

由于无人机作战区域广阔, 导致进行航迹规划时搜索空间巨大, 通常的搜索算法需要较长的收敛时间和极大的内存空间。文章论述了无人机航迹规划时应考虑飞机最小转弯半径的约束, 以及飞机的出发角度、目标点进入角度的要求, 采用了 Dijkstra 算法进行航迹规划, 仿真结果验证了该算法的有效性和实用性。

基于 Dijkstra 算法的无人机航迹规划应用研究

文 | 郭国林

航迹规划是指在特定的约束条件下, 寻找运动体从初始点到目标点满足某种性能指标的最优运动轨迹。在防空技术日益完善的现代战争中, 航迹规划是实现作战飞机侦查、突防攻击的关键技术, 对于提高作战飞机的生存率和任务成功率至关重要。但是航迹规划需要综合考虑飞行器机动性能、突防概率、碰地概率和时间约束等因素, 它涉及多个学科和专业是综合性的、难度很大的研究课题。一般说来作战飞机面临的战场环境异常复杂辽阔, 这就导致规划区域广阔, 形成一个巨大的搜索空间, 通常的搜索算法要获得一条最优的航迹需要很长的收敛时间和极大的内存空间, 很难投入实时应用。

一、基于 Dijkstra 算法的航迹规划

(一) Dijkstra 算法

Dijkstra算法是解决图论中最短航迹的经典方法。该算法不仅能求出从起点到终点的最短路, 还能求出起点到其它各中间点的最短路。其算法思路是按航迹长度递增次序产生从某源点到图中各顶点的最短航迹。算法总的时间复杂度为 $O(n^2)$ 。在算法中, 我们考虑了飞机最小转弯半径的约束, 以及飞机的出发角度、目标点进入角度的要求。

飞机最小转弯半径为 r , 则针对本航迹规划的具体算法为:

第一, 建立简化模型图。将威胁源、障碍物用正方形来表示其位置和威胁范围, 如图1所示:

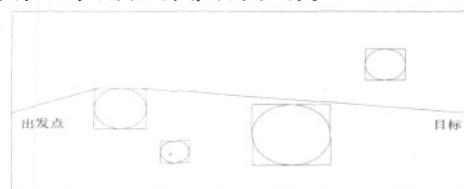


图1 初规划航迹

第二, 对简化模型图进行必要处理。方法是将模型中各个威胁源的作用半径与 r 作比较。如果威胁源的作用半

径小于 r , 则将其按半径 r 进行处理, 以保证初规划轨迹经过平滑后, 满足飞机的最小飞行半径约束。

第三, 针对给定出发角度与进入角度的处理。对于给定出发角度约束, 可采用添加辅助向导点的办法来解决。如图2 (a) 所示。其中 S 点为出发点, α 为给定出发角, r 为飞机最小转弯半径。添加一个辅助矩形 $BCDE$ 。 SA 垂直于 BE , SA 长度为 r , $AB=AE=2r$ 。仅 $S \rightarrow A$ 、 $A \rightarrow B$ 、 $A \rightarrow E$ 、 $B \rightarrow C$ 、 $C \rightarrow D$ 、 $D \rightarrow E$ 连通。在如图情况中, 求一条从 S 点 G 点的轨迹, 可以通过 $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow G$ 这几个点的连线得到。该初规划轨迹可以同时满足给定出发角约束与最小转弯半径约束。同理, 对于给定进入角度约束, 也采用同样的处理方法。如图2 (b)。其中 G 为目标点, 要求进入角度为 β , 从点 P 到点 G 的轨迹为 $P \rightarrow M \rightarrow G$ 。

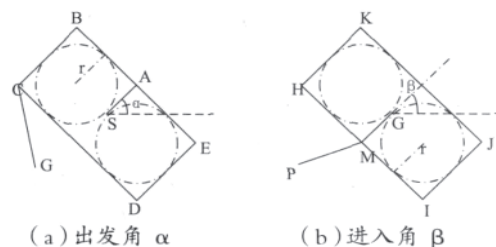


图2 针对给定出发角度与进入角度的处理方法

第四, 将图中起始点、终止点和所有正方形顶点的结构信息转化为邻接矩阵 A 进行存储。邻接矩阵是如下的一个 n 阶方阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{00} & \dots & a_{0j} & \dots & a_{0(n-1)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i0} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{i(n-1)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{(n-1)0} & \dots & a_{(n-1)j} & \dots & a_{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix}$$

其中 $(0 \leq i, j \leq n-1)$

$$a_{ij} = \begin{cases} l & \text{当 } i, j \text{ 两点连线不穿过任何威胁源时} \\ \infty & \text{当 } i, j \text{ 两点连线穿过任一威胁源时} \\ 0 & \text{若 } i = j; \end{cases}$$

其中 l 为 i, j 之间的直线距离。

第五, 用Dijkstra算法对邻接矩阵进行计算, 求出从起始点到目标点之间的最短航迹。

(二) Dijkstra 算法实现

设置一个一维数组 $s(n)$ 用以标记那些已经找到最短航迹的顶点, 有

$$s(i) = \begin{cases} 1 & \text{找到最短路径} \\ 0 & \text{未找到最短路径} \end{cases}$$

初始时, 标记源点 v 已在集合 s 中, $s(v) = 1$, $s(i) = 0$ ($1 \leq i \leq n$, 但 $i \neq v$)。当找到源点 v 到顶点 i 的最短航迹时将 $s(i)$ 置为 1。算法中还设置了一个辅助数组 $dist(n)$ 用来记录源点 v 到各顶点的最短航迹, 初始时, $dist(n)$ 的值为邻接矩阵 A 中第 v 行元素的值。算法中还设置了一个一维数组 $path(n)$, 其每一个元素均为顶点的集合, $path(i)$ 为源点到顶点 i 的最短航迹上的顶点集合。初始时令 $path(i) = v$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 即各条航迹上顶点的集合中只有源点 v 。

算法中反复利用数组 $dist(n)$ 与数组 $s(n)$, 在所有尚未找到最短航迹的顶点 w 中选择一个顶点 u , 使得

$$dist(u) = \min_{s(w)=0} \{dist(w)\}$$

u 是当前求得的最短航迹的一个终点, 并令 $s(u) = 1$ 以标记顶点 u 加入集合 s 。然后令 $path(u) \leftarrow path(u)$ 。最后根据所加入 s 的顶点 u , 修改源点到所有尚未找到最短航迹的顶点距离, 即:

若 $dist(u) + a_{uw} = dist(w)$, 则修改 $dist(w)$, 使

$$dist(w) = dist(u) + a_{uw}$$

将从源点到顶点 w 的航迹换成由源点经顶点 u 到顶点 w 的航迹, 即 $path(w) \leftarrow path(u)$ 。

重复上述操作过程 $n-1$ 次, 即可按航迹长度递增的顺序求得源点 v 到网中其它各顶点的最短航迹。

将最短航迹中的各定点用直线连接起来, 得到初规划结果。

(三) 对初规划航迹进行平滑处理

采用切线法对初优化航迹进行平滑, 生成真正的可飞航迹。

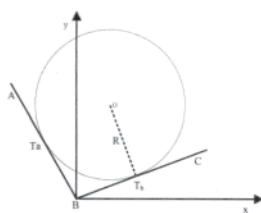


图 3 切线平滑图

用半径为 R (飞机最小转弯半径) 的相切圆弧将初航迹规划中的折线段连接起来。如图 3 所示。飞机的最小转弯半径决定了半径 R , 圆心点用 O 表示。A、B、C 是初规划中的 3 个节点。三角形 ABC 的三个顶角对应边分别表示为

a、b、c。以点 B 为原点, 建立向右为 x 轴的坐标系。计算出切线点 Ta 、 Tb 的坐标, 并用圆弧将折线连接起来, 实现了对折线 ABC 的平滑。

平滑后的规划航迹, 如图 4 所示:

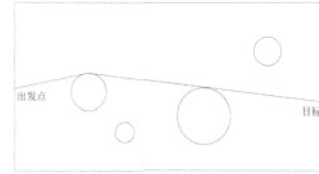


图 4 平滑后的航迹

二、仿真结果

将不同类型的威胁源或障碍物以不同的形状来表示, 用其大小来表示其威胁范围。设置出发角为 45° , 进入角为 60° , 飞机最小转弯半径为 5 公里。仿真结果如图 5、图 6 所示:

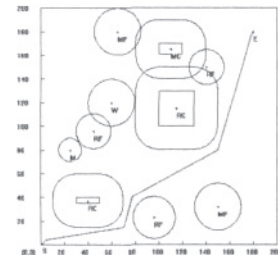


图 5 初规划飞行轨迹

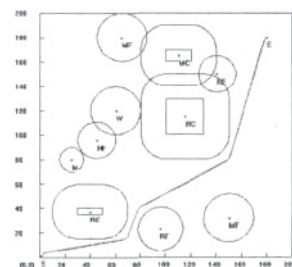


图 6 平滑后的飞行轨迹

采用 Dijkstra 算法的预规划算法在计算机仿真计算中获得了很好的效果。其规划航迹距离较短, 计算时间快 (20 个威胁源的情况下, 规划时间仅为 0.031 秒)。由于其规划时间短、规划航迹的效果好, 因此, 进行在线重规划时, 可先采用该算法进行一次预规划, 如果得到的规划距离小于当前给定的最大飞行距离, 则可直接利用该算法得到的航迹作为重规划的飞行航迹。如果规划距离超过了当前给定的最大飞行距离, 则选择在线规划算法来进行规划, 选择威胁程度较小的航迹对威胁源进行穿透。

三、结语

本文采用 Dijkstra 算法进行无人机航迹规划仿真, 航迹满足飞机出发角度、进入角度约束; 算法运行时间快, 仿真结果比较理想。此算法时间仅与威胁源的数目和位置

由于钻孔灌注桩基础具有施工比较简单、工期相对节省、造价相对较低、无环境污染等特点,已被广泛运用于基坑工程、水利、桥梁工程的基础之中。文章结合工程实践介绍了钻孔灌注桩成孔后孔径、倾斜度的简易检测方法。

钻孔灌注桩孔径倾斜度简易测法

文 | 杨兴奋

一、概述

钻孔灌注桩基础在我国应用已有40多年的历史,由于其施工比较简单、工期相对节省、造价相对较低、无环境污染等特点已被广泛运用于基坑工程、水利、桥梁工程的基础之中。钻孔灌注桩作为一种基础形式,是一个非常重要分项工程,工序质量及成孔的检测也是工程质量检测中的一个重点。各部门在施工及检测过程中,不断地总结经验,已形成了一套成熟有效的施工工艺及检测手段。

近年来,笔者先后完成大孔径钻孔灌注桩五百余棵,在孔径及倾斜度测量上,为便于工程施工操作,又满足规范要求,笔者在实践中总结了钻孔灌注桩孔径倾斜度简易检测方法,供商榷。

《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1-2004)第8.5.2钻孔灌注桩基本要求第2条:钻孔灌注桩成孔后必须清孔,测量孔径、孔深、孔位和沉淀厚度,确认满足设计和施工技术规范后,方可灌注水下混凝土。

钻孔灌注桩实测项目见表1。

以上指标检查时,混凝土强度通过留存的试块或钻芯法检测;孔位通过测量定位测得;孔深、沉淀厚度可直接利用测绳及测锤测得;清孔后灌前泥浆指标通过泥浆比重仪测定。以上指标测定简单易行。对于孔径、钻孔倾斜度测定难度较大,而且钻孔灌注桩施工连续性很强,要求成孔后快速完成水下混凝土的浇注以防止坍孔等事故发生。

因此对成孔孔径、倾斜度指标检测方法选择,成为影响水泥混凝土浇注关键步骤。目前已利用一种先进测壁仪测定成孔质量,但一般施工单位不具备该检测手段。因此有必要采用一种简单易行且适用的检测手段来完成成孔检测,以保证钻孔灌注桩的连续浇注。

二、检测工具

检孔器形似小型钢筋笼(图1-a),高3.0m,外径D按设计的孔径大小而定,如表2。检孔器的制作采用粗钢筋($\Phi 28$ 、 $\Phi 32$),要求检孔器外形尺寸必须规则,具备一定刚度,防止在使用过程中发生变形;同时减少周壁突出,防止在检孔过程中造成对孔壁的破坏。

三、孔径、倾斜度的检测方法

(一) 孔径检测

钻孔成孔后,当孔深、清孔泥浆指标合格后,利用钻孔三角架或吊车、龙门架等设备将检孔器放入孔内,如图(1-b)所示在护筒顶放样十字线(AB、CD),通过吊绳进行检孔器对中。检孔器对中后,上吊点(钻孔三角架或吊车、龙门架下落钢丝绳点)应固定位置且在检孔过程中不得移位,否则应重新对中。检孔器在孔内靠自重下落,不得借助其他外力。如果检孔器能在自重作用下顺利下至孔底(检孔器可系上测绳),则表明孔径能满足设计桩径

有关,与规划的空域范围无关,可以用于大空域情况下的预规划。规划航迹是完全回避的规划,适用于完全回避的地面预规划,以及机载重规划的预判断,并不适用于威胁突防情况。②

参考文献

- [1] Fashlstron P G 著,吴汉平译. 无人机系统导论 [M]. 北京: 电子工业出版社,2003.
- [2] 唐强,张翔伦,左玲. 无人机航迹规划算法的初步研究 [J]. 航空计算技术,2003,33 (1).

- [3] 王健. 多架UCAV攻击多目标的协同航迹规划算法研究 [D]. 西北工业大学硕士论文,2004.
- [4] 孙彪,朱凡. 基于改进型Dijkstra算法的航迹规划 [J]. 弹道与制导学报,2007,(4).
- [5] 张同法,于雷,刘文杰,等. 基于Dijkstra算法的巡航导弹航迹规划方法研究 [J]. 弹道与制导学报,2008,(4).

作者简介:郭国林(1987-),男,江西人,电子科技大学空天科学技术研究院硕士研究生,研究方向:飞行器仿真。

(责任编辑:赵秀娟)