

说明

在紫薇程序上删除事件触发机制，将原有的APF上增加涡旋场

原控制协议

$$u_i(k) = K_1(x_i(k) - h_i(k)) + K_2 \sum_{j \in N_i} \omega_{ij} \left[A^{k-k_t^i} (\hat{x}_i(k) - \hat{h}_i(k)) - A^{k-k_t^j} (\hat{x}_j(k) - \hat{h}_j(k)) \right] + K_3 \sum_{\Theta_j=\Theta_1}^{\Theta_l} \mathbf{F}^{\Theta_j}(\mathbf{p}_i) + \eta_i(k),$$

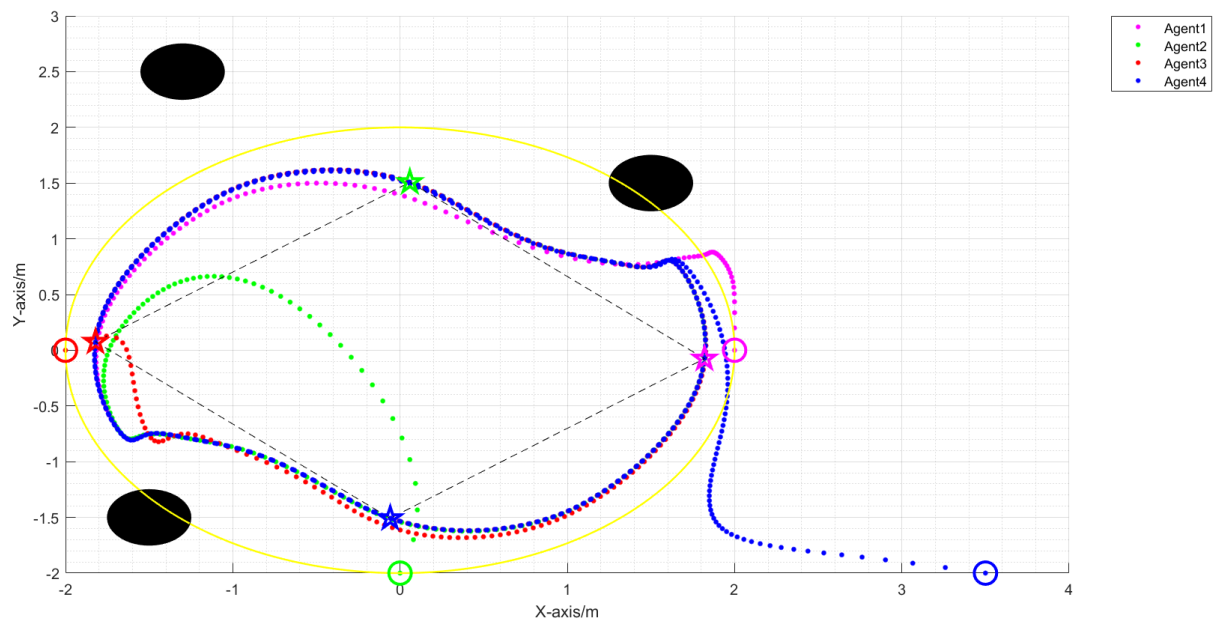
其中，

$$\begin{cases} \hat{x}_i(k) = x_i(k_t^i), & k \in [k_t^i, k_{t+1}^i), \\ \hat{h}_i(k) = h_i(k_t^i), & k \in [k_t^i, k_{t+1}^i). \end{cases}$$

去除了事件触发机制的设计，控制律为

```
x(:,k+1)=(kron(eye(n),A+B*K1)+kron(L,B*K))x(:,k) ...
* -kron(eye(n),B*K1)h(:,k) ...
* +kron(L,B*K)(x(:,k)-h(:,k)) ... % MODIFIED: e(:,k)
changed to x(:,k)
* +kron(eye(n),B)***kron(eye(2***n),[0 1])*((h(:,k+1)-
h(:,k))/l) ...
+K3*kron(eye(n),B)*(F_obs1+F_obs2+F_obs3) ...
+K4*kron(eye(n),B)*F_ij;
```

仿真结果



对人工势场进行改进

传统的APF方法存在局部极小值的问题。在目标点势能非全局最小值或全局势场存在局部极小值的前提下，当无人机在势场的引导下到达局部极小值位置时，可能无法逃离该区域，导致航路规划失败。

参考论文 *Modified Artificial Potential Field for the Path Planning of Aircraft Swarms in Three-Dimensional Environments*

涡旋场 (Vortex Field): 主要目的是为了帮助飞行器（智能体）在避开障碍物时克服局部最小值问题，并减少在狭窄通道或障碍物影响边界处的振荡。

自动确定涡旋方向: 每个智能体独立地根据自身位置、障碍物（或其他智能体）位置以及其目标位置来自动确定涡旋场的旋转方向。

控制输入 编队跟踪+前馈补偿+避障+避碰

```
x(:,k+1) = (kron(eye(n),A) + kron(eye(n),B*K1) + kron(L,B*K)) * x(:,k)
...
- (kron(eye(n),B*K1) + kron(L,B*K)) * h(:,k) ...
+ kron(eye(n),B) * u_ff_accel ...
+ K3 * kron(eye(n),B) * F_Obstacles_Resultant ...
+ K4 * kron(eye(n),B) * F_Agents_Resultant;
```

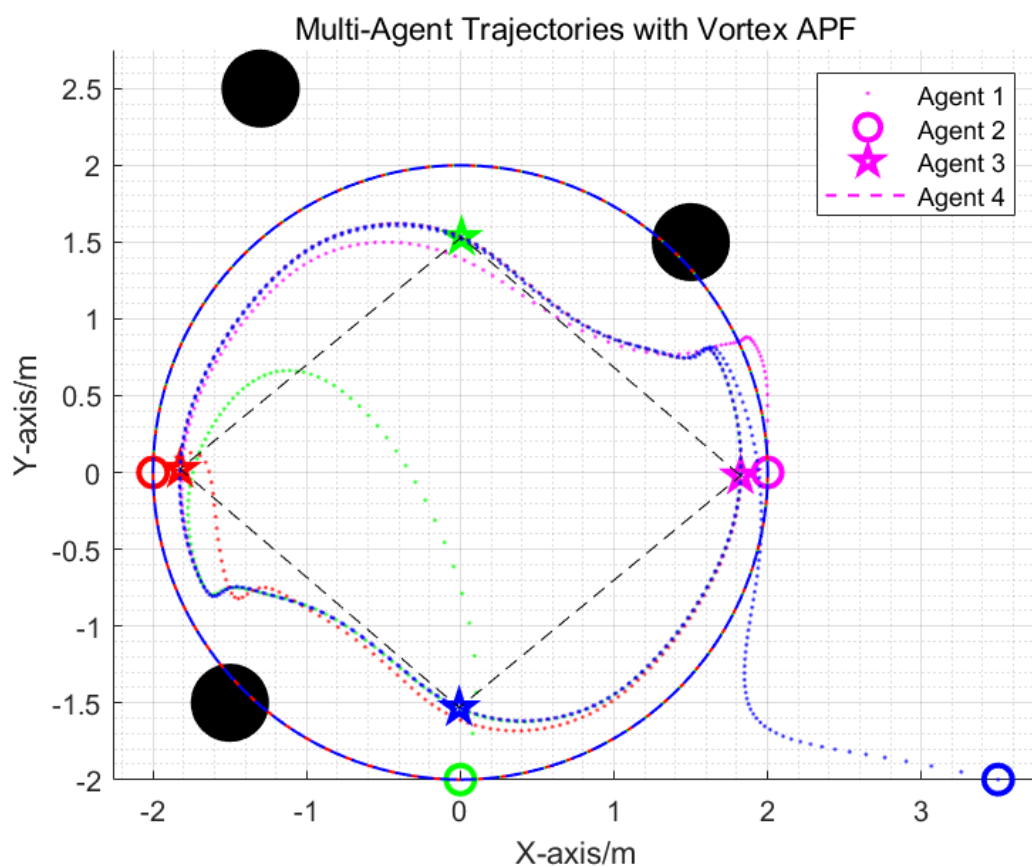
uff(k): 前馈控制，使智能体能够主动、快速地响应期望轨迹的变化

$F_{Obstacles_Resultant}$ ：障碍物对整体的作用力，包含斥力和涡旋力。

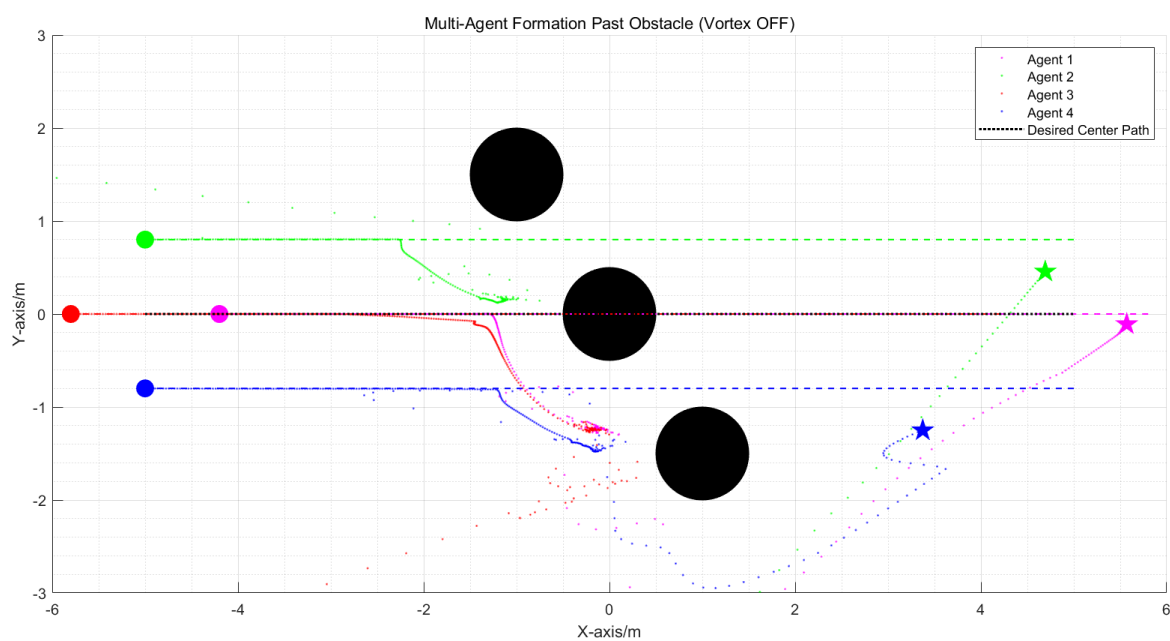
$F_{Agents_Resultant}$ ：其它智能体对每一个智能体产生的作用力，包含斥力和涡旋力

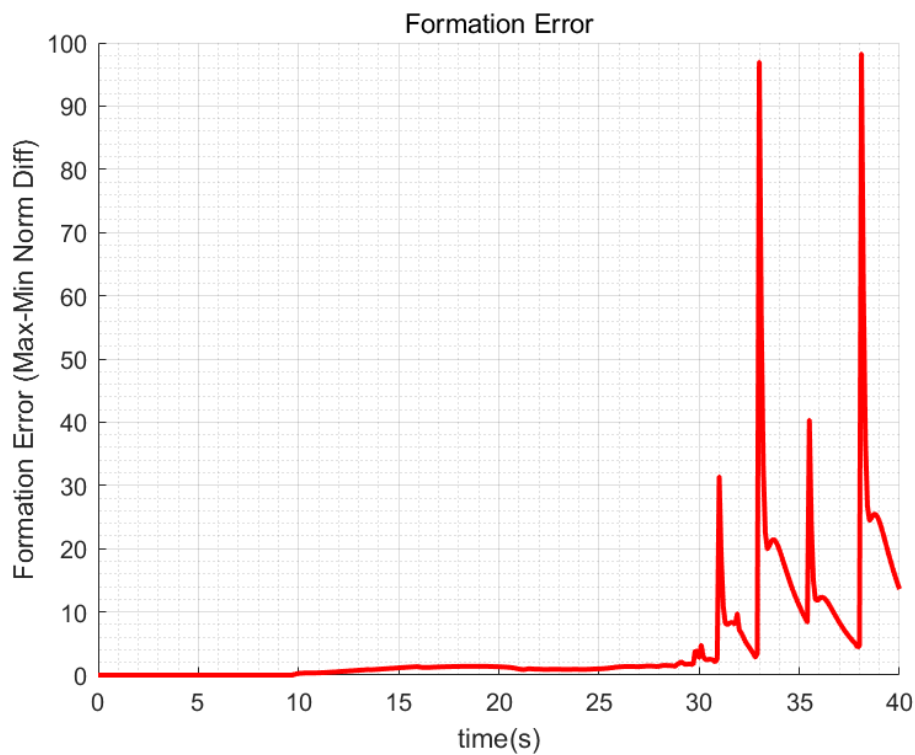
仿真结果分析

采用紫薇学姐设计的任务空间。

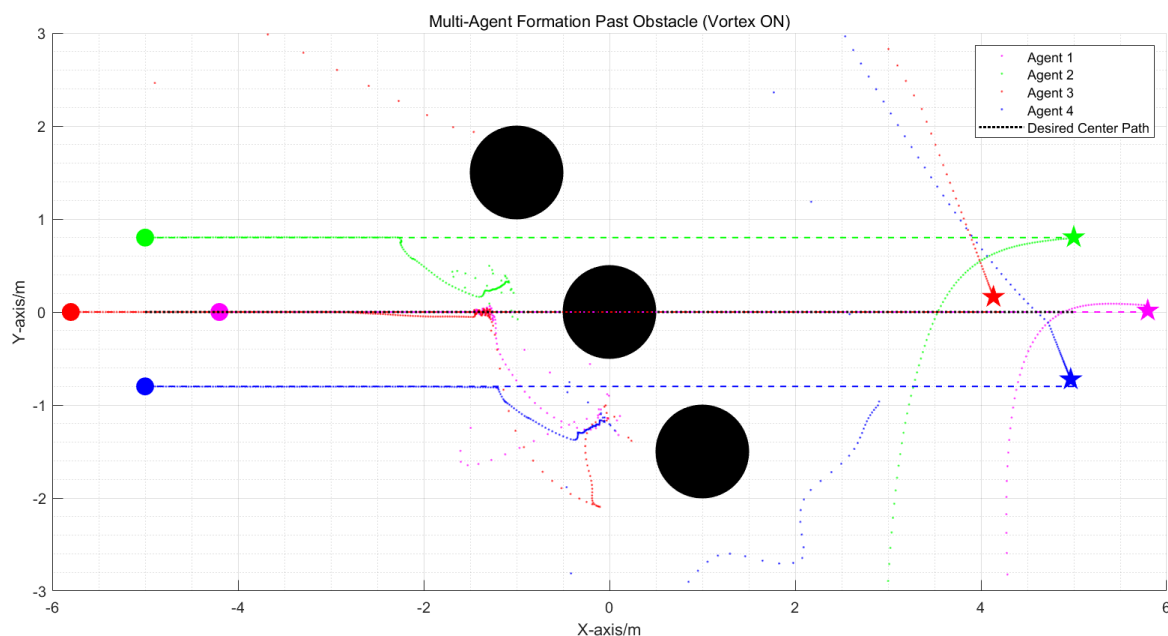


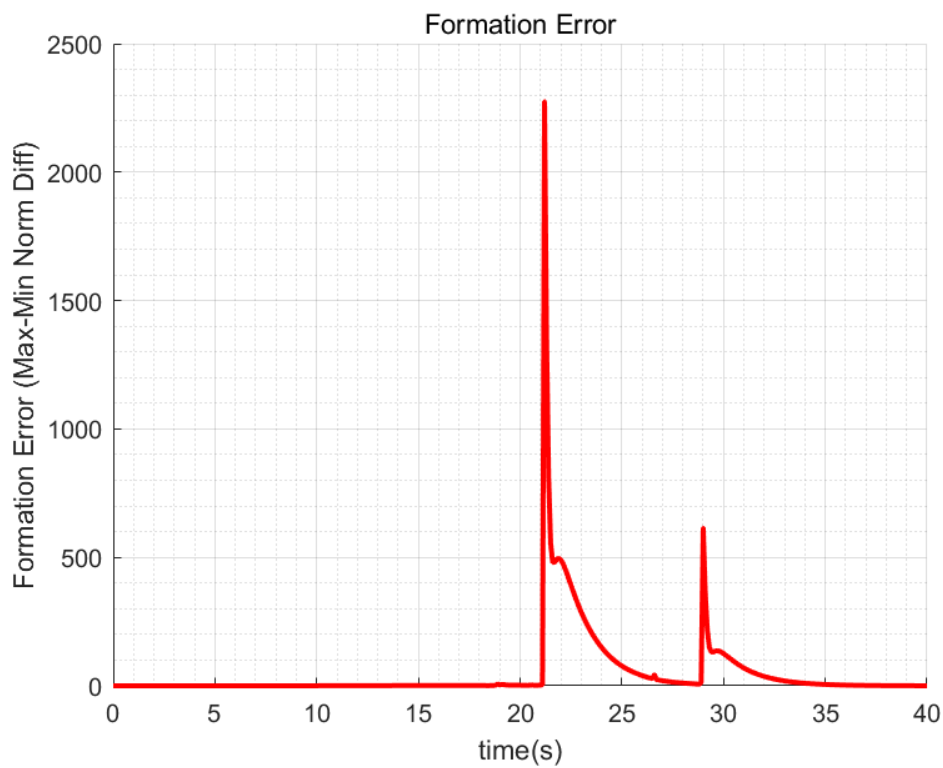
对比开关旋涡场感觉不出明显差异，改进为下列的任务空间设置。





Agent 1 和Agent 2 在遭遇第一个障碍物（左上方）时，为了避让，其路径有明显的突然转向和调整。Agent 3 () 和Agent 4 在通过中间和右下方障碍物时也表现出类似的“挣扎”行为，轨迹有较多的弯折和不连贯。智能体似乎更多地是在被障碍物的斥力“推开”后，再努力回到期望路径。这种行为模式不仅可能导致路径不是最优，还可能因为频繁的调整而增加能耗，甚至在更复杂的环境中导致智能体在障碍物之间来回振荡或陷入局部极小值。





开启涡旋场后，所有智能体的避障轨迹都**显著地更加平滑和流畅**。涡旋场提供的额外切向引导力，使得智能体能够更早地预判并开始绕行动作。Agent 1 和 Agent 2 在绕行第一个障碍物时，其路径形成了一条自然的弧线。Agent 3 和 Agent 4 在通过后续障碍物时，也表现出类似的平滑过渡。