

改进 RRT 无人机航迹规划算法

秦 帆, 潘广贞, 杨 剑

(中北大学 电子与计算机科学技术学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对 RRT(快速扩展随机树)航迹规划算法在未知环境下缺乏较强目的导向性和偏离较优解的问题, 提出基于引导向量的 RRT 与滚动规划窗口相结合的航迹规划方法. 改进的 RRT 算法加入方向引导因子, 限制节点扩展范围, 增强 RRT 生长的目的性. 采用对比择优扩展, 生成多个可行解, 通过比较得到较优解. 计算机仿真实验结果表明, 改进的 RRT 航迹规划算法在未知环境中能够很快收敛于较优解, 该算法用于解决未知环境下的航迹规划问题是可行的.

关键词: 航迹规划; 无人机; 快速扩展随机树; 未知环境; 滚动规划

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0070-04

Improved RRT Algorithm of UAV Path Planning

QIN Fan, PAN Guang-zhen, YANG Jian

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

Abstract: In unknown environment, the RRT route planning strategy lacks purpose-oriented feature and the solution deviates from the optimal one, to solve these problems, this paper presents a new method which combine the improved RRT algorithm and rolling plan window. The improved RRT algorithm introduce guide direction factor, which limit the extended range of nodes and strengthen the purpose of growth. Apply comparison method, to get better solution. Computer simulation results show that the new route planning algorithm can converges to a better solution in short time in unknown environment, and the new algorithm to solve path planning in unknown environment is feasible.

Key words: route planning; unmanned aerial vehicles; rapidly-exploring random tree; unknown environment; rollingplan

1 引言

无人机在环境信息已知和动态变化情况下的航迹规划都得到了深入的研究,但在实际应用中也要穿越环境信息未知的区域,这就需要无人机具有在未知环境中实时规划航迹的能力.

RRT 算法是一种基于采样的规划算法. 采用 RRT 算法生成的相邻点之间的路径可以是经过运动学、动力学仿真生成的可执行曲线,通过对状态空间中的采样点进行碰撞检测,避免了对空间的建模,适合用来解决含有运动力学约束的路径规

划问题. 基本 RRT 算法的一些特点限制了它的进一步应用,文献[1-2]中将动力学约束条件结合在 RRT 的生长过程中,采用双向 RRT 搜索算法,提高了搜索速度,但没有克服 RRT 扩展随机性大的问题. 文献[3]中改进了随机节点的选择方法,降低了在线航迹规划时间,但搜索空间内有效解没有得到充分利用,导致算法得到的不一定是当前环境下的较优解^[4-5].

本文在边界信息、起始点和目标点已知的环境中,将无人机视野域作为滚动规划窗口,结合无人机自身约束条件,利用改进 RRT 算法在规划窗口中

收稿日期: 2011-05-16; **修回日期:** 2011-07-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475176,50675015)

得到较优的可跟踪航迹,在窗口滚动时间 t 内,沿生成的航迹移动.该算法使随机点的选择集中在一定区域,加强 RRT 生长的目的性,同时也保证得到的解逼近最优解.

2 基本 RRT 算法描述

RRT 算法最早由 LaVall 提出,采用一种特殊的增量方式构造,以规划空间起始点 X_{init} 为根节点,通过逐步增加叶子节点来生成随机扩展树,当随机树的叶子节点包含目标点 X_{goal} 或在目标点所在的子区域中,算法结束. RRT 算法如下:

Algorithm: RRT_Expansion(T ; RRT, $X_{init} \in X_{free}, u$)

```

1:  $T.root = X_{init}$ 
2: While( $X_{new} \neq X_{goal} \parallel X_{new} \notin Area(X_{goal})$ ) do
3:  $X_{rand} = Rand(T, X_{free})$ 
4:  $X_{nearest} = Nearest(T, X_{rand})$ 
5:  $X_{temp} = New\_node(X_{near}, X_{rand}, u)$ 
6: if( $collision(X_{temp}) = false$ ) then do
7:    $X_{new} = X_{temp}$ ;
8:    $T.add\_node(X_{new})$ 
9:    $T.add\_edge(X_{near}, X_{new})$ 
10: end if
11: end while
12: return  $T$ 

```

T :待扩展的随机树;

X_{init} :航迹规划起始点;

X_{free} :规划空间中无障碍物的区域总和;

$Area(X)$:以 X 为圆心的子区域.

(1)起始点 X_{init} 作为 T 的根结点,被添加到 T 中;

(2)在 X_{free} 中产生随机节点 X_{rand} ;

(3)找出 T 中与 X_{rand} 最近的节点 X_{near} ,并用 X_{near} 来扩展;

(4)结合 X_{near} 、 X_{rand} 和 u (无人机物理约束) 计算出尽量接近 X_{rand} 的临时节点 X_{temp} ;

(5)如果 X_{temp} 在 X_{free} 中,则 X_{temp} 作 RRT 的叶子节点,即 $X_{new} = X_{temp}$,添加 X_{new} 到 T 中;否则,舍弃 X_{temp} ;

(6)产生随机节点,重复步骤(3)–(5).直到 $X_{new} = X_{goal}$ 或 $X_{new} \in Area(X_{goal})$

(7)找出从 X_{init} 到 X_{goal} 的可行路径.

3 改进的 RRT 算法

无人机在未知环境中的航迹规划问题实际上就是其视野域 U_{view} 逐步向目标点逼近,反复在 U_{view} 中寻找路径的过程, $U_{view} = \{X_x | Dis(X_p, X_x) < r\}$ (r 表示无人机的视野半径). 在 U_{view} 中,无人机当前位置点 X_p 为航迹规划起始点 X'_{init} ,根据航迹评价标准确定子目标点 X'_{goal} ,生成包含 X'_{init} 和 X'_{goal} 的 RRT,确定出当前环境的可行航迹.

航迹评价标准主要包含航迹规划方向引导因子的选择、航迹解的优劣.

3.1 方向引导因子

定义1 以 X_p 为起点,全局目标点 X_{goal} 为终点的向量称为引导向量,记作 α . α 的方向为航迹规划引导方向(即参考方向).

存在引导向量的路径示意图见图1.

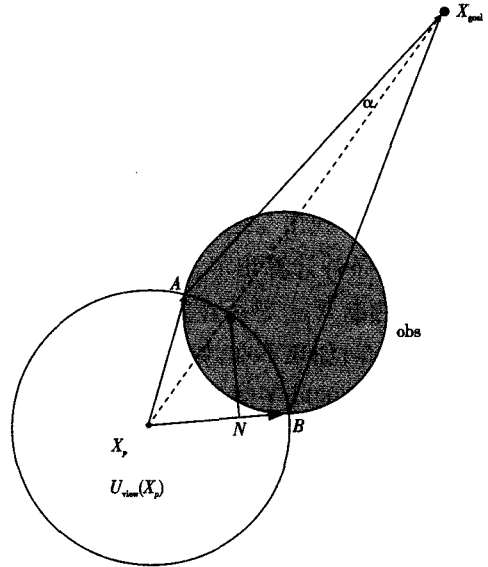


图1 存在引导向量的路径示意图

设无人机 U_{view} 边界上任一点为 M ,它到 X_{goal} 的距离公式为

$$|\overrightarrow{MX_{goal}}| = |\overrightarrow{X_p M}|^2 + |\overrightarrow{X_p X_{goal}}|^2 - 2|\overrightarrow{X_p X_{goal}}||\overrightarrow{X_p M}|\cos\theta \quad (1)$$

θ 为向量 $\overrightarrow{X_p M}$ 与 $\overrightarrow{X_p X_{goal}}$ 的夹角, $\theta \in [0, \pi]$.

$|\overrightarrow{X_p M}|$ 、 $|\overrightarrow{X_p X_{goal}}|$ 均为定值, $|\overrightarrow{MX_{goal}}|$ 随 θ 单调递增.

$f(x) = g(x) + h(x)$ 表示从 X_p 到 X_{goal} 的距离函数, $g(x) = g(X_p, x)$ 、 $h(x) = h(x, X_{goal})$ 分别为

X_p 到 x 、 x 到 X_{goal} 的距离函数。

无人机在其 U_{view} 内如何确定引导点 X_{guide} 有两种情况,以图 1 为例:

若 α 的方向上不存在 obs(障碍物), $f(x) = f(M) = g(X_p, M) + h(M, X_{goal})$, $g(X_p, M) = |\overrightarrow{X_p M}|$, $h(M, X_{goal}) = |\overrightarrow{M X_{goal}}|$, 当 $\theta = 0$ 时, $f(x)$ 的值为最小,此时 $M = N$, 从 X_p 到 X_{goal} 经过点 N 的路径最短,则 $X_{guide} = N$ 。

若 α 的方向上存在 obs, 设 $\overrightarrow{X_p A} = a$, $\overrightarrow{X_p B} = b$, $\overrightarrow{X_p X_{goal}} = c$, $(a, c) = \theta_1$, $(b, c) = \theta_2$, $\theta_1 < \theta_2$, $|\overrightarrow{A X_{goal}}| < |\overrightarrow{B X_{goal}}|$, $f(A) < f(B)$, 则 $X_{guide} = A$ 。

3.2 对比择优扩展

α 限制了 RRT 的扩展范围,为在有限区域中得到较优解,采用对比择优扩展生长策略。基本思想如下:

- (1) 在 X'_{init} 、 X_{guide} 约束下,产生 M 个 X_{rand} ;
- (2) 求出与每一个 X_{rand} 对应的 X_{temp} ;
- (3) 舍弃在障碍物区域的 X_{temp} 点;
- (4) 从有效的 X_{temp} 中选择 $f(x)$ 值较小的前 k 个作为 T 的叶子节点。

对比择优扩展,每一次产生 M 个随机点,对每一个 X_{rand} ,在 T 中找出与之对应的 X_{near} 作为待扩展结点,结合约束条件计算出尽量接近每一个 X_{rand} 的临时点 X_{temp} ,判断 X_{temp} 是否在障碍物区域,如果在,则将该 X_{temp} 舍弃;如果不在,则找出 $f(x)$ 值较小的前 k 个点,作为 T 的叶子结点,此时 $f(x) = f(x_{new}) = g(X_p, x_{new}) + h(x_{new}, X_{goal})$ 。

3.3 规划窗口滚动步长

无人机 U_{view} 内环境信息随规划窗口的滚动不断更新,使得上一周期产生的航迹在当前环境中未必是最优的;另一方面,如果障碍物在视野域边缘,无人机按上一周期航迹飞行,可能会直接逼近障碍物而来不及规避。规划窗口滚动步长的合理选择可以有效解决上述问题,因此,产生一个飞行时间 t ($0 < t < \varepsilon_{max}$, ε_{max} 为上一周期航迹需要的最大飞行时间),从 X_p 出发在 t 时间内沿原航迹飞行,在 t 时间以后沿新环境下生成的航迹飞行。

4 实验结果及分析

为验证文中提出算法的有效性,采用 Matlab 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。无人机飞行区域大小为 $5\,000 \times 5\,000$,起始点坐标为 (100, 100),用五角星表示,目标点坐标为 (4 500, 4 000),用菱形表示,飞行区域中障碍物随机生成。

设置飞行区域中障碍物个数为 100,进行了 30 次实验,每一次的环境信息各不相同,航迹规划全部成功实现。图 2 所示为在一次随机环境中,改进 RRT 算法成功规划出可行航迹。实验结果显示,改进 RRT 算法中随机树节点的产生集中于一定的区域,具有很强的向目标点生长的特性,平均规划时间为 1.032 770 s。

设置飞行区域中障碍物个数为 500,进行了 30 次实验,规划成功 28 次。图 3 所示为一次成功的航

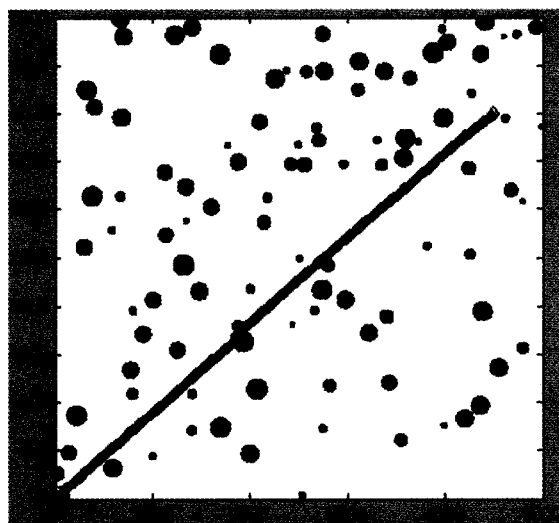


图 2 改进 RRT 算法在未知环境中规划出的路径

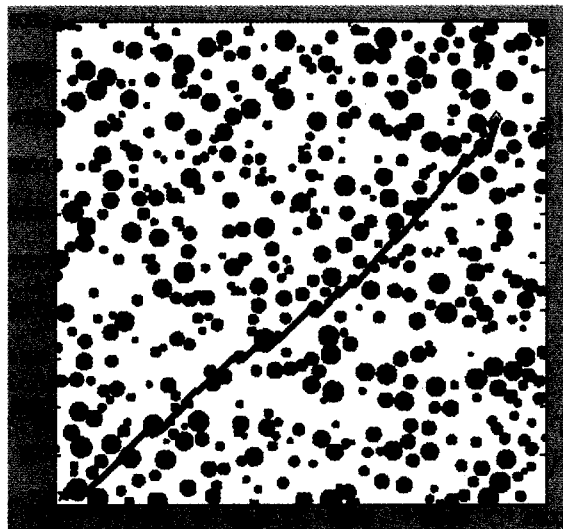


图 3 障碍物个数为 500 的环境下航迹

迹规划,28次成功实验中,平均规划时间为2.4334 s.实验结果显示,该算法在障碍物分布密集的未知环境中也能够很好地规划路径.

以上计算机仿真实验结果表明,改进的 RRT 算法^[6-7]能够指导无人机在未知环境下进行实时自主导航,验证了该算法的正确性和有效性.

5 结束语

本文针对未知环境下无人机航迹规划问题,提出了一种新的规划策略,利用滚动规划原理和改进 RRT 算法求解航迹.改进 RRT 算法中加入了生长引导因子,限制 RRT 生长的随机性,引导其向目标点方向生长;通过对比可行的 X_{temp} ,选择若干个较优的作为 RRT 的叶子结点,扩大有效解范围,使得到的航迹更逼近最优解.但是,该算法在解决环境信息非常复杂的问题时,实验成功率还有待于提高.

参考文献:

- [1] 周克强,高晓光,白奕.改进的快速扩展随机树在航迹规划中的应用[J].系统工程与电子技术,2006,28(10):1538-1540.
- [2] 宋金泽,戴斌,单恩忠,等.一种改进的 RRT 路径规划算法[J].电子学报,2010,38(2A):225-228.
- [3] 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,2009,31(5):86-91.

- [4] 王新增,慈林林,李俊山,等.基于改进粒子群优化算法的无人机实时航迹规划[J].微电子学与计算机,2011,28(4):87-90.
- [5] 周兰凤,徐芳.一种考虑不确定性的移动机器人路径规划方法[J].微电子学与计算机,2010,27(7):86-89.
- [6] Nik A Melchior,Reid Simmons. Particle RRT for path planning with uncertainty[J]//Proc of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Torma, Italy, 2007:1617-1624.
- [7] Steven M. LaValle. Rapidly-exploring random trees: a new tool for path planning[R]. Dept. Iowa State University of Computer Science, 1998.

作者简介:



秦帆女,(1987—),硕士研究生.研究方向为无人机航迹规划.

潘广贞男,(1969—),博士,硕士生导师.

杨剑男,(1979—),博士,讲师.