

我们利用模拟退火算法求解上述单目标优化模型。核心思路是：通过模拟物理退火过程的随机搜索与概率接受机制，在决策变量的可行域内寻找使有效遮蔽时间  $\Delta t$  最大化的最优解。具体步骤如下：

### 步骤 1 设定初始参数和离散化时间轴

根据题目要求和经验，设定干扰弹发射角度、速度及投放时间等初始参数。将导弹飞行时间段划分为细小的时间步长，便于逐点判断遮蔽状态。

### 步骤 2 遍历时间点并判断遮蔽

对每个时间点，计算干扰弹位置，结合导弹与目标几何关系，根据模型分析中的判断条件，判断各时间点是否满足有效遮蔽条件。收集所有满足遮蔽条件的时间点，累加得到总有效遮蔽时间。

### 步骤 3 应用模拟退火算法

以总遮蔽时间作为目标函数值，供优化算法调用。通过迭代生成新参数解，依据目标函数值变化和 Metropolis 准则接受或拒绝新解。

**Metropolis 准则：**以一定的概率接受一个新状态，即使这个新状态的能量（或目标函数值）比当前状态更低。这有助于算法跳出局部最优解，探索更广阔的状态空间。本代码中选择的比较值是  $\exp\left(\frac{\Delta S}{T}\right)$ ，其中  $\Delta S$  为新旧有效时间之差， $T$  为该次循环的温度。

当新解更大时，选用新解；新解更小时，以  $\exp\left(\frac{\Delta S}{T}\right)$  的概率选用新解。

### 步骤 4 逐步优化并收敛

随着迭代进行，不断更新最优参数组合，使有效遮蔽时间逐渐增加，最终趋于稳定最优值。

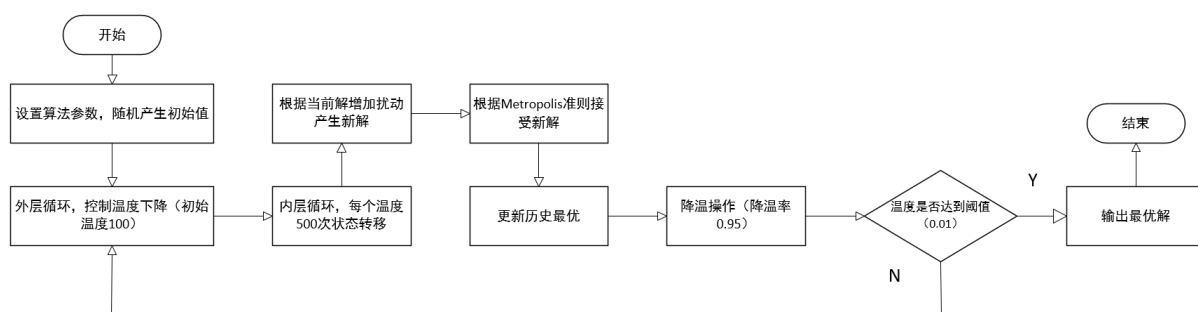


图 1 问题二模型求解流程图

按照上述算法思路，利用 Python 求解得当 FY1 的飞行方向与  $x$  轴正方向的夹角  $\alpha$  为 3.13rad(逆时针为正)，飞行速度为 109.78m/s，烟雾弹投放位置为

$$(17722.061437, 0.903555, 1800.000000), \quad (1)$$

烟雾弹起爆位置为

(17335.661803, 5.383153, 1739.287040) (2)

时，遮蔽时间最长为 **4.602140** 秒。