

Step 1 目标函数

在本问中，我们的目标是通过设计 3 架无人机 $FY1$, $FY2$, $FY3$ 与其分别投放的 1 枚烟幕干扰弹相关参数，使得这 3 架无人机分别释放的 3 枚烟幕干扰弹对导弹 $M1$ 的有效遮蔽总时间尽可能长，因此目标函数为：

$$\max_{\alpha_j, v_{FYj}, t_{FYj,j1}, t_{FYj,j2}} \Delta t_{31} \quad (1)$$

Step 2 决策变量

- 无人机 FYj 的方向: 设 α_j 为无人机 FYj 与 x 轴正方向的夹角，范围为 $[0, 2\pi)$ ，从而确定无人机 FYj 的飞行方向 ($j = 1, 2, 3$)。
- 无人机 FYj 的飞行速度: 设无人机 FYj 的飞行速度为 v_{FYj} 。
- 烟幕干扰弹投放点: 设无人机 FYj 在受领任务 $t_{FYj,11}$ s 后投放 1 枚烟幕干扰弹。无人机受领任务后，保持等高度匀速直线运动。由问题一求得的(??)可知 t 时刻无人机 FYj 的位置坐标为：

$$\begin{cases} x_{FYj,t} = x_{FYj,0} + v_{FYj}t \cos \alpha \\ y_{FYj,t} = y_{FYj,0} + v_{FYj}t \sin \alpha \\ z_{FYi,t} = z_{FYj,0} \end{cases} \quad (2)$$

从而可得 $t_{FYj,11}$ 时刻无人机 FYj 的位置坐标, 即烟幕干扰弹投放点的位置坐标

$$\begin{cases} x_{FYj,t_{FYj,11}} = x_{FYj,0} + v_{FYj}t_{FYj,11} \cos \alpha \\ y_{FYj,t_{FYj,11}} = y_{FYj,0} + v_{FYj}t_{FYj,11} \sin \alpha \\ z_{FYi,t_{FYj,11}} = z_{FYj,0} \end{cases} \quad (3)$$

- 烟幕干扰弹起爆点: 设无人机 FYj 投放一枚烟幕干扰弹在无人机受领任务 $t_{FYj,12}$ s 后起爆，由问题一求得的(??)可得 3 架无人机投放的烟雾干扰弹在 $t_{FYj,12}$ 时刻即其起爆时的位置坐标：

$$\begin{cases} x_{FYj,t_{FYj,12}} = x_{FYj,t_{FYj,11}} + v_{FYj}(t_{FYj,12} - t_{FYj,11}) \cos \alpha \\ y_{FYj,t_{FYj,12}} = y_{FYj,t_{FYj,11}} + v_{FYj}(t_{FYj,12} - t_{FYj,11}) \sin \alpha \\ z_{FYj,t_{FYj,12}} = z_{FYj,t_{FYj,11}} - \frac{g(t_{FYj,12} - t_{FYj,11})^2}{2} \end{cases} \quad (4)$$

同理由问题 1 中的(??)，可得 t_w 时刻无人机 FYj 投放的烟幕干扰弹形成的烟幕云团

是否对目标进行遮挡的判断条件 $\Delta_{FYj1}(x_l, y_l, z_s)$ 。并将其代入(??)中即

$$\begin{cases} \Delta < 0 & \text{未形成有效遮挡} \\ \Delta \geq 0 & \begin{cases} \min\{d_1, d_2\} > \left| \overrightarrow{N1M1} \right| & \text{未形成有效遮挡} \\ \min\{d_1, d_2\} \leq \left| \overrightarrow{N1M1} \right| & \text{有效遮挡} \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

判断 t_w 时刻下无人机 FYj 释放的烟幕干扰弹形成的烟幕云团是否对真目标进行遮挡。又因为每个烟幕弹形成的云团都将在 20s 后消散，所以规定：

$$\Delta_{FYj1}(x_l, y_l, z_s) = \begin{cases} -1 & t \geq t_{FY1,12} + \Delta t_0 \\ -1 & t \geq t_{FY2,12} + \Delta t_0 \end{cases} \quad (6)$$

最后，同理遍历真目标圆柱上的所有离散点 (x_l, y_l, z_s) 和离散时刻 t_w ，将所有对真目标构成有效遮挡的时刻累加起来就得到该条件下的 Δt_{31} 。

Step 3 约束条件

- 无人机的飞行速度：由于无人机受领任务后，可根据需要瞬时调整飞行方向，然后以 70-140m/s 的速度等高度匀速直线飞行。因此：

$$70 \leq v_{FY1} \leq 140 \quad (7)$$

Step 4 优化模型

综上所述，3 架无人机 FYj 释放的烟幕遮挡弹的有效遮蔽总时间单目标优化模型为：

$$\begin{aligned} & \max_{\alpha_j, v_{FYj}, t_{FYj,1}, t_{FYj,2}} \Delta t_{31} \\ & \left\{ \begin{array}{l} t \text{时刻无人机的位置坐标:} \\ \begin{cases} x_{FYj,t} = x_{FYj,0} + v_{FYj} t \cos \alpha \\ y_{FYj,t} = y_{FYj,0} + v_{FYj} t \sin \alpha \\ z_{FYi,t} = z_{FYj,0} \\ 0 \leq \alpha < 2\pi \end{cases} \\ 70 \leq v_{FY1} \leq 140 \\ \text{无人机} FYj \text{投放的烟雾干扰弹起爆时的位置坐标:} \\ \begin{cases} x_{FYj,t_{FYj,12}} = x_{FYj,t_{FYj,11}} + v_{FYj} (t_{FYj,12} - t_{FYj,11}) \cos \alpha \\ y_{FYj,t_{FYj,12}} = y_{FYj,t_{FYj,11}} + v_{FYj} (t_{FYj,12} - t_{FYj,11}) \sin \alpha \\ z_{FYj,t_{FYj,12}} = z_{FYj,t_{FYj,11}} - \frac{g(t_{FYj,12} - t_{FYj,11})^2}{2} \end{cases} \end{array} \right. \quad (8) \end{aligned}$$