

基于改进传统 RRT 算法的机器人路径规划研究

买智强,辛舟,张雪琪

(兰州理工大学 机电工程学院,甘肃 兰州 730050)

摘要:针对传统 RRT 算法由于固定步长在机器人路径经过障碍物附近时平稳性差的问题,在传统 RRT 算法上加以改进,结合人工势场法中的斥力场和斥力函数,引入动态步长,使得改进后的 RRT 算法在经过障碍物时能自动调节步长,得到的路径再经贝塞尔曲线法做平滑处理,优化了障碍物附近的路径,大大提高其平滑性。通过 Matlab 仿真平台分析,验证了改进算法的优越性。

关键词:RRT 算法;机器人;动态步长;贝塞尔曲线

中图分类号:TP242 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)06-0177-03

Research on Robot Path Planning Based on Improved Traditional RRT Algorithm

MAI Zhiqiang, XIN Zhou, ZHANG Xueqi

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: To tackle the poor stability of robot path passing through obstacles with fixed step size based on the traditional RRT algorithm, improvement is made on the traditional RRT algorithm, and the dynamic step size combined with the repulsion field and repulsion function in the artificial potential field method is introduced, which enables the improved RRT algorithm to adjust the step size automatically when passing through obstacles. The obtained path is smoothed by Bessel curve method, which optimizes the path near obstacles with much improved smoothness. The analysis of Matlab simulation platform verifies the superiority of the improved algorithm.

Keywords: RRT algorithm; robot; dynamic step size; Bezier curve

0 引言

近年来,机器人技术的快速发展使得许多与机器人相关的研究变得热门起来,路径规划就是其中之一。为了使机器人安全无障碍地从起始点平稳运行到目标点,给机器人规划一条无障碍路径就是路径规划的主要内容。在此基础上,随着国内外学者的不断研究,逐渐对路径规划提出了新的要求,如最短、最优、最快等。为了达到这些更高的要求,不同学者提出了不同的解决方法。

快速扩展随机树 RRT 算法 (rapidly-exploring random tree) 是其中比较典型的一种算法,由 LAVALLE S M 于 1998 年提出^[1]。这是一种典型的树状结构搜索算法,以初始状态作为根节点,通过在状态空间中进行随机采样,不断扩展,逐步覆盖状态空间的自由区域,并最终覆盖整个状态空间,从而获得一条从初始状态到目标状态的路径。RRT 算法结构简单,不需要对障碍物进行精确的建模,不仅适用于二维空间,三维空间同样可以^[2]。其缺点在于得到的路径并非最优且由于是随机规划,效率也并不高。FRAZZOLI E 等针对 RRT 算法规划出的路径不是最优解,提出 RRT* 算法,通过对新节点至根节点的权值比较,找出最优解^[3],也有学者提出过删除低性能节点规划

高维机器人路径^[4],或者是将局部优化引入,进而提高效率^[5]。虽然在一定程度上提高了路径的平滑性,但却使得效率大大降低。LAVALLE S M 等则提出双向随机树 (bidirectional RRT, bi-RRT) 用来规划高纬度路径^[6]。bi-RRT 采用起始点和目标点分别生成一颗自己的随机树,直到二者相遇即得路径。这种方法虽然缩短了时间,但却未能得到最优路径。

近年来,随着智能算法的兴起,结合强化学习, CABALLERO F^[7] 等提出基于 RRT* 扩展的快速学习随机树法 (rapidly-exploring learning trees, RLT*)。对于 RRT 算法的随机性,很多人选择引入人工势场法来进行改善,且取得了不错的效果^[8-9]。但对于密集障碍物附近的路径仍不能做到动态调整以达到最优。本文则基于人工势场引入障碍物对目标点的斥力函数,动态调整 RRT 算法在经过障碍物附近时的步长,以此来改善路径。

1 算法描述

RRT 算法基本原理如下:首先扫描全局地图,获取起始点 P_o 、目标点 P_g 及障碍物等相关信息,然后以 P_o 为树的根节点,在地图内随机选取一个点 P_{rand} ,比较随机点 P_{rand} 与每一个树节点(包括根节点)的距离,选择距离最短

基金项目:兰州市科技计划项目(2019-3-5)

第一作者简介:买智强(1997—),男,甘肃省人,硕士研究生,研究方向为工业机器人应用。

的那个。此时最短距离所对应的那个树节点作为该随机点 P_{rand} 的父节点 P_{near} , 沿 P_{near} 到 P_{rand} 方向以步长 q 为间隔选取一个新点 P_{new} , 判断 P_{near} 到 P_{new} 是否经过障碍物。若是则重新选取随机点, 再比较再判断; 若未经过障碍物, 则将 P_{new} 加入到树节点, 作为新的树节点。不断重复这个过程, 直到找到目标点 P_g , 或者达到最大迭代次数^[10]。原理图如图 1 所示。

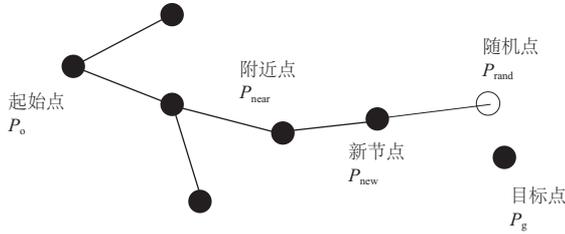


图 1 原理图

从图 1 中可以看到, 传统 RRT 算法在规划路径时扩展步长是不变的, 这样在一定程度上大大简化了算法, 但其规划出的路径效果并不好。步长大小完全取决于使用者, 长步长一般适用于那些路径长且障碍物情况简单的场合, 短步长一般适用于路径较短但路况复杂, 需要躲避的障碍物多的情况, 但实际应用中碰到的情况往往是以上二者混合的。对于一段长且复杂的路径, 既希望能以长步长迅速接近目标, 又希望在经过复杂障碍物的时候步长能变短一些, 好让得出的轨迹在障碍物附近相对平稳。为解决这个问题, 结合人工势场中有关于障碍物斥力场及斥力函数的想法, 本文提出在传统 RRT 算法中引入斥力场及斥力函数。

人工势场法是一种虚拟力法, 多用于机器人路径规划, 其基本原理是在障碍物和目标点附近构建势场, 通过对机器人位置的势场强度求负梯度后得到势场力。其中, 目标点产生引力, 障碍物产生斥力, 二者的合力方向为机器人运动方向^[11]。本文不涉及引力势及引力函数, 对其不做介绍。目前常用的斥力函数如下:

$$U_r(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(X, X_0)} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2, & \rho(X, X_0) \leq \rho_0 \\ 0, & \rho(X, X_0) > \rho_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $U_r(X)$ 表示在 X 点处的斥力场; η 是斥力度因子; ρ_0 是障碍物的影响范围; X_0 表示障碍物位置; $\rho(X, X_0)$ 表示位置点 X 与障碍物之间的最短距离。当距离 $> \rho_0$ 时, 机器人的运动不受障碍物的影响。斥力场产生的斥力为斥力场的负梯度, 其表达式为

$$F_r = -\nabla [U_r(X)] = \begin{cases} \eta \cdot \left(\frac{1}{\rho(X, X_0)} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho(X, X_0)} \nabla \rho(X, X_0), & \rho(X, X_0) \leq \rho_0 \\ 0, & \rho(X, X_0) > \rho_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: F_r 表示斥力; $\nabla \rho(X, X_0)$ 表示障碍物位置指向 X 位置的单位向量。

当机器人距离障碍物较远时, 采用长步长迅速靠近以减少时间, 一旦进入障碍物影响范围 ρ_0 , 斥力函数启动,

减小步长。具体变化如下:

$$S = \begin{cases} k \frac{q}{|F_r|}, & \rho < \rho_0 \\ q, & \rho \geq \rho_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: S 为改进后的步长; k 为步长系数; $|F_r|$ 为斥力 F_r 取标量。当 $\rho \geq \rho_0$, 即未进入障碍物影响范围时, 步长固定为 q ; 当 $\rho < \rho_0$ 机器人进入障碍物影响范围时, 动态步长启动, 距离障碍物越近, 斥力 F_r 越大, 步长 S 越小。

2 仿真结果及分析

1) Matlab 仿真平台

图 2、图 3 分别是由 Matlab 搭建的两张地图。地图规模均是 $[500, 500]$, 方框即为地图边界, 黑色区域代表障碍物, 路径规划的起始点为 $[1, 1]$, 目标点为 $[490, 490]$, 固定步长 $q = 30$, 障碍物影响范围 ρ_0 取 50。

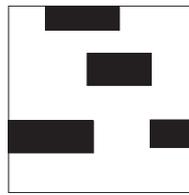


图 2 仿真地图 1

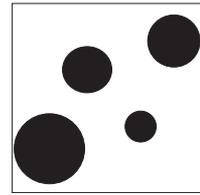


图 3 仿真地图 2

2) 传统 RRT 算法与改进算法

传统 RRT 算法路径规划结果如图 4、图 5 所示。图中, 与目标点相连的黑色细线表示最终路径。为了便于观察, 程序设定在每一次打点后都停顿 1s, 最终图 4 用时 40.230s, 图 5 用时 37.560s。观察图中传统 RRT 算法所得路径, 可以明显看出, 在路径经过障碍物附近时平滑性大大降低, 尤其是在地图 2 这种障碍物空间复杂的情况下, 路径点转折更大。

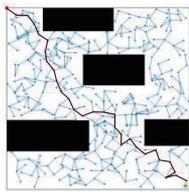


图 4 地图 1 规划结果

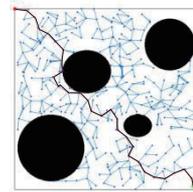


图 5 地图 2 规划结果

改进后的 RRT 算法规划路径如图 6、图 7 所示。为了获取更加准确的距离信息, 包围障碍物边缘, 加入动态步长后, 路径点在障碍物附近的路径平滑程度大大提高。地图 1 用时 48.532s, 地图 2 用时 52.548s。从时间上看, 图 6 相比于图 4, 改进后算法多用时 25.58%, 图 7 相比于图 5 多用时 22.4%。

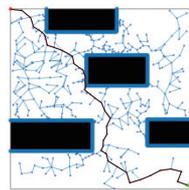


图 6 地图 1 规划结果

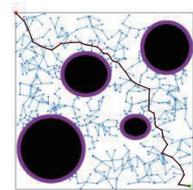


图 7 地图 2 规划结果

3) 曲线拟合比较

由于 RRT 算法得出的轨迹是一条折线段,机器人在经过拐角时会出现运动不平稳的现象。为了解决这个问题,选择对路径进行光滑处理。贝塞尔曲线是于 1962 年由法国工程师皮埃尔·贝塞尔(Pierre Bézier)所发表,用贝塞尔曲线来为汽车的主体进行设计。后经人不断改良^[12],广泛应用于二维平面。本文采用该方法进行路径曲线的拟合。图 8、图 9 为经过光滑处理后的最终路径。显然,改进后的 RRT 算法得到的路径在经过障碍物附近时更为光滑。

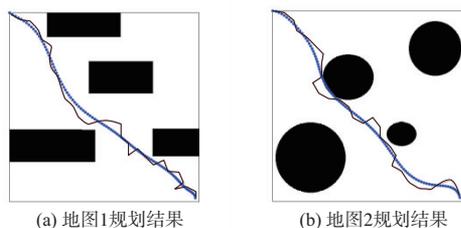


图 8 RRT 算法拟合

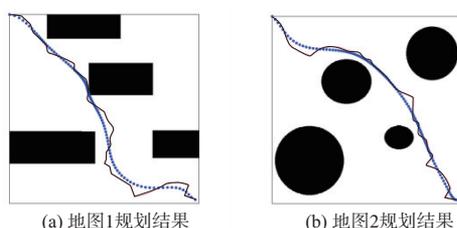


图 9 改进 RRT 算法拟合

3 结语

本文完成了对传统 RRT 算法的改进,基于人工势场法中的斥力场及斥力函数,加入了动态步长,对 RRT 算法经过障碍物附近时的路径进行优化,再对得到的路径进行贝塞尔曲线拟合,使得改进后的算法在经过障碍物附近时路径的平滑程度大大提高,缺点是在一定程度上延长了规划时间。后续的研究将会更加注重规划时间的缩短。

参考文献:

- [1] LAVALLE S M. Rapidly-exploring random trees: a new tool for path planning[R]. [S.L.]: Iowa State University, 1998.
- [2] 陈秋莲,蒋环宇,郑以君. 机器人路径规划的快速扩展随机树算法综述[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(16): 10-17.
- [3] KARAMAN S, FRAZZOLI E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning [J]. The International Journal of Robotics Research, 2011, 30(7): 846-894.
- [4] ADIYATOV O, VAROL H A. Rapidly-exploring random tree based memory efficient motion planning [C]//2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Takamatsu, Japan: IEEE, 2013: 354-359.
- [5] CHOUDHURY S, GAMMELL J D, BARFOOT T D, et al. Regionally accelerated batch informed trees (RABIT*): a framework to integrate local information into optimal path planning [C]//2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Stockholm, Sweden: IEEE, 2016: 4207-4214.
- [6] LAVALLE S M, KUFFNER J J. Randomized kinodynamic planning [C]//Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C). Detroit, MI, USA: IEEE, 1999: 473-479.
- [7] PÉREZ-HIGUERAS N, CABALLERO F, MERINO L. Learning human-aware path planning with fully convolutional networks [C]//2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Brisbane, QLD, Australia: IEEE, 2018: 5897-5902.
- [8] 裴以建,杨超杰,杨亮亮. 基于改进 RRT* 的移动机器人路径规划算法[J]. 计算机工程, 2019, 45(5): 285-290, 297.
- [9] 曹凯,陈阳泉,高嵩,等. 涡流人工势场引导下的 RRT* 移动机器人路径规划[J]. 计算机科学与探索, 2021, 15(4): 723-732.
- [10] 户望力. 基于改进的 RRT 车辆路径规划[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(6): 45-47.
- [11] 贝前程,刘海英,张绍杰,等. 基于改进传统人工势场法的机器人避障和路径规划研究[J]. 齐鲁工业大学学报, 2019, 33(6): 53-58.
- [12] 贾文涛,李春涛. 无人机航迹优化与跟踪技术研究[J]. 机械制造与自动化, 2020, 49(6): 156-161.

收稿日期: 2021-06-01