

基于变频器控制的自主导航机器人路径避障规划研究

李卫国

(天津市人力资源和社会保障局第二高级技工学校)

摘要: 路径避障规划需要在实时性要求下进行, 机器人需要实时感知环境变化并及时作出调整, 以确保安全导航。由于障碍物的存在, 机器人的速度调节难度较大, 为此, 研究基于变频器控制的自主导航机器人路径避障规划方法。引入 PID 控制器, 对机器人的电机变频器完成调速。基于改进蚁群算法建立机器人路径规划估价函数, 结合估价函数, 设计自动驾驶机器人的路径规划算法流程, 实现自主导航机器人路径避障规划。实验结果显示, 研究方法下自主导航机器人规划的路径更短, 且变频器控制的效果也更好。

关键词: 变频器控制; 自主导航机器人; 避障方法; 路径规划

0 引言

当今, 自主导航机器人已经成为各个领域中的重要工具和技术。然而, 在复杂的环境中进行路径规划和避障仍然是一个具有挑战性的问题^[1]。由于不同环境中存在各种静态和动态的障碍物, 机器人需要能够在不发生碰撞的情况下安全地移动。因此, 研究人员和工程师们致力于开发高效可靠的路径规划和避障算法。路径规划算法可以基于图搜索、离散状态空间规划、采样策略等不同方法来实现。另一方面, 避障算法旨在识别和规避机器人周围的障碍物^[2]。这些研究还涉及优化机器人导航的效率、安全性和鲁棒性。路线规划算法要求在最短时间内到达目标, 同时避免和其他机器人或人类产生冲突^[3]。此外, 随着智能导航机器人数量的增加, 多机器人协作与协调也成为研究热点, 以实现更高效的路径规划和避障。

龚成勇等人^[4]考虑到全局最优路径规划和局部精度的平衡, 通过融合高斯分布和柯西分布, 利用不同分布的特性, 增加算法的探索能力, 构建高斯函数, 精确定位局部最优解, 提高全局路径规划的质量和局部精度。采用界限随机重置机制, 定位超出边界的个体, 提高机器人避障路径规划的有效性。界限随机重置机制的引入是为了提高机器人避障路径规划的有效性。然而, 重置机制的频率和策略需要进行适当调整, 以防止种群过于靠近边界而忽略中间区域的搜索空间, 增加了避障路径规划的复杂性。但是, 高斯分布在规划机器人路径时存在的一个缺陷是对于复杂环境和多障碍物情况下的路径规划能力有限。Bharathi V 等人^[5]提出了一种考虑避障的轨迹跟踪控制方案。采用一种具有优先体验重放 (PER) 的双重深度强化学习算法 (DDQN), 用于移动机器人在未

知环境中规划路径。该方法具有更高的成功率和收敛速度。采用具有优先经验重播（PER）的双重深度强化学习算法（DDQN）会增加算法的复杂度和计算开销，导致更高的存储和计算需求。但是，双重深度强化学习算法通过使用两个神经网络进行状态值和动作值的估计，以实现路径规划和决策。然而，该算法训练过程较为复杂且耗时，在实际应用中可能不太适合实时路径规划的需要。

为此，本文研究一种新的基于变频器控制的自主导航机器人路径避障规划方法。

1 基于 PID 的机器人电机变频器调速

1.1 导航机器人的变频器控制

导航机器人使用变频调速的方法来控制电机转速的调整，通过变频器与电机的配合实现。这意味着可以根据需求实时调整电机的转速和输出功率，以适应不同的负载和工作条件，从而达到更精确的控制和更高的效率。这对于导航机器人而言具有重要意义，因为它们需要在不同的环境中自主移动和定位，同时保持稳定和可靠的性能。通过使用变频调速，导航机器人可以更好地应对工作环境的变化，提高运动的平稳性、精度和反应速度，从而增强导航的准确性和可控性。

变频器是一种电子设备，用于调节交流电动机的转速和输出功率。在变频器内部，根据控制信号和电机的负载状态，其内部电路会对输入电源进行频率调整并提供相应的电压给电动机。这样，变频器能够实现启停、加速减速以及反向运转等功能。

变频器利用电动机的转速以及电源的频率关系，展示其工作原理，因二者是正比关系，故公式为：

$$\chi = 60p(1-\eta) / R \quad (1)$$

式中， p 为导航机器人电源的频率； η 为其转差率； R 为定子绕组总量。

在自主导航机器人路径规划中，变频器的作用

主要体现在对导航机器人的驱动电机进行精确控制方面。具体而言，变频器在路径规划中的作用包括以下几个方面：

调节速度：变频器可以调整驱动电机的转速，使机器人能够在不同场景中以适当的速度移动。例如，在室内环境中，机器人可能需要以较低速度绕过家具等障碍物，而在开放环境中则可以以较高速度前进。

控制加速度和减速度：通过变频器的调节，可以实现平滑的加速和减速过程，避免机器人在路径规划中产生突然的变化，提高行驶的平稳性和安全性。

实时响应：由于导航机器人在运行过程中可能会遇到各种情况和障碍物，变频器可以根据传感器的实时反馈信号，调整驱动电机的转速，以快速响应并适应环境的变化。这样可以确保机器人按照规划的路径行驶，并且避免碰撞和意外发生。

节能与可靠性：变频器可以根据实际工作需求对电机的功率输出进行调节，最大限度地提高能源利用效率，并且减少过载和损耗。这有助于延长导航机器人的电池寿命和整体可靠性。

1.2 基于 PID 的机器人电机变频器调速

利用 PID（比例 - 积分 - 微分）控制算法对机器人电机变频器完成调速，其原理是根据目标转速与实际转速之间的偏差，经过比例、积分和微分三个环节进行调节。先通过比例控制算法根据偏差大小调整输出信号，以减小偏差；然后通过积分控制算法对偏差进行累积修正，消除偏差；最后通过微分控制算法预测未来偏差的变化趋势，进行及时的补偿调整。通过不断迭代运算，使得导航机器人电机的转速逐渐接近目标值，实现精确的调速控制。PID 调速方法可以根据实际需要进行参数调整，从而提高电机变频器的响应速度、稳定性和准确性，适应不同负载和工况要求。

PID 控制算法的表达式如下：

$$C_{PID} = \frac{\Delta A}{\Delta A_{in}(e)} \quad (2)$$

式中， ΔA_{in} 为模糊控制的输入量； e 为偏差变化率； ΔA 为量化系数。

PID 控制器结构如图 1 所示。

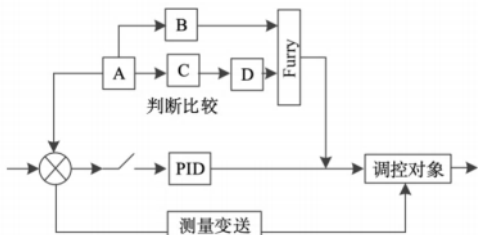


图 1 PID 控制器结构图

控制信号的表达式如下：

$$q = V_e \times \mathfrak{S} \quad (3)$$

式中， V_e 为转速偏差信号； \mathfrak{S} 为信号分辨率。

2 自主导航机器人路径避障规划

2.1 基于改进蚁群算法建立机器人路径规划估价函数

在自主导航机器人路径规划中，基于改进蚁群算法建立机器人路径规划估价函数的原理是通过借鉴蚁群行为的启发式算法，建立一种适应性的路径估价函数。这种估价函数可以评估每条路径的优劣，从而为机器人选择最佳的路径提供指导和决策。改进蚁群算法源于观察蚂蚁在寻找食物时的群体行为。在蚁群算法中，蚂蚁会沿着已经被其他蚂蚁走过的路径移动，并释放信息素。信息素浓度会随着蚂蚁数量和路径长度的变化而发生变化，从而影响蚂蚁的路径选择。利用这种行为规律，可以将蚂蚁的行为仿真为路径搜索算法，进行路径规划。

在改进蚁群算法中，通过引入机器人特定的路径规划需求和限制条件，建立一个适合机器人路径规划的估价函数。估价函数可以考虑多种因素，如距离、速度、时间、能耗等，根据路径上的特征和约束条

件对评估指标进行加权计算，以得到每条路径的估价值。然后，机器人根据这些估价值进行路径选择，选择最优路径以达到预设的目标。使用基于改进蚁群算法的路径规划估价函数在自主导航机器人中具有重要意义。它能够灵活应对不同的环境和任务需求，同时结合了启发式搜索和全局优化的特点。通过建立适应性的估价函数，机器人能够更智能地选择路径，避免死胡同和冗余路径，提高路径的准确性和效率。这样可以大大降低机器人在复杂环境中的运行成本，并提升其自主性和导航性能。

在改进的蚁群算法内，信息素一般会作为自动导航机器人在行驶过程中的路径信息，其存储结构如图 2 所示。

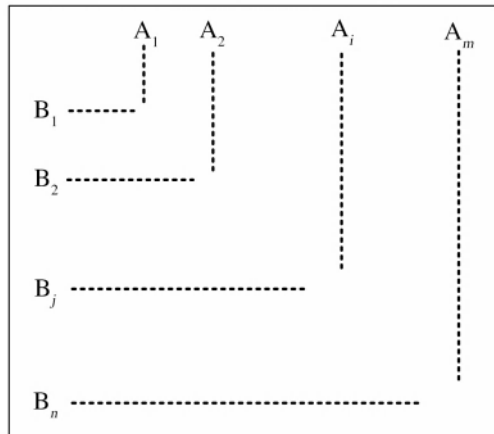


图 2 蚁群信息素初始化结构

机器人的路径规划估价函数：

$$B(t) = T / B_{min}(t) + L(t) \quad (4)$$

式中， T 为时间参量； $B_{min}(t)$ 为最小代价函数； $L(t)$ 则为路径搜索函数。结合以上公式，可以获取基于改进蚁群算法构造得到的机器人路径规划估价函数。

2.2 设计自动导航机器人路径规划算法

结合估价函数，设计自动导航机器人的路径规划算法流程，如图 3 所示。

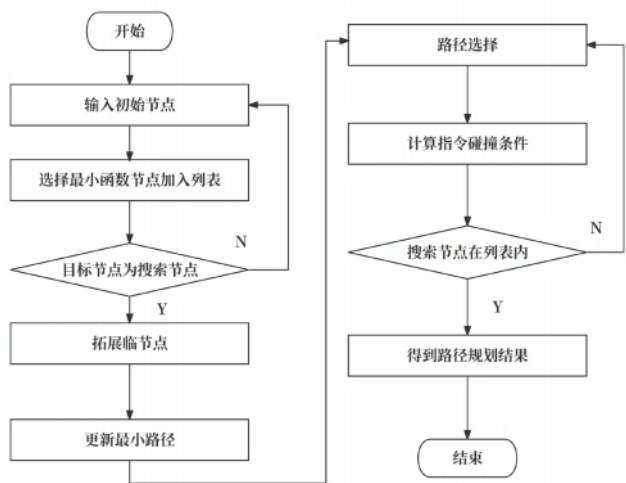


图3 自动驾驶机器人路径规划算法

初始化：设定起始点和目标点，建立地图和障碍物信息。初始化参数，包括路径花费、信息素浓度等。

生成路径：使用蚁群算法或其他启发式搜索算法，在地图上生成多条可能的路径。

估价计算：对每条路径应用估价函数进行评估，计算路径的估价值。

信息素更新：根据路径的估价值，更新路径上的信息素浓度。根据信息素的含量调整路径选择的概率，增强好路径的吸引力。

路径选择：根据路径的估价值和信息素浓度，进行路径的选择。选择具有较高估价值和信息素浓度的路径作为当前最优路径。

移动：根据选择的路径指导机器人移动，避开障碍物和不可通行区域。

判断终止条件：检查机器人是否到达目标点，如果到达则终止算法，否则继续进行下一步。

更新路径：如果路径存在问题（如被障碍物阻挡），根据实际情况进行路径调整，重新生成路径并重复上述流程。

通过循环迭代上述步骤，不断更新路径、估价

值和信息素浓度，机器人可以逐步寻找到最优的路径，实现自动导航。

需要注意的是，实际的路径规划算法流程可能会更加复杂，涉及更多的细节和技巧。这个流程仅提供一个基本框架，具体的实现需要根据具体情况进行调整和优化。

3 实验研究

3.1 实验平台与实验环境

本实验选择复合型导航机器人为研究对象，由底盘、导航模块、电机几个部分组成，通过变频器对该机器人的电机调速，以优化机器人的避障功能。导航机器人的实物图如图4所示。



图4 自动驾驶机器人

在该实验中，自动驾驶机器人需要经过的地图如图5所示。

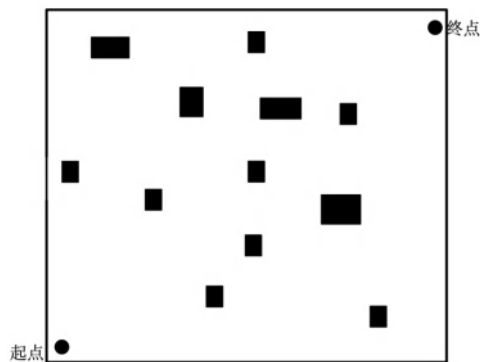
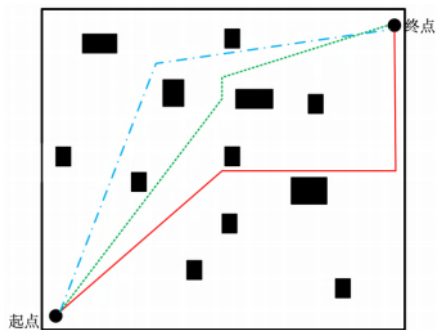


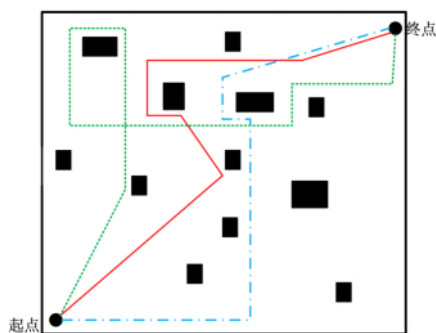
图5 导航环境地图

3.2 多障碍物下路径规划结果

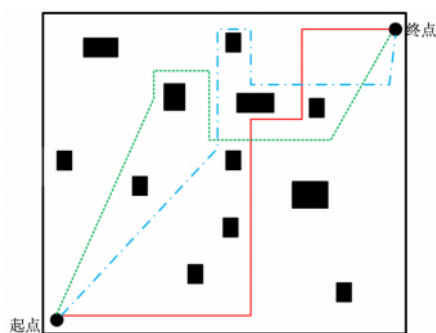
在图 5 的环境中，利用研究方法、文献 [4] 方法和文献 [5] 方法完成自主导航，其路径的规划结果如图 6 所示。



(a) 研究方法



(b) 文献 [4] 方法



(c) 文献 [5] 方法

图 6 多障碍物下自动驾驶机器人路径规划效果

根据图 6 可知，研究方法对自动驾驶机器人的路径规划效果更好，路线更短。

现创建四种实验环境如下：

(1) 室内环境

基本信息：室内空间，如办公室、仓库或实验室。

特点：有固定障碍物，如桌子、椅子、柜子等；可能存在狭窄通道或门。

(2) 室外环境

基本信息：露天环境，如公园、停车场或街道。

特点：有不规则地形、较大面积、可能有交通、行人等各种动态因素。

(3) 迷宫环境

基本信息：设置迷宫结构的封闭空间。

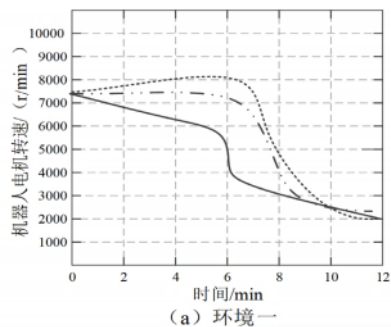
特点：迷宫中有多个路线选择，包括直线道路、分岔和死胡同；可以通过修改迷宫结构来改变难度。

(4) 动态环境

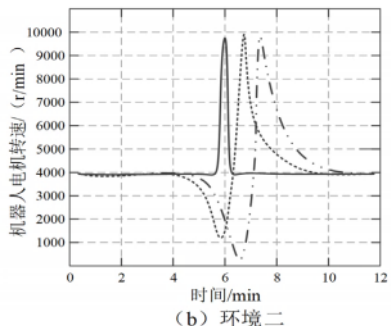
基本信息：在导航过程中引入动态因素。

特点：通过添加移动障碍物（例如其他机器人或人），测试机器人对于障碍物的感知和适应能力。

将试验对象置于四种试验环境中，分别采用所提方法、文献 [4] 方法和文献 [5] 方法对机器人电机变频器完整调速控制，不同方法的调速控制结果如图 7 所示。



(a) 环境一



(b) 环境二

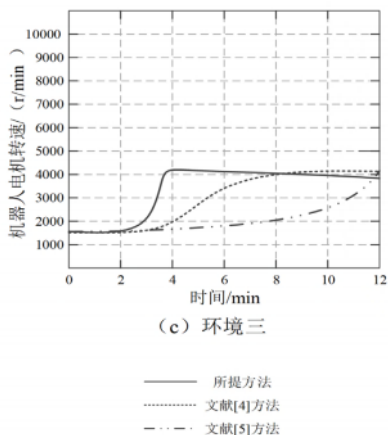


图7 不同情况下三种方法的机器人电机调速结果

根据图7可知,对于设置的四种实验环境,研究方法均能在短时间内完成调速,使机器人处于速度均匀、行走稳定的状态。

4 结束语

本文引入PID控制器对电机变频器进行调速,并采用改进蚁群算法建立路径规划估价函数,本研究成功设计了自主导航机器人的路径规划算法流程。实验结果表明,该方法在路径规划和变频器控制效果上取得了较好的表现。这项研究的贡献在于将变频器控制与路径避障规划相结合,通过PID控制器实现了对机器人电机变频器的精确调速,提高了机器人导航的稳定性和动态适应能力。而基于改进蚁群算法的路径规划估价函数则能更

好地考虑环境信息和行进代价,进而确定最优路径,使自主导航机器人能够更快速、更安全地实现目标导航。

参考文献

- [1] 陈奕梅,沈建峰,李柄棋.改进TEB算法的多机器人动态避障策略研究[J].电光与控制,2022,29(5):107-112.
- [2] 郝琨,张慧杰,李志圣,等.基于改进避障策略和双优化蚁群算法的机器人路径规划[J].农业机械学报,2022,53(8):303-312,422.
- [3] 高飞翔,郝万君,吴宇,等.改进人工势场法机器人避障路径规划研究[J].计算机仿真,2023,40(9):431-436,442.
- [4] 龚成勇,刘康,曾永亮.基于改进蝙蝠算法的水下机器人避障路径优化方法[J].探测与控制学报,2022,44(4):118-122,128.
- [5] Bharathi V, K Sakthivel. Path planning of unmanned mobile robot in unknown obstacle environments for multi switching control tracking using deep reinforcement learning[J]. AIP Conference Proceedings, 2023(1).

(收稿日期:2024-01-22)