

DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2022.04.023

引用格式:宋宇,顾海蛟,程超.基于改进蚁群算法的无人机航迹规划研究[J].现代电子技术,2022,45(4):123-127.

基于改进蚁群算法的无人机航迹规划研究

宋宇, 顾海蛟, 程超

(长春工业大学 计算机科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 针对传统蚁群算法在进行航迹规划时,易于早期陷入局部最优而导致不能找到全局最短路径的问题,文中借鉴象棋中“卒”的走法规则,提出一种新的状态参数方程分界值。将当前状态与下一状态点到目标点的欧氏距离与分界值进行对比,得到改进后的航迹。再利用几何知识将改进后的航迹进行无限放大、细化,在允许范围内,将存在一定角度的两段路径采用弧线代替得到再规划后的航迹,从而得到满足全局最短的规划航迹,以达到缩短航迹长度的目的。仿真结果表明,改进后的蚁群算法航迹长度缩短了12.7%,经过再规划后的蚁群算法航迹长度相较于全局缩短了16.1%。

关键词: 航迹规划; 蚁群算法; 无人机; 路径再规划; 局部最优路径; 仿真分析

中图分类号: TN820.4-34; V279; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2022)04-0123-05

Research on UAV route planning based on improved ant colony algorithm

SONG Yu, GU Haijiao, CHENG Chao

(College of Computer Science and Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: In allusion to the problem that the traditional ant colony algorithm is easy to fall into local optimization early in track planning, resulting in the inability to find the global shortest path, a new boundary value of state parameter equation is proposed based on the walking rules of "pawn" in chess. The Euclidean distances from the current state and the next state points to the target point are compared with the boundary value to obtain the improved track. The improved track is infinitely enlarged and refined by using geometric knowledge. Within the allowable range, the two paths with a certain angle are replaced by arcs to obtain the re-planned flight path, so as to obtain the globally shortest planned track, and then shorten the track length. The simulation results show that the improved track length is shortened by 12.7%, and the track length after re-planning is shortened by 16.1% as compared with the overall situation.

Keywords: track planning; ant colony algorithm; UAV; route re-planning; local optimal path; simulation analysis

0 引言

近年来,随着相关技术的不断发展,无人机(UAV)被越来越广泛地应用于各行各业。其中,绝大部分应用场所都要求无人机有自主导航能力,并且在完成任务的同时能够安全地规避障碍物^[1]。无人机能够自主正常运行,其核心包括飞控系统、航迹规划系统两部分。飞控系统用来给无人机提供动力输出,使无人机在运行中有充足的动力;而航迹规划系统用来规划无人机可执行任务需求的路径,规划路径的优劣直接影响到无人机的工作效率。

目前,国内外常用的航迹规划算法有A*算法、D*算法、模拟退火算法、遗传算法等。蚁群算法具有信息正

反馈的优点,但在搜索航迹路径时容易陷入局部最优,因此,近年来被许多学者改进后应用到航迹规划问题上。其中文献[2]提出的“零威胁-单因子”方法不仅提高了算法的收敛速度,还降低了优化时的难度;文献[3]引入偏航角对启发函数进行调整改进,建立优先搜索集,加快了搜索到最优航迹的时间;文献[4]通过引入去交叉禁忌搜索策略,解决在收敛后期陷入局部最优的问题;文献[5]通过利用自适应调节参数方法提高蚁群搜索能力与个体之间的交互能力,解决局部陷入最优的情况。

本文主要针对传统蚁群算法在寻找路径时,易于陷入局部最优而导致不能得到全局的最短路径,提出关于象棋中“卒”的走法。首先将目标点与其他部分看作棋盘的两极,在棋盘中“卒”只能在自家阵营向前走,设置

收稿日期:2021-05-04

修回日期:2021-06-14

基金项目:吉林省科学技术厅项目(20200401127GX);国家自然科学基金项目(61903047);吉林省发改委产业技术与开发项目(2019C040-3)

状态参数方程进行划分,即蚂蚁当前位置到目标点的欧氏距离 L_{now} 小于上一状态点到目标的距离 L_{past} ,则说明规划后的路径长度缩短;再对得到改进后的路径轨迹进行无限放大、细化,将存在一定角度的两段轨迹在实际允许的范围内采用弧线代替,再处理后的轨迹长度相较于改进后的轨迹长度更短。仿真结果表明,经过改进蚁群算法并通过再处理后的路径能够达到缩短路径长度的目的。

1 蚁群算法概述

蚁群算法是来自于自然界的仿生算法,仿照蚂蚁在离开蚁巢外出寻找食物时,在它走过的路径上释放一种叫作信息素的激素,使一定范围内的蚂蚁能够察觉到^[6]。当某条路上通过的蚂蚁越来越多时,它们所释放的信息素就积累得越来越多,后续的蚂蚁根据信息素的浓度选择路径的概率就越大^[7]。对于单个蚂蚁来说,它并没有寻找最短路径的能力,只是根据概率选择;对于整个蚁群系统来说,它们却能在一定的理想条件下寻找到最优路径客观上达到的效果^[8]。

1.1 选择路径概率

每个蚂蚁都会随机地选择下一状态点,并且存储已经走过的路径状态点。蚂蚁在构建路径时的每一步都会按照一定的概率选择下一个到达的状态点,其中概率的计算公式如下:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k \in \text{allowed}_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha [\eta_{ik}(t)]^\beta}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\tau_{ij}(t)$ 表示节点 i 到节点 j 上信息素的积累量; $\eta_{ij}(t)$ 表示是节点 i, j 之间的导数距离,也是蚁群算法中的启发因子,表示从节点 i 到节点 j 的期望程度^[9]; $P_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在时刻 t 通过两个相邻节点之间 ($i \rightarrow j$) 的概率; allowed_k 表示蚂蚁未走过的节点集合; α 为信息素启发因子,在算法中表征所释放信息的重要程度; β 为期望启发因子,表征能见度重要程度^[10]。 $\eta_{ij}(t)$ 的表达式如下:

$$\eta_{ij}(t) = 1/d_{ij} \quad (2)$$

1.2 信息素更新函数

信息素更新函数表示为:

$$\tau_{ij}(t) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (3)$$

式中: ρ 为信息素的蒸发率; $1-\rho$ 表示信息素的残留率; $\Delta\tau_{ij}(t)$ 代表时刻 t 信息素的增量^[11],其中:

$$0 < \rho < 1 \quad (4)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^n \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (5)$$

式(4)表示信息素蒸发率的取值范围,式(5)中 $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在路径 $i \rightarrow j$ 上释放的信息素量,且有:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q/L_k, & \text{蚂蚁 } k \text{ 在寻路中经过 } l_{ij} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中: Q 为增强系数,是一个非零且为正数的常量^[12]; L_k 表示第 k 只蚂蚁走过的路径长度。

1.3 迭代与停止

算法中的每一次迭代表示每次迭代的 n 只蚂蚁在完成自己的路径规程^[13],回到原点后的整个过程。迭代停止的条件是选择合适的迭代次数停止,输出寻找的最佳路径^[14],或者是满足算法要求的迭代次数。在迭代结束后找到规划的路径,判断是否为最佳路径^[15]。

2 改进蚁群算法

2.1 改进算法局部最佳

基于传统的蚁群算法易陷入局部最优解,即由先前蚂蚁在走过的路径上释放的信息素影响到后续蚂蚁搜索路径,后续越来越多的蚂蚁会根据信息素的浓度逐渐选择同一条路径,会导致局部路径最佳而不能得到全局最佳路径。针对蚁群算法易陷入局部最佳路径,本文借鉴象棋中“卒”的走法,将目标点与其他部分假设为棋盘的两个极,棋盘中“卒”只能在自家阵营向前走,设置状态参数方程进行划分,检测蚂蚁走过的相邻两个状态点到目标点的距离,即蚂蚁当前位置到目标点的欧氏距离 L_{now} 小于上一状态点到目标的距离 L_{past} ,有效地防止蚂蚁在寻路过程中陷入局部最优。图1是改进算法的原理图。

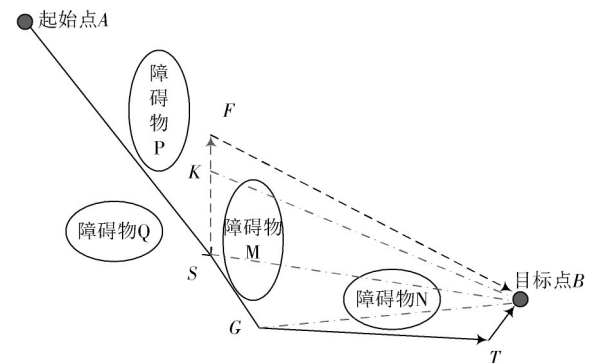


图1 改进算法原理图

图1中起始点为A点,目标点为B点,其中蚁群就是要找到从A点到B点的路径,图中共有2条路径,即 $A \rightarrow S \rightarrow G \rightarrow T \rightarrow B$, $A \rightarrow S \rightarrow K \rightarrow F \rightarrow B$ 。为了防止蚁群陷入局部最优,即在图中线路 $S \rightarrow F \rightarrow B$ 段加入棋盘“卒”的走

法机制,并引入欧氏距离状态参数方程,设定蚂蚁的下一状态点。其中状态点 $S(x_s, y_s)$ 到目标点 $B(x_B, y_B)$ 的长度为 L_{SB} ,计算公式如下:

$$L_{SB} = \sqrt{(x_s - x_B)^2 + (y_s - y_B)^2} \quad (7)$$

式中:点 K, F, G 到目标点 B 的距离分别为 L_{KB}, L_{FB}, L_{GB} ,对应的计算公式如式(7)所示。则选取状态选择点 S 作为距离状态参数方程的相对参考起始点,假设下一状态点为 $N(x_{next}, y_{next})$,则表达式如下:

$$L_{NB} = \begin{cases} 0, & \sqrt{(x_{next} - x_B)^2 + (y_{next} - y_B)^2} > L_{SB} \\ S \rightarrow N, & \sqrt{(x_{next} - x_B)^2 + (y_{next} - y_B)^2} < L_{SB} \end{cases} \quad (8)$$

式中 L_{SB} 表示由状态点 S 到状态点 B 的长度。如果在状态转折点 S 处出现路径分支,只需在分支上各取一点。检测该点到目标点的距离 L_{NB} 与状态转折点 S 到目标点 B 的距离,如果 $L_{NB} > L_{SB}$,则放弃本条路径,否则选择该条路径继续向目标点 B 寻找全局规划路径。这种机制可有效防止蚁群算法在寻路过程中陷入局部最优解的问题。

2.2 路径再规划

通过改进蚁群算法得到的航迹,将存在角度的两段路径进行放大、细化;然后分别用两段上的相应路径规划点作为切点,找到相对应内切圆的圆心;最后作内切劣弧,求得劣弧所对应的圆心角 α 与内切圆的半径 R ,求出所作劣弧的长度代替原来存在角度的两边,得到新的轨迹。图2为再规划路径原理图。

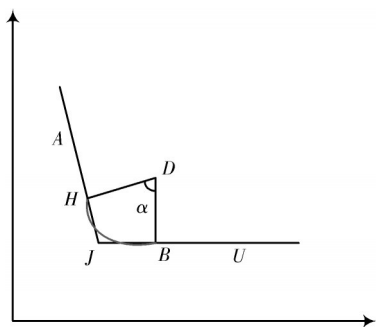


图2 再规划路径原理图

图2中将由劣弧 L_{BH} 代替原始规划航迹 L_{HJ} 与 L_{BJ} , H 点与 B 点分别为航迹段 L_{AJ} 与 L_{UJ} 的垂直平分点,其中通过航迹点 $H(h_x, h_y), B(b_x, b_y)$ 确定圆 D 的圆心坐标为 (d_x, d_y) ,计算公式如下:

$$\begin{cases} (h_x - d_x)^2 + (h_y - d_y)^2 = \psi \\ (b_x - d_x)^2 + (b_y - d_y)^2 = \psi \end{cases} \quad (9)$$

再通过已知的两个航迹段组成的夹角 θ 求出圆心角 α ,如下:

$$\alpha = 2\pi - (\pi/2) - (\pi/2) - \theta \quad (10)$$

可通过式(9)求得圆 D 的圆心坐标 (d_x, d_y) ,再将圆半径 R 求出,如下:

$$R = \sqrt{(h_x - d_x)^2 + (h_y - d_y)^2} \quad (11)$$

最后确定劣弧 L_{BH} 长度,计算公式如下:

$$\begin{aligned} L_{BH} &= 2\pi R \cdot \alpha \\ &= 2\pi R \cdot (2\pi - (\pi/2) - (\pi/2) - \theta) \\ &= 2\pi \cdot \sqrt{(h_x - d_x)^2 + (h_y - d_y)^2} \cdot (2\pi - (\pi/2) - (\pi/2) - \theta) \end{aligned} \quad (12)$$

3 仿真实验

本文仿真实验是在Matlab 2014上进行的,并且采用栅格图的形式构建无人机飞行环境模型,其中黑色网格代表障碍物,白色网格代表无人机可飞行区域。其中起始点坐标为 $(0.5, 19.5)$,目标点坐标为 $(19.5, 0.5)$ 。设定迭代次数为80,蚂蚁个数为60。图3与图4分别为传统蚁群算法下的航迹图与收敛图。

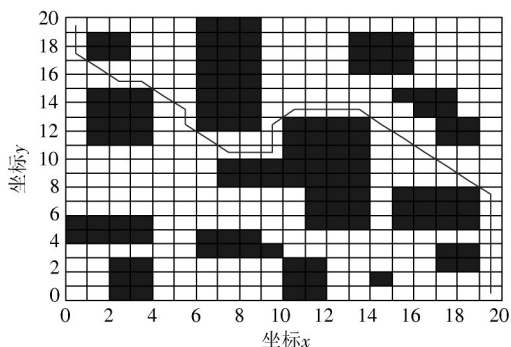


图3 传统蚁群算法的航迹轨迹

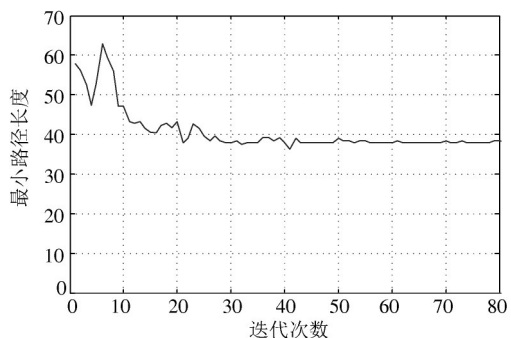


图4 传统蚁群算法的收敛曲线

由图4可知,最后的最小路径长度为38.5。图5与图6分别为改进算法后对应的仿真航迹图与收敛曲线。

由图6得出,最小路径长度为33.6,可知改进后的算法路径长度相较于传统的蚁群算法路径长度缩短了12.7%,达到了减少航迹长度的目的。

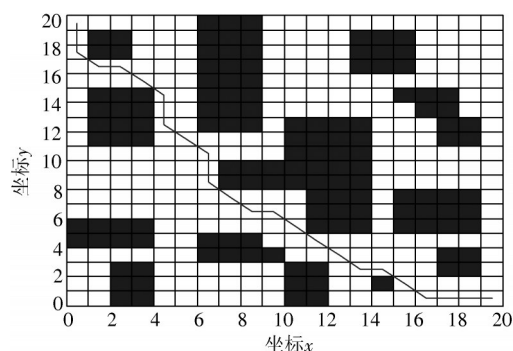


图5 改进蚁群算法的航迹轨迹

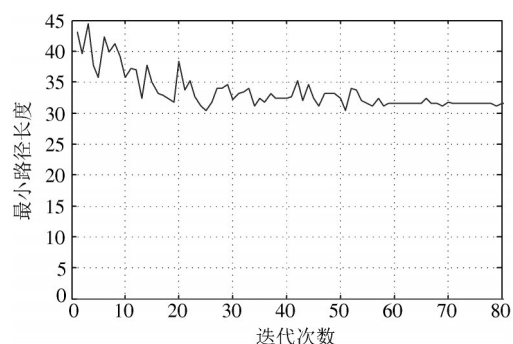


图6 改进蚁群算法的收敛曲线

从图3可以看出,由于蚂蚁在寻路的过程中陷入局部最优,最后导致越来越多的蚂蚁选择同一条路径,未能找到全局最优解。图5是在加入状态参数方程后的仿真图,在同一寻路过程中加入防止局部最优的方程,有效地得到了全局最佳航线。

图7为根据改进算法后的航迹进行再规划,在实际允许的情况下得到的最优航迹。其中红色的航迹线为在实际运动允许的情况下满足航迹规划的新路径。

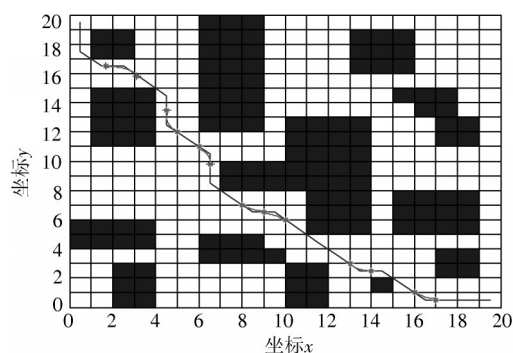


图7 再规划改进蚁群算法的航迹轨迹

图8为经过改进与再规划产生的新航迹图。由图8得到,经过再规划的航迹长度为32.298,相对于改进后的航迹长度缩短了3.88%,进一步达到了减少航迹长度的目的。表1是通过仿真得到的不同算法航迹长度的对比。

通过表1可知,改进后的蚁群算法相较于传统蚁群

算法路径长度变短,将改进后的蚁群算法航迹进行再规划,所得到的航迹长度缩短了16.1%。

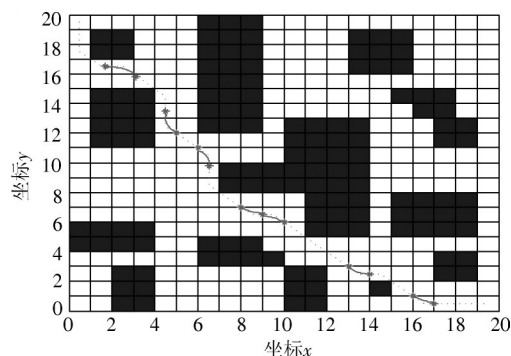


图8 整体改进后的航迹轨迹

表1 航迹长度对比

仿真方法	航迹长度	航迹缩短长度 /%
传统蚁群算法	38.5	—
改进蚁群算法	33.6	12.7
再规划改进蚁群算法	32.298	16.1

4 结 论

本文提出的基于改进蚁群算法的无人机航迹规划算法,引入象棋中“卒”的走法规则,通过设置状态参数方程避免陷入局部最优解,得到改进蚁群算法的航迹;再通过将改进算法后的航迹进行再规划得到新的航迹,新的航迹相较于传统算法路径缩短了16.1%,达到了减少航迹长度的目的。综上说明本文算法具有较大的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 陈朋,汤粤生,俞天纬,等.三维场景的实时无人机航迹规划方法[J].小型微型计算机系统,2020,41(9):1800-1805.
- [2] 郑红波,左少华,程燕飞,等.三维场景中实时路径规划优化算法[J].小型微型计算机系统,2019,40(3):660-664.
- [3] 熊自明,万刚,吴本材.基于改进蚁群算法的无人机低空突防三维航迹规划[J].电光与控制,2011,18(12):44-48.
- [4] 韩攀,陈谋,陈哨东,等.基于改进蚁群算法的无人机航迹规划[J].吉林大学学报(信息科学版),2013,31(1):66-72.
- [5] 陈侠,艾宇迪,梁红利.基于改进蚁群算法的无人机三维航迹规划研究[J].战术导弹技术,2019(2):59-66.
- [6] OLEYNIKOVA H, BURRI M, TAYLOR Z, et al. Continuous-time trajectory optimization for online UAV replanning [C]// International Conference on Intelligent Robots and Systems. Daejeon: IEEE, 2016: 21-27.
- [7] LIU S K, WATTERSON M, MOHTA K, et al. Planning dynamically feasible trajectories for quadrotors using safe flight

- corridors in 3-D complex environments [J]. IEEE robotics & automation letters, 2017, 25(1): 71-79.
- [8] MATTHEW C, TOM F, CHEN W H. Optimal polygon decomposition for UAV survey coverage path planning in wind [J]. Sensors, 2018, 18(7): 2132-2146.
- [9] 王玉宝,王诗宇,李备备,等.一种改进粒子群的工业机器人时间最优轨迹规划算法[J].小型微型计算机系统,2018,39(8): 1878-1881.
- [10] DORIGO M, MANIEZZO V. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents [J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 1996, 26: 29-41.
- [11] VÍCTOR S J, MATILDE S, MANUEL A J. Intelligent UAV map generation and discrete path planning for search and rescue operations [J]. Complexity, 2018, 15(1): 1123-1140.
- [12] GAO F, WU W, LIN Y, et al. Online safe trajectory generation for quadrotors using fast marching method and Bernstein basis polynomial [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation. Brisbane: IEEE, 2018: 102-110.
- [13] CHEN Jing, LIU Tianbo, SHEN Shaojie. Online generation of collision-free trajectories for quadrotor flight in unknown cluttered environments [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation. Stockholm: IEEE, 2016: 43-50.
- [14] LAI S P, LAN M L, CHEN B M. Efficient safe corridor navigation with jerk limited trajectory for quadrotor [C]// 37th Chinese Control Conference. Wuhan: IEEE, 2018: 1491-1496.
- [15] LIU S K, WATTERSON M, MOHTA K, et al. Planning dynamically feasible trajectories for quadrotors using safe flight corridors in 3-D complex environments [J]. IEEE robotics & automation letters, 2017, 25(1): 71-79.

作者简介:宋宇(1969—),男,黑龙江呼兰人,硕士,教授,研究方向为嵌入式系统及小型无人机系统与航迹规划。

顾海蛟(1994—),男,山西大同人,硕士研究生,研究方向为微小型无人机航迹规划。

程超(1984—),男,吉林长春人,博士,副教授,研究方向为无线通信理论与技术及轨道故障检测。