

# 基于 Voronoi 图的 UAV 攻击多移动目标的路径规划算法研究

陈香敏, 吴莹

(沈阳科技学院 辽宁 沈阳 110167)

摘要: 文章针对动态环境下的单个无人机进行攻打多个移动目标的路径规划问题提出了一种基于 Voronoi 图的算法。Voronoi 图首先被用来建立静态的威胁场,同时确定并且计算路径规划的威胁总代价。接着通过分析威胁场的分布对于 dijkstra 算法进行了改进和优化,针对 Voronoi 图之外的路径点生成局部路径,而针对 Voronoi 图内的路径点则采用 Dijkstra 算法沿 Voronoi 图的边缘进行向移动目标的循迹,最后在 matlab 平台上对于文章提出的路径规划方法进行了仿真分析,仿真结果验证了文章所提算法的有效性及其鲁棒性。

关键词: 无人机; Voronoi 图; 人工势场法; dijkstra 算法; 多个移动目标

中图分类号: V279

文献标识码: A

文章编号: 1673-1131(2019)06-0036-02

## 0 引言

目前,国内外关于无人机对固定目标的路径规划方法的研究已经取得了一定的研究成果,而关于移动目标的研究尚处于探索阶段。本文通过研究大量的无人机航迹规划实验数据提出了一种针对单个无人机追踪并攻击多个移动目标的动态路径规划方法。该方法的原理是根据事先已经知道的威胁分布概况,从而构造出来威胁分布的 Voronoi 图,利用改进的 Dijkstra 算法,从而生成最短路径,进一步寻找无人机可飞的最优路径,并在环境信息与目标位置信息发生变化时,快速做出反应,局部修改航迹路线,圆满完成无人飞行器对多个移动目标的侦察与打击任务。仿真结果表明该算法能够十分有效的打击多移动目标,缩小搜索空间,缩短规划时间,从而提高寻优能力,是解决无人机攻击多移动目标问题的较优算法。

## 1 建立威胁场的 Voronoi 图

Voronoi 图就是将平面上任意给定的  $n$  个点  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  (称为母点)相邻的若干个母点进行令其连接成  $m$  个三角形,之后对于这些个三角形进行垂直平分线操作,则这些垂直平分线便会形成了若干个多边形,由若干个这样的 Voronoi 多边形构成的图被称之为 Voronoi 图(如图 1 所示)。无人机飞行区域中的威胁点可以表示为雷达威胁和地面导弹威胁,威胁点之间没有可以改变探测性能的信息交流。假如我们把威胁点当成母点,那么其相对应的 Voronoi 图的边就是威胁点所对应的中垂线,因此如果无人机按照 Voronoi 多边形的边缘进行循迹,则无人机所遭受到的距离最近的两个威胁点的值是最小的,显然,此时无人机的安全性最优。

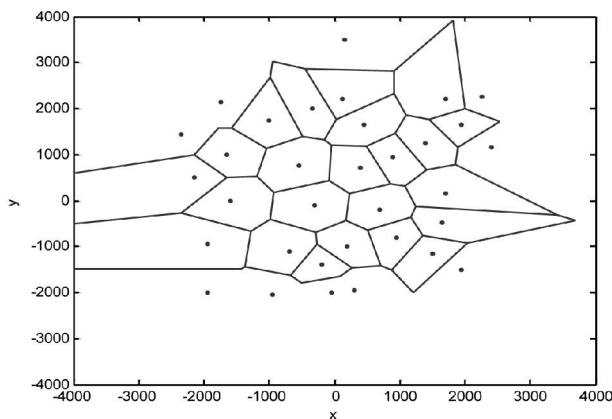


图 1 威胁场的 Voronoi 图

## 2 基于 Voronoi 图的无人机攻击多移动目标的路径规划方法

### 2.1 航迹性能指标分析

当无人机沿着 Voronoi 图的边缘飞行时,需要定义评估函数以估计每条边的代价成本,以找到最优路径。在本文中主要考虑两方面的代价:一个是无人机的燃油代价,另一个是威胁代价。一方面如果我们假设无人机飞行器按照恒定的航速飞行的化则可以认定燃料消耗与路径的长度成正相关关系,表示为  $J_{fuel,i} = L_i$ ,  $L_i$  代表第  $i$  条边的长度。另一方面,如果无人机起飞后并保持一定的飞行高度进入巡航阶段,那么在该阶段无人机所受到威胁因素包括很多方面,如敌方的地空导弹、雷达、气候条件及地形威胁等。为了便于问题的研究,本文只考虑雷达与地空导弹两方面的威胁。

#### 2.1.1 雷达威胁代价计算

通过实验研究雷达威胁反射回来的强度与无人机相对雷达的距离值的 4 次方成反比关系,则无人机在 Voronoi 图边缘巡迹时所受到的威胁代价可以等价于雷达威胁在该边上的积分值。为了简化计算,可以离散的计算每一条 Voronoi 边。分别取 Voronoi 多边形的每条边的  $1/6, 1/2$  和  $5/6$  的点到每一个雷达威胁点的距离来进行威胁代价值的计算。则对于第  $i$  条边,雷达威胁代价可以表示如下:

$$J_{radarThreaten} = L_i \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{d_{1/6,j}^4} + \frac{1}{d_{1/2,j}^4} + \frac{1}{d_{5/6,j}^4} \right) \quad (1)$$

式中:  $N$  代表威胁场中雷达的个数,  $L_i$  代表 Voronoi 图第  $i$  段的距离;  $d$  为威胁体到第  $i$  条路径的距离。需要注意的是:每一个雷达都具有一定的作用区域,如果无人机经过此区域时,那么该无人机一定会被敌方探测到并且被击落。因此,必须规避雷达。我们将其作用范围看作是一个以雷达为圆心,半径为  $r_0$  的圆,那么如果 Voronoi 图中的第  $L_i$  条边到地方雷达点的距离为  $d_{i,j} \leq r_0$ , 则  $J_{radarThreaten} = \infty$ 。

#### 2.1.2 地空导弹威胁代价

决定地空导弹的威胁代价因素主要包括雷达探测概率及其信息传导关系,为了对算法的计算时间进行简化,取每条边的  $1/6, 1/2$  以及  $5/6$  到各个威胁带点的距离来计算威胁代价

值。则对于第条 Voronoi 图多边形的边,将地空导弹的威胁代价表示为:

$$J_{\text{missileThreaten}} = K \sum_{j=1}^M \left( \frac{\Delta h_{1/6,i,j}}{d_{1/6,i,j}} + \frac{\Delta h_{1/2,i,j}}{d_{1/2,i,j}} + \frac{\Delta h_{5/6,i,j}}{d_{5/6,i,j}} \right) \quad (2)$$

上述公式中:K为系数,Δh代表无人机距离地空导弹的高度,R代表无人机与导弹发射源的距离。

### 2.1.3 威胁总代价

根据公式(1)和公式(2),则无人机在每个 Voronoi 图的边上所受到的威胁总代价可以用雷达威胁代价及导弹威胁代价之和进行表示:

$$J_{\text{Threaten},i} = J_{\text{radarThreaten},i} + J_{\text{missileThreaten},i} \quad (3)$$

由于无人机的燃油代价为 $J_{\text{fuel},i}$ ,考虑到无人机所受到的威胁总代价(根据公式(3)),于是我们得出无人机沿着 Voronoi 图的第i条边飞行的最终代价为:

$$J_i = k J_{\text{Threaten},i} + (1-k) J_{\text{fuel},i} \quad (4)$$

其中k代表燃油代价和威胁代价两者之间的折衷(取值范围是0-1)。它的设置是为了可以将无人机决策人对某目标的偏好程度十分直观地表示出来,如果决策人对威胁更为重视,则k值权重取的偏大,反之亦然。则整条航迹的性能指标即为:

$$J = \min \left( \sum_{i=1}^n J_i \right) \quad (5)$$

### 2.2 航迹生成和优化

无人机的路径规划问题不单单是要适用于单个方向的路径还要适用于多方向的路及规划情况,因此本文在已经构建的 Voronoi 图的基础之上利用无向的 Dijkstra 算法来完成无人机全局路径规划。该算法的整体思路是从 $v_s$ 出发,向四周逐渐去寻找飞行器最短的飞行路径。在这个过程中,对于各个 Voronoi 图的顶点进行标号处理,该过程主要分为两种情况,一种是表示自 $v_s$ 到该点的最短路径不能更改的p标号,另一种是表示从 $v_s$ 到该点的最短路径的可以更改的T标号(该标号可以改变)。在算法的执行的过过程中通过不停改变T标号同时把T标号的点修改成具有p标号的点,那么本算法最多经过n-1步则会计算出来 $v_s$ 到各个 Voronoi 图点的最短路径。

### 3 仿真分析

为了验证以上基于 Voronoi 图的单无人机攻击多移动目标的规划方法的正确性和可行性,在 Matlab7.0 环境下,进行了仿真实验,在4000km\*4000km的战场中,用步长1km划分空间。无人机A进入攻击区对蓝方3个机动目标进行攻击,蓝方威胁主要有雷达威胁和地空导弹威胁两种。一旦无人机在循迹途中,目标点突然发生移动,无人机能够根据自身的探测设备及时做出相应的反应,从而立即有效地修改航迹。除此之外,无人机还可以遵照决策者的作战意图,相应地来调整燃油代价与威胁代价各自的航迹代价权重值。首先给出已知的威胁点、飞机的起始点和三个初始目标点坐标。基于威胁点作为母点构建改进的 Voronoi 图,并且计算各条边的威胁代价,并采用改进的人工势场法和 Dijkstra 算法寻找飞机的最优

路径。

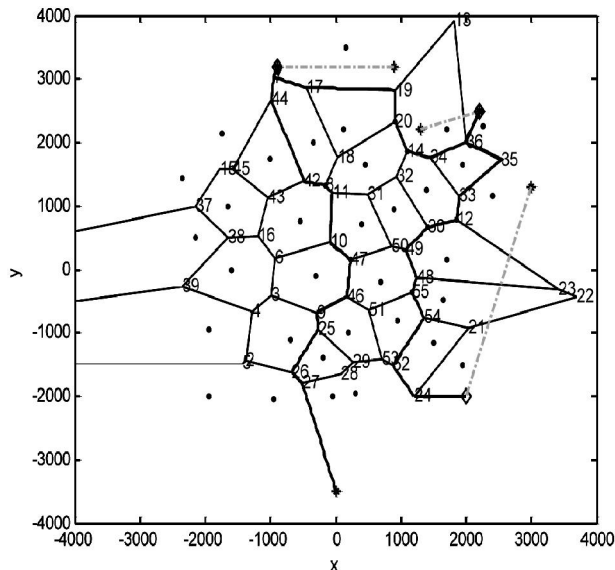


图2 无人机攻击多目标的仿真图

如图2所示,在仿真实验中,初始目标是无人机飞行前事先探知的,因此,当无人机出发时已经规划好了初始路径。其中无人机的起始坐标为(0,3500),三个初始目标点的坐标分别是(900,1400)、(1000,2400)、(3000,1500),绿色线段代表目标未移动时,无人飞行器生成的初始航迹,而红色线段则表示在无人飞行器探测到攻击目标点位置发生变化时重新生成的新航迹,绿色虚线为目标移动的轨迹,红色菱形为目标移动到的位置。

### 4 结语

本文针对动态环境下基于单个无人机攻击多个移动目标的无人机航迹规划问题进行了研究。本文根据地面威胁类型,建立了基于威胁场的 Voronoi 图。采用了 Dijkstra 算法进行了无人机路径规划,对于 Voronoi 图内的航迹点,采用 Dijkstra 算法,沿 Voronoi 图边向移动目标进行循迹,进行全局航迹规划,仿真结果证明,本文提出的算法不仅能规划出最优路径,而且当目标发生移动时,能及时调整航迹,有效打击新的目标点,从而满足航迹规划寻优问题的实时性要求。同时,大大减少了规划时间,是无人机有效地跟踪及精确打击多移动目标的一种技术探索尝试。

### 参考文献:

- [1] DEGARMO M, NELSON G M. Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System[C] // AIAA 4th Aviation Technology, Integration and Operations(ATIO) Forum. Chicago: AIAA, 2004, 4: 2004-6243.
- [2] 李季,孙秀霞,马强.无人机对空威胁算法与仿真[J].系统仿真学报,2008,20(16): 4237-4240.
- [3] BLACKMAN S, POPOLI R. Design and Analysis of Modern Track-ing Systems[M]. London, Britain: Artech House, 1999.