

非结构环境下移动机器人路径规划

姚俊武, 张林仙

黄石理工学院机电工程学院, 湖北黄石 435003

摘要 非结构环境中的路径规划是自主移动机器人研究领域最活跃的领域之一,其最有效的方法是人工势场法,但传统的人工势场法存在振荡和接近目标时跟踪速度下降等问题。针对这些问题,改进了传统的势场函数,引入速度势场函数,设计新的人工势场函数,规划了移动机器人移动策略。根据新的势场函数和移动策略,在 Matlab 环境下对机器人的路径规划进行仿真。结果表明,在新的势场函数作用下,机器人能够快速调整自身速度的大小和方向,避开障碍并迅速到达目的地或跟踪动态目标。

关键词 路径规划;非结构环境;人工势场;速度势场

中图分类号 TP242

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)22-0082-04

Path Planning of Mobile Robot in Unstructured Environment

YAO Junwu, ZHANG Linxian

College of Mechanical and Electrical Engineering, Huangshi Institute of Technology, Huangshi 435003, Hubei Province, China

Abstract Path planning in unstructured environment is one of the most active problems on research field of autonomous mobile robot. some planning methods has been empoldered and applied successfully in this field, for example, artificial potential field, fuzzy logic algorithm, genetic algorithm, and so on .thereinto, artificial potential field is the most effective method., but the traditional artificial potential field has several problems, such as oscillation, tracing speed falls while robot approaching. For solving these problems, some improvement has been done to traditional artificial potential field, velocity potential field has been brought into traditional potential field, a new potential field function have been designed, and a strategy of path planning has been planned. Many simulations on path planning with new potential field and path planning strategy have been done in Matlab. Simulation results about dynamic target tracing, multi static obstacles and dynamic obstacle avoiding have been given in this paper. The results of simulation have verified that robot can adjust its velocity to escape from obstacle, and move to immobile target quickly, or track dynamic target synchronously.

Keywords path planning; unstructured environment; potential field; velocity potential field

0 引言

机器人的路径规划是指机器人按照某一性能指标搜索一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰撞路径。根据对所需路径规划的环境信息的掌握程度,机器人路径规划问题通常分为两类:一类是结构环境中(机器人作业环境信息是已知的)的路径规划,称为全局路径规划(global path planning),也称静态或离线路径规划,主要规划方法有自由空间法、可视图法、优化算法、栅格法、拓扑法、神经网络法等;另一类是非结构环境中(机器人作业环境是动态变化的,环境的信息部分或全部为未知的)的路径规划,称为动态

路径规划(local path planning),也称局部或在线路径规划,主要规划方法有人工势场法(artificial potential field)、模糊逻辑算法(fuzzy logic algorithm)和遗传算法(genetic algorithm)等。随着机器人技术的不断发展,其应用领域也不断拓宽。在军事侦察、灾情救助、空间作业等应用领域,机器人所处的环境是动态变化的,障碍物以及机器人跟踪的目标均可能是运动的,因此,非结构环境中的路径规划成为自主移动机器人研究领域最活跃的课题之一^[1-2]。

非结构环境中的运动规划与结构环境中的根本区别在于:结构环境中运动规划寻求最优解,而非结构环境中运动

收稿日期:2010-08-09;修回日期:2010-10-21

作者简介:姚俊武,副教授,研究方向为机器人智能控制,电子信箱:yaojunwu1969@sohu.com

规划寻求的是一种可行解。人工势场法是非结构环境中运动规划的基本方法,是由 Khatib 提出的一种虚拟力法^[3],基本思想为将移动机器人在环境中的运动视为一种虚拟人工受力场中的运动。障碍物对移动机器人产生斥力,目标点产生引力,引力和斥力周围由一定的算法产生相应的势,机器人在势场中受到抽象力作用,抽象力使其绕过障碍物。该法结构简单,适合于低层的实时控制,因此得到广泛应用,但传统人工势场法存在局部最优解,容易产生死锁(dead lock)现象^[4-5]。本文针对以上问题,基于人工势场方法的思想,引入了相对速度引力和相对速度斥力,并改进了传统的人工势场算法,定义了新的势场函数,从而实现了机器人在非结构环境中运动规划。

1 改进的人工势场法

1.1 引力场和引力

在传统的人工势场法中,引力场通常指位置引力场,引力场函数为机器人与目标的相对位置函数,大小与机器人和目标点的相对距离成正比,方向为当前机器人位置指向目标点位置。机器人位置引力场函数为

$$V_{pg} = \frac{1}{2} \alpha \|P_R - P_{RC}\|^m (P_{RC} - P_R)$$

其中, P_R 为机器人当前位置矢量, P_{RC} 为目标点位置矢量, m 为常数, α 为比例因子,且 $\alpha > 0$ 。

位置引力场函数通常取为

$$V_{pg} = \frac{1}{2} \alpha \|P_R - P_{RC}\| (P_{RC} - P_R)$$

则相应的位置引力 F_{pg} 为位置引力势场的负梯度函数

$$F_{pg} = \alpha (P_{RC} - P_R)$$

位置引力与机器人和目标点的相对距离呈正比,方向由当前机器人位置指向目标点位置。

考虑到机器人跟踪的目标点可能是运动的,机器人不仅要准确到达目的地,而且要跟踪运动目标,因此在运动规划时,引力势的大小不仅与机器人和目标点的相对位置有关,而且与机器人和目标点的相对速度有关。跟踪这种动态目标时,只有当机器人与目标点相对位置和相对速度均为 0 时,引力势才为 0,为了满足上述要求,在势场函数中引入相对速度引力。相对速度引力使机器人与目标的速度保持一致,其大小与机器人和目标点的相对速度呈正比,方向为目标点相对于机器人的运动方向。

对位置引力 F_{pg} 求负梯度,即得相对速度引力函数 F_{vg} 为

$$F_{vg} = \beta (\dot{P}_R - \dot{P}_{RC})$$

引入相对速度引力后,引力函数为位置引力与相对速度引力之和。

$$F_g = F_{pg} + F_{vg} = \alpha (P_{RC} - P_R) + \beta (\dot{P}_R - \dot{P}_{RC})$$

通过改变 α, β 的大小,可以调节位置引力和速度引力对路径规划影响的权重。

在实际规划过程中,引力过大会影响机器人的避障(绕过障碍)并导致死锁,而机器人接近目标时,引力势场接近于 0,跟踪效率降低,因此对机器人的相对位置引力、速度引力做如下修正:

$$F'_{pg} = \begin{cases} a \frac{F_{pg}}{\|F_{pg}\|} & \|F_{pg}\| > a \text{ 且 } \|P_R - P_{RC}\| > \rho_0 \\ b \frac{F_{pg}}{\|F_{pg}\|} & \|F_{pg}\| < b \text{ 且 } \|P_R - P_{RC}\| > \rho_0 \\ 0 & \|P_R - P_{RC}\| < \rho_0 \\ F_{pg} & \text{其他} \end{cases}$$

$$F'_{vg} = \begin{cases} c \frac{F_{vg}}{\|F_{vg}\|} & F_{vg} > c \\ 0 & \|P_R - P_{RC}\| < \rho_0 \\ F_{vg} & \text{其他} \end{cases}$$

其中, a, b, c 为常数, ρ_0 为引力的作用范围的界限值。

机器人所受的引力为

$$F'_g = F'_{pg} + F'_{vg}$$

1.2 斥力场和斥力

传统人工势场法中,斥力场函数一般为机器人与障碍物之间的距离函数,即相对位置斥力场函数,斥力场函数 V_{pe} 和斥力函数 F_{pe} 分别为

$$V_{pe} = \begin{cases} \gamma \left(\frac{1}{\|P_R - P_{OB}\|} - \frac{1}{\rho_1} \right)^2 \frac{P_R - P_{OB}}{\|P_R - P_{OB}\|} & \|P_R - P_{OB}\| \leq \rho_1 \\ 0 & \|P_R - P_{OB}\| > \rho_1 \end{cases}$$

$$F_{pe} = -\nabla V_{pe} = \begin{cases} 2\gamma \left(\frac{1}{\|P_R - P_{OB}\|} - \frac{1}{\rho_1} \right) (P_R - P_{OB}) & \|P_R - P_{OB}\| \leq \rho_1 \\ 0 & \|P_R - P_{OB}\| > \rho_1 \end{cases}$$

其中, P_{OB} 为障碍物的位置, ρ_1 为相对速度斥力的作用范围的界限值, γ 为常数。

考虑机器人作业环境中既有静态障碍物,又有动态障碍物,而机器人的避障不仅与机器人和障碍物的相对位置有关,而且与机器人和障碍物的相对速度有关,斥力场函数应考虑障碍物与机器人的相对速度的影响,因此引入了相对速度斥力场函数^[5]。

设障碍物与机器人的相对位置与相对速度分别为: $L_{OR} = \|L_{OR}\| e^{\theta_1}, V_{OR} = \|V_{OR}\| e^{\theta_2} (0 \leq \theta_1, \theta_2 \leq 2\pi)$, 则障碍物与机器人的相对速度斥力场函数 V_{ve} 和相对速度斥力 F_{ve} 分别为

$$V_{ve} = b (V_{OB} - V_R) |\sin\theta| = b V_{OR} |\sin\theta|$$

$$F_{ve} = \begin{cases} b \|V_{OR}\| e^{\frac{\theta_1 + \pi}{2}} & \theta \geq 0 \text{ 且 } |P_R - P_{OB}| \leq \rho_2 \\ b \|V_{OR}\| e^{\frac{\theta_1 - \pi}{2}} & \theta < 0 \text{ 且 } |P_R - P_{OB}| \leq \rho_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中, V_{OB} 为障碍物的运动速度, V_R 为机器人的运动速度, V_{OR} 为障碍物与机器人的相对速度, L_{OR} 为相对位置矢量, $\theta = \theta_2 - \theta_1$, ρ_2 为相对速度斥力的作用范围的界限值(图 1)。

相对位置斥力与相对速度斥力的作用范围不同,相对位置斥力使机器人快速远离障碍物,其大小与机器人和障碍物的距离呈反比,方向由障碍物指向机器人;相对速度斥力垂直于机器人与障碍物的相对速度方向,其大小相对速度大小呈正比,并与相对位置和相对速度的夹角有关,夹角较小时,速度斥力几乎垂直于相对位置的方向,使机器人能较快地“逃离”障碍物的威胁^[9]。

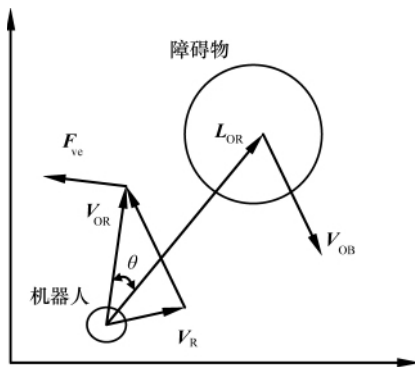


图1 机器人和障碍物运动状态
Fig. 1 Moving state of robot and obstacle

机器人所受总斥力等于相对位置斥力与相对速度斥力之和,即

$$F_c = F_{pc} + F_{vc}$$

当机器人系统存在多个障碍物时,机器人的斥力模型为

$$F_{ci} = \sum (F_{pci} + F_{vci})$$

1.3 改进的人工势场模型

根据 1.1 节建立的引力场、引力模型和 1.2 节建立的斥力场、斥力模型,新的人工势场模型为引力场函数和斥力场函数之和。即

$$V_{total} = V_{pg} + V_{vg} + \sum (V_{pci} + V_{vci})$$

机器人所受合力为引力和斥力之和,即

$$F_{total} = F_{pg} + F_{vg} + \sum (F_{pci} + F_{vci})$$

2 机器人的路径规划策略

在非结构环境中,部分或全部环境信息是未知的,而且障碍物和机器人跟踪的目标均可能是运动的,因此路径规划寻求的是一种可行解。在这种环境中,机器人的路径规划策略基本可以分解为两大部分,一是目标跟踪,当前位置与目标点之间无障碍或障碍很小、机器人可以越过时,机器人直接朝目标点前进;二是避障,当前位置与目标点之间有不能越过的障碍时,机器人开始执行避障,通过自适应控制,绕过障碍。本文建立的改进的人工势场模型中,通过位置引力和速度引力的作用实现目标跟踪,通过相对位置斥力和相对速

度斥力的作用实现避障,相对位置斥力的作用是实现快速躲避障碍(避免碰撞),相对速度斥力的作用是实现绕过障碍,以完成目标跟踪。机器人运动规划设计策略如图 2 所示。

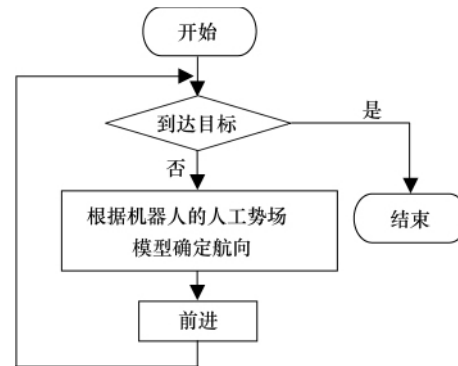


图2 基于人工势场的路径规划策略
Fig. 2 Strategy of path planning based on artificial potential field

3 仿真结果

针对机器人不同的工作环境和任务要求,采用本文设计的路径规划策略及改进的人工势场模型,在 Matlab 环境下对机器人动态目标跟踪、多个静态障碍物环境避障、动态障碍物避障等进行仿真测试。图 3 为机器人跟踪动态目标的仿真结果,在跟踪过程中,机器人不断检测动态目标的位置和运动速度,并依此调整自身的速度大小与方向,最终与动态目标同步运行。图 4 为多个静态障碍物环境中避障的仿真结果,机器人在运行过程中不断地检测周围环境,检测到障碍后,机器人根据障碍物的位置适时调节自身的运动方向,避开障碍物,并到达目标点。图 5 为动态障碍物的仿真结果,机器人根据障碍物的位置和运动速度,适时地调节自身的运动方向,避开运动障碍物,并到达目标点。仿真结果表明,本文所提出的人工势场模型和路径规划策略能满足非结构环境下机器人路径规划的要求,机器人能够有效躲避障碍物,并快速跟踪目标。

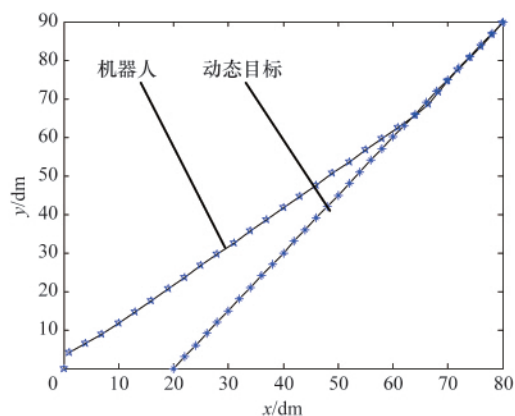


图3 机器人跟踪动态目标的路径规划
Fig. 3 Path planning of robot in tracking dynamic target

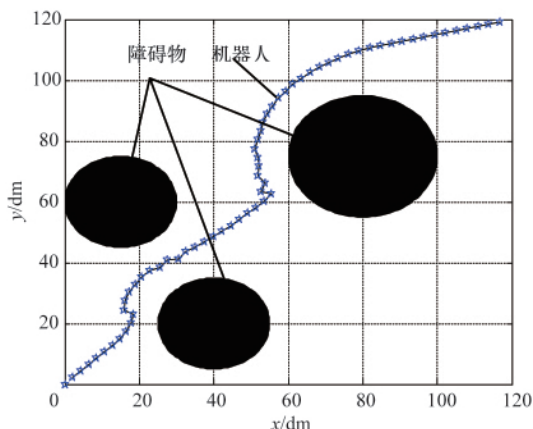


图 4 机器人在多静态障碍物环境的路径规划
Fig. 4 Path planning of robot in environment with multi static obstacles

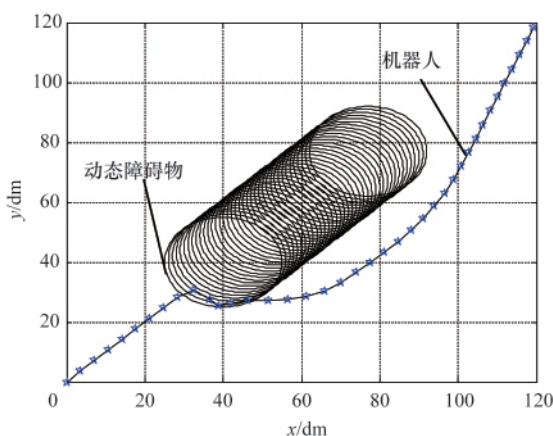


图 5 机器人在动态障碍物环境中的路径规划
Fig. 5 Path planning of robot in environment with dynamic obstacle

4 结论

针对非结构环境下机器人的运动规划问题,分析和研究了传统的人工势场模型,在此基础上,对其进行了改进,提出了非结构环境下机器人路径规划策略。采用提出的路径规划策略及改进的人工势场模型,在 Matlab 环境下对机器人动态目标跟踪、多个静态障碍物环境避障、动态障碍物避让等进行仿真测试。结果表明,改进的人工势场模型和路径规划策略能满足机器人在非结构环境下多种路径规划要求,具有一定实用价值。

参考文献 (References)

- [1] 曲道奎, 杜振军, 徐殿国, 等. 移动机器人路径规划方法研究 [J]. 机器人, 2008, 30(2): 97-101.
Qu Daokui, Du Zhenjun, Xu Dianguo, et al. Robot, 2008, 30(2): 97-101.
- [2] 张捍东, 郑睿, 岑豫皖. 移动机器人路径规划技术的现状与展望[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 439-443.
Zhang Handong, Zheng Rui, Cen Yuwan. Journal of System Simulation, 2005, 17(2): 439-443.
- [3] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots[J]. The International Journal of Robotics Research, 1986, 5(1): 90-98.
- [4] Sato K. Deadlock-free motion planning using Laplace potential field[J]. Advanced Robotics, 1993(5): 449-461.
- [5] Lee M C, Park M G. Artificial potential field based on path planning for mobile robots using a virtual obstacle concept [C]. IEEE/ASME International conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2003: 735-740.
- [6] 韩永, 刘国栋. 非结构环境下基于人工势场的移动机器人运动规划[J]. 机器人, 2006, 28(1): 45-49.
Han Yong, Liu Guodong. Robot, 2006, 28(1): 45-49.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·

“中国毒理学会环境与生态毒理学专业委员会 第二届学术研讨会”征文



中国毒理学会将于 2010 年 12 月下旬或 2011 年 1 月在南京市召开“中国毒理学会环境与生态毒理学专业委员会第二届学术研讨会”。

会议主题: 环境与生态毒理学领域研究进展。

征文内容: 化学品的环境与生态毒理学研究; 污染物生态效应研究; 污染物健康效应与环境毒理学研究; 污染物环境基准、标准与风险评估研究; 化学物质的环境与生态安全研究; 环境与生态毒理学的新方法、新技术研究; 环境与生态毒理学相关环境管理研究; 其他和环境与生态毒理学相关的内容。

征文截止时间: 2010 年 11 月 30 日。

联系方式: 电子信箱: ecotox@yahoo.cn。

会议网站: <http://www.chntox.org>。