



1. 一种无人机航迹生成方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1、进行飞行环境和无人机动力学约束建模;

步骤2、利用航迹算法生成初始航迹

步骤3、对生成的航迹进行删减处理,减少节点数量,缩短路径长度;

步骤4、结合无人机转弯半径动力学约束条件,对处理后的航迹进行平滑处理:

S1、设未考虑无人机飞行约束条件,A为起始点,C为目标点,无人机飞行路径为直线段 $\overline{AB}$ 、 $\overline{BC}$ ;

S2、考虑转弯半径动力学约束条件,令 $r$ 为无人机转弯半径, $O$ 为无人机转弯中心,圆弧 $\widehat{DE}$ 为转弯飞行段,无人机由D点进入转弯状态后在E点出转弯状态进入EC直线飞行段,即新路径为直线段 $\overline{AD}$ 、圆弧 $\widehat{DE}$ 、直线段 $\overline{EC}$ ;

S3、计算得出圆弧过渡时D、E坐标,由此基于航路点信息和转弯圆心、转弯半径对无人机进行导航,使得无人机实际飞行路径和导航航迹重合;

步骤5、如果平滑后的航迹超出无人机航程约束,则重复步骤2~步骤4,直至满足无人机总航程约束为止。

2. 根据如权利要求1所述的一种无人机航迹生成方法,其特征在于,所述步骤2中的航迹算法为RRT算法。

3. 根据如权利要求1所述的一种无人机航迹生成方法,其特征在于,包括如下步骤:

所述步骤3对生成的航迹进行删减处理有两种选择:可以从目标点开始,也可以从起始点开始。

## 一种无人机航迹生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无人机技术领域,具体涉及无人机航迹规划技术。

### 技术背景

[0002] 随着航空技术和电子技术的发展,无人机因其成本低、易控制等优势,广泛应用于军事与民用领域,诸如敌情侦察、协同打击、地形勘探、地理测绘、线路巡检等。中小型无人机执行任务复杂多样,使用环境复杂,对生存能力要求较高,无人机航迹规划就是在综合考虑无人机到达时间、油耗、威胁以及飞行区域等因素的前提下,为无人机规划出最优或满意的飞行航迹,以保证圆满地完成飞行任务,无人机航迹规划方法是无人机自主飞行的核心技术,近年来也得到了广泛关注。无论是在军事还是民用领域,好的航迹规划系统都是提高无人机安全性能,保证无人机出色完成任务的重要手段。

[0003] 无人机航迹规划的本质是路径规划,即寻找适当的策略构成连接起点到终点位置的由序列点或曲线组成的路径,因此用于航迹规划的算法实际上也就是路径规划算法。常用于航迹规划的航迹生成算法有深度优先与广度优先、Dijkstra算法、A\*算法、D\*算法、快速扩展随机树(Rapidly-Exploring Random Tree:RRT)、人工势场法(APF:Artificial Potential Field)、Voronoi图法等,采用的优化搜索算法有遗传算法(Genetic Algorithm:GA)、进化算法、蚁群算法等。这些方法各有优缺点,采用优化搜索算法能得到性能较优的航迹,如总里程最短,但是航迹生成耗费时间相对较长,采用Dijkstra算法、D\*算法等进行航迹生成耗时较短,航迹为可行航迹,但一般长度较长,性能不占优势,人工势场法利用PH曲线来产生航迹,路径曲率连续,但在相同的曲率约束下路程更长,飞行时间更长。

### 发明内容

[0004] 本发明的主要目的是解决现有技术中无人机航迹规划时效率不佳的技术问题。

[0005] 为了解决上述技术问题,提出如下的技术方案:

[0006] 本发明提供一种无人机航迹生成方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤1、进行飞行环境和无人机动力学约束建模;

[0008] 步骤2、利用航迹算法生成初始航迹;

[0009] 进一步的,可以利用RRT算法生成初始航迹;

[0010] 步骤3、对生成的航迹进行删减处理,减少节点数量,缩短路径长度;

[0011] 进一步的,对生成的航迹进行删减处理有两种选择:可以从目标点开始,也可以从起始点开始;

[0012] 步骤4、结合无人机转弯半径动力学约束条件,对处理后的航迹进行平滑处理:

[0013] S1、设未考虑无人机飞行约束条件,A为起始点,C为目标点,无人机飞行路径为直线段 $\overline{AB}$ 、 $\overline{BC}$ ;

[0014] S2、考虑转弯半径动力学约束条件,令r为无人机转弯半径,O为无人机转弯中心,

圆弧 $\widehat{DE}$ 为转弯飞行段,无人机由D点进入转弯状态后在E点出转弯状态进入EC直线飞行段,即新路径为直线段 $\overline{AD}$ 、圆弧 $\widehat{DE}$ 、直线段 $\overline{EC}$ ;

[0015] S3、计算得出圆弧过渡时D、E坐标,由此基于航路点信息和转弯圆心、转弯半径对无人机进行导航,使得无人机实际飞行路径和导航航迹重合;

[0016] 步骤5、如果平滑后的航迹超出无人机航程约束,则重复步骤2~步骤4,直至满足无人机总航程约束为止。

[0017] 本发明的有效收益如下:

[0018] 1、本发明针对复杂战场环境下对航迹规划的快速、实用性的需求,提出了一种高效且能够满足无人机性能约束的工程化航迹生成方法;

[0019] 2、为了使现有路径生成算法生成路径满足无人机实际需求,本方法引入节点删减、转弯平滑等操作,使生成的航迹能够满足无人机的转弯半径约束和连续飞行的要求,使航迹得到优化,这种方法结合无人机飞行环境、无人机初末位置,能加快无人机航迹规划算法速度、保证生成航迹即为满足无人机给定约束的可行航迹,同时生成的航迹光滑连续,可延长无人机滞空时间,有效提高无人机执行任务的能力,在无人机航迹规划中具有广泛的应用前景。

## 附图说明

[0020] 图1为本发明无人机航迹搜索环境栅格化建模示意图;

[0021] 图2为本发明无人机最大转弯角约束示意图;

[0022] 图3为本发明考虑转弯角约束生成初始航迹示意图;

[0023] 图4为本发明从目标点开始对生成航迹进行裁剪示意图;

[0024] 图5为本发明从目标点开始对航迹进行删减后得到的航迹示意图;

[0025] 图6为本发明从初始点开始对航迹进行删减后得到的航迹示意图;

[0026] 图7为本发明航路点A、B、C位置示意图;

[0027] 图8为本发明圆弧过渡时各点位置示意图;

[0028] 图9为本发明对如图5所示航迹平滑处理之后的航迹示意图;

[0029] 图10为对本发明如图6所示航迹平滑处理之后的航迹示意图。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合实例、附图对本发明进行详细的阐述。

[0031] 实现本发明所提出的无人机航迹规划总体流程是:

[0032] 步骤一:飞行环境和无人机动力学约束建模

[0033] 飞行环境模型包括自然环境建模和威胁区建模,自然环境建模主要是地形起伏的威胁,如高山,威胁区主要考虑无人机飞行程中的禁飞区等。本方法假设无人机进行等高飞行,在二维水平面内进行环境建模,将设定的飞行高度上对无人机飞行有可能造成威胁的山峰和高地向水平面上进行投影形成自然环境模型。

[0034] 飞行环境模型确定后,对地图进行栅格分区处理,为后续寻找附近节点做准备,栅格化处理时其网格步长需考虑无人机飞行速度、禁飞区特征长度等因素,同时还需兼顾离

散后搜索空间大小等因素。如图1即为对地图的处理结果，黑色部分即为需考虑的禁飞区和高山、高地等的约束。

[0035] 生成无人机可行航迹，需考虑的无人机动力学约束主要有：

[0036] 转弯半径约束： $r \geq R_{\min}$ 。不同的无人机其转弯半径不同，航迹生成时，所考虑转弯半径为其最小转弯半径，小于该值时，生成的航迹不可行。

[0037] 转弯角度约束： $\phi \leq \phi_{\max}$ 。生成的航迹只能在小于或等于无人机机动性能约束的最大转弯角范围内转弯，否则该航迹不可行。

[0038] 航程约束： $L_{\text{path}} \leq L_{\max}$ ，即生成的航迹长度必须在无人机最大航程范围内，否则超出无人机性能范围，该航迹不可行。

[0039] 步骤二：利用航迹生成算法生成初始航迹

[0040] 本发明中可通过查阅文献了解该方法的详细步骤（如博士学位论文：基于智能优化与RRT算法的无人机任务规划方法研究，李猛，南京航空航天大学，2012）。

[0041] 当然使用A\*算法、D\*算法或其他的航迹生成方法亦在本发明的保护范围之内。

[0042] 本步骤中，基于无人机飞行速度V（单位为米/秒）、无人机最小转弯半径R（单位为米）、禁飞区长度尺度L（单位为米）设置算法搜索步长（取 $\min(V, R, L)$ ），假设无人机飞行速度为30米/秒，无人机最小转弯半径为80米，需要考虑禁飞区的最小半径为50米，由于设置搜索步长为30米。本步骤考虑中无人机转弯角度约束，如图2所示，假定当前节点为 $p_i$ ，前一节点为 $p_{i-1}$ ，搜索的新的子节点为 $p_{i+1}$ ，则

$$[0043] \quad \arccos \frac{(p_i - p_{i-1})(p_{i+1} - p_i)}{|p_i - p_{i-1}| |p_{i+1} - p_i|} \leq \phi_{\max} \quad (1)$$

[0044] 步骤三：对生成的航迹进行处理，减少节点数量，缩短路径长度；

[0045] 对于图3所示的生成路径，从目标点O开始进行节点裁剪，如图4所示，由于线段 $OA_6$ 和障碍有交点，因此目标点的前一航路点为 $A_5$ ，中间节点 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 两节点被丢弃。

[0046] 从 $A_5$ 开始，对剩下的节点依次进行判断，最终得到的航迹如图5中实线所示所示。

[0047] 需要说明的是，对航迹进行删减时，有两种选择：可以从目标点开始，也可以从起始点开始，二者得到的航迹不同，但均为可行航迹，针对本实例，从起始点开始进行删减得到的航迹如图6所示。

[0048] 步骤四：考虑无人机转弯半径动力学约束，对处理后的航迹进行光滑处理。

[0049] 在用航迹算法生成初始航迹路径时，未考虑无人机飞行时的约束条件，如有限曲率或转弯半径，生成的是线段，如图7所示直线段 $\overline{AB}$ 、 $\overline{BC}$ 为生成的路径，对于固定翼无人机而言，在B点转弯处直接转弯不符合实际情况，如果以此作为航路点输入给无人机，则其实际飞行航迹肯定和规划航迹有区别。令 $\overline{BA} = \vec{r}_1 = (r_{1x}, r_{1y})$ ， $\overline{BC} = \vec{r}_2 = (r_{2x}, r_{2y})$ ，

$$\angle ABC = \theta, \text{ 则 } \theta = \arccos \left( \frac{\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2}{|\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2|} \right),$$

[0050] 本发明给出的解决思路如下：令r为无人机转弯半径，由无人机本身性能决定，O为无人机转弯中心， $\widehat{DE}$ 为转弯飞行段，无人机在D点进入转弯状态，在E点出转弯状态进入EC直线飞行段，即新路径为直线段 $\overline{AD}$ 、圆弧 $\widehat{DE}$ 、直线段 $\overline{EC}$ ，如图8所示，下面给出求D、E坐标

的方法。

$$[0051] \quad \text{则 } OB = r / \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2)$$

$$[0052] \quad |BD| = |BE| = r / \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

$$[0053] \quad |BC| = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2} \quad (4)$$

$$[0054] \quad |BA| = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (5)$$

$$[0055] \quad x_d = x_b + \frac{|BD|}{|BA|}(x_a - x_b) \quad (6)$$

$$[0056] \quad y_d = y_b + \frac{|BD|}{|BA|}(y_a - y_b) \quad (7)$$

$$[0057] \quad x_e = x_b + \frac{|BE|}{|BC|}(x_c - x_b) \quad (8)$$

$$[0058] \quad y_e = y_b + \frac{|BE|}{|BC|}(y_c - y_b) \quad (9)$$

[0059] 针对图5所示生成路径,考虑转弯半径之后平滑得到的新路径如图9所示,针对图6所示路径,考虑转弯半径之后平滑得到的路径如图10所示,图中标出了各转弯时的圆心和转弯起始点、出转弯状态点,基于航路点信息和转弯圆心、转弯半径对无人机进行导航,可以使得无人机实际飞行路径和导航航迹重合。

[0060] 第五步:如果平滑后的航迹超出无人机航程约束,则重复步骤2~步骤4,直至满足无人机总航程约束为止。

[0061] 表1给出了分别从初始点和目标点进行删减平滑处理后航迹长度和航路点数对比,可以看出,节点删减之后其长度得到一定程度的降低,航路点数目下降幅度非常明显,从34个航路点分别降至4个和5个航路点,考虑无人机转弯约束之后,其航路点数目相比删减后有所增加,但是其较平滑,基于航路点信息和转弯参数对无人机进行导航,得到的飞行路径和规划路径一致性非常好。

[0062] 表1删减平滑处理后航迹长度和航路点数对比

	原始长度 (米)	原始航 路点数	删减后长 度(米)	删减后 航路点 数	平滑后长 度(米)	平滑后航 路点数
[0063] 从起点 开始	1354.3	34	1136.4	4	861.6	6
从目标 点开始	1354.3	34	1124.4	5	1077.7	8

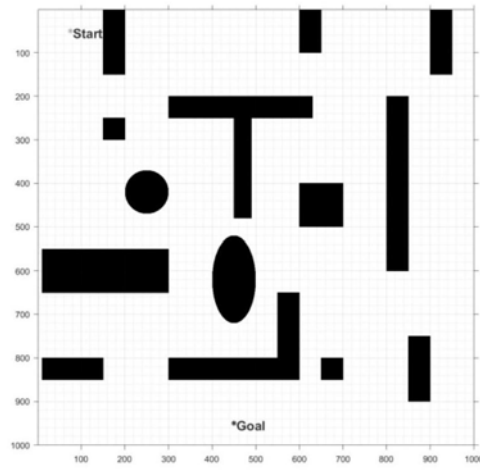


图1

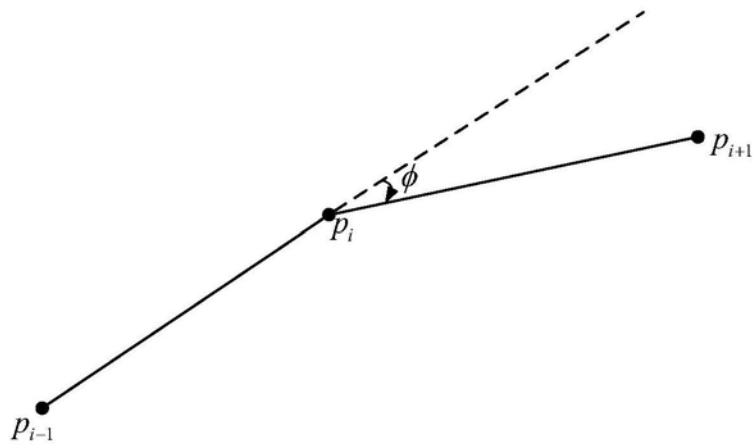


图2

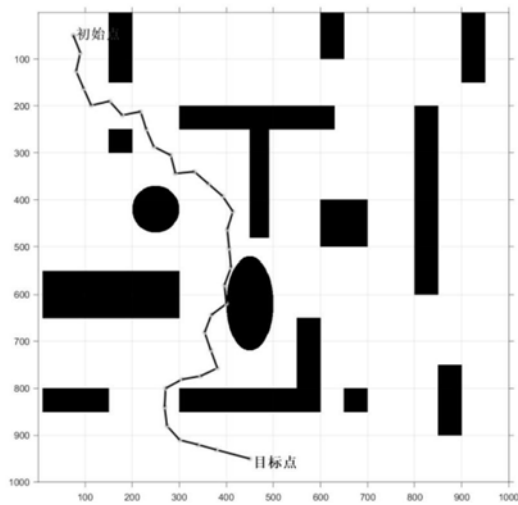


图3



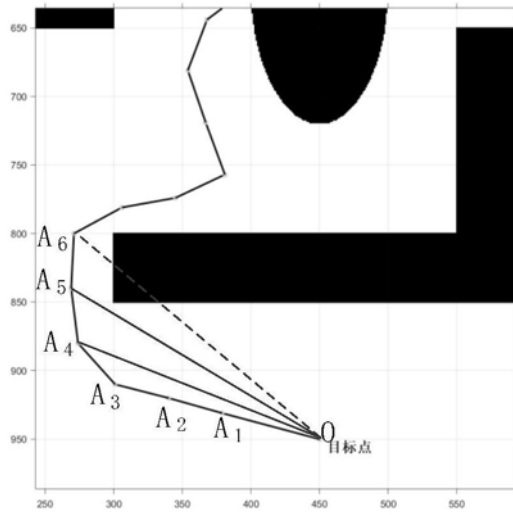


图4

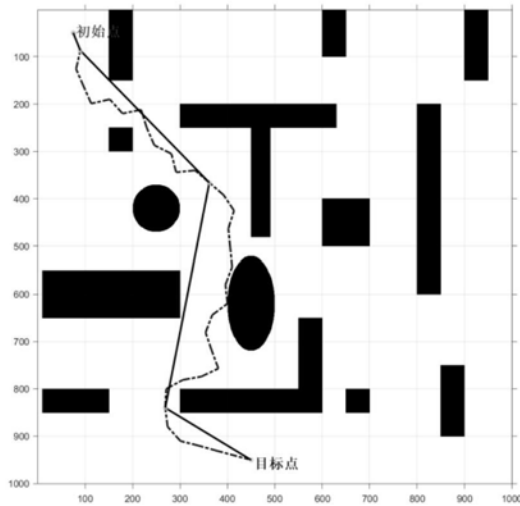


图5

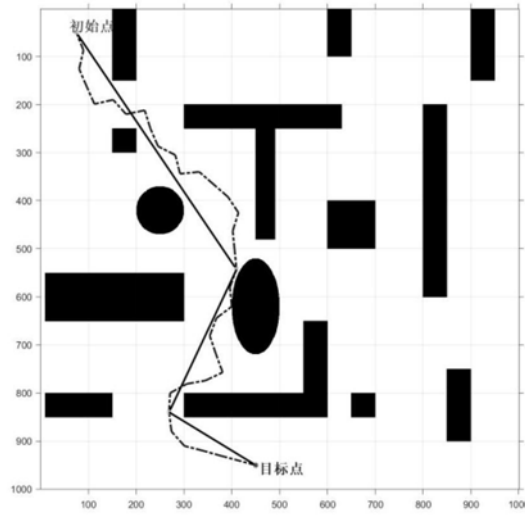


图6

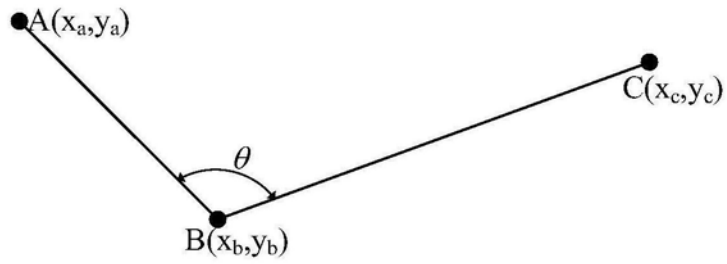


图7

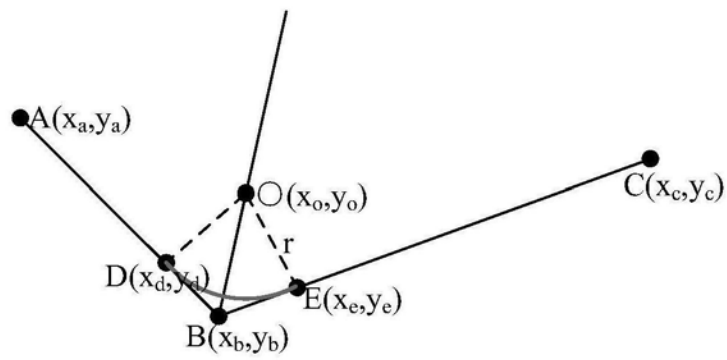


图8

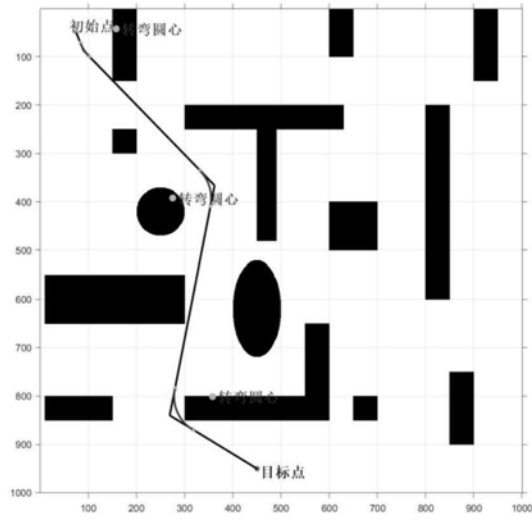


图9

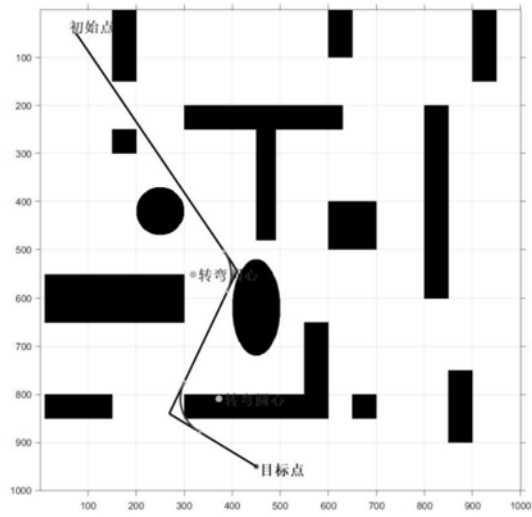


图10