

智能移动机器人避障路线自动规划系统设计

申晓平

(常州工业职业技术学院 信息工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要:为缩短智能移动机器人避障规划路线过长问题,研究设计双优化蚁群算法的智能移动机器人避障路线自动规划系统。通过激光测距传感器采集机器人工作环境信息,构建作业空间模型,建立移动机器人运动坐标系,采用双优化蚁群算法进行机器人避障路线规划,通过概率转移函数搜索最优路径点,输出最优避障路线规划结果。测试结果表明:系统规划的避障路线可以有效实现避障行进,且长度较短,平均为 20.45 m,具有比较明显的优越性。

关键词:移动机器人;避障策略;路线规划;空间环境;蚁群算法

中图分类号:TP242.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)05-0028-04

Design of Automatic Planning System for Obstacle Avoidance Route of Intelligent Mobile Robot

SHEN Xiaoping

(School of Information Engineering, Chanzhou Vocational Institute of Industry Technology, Changzhou 213164, China)

Abstract: To shorten the lengthy obstacle avoidance planning route of intelligent mobile robots, an automatic obstacle avoidance planning system of intelligent mobile robots based on double optimization ant colony algorithm is designed. The working environment information of the robot is collected by laser ranging sensor, a workspace model is built, and the moving coordinate system of the mobile robot is established. The double optimized ant colony algorithm is applied to plan the robot obstacle avoidance route, the optimal path point is searched by the probability transfer function, and the optimal obstacle avoidance route planning result is output. The system test results show that the obstacle avoidance route planned by the system has obvious advantages of effective obstacles avoidance and shorter route length, which is as short as 20.45 m on average.

Keywords: mobile robot; obstacle avoidance strategy; route planning; space environment; ant colony

0 引言

随着现代科学技术的进步,智能移动机器人在电力巡检、水下环境勘探等领域均得到广泛应用^[1]。但是,由于机器人运行的空间环境越来越复杂,使得路径规划技术成为保障智能移动机器人正常工作的基础。通过多种信息采集模式,明确机器人工作环境中存在的障碍物,自动规划一条从起点到终点的路线,并保证沿该路线行驶不会出现碰撞问题^[2]。现有的避障路线自动规划系统存在局限性,面对多障碍环境时,难以规划出最优避障路线。因此,智能移动机器人避障路线自动规划系统的设计,成为备受关注的研究项目。

文献[3]采用栅格法对机器人工作环境进行划分,并按照不同搜索区域的尺寸,为蚁群分配对应的初始信息素;建立目标性启发函数,辅助蚁群选取路径点;同时,引入狼群分配策略,实现避障路径的动态规划。文献[4]根据机器人运动特点建立差速驱动模型,获取驱动轮线速率;运用 Bezier 曲线原理,将避障路线规划问题,转换为有限点方位优化求解问题;通过遗传算法求解出最优避障路线。文献[5]引入关键航迹点理念,以躲避障碍物为基础

规划一条初始运行路径,在移动机器人规划路径中提取关键路径点,计算其与待评价轨迹之间的距离,生成 DWA 评价函数;汇总评价结果,生成最优机器人避障路径。但是,上述方法规划路线总长度较长,在机器人避障行进时会耗费较长的时间。

针对存在的问题,本文设计了一种新的智能移动机器人避障路线自动规划系统,采用改进避障策略和双优化蚁群算法生成更优的避障路线。实验结果表明,本系统可以得出较短的避障路线。

1 智能移动机器人避障路线自动规划系统的驱动信息采集模块

1.1 驱动模块设计

为了确保智能移动机器人正常运转,在自动规划系统设计过程中,在机器人 4 路驱动电机附近安装外接电机驱动模块^[6]。选择 L298N 驱动芯片为核心,驱动模块的电路结构如图 1 所示。在图 1 中,驱动模块由 2 个 L298N 芯片组成,分别连接移动机器人的 4 路驱动电机。为了控制电机转速和转向,在驱动模块内安装 STM32 控制芯片,根

基金项目:2020 年度常州市应用基础研究计划项目(CJ20200007)

作者简介:申晓平(1980-),女,江苏海安人,讲师,硕士,研究方向为物联网应用技术,zaw0609@126.com。

据 PWM 信号向 L298N 芯片发送调速指令,实现电机之间转速配合。

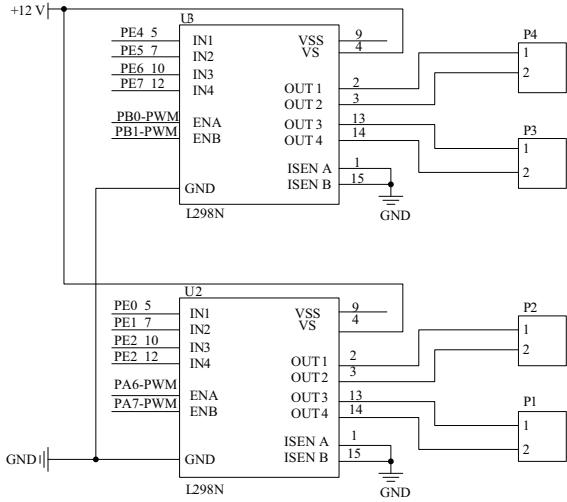


图 1 驱动电路示意图

1.2 信息采集的激光测距传感器

考虑到机器人运动路线的规划,需要以避障为主要目的,文中针对激光测距传感器进行设计。参考 ST 公司生产的传感器结构,运用可回流焊封装技术,将单光子雪崩二极管接收器、激光发射器组合到一起,得到微型激光测距传感器,再将其安装在移动机器人本体上,设置精确测量范围为 4 m^2 ,对机器人运行环境中的障碍物进行检测和采集,采集的信息即为后续避障路线自动规划的依据。

2 智能移动机器人避障路线自动规划系统的核心技术

2.1 构建智能移动机器人作业空间模型

应用激光测距传感器,采集机器人工作环境中的各种要素,以数据信息的形式进行保存,提取作业空间的地形特征、位置特征,构建三维空间模型^[7],辅助避障路线规划。引入栅格法,将机器人运行空间划分为无数个大小相同的栅格,根据地形特征和位置特征,设置对应的栅格值,并将障碍物所在栅格和正常栅格标注为不同颜色,从而得到模拟数字地图。

$$Z(x, y) = \sum_{u=1}^N \varphi_u \exp \left[- \left(\frac{x - x_u}{s_u} \right)^2 - \left(\frac{y - y_u}{s_u} \right)^2 \right] + \varphi \quad (1)$$

式中: x 表示地理空间三维坐标的 x 轴; y 表示地理空间三维坐标的 y 轴; Z 表示地形数据; u 表示山峰; N 表示地理空间内山峰总数量; φ 表示基准峰顶高度值; φ_u 表示山峰 u 的峰顶高度值; (x, y) 表示地理空间的极限坐标; (x_u, y_u) 表示山峰坐标; s_u 表示山峰的坡度衰减系数。

由于智能移动机器人在运行过程中,可能会面临未知的环境信息,威胁机器人运行安全。因此,作业空间模型构建过程中,根据障碍物与机器人之间的距离,计算障碍威胁概率,在数字地图中标注避障威胁区域,标注后的

数字地图为

$$\bar{Z}(x, y) = P(e) \cdot A(x, y) + Z(x, y) \quad (2)$$

式中: $\bar{Z}(x, y)$ 表示标注后的地形数据; e 表示障碍物与移动机器人之间的距离; P 表示障碍威胁概率; $A(x, y)$ 表示障碍物的地理空间坐标。

2.2 建立移动机器人运动坐标系

为了规划出更加合理的避障运行路线,文中在机器人运行平面上选择一个点,建立移动机器人运动坐标系^[8]。设置机器人质心为坐标原点,并引出其他坐标轴,具体如图 2 所示。图 2 中, O_{xy} 表示全局坐标系, $O'x'y'$ 表示机器人本体坐标系, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 表示移动机器人的 4 个轮的向量。

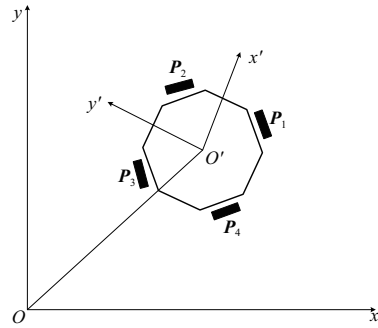


图 2 智能移动机器人坐标图

智能移动机器人的运动方向,取决于 4 轮电机转向,设置 4 个电机转速相同,则机器人在全局坐标系的位置可以通过机器人运动的逆时针方向来描述。根据机器人质心与每个轮子之间的距离,可以将轮向量表示为

$$P_1 = k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, P_2 = k \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, P_3 = k \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}, P_4 = k \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 k 表示机器人质心与轮子之间的距离。

在此基础上,计算移动机器人坐标系到轮子中心点的单位矢量:

$$B = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} \eta \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} P_i \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

式中: B 表示机器人坐标系到轮子中心点的单位矢量; η 表示轮子中心点的向量; P_i 表示第 i 个轮子。

之后,建立如下所示二维旋转矩阵:

$$R(\varepsilon) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: ε 表示智能移动机器人旋转角度; R 表示二维旋转矩阵; \cos 表示余弦函数; \sin 表示正弦函数。

根据机器人在坐标系内的位置坐标,可得出每个轮子的中心点向量:

$$\eta = I(x, y) + R(\varepsilon) \times P_i \quad (6)$$

式中: I 表示智能移动机器人; $I(x, y)$ 表示机器人位置坐标。

明确机器人每个轮子的速度矢量,可以得出如下所示运动关系表达式:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\varepsilon' & \cos\varepsilon' & k \\ -\cos\varepsilon' & -\sin\varepsilon' & k \\ \sin\varepsilon' & -\cos\varepsilon' & k \\ \cos\varepsilon' & \sin\varepsilon' & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \varepsilon' \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中： V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 表示 4 个轮子的速度矢量； ε' 表示机器人本体坐标系内机器人旋转角度。

移动机器人运动坐标系建立完成后，在此基础上进行避障路线自动规划。

2.3 设计机器人避障路线规划方法

在智能移动机器人作业空间模型内，针对起点、目标点和终点栅格分别设置编号，再实施双优化蚁群算法，进行机器人避障路线规划。首先，按照均匀分布的原则^[9]，设置蚁群内每一只蚂蚁的初始信息素完全相同，并对其他参数进行初始化处理，根据蚁群搜索特点，得到信息素更新过程：

$$\tau_{cd}(t+1) = (1-\lambda)\tau_{cd}(t) + \Delta\tau_{cd, \lambda \in (0,1)} \quad (8)$$

式中： c 、 d 表示路径点； τ_{cd} 表示初始信息素； $\Delta\tau_{cd, \lambda \in (0,1)}$ 表示信息素增量； λ 表示信息素挥发因子； t 表示迭代次数。

由于蚁群迭代初期信息素的引导能力较差，需要应用启发式信息，引导蚁群搜索方向，直到各避障路径端上信息素差异变大后，才可以强化信息素的主导作用。因此，机器人避障路线自动规划过程中，提出自适应信息素因子和自适应启发式因子，二者分别表示为

$$\bar{\alpha} = \left[\frac{\zeta + F}{\zeta} \right] \alpha \quad (9)$$

$$\bar{\psi} = \begin{cases} \left[\frac{\zeta + F}{\zeta} \right] \psi, & F \leq \frac{\zeta}{2} \\ 0.5\psi, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

式中： α 表示信息素因子； $\bar{\alpha}$ 表示自适应信息素因子； ζ 表示最大迭代次数； F 表示当前迭代次数； ψ 表示启发式因子； $\bar{\psi}$ 表示自适应启发式因子。

同时，为了避免优质路径点选择概率较低的问题，引入伪随机概率调整因子，建立新的概率转移函数，用以辅助蚁群搜索最优避障路径点。

$$w = \begin{cases} \arg_{s \in G} \max(\tau_{cs}^\alpha \theta_{cs}^\psi), & q \leq \sigma \\ \rho(\partial_{cd}^v), & q > \sigma \end{cases} \quad (11)$$

$$\rho(\partial_{cd}^v) = \begin{cases} \frac{\tau_{cs}^\alpha \theta_{cs}^\psi}{\arg_{s \in G} \max(\tau_{cs}^\alpha \theta_{cs}^\psi)}, & d \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

式中： w 表示基于伪随机概率转移函数生成的路径点； s 表示可行路径点； G 表示可行路径点集合； \arg 表示最优路径点搜索函数； \max 表示最大值； θ 表示启发式信息； v 表示某一只蚂蚁； ∂ 表示转移概率； ρ 表示利用轮盘赌策略选取路径点的函数； q 表示随机数； σ 表示伪随机概率转移调整因子。

根据上述公式可知，当随机数小于伪随机概率转移调整因子时，可以保留最优邻居路径点搜索结果。反之，当随机数大于伪随机概率转移调整因子时，需要采用轮盘赌策略继续搜索避障路线点。

最后，需要在蚁群搜索过程中，判断其是否处于死锁

状态。面临死锁状态时，应用回溯机制和路径长度清零机制跳出死锁问题，再继续搜索路径点，直到蚁群到达终点，就可以得到机器人避障路线规划结果。

3 系统的性能测试与分析

3.1 测试环境

为了测试本文设计的避障路线自动规划系统的应用效果，以某高校图书馆为例，搭建智能移动机器人运行环境。该图书馆的面积为 30 m×30 m，实际环境如图 3(a) 所示。为了便于规划避障路线，将图书馆实际环境描述为图 3(b) 所示的环境栅格地图，将图书馆内墙壁、书架等固定障碍物，描述为黑色栅格，而白色栅格表示智能移动机器人可移动区域。

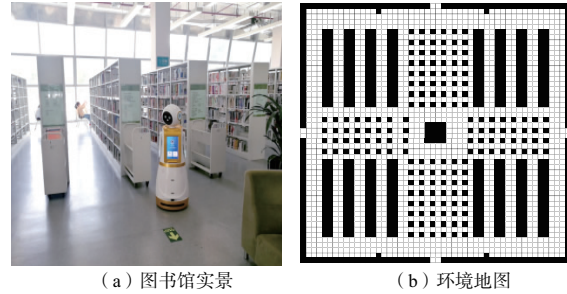


图 3 图书馆实景和环境地图

3.2 测试准备

在 Windows 系统上，编写本文设计的避障路线自动规划系统软件，通过系统登录、用户名输入、密码输入等步骤，打开自动规划系统的主页面，并进行地图图像浏览。在系统测试开始之前，选定机器人运动起点和终点，并设置 4 个目标点，规划的避障路线需要访问这些目标点，最终得到如图 4 所示地图。图 4 中，栅格地图顶部实心原点为机器人移动起始点，红色长方形标注了目标点，而右下方三角形表示机器人移动终点（因本刊为黑白印刷，有疑问之处可向作者咨询）。

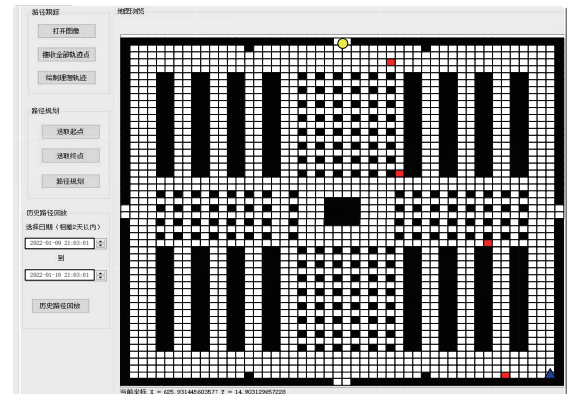


图 4 起点、目标点和终点的选取

机器人避障路线自动规划系统的实现，依托于双优化蚁群算法，在测试环境设置阶段，将蚁群算法相关参数设

置为表1。在上述测试准备条件下,运用文中提出的自动规划系统,生成机器人避障路线。

表1 蚁群算法参数

参数	参数值
初始信息素浓度	2
蚁群数量	30
最大迭代次数	300
信息素因子	2
启发式信息因子	8
信息素挥发因子	0.2
信息素常量	2
伪随机概率因子	0.5
死锁惩罚因子	0.2

3.3 避障路线规划结果

为了体现本文设计系统的优越性,分别选择基于ACO算法的规划系统、基于IACO算法的规划系统、基于机器学习的规划系统作为对比方法进行测试。在该图书馆内,设置起点、目标点和终点,确保机器人行进过程中会经过障碍物,设置不同的起点、目标点和终点共5组,每组重复测试10次,记录机器人避障路线。以其中一组实验为例,在不同系统控制下,得到图5所示的避障路线自动规划结果。根据图5可知,采用4种自动规划系统,均可以规划出一条从起点,经过目标点,最终到达终点的移动路线,且这条路线达到了避开障碍物的目的。但是,对比4条规划出的避障路线可知,基于ACO算法、基于IACO算法的规划系统,所生成的避障路线质量较差,表明这两种规划系统不适用类似图书馆的多障碍环境。而基于机器学习的规划系统,得出的避障路线质量较高,但有可以优化的空间。尤其在与本文设计系统规划的避障路线相比后,可以明确本文提出系统规划的避障路线更短。

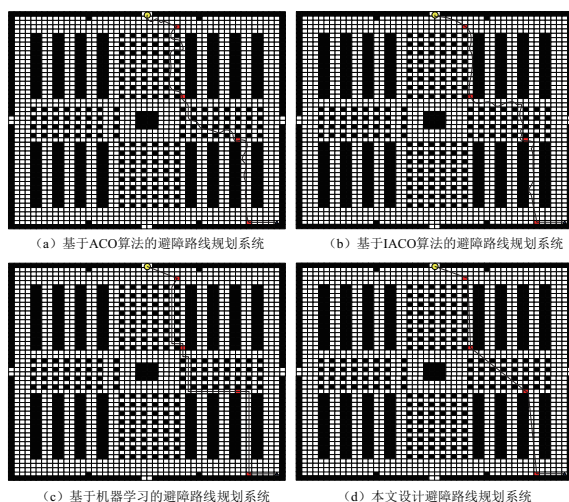


图5 不同系统的避障路线自动规划结果

3.4 路径长度对比

为了加强对比结果的直观性,计算不同系统的平均路径长度,得到表2所示的对比结果。根据表2可知,应用本文设计系统进行避障路线规划后,平均路径长度为20.45 m,与基于ACO算法、基于IACO算法、基于机器学习避障路线自动规划系统相比,使得平均路径长度缩减了45.04%、38.75%和32.15%。综上所述,文中提出的自动规划系统,在大规模、多障碍物环境下,可以生成路径长度较短的避障路线。

表2 不同系统规划的避障路线长度对比 单位:m

系统	避障路线长度
本文系统	20.45
基于ACO算法的规划系统	37.21
基于IACO算法的规划系统	33.39
基于机器学习的规划系统	30.14

4 结语

随着智能移动机器人工作环境越来越复杂,对其避障性能要求越来越高。本文为了增强机器人运行的安全性,结合改进动态避障策略和双优化蚁群算法,设计了一种新的避障路线自动规划系统。根据系统测试结果可知,本文系统与传统规划系统生成的避障路线相比,有效缩短了避障路径长度,验证了本文设计系统的优越性。

参考文献:

- [1] 李文彪. 基于深度强化学习的工业机器人避障路径规划方法[J]. 制造业自动化,2022,44(1):127-130.
- [2] 余腾伟,刘昌力. 动态环境下的移动机器人避障策略研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(9):131-136.
- [3] 袁福龙,朱建平. 基于改进蚁群算法的移动机器人最优路径规划[J]. 现代制造工程,2021(7):38-47,65.
- [4] 甘新基. 基于Bézier曲线的差速驱动机器人混合避障路径规划算法[J]. 吉林大学学报(理学版),2021,59(4):943-949.
- [5] 卞永明,季鹏成,周怡和,等. 基于改进型DWA的移动机器人避障路径规划[J]. 中国工程机械学报,2021,19(1):44-49.
- [6] 刘亚秋,赵汉琛,刘勋,等. 一种基于改进的快速扩展随机树的工业机器人路径避障规划算法[J]. 信息与控制,2021,50(2):235-246,256.
- [7] 华洪,张志安,施振稳,等. 动态环境下多重A*算法的机器人路径规划方法[J]. 计算机工程与应用,2021,57(10):173-180.
- [8] 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.
- [9] 刘宁宁,王宏伟. 基于改进灰狼优化算法的移动机器人路径规划[J]. 电测与仪表,2020,57(1):76-83,98.

收稿日期:2022-08-05