

一种基于分割法的无人机路径规划新方法^{*}

单提晓, 蒋 蓁

(上海大学机械工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 为解决无人机快速可靠的路径规划问题, 提出了一种在威胁分布已知条件下的无人机飞行路径规划新方法。在 Matlab 软件平台下, 运用 Voronoi 图法根据已知威胁分布获取无人机的初始安全飞行路径, 然后采用 Dijkstra 算法进行路径搜索获取最短路径, 再利用提出的分割法对最短路径进一步优化并减少其拐点, 最后利用 spcrv 函数对路径进行平滑以获取最优路径, 并通过一系列的仿真证明了该算法可行并具有很好的时间性能。

关键词: 无人机; 路径规划; Voronoi 图; Dijkstra 算法; 分割法

中图分类号: V249.122.3; V279 **文献标志码:** A

A New UAV Path Planning Method Based on Split Method

SHAN Tixiao, JIANG Zhen

(School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In order to solve the UAV path planning problem fast and reliably, a new path planning method based on the known distribution of threats was presented. On Matlab-based software platform, the initial safe path was obtained through Voronoi diagram. Then the Dijkstra algorithm was used to search for the shortest path. The split method proposed was used to reduce the inflection point in the shortest path which was calculated by Dijkstra algorithm. Finally, spcrv function in Matlab was used to smooth the path for optimal path, and the feasibility of the algorithm and excellent time performance was verified via a series of simulation.

Keywords: UAV; path planing; Voronoi diagram; Dijkstra algorithm; split method

0 引言

无人机的路径规划是无人机研究的一个重要领域,其目的是根据任务目标在障碍环境中规划出一条满足约束条件的最优无碰撞飞行轨迹。文中提出的无人机路径规划方法基于 Voronoi 图法和 Dijkstra 算法。Voronoi 图,又叫泰森多边形或 Dirichlet 图,是获取无人机安全飞行路径的一种常用方法,并且在计算机中容易实现,但是通过 Voronoi 图得到的路径往往比较曲折,并不是最优路径,很多情况下还存在多条可选路径。Dijkstra 算法解决的是有向图中单个源点到其他顶点的最短路径问题。结合 Voronoi 图法生成的可选路径,可以大大减少 Dijkstra 算法中需要计算的节点数量,从而提高算法执行效率。

1 问题描述

在无人机的路径规划过程中,存在的威胁主要有

影响飞行安全的雷达、山峰、建筑等。在实际的路径规划中,为了减少计算量,需要对这些威胁进行简化。假设在 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 的飞行区域内分布有 11 个位置已知的敌方探测雷达,雷达的作用方式完全相同且相互独立,每部雷达的探测范围均为半径 1 km。如图 1 所示为雷达分布图,其中圆圈表示每个探测雷达所能探测的最大范围,圆圈中点表示探测雷达所在位置。无人机在某一固定飞行高度相对于雷达做等速规避运动。无人机安全飞行区为图中所示圆圈以外的区域。

图 1 中左下方坐标为(0, 2)的点为无人机飞行路径的起点,右上方坐标为(10, 9)的点为飞行路径的终点。路径规划的目的就是在雷达探测范围以外的区域找到一条连接起点和终点并且满足约束条件、距离最短的路径。

^{*} 收稿日期: 2013-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(61175092)资助

作者简介: 单提晓(1988-),男,山东淄博人,硕士研究生,研究方向: 小型无人机导航及路径规划。

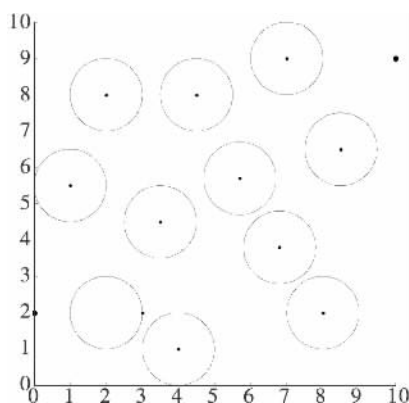


图1 雷达分布图

2 路径规划方法

文中提出的路径规划方法基于 Matlab 软件平台, 首先建立关于飞行区域内雷达点的 Voronoi 图以获取安全飞行路径。利用 Dijkstra 算法结合 Voronoi 图法获得的飞行路径计算出一条可连通并且长度最短的安全路径。若无法获得此路径, 则算法结束。若可得到此路径, 则使用文中提出的分割法对经 Dijkstra 算法得到的路径进行优化得到拐点数量更少的飞行路径。最后使用 spcerv 函数对所得路径进行最终优化得到平滑的最终安全飞行路径。如图 2 所示为文中路径规划算法工作流程图。

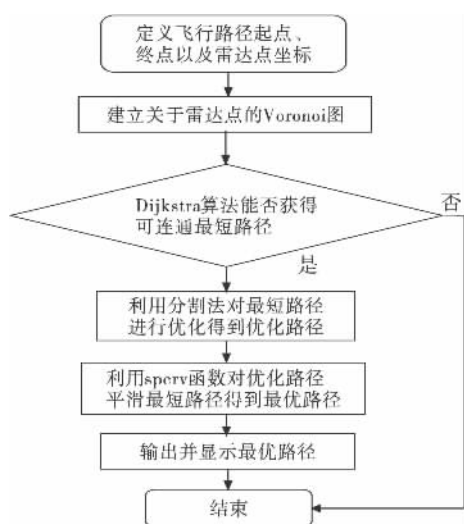


图2 路径规划算法工作流程图

2.1 建立关于雷达点的 Voronoi 图

在 Matlab 中利用 Voronoi 函数可以很方便的生成关于雷达点的 Voronoi 图, 并返回相应节点的坐标位置^[1]。

$$\text{voronoi}(\text{Radar_X}, \text{Radar_Y}) \quad (1)$$

$$[V, C] = \text{voronoin}(\text{Radar_X}, \text{Radar_Y}) \quad (2)$$

其中 voronoi 函数可作出 Voronoi 图, voronoin 函数返

回相应数据; Radar_X 为 11×1 维矩阵, 代表雷达点在该区域中位置的横坐标; Radar_Y 为 11×1 维矩阵, 代表雷达点在该区域中位置的纵坐标; 返回值 V 为 $n \times 2$ 维矩阵, 代表 Voronoi 图垂直平分线交点在图中的坐标位置, n 值由雷达的数量和雷达的位置决定; C 为 11×1 维矩阵, 代表相应雷达点对应的 V 向量中的节点下标。

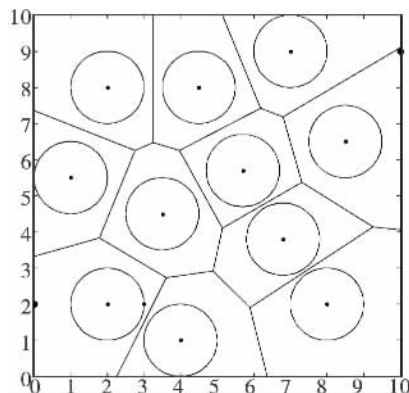


图3 Voronoi 图

图 3 为 voronoi 函数生成的 Voronoi 图, 从图中可以看出每条线段即相邻两个雷达点的垂直平分线。无人机按照此线飞行即可以安全执行飞行任务。因此, 采用 Voronoi 图生成的初始飞行路径就能够很好的回避危险区域, 为之后的进一步路径优化提供了便利^[2]。

2.2 利用 Dijkstra 算法筛选最短路径

要在 Matlab 中实现 Dijkstra 算法需要求得 Voronoi 图中节点对应的距离矩阵 Distance_M^[3]。对于无人机飞行路径的起点、终点与节点的连接方法, 文中选择起点与终点分别和与此两点可连通的距离最近的节点对应的两雷达点的中点连接, 利用式(2)中得到的矩阵 C 可以求得距离矩阵, 如表 1 所示为所得距离矩阵部分数据。表中数值为 inf 表示两点不可连通, 如 Distance_M(1, 3) = inf 表示节点 1 和节点 3 无法连通, 数值不为 inf 表示两点可连通, 如 Distance_M(1, 2) = 2.304 9 表示节点 1 和节点 2 可连通并且其相距 2.304 9 km^[4-5]。

表1 距离矩阵部分数据

Distance_M	1	2	3	4	5
1	0	2.304 9	inf	inf	inf
2	2.304 9	0	inf	inf	0.293 6
3	inf	inf	0	inf	inf
4	inf	inf	inf	0	2.137 8
5	inf	0.293 6	inf	2.137 8	0

利用距离矩阵 Distance_M 并结合 Dijkstra 算法即

可求得基于 Voronoi 图所得节点的最短路径:

$$[\text{distance}, \text{Path}] = \text{dijkstra}(\text{Distance_M})$$

其中: distance 表示返回经 Dijkstra 算法计算得到的最短路径长度; path 为 $1 \times m$ 维矩阵, 表示最短路径从起点到终点的节点下标。所得路径如图 4 粗实线所示。

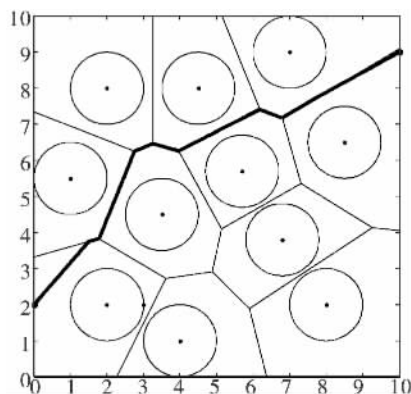


图4 利用 Dijkstra 算法得到的最短路径

2.3 利用分割法优化最短路径

由图 4 可以看出经过 Voronoi 图法和 Dijkstra 算法得到的路径在拐点处的曲率变化非常大, 这就要求无人机在经过每个拐点时都要急剧改变控制角以改变飞行路径, 这对于无人机来说是难以从技术上实现的。

文中提出采用分割法将图 3 中路径的每条线段进行等长分割, 分割段数用 section 表示, 定义 Min_D 为航迹到雷达点的最小距离, 显然有:

$$\text{Min_D} \geq 1$$

依次连接起点与之后的分割点成一条直线, 直到直线(无人机飞行路径)与圆(雷达扫描范围)的最小距离小于 Min_D , 即最短飞行路径所能达到的极限位置。此时记录下上一分割点, 并以此分割点为新的起点依次连接此点以后的分割点。重复以上过程直到最后连接点为终点。如图 5 所示, 图中虚线即 $\text{section} = 50$ 时, 经过分割法得到的无人机飞行路径(考虑到无人机飞行的安全性, 在此取 $\text{Min_D} = 1.2$)。

2.4 平滑优化路径

虽然经过分割法优化后得到的路径拐点减少, 但是仍存在前后曲率变化过大的拐点。采用 B 样条函数对路径进行平滑可以很好的解决所得路径在曲率及保持原路径的一致性之间的矛盾。Matlab 中的 spcrv 函数为生成均匀划分的 B 样条函数, 利用 spcrv 函数对 Dijkstra 算法生成的路径进行均匀划分, 即可得到平滑的飞行路径。如图 6 中曲线所示为经 spcrv 函数计算所得的路径, 不仅能够保证偏离原路径的幅

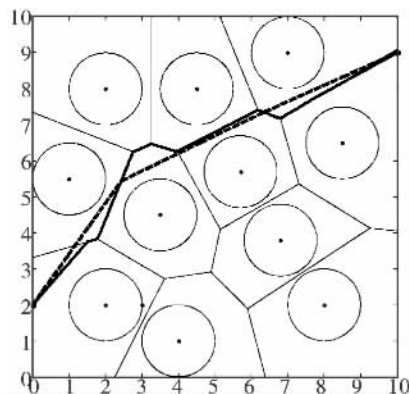


图5 利用分割法得到的优化路径

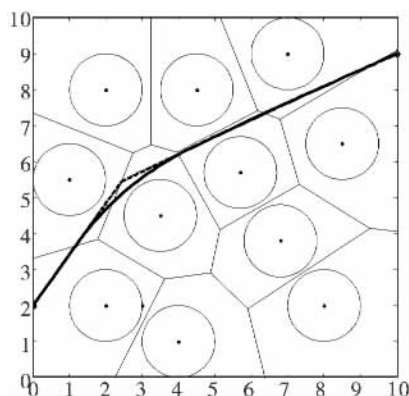


图6 通过 spcrv 函数得到的最优路径度较小, 而且能够满足无人机安全飞行的要求。

3 仿真结果

文中基于 Voronoi 图和 Dijkstra 算法得到无人机飞行的初始路径, 利用分割法对所得路径进行优化以减少拐点, 最后对所得路径进行平滑, 得到满足约束条件的最优飞行路径。

3.1 section 取值对所得路径影响

为了获知采用分割法时 section 的取值对所得无人机路径的影响, 文中分别对 section 不同取值进行仿真实验。如图 7 中 a、b、c、d 依次为 section 取值为 5, 10, 50, 500 时得到的路径。实验结果表明, 当 $\text{section} < 50$ 时, 随着 section 取值的增大, 所得最优路径逐渐趋于平滑, 改变明显。当 $\text{section} \geq 50$ 时, 所得的最优路径的改变不再明显。

图 8 所示为本次仿真 section 不同取值情况下所得路径的总路程, 从图中可以看出, 当 section 取值小于 50 时, 所得最优路径的路程长度优化效果明显; 当 section 取值大于 500 时, 随着 section 的增大并不能明显降低最优路径的路程长度。

3.2 各阶段路程长度对比

如图 9 所示为某次仿真实验 section 取值为 50

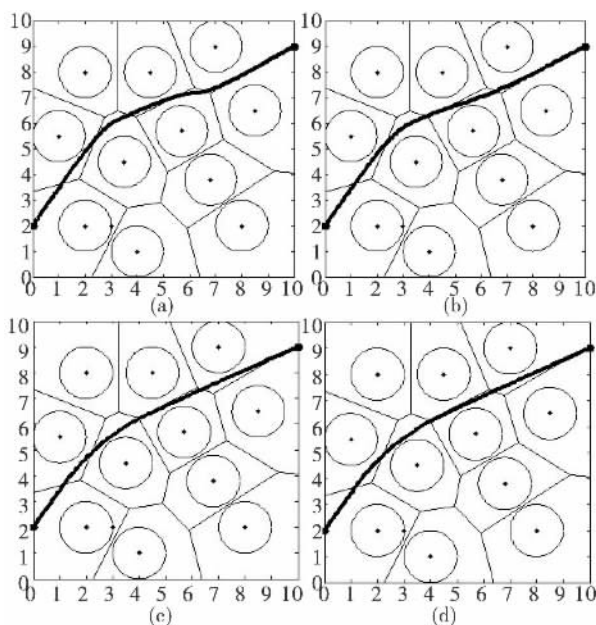


图7 section取值不同时的路径

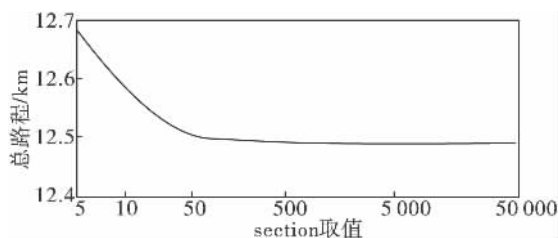


图8 总路程对比

时,所得路径长度依次经 Dijkstra 算法、分割法、spcrv 平滑后所得数据,由图可以看出采用文中提出的分割法对经 Dijkstra 算法得到的路径进行优化,可以有效缩短飞行路径,经 spcrv 函数对路径进行平滑后,可进一步缩短飞行路径。

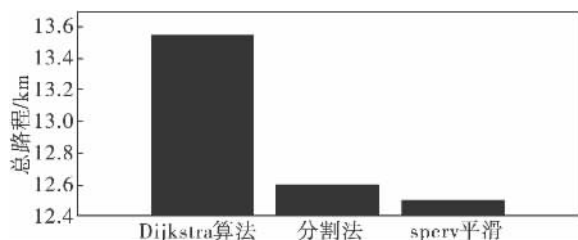


图9 各阶段总路程对比

3.3 计算时间对比

图10所示为 section 依次取值为5,10,50,500,5000,50000时,程序执行所需的时间。为了减少其他随机性因素对程序执行时间的影响,将 section 每种取值的情况都仿真10次并取平均值。从图中可以看出,当 section 取值小于50时,程序执行时间变化不大,均在0.3793 s以内。当 section 取值大于5000时,程序执行时间呈指数式增长。当 section = 50000时,程序执行时间为14.7185 s。

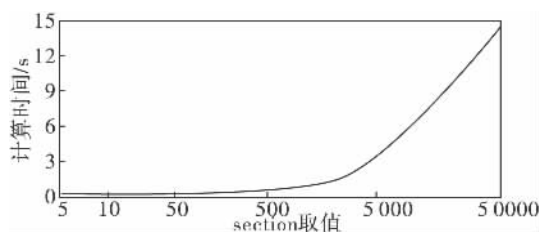


图10 计算时间对比

综合以上实验结果表明,当 section 取值在50左右时,所得最优路径的路程长度就可达到满意效果,并且计算所需时间非常短。在实际应用中,可根据需要在50左右对 section 取值。

4 结论

为解决无人机路径规划问题,文中在 Matlab 软件平台下,基于 Voronoi 图并结合 Dijkstra 算法得到初始飞行路径。利用文中提出的分割法对初始飞行路径进行优化可进一步减少初始路径中的拐点并缩短路径路程,最后利用 spcrv 函数对路径进行平滑得到能够满足无人机安全飞行要求的最优路径。仿真结果证明了文中算法的可行性,并且验证了其时间性能。在下一步的工作中,仍需对获取最优路径的算法做进一步的改良。

参考文献:

- [1] 张志涌. Matlab 教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [2] 许松清,吴海彬,林宜,等.基于 Voronoi 图法的移动机器人路径规划[J].中国工程机械学报,2005,3(3):336-340.
- [3] 陈理荣.数学建模导论[M].北京:北京邮电学院出版社,1999.
- [4] DongKai Fan, Ping Shi. Improvement of Dijkstra's algorithm and its application in route planning[C]//2010 Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery Vol.4, 2010, 4:1901-1904.
- [5] Yin Chao, Wang Hongxia. Developed Dijkstra shortest path search algorithm and simulation [C]//2010 International Conference on Computer Design and Applications Vol.1, 2010: 116-119.