

基于无人机集群的电子战系统探讨

陈晓东¹, 刘学龙², 井应忠¹

(1. 南京电子技术研究所, 南京 210039; 2. 中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471000)

摘要: 现代战争形态由于技术和器件水平的飞速提升而变化巨大且对抗性明显增强,其主要特征是信息化。基于无人机集群的电子战系统由于其高度集成、信息化程度高、数量优势、高机动、低成本等优势在现代战争中凸显。文中对无人机集群发展现状、载荷的限制条件进行了分析,深入剖析关键技术,并探讨了电子战系统作战流程,还对存在的问题和面临的挑战进行了阐述,对无人机集群的对抗研究具有一定的指导意义。

关键词: 无人机集群; 电子战载荷; 集群控制

中图分类号: V279 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-7859(2020)05-0009-04

引用格式: 陈晓东, 井应忠. 基于无人机集群的电子战系统探讨[J]. 现代雷达, 2020, 42(5): 9-12.

CHEN Xiaodong, JING Yingzhong. A study on electronic warfare system based on UAV swarm [J]. Modern Radar, 2020, 42(5): 9-12.

A Study on Electronic Warfare System Based on UAV Swarm

CHEN Xiaodong¹, LIU Xuelong², JING Yingzhong¹

(1. Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

(2. Luoyang Electric Equipment Test Center, Luoyang 471000, China)

Abstract: The form of modern warfare has changed greatly due to the rapid development and improvement of technology and process level, and the antagonism is obviously strengthened. Main character of modern warfare is informationization. The electronic warfare system based on unmanned aerial vehicle (UAV) swarm is prominent in modern warfare due to its advantages of integration, high-grade informationization, quantity advantage, high mobility, and low cost. The development status of UAV swarm and the constraints of payload are analyzed, the key technologies are discussed in depth, the operation process of electronic warfare system is studied, and the existing problems and challenges are expounded, with certain guiding significance for the research of UAV swarm conflict.

Key words: unmanned aerial vehicle swarm; electronic-war payload; swarm control

0 引言

现代战争中电子战已经由以往设备形态单一、对抗方式简单的较量,发展为系统级、体系级的综合较量,作战域覆盖空间、空中、地面、水面和水下,涉及各军兵种和各个作战领域。另外,现代战争的突发性和迅捷性要求作战装备具备高机动、快撤快收和短时状态转换能力。星载装备常需战前规划、变轨和战时调用,耗时较长;地基固定装备不具备机动性;车载装备虽具备一定机动性,但需提前规划并到达指定阵地架设,耗时也长;舰艇载装备机动性差,战区受制。因此,满足机动和快速战斗的装备只有机载装备。但与有人机相比,无人机具有较多优势:机动性能更优;隐蔽突防能力较完善;可飞临敌防空或危险区上空,实施近距任务,还可实时评估毁伤效果;软硬杀伤结合,可避免飞行员伤亡。

为弥补单架无人机持续打击能力弱、多维度覆盖

任务区域能力差、任务容错性不足等局限性,同时应对高对抗性、不确定性、动态的战场环境,无人机的作战样式已逐步从单平台作战向多平台“集群”作战方向发展^[1-3]。由于采取“集群”技术的基本原则是分散使用大量低成本的无人武器,因而,这一作战理念能够实现对方区域的广泛占领,使数量再一次成为战争胜负的决定因素。本文对无人机集群发展现状、载荷的限制条件进行了分析,深入剖析关键技术,并探讨了电子战系统作战流程,还对存在的问题和面临的挑战进行了阐述,对无人机集群的对抗研究具有一定的指导意义。

1 无人机集群电子战系统发展现状

美国国防部高级研究计划局(DARPA)2000年启动无人机集群空中战役研究^[4],借鉴蚂蚁的信息素交互行为,支持无人机等侦察设备截获敌目标后通过释放“数字信息素”引导目标攻击,提出基于多智能体的非分层结构的自组织空中任务分配方法。

2002年,美“阿尔法计划”实验室研究“集群作

通信作者: 陈晓东 Email: 42227264@qq.com
收稿日期: 2020-01-17 修订日期: 2020-03-11

战”效能,结果表明无人机集群作战具有较高的效能优势;美国国防部在《无人机系统路线图 2005 - 2030》^[5]中指出,2025年后,无人机将具有集群战场认知能力,实现完全自组织作战。

2006年,美国空军技术研究院研究了基于多架构无人作战集群的自组织行为^[6],构建自组织框架,并在仿真条件下验证对无人机集群静态目标定位、打击效果。

DARPA在2015年启动“小精灵”分布式作战项目^[7],研究集群式无人机空中作战体系、作战样式,该分布式作战具有集群作战、网络化作战、赛博作战等特征,如图1所示。“小精灵”作为防区外小型、网络化、集群作战型无人机,可整合多平台侦察资源,动态任务统一分配,为引导干扰提供决策,压制敌防御系统,切断敌通信乃至向敌数据网络进行“赛博攻击”等,或引导火力精确打击。“小精灵”无人机具备快速发射后即时组网能力,可解决高速平台快速组网面临的信道多变、难以同步等问题。



图1 “小精灵”分布式作战示意

我国对无人机集群工作的研究已经起步,以中国电子科技集团公司、国防科大等单位为主体的研究团队在平台协同集群方面有了长足进展。中国电子科技集团公司已完成上百架小型无人机演示密集起飞、空中集结、多目标分组、编队合围、集群行动等动作。但基于电子战系统的平台及载荷间协同研究仍处于前期研究阶段,还未见较为明确的文献报道。

作战样式也是无人机集群项目的重要研究内容之一。通过无人机集群在高对抗环境下执行侦察、对抗、通信、对地攻击任务,具有作战样式灵活、作战自修复、作战置换比高等优势,对防守方的防空预警、攻击及对抗、低成本拦截等方面提出严峻挑战。

2 系统设计要点及关键技术

实战对抗过程中,大规模的无人机集群必须迅速并准确地分布于各个作战区域,进行有效的作战编队^[8-10]。大规模无人机集群,集成了侦察子系统、探测子系统、干扰子系统、任务规划子系统等多子系统,每个个体均需要具备相应的自主能力,但因其能力局限,个体间须相互配合与协调完成作战任务。因此,集群具有

分布式控制的本质特征。电子战的信息化特征明显,战场电磁环境复杂,集群要有载荷态势感知及智能任务分配能力,便于对任务协同规划、执行和效果确认。

2.1 集群控制和交互通信设计

电子战系统基于作战流程,首先对战场电磁环境进行无源探测,对空域进行有源探测;然后,干扰重点威胁目标和需要集中管控防护的区域,并随着突防系统或打击系统的作战完成进行作战效果确认。该作战流程中,无人机集群间的协同必须依靠集群内各子系统物理及逻辑上的信息和控制关系,针对流程逻辑进行的体系结构研究可将无人机集群各子系统结构和控制结合起来,保障集群内各子系统的信息和控制流畅通,为集群交互提供框架。集群控制算法以有效协同为迭代优化目标,而不依赖于集群数量。

无人机集群空间分布决定网络拓扑结构,电子战系统由于各子系统功能的差异及功能间交互协同关系的不同,采用的网络拓扑结构通信性能差异较大。基于通信质量约束的协同控制方法,就是保证各子系统间通信服务质量约束下,设计集群协同控制方法,并使得集群运动既满足任务需求,又使得集群构造的通信网络性能满足系统间交互传输的完整性、准确性、及时性和同步性,进而提升集群协同的任务效能。这种集群控制和交互既要基于电子战各子系统的工作关系,也要考虑子系统内的工作流程,并实现信息交互的闭环。

2.2 任务和路径规划技术

集群内和集群间有效的任务协同,保证结构控制不依赖于集群数量,构建自组织分布式体系结构,集群内各侦察、探测、干扰和任务规划等平台的任务确定、任务执行和任务闭环由集群自主完成;当面临敌方具备有源/无源探测、自卫/支援干扰、制导/防空武器体系协同时,需要由集群组成的网络发布任务信息和资源需求,集群各节点根据任务和资源情况综合决策,使得任意单节点的退出或加入均不影响作战效能。

集群对抗突遇多个单体毁损或作战对象发生变化时,须重新规划任务和路径,以有效提升作战效能。为满足协同工作的时效性,在线规划所用算法须实时、高效,可参考集群算法迭代搜索的特点,以原航迹为主航迹,快速获得修正航迹。整个任务执行中,各单体根据获得的实时/准实时环路作战过程信息,不断修正航迹,直至有效完成任务规划。

2.3 基于多源数据融合的态势智能评估

集群电子战能力首要是对作战对象及环境的精细无源侦察和有源探测,并根据结果进行多源数据融合^[11],对多类型属性的目标特性进行综合态势评估,为多任务协同的任务分配提供决策前置信息。按照精

细侦察/探测和目标对象多类型属性的特征进行分类,可提供的指标包含敌方目标类型、辐射源特征(含型号、体制、角度信息等)、电磁信号特征(含信号频率、信号持续时间、信号带宽、信号形式等)、机动能力,以及目标定量特性(含目标距离、目标速度、目标坐标、航迹属性等)。根据目标混合多类型属性,构建规范化处理的决策矩阵,并按照威胁程度排序,提升对集群及任务载荷构建作战环境的态势智能评估能力。

2.4 基于未知环境/多任务协同的智能分配

高效率的多任务智能协同分配方法是提升战场适应能力和作战效能的重要途径^[10,12],现阶段关于任务分配问题的研究主要集中在任务分配问题建模和任务分配求解算法两个方面。在任务分配问题建模方面,现阶段的研究成果主要是常规的任务分配算法及其优化与改进,但由于战场任务的复杂性和分配平台的多样性,常规任务分配模型难以描述多目标、多任务类型的任务分配,要寻求更为智能的任务分配方法。在任务智能分配求解算法方面,目前的研究成果主要有蚁群算法、遗传算法(GA)等。但这些研究大多针对较为单一的明确目标任务,不能解决多平台协同作战模型的多类型作战任务、同一任务的多平台协同等问题。因此,须结合多平台协同作战模型,构建多目标、多类型作战任务的任务智能分配算法,并通过任务间的交叉合作实现协同任务智能分配的优化与迭代。

2.5 平台及载荷长航时设计

无人机集群的平台长航时和载荷长航时设计均制约协同任务的执行以及综合作战效能的达成。对于平台来说,能承载更大载重是其设计目标,但相较载荷来说,限制其长航时需求的是轻量、小型化、低功耗设计。采用微系统和芯片技术,将收发射频、信息处理和电源在芯片尺度上集成,能够使设备质量、体积、功耗等适应轻小载荷的需求。微系统技术已经完成了从概念到某些产品应用的全过程,在技术实现上已完成较多突破。

3 基于集群的电子战系统作战流程

基于无人机集群的电子战系统作战,是以对作战对象的无源侦察/有源探测的目标识别、打击确认和引导打击、作战效果评估为链条。由于集群对抗中信息的多元化和不完全、不确定性,电子战系统是一个复杂的动态变化过程^[1,13],空战对抗态势随着时空和作战进程的推进而不断更替。单体平台作为智能体须依据动态态势和相应准则调整自身策略,同时与其他单体平台协同,与敌方博弈,以达成作战使命。

3.1 无人机集群侦察/探测与识别

据上文所述,集群对抗态势受时空约束具有极强的更替性,因而在确定性、不充分的条件下,在线实时

主/被动感知和目标区分对集群对抗任务的顶层决策和态势评估具有关键支撑作用。对抗过程中,一要提高侦察/探测的作战对象截获概率;二要实时覆盖全频域、全空域、时域持续,采集到的多类传感器信号结合有源/无源信息融合,并迭代融合结果,按照规划时序进行任务协同,实现无人机集群对抗效果的最优化。

3.2 集群自适应灵活决策

集群对抗的协同优势主要是基于信息融合和资源互补实现的,但单体是任务直接受控者,并持续与集群交互,促使对抗过程的不断演化。因此,集群对抗最终是要依赖于集群的对抗规则,即无人机依据敌我双方态势、自身飞行状态、自我资源等因素,采取任务与资源匹配的攻击策略,如攻击敌机、威胁回避、支援友机、战术协同等,使得在对敌攻击、瓦解敌方意图、态势评估和自身损失等方面的综合效益最大化。

3.3 电子战系统集群对抗态势评估

态势评估是對抗决策与资源分配的必要条件,由于集群对抗威胁可来自任意空域、频域,作战装备类型多样,且存在诸多不完全、不确定性,态势评估的需求复杂多变。这就需要集群中每个无人机利用自身感知的环境信息和集群内共享信息进行深度融合,并进行数据挖掘,分析理解敌方的作战意图、战术战法。例如,作战对象轨迹数据蕴含的信息,需要采用机器学习、深度学习等方法对其进行有先验/无先验支撑的数据挖掘和模式分类,推断作战对象的行为意图,这对于态势评估和对抗决策有着重要意义。另外,态势评估和对抗决策也应是循环的闭环系统,以达到更优的作战效能。

4 存在的问题和面临的挑战

现阶段,基于集群平台控制的自适应调控研究和试验验证已达到一定的深度和广度,但是基于各类型任务载荷与集群平台协同控制的自适应调控方面的研究和试验验证还有待深入,其作为自适应决策的核心,与任务高效执行、任务使命达成息息相关。

无人机集群是分散/集中使用大量低成本的轻量小型化无人平台武器。因此,单体平台的供电、载重能力并不突出,对于搭载的传感器限制极大。在已有报道中,无人机集群的信息感知方式多为无源定位手段。这是由于无源探测设备体积小、功耗小、质量轻,能够适配于低成本、轻型化的无人机平台。但对于无辐射信号的目标,无源探测手段使用受限,无法指引打击或进行打击效能评估,这就大大限制了无人机集群的作战使用。因此,有源探测的手段也在发展,而且也应大力发展,有源/无源探测的态势信息融合有助于提升评估和决策的有效性。然而,提升系统综合效能常与载

荷的体积、质量、功耗相互冲突,如何综合考量各因素之间的平衡与取舍亦是立项设计的决策难点。

小型化设计依赖于微系统芯片的设计开发,目前微系统芯片的设计、生产周期过长,工程化的集成芯片化微系统用于无人机集群存在一定的不确定性。另外,平台间的协同特性也是制约最大作战效能发挥的关键因素,常规的任务级协同、数据级协同能够在一定的时间、空间同步下达到相应的效能,对时间、空间同步要求更高的信号级协同也是集群协同作战的发展需求之一。

5 结束语

无人机集群作战技术正处于快速发展时期,随着战场需求的持续变化,无人机集群自主协同能力不断提升,集群作战必将成为未来战场各形态应用的重要作战样式,其携带的电子战任务载荷也将发挥更为重要的作用。本文对集群发展现状、载荷的限制条件进行了梳理,剖析关键技术,并探讨了电子战系统作战流程,还对存在的问题和面临的挑战进行了阐述,对无人机集群的对抗研究具有一定的指导意义,以期在未来战场中取得对抗优势,充分发挥集群作战效能。

参考文献

- [1] 牛轶峰,肖湘江,柯冠岩. 无人机集群作战概念及关键技术分析[J]. 国防科技, 2013, 34(5): 37-43.
NIU Yifeng, XIAO Xiangjiang, KE Guanyan. Operation concept and key techniques of unmanned aerial vehicle swarms [J]. National Defense Science & Technology, 2013, 34(5): 37-43.
- [2] 罗德林,吴顺祥,段海滨,等. 无人机协同多目标攻击空战决策研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(24): 6778-6782.
LUO Delin, WU Shunxiang, DUAN Haibin, et al. Air-combat decision-making for UAVs cooperatively attacking multiple targets [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(24): 6778-6782.
- [3] 朱艳萍. 多无人机协同攻击策略研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
ZHU Yanping. Research on collaborative attacking strategy of unmanned aerial vehicles [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [4] BORDEAUX J. Self-organized air tasking: examining a non-hierarchical model for joint air operations [C]// 2004 International Command and Control Research and Technology Symposium. San Diego: Command and Control Research Program, 2004: 1-89.
- [5] Office of the Secretary of Defense. Unmanned aircraft systems roadmap 2005-2030 [R]. Washington D. C.: Department of Defense, 2005.
- [6] PRICE I C. Evolving self-organized behavior for homogeneous and heterogeneous UAV or UCAV swarms [D]. Wright-Patterson Air Force Base: Air Force Institute of Technology, 2006.
- [7] DARPA. Friendly gremlins could enable cheaper, more effective, distributed air operation [EB/OL]. [2015-08-28]. <http://www.darpa.mil/news-events>.
- [8] 黄家成,谢奇峰. 基于遗传算法的协同多目标攻击空战决策方法[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29(1): 49-52.
HUANG Jiacheng, XIE Qifeng. Air combat decision of cooperative multi-target attack based on genetic algorithms [J]. Fire Control & Command Control, 2004, 29(1): 49-52.
- [9] 王网琴. 无人机群协同空战决策研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
WANG Wangqin. Research on collaborative air combat strategy of unmanned combat aerial vehicles [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.
- [10] 赵振宇,卢广山. 无人机协同空战中的目标威胁评估和目标分配算法[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(12): 60-71.
ZHAO Zhenyu, LU Guangshan. Research on threat assessment and target assignment algorithm for multi-UAV cooperative air combat [J]. Fire Control & Command Control, 2011, 36(12): 60-71.
- [11] 何友,王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
HE You, WANG Guohong. Multisensor information fusion with applications [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [12] 肖刘. 基于多智能体的多无人机编队算法[J]. 航空电子技术, 2014, 45(2): 4-7.
XIAO Liu. Multiple UAV formation arithmetic based on multi-agent [J]. Avionics Technology, 2014, 45(2): 4-7.
- [13] 罗德林,张海洋,谢荣增,等. 基于多agent系统的大规模无人机集群对抗[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(11): 1498-1504.
LUO Delin, ZHANG Haiyang, XIE Rongzeng, et al. Unmanned aerial vehicles swarm conflict based on multi-agent system [J]. Control Theory and Applications, 2015, 32(11): 1498-1504.

陈晓东 男,1978年生,硕士,高级工程师。研究方向为电子对抗、复杂电磁环境构建、侦察接收。

刘学龙 男,1982年生,硕士,工程师。研究方向为雷达及雷达对抗。

井应忠 男,1981年生,硕士,高级工程师。研究方向为电子对抗、复杂电磁环境构建。