

基于改进蚁群算法的巡检机器人 避障路径规划方法设计

李 鹏, 闵小翠, 王建华

(广州华立科技职业学院, 广东 广州 511325)

摘 要:针对机器人进行避障路径规划时存在收敛速度差、规划路径长、迭代次数多以及规划时间长的问题,提出基于改进蚁群算法的巡检机器人避障路径规划方法。首先使用栅格法划分巡检机器人工作环境,通过对像素矩阵等指标的分析,构建栅格地图模型;基于人工势场法提出蚁群路径规划算法,使蚁群适应子空间的搜索;最后在模型中利用该算法,寻找该模型的最佳路径。实验结果表明,运用该方法进行路径规划时,收敛速度快、规划路径短、迭代次数少以及规划时间短。

关键词:蚁群算法;巡检机器人;避障路径;人工势场

中图分类号:TP242 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2257(2022)02-0071-04

Design of Obstacle Avoidance Path Planning Method for Inspection Robot Based on Improved Ant Colony Algorithm

LI Peng, MIN Xiaocui, WANG Jianhua

(Guangzhou Huali Science and Technology Vocational College, Guangzhou 511325, China)

Abstract: Aiming at the problems of poor convergence speed, long planning path, large number of iterations and long planning time when using current methods for obstacle avoidance path planning of robot, a method designed for obstacle avoidance path planning for inspection robot based on improved ant colony algorithm is proposed. First, a grid method is used to divide the working environment of the inspection robot, and a grid map model is constructed through the analysis of the pixel matrix and other indicators; an ant colony path planning algorithm based on the artificial potential field method is proposed to adapt the ant colony to the subspace search; finally, the algorithm is used in the model to find the best path of the model. Experimental results show that this method for path planning has high convergence speed, short planned path, fewer iterations and shorter planning time.

Key words: ant colony algorithm; inspection robot; obstacle avoidance path; artificial potential field

0 引言

机器人的避障路径规划一直是机器人研发领域重要的研究课题。人们将人工智能与机器人研发领域进行结合^[1],从而有效地解决了机器人工作时的避障规划问题^[2]。巡检机器人作为实用性机器

人的一种,在工作时准确地躲避工作空间中的障碍,快速移动到目标区域,更是该类机器人工作安全进行的保障^[3]。

封硕等^[4]提出基于双粒子群算法的矿井搜救机器人路径规划,该方法在计算障碍物时存在一定问题,导致其在规划路径时所需的迭代次数多。毛鹏

收稿日期:2021-09-08

基金项目:广东省高职院校高水平专业群(GSPZYQ2020082);广东省大学生科技创新培育专项资金项目(pdjh2020b1410)

作者简介:李 鹏 (1982-),男,江西赣州人,硕士,副教授,研究方向为计算机应用技术;闵小翠 (1984-),女,湖南益阳人,硕士,副教授,研究方向为计算机应用;王建华 (1956-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士,教授,研究方向为人工智能和大数据。

军等^[5]提出基于 Q-学习的果园机器人避障算法研究,该方法截取雷达数据时存在一定问题,所以在进行路径规划时的收敛速度慢。

为解决上述方法中存在的问题,提出基于改进蚁群算法的巡检机器人避障路径规划方法。

1 环境建模

在巡检机器人工作的二维环境空间内,存在若干障碍物,因此要基于可视的已知信息对该空间进行遍历,构建巡检机器人工作环境的二维栅格地图模型^[6]。

1.1 环境空间划分

设定巡检机器人在工作区间的移动区域为 A , 构建一个二维坐标系,该移动区域的左下角设定为 O 点,水平向右为坐标系 X 轴方向,垂直向上为坐标系 Y 轴方向。若巡检机器人的最小活动步长为 δ ,且在构建的二维坐标系 X 、 Y 方向的最大值为 X_{\max} 和 Y_{\max} ,基于 δ 对巡检机器人的移动区域进行划分处理,使每行的栅格数为 $N_x = X_{\max}/\delta$,每列的栅格数为 $N_y = Y_{\max}/\delta$,由此构建 $m \times n$ 的栅格矩阵,结果为

$$\begin{cases} m = c(N_x) \\ n = c(N_y) \end{cases} \quad (1)$$

c 为向上运算因子。

1.2 建立像素矩阵

假定 A 中存在静态障碍物 l 个,经过膨胀处理后,会在构建的栅格地图中占一定位置,因此要将构建的二维栅格地图划分为障碍区域集 O 以及自由活动区域集 F ,且 $F = A - O$ 。依据该项划分结果,完成障碍物空间的像素矩阵的构建,过程为

$$M(i, j) = \begin{cases} 0 & A_{ij} \in F \\ 1 & A_{ij} \in O \end{cases} \quad (2)$$

其中,构建的像素矩阵标记为 $M(i, j)$ 形式。

1.3 识别栅格

在对巡检机器人进行路径规划时,需要对构建的栅格地图进行有效识别,识别时可利用序号法以及直角坐标法对栅格进行识别。

a. 序号法:在构建的二维直角坐标系中,依照从下至上、由左至右的顺序对栅格进行排序,并对栅格进行序号标记。

标记时,设定 $C = \{1, 2, \dots, M\}$ 为栅格的序号集,坐标系中 $g(1, 1)$ 为序号 1, $g(1, 2)$ 为序号 2,直至标记完成。

b. 直角坐标法:依据上述构建的二维直角坐标系,获取每个栅格的区间边长。首先设定 $g \in A$ 为地图中的任意栅格, A 中的所有 g 的集合标记为 A_g ,则 $O \in A_g$ 。若 A_g 中的每一个 g 在坐标系中都有属于自己的位置 (x, y) ,则将该位置记为 $g(x, y)$ 。

由于 2 种标识方法都基于栅格地图,所以 2 种方法属于互相映射关系,结果为

$$\begin{cases} n = x + N_y \\ \begin{cases} x = \text{mod}(n, N_x) \\ y = \text{int}(n, N_y) \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

舍余运算标记为 mod ;求余运算标记为 int 。

将上述的 2 种标识方法结合,对获取的像素矩阵进行编码处理,获取序号的单元坐标^[7]。过程中需要对像素矩阵与单元序号,以及单元坐标到单元序号之间的映射关系进行获取,结果为

$$\begin{cases} N(i, j) = mx(j-1) + i \\ g_x(i, j) = i - 0.5\delta \\ g_y(i, j) = i - 0.5\delta \end{cases} \quad (4)$$

i 为 x 轴方向的障碍位置; j 为 y 轴方向的障碍位置; $g_x(i, j)$ 为 x 轴的单元序号映射关系; $g_y(i, j)$ 为 y 轴的单元序号映射关系; $N(i, j)$ 为像素矩阵与单元序号之间的映射关系; m 为障碍物数量; δ 为机器人步长。

将获取的 2 个映射关系进行整合,获取坐标单元与序号之间的映射关系,结果为

$$N(x, y) = mx(y + 0.5\delta - 1) + x + 0.5\delta \quad (5)$$

$N(x, y)$ 为坐标单元与序号之间的映射关系。

1.4 逻辑对应

依据上述分析可知,机器人移动区域 $\forall g \in A_g$,且 $g \notin O$,那么 g 为栅格中的可行节点,将所有的可行节点进行整合,构建可行域记作 F 。

首先需要依据逻辑边获取判定条件,过程中设定 $N_i \in F$,那么栅格点 N_i 与栅格点 N_j 二者间就可以生成逻辑边,过程为

$$d(N_i, N_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (6)$$

$d(N_i, N_j)$ 为获取的逻辑边。

由于栅格法会将连续的路径信息进行离散化处理,因此可将巡检机器人的移动轨迹划分成单个的运动信息,并将其保留在各个栅格中。再基于栅格中保存的信息,将机器人的移动方向进行细致的划分。

2 路径规划

基于上述构建的环境模型,利用改进的蚁群算

法完成对巡检机器人避障路径的规划^[8]。

2.1 蚁群算法

通常情况下,蚂蚁在进行信息传递时,由于信息素的原因,上一代蚂蚁遗留下的信息素会对下一代产生影响。蚁群在运动时,由于信息素的扩散,导致蚂蚁在寻找最佳路径时,2只蚂蚁的运动轨迹发生重叠,因此要将人工势场与蚁群算法进行结合,实现机器人避障路径规划^[9]。因此,蚂蚁需要在障碍物与目标点的势场方向建立局部启发信息素,提高蚂蚁在寻找路径时的预避障能力,从而蚁群能够适应子空间的搜索。

设定在寻找最佳路径时遭受的障碍物斥力为 f_1 以及 f_2 ,目标点引力标记为 f_a ,机器人受力方向为 θ ,大小为 λ ,二者合力为 $f(\lambda, \theta)$ 。寻找过程中可根据机器人受力方向与相邻栅格之间的角度差确定信息素的扩散方向。

将信息素浓度以及目标距离设定为高斯分布,这样就能让信息素在扩散时朝目标方向进行扩散,由此构建信息素的简化扩散模型。设定该简化模型为椎体形状,高为 L ,顶角为 γ ,扩散半径为 l_o ,栅格中 i 点位置的信息素标记为 $q(i)$,第 i 个栅格点与第 j 个栅格点之间的距离为 η 。本次蚂蚁搜寻路径的信息素扩散过程,结果为

$$\begin{cases} l_o = L \tan \frac{\gamma}{2} \\ \tau_{ij}^* = \delta q(i) \frac{L \tan \frac{\gamma}{2} - \eta}{L \tan \frac{\gamma}{2}} \end{cases} \quad (7)$$

τ_{ij}^* 为从 i 点扩散至 j 点的信息素; δ 为扩散系数。计算过程中,若扩散系数较大,则会导致本次搜寻提前进入局部最优状态。

基于栅格的环境特性,人工势场的势场力 $f(\lambda, \theta)$ 会发生变化,所以需要依据机器人的受力方向以及受力大小将信息素进行平滑处理^[10]。

设定栅格地图模型中栅格边长为1,计算信息素在垂直以及斜对角2种扩散情况下的信息素扩散距离,此时 $L \tan \frac{\gamma}{2}$ 取值为 $\frac{3\sqrt{2}}{2}$, η 为1,垂直扩散结果为

$$\tau_{ik}^* = \begin{cases} \delta q(i) \frac{\frac{3\sqrt{2}}{2} - 1}{\frac{3\sqrt{2}}{2}} = 0.53\delta q(i) & i \in A_k \\ 0 & i \notin A_k \end{cases} \quad (8)$$

A_k 为下一步的访问栅格; τ_{ik}^* 为栅格点 i 至垂直点 k 的扩散距离。当 η 取值为2时,斜对角扩散距离为

$$\tau_{ij}^* = \begin{cases} \delta q(i) \frac{\frac{3\sqrt{2}}{2} - \sqrt{2}}{\frac{3\sqrt{2}}{2}} = 0.33\delta q(i) & i \in A_k \\ 0 & i \notin A_k \end{cases} \quad (9)$$

τ_{ij}^* 为栅格点 i 至垂直点 j 的扩散距离。且式(8)和式(9)中的0为不相邻栅格的扩散距离。

基于上述计算结果,蚂蚁只需向信息素浓密的方向进行搜索,即可快速寻找出巡检机器人的最佳移动路径。

2.2 算法流程

a. 基于栅格法,生成巡检机器人移动场地的环境栅格地图模型,设定有障碍物的栅格为1,无障碍栅格为0;模型的左下角为起始点 S ,目标点为 E 。

b. 对蚁群以及人工势场进行初始化处理。

c. 设定机器人的当前受力为 $f_i(\lambda, \theta)$,依据机器人的受力方向,构建局部的扩散信息素 τ_{ij}^* 。

d. 计算第 k 只蚂蚁从第 i 个栅格点转移至第 j 个栅格点的转移概率,结果为

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^*(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in A_k} \tau_{is}^*(t) \eta_{is}^\beta(t)} & j \in A_k \\ 0 & j \notin A_k \end{cases} \quad (10)$$

α 为信息素的启发因子; β 为期望因子; η_{ij} 为栅格点2点之间的启发程度; τ_{ij} 为2点之间的信息素; t 为时间; B_K 为初始化禁忌表; k 为势场增益。且 $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$, $A_k = \{C - B_K\}$, $\tau_{ij} = \tau_{ij}' + \tau_{ij}''$ 。

e. 将第 j 个栅格点加入 B_K 中。并对上述过程进行迭代计算,直至全部蚂蚁到达终点。对所有蚂蚁路径进行保存。

f. 更新信息素矩阵,更新结果为:

$$\tau_{ij}'(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}'(t) + \Delta\tau_{ij}'(t, t+1) \quad (11)$$

$$\Delta\tau_{ij}'(t, t+1) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (12)$$

$$\Delta\tau_{ij}'(t) = \begin{cases} Q/L_k & i, j \in A_k \\ 0 & i, j \notin A_k \end{cases} \quad (13)$$

Q 为信息素强度; ρ 为挥发因子; L_k 为第 k 只蚂蚁走过的最长路径。

g. 在寻找出的路径中找出最短路径作为巡检机器人避障的最短路径,完成机器人的路径规划。

3 实验分析

为了验证基于改进蚁群算法的巡检机器人避障路径规划方法的整体有效性,需要对该方法进行有效测试。

分别采用基于改进蚁群算法的巡检机器人避障路径规划方法(本文方法)、基于双粒子群算法的矿井搜救机器人路径规划算法(文献[4]方法)以及基于Q-学习的果园机器人避障算法(文献[5]方法)进行巡检机器人避障路径规划测试。

a. 避障路径规划方法的收敛速度对规划效果产生的影响巨大,收敛速度越快,路径的规划效果就越好。在对巡检机器人进行避障路径规划时,对3种方法的收敛速度进行测试,测试结果如图1所示。

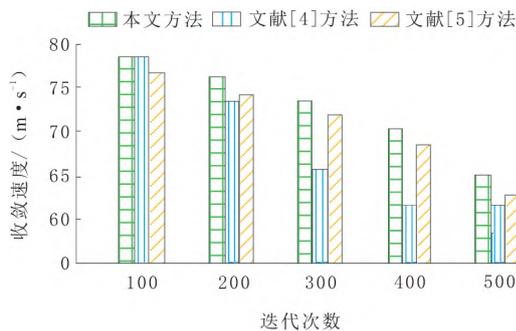


图1 不同方法的收敛速度测试结果

分析图1可知,本文方法在进行路径搜索时所检测出的收敛速度要高于其他2种方法。由此可知,利用本文方法进行巡检机器人避障路径规划时的收敛速度快。

b. 进行巡检机器人避障路径规划时,对3种方法规划的路径长度进行对比,测试结果如图2所示。

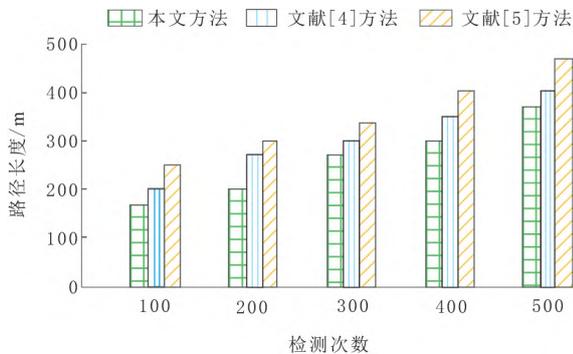


图2 不同方法的路径规划长度检测结果

分析图2可知,随着检测次数的不断增加,3种方法检测出的路径长度均有所增加,而经过本文方法所搜寻出的巡检机器人避障路径是3种方法中最短的。由此可知,本文方法在进行巡检机器人避障路径规划时的规划路径短,规划效果好。

c. 路径规划过程中,迭代次数与规划路径的长度存在相关。基于上述检测结果,对3种方法在进行机器人避障路径规划时的迭代次数进行测试,测试结果如图3所示。

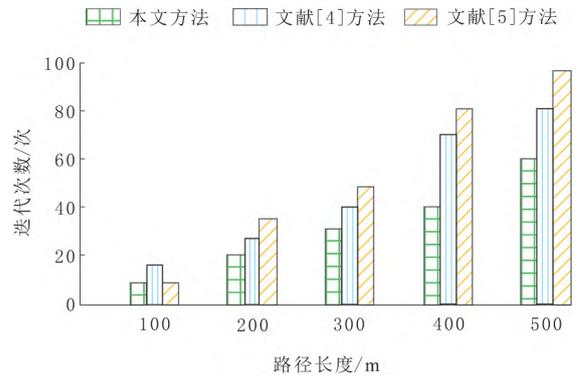


图3 不同方法的迭代次数检测结果

分析图3可知,路径的长度越长,巡检机器人进行避障路径规划时的所需的迭代次数就越多,而本文方法在进行巡检机器人避障路径规划时所需要的迭代次数较其他2种方法要少。

d. 基于上述实验结果,对3种方法的路径规划时间进行测试,测试结果如图4所示。

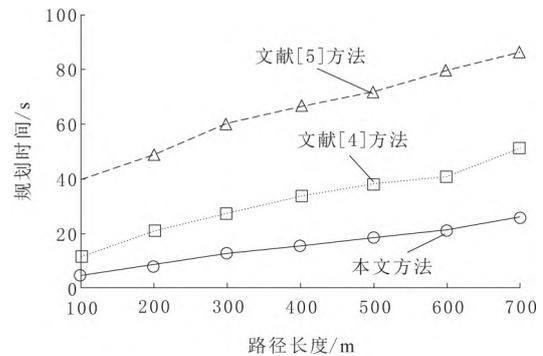


图4 不同方法的规划时间测试结果

分析图4可知,随着路径长度的不断增加,3种路径规划方法的路径规划时间均呈现不同程度的增加趋势。本文方法的避障路径规划时间低于其他2种方法。

4 结束语

针对传统机器人避障路径规划方法中存在的问题,提出基于改进蚁群算法的巡检机器人避障路径规划方法。该方法首先基于栅格法构建环境地图模型;再将人工势场法与蚁群算法进行结合,通过对路径的搜寻,完成机器人避障路径的规划。实验结果表明,该方法的避障规划路径距离短、规划时间短,具有一定的有效性。

(下转第80页)

分析得出:

a. 本文方法能准确完成顺控倒闸操作过程中一次设备故障诊断,准确度顺控操作准确度持续保持在 90%左右。

b. 通过改进顺控倒闸操作过程中防误闭锁逻辑可有效降低二次设备电损率,保护变电站的安全运行。

c. 使用本文方法后,在正常运行状态、解列状态和三相不平衡状态下,可保证变电站电压平稳。

d. 在 3 种负荷程度下,使用本文方法后的故障节点负荷电压最低,有效减少变电站倒闸操作时产生的负荷,更好地保证变电站的运行。

参考文献:

- [1] 迟福建,刘聪,申刚,等.基于高阶朴素 Bayes 算法的电网防误合故障诊断[J].中国测试,2019,45(12):132-137,164.
- [2] 赖声钢.基于 GPRS 和 ZigBee 网络的地铁变电站防误闭锁系统设计[J].城市轨道交通研究,2018,21(4):135-138.
- [3] 张勇军,孙舒逸,刘轩.基于区域无功均分法的环网内变电站关口无功控制[J].电力自动化设备,2017,37(9):116-123.
- [4] 席禹,邹俊雄,蔡泽祥,等.基于报文识别与流量管控的智能变电站保护控制信息安全防护方法[J].电网技术,2017,41(2):624-629.
- [5] 夏圣峰,殷自力,陈宇星,等.基于无线供电技术的防误闭锁系统电脑钥匙及其锁具设计[J].电力系统自动

化,2017,41(19):159-163.

- [6] 李冬.18 kV 发电机出口刀闸操作隐患分析及改进措施探讨[J].水力发电,2017,43(4):28-30.
- [7] 樊金志,姜书平,周连春,等.防止液压支架操作阀手把误动作的闭锁装置在苏家沟煤矿的实践与应用[J].煤炭技术,2018,37(4):251-253.
- [8] 陈哲,臧富锋,刘园伟,等.基于设备自锁定技术的二次设备就地运维方法[J].电力系统保护与控制,2019,47(13):156-161.
- [9] 高旭,马迎新,王可,等.基于连通状态矩阵的智能变电站安措校核方法[J].电力自动化设备,2019,39(7):195-202.
- [10] 姜宪国,周泽昕,杜丁香,等.基于断线识别的同塔双回线零序纵联保护防误动方案[J].电力系统及其自动化学报,2018,30(11):32-38.
- [11] 李中伟,朱识天,崔秀帅,等.基于改进 NSSK 协议的智能变电站密钥管理方案[J].电力系统自动化,2017,41(5):139-146.
- [12] 谭晶,夏俏,窦昊翔,等.基于规则推理的智能变电站操作票自动生成方法[J].电网与清洁能源,2019,35(7):55-65.
- [13] 张旭升,李江林,赵国喜.智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J].电力系统保护与控制,2017,45(11):141-146.
- [14] 彭志强,张琦兵,苏大威,等.基于 GSP 的变电站监控系统远程运维技术[J].电力自动化设备,2019,39(4):210-216.
- [15] 何业慎,梁琨,谭威,等.基于物联网技术的智能变电站安防监控系统[J].电信科学,2018,34(9):179-185.

(上接第 74 页)

参考文献:

- [1] 刘延鹤,傅万四,张彬,等.林业机器人发展现状与未来趋势[J].世界林业研究,2020,33(1):38-43.
- [2] 李卫硕,孙剑,陈伟.基于 BP 神经网络机器人实时避障算法[J].仪器仪表学报,2019,40(11):204-211.
- [3] 房泽岩.船用爬壁监测机器人避障行走最优路径规划方法[J].舰船科学技术,2020,42(2):46-48.
- [4] 封硕,谢廷船,康靖,等.基于双粒子群算法的矿井搜救机器人路径规划[J].工矿自动化,2020,46(1):65-71.
- [5] 毛鹏军,张家瑞,黄传鹏,等.基于 Q-学习的果园机器人避障算法研究[J].农机化研究,2020,42(11):29-34.
- [6] 赵治国,王凯,周良杰,等.融合预瞄与势场栅格法的紧

急避障驾驶人模型[J].中国公路学报,2019,32(6):274-282.

- [7] 李明飞,阎璐,杨然,等.基于 Hadamard 矩阵优化排序的快速单像素成像[J].物理学报,2019,68(6):87-94.
- [8] 周鲜成,刘长石,周开军,等.时间依赖型绿色车辆路径模型及改进蚁群算法[J].管理科学学报,2019,22(5):57-68.
- [9] 袁朝春,翁烁丰,何友国,等.基于改进人工势场法的路径规划决策一体化算法研究[J].农业机械学报,2019,50(9):394-403.
- [10] 王洪斌,尹鹏衡,郑维,等.基于改进的 A* 算法与动态窗口法的移动机器人路径规划[J].机器人,2020,42(3):346-353.