

基于改进遗传算法的 AGV 路径规划方法研究

郭二东¹ 李国华²
GUO Erdong LI Guohua

摘要

针对传统遗传算法路径规划时常出现路径较长和路径不平滑的问题，提出一种改进遗传算法的路径规划方法，引入了改进变异算子和平滑算子对路径进行优化。以锌锭智能搬运 AGV 为研究对象，利用 MATLAB 软件对改进遗传算法进行仿真实验。结果表明，在相同的算法参数下，改进遗传算法比传统遗传算法规划的路径不仅更平滑，而且长度更短，确认了改进遗传算法在 AGV 路径规划方面的优越性。所提出的方法提高了锌锭智能搬运 AGV 运行的平稳性，对其他类型 AGV 的路径规划具有一定的参考价值。

关键词

遗传算法；改进变异算子；平滑算子；路径规划；AGV；MATLAB

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.08.008

0 引言

2024 年 5 月 11 日，国务院召开会议研究并制定了《制造业数字化转型行动方案》。方案指出，采取各种措施来推进各行各业数字化转型，根据制造业多样化、个性化需求，分行业分领域挖掘典型场景。冶金行业作为我国的传统行业，面临着产能过剩、技术创新不足、环境污染等问题，其物料的转运需要耗费大量的人力，生产效率和安全性较低，整个行业急需自动化、智能化转型。为响应国家政策和顺应行业市场需求，冶金企业正向数字化、网络化、智能化、绿色环保方向快速发展，冶金智能工厂越来越多。随着物流智能仓储技术的快速发展，AGV 技术成为冶金领域智能工厂研究的热点^[1]。

AGV 是一种具有自主导航功能、无需人工操控的搬运机器人，能按设定的路线进行货物的运输和转移^[2]，它的运用涉及冶金、仓储物流、石油化工、汽车制造等行业。AGV 结构主要分为机械部分和控制部分。机械部分主要包括车体、导向装置、驱动装置、移载装置、通信装置等。控制部分主要包括驱动系统、通信系统、人机交互系统、导航系统等。AGV 根据控制形式可分为普通型 AGV 和智能型 AGV。普通型 AGV 具有控制模块简单、功能单一的特点，其对复杂环境的适应能力较弱，工作效率低下，难以满足行业市场的

发展需求。智能型 AGV 通常采用先进的数字技术进行控制，具有语言识别和深度学习功能^[3]，自主性、智能化水平较高，应用灵活。在锌锭运输线上，智能 AGV 的应用越来越广泛，它能大大降低工人的劳动强度，减少锌锭的周转时间，提高锌锭周转的效率和安全性。

AGV 的智能化改造离不开先进的数字技术。如今，人工智能、大数据、物联网、云计算等数字技术已应用在 AGV 的生产和运营中，数字技术与 AGV 之间的融合正逐渐深入。算法作为数字技术的核心，在 AGV 路径规划技术中的应用越来越广，AGV 路径规划算法是冶金领域工厂智能化的关键环节之一。路径规划算法种类较多，根据算法的特点，可分为传统搜索算法、基于随机采样搜索算法和智能衍生算法。传统搜索算法是一种基于数学几何模型寻找最优路径的算法，主要包括 Dijkstra 算法、A* 算法、D* 算法、人工势场法等。基于随机采样搜索算法是一种基于随机采样的路径规划算法，主要包括单查询算法和渐近最优算法。智能衍生算法是一种模拟自然界动物群体行为的随机搜索算法，主要包括遗传算法、神经网络算法、深度学习算法、蚁群算法等^[4]。尽管路径规划算法已经得到广泛的应用和研究，但是由于不同算法都存在着各种不同的缺点，在实际的应用中仍然存在着各种问题，需要不断地改进。虞立斌等人^[5]提出了双向 A* 路径规划算法，针对 A* 算法在路径规划中扩展节点过多和探索时间过长等问题，进行了改进。通过实验证明，双向 A* 路径规划算法在路径合理性、搜索速度方面都要远优于传统 A* 算法。陈焱等人^[6]提出了 A* 算法和蚁群算法相融合的复合启发式路径规划算法，此算法能减少蚁群算法前期搜索的盲目性，提高搜索效率，在一定程度上解决了拐点过多的问

1. 兰考三农职业学院 河南开封 475000

2. 许昌电气职业学院 河南许昌 461000

[基金项目] 2023 年度开封市哲学社会科学规划调研课题“数字技术与制造业融合发展面临的问题及对策研究”(ZXSKGH-2023-0797)

题。周卫祥等人^[7]提出了基于改进人工势场法的 RRT* 路径规划算法，此算法能提高路径规划效率，面对不同的障碍物环境也具有较好的适用性。何精武等人^[8]为解决传统 JPS 算法拐点过多和路径次优等问题，提出一种改进的跳点搜索算法，与传统 JPS 算法相比，这种算法能缩短路径长度并减少拐角数量。房殿军等人^[9]提出了基于深度 Q 学习的路径规划方法，该算法能够规划出良好的路径，算法在稳定性和收敛速度上有所提升。

本文采用改进遗传算法对锌锭智能搬运 AGV 进行路径规划。遗传算法作为一种人工智能算法，算法模型的建立主要基于达尔文的生物进化理论。遗传算法在解决问题时，往往把解决问题过程转换成生物进化中的选择、交叉和变异等过程。遗传算法在解决复杂问题时相对于常规算法具有一定优势。例如，遗传算法种群个体的生成具有随机性，这样可以使其在解决问题时具备找到全局最优解的能力，并且个体的数量越多，其找到全局最优解的能力越强；交叉和变异能够使遗传算法在解决问题的过程中不断增加新的个体，增强了全域搜索最优解的能力。这些优势使得遗传算法在路径规划中被广泛应用。但是，遗传算法自身也存在诸多缺点，比如可能陷入局部最优解、需要大量的样本才能求解等，因此，有必要对遗传算法进行改进，使其更好地应用于锌锭智能搬运 AGV 的路径规划。

1 环境的建模

AGV 的调度是通过 AGV 调度系统完成，在调度系统中，AGV 被看作一个点，周围环境转换为电子地图数据存储在系统中，环境数据可通过数据采集设备扫描生成。基于相应的建模方法，环境数据转换成虚拟地图数据，常用的建模方法有拓扑法、栅格法等^[10]。本文采用栅格化的建模方法，以锌锭智能搬运 AGV 运行中所处的自动化立体仓库为例进行环境建模。AGV 在搬运锌锭时，运行环境较为复杂。仓库中除了货架区域外，还可能存在空栈板存放区、料箱暂存区、质检打包区等其他 AGV 无法运行的区域。把 AGV 无法运行的区域统一看作障碍物，其他区域看作自由区域，建立图 1、图 2 两个环境模型。

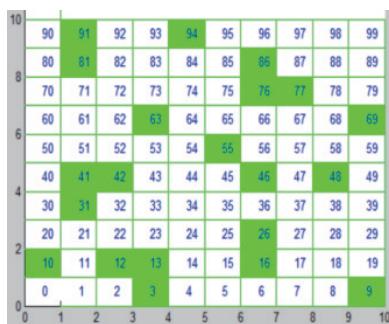


图 1 环境建模 1

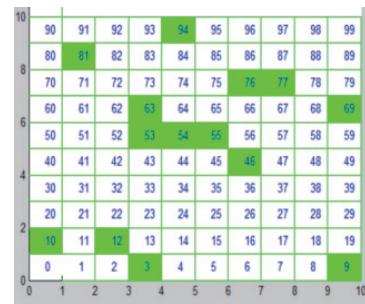


图 2 环境建模 2

其中，图 1 的障碍物数量比图 2 多，环境更复杂。两图中，环境被栅格化为 100 个格子，每个格子有对应的序号，序号按照从左往右、从下到上的顺序依次增大，绿色格子表示障碍物区域，白色格子表示自由区域，AGV 的起点位置都为栅格序号 0，终点位置都为栅格序号 99。

2 改进遗传算法介绍

2.1 编码

常见的编码方法有二进制编码、浮点数编码、格雷码、符号编码、混合编码等^[11]。在二进制编码下，个体用 0 和 1 两个数字来表示，比较容易编码解码，个体之间的交叉和变异易于操作和实现。浮点数编码又称实数编码，它用浮点数来表示个体中的基因。该方法易于实现不同算法之间的混合运算，在处理复杂问题时具有一定的优势。格雷码由二进制码转换而成，是一种错误最小化的编码方式，可靠性较高，纠错能力较强，缺点是编码不连续、逻辑运算复杂等。符号编码指的是个体既可以由字符组成，又可以由数字组成，编码过程简单易行，并且省去了解码译码的过程，编码效率较高。混合编码是由多种编码方法相混合而形成的。本文采用栅格法处理环境模型，路径由多个栅格序号组成，个体的编码符合符号编码特征，因此，编码方法采用符号编码。

2.2 初始种群的生成方法

相关研究中，赵鹏等人^[12]采用三次方样条数据插值方法生成初始种群，付留芳等人^[13]采用邻接矩阵方法生成初始种群，李彦强等人^[14]采用随机排列和随机选择的方法生成初始种群。本文在生成初始种群的过程中主要考虑以下两个方面。第一，符号编码下，AGV 路径是由栅格序号组成的集合，栅格分为自由栅格和障碍栅格。若路径中含有障碍栅格，则 AGV 在运行的过程中由于障碍物的阻碍无法到达终点，因此路径中的栅格必须全部是自由栅格。第二，AGV 在行驶的过程中由栅格序号 0 出发，目标是栅格序号 99，所经过的栅格序号逐渐增大。基于以上两个方面的考虑，初始种群的生成方法如下：首先，把环境中的栅格分为两种，一种为自由栅格序号集合 N，另一种为障碍栅格序号集合 M；其次，假设路径用 r 表示，个体中栅格序号数量为 L，r 中第一个栅格序号是 0，最后一个栅格序号是 99，则中间的栅格序号从 N 中随机选取插入 r 中，插入栅格序号的数量为 L-2，插入的顺

序为从左到右，并且插入的栅格序号要依次增大。按照此方法生成一定数量的初始种群个体。

2.3 改进变异算子

为了减少变异对个体产生的不利影响，本文采用一种改进变异算子，通过删除路径中的栅格序号来进行变异，变异过程如下。

假设路径 $r = (N_1, N_2, N_3, \dots, N_{i-1}, N_i, N_{i+1}, \dots, N_m)$ ，其中 m 表示路径中栅格序号的数量， N_i 表示路径中第 i 个栅格序号，若栅格序号 N_{i+1} 和 N_{i-1} 满足如下公式之一：

$$N_{i+1} - N_{i-1} = 11 \quad (1)$$

$$N_{i+1} - N_{i-1} = 12 \quad (2)$$

$$N_{i+1} - N_{i-1} = 21 \quad (3)$$

则在路径 r 中对栅格序号 N_i 进行删除的变异操作。路径在变异后删除了一定数量的栅格，因此，改进变异算子使 AGV 规划出的路径长度更短，使个体朝着有利的方向进行变异。

2.4 平滑算子

采用栅格法建立环境模型时，环境被划分为许多栅格，因此规划出的路径也被分为多段直线，直线在相互连接处会产生一定的角度，形成一个个拐角。冶炼厂生产的锌锭重量很大，AGV 在转运锌锭时，当行驶到路径的拐角处时，锌锭由于较大的惯性容易滑落，给整个生产过程带来极大的安全隐患。为解决此问题，在改进遗传算法中加入平滑算子，增强 AGV 行驶路径的平滑度，使 AGV 转运锌锭的过程更加平稳。平滑算子采用三次样条曲线对路径进行平滑处理。之所以采用三次样条曲线，是因为高次样条曲线不收敛、不稳定，而低次样条曲线不够平滑，三次样条曲线比较符合 AGV 的运行轨迹特点。

2.5 改进遗传算法步骤

改进遗传算法具体步骤描述如下。

第一步：确定初始种群中个体的数量，按照本文初始种群的生成方法生成初始种群个体。

第二步：对初始种群中的个体进行选择。选择方法采用轮盘赌，具体的执行过程如下：首先，计算出种群中所有个体的适应度值的总和；再者，计算出每个个体的适应度与种群总适应度的比值；最后，生成一个随机数来模拟轮盘赌转动的过程，根据随机数落在的区间，确定被选中的个体。

第三步：种群个体之间进行单点交叉操作，交叉的具体过程如下：首先，确定染色体交叉时的配对策略，种群个体之间配对时采用前一半种群个体和后一半种群个体进行配对的策略；再者，产生一个随机数，确定交叉概率，若交叉概率大于随机数，则随机产生交叉点并进行交叉，否则继续产生随机数。

第四步：采用改进变异算子对种群中交叉后的个体进行

变异操作，计算变异后每个个体的适应度值，并按大小进行排序，从每代种群中选出最佳个体，放入最佳个体集合 B 中。

第五步：判断是否满足终止条件，终止条件为种群迭代次数达到最大值。若满足，则对集合 B 中的个体按适应度值进行排序，输出最优路径，并利用平滑算子对最优路径进行平滑处理，然后程序结束运行。若不满足，则程序转入第二步继续运行。

改进遗传算法流程图如图 3 所示。

3 仿真结果及分析

在图 1 和图 2 两种环境模型中，分别采用改进遗传算法和传统遗传算法对锌锭智能搬运 AGV 进行路径规划，表 1 为两种算法参数的选取。

表 1 参数的选取

算法	交叉概率	种群大小	迭代次数
改进遗传算法	0.8	500	100
传统遗传算法	0.8	500	100

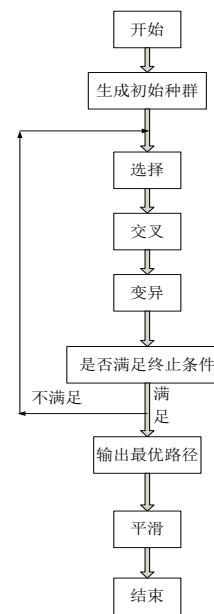
根据表 1 中的参数值，利用 MATLAB 软件，按照改进遗传算法和传统遗传算法流程分别编制 MATLAB 程序，得到仿真结果如图 4、图 5、图 6、图 7 所示。



图 4 改进遗传算法环境 1 得到的结果



图 5 传统遗传算法环境 1 得到的结果



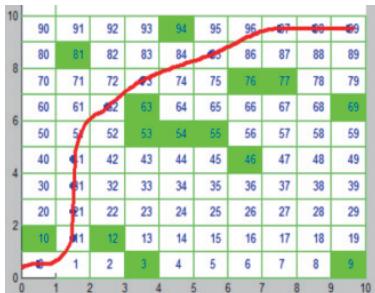


图 6 改进遗传算法环境 2 得到的结果

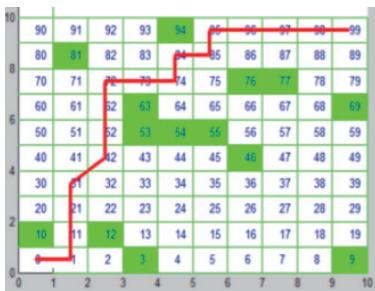


图 7 传统遗传算法环境 2 得到的结果

通过表 2 来对比两种算法的性能。根据表 2 中的仿真结果数据对比分析可得：在环境 1 中，改进遗传算法比传统遗传算法规划出的最优路径长度短 13.7%；在环境 2 中，改进遗传算法比传统遗传算法规划出的最优路径长度短 18.1%，这证明了改进遗传算法在规划路径长度方面的优越性。

表 2 仿真结果

环境模型	图号	算法	路径长度	路径平滑度
环境 1	4	改进遗传算法	14.47	无拐角，较平滑
	5	传统遗传算法	16.82	9 个拐角，平滑度较差
环境 2	6	改进遗传算法	14.74	无直角，较平滑
	7	传统遗传算法	17.41	8 个拐角，平滑度较差

根据图 4 和图 5、图 6 和图 7 对比分析可得：在相同环境中，改进遗传算法规划出的路径平滑无拐角，而传统遗传算法规划出的路径拐角较多、平滑度较差，这证明了改进遗传算法在规划路径平滑度方面的优越性。

根据图 4 和图 6、图 4 和图 5 对比分析可得：随着环境中障碍物数量的增多，改进遗传算法比传统遗传算法在规划路径平滑度和长度方面仍然具有优越性。

4 结论

本文基于栅格法构建锌锭智能搬运 AGV 的两个工作环境模型，利用 MATLAB 软件实现遗传算法的编程，通过仿真验证及对比分析得出，与传统遗传算法相比，改进遗传算法规划出的路径不仅更平滑，而且长度更短，证明了改进变

异算子和平滑算子对传统遗传算法具有一定的提升作用。该方法对冶金行业物料的运输起到一定的积极作用，在其他行业也具有广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 世家伟, 郝二丽, 王勇, 等. 锌锭智能搬运 AGV 路径规划技术研究与仿真应用 [J]. 世界有色金属, 2023(14):16-19.
- [2] 陈媛媛, 陈菁, 张守兴. AGV 导航技术研究现状的探讨 [J]. 机械管理开发, 2020,35(5):249-250.
- [3] 林新英. 磁导航 AGV 结构设计与控制策略 [J]. 吉林化工学院学报, 2019,36(7):30-35.
- [4] 陈骏, 沈琦琦. 自动导引车路径规划算法的研究综述 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023(9):8-15.
- [5] 虞立斌, 张亿, 黄磊, 等. 双向 A* 路径规划算法的邻域改进方法研究 [J/OL]. 小型微型计算机系统, 1-9[2024-04-12]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1106.tp. 20240511. 1031. 025. html.
- [6] 陈焱, 陆杰, 李大鹏. A~* 蚁群融合的复合启发式路径规划算法 [J]. 无线电通信技术, 2024,50(3):579-586.
- [7] 周卫祥, 许继强. 基于改进人工势场法的 RRT* 无人船路径规划算法 [J]. 中北大学学报(自然科学版), 2024,45(2):123-131.
- [8] 何精武, 李伟东. 基于改进 JPS 算法的无人车路径规划 [J/OL]. 吉林大学学报(信息科学版), 1-9[2024-04-13]. https://doi.org/10.19292/j.cnki.jdxxp.20240517.001.
- [9] 房殿军, 周彬彬, 等. 离散制造系统环境下基于深度 Q 学习的 AGV 路径规划 [J]. 物流技术, 2023,42(6):45-51.
- [10] 李二超, 王玉华. 改进人工势场法的移动机器人避障轨迹研究 [J]. 计算机工程与应用, 2022,58(6):296-304.
- [11] 梅真, 龚嘉诚, 高毅超, 等. 基于改进自适应多种群遗传算法的结构 - 控制系统一体化优化 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024,55(2):799-809.
- [12] 赵鹏, 丁雪, 程婷婷, 等. 基于差分进化算法的改进遗传算法的 UUV 路径规划 [J]. 自动化应用, 2024,65(5):25-28.
- [13] 付留芳, 周明, 李文哲, 等. 基于遗传算法的 UUV 应召搜潜路径规划 [J]. 电光与控制, 2024,31(7):42-47+86.
- [14] 李彦强, 王建辉. 基于遗传算法的无人机编队高速公路巡检任务规划方法 [J]. 市政技术, 2023,41(11):67-73.

【作者简介】

郭二东 (1989—)，男，河南开封人，硕士，助教，研究方向：制造业信息化、工业工程。

李国华 (1988—)，男，河南民权人，硕士，中级工程师，研究方向：智能制造装备技术、数字化设计制造、逆向工程。

(收稿日期：2024-05-29)