

## 干货分享 | 无人机“蜂群”协同控制与自主避障技术

### 概述

随着常规无人机技术逐渐成熟，无人机系统（UAS）的发展潮流转向集群化、特异化。为了在战术战略层面重新获得非对称优势，美国国防部、美国空军分别提出了未来若干年无人系统发展规划，其中以小型无人机组成“蜂群”执行任务是重点发展方向之一。为了使用无人机蜂群进行诸如协同侦查、协同打击任务，蜂群需具备良好的整体行为控制能力，保证其在飞行过程中能够保持蜂群构型的稳定、蜂群成员间的安全距离，并自主规避飞行路线上的动静态障碍物，因此无人机“蜂群”协同控制与自主避障是最基础的核心技术。

针对这一需求，恒润科技集团北京润科通用技术有限公司（以下简称“润科通用”）自主研发并成功攻关无人机蜂群协同控制与自主避障技术，可以提供核心算法协助客户实现蜂群控制能力、战术战略任务效能仿真能力。

### 无人机“蜂群”协同控制与自主避障技术特点

无人机蜂群协同控制与自主避障技术聚焦两个及以上无人机的编队构型控制、自主避障等问题，自主实现蜂群无人机各成员间导航与控制，使得蜂群成为一个整体执行上层系统分配的任务。无人机蜂群协同控制与自主避障技术的特点包括：

- 对蜂群的控制只需类似单机无人机的简单指令
- 蜂群可以自动规避动静态障碍物
- 避免蜂群成员间自主避撞
- 蜂群可以再拆分成小蜂群执行多个任务
- 蜂群成员通信拓扑动态可变，且仅需临近通信能力
- 可保证蜂群成员间运动的一致性
- 蜂群无需领航者，鲁棒性强
- 系统算法适用于任意数量无人机成员
- 可应用于二维平面编队和三维立体编队

润科通用研发的无人机蜂群协同控制与自主避障技术基于 Matlab/Simulink 进行算法建模，算法在数字环境下进行充分仿真验证，保证算法的有效性与鲁棒性。基于 Matlab/Simulink 得到的算法模型可以通过代码自动生成的方式自动生成 C、C++ 等形式的实时代码，并将其应用于半物理仿真及真实飞控计算机中。

无人机蜂群协同控制与自主避障技术包括三个核心功能：蜂群构型控制、蜂群自主避障、蜂群任务分配。

#### 1. 无人机蜂群编队构型控制

无人机蜂群编队构型控制算法以图论为理论基础，以编队成员趋近、同速、避撞为基

本原则，实现编队构型的一致性控制。编队构型控制分两种方式：固定构型编队；空间自由编队。

### 1.1. 固定构型编队

当无人机成员数量较少时，一般选择固定构型编队，包括：线型构型（一字构型）；人字形构型；三角形构型；钻石型等。此外，可以根据需求进行任意编队构型的定制开发。

#### 示例

下图为线型构型编队的示意图。编队包含 7 个无人机成员，仿真开始时，各个成员处于随机分配的位置，仿真开始后首先形成编队构型，然后在后续的飞行中保持编队构型。

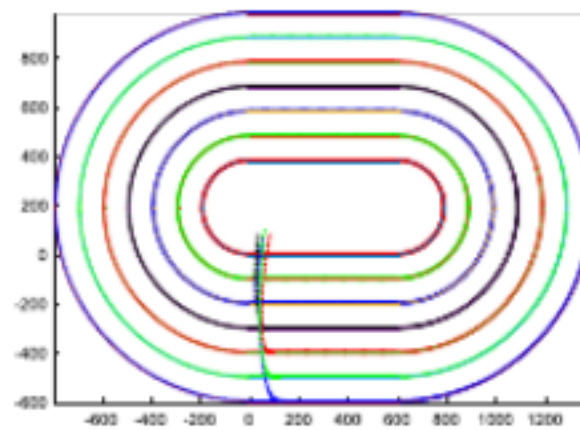


图 1 线型构型编队平面飞行轨迹显示

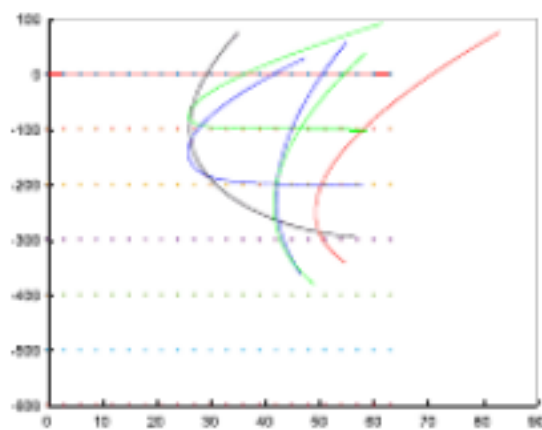


图 2 编队构型形成

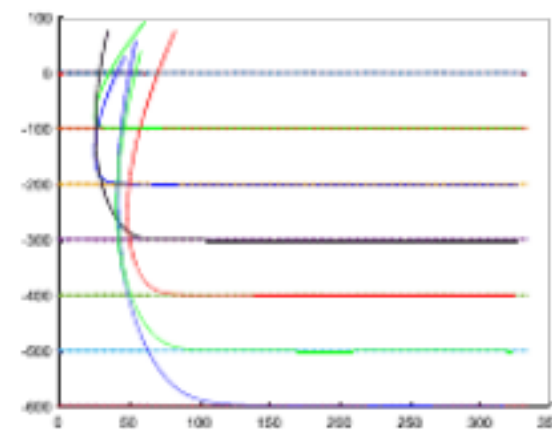


图 3 编队构型保持

### 1.2. 空间自由编队

空间自由编队模式下，无人机成员间的相对位置关系根据指定的势函数确定，稳定编队构型形成后，成员间以正三角形（二维空间编队）或正四面体（三维空间编队）为基本单元组成整体。在空间自由编队模式下，编队成员间的通信拓扑是动态变化，无人机仅对其周围一定范围内的成员具有通信能力，而无需全局通信能力，对通信系统友好，因此具有很强的适应性。

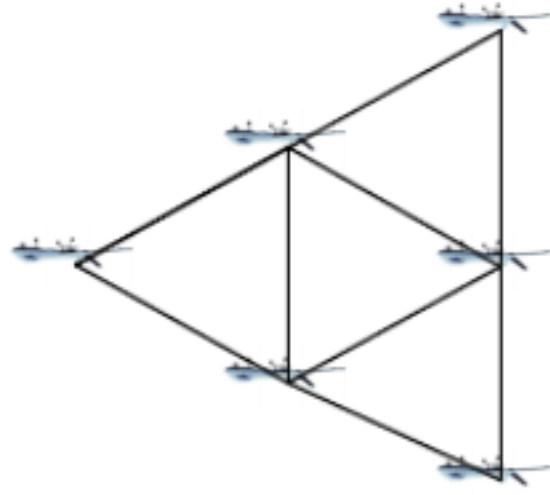


图 4 形成稳定编队构型后的相对位置示意图（平面）

### 示例——二维蜂群仿真

下图给出蜂群成员为 50 的二维平面蜂群仿真结果。图中蓝色曲线为无人机蜂群飞行轨迹，黑色透明圈是所标注时刻仿真曲线剖面，箭头所指为局部放大图，红色曲线为蜂群整体导航指令。初始时刻蜂群成员位置随机给定，随着仿真进行蜂群构型逐渐形成，经过 60s 后形成稳定构型并在后续的时间中保持构型。

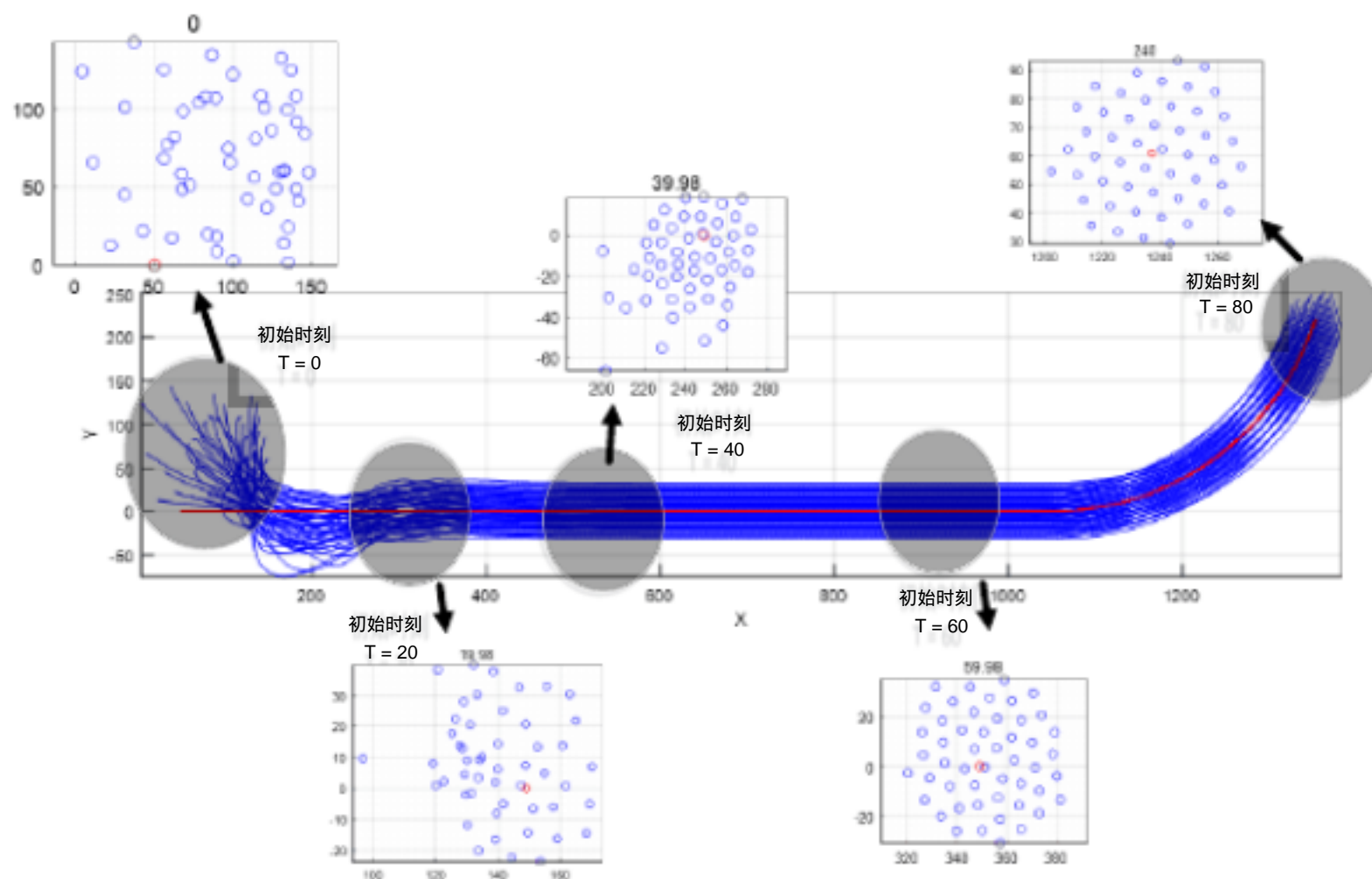


图 5 平面蜂群编队构型

### 示例——三维大蜂群仿真

下面给出蜂群成员数量为 200 时的仿真结果。蜂群构型的形成和稳定保持过程与前一示例基本相同，不再详细给出。

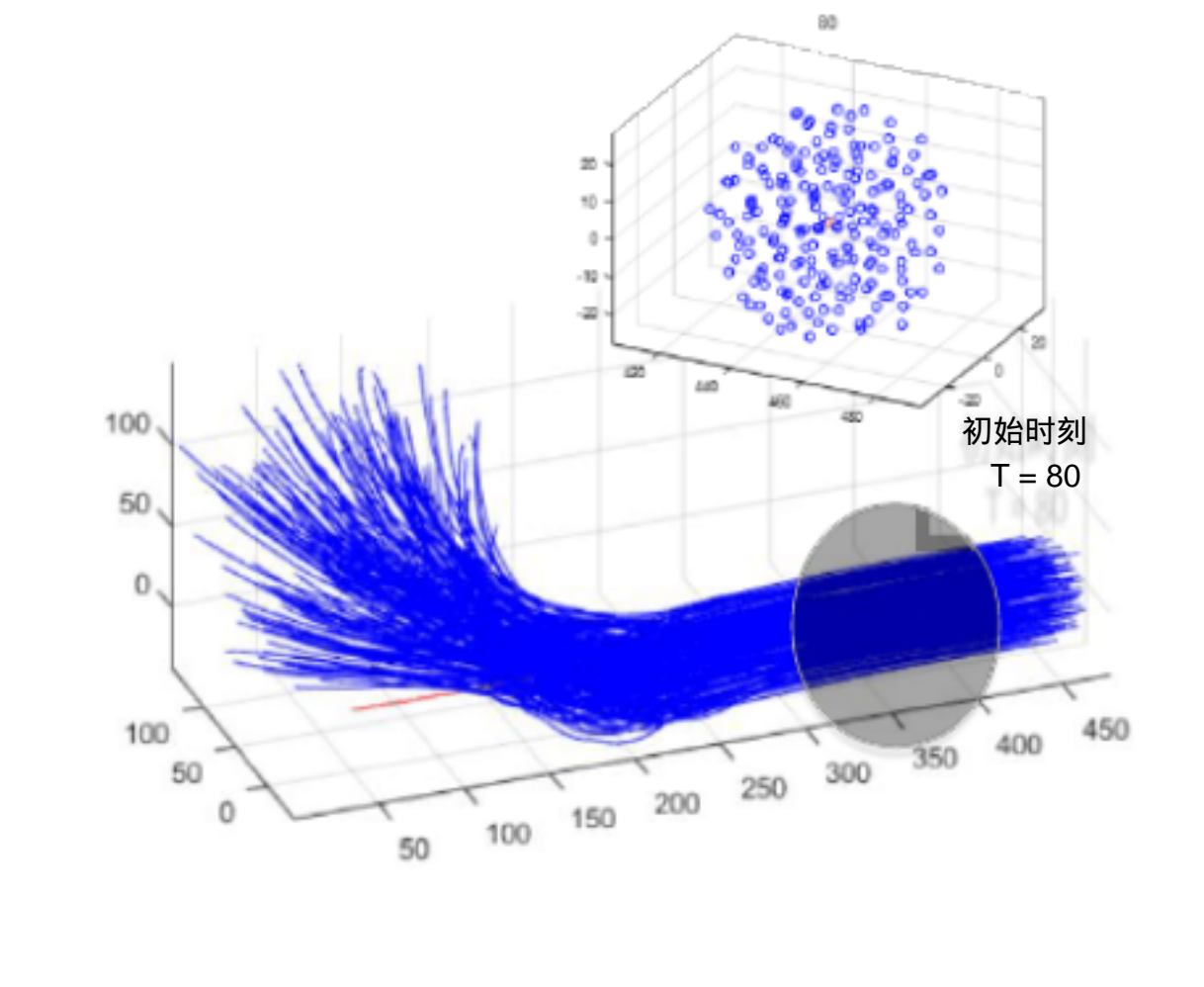


图 6 三维空间蜂群编队构型

## 2. 无人机蜂群自主避障

无人机蜂群自主避障功能实现蜂群整体对各类动静态障碍的规避，蜂群在该指令控制下实现蜂群整体运动趋势的改变，如控制蜂群按指定航路点飞抵目的地，并在飞行过程蜂群能够规避障碍区域或敌方单位。无人机蜂群自主避障基于势函数方法设计，蜂群不进行显式的航路规划，而是将障碍区域 / 敌方单位设置为斥力源，当蜂群靠近斥力源时将生成偏离指令，制导蜂群避障。

### 示例——动态静态障碍

下图给出包含动态和静态障碍区域的蜂群避障仿真结果。图中蓝色曲线为蜂群飞行轨迹，黑色圆圈为静态障碍区域，红色曲线为蜂群飞行指令，绿色为动态障碍区域中心运动轨迹，绿色透明圆为某一时刻动态障碍区所在位置。由图可见，无人机蜂群在跟踪指令的过程中，能够保持蜂群构型，并成功规避动态与静态障碍物。动态仿真过程参见如下视频内容，由视频可见，在运动到航线最右侧时，由于动态障碍速度过快，当蜂群编队与其相遇时，规避动作使队形冲散，且有部分蜂群成员进入动态障碍区，该部分体现出针对不同环境条件，需要进行避障算法参数的调整，以平衡蜂群构型保持倾向和避障倾向。

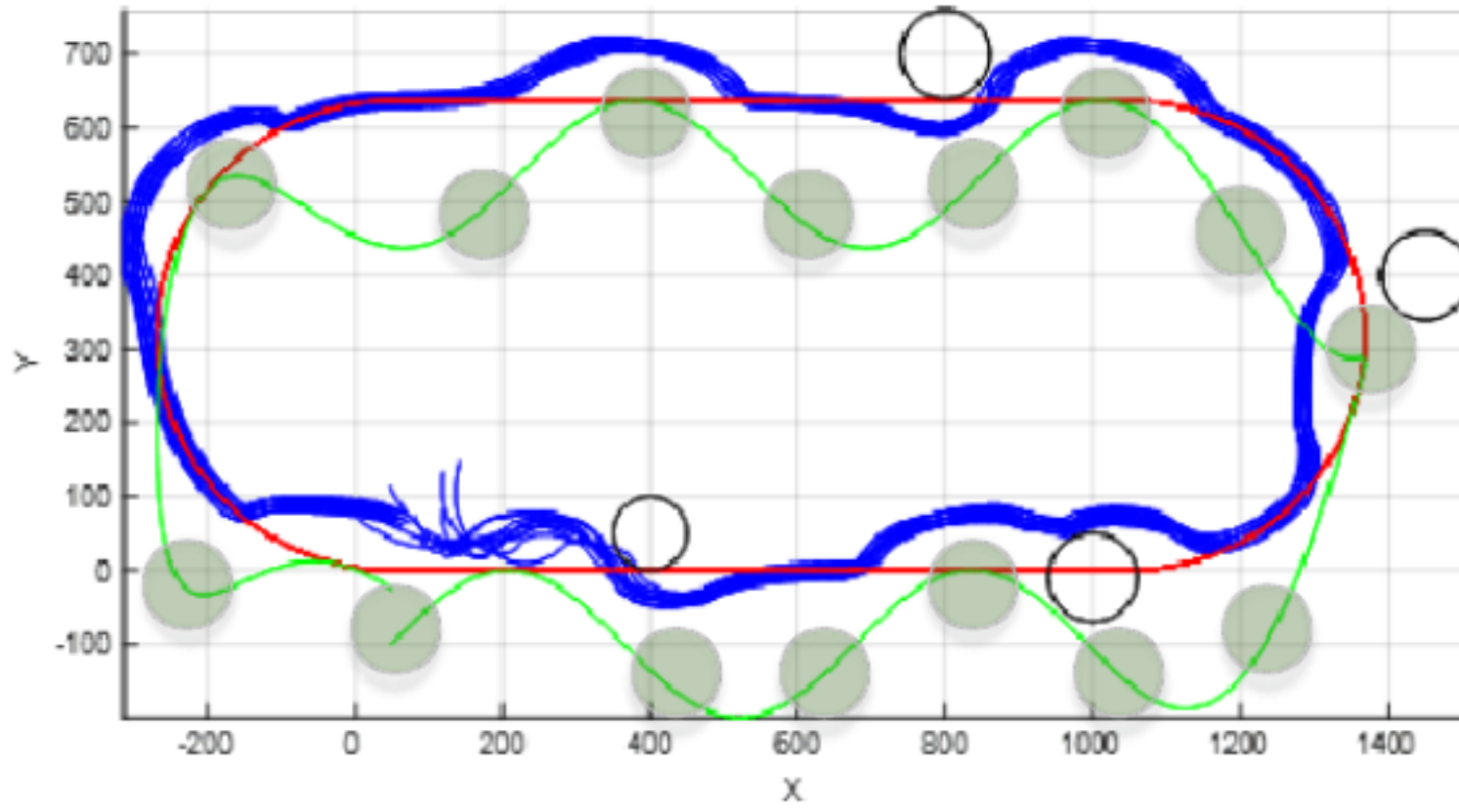


图 7 无人机蜂群障碍规避

### 3. 无人机蜂群任务分配

无人机蜂群可以分解为若干小蜂群分别执行不同的任务。不同的任务由体量不等的小蜂群执行，小蜂群中成员数量由任务分配系统根据任务特性自动分配。此外，蜂群成员允许为异构的，不同成员具有独立的功能，每个任务需要具有不同功能的成员机协同完成。

示例

下图为无人机蜂群执行三个任务的示意图。

