

doi: 10.7690/bgzdh.2023.06.018

# 面向反无人机蜂群的智能对抗体系

陈虹, 王东, 张洪江, 潘璘

(西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060)

**摘要:** 针对反无人机蜂群的紧迫需求, 提出构建空地协同智能对抗体系的构想。阐述体系功能、体系组成及工作原理, 明确智能感知与决策等关键技术研究方向; 基于空地协同智能指挥控制系统, 综合运用多种空中、地面的无人侦察及武器系统, 实现对无人机蜂群的快速发现、精准跟踪、智能识别及毁伤拦截, 有效提升体系化对抗效能。结果表明, 该体系可为我军发展智能化反无人机蜂群作战力量体系提供思路。

**关键词:** 无人机蜂群; 反制技术; 空地无人系统; 智能协同

**中图分类号:** V279 **文献标志码:** A

## Intelligent Confrontation System for Anti-UAV Swarm

Chen Hong, Wang Dong, Zhang Hongjiang, Pan Jin

(Technology Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China)

**Abstract:** Aiming at the urgent demand of anti-UAV swarm, the idea of building an air-ground cooperative intelligent countermeasure system is proposed. The function, composition and working principle of the system are described, and the research direction of key technologies such as intelligent perception and decision-making is clarified. Based on the air-ground collaborative intelligent command and control system, a variety of unmanned reconnaissance and weapon systems in the air and on the ground are comprehensively used to achieve rapid discovery, accurate tracking, intelligent identification and damage interception of UAV swarm, which effectively improves the effectiveness of systematic confrontation. The results show that the system can provide ideas for our army to develop intelligent anti-UAV swarm combat force system.

**Keywords:** UAV swarm; confrontation technology; air-ground unmanned system; intelligent cooperation

### 0 引言

无人机蜂群因具有作战范围广、抗毁能力强、作战灵活、战斗效费比高等特点, 逐渐被应用于军事领域执行侦察监视、电子压制与欺骗、自杀式饱和和攻击等作战任务, 其良好的鲁棒性和自组织性, 使传统的地面防空作战系统逐渐暴露出了侦察预警更加困难、指挥决策速度变慢、拦截攻击效能减弱、作战效费比明显降低等问题, 尤其是在防空作战体系和作战方式等方面已很难应对未来大规模无人化智能战争带来的威胁。

笔者综合考虑当前国内人工智能、空/地无人系统、集群控制及无人机反制系统等技术的发展水平, 按照“体系协同、智能制胜”的发展思想, 构建新型反无人机蜂群作战体系, 实现对无人机蜂群的全天候智能精准探测与协同毁伤拦截, 以推进我军智能化防空作战体系的建设和反蜂群作战能力的提升。

### 1 无人机反制技术概述

从文献[1-2]可看出, 国内外总体上是从探测预警、干扰诱骗、毁伤拦截 3 方面开展无人机反制技术的研究。

在探测预警方面, 综合运用雷达、光学、电磁、声波等手段, 实现对无人机蜂群的探测与跟踪, 并基于人工智能算法完成多源信息融合及精准跟踪识别。

在干扰诱骗方面, 利用电磁干扰、网络攻击、信息诱骗、伪装欺骗等手段, 对无人机通信和导航链路实施干扰和欺骗, 使蜂群内的无人机通信断链, 并偏离预定航线, 降落在指定地点; 也可通过伪装遮蔽、诱饵欺骗等方式干扰无人机的侦察载荷, 使其无法快速、精确地定位与识别目标, 从而实现对抗无人机蜂群的战术消耗。

在毁伤拦截方面, 通常采用防空导弹、激光武器、电磁武器、网捕系统、生物捕捉等手段, 对无

收稿日期: 2023-01-12; 修回日期: 2023-02-27

作者简介: 陈虹(1979—), 女, 陕西人, 高级工程师, 从事无人系统、指挥控制研究。E-mail: 41132324@qq.com。

人机蜂群的发射/回收平台、指挥控制中心、蜂群内的无人机及机载设备直接进行毁伤与拦截。防空导弹命中精度高，火力毁伤效果好，但效费比低；激光武器是通过发出激光束对无人机关键部位进行灼伤，命中精度高，是今后的重点发展方向；电磁武器可运用高能电磁脉冲对无人机进行高压击穿，对无人机的毁伤区域大，是应对无人机蜂群最有效的武器；网捕系统、生物捕捉等手段，主要是通过无人机挂载网枪发射网弹，或无人机直接挂载抓捕网，或训练老鹰等飞禽，对无人机直接进行捕获，适用于拦截少量微小型无人机目标。针对传统防御手段具有态势感知滞后、防御范围有限、反制装备运动局限等问题，谢海斌<sup>[3]</sup>等提出利用大量低成本格斗型无人机主动前出，对敌无人机蜂群实施“侦、扰、拦、破、毁、捕”，这种主动防御方式可实施性强、反制效能高、附带损伤小，适宜优先采用。

## 2 反无人机蜂群智能对抗体系构想

### 2.1 功能概述

反无人机蜂群智能对抗体系是集作战指挥、侦察探测和反制拦截于一体的新型分布式空地协同智能对抗作战体系，支持昼夜持续作战，适应多种复杂作战环境，能实时、不间断地对无人机蜂群目标进行精确探测、识别与威胁预警，能辅助指挥员快速完成作战资源分配与调度决策，能协同运用多种毁伤拦截手段，有效应对无人机蜂群的威胁。

### 2.2 体系组成

反无人机蜂群智能对抗体系由空/地协同智能指挥通信系统、空/地协同智能探测系统、空/地协同智能拦截系统 3 部分组成，如图 1 所示。

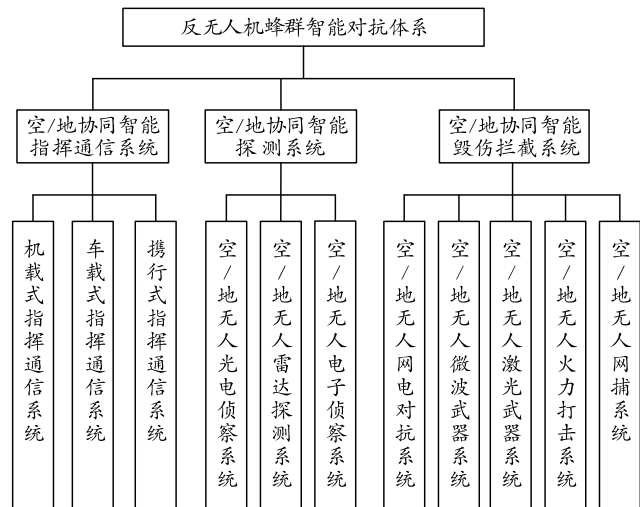


图 1 体系组成

#### 1) 空/地协同智能指挥通信系统。

空/地协同智能指挥<sup>[4]</sup>通信系统包括机载式指挥通信系统、车载式指挥通信系统、携行式指挥通信系统，能快速辅助空中机动指挥所、地面机动指挥所或一线分队作战人员完成无人机蜂群目标情报收集、威胁分析、决策规划及任务指令生成；能综合应用语音、手势、脑机等新型人机交互接口系统，快速生成和下达任务行动序列，实现对空/地无人侦察及无人拦截系统的指挥与控制；能实时评估行动效果，根据评估结果及时调整反制行动。

#### 2) 空/地协同智能探测系统。

空/地协同智能探测系统包括空/地无人光电侦察系统、空/地无人雷达探测系统、空/地无人电子侦察系统，能根据不同类别无人机蜂群目标的特性，基于数据融合、机器学习等技术，实现智能化自主探测、跟踪及多源/多模信息融合，能对“低、小、慢、群”目标的频率特征、电磁特征、图像特征、信息特征等进行精确识别。作战时，多种空/地无人侦察探测装备可按需分散部署、协同侦察，形成低空综合防空预警体系，对特定空域实施昼夜侦察监视。

#### 3) 空/地协同智能毁伤拦截系统。

空/地协同智能毁伤拦截系统包括空/地无人网电对抗系统、空/地无人微波武器系统、空/地无人激光武器系统、空/地无人火力打击系统及空/地无人网捕系统，能实现临机自主决策、协同干扰、协同打击及协同捕获。作战时，多种空/地无人拦截装备可分散部署、协同作战，构建综合、立体、多维的智能拦截体系，实现对无人机蜂群目标的有效破袭。

### 2.3 工作原理

反无人机蜂群智能对抗体系能实现对无人机蜂群目标的精确探测识别与敏捷智能拦截，其工作原理如图 2 所示。

作战使用过程中，反无人机蜂群智能对抗体系内各型空/地无人装备通常编组为多个侦察编队及多个毁伤拦截编队。作战全过程中，编队内及编队之间各空地无人平台均可自主协同，实时共享目标、平台状态及位置信息。

主要工作流程如下：

#### 1) 目标探测与识别。

空/地协同智能探测系统中的各型空/地无人侦察探测装备按照指挥所下发的侦察指令和行动序

列, 机动、部署到任务区域, 启动雷达、无线电、光电等探测传感器, 构建空、地一体的昼夜协同侦察监视网, 一旦发现无人机蜂群目标, 立即实施目标跟踪与识别, 并实时向指挥所回传目标情报、自身状态及位置信息。

### 2) 作战指挥与控制。

指挥员依托空/地协同智能指挥通信系统, 实时接收目标情报及各型空/地无人平台的状态、位置信息, 在线完成威胁分析、态势理解、协同任务分配及行动规划, 生成作战指令及行动序列, 并下达到各型空/地无人平台。

### 3) 综合毁伤与拦截。

空/地协同智能毁伤拦截系统中的各型空/地无人平台接收指挥员下发的任务指令及行动序列后, 优先启用网电对抗系统, 实现链路夺控, 干扰其定位信息及指令信息, 影响蜂群决策; 其次, 根据目标威胁程度, 使用激光武器、高功率微波武器、火力打击武器、网捕系统等手段, 对无人机蜂群目标进行拦截与毁伤。

### 4) 效果评估。

空/地协同智能探测系统实时侦察毁伤拦截效果, 并上报指挥所。指挥员利用空/地协同智能指挥通信系统完成反制效果评估后, 根据评估结果快速调整作战行动。

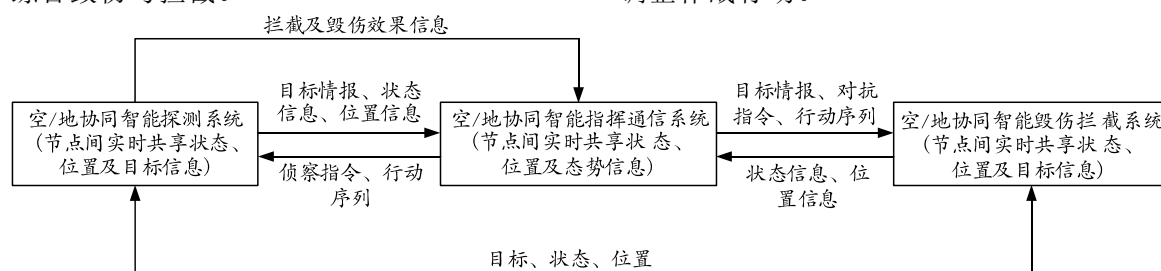


图 2 工作原理

## 3 关键技术

### 3.1 全息数字阵列雷达探测技术

全息数字阵列雷达是基于数字阵列天线实现多波束/宽波束发射和同时多波束接收, 通过凝视待检区域目标获得长时间积累<sup>[5-6]</sup>, 并对回波信号进行联合相干处理, 从而可实现对目标的全时空探测和多维度的高分辨探测, 对“低、小、慢、群”目标具备潜在的探测优势, 能有效消除传统雷达在对无人机蜂群目标探测过程中出现的目标模糊、分辨失效等问题。同时, 可重点突破基于联合运动补偿方法的积累增益改善方法、基于距离-多普勒域高分辨的群目标数量估计技术, 逐步形成对无人机蜂群目标数量的准确估计能力; 研究基于空间谱估计的卡尔曼滤波航迹生成方法、基于场景自适应和学习型表现模型的轨迹生成技术、基于凝视特性和霍夫变换的群目标轨迹检测技术等, 实现对无人机蜂群目标空间轨迹的准确估计与关联。

### 3.2 多源信息融合与智能态势认知技术

综合应用光电、电磁、雷达等多源传感器数据, 突破基于贝叶斯估计的多源异构传感器信息融合处理技术, 实现对无人机蜂群的高分辨探测与跟踪; 构建无人机蜂群目标特征库, 实现基于特征库的无人机蜂群编队阵型及编队类型识别; 开展群体智能

态势认知<sup>[7]</sup>算法、人机融合智能、分布估计算法、边缘计算和深度学习等技术研究, 实现无人机蜂群漏洞识别、关键节点定位及战术意图理解, 为反制行动规划与决策提供准确的情报信息支撑。

### 3.3 面向群体智能涌现的对抗决策与规划技术

构建反群体智能的协同对抗决策框架, 研究面向群体智能涌现的对抗算法, 建立反无人机蜂群作战规划与决策知识库, 研究知识推理与深度学习相结合的决策规划模型, 能智能识别无人机群体智能涌现规律及薄弱环节, 快速完成任务自主分解、作战资源协同策略生成、作战编组与配置、任务区分及行动规划, 形成体系协同作战方案及空/地无人平台行动序列; 能基于强化学习机制, 不断优化对抗决策模型与算法, 打造高智能、超融合、自演进的反群体智能决策规划系统。

### 3.4 基于区块链的群体自主协同与控制技术

围绕空/地无人反制装备自主协同控制问题, 基于区块链<sup>[8-9]</sup>的技术思想, 研究群体智能权益激励机制和基于实用拜占庭容错共识机制的多智能体交互方法, 建立基于战术意图及行动价值激励的分配与协同管理机制, 形成群体自主智能对抗引擎, 能按需聚合作战资源, 自动生成群体协同行动链, 提升空/地无人反制装备的临机协同及快速响应能力。

### 3.5 基于对抗样本的智能攻击与防御技术

基于无人机蜂群广泛应用深度学习算法的特性,深入研究有目标指向和无目标指向的对抗样本攻击算法,生成附加了轻微扰动而具有攻击性输入的对抗样本,实现对蜂群智能群体的数据攻击和信息欺骗;同时,从对数据集进行修改或预处理、对原网络模型进行修改、添加外部模型而不改动原模型的 3 个领域,研究对抗样本防御技术,从而实现反无人机蜂群智能对抗体系的攻防一体化设计。

### 3.6 高宽带实时抗干扰通信技术

突破干扰认知、智能抗干扰决策、高谱效 MIMO 传输技术、快速移动中高效信道估计技术、抗高动态载波间干扰技术、自适应编码调制技术、SDR 技术及自定义可变帧结构技术,形成抗干扰<sup>[10]</sup>技术体系标准,构建高宽带、抗干扰实时无线组网通信链路,实现反无人机蜂群智能对抗体系内各节点间的实时可靠通信。

### 3.7 基于人机智能融合的交互技术

基于反无人机蜂群智能对抗体系构成的多样性和复杂性,亟需在提高空/地无人平台自主化水平的基础上,不断提高人机交互的智能化水平,综合应用语音、摇杆、触控、按键、头动、眼动、脑电、肌电等多手段人机交互技术,实现人的智能与机器控制系统的智能融合,提高人机交互效率,实现对多种空/地无人探测装备及空/地无人毁伤拦截装备的多元化高效控制。

## 4 反无人机蜂群智能对抗体系优点分析

近年来,各国研制的反无人机系统包括美国的集装箱式反无人机系统(C-AUDS)、英国的 SkyWall 100 系统、以色列的 Drone Dome 系统以及国产的“低空卫士”反无人机激光炮等,这些系统仅能从某一方面进行反无人机作战,适用环境与作战距离均有较大的局限性。而笔者提出的反无人机蜂群智能对抗体系具有智能化、无人化特征,相比于传统的反无人机系统,具有以下优点:

1) 体系作战效能高:具备智能探测识别、智能态势认知、智能决策规划及智能协同控制能力,能综合应用光电、雷达、电磁等多种侦察手段以及网电对抗、微波武器、激光武器等多种新型毁伤拦截手段,可实现对无人机蜂群的快速发现与敏捷拦截,提高了反制无人机蜂群的体系化作战效能。

2) 作战样式灵活多样:体系内空中、地面无人系统可按需灵活机动,支持空/地无人系统之间的“空-空”、“地-地”、“空-地”3种协同作战模式,满足要地防护、机动伴随、边海防御等多场景下的反无人机蜂群作战需求。

3) 复杂环境下持续作战能力强:在作战空间内分散部署的大量无人化空/地侦察及武器系统,能在极寒、高温等复杂自然环境及高对抗、高风险战场条件下持续作战,具有人员伤亡小、作战效费比高等优点。

## 5 结束语

笔者基于“体系协同、智能制胜”的思想,从反制无人机蜂群智能涌现、瘫痪其网络信息体系的角度出发,依托空/地无人系统在复杂环境下持续作战时间长、人员伤亡率低、对时敏目标反应快等优势,构建了空/地一体的反无人机蜂群智能对抗体系,能基于人工智能算法和开放式智能指挥控制架构实现体系协同探测、人机智能融合决策及多手段协同对抗,实现对无人机蜂群目标的精确探测、智能识别和高效破袭,是反制无人机蜂群的有效手段,为我军发展智能化反无人机蜂群作战力量体系提供了思路。

## 参考文献:

- [1] 刘丽,魏雁飞,张宇涵.美军反无人机技术装备发展解析[J].航天电子对抗,2017,33(1):60-64.
- [2] 张静,张科,王靖宇.低空反无人机技术现状与发展趋势[J].航空工程进展,2018,9(1):1-8.
- [3] 谢海斌,闫家鼎,庄东晔,等.无人机集群反制技术剖析[J].国防科技,2021,42(4):10-16.
- [4] 李洪峰,王刚,崔小抗.对发展陆军无人化作战装备问题的思考[J].兵工自动化,2012,31(9):6-8.
- [5] 赵英潇.全息雷达长时间积累目标检测关键技术研究[D].长沙:国防科技大学,2019.
- [6] 陈杰.基于全息凝视雷达的机动目标长时间积累检测算法研究[D].长沙:国防科技大学,2019.
- [7] 彭亚飞.战场态势认知综述[J].兵工自动化,2021,40(7):24-27.
- [8] 廉简,朱启超,赵熠.区块链技术及其潜在的军事价值[J].国防科技,2016,37(2):30-34.
- [9] 陈珂乐.区块链共识算法的比较研究[J].软件,2019,40(4):219-221.
- [10] 李少谦,程郁凡,董彬虹,等.智能抗干扰通信技术研究[J].无线电通信技术,2012,38(1):1-4.