

动态自适应快速扩展树航迹规划算法研究

潘广贞^{1,2}, 秦 帆², 张文斌²

(1 北京科技大学 计算机与通信工程学院, 北京 100083; 2 中北大学 电子与计算机科学技术学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 快速扩展随机树(RRT)是航迹规划的重要算法, 针对其难以直接应用于无人机航迹规划的问题, 提出了动态自适应 RRT 算法. 动态自适应 RRT 算法在随机点产生过程中加入无人机转弯角约束, 使航迹更适合无人机直接跟踪; 同时引入动态调节因子, 根据环境中障碍密集程度调整规划步长, 有效避免各类障碍. 计算机实验结果表明动态自适应 RRT 算法在单航迹规划和多航迹规划中明显优于基本 RRT 算法和其它改进 RRT 算法, 更适用于无人机航迹规划.

关键词: 航迹规划; 快速扩展树; 动态自适应; 无人机

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)01-0049-04

Dynamic Adaptive RRT Path Planning Algorithm

PAN Guang-zhen^{1,2}, QIN Fan², ZHANG Wen-bin²

(1 School of Computer and Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2 School of Electronics and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: RRT is the important path planning algorithm. In view of its difficult to directly apply in UAVS path planning, this paper puts forwards the dynamic adaptive RRT algorithm. Adding turn corner constraints in the process of random point produce in order to make track for UAVS tracking more directly. At the same time, introduce dynamic adjustment factor, according to the environment of intensive degree to adjust the planning step length and avoid all kinds of barriers effectively. The computer experimental results show that the dynamic adaptive RRT algorithm in single path planning and more significantly than the basic path planning algorithm and other improvements RRT RRT algorithm, more applicable for UAVS path planning.

Key words: route planning; rapidly-exploring random tree (RRT); dynamic adaptive; unmanned aerial vehicle (UAV)

1 引言

无人机技术随着航天航空事业的发展受到空前重视. 任务规划系统是无人机完成任务的有利保障, 航迹规划作为其中关键一部分得到了深入的研究. 国内外学者针对各类规划任务提出了不同航迹规划算法及改进策略, 如蚁群算法、A* 算法、遗传算法、概率路径法、快速扩展随机树 (Rapidly-exploring Random Tree, RRT) 算法等. RRT 算法主要用于解决含有约束条件的运动物体路径规划问题, 文献[1]

利用 RRT 算法规划航迹, 改进节点选择方式, 每次产生 k 个随机点, 利用启发函数和代价函数从 k 个随机点中选择最优的作为叶子节点, 添加到扩展树中; 文献[2]利用回归分析法从候选节点中选择叶子节点, 避免算法陷入局部最优; 文献[3]在建立随机树时结合了无人机航向和转弯等约束, 选择满足约束的点作为叶子节点.

上述 RRT 算法改进策略都是针对 RRT 本身, 缺乏对待解决问题的考虑. 无人机飞行环境是复杂多变的, 根据环境信息随时调整规划参数可以扩展

规划算法的应用范围. 因此, 本文提出一种加入动态因子的改进 RRT 算法, 在 RRT 扩展叶子节点时, 根据候选节点和障碍物的相对位置关系调整自动扩展步长, 可以安全避障同时也能缩短航迹长度; 由于无人机在飞行时受转弯角约束, 将节点的选择限制在一定范围内, 则可以避免相邻航迹段之间转弯角超过约束而无法飞行.

2 RRT 算法基本原理

RRT 算法是英国教授 Steven M. LaValle 于 1998 年首次提出的一种随机路径搜索算法, 利用随机函数产生叶子节点, 在解存在的情况下, RRT 算法总能够找到可行的路径. 构造 RRT 的基本原理如下^[4]:

```

BUILD_RRT( $x_{init}$ )
1  $T.init(x_{init});$ 
2 for  $k=1$  to  $K$  do
3  $x_{rand} \leftarrow Random\_State();$ 
4  $EXTEND(T, x_{rand});$ 
5 Return  $T$ 

EXTEND( $T, x_{rand}$ )
1  $x_{near} \leftarrow Nearest\_Neighbor(x, T);$ 
2 if  $NEW\_STATE(x, x_{near}, x_{new}, u_{new})$ 
3  $T.add\_vertex(x_{new});$ 
4  $T.add\_edge(x_{near}, x_{new}, u_{new});$ 
5 if  $x_{new} = x$  then
6 Return Reached;
7 else
8 Return Advanced;
9 Return Trapped
  
```

RRT 算法以增量方式构造路径树, 将路径搜索起始点作为待构造树 T 的根节点, 在节点总数允许的范围, 利用 $Random_State()$ 函数产生随机点 x_{rand} , 结合待解决问题和当前随机树扩展 x_{rand} .

$EXTEND(T, x_{rand})$ 用来扩展新节点, 首先利用 $Nearest_Neighbor(x, T)$ 函数找出当前随机树中距 x_{rand} 最近的节点 x_{near} . 根据 x_{rand} 、 x_{near} 、 u 和 T 的关系计算 x'_{new} , 在没有障碍的路径规划中 x'_{new} 作为新节点, 即 $x'_{new} = x_{new}$; 存在威胁的规划环境中, 需要判断 x'_{new} 与 x_{near} 的连线、 x'_{new} 是否与障碍物相交, 如果二者都不相交, 则 x'_{new} 作为新节点 x_{new} , 产生的新节点和连接新节点的边添加到随机树 T 中. 随机树建

立过程是重复执行 $EXTEND(T, x_{rand})$ 函数的过程, 当扩展节点总数达到给定上限或已搜索到路径, 则算法结束.

3 RRT 算法改进策略

文献[5]针对 RRT 算法缺乏目标性, 提出了加入引导向量的改进 RRT 算法, 仿真实验验证, 加入方向引导因素的改进 RRT 算法在规划时间上有了明显的提高. 尽管如此, 规划出的航迹仍不能很好地满足无人机可跟踪性的物理约束. 规划步长和相邻航迹段之间的夹角是影响航迹可跟踪性的两个重要因素, 文中从这两方面做了改进.

3.1 随机节点的改进

基本 RRT 算法中叶子节点是满足约束的随机点, 文献[5]规划算法中, 若规划视野域没有障碍物则不产生随机点; 当视野域引导方向上存在障碍物, 则利用随机点法获得叶子节点. 为使所得航迹更接近真实航迹, 将最大转弯角作为随机点产生的约束条件.

若无人机当前位置为 x_p , 其视野域可看作以 x_p 为圆心、半径为 r 的圆. 无人机在视野域中遇到障碍物, 以图 1 为例, 产生随机点的过程为:

(1) 确定当前引导向量 α ;

(2) 根据视野域和障碍物相交情况, 确定下一航迹段规划方向. 由文献[5]中的改进航迹规划算法确定出下一规划方向为 $X_p M$.

(3) 设无人机最大转弯角为 θ , 向量 $\overrightarrow{X_p M}$ 与 α 夹角为 θ_1 . 若 $\theta > \theta_1$, 则随机点选择区域限制在 $\theta - \theta_1$ 范围内; 若 $\theta < \theta_1$, 则随机点尽量逼近最大转弯角且需调整规划步长.

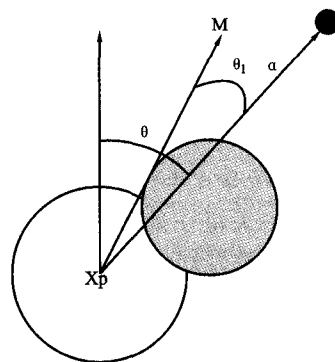


图 1 随机点范围示意图

3.2 自适应步长调整

利用 RRT 进行无人机航迹规划, 视野域引导方向上不存在障碍物, 按照初始步长扩展节点; 若视野域引导方向上存在障碍物且在转弯角约束下不能安

全避障,则需要调整 RRT 扩展步长.

图 2 中 θ 为无人机最大转弯角,由于 $\theta_1 > \theta$,所以随机点选择范围为点 X_p 、A 和 B 包围的封闭区域.若随机点为 X , $\overrightarrow{X_p X}$ 与 $\overrightarrow{X_p A}$ 夹角为 α ,则规划步长调整公式为:

$$l' = \frac{\alpha}{\theta} \times l \quad (1)$$

其中, l 为初始规划步长,规划步长与随机点产生位置相关.

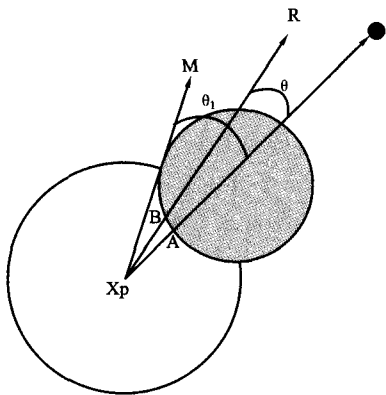


图 2 夹角关系图

4 基于动态自适应 RRT 算法的航迹规划

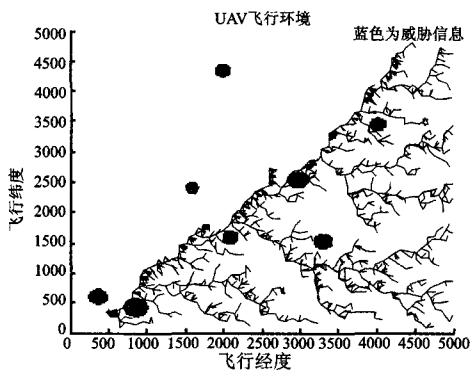
RRT 算法是一种数据结构搜索算法,搜索过程建立的扩展树中任意两点都是连通的,因此,RRT 算法不仅可用于单航迹规划,也可用于多航迹规划.为验证动态自适应 RRT 算法的可行性和有效性,利用 Matlab 工具编程实现,仿真实验在 Intel(R) Xeon(R) 2.4 GHz、2 GB 内存的计算机上进行.假设无人机飞行环境为长度为 5000 个单位的正方形区域,障碍物为事先设定的大小不同的圆.

(1) 单航迹规划

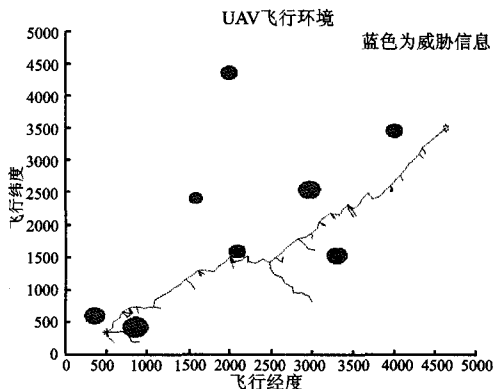
单航迹规划是在任务区域中给出一个起始点 S 和一个目标点 G,利用航迹规划算法找出从 S 到 G 的安全路径.在实验中,S(500,350)用上三角表示,G(4621,3498)用下三角表示.分别利用基本 RRT 算法、BiasGoalRRT 算法和动态自适应 RRT 算法规划航迹,得出规划结果如图 3 所示.

图 3 中,蓝色连线为航迹规划建立的扩展树,红色连线表示最终航迹.

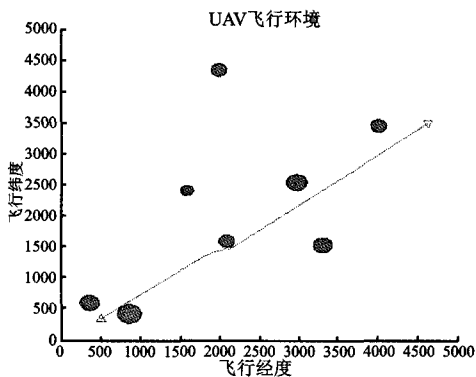
为验证动态自适应 RRT 算法在规划时间、航迹长度等方面的优越性,将上述三种算法分别进行 10 次仿真,得出表 1 数据.



(a) 基本 RRT 算法航迹规划结果示意图



(b) BiasGoalRRT 算法航迹规划结果示意图



(c) 动态自适应 RRT 算法航迹规划结果示意图

图 3 不同算法航迹规划结果示意图

表 1 不同算法航迹规划性能对比

	基本 RRT 算法	BiasGoalRRT	动态自 适应 RRT
平均规划时间	21.045	0.812	0.155
航迹长度	6700	6200	5400
总结点数	897	132	56
有效节点数	67	62	54

表 1 数据显示,动态自适应 RRT 算法在规划时间上明显优于其它两种、航迹长度略优于其它两种算法,加入动态因子的改进 RRT 算法可以用于解决存在威胁的单航迹规划问题.

(2)多航迹规划

RRT 用于航迹规划,每一次查询建立起的扩展树不仅可以查询从一个点到另一个点的路径,也可搜索从一个点到多个点或多个点到一个点的路径.假设航迹规划的起始点有三个,坐标值为 S1(4500, 2000),S2(3500, 4500),S3(2800, 4000),目标点 G(500,250). 利用动态自适应 RRT 算法得到的多航迹结果示意图如图 4 所示.

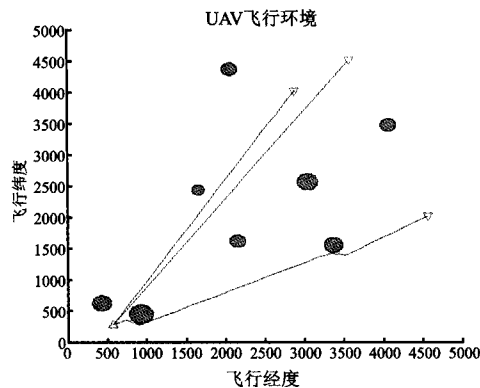


图 4 动态 RRT 算法多航迹规划结果示意图

利用三种不同的算法实现多航迹规划,10 次仿真结果如表 2 所示.

表 2 多航迹规划性能

	基本 RRT 算法	BiasGoalRRT	动态自 适应 RRT
平均规划时间	55.412	5.264	0.401

实验表明动态自适应 RRT 算法在多航迹规划问题上具有明显的优势.

5 结束语

本文提出了动态自适应 RRT 算法,根据环境信息动态调整飞行步长,保证扩展叶子节点的安全性.加入无人机最大转弯角限制,在机动性能允许区

域中产生随机点,减小叶子节点产生的随机性,增强航迹可跟踪性.经过实验验证,算法成功完成规划任务并且在规划时间性能上有明显优势.

参考文献:

[1] 彭辉,王林,沈林成.区域目标搜索中基于改进 RRT 的 UAV 实时航迹规划[J].国防科技大学学报,2009,29(5):86-91.

[2] 康亮,赵春霞,郭剑辉.未知环境下改进的基于 RRT 算法的机器人路径规划[J].模式识别与人工智能,2009,22(3):337-343.

[3] Jongwoo Jim Gen. Motion planning a aerial robot using rapidly-exploring random trees with dynamic constraints[C]//Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA 03. IEEE International Conference on Date of Conference. Taiwan: Taipei, 2003 (2): 2200-2205.

[4] Rodriguez S. An obstacle-based rapidly-exploring random tree[C]//Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on. Spain:Seville, 2006(2):895-900.

[5] 秦帆,潘广贞,杨剑.改进 RRT 无人机航迹规划算法[J].微电子学与计算机,2012,29(2):70-73.

[6] Steven M LaValle,James J Kuffner. Randomized kinodynamic planning[J]. The International Journal of Robotics Research, 2001,20(5):378-400.

作者简介:

潘广贞 男,(1969—),博士,硕士研究生导师.研究方向为航迹规划.

秦帆 女,(1987—),硕士研究生.研究方向为无人机航迹规划.

张文斌 男,(1987—),硕士研究生.研究方向为计算机视觉.