

海底复杂环境下机器人摆脱障碍物路径优化方法研究

翟 雁¹, 郭晓波²

(1 安阳工学院 机械工程学院, 河南 安阳 455000;

2 安阳工学院 计算机科学与信息工程学院, 河南 安阳 455000)

摘 要: 机器人在海底复杂环境下, 使用传统的 PSO 路径规划算法存在连续波动问题, 这会导致海底机器人速度和位置出现较大的扰动, 摆脱障碍物路径优化结果存在较大偏差, 对此提出一种改进 PSO 的海底复杂环境下机器人路径摆脱优化方法. 在传统算法中引入速度-位置搜索模型, 采用用于障碍物约束限制的高维函数和认知函数, 在机器人障碍物摆脱的不同阶段及时调整认知系数以及环境系数的取值, 获取最佳的摆脱障碍物路径, 使海底机器人能高效摆脱障碍物. 在粒子数 N 为 200, 粒子维度为 10, 最大迭代次数为 800 的实验中, 使用此算法做出的路径规划结果同最优的路径规划情况具有较高的匹配度, 误差控制在 3.5% 以内, 障碍物摆脱效果更明显, 具有较好的应用价值.

关键词: 海底机器人; 障碍物摆脱; 路径优化; 改进 PSO 方法

中图分类号: TP181

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)02-0100-04

The Path Optimization Method on Underwater Robots Getting Rid of Obstacles

ZHAI Yan¹, GUO Xiao-bo²

(1 School of Mechanical Engineering, Anyang Institute of Technology, An'yang 455000, China;

2 Computer Science and Information Engineering, Anyang Institute of Technology, An'yang 455000, China)

Abstract: In view of the robot at the bottom of the sea under complicated environment, the traditional PSO path planning algorithm for continuous wave problems, lead to a larger submarine robot speed and position of disturbance, get rid of the obstacles path optimization results, there is a big deviation of an improved PSO underwater robot path out of optimization method under complicated environment, into the speed - position search model in the traditional algorithm, using for high-dimensional function and cognitive function obstacle constraints limit, at various stages of the robot obstacle from the adjust value of cognitive factor and environmental factor, get the best out of obstacles path, make the underwater robot can efficiently get rid of the obstacles. In particle number is 200 N , particle dimension to 10, the maximum number of iterations for 800 experiments, this algorithm make the results of the path planning with the optimal path planning of has high compatibility, error control within 3.5%, the obstacles to get rid of the effect is more obvious, has good application value.

Key words: underwater robot; obstacles avoid; path optimization; improved PSO

1 引言

海底机器人是一个具有环境感知、动态决策以及行为控制等功能的综合系统^[1-2]. 在深海探测等危险领域应用十分广泛. 路径规划技术是移动

海底机器人分析领域的关键技术, 其要求海底机器人按照相应的指令以及环境信息自主分析路径、摆脱障碍物, 完成相关的任务^[3]. 随着移动海底机器人应用的日益增加, 融合路径优化问题的复杂性以及多约束性等特征, 对处于海底复杂环

收稿日期: 2015-04-01; 修回日期: 2015-05-27

基金项目: 国家自然科学基金河南人才培养联合基金(U1204613)

境下的机器人的摆脱障碍物路径进行有效的优化,成为相关学者分析的重点方向^[4].复杂的海底作业环境和海底机器人的复杂动力学性能,使得海底机器人的路径优化问题具有复杂性和随机性^[5].粒子群算法具有较强的全局寻优性能以及并行运算的特性,是一种较好的海底机器人摆脱障碍物路径优化方法^[6,7].但是,随着复杂程度的增加,PSO 位置优化算法存在连续波动问题,导致海底机器人速度和位置出现较大的扰动,摆脱障碍物路径规划结果存在较大偏差.本文提出了一种改进的 PSO 路径优化方法来解决机器人在海底复杂环境中摆脱障碍物路径优化问题,确保海底机器人运行的安全性和稳定性.

2 改进的海底机器人障碍物摆脱算法

为了提高算法对海底复杂环境的适应能力,得到最佳的避障路径,本文对粒子群(Particle Swarm Optimization, PSO)算法进行改进,改进的 PSO 算法对海底复杂环境下的避障路径进行寻优处理,获取最优路径优化结果.算法通过速度-位置(v - x)搜索模型,来搜索最优位置解.

在完成海底机器人相互通信拓扑结构建立后,由于不同备选解称为一个粒子,粒子的优劣度同适应度函数 F 相关,不同粒子都通过各自的速度决定更新的方向和大小,各个粒子按照其自身经验以及相邻粒子群的最优经验,在问题空间中向更好的位置移动,搜索最佳摆脱位置解.算法描述如下:

假设海底机器人总体粒子群中存在 N 个粒子,不同粒子的维度是 m ,第 i 个粒子的位置描述是 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$,第 i 个粒子的位置变化速度是 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im})$,当前第 i 个粒子搜索到的最佳位置为 $pBest = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im})$.海底机器人总体粒子群搜索到的最佳位置定义成 $gBest = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im})$,通过式(1)、(2)调整每个粒子的速度位置:

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1r(p_i - X_i(t)) + c_2r(g_i - X_i(t)) \quad (1)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (2)$$

式中, $V_i(t) \in \{-V_{\max}, V_{\max}\}$ 是海底机器人粒子 i 在第 t 代的速度, $X_i(t)$ 表示粒子 i 在第 t 代的位置, r 是 0 到 1 间的随机数, c_1 是认知系数, c_2 是环境系数,分别用于描述每个粒子受 $pBest$ 以及 $gBest$ 位置吸引

的加速项的权重,惯性因子 w 用于描述粒子的惯性大小, w 较大时具有较强的全局收敛性能, w 较小时具有较强的局部收敛性能.随着迭代次数的增加, w 的值不断降低,确保算法在初期具有较强的全局搜索性能,在后期具有较强的局部搜索性能,进而增强算法的总体性能.

$$w = w_{\max} - \text{iter} \times \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iter}_{\max}} \quad (3)$$

式中, iter 表示当前迭代次数, $\text{iter}_{\max}$ 表示总的迭代次数, $w_{\max} = 0.9$, $w_{\min} = 0.4$.

高维函数优化初期提高认知系数 c_1 增强算法的多样性,在优化后期提高环境系数 c_2 增强算法的收敛性.开始阶段通过大的认知系数 c_1 以及小环境系数 c_2 ,避免出现早熟问题,在搜索后期通过小的认知系数 c_1 以及大的环境系数 c_2 ,加速系数变化为

$$c_1(k) = c_{1\min} + \frac{\text{iter}_{\max} - \text{iter}}{\text{iter}_{\max}} \times (c_{1\max} - c_{1\min}) \quad (4)$$

$$c_2(k) = c_{2\min} + \frac{\text{iter}_{\max} - \text{iter}}{\text{iter}_{\max}} \times (c_{2\min} - c_{2\max}) \quad (5)$$

式中, $c_{1\min} = c_{2\min} = 0.5$, $c_{1\max} = c_{2\max} = 2.5$.

3 算法应用

3.1 海底复杂环境建模

海底复杂环境都可视为不规则的多边形,应将障碍物构造成凸多边形环状,形成海底复杂环境.按照海底机器人的尺寸以及路径优化误差,对代表障碍物区域的凸多边形的边界进行扩展,用一组凸点坐标值描述环状海底复杂环境如图 1 所示.

海底机器人可能面临的障碍物区域用图 2 描述.

图 2 中, G 区域为可能存在障碍物的区域, G' 区域为不存在障碍物的正常区域.

3.2 海底机器人障碍物摆脱过程

海底机器人摆脱障碍物路径过程可以看成是一个粒子不断寻优的过程,优化图 3 中的 F, K , 它们分别是海底机器人路径优化的起点和终点,黑色范围用于描述障碍物.为了对粒子进行编码,将线段 FK 划分成 m 等分,在不同等分点做线段 FK 的垂线获取平行线族 $(L_1, L_2, \dots, L_i, L_{i+1}, \dots, L_m)$, L 表示粒子维度. m 用于描述路径的精细度, m 值过大会降低收敛效率以及获取的路径质量, m 值过小将导致获取的

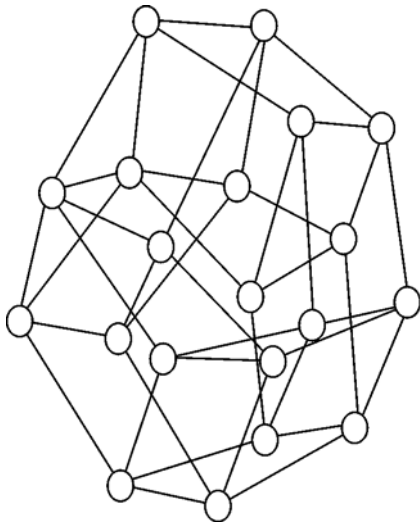


图1 海底机器人复杂环境的多边形建模

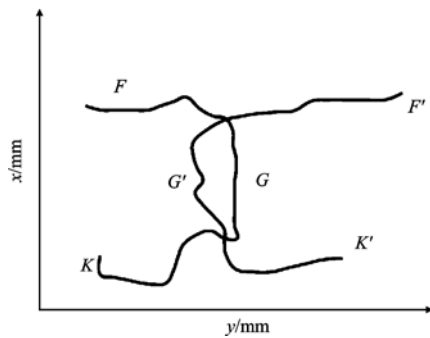


图2 障碍物区域示意图

路径无法适应复杂的海底复杂环境,影响海底机器人的运行情况.粒子的原始位置以及活动区域在线段 FK 两侧的区域中.粒子各维位置分量对应于平行直线上的随机点 P_i ,随机点不能落在障碍物区域中, P_i 以及 P_{i+1} 的连线不能与障碍物区域相交.

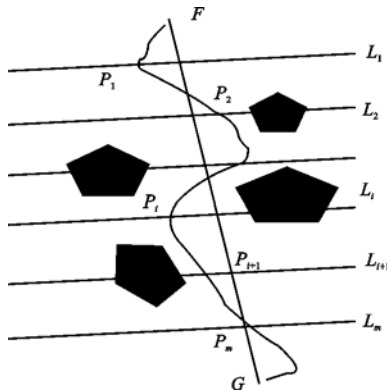


图3 海底机器人路径优化示意图

海底机器人的路径优化要分析摆脱障碍物,针对图2以及图3描述的海底机器人的障碍物区域以

及运动轨迹,通过利用改进 PSO 算法中提出的改进算法的全局寻优能力,能够获取海底机器人障碍物摆脱的最佳路径优化结果.如果海底机器人的运行路径中存在障碍物区域,则说明海底机器人出现非正常性缠绕问题.需要对海底机器人重新优化路径,在优化过程中,能够将摆脱障碍物当成一个不断进行路径寻优优化的问题,采用的方法是:将海底机器人每次摆脱障碍物路径看成一个寻优粒子,采用改进 PSO 算法重新优化路径,最终获取最佳的粒子运行速度和位置,则是海底机器人的最佳位置.具体的障碍物摆脱路径优化过程如下所示.

(1) 在搜索空间中对海底机器人障碍物粒子 P_i 进行原始化,将最佳位置 pBest 当成其当前位置;

(2) 采用式(1)调整海底机器人障碍物粒子的速度;如果 $V_i(t+1) > V_{\max}$,则 $V_i(t+1) = V_{\max}$;如果 $V_i(t+1) < -V_{\max}$,则 $V_i(t+1) = -V_{\max}$.

(3) 通过式(2)调整每个海底机器人障碍物粒子当前的位置,当粒子通过障碍物时,需要对粒子位置依据粒子编码的随机点产生规范进行调整.

(4) 转到过程(2)进行迭代,直至终止条件结束,获取最佳的粒子速度和位置值,完成对海底机器人障碍物摆脱路径的优化.

4 实验与分析

为了验证本文方法在优化海底机器人障碍物摆脱路径方面的有效性,需要进行相关的仿真实验.

实验在海底机器人受到缠绕的情况下,优化其路径,进行障碍物摆脱,将实际障碍物点作为检测目标,分别利用传统算法和改进算法进行海底机器人障碍物摆脱线路规划,获取的优化线路如图4和图5所示.

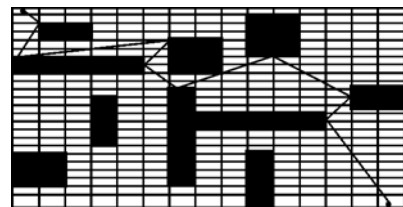


图4 传统算法摆脱结果

根据上述结果得知,传统算法已经陷入到局部最优解,得到的海底机器人逃生线路优越性较差,线路较长,而且没有合理避开海底危险.改进算法避免了上述传统算法的缺陷,得到了全局最优解,获取了

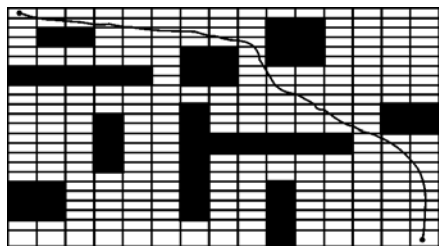


图5 改进算法摆脱结果

更加合理的障碍物摆脱线路。

采用本文提出的改进 PSO 算法对海底复杂环境具有更好的适应能力,本文算法下的海底机器人在摆脱障碍物的准确率上高于其他两种算法,本文算法在同多目标遗传算法障碍物相同的环境下可以有效降低海底机器人的运动轨迹长度,更快地到达目标点,说明本文方法具有较高的优越性和应用价值。

5 结束语

本文提出了一种海底复杂环境下机器人路径摆脱优化方法,解决海底机器人障碍物摆脱路径波动问题,使用改进 POS 算法对获取的避障路径进行优化分析,研究障碍物约束限制的高维函数,在海底机器人障碍物摆脱的不同阶段及时调整认知系数以及

环境系数的取值,提高搜索效率以及收敛精度,获取最佳的摆脱障碍物路径。

参考文献:

- [1] 张汝波,顾国昌,张国印. 水下智能机器人模糊局部规划器设计[J]. 机器人,1996,(3):158~162.
- [2] 姜锐,衣马木艾山·阿布都力克木. 一种基于支持向量机集成的决策树分类算法[J]. 科技通报,2013,29(8):145-147.
- [3] 蔺婧娜,张立亚. 改进的多传感器融合的机器人局部路径规划[J]. 计算机测量与控制,2013,21(8):2174-2176.
- [4] 樊长虹,卢有章,刘宏,等. 基于神经网络的移动机器人路径规划[J]. 计算机工程与应用,2004,40(8):86-89.
- [5] 张汝波,张国印,顾国昌. 水下智能机器人模糊局部规划器设计[J]. 机器人,1996,10(3):158-162.
- [6] 乔俊飞,侯占军,阮晓钢. 基于神经网络的强化学习在避障中的应用[J]. 清华大学学报,2008,48(10):1747-1750.
- [7] 陈立彬. 动态未知环境下移动机器人路径规划方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2007.

作者简介:

翟雁女,(1978-),硕士研究生,讲师. 研究方向为机器人技术、数控技术. E-mail:ayzy0228@163.com

郭晓波男,(1976-),博士研究生,副教授. 研究方向为康复机器人技术、遥操作技术.