

多无人机低空突防协同航迹规划环境信息模型构建

屈原，李波，张立峰

（鄂尔多斯职业学院，内蒙古 鄂尔多斯 017000）

摘要：介绍了多无人机协同航迹规划环境信息建模的意义，构建多无人机低空突防协同航迹规划地形模型和威胁模型。

关键词：多无人机；航迹；模型构建

一、引言

要实现多 UAV 的低空突防协同航迹规划，对问题进行抽象建模是首要的。因为只有通过建模才能把问题进行抽象解决，才能将研究成果应用于实际问题。研究多无人机协同系统问题首先面临的任务是对无人机的任务环境进行建模，而环境信息中最为重要的是地形信息和敌情威胁信息。多 UAV 航迹规划的基础是在任务给定的情况下，在任务区域内进行航迹规划，如何从环境中获取足够多的信息，对航迹规划的质量密切相关，因此对多 UAV 的飞行环境建模是首要的工作。

二、多无人机低空突防协同航迹规划地形模型

对地形的建模方法主要有函数模拟和数字地形高程建模。

（1）函数模拟

函数模拟方法广泛用于模拟 UAV 的地形环境，根据事先获得的地形信息，选取不同的函数就可以模拟出侧重点不同的地形数据，本文中采用文献中的函数来模拟 UAV 的飞行环境，如式（1）所示可以模拟一座山峰的信息。

$$z(x, y) = h \cdot \exp \left(- \left(\frac{x - x_0}{d_1} \right)^2 - \left(\frac{y - y_0}{d_2} \right)^2 \right) \quad (1)$$

其中 h 分别表示山峰高度； d_1, d_2 表示山峰的陡度，其值越小山峰越陡峭， (x_0, y_0) 为山峰中心的坐标值。通过调整参数的值来模拟不同的山峰，通过多个山峰叠加就可以得到无人机飞行环境的地形模型。该方法模拟的三维地形（如图 1 所示）比较接近真实地形，在一定程度上可以满足仿真实验的要求。

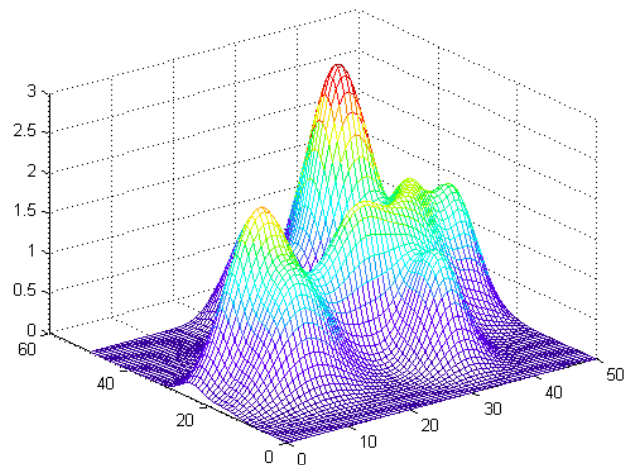


图 1 函数模拟地形图

(2) 数字地形高程建模

在一般的航迹规划中,地形信息是使用数字地图来表达的,这就需要数字地形数据库,如美国的 DTED,在研究过程中可以将敌方的威胁信息,包括威胁的位置和作用区域敷设到数字地图上,当作特殊的地形处理。该方法就是数字高程模型,有三种模型:规则网格模型、等高线模型和不规则三角网模型,采用等高线图来表示地形的变化,如图 2 所示。

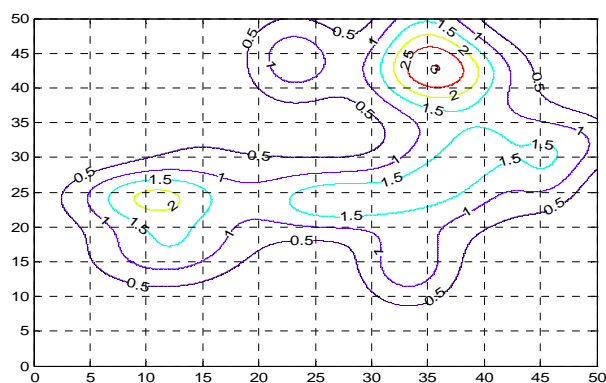


图 2 等高线图

三、多无人机低空突防协同航迹规划威胁模型

多无人机在执行任务时,会遇到敌方种种防空火力的威胁。敌方的威胁信息,主要包括威胁的类型、位置和作用区域,威胁模型主要针对敌方的探测、打击武器(如雷达),描述威胁的中心位置,威胁的作用半径,威胁的杀伤概率等。在多 UAV 的航迹规划时主要讨论敌方的探测雷达,并建立适当的模型。对于雷达威胁模型通常采用

简化的方法，每个威胁都由一组同心圆组成，对于同一威胁，不同的半径具有不同的威胁概率。可用 (x, y) 表示雷达中心位置坐标， R_{max} 表示最大作用半径。威胁水平投影如图3所示，小圈表示雷达中心位置。

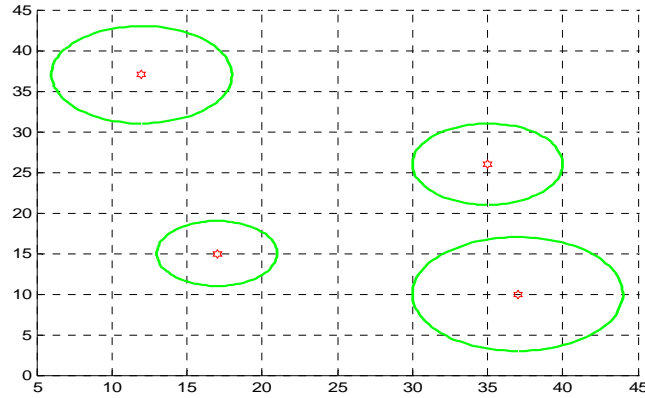


图3 威胁水平投影分布图

再给定威胁的位置坐标及其运动状态，就可以完成对威胁模型的建模。因此对威胁建立的模型如式(2)所示：

$$\begin{cases} P = (x, y) \\ R_{\max} = \left[\frac{P_t \tau G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 k T_s (S/N)_{\min} C_b L_s L_a} \right]^{\frac{1}{4}} F \\ P_D = \exp\left(\frac{-K_R L_0^2}{h_0} - \frac{r_0^4}{R_0^4}\right) \\ V = a \end{cases} \quad (2)$$

V 为雷达的移动速度，当雷达为静态时 $a=0$ ，当雷达移动时速度为 $a(a \neq 0)$ 。

参考文献：

[1] Asseo S J. Terrain following/terrain avoidance path optimization using the method of steepest descent[C]. Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference, Hawthorne, CA, USA.1988:1128-1136.

[2] 闵昌万.飞行器航迹规划与轨迹控制研究[D].西安:西北工业大学,1999.

作者简介：

第一作者：屈原（1987-），男，内蒙古鄂尔多斯人，讲师，硕士，主要研究方向：电气、自动化和机电一体化研究。

通信作者：李波（1986-），女，内蒙古包头人，讲师、中级工程师，主要研究方向：自动化、智能控制和机电一体化研究。