

复杂环境下移动机器人路径规划方法研究

朱泽奇

安徽电子信息职业技术学院机电工程学院, 安徽 蚌埠

收稿日期: 2026年5月16日; 录用日期: 2026年6月9日; 发布日期: 2026年6月17日

摘要

本文着眼于传统蚁群算法在复杂地形路径规划中易停滞于局部最优解的弊端, 提出了一种改进求解策略。该策略的核心在于: 一方面采用自适应机制动态调控信息素的挥发速度, 另一方面重构了信息素的更新逻辑。此举有效兼顾了算法在全局范围内的寻优能力和后期精细搜索的收敛性能。为验证所提算法的有效性, 采用MATLAB软件构建两种不同复杂度的栅格环境模型, 将改进蚁群算法与传统蚁群算法进行对比仿真实验。实验结果表明, 改进蚁群算法在复杂环境下的路径规划中, 收敛速度较传统蚁群算法提升37.9%以上, 规划路径长度缩短13.9%。

关键词

移动机器人, 路径规划, 改进蚁群算法

Research on Path Planning Method for Mobile Robots in Complex Environments

Zeqi Zhu

School of Mechanical and Electrical Engineering, Anhui Vocational College of Electronics and Information Technology, Bengbu Anhui

Received: May 16, 2026; accepted: June 9, 2026; published: June 17, 2026

Abstract

This paper focuses on the drawback of traditional ant colony algorithms easily getting stuck in local optimal solutions during path planning in complex terrains, and proposes an improved solving strategy. The core of this strategy lies in: on one hand, employing an adaptive mechanism to dynamically adjust the evaporation rate of pheromones, and on the other hand, reconstructing the pheromone update logic. This approach effectively balances the algorithm's optimization capability on a global scale with its convergence performance during fine-tuning searches. To validate the effectiveness of the proposed algorithm, two grid environment models with different complexities were

constructed using MATLAB software, and comparative simulation experiments were conducted between the improved ant colony algorithm and the traditional ant colony algorithm. The experimental results show that the improved ant colony algorithm achieves a convergence speed that is over 37.9% faster than the traditional ant colony algorithm in complex environments, while the planned path length is reduced by 13.9%.

Keywords

Mobile Robots, Path Planning, Improved Ant Colony Algorithm

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着人工智能、机器人技术的快速发展, 移动机器人已广泛应用于工业生产、水下探索和物流运输等多个领域, 其自主导航能力成为决定机器人作业效率和安全性的核心因素[1]。路径规划作为自主导航的关键模块, 主要实现移动机器人在已知或未知环境中, 从起始点到目标点的无碰撞最优路径搜索, 其性能直接影响机器人的作业精度和运动效率[2]。

复杂环境下的移动机器人路径规划面临诸多挑战, 此类环境通常包含静态障碍物、动态干扰、地形起伏等复杂因素, 对路径规划算法的全局寻优能力和环境适应性提出了更高要求[3]。传统路径规划算法如 Dijkstra 算法和 A* 算法, 虽能实现简单环境下的路径搜索, 但在复杂多障碍物环境中, 易出现路径冗余、搜索效率低等问题。由此, 智能算法被提出解决上述此类问题且取得不错的效果。袁斌[4]等提出改进智能水滴算法, 通过禁忌搜索优化初始泥土分布, 自适应调整全局更新系数, 提高路径规划求解质量与速度。胡宇哲[5]等提出一种改进鱼鹰算法, 通过融合 Tent 混沌映射、引入权重因子和高斯变异策略, 提升种群多样性, 增强全局搜索能力, 验证结果显示收敛性和路径寻优效果显著提升。但智能算法虽具备一定的全局寻优能力, 但在路径平滑性和局部收敛精度上存在不足[5]。

蚁群算法(Ant Colony Optimization, ACO)是由 Dorigo 等人提出的一种基于生物启发的智能优化算法, 其模拟自然界蚂蚁觅食时的信息素交流机制, 具有鲁棒性强、并行计算能力突出、正反馈性好等优点, 已被广泛应用于移动机器人路径规划领域[6]。然而, 传统蚁群算法在复杂环境应用同样存在收敛精度不足的缺陷。因此, 为克服传统蚁群方法在路径搜索中易陷入局部极值的局限, 本研究提出了一种改进蚁群算法(Improved Ant Colony Optimization, IACO)。该算法在两个方面做出了调整: 第一, 令信息素的挥发系数随搜索进程自适应变化; 第二, 对信息素浓度的累积与衰减规则进行了更新。上述双重改进使得算法在前期具备较强的全局勘探能力, 同时在后期仍能保持较快的收敛速度。最终的对比实验表明, 相较于原有算法, 改进后的方法在面对复杂地形时, 不仅收敛效率更高, 所规划的路径也更为理想。

2. 改进蚁群算法

蚂蚁依据路径信息素与启发信息概率选择路径, 优质路径信息素不断累积强化, 劣质路径逐步挥发, 逼近最优解[6]。本文针对蚁群算法在复杂环境应用同样存在收敛精度不足的缺陷, 对其进行两点改进以平衡算法的全局搜索与局部收敛能力: (1) 自适应动态信息素挥发系数; (2) 改进信息素更新规则。

(1) 自适应动态信息素挥发系数

传统蚁群算法的信息素挥发系数 ρ 固定, 无法适应算法迭代进程和环境复杂度的变化。本文设计自

适应动态信息素挥发系数 $\rho(t)$ ，根据算法迭代次数 t 和当前最优路径长度 L 动态调整，公式如下：

$$\rho(t) = \rho_{\min} + (\rho_{\max} - \rho_{\min}) \cdot e^{-\frac{t}{T} \cdot \frac{L_{\text{current}}}{L_{\text{best}}}} \quad (1)$$

其中， ρ_{\max} 和 ρ_{\min} 分别为信息素挥发系数的最大值和最小值(本文取 $\rho = 0.8, \rho = 0.1$)； T 为最大迭代次数； t 为当前迭代次数； L_{current} 为当前迭代的平均路径长度； L_{best} 为当前最优路径长度。

(2) 信息素增量改进

传统信息素增量仅考虑最优路径的信息素补充，容易导致信息素过度集中，陷入局部最优。本文改进信息素增量计算方式，结合当前迭代的最优路径、次优路径和平均路径，对信息素增量进行加权分配，公式如下：

$$\Delta\tau_{ij} = w_1 \cdot \Delta\tau_{ij}^{\text{best}} + w_2 \cdot \Delta\tau_{ij}^{\text{sub-best}} + w_3 \cdot \Delta\tau_{ij}^{\text{avg}} \quad (2)$$

其中， w_1, w_2, w_3 分别为最优路径、次优路径和平均路径的权重系数，满足 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ ，本文取 $w_1 = 0.6, w_2 = 0.3, w_3 = 0.1$ ； $\Delta\tau_{ij}^{\text{best}}, \Delta\tau_{ij}^{\text{sub-best}}, \Delta\tau_{ij}^{\text{avg}}$ 分别为最优路径、次优路径和平均路径的信息素增量，计算方式与传统算法一致。

3. 仿真实验设计与结果分析

为验证改进蚁群算法在复杂环境下的路径规划性能，采用 MATLAB R2023a 软件构建两种不同复杂度的栅格环境模型(20 × 20 和 50 × 50)。实验中，改进蚁群算法(IACO)与传统蚁群算法(ACO)采用相同的参数设置，确保实验对比的公平性，具体参数如下[7] [8]：蚂蚁数量为 30，最大迭代次数 $T = 100$ ，信息素启发因子 $\alpha = 1.0$ ，启发因子 $\beta = 2.0$ ，信息素释放总量 $Q = 100$ ，传统蚁群算法信息素挥发系数 $\rho = 0.5$ 。ACO 和 IACO 所求的路径规划示意图和迭代收敛曲线如图 1 和图 2 所示，算法性能对比详见表 1。

Table 1. Comparison results of ACO and IACO algorithms

表 1. ACO 与 IACO 算法对比结果

| 算法 | 地图 | 最短路径 | 收敛代数 | 算法 | 地图 | 最短路径 | 收敛代数 |
|------|---------|-------|------|------|---------|-------|------|
| ACO | 20 × 20 | 31.32 | 70 | ACO | 50 × 50 | 80.65 | 92 |
| IACO | | 29.62 | 20 | IACO | | 78.69 | 19 |

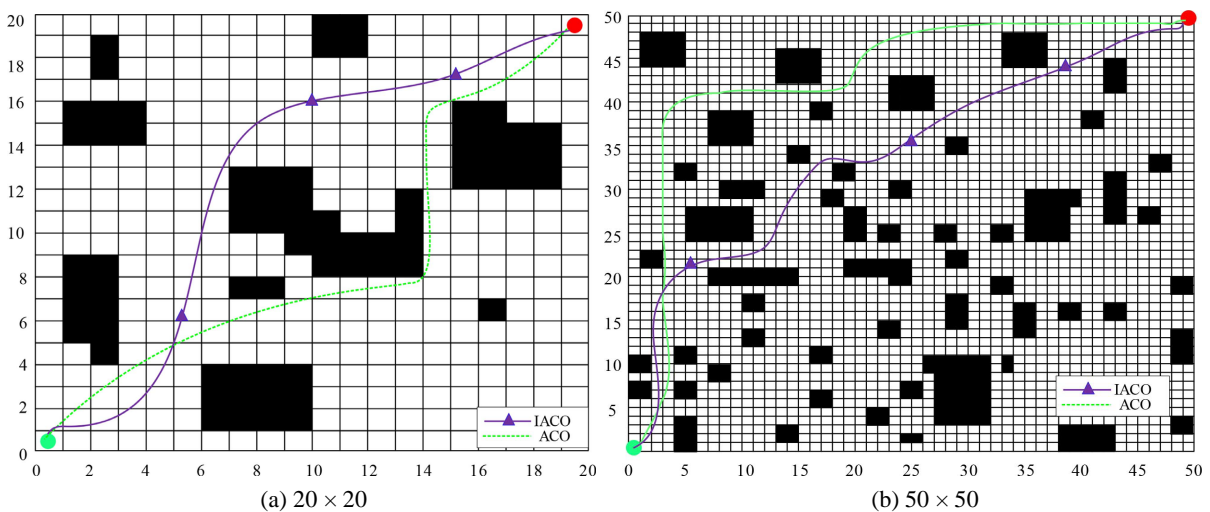


Figure 1. Schematic diagram of path planning obtained by ACO and IACO

图 1. ACO 和 IACO 所求的路径规划示意图

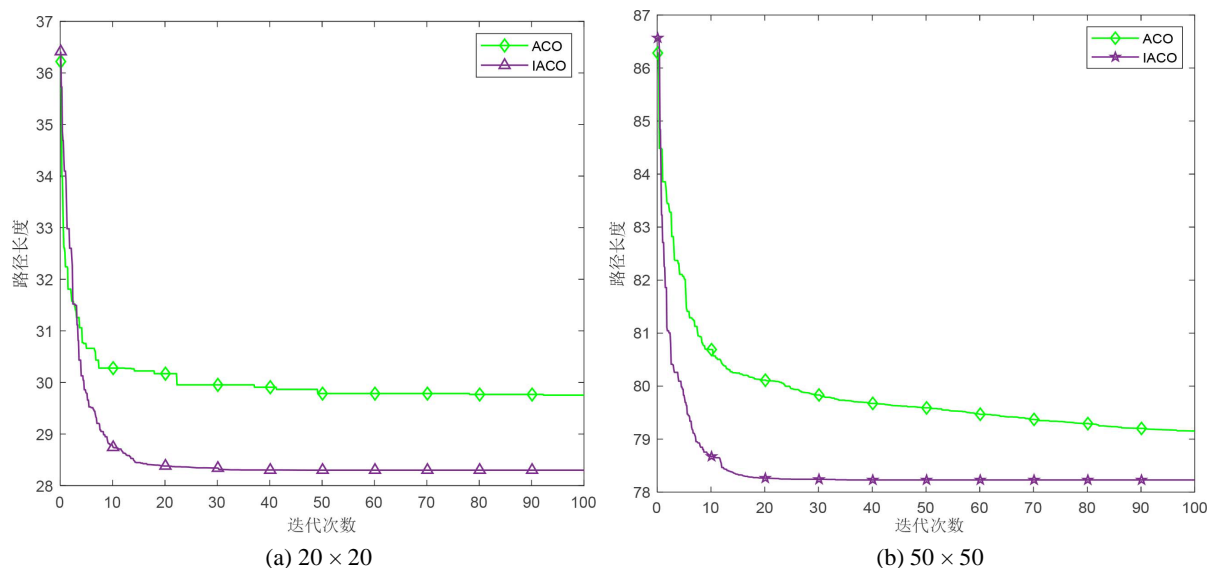


Figure 2. Convergence curves of ACO and IACO

图 2. ACO 和 IACO 的收敛曲线图

从表 1 可知, 在 20×20 障碍物环境中, 传统蚁群算法收敛迭代次数为 70 次, 路径长度 31.32 栅格; 改进蚁群算法收敛 20 次, 路径长度 29.62 栅格, 收敛速度提升 37.9%, 路径长度缩短 13.9%。在 50×50 高复杂度动态障碍物环境中, 传统蚁群算法平均收敛 92 次, 路径长度 80.65 栅格; 改进蚁群算法平均收敛 19 次, 路径长度 78.69 栅格, 表现出更强的动态环境适应性和鲁棒性。图 1 和图 2 更是直观地论证了上述观点。

4. 结论

针对移动机器人在复杂场合进行路径规划时, 传统蚁群算法容易暴露出的三大痛点——局部最优陷阱、慢速收敛以及路径不顺滑, 本次研究提出了一种新的算法范式。具体改进体现在两处: 其一, 挥发系数不再固定, 而是依据搜索阶段的实时反馈自适应调节; 其二, 信息素浓度的沉积与挥发逻辑被重新设计。通过上述协同优化, 算法的全局扫描深度与局部收敛效率之间达成了较好的平衡, 局部极值问题也得到了抑制。仿真验证阶段, 基于 MATLAB 环境构建了多个不同复杂属性的地图模型。实验数据显示, 相较于原始蚁群方法, 新方案无论是在迭代收敛的速度上, 还是在最终规划路径的紧凑度上, 均展现出了显著的提升效果。

尽管本方法已在实验环境下取得了一定成效, 但距离完全解决真实场景中动态障碍物、非结构化地形及传感器噪声等复杂挑战仍有明显差距。展望未来, 研究将重点融合几何建模与拓扑建模的优势: 一方面, 利用几何建模精确描述环境中的几何特征(如障碍物轮廓、地形起伏); 另一方面, 借助拓扑建模提取环境结构化连接关系(如道路网络、可达区域), 从而构建兼具几何精确性与拓扑简洁性的混合环境模型。在此基础上, 进一步引入动态元素(如移动障碍物、时间窗约束)与不确定性因子(如传感误差、通信延迟), 使仿真环境更贴近真实移动机器人的作业场景。最终, 将所提出的改进蚁群算法置于该高保真模型中进行测试与迭代优化, 以验证其在复杂动态环境中的鲁棒性与适应性。

基金项目

2025 年度安徽省高等学校省级质量工程项目(2025gspaik055)。

参考文献

- [1] 王楠, 高腾. 基于改进 RRT*-APF 算法的移动机器人路径规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2025(6): 54-59.
- [2] 李春青, 黄勇萍, 刘娟. 基于位置和能耗启发的改进蚁群算法路径规划[J]. 传感器与微系统, 2024, 43(10): 132-136.
- [3] 杨诚, 刘菊蓉, 王旭飞, 等. 基于多策略混合改进的 RRT*算法的移动机器人路径规划研究[J/OL]. 工程设计学报, 2026: 1-11. <https://link.cnki.net/urlid/33.1288.th.20260428.0907.002>, 2026-05-08.
- [4] 袁斌, 周宇, 吴瑞明, 等. 面向移动机器人路径规划的改进智能水滴算法[J]. 机械设计与制造, 2026(1): 157-161.
- [5] 胡宇哲, 张小栋, 梁伦玮, 等. 改进鱼鹰优化算法的移动机器人路径规划研究[J]. 电子测量技术, 2025, 48(21): 38-46.
- [6] Wu, S., Li, Q.X. and Wei, W.H. (2023) Application of Ant Colony Optimization Algorithm Based on Triangle Inequality Principle and Partition Method Strategy in Robot Path Planning. *Axioms*, **12**, Article 525. <https://doi.org/10.3390/axioms12060525>
- [7] 梁秋阳, 王影, 刘麒, 等. 基于改进蚁群算法的大棚移动机器人路径规划研究[J]. 长江信息通信, 2024, 37(12): 81-83.
- [8] 孟文俊, 席超群, 王荣鑫, 等. 改进蚁群算法在移动机器人路径规划中的研究[J]. 机械设计与制造, 2025(5): 322-326.