

doi: 10.7690/bgzdh.2023.11.021

基于改进 RRT 算法的弹药装填机器人路径规划

徐 达, 王兆阳, 李 华, 王小闯, 曹振地
(陆军装甲兵学院兵器与控制系, 北京 100072)

摘要: 针对快速随机树 (rapidly-exploring random tree, RRT) 算法盲目生成搜索节点、扩展无方向性和路径曲折不光滑等问题, 对传统 RRT 算法进行改进。通过引入概率值, 减少生成的随机点; 采用目标偏置策略, 引导随机树向目标点生长, 利用变步长减少目标点附近的震荡; 对路径进行简化并通过 3 次 B 样条曲线对初始路径进行优化。仿真结果表明: 改进的 RRT 算法能有效缩短路径长度, 减少转折次数, 提高路径的平滑性, 具有良好的有效性。

关键词: 弹药装填机器人; RRT 算法; 路径规划; B 样条曲线

中图分类号: TJ410.3⁺4; TP242.2 **文献标志码:** A

Ammunition Loading Robot Path Planning Based on Improved RRT Algorithm

Xu Da, Wang Zhaoyang, Li Hua, Wang Xiaochuang, Cao Zhendi

(Department of Weapons and Control, Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China)

Abstract: Aiming at the problems of rapidly-exploring random tree (RRT) algorithm, such as blind generation of search nodes, non-directional expansion and tortuous path, the traditional RRT algorithm is improved. The probability value is introduced to reduce the number of random points. The target bias strategy is used to guide the random tree to grow towards the target point. The variable step size is used to reduce the oscillation near the target point. The path is simplified and the initial path is optimized by cubic B-spline curve. The simulation results show that the improved RRT algorithm effectively shortens the path length, reduces the number of turning points, improves the smoothness of the path, and has good effectiveness.

Keywords: ammunition loading robot; RRT algorithm; path planning; B-spline curve

0 引言

随着科技的进步, 现代战争的形式发生了巨大改变, 无人智能武器装备开始形成战争装备体系, 并以复杂自适应系统的形式运用于战争已经初见端倪^[1]。其中, 因对无人作战具有突出贡献的机器人技术得到了广泛关注, 与其密切相关的路径规划问题成为了热点。

路径规划常用算法有图搜索算法、人工势场法、栅格法、A*算法、蚁群算法和快速随机树 (RRT) 算法等^[2], 图搜索法速度较慢, 人工势场法需要在构型空间重新建立高维度的斥力引力势场^[3]; 栅格法需要在高维度下增加网格数量, 计算量大, 耗时长^[4]; A*算法需要精确定位障碍物, c 转折点和冗余点多^[5]; 蚁群算法随着维数的增加, 迭代收敛次数呈指数增长, 具有易陷入局部最优、死锁状态, 且搜索结果质量差, 收敛速度慢, 搜索时间长^[6]。

RRT 算法因其规划效率高、动态环境适应性强、高维可用、概率完备等优点, 在路径规划算法中占

有重要地位^[7]; 但是, RRT 算法自身也有一些缺点, 扩展无方向性, 随机性强, 进而导致规划出的路径冗长且花费的时间较长^[8]。笔者针对 RRT 算法存在的问题进行改进, 在选择采样点时加入目标偏置, 减少盲目性; 在新节点生成时引入动态权重系数, 使随机树向目标点方向可变步长生长; 对生成的路径进行剪枝处理, 去除不必要节点, 再通过 3 次 B 样条曲线进行路径平滑处理使规划路径更平滑, 缩短规划时间。最后通过仿真实验验证了改进算法的有效性。

1 RRT 算法

RRT 是由 Lavelle 教授提出的基于随机采样的快速搜索算法^[9], 在路径规划领域得到了广泛应用。如图 1 所示, 算法以初始的一个根节点, 通过随机采样的方法在空间搜索, 然后添加一个又一个的叶节点来不断扩展随机树。当目标点进入随机树里面后, 随机树扩展立即停止, 此时能找到一条从起始点到目标点的路径。

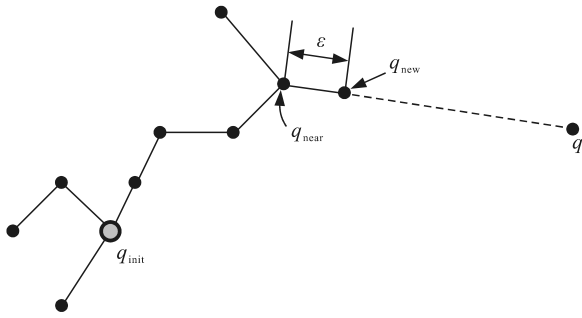


图 1 基本 RRT 算法

基本 RRT 算法流程:

- 1) 以起始点 q_{start} 为根节点, 进行随机采样得到一个采样点 q_{rand} ;
- 2) 在随机树中寻找距离 q_{rand} 最近的点 q_{near} , 将采样点 q_{rand} 与 q_{near} 连线, 在此连线上以固定步长为距离得到新节点 q_{new} ;
- 3) 判断最近点 q_{near} 与新节点 q_{new} 间是否有障碍物阻隔, 若有障碍物阻隔, 放弃该节点, 重新进行随机采样; 若没有障碍物阻隔, 将 q_{new} 加入到随机树中;
- 4) 重复上述过程, 直到寻找到目标点 q_{goal} 。

2 改进 RRT 算法

针对传统 RRT 算法的缺点做出改进, 首先, 在选择采样点时加入目标偏置, 保证随机性的同时对生长方向进行引导, 加快收敛缩短时间; 而后, 在新节点生成时引入动态权重系数, 使随机树向目标点方向可变步长生长, 提高避让障碍物的能力; 最后, 对生成的路径进行剪枝处理, 去除不必要节点, 再通过 3 次 B 样条曲线进行平滑处理, 提高路径优秀程度。

2.1 目标偏置

设置概率值 P , 减小随机生成点的无目的性。通过在 $[0, 1]$ 范围内随机生成 $rand$ 与 P 比较, 如果 $rand < P$, 将目标点设为生成点; 如果 $rand > P$, 则随机一个生成点。公式如下:

$$q_{rand} = \begin{cases} q_{goal} & rand < P \\ q_r & rand \geq P \end{cases} \quad (1)$$

式中: q_r 的横坐标为 $rand * X_{max}$, 纵坐标为 $rand * Y_{max}$; X_{max} , Y_{max} 为地图横、纵坐标轴最大值。

2.2 新节点

通过目标点与随机生成点共同生成新节点, 加速随机树向目标点生长。此时新节点的生成公式为:

$$q_{new} = q_{nearest} + eps \left(\frac{q_{rand} - q_{nearest}}{\|q_{rand} - q_{nearest}\|} + k \frac{q_{goal} - q_{nearest}}{\|q_{goal} - q_{nearest}\|} \right) \quad (2)$$

式中: eps 为固定步长; k 为引力因子。当随机树生长遇到障碍物时, 改变 k 的大小, 调整新节点的生成方向, 加速避开障碍物。

2.3 路径平滑

由于 RRT 算法随机性的缘故, 导致随机生成树的枝桠多, 生成的路径不仅曲折, 且有大量的无效路径和多余节点, 需要进一步处理。

首先可通过剪枝拉伸对路径进行简化, 剪枝操作即遍历所有节点, 找出路径中所有与目标点连线不经过障碍物的点, 再从中找出所花费代价最小点作为目标点的父节点, 将其作为新的目标点重复上述过程直至起始点。通过剪枝操作可以极大地减少枝桠, 得到较为简单的路径, 但是在路径转弯处仍不平滑, 对机器人会产生较大冲击, 需要进行局部平滑处理。笔者通过 3 次 B 样条曲线对简化路线进行平滑处理。3 次 B 样条曲线方程中基函数为:

$$\left. \begin{aligned} G_{0,3}(t) &= (-t^3 + 3t^2 - 3t + 1)/6 \\ G_{1,3}(t) &= (3t^3 - 6t^2 + 4)/6 \\ G_{2,3}(t) &= (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)/6 \\ G_{3,3}(t) &= t^3/6 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$t \in [0, 1]$

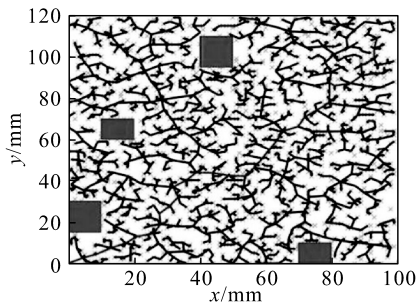
综上所述, 改进算法流程:

- 1) 初始化随机树, 将起始点 q_{start} 放入随机树作为根节点;
- 2) 随机生成一个采样点进行判断, 如果 $rand$ 小于概率值 P , 将目标点 q_{goal} 设为生成点; 否则随机一个生成点 q_{rand} ;
- 3) 找到最近点 q_{near} , 通过新节点生成公式计算出新节点;
- 4) 进行障碍物检测, 如果发生碰撞就舍弃该节点, 调整权重后重新生成新节点, 否则将新节点加入随机树中;
- 5) 循环直至到达目标点, 生成初始路径;
- 6) 进行路径简化和路径平滑处理, 生成最终路径。

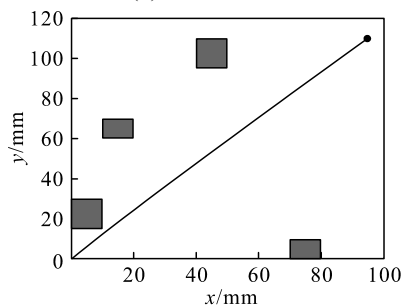
3 仿真实验

对改进 RRT 算法在 Matlab 中进行仿真实验, 通过仿真模拟障碍物地图, 从起点到终点进行路径

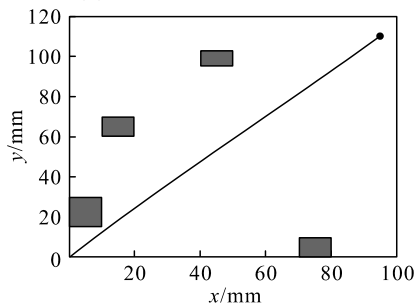
规划，通过改进后的算法生成随机树在进行拉伸平滑处理，结果如图 2—4 所示。



(a) 基本 RRT

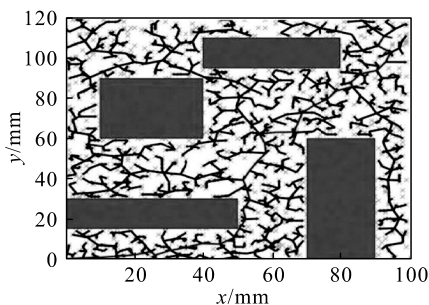


(b) 改进 RRT 剪枝处理

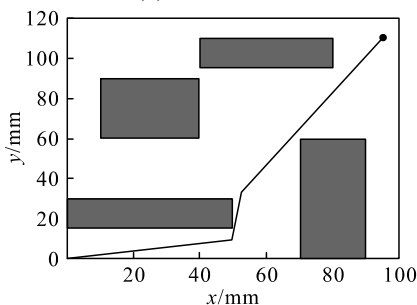


(c) 改进 RRT 平滑处理

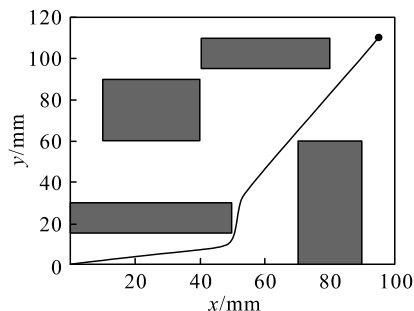
图 2 简单环境



(a) 基本 RRT

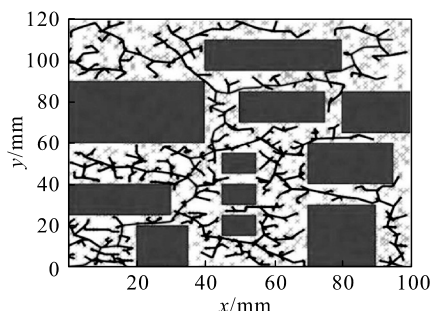


(b) 改进 RRT 剪枝处理

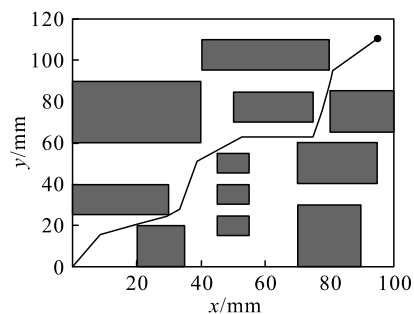


(c) 改进 RRT 平滑处理

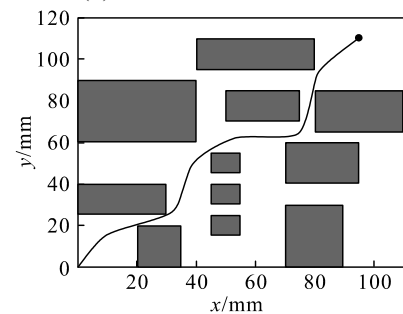
图 3 一般环境



(a) 基本 RRT



(b) 改进 RRT 剪枝处理



(c) 改进 RRT 平滑处理

图 4 困难环境

从图 2 中可以看出，在简单环境时，起始点与目标点之间可由一条笔直的直线相连，所以改进 RRT 算法平滑处理没有体现效果，但在路径长度，曲折程度上与基本 RRT 相比具有明显优势。从图 3、4 中可以看出，在环境变得复杂时，起始点和目标点之间的路径不能简单直线相连时，在路径拐点处平滑处理的效果得到体现，路径线条更加柔和，对于机器人造成的冲击更小。如表 1 所示，在困难环

境下,改进 RRT 算法路径规划所需时间更少。所以与基本 RRT 相比,改进后的 RRT 在路径长度、平滑程度、运行时间等方面具有明显优势。

表 1 困难环境下基本 RRT 算法与改进 RRT 算法数据

算法	距离/mm	时间/s
基本 RRT	235.2	14.82
改进 RRT	158.4	3.07

4 结论

针对基本 RRT 算法存在的问题,提出一种改进 RRT 算法,通过目标偏置策略对采样过程进行优化。引入动态权重系数,引导随机树生长方向;对路径进行剪枝拉伸和平滑处理,延长机器人寿命。仿真实验结果表明,改进 RRT 算法在路径规划中具有良好表现。下一步将就实际应用等相关问题继续研究。

参考文献:

[1] 魏继才. 论虚拟战争[D]. 北京: 中共中央党校, 2020.
 [2] 王硕, 段蓉凯, 廖与禾. 机器人路径规划中快速扩展随

(上接第 87 页)

参考文献:

[1] 黄天宇. 无人机辅助通信中基站部署策略研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2019.
 [2] 严晓琴, 邢灵芝, 颜俊. 能效最优准则下的无人机中继系统的功率分配算法[J]. 数据采集与处理, 2018, 33(6): 118-127.
 [3] 张得志, 乔馨, 李双艳, 等. 考虑多重覆盖的应急设施多级协同布局鲁棒优化[J/OL]. 控制与决策, 2022, 37(7): 1853-1861[2022-02-24]. <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2021.0687>.
 [4] Federal Emergency Management Agency. The four phases of disaster[R]. Working Paper, FEMA-Emergency Management Institute, 2004.
 [5] 宋艳, 滕辰妹, 姜金贵. 基于改进 NSGA-II 算法的多级服务设施备用覆盖选址决策模型[J]. 运筹与管理, 2019, 28(1): 75-82.
 [6] MA Y, XU W, QIN L, et al. Hierarchical supplement location-allocation optimization for disaster supply warehouses in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2019, 10(1): 102-117.
 [7] DÖNMEZ Z, KARA B Y, KARSU Ö, et al. Humanitarian

机树算法的改进研究[J]. 西安交通大学学报, 2022(7): 1-9.
 [3] 李剑光, 刘椿鹏, 周梓燊, 等. 基于改进 RRT* 算法的机械臂路径规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(3): 9-12.
 [4] 史晨发. 六自由度机器人工件抓取搬运的路径规划研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2020.
 [5] 陈德童, 刘贤达, 刘生伟. 基于双向搜索改进 A* 算法的自动导引车路径规划[J]. 计算机应用, 2021, 41(S2): 309-313.
 [6] 钱森, 钱鹏飞, 王春航, 等. 多机协作吊装机器人动力学分析与路径规划[J]. 机械工程学报, 2022, 58(7): 20-31.
 [7] 黄永盼. 基于改进 RRT 的路径规划算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
 [8] 赵惠, 李庆党, 张明月. 基于改进 RRT 算法的机械臂路径规划方法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(16): 45-49.
 [9] 曹凯, 高佳佳, 李昂. 基于 RRT 优化算法的移动机器人路径规划[J]. 兵工自动化, 2018, 37(9): 74-79.
 Facility Location under Uncertainty: Critical Review and Future Prospects[J]. Omega, 2021, 102: 102393.
 [8] PAUL J A, WANG X J. Robust location-allocation network design for earthquake preparedness[J]. Transportation research part B: methodological, 2019, 119: 139-155.
 [9] BAI X, GAO J, LIU Y. Prepositioning emergency supplies under uncertainty: a parametric optimization method[J]. Engineering Optimization, 2018, 50(7): 1114-1133.
 [10] 彭庭睿, 刘海鹏, 刘彦, 等. 基于模糊层次分析法和图像对比毁伤评估法的目标权重计算方法[J]. 兵工学报, 2021, 42(1): 173-180.
 [11] 张仲敏, 李俊山, 宋凭, 等. 一种基于模糊层次分析的多 Agent 电子对抗装备状态智能评判方法[J]. 兵工学报, 2014, 35(4): 516-522.
 [12] ZHANG Z M, LI J S, SONG P, et al. A multi-agent intelligent decision approach based on fuzzy analytic hierarchy process for service statuses of electronic countermeasures equipment[J]. ACTA ARMAMENTARII, 2014, 35(4): 516-522.
 [13] SU B, LIU H P, ZHANG G C. Anti-UAV group effectiveness evaluation based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of physics: Conference Series, 2021, 1802(2): 22-28.