死锁,尤其是4台AGV集结时情况尤其严重。

4 结语

本文提出了一种带时间窗的基于改进遗传算法的AGV集结路径规划算法。根据数学约束条件,通过改进遗传算法进行求解。为了解决双向路径冲突问题,优化个体,使用了时间窗调整策略,减少了路径冲突,优化了集结时间。为解决多AGV系统中执行协同搬运任务前集结分散的AGV提供了思路。

参考文献:

- [1] 张伟,张秋菊. 电商仓储中AGV研究与实现[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(6): 197-200, 223.
- [2] 王泽坤,罗福源,袁启虎. 基于区域自治的多RGV分布式动态路径规划算法[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(4): 110-115.
- [3] 陈尔奎,吴梅花. 基于改进遗传算法和改进人工势场法的复杂环境下移动机器人路径规划[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(33): 79-85.
- [4] 孟冲,任彧. 基于多种群遗传算法的多AGV调度[J]. 电子科技, 2018, 31(11): 47-50, 68.
- [5] 张好剑,苏婷婷,吴少泓,等. 基于改进遗传算法的并联机器人分拣路径优化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2017, 45(10): 93-99.
- [6] 乔岩,钱晓明,楼佩煌. 基于改进时间窗的AGVs避碰路径规划[J]. 计算机集成制造系统, 2012(12): 107-112.
- [7] 王江华. 自动导引车系统双向混合路径规划和交通管理技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2014.

收稿日期:2019-11-25