

文章编号: 1002-0640(2012) 01-0073-05

## 有人 无人战斗机协同空战模式及能力需求分析\*

付昭旺,寇英信,于 雷,李战武  
(空军工程大学工程学院,西安 710038)

**摘 要:** 针对未来空战的特点对有人 无人战斗机协同空战的作战模式及能力需求进行了研究。从信息链到武器链时空过渡的角度分析了有人 无人机协同空战的作战优势;提出了两种典型的有人 无人机协同空战方式,并给出了作战过程描述及功能结构分析;基于“观测-评估-决策-执行”指挥控制环分析了有人 无人机协同空战的指挥控制流程;基于协同空战的任务需求提出各参与平台的能力需求。此研究对有人 无人机协同空战的发展具有一定的指导意义。

**关键词:** 协同空战,作战优势,指挥控制,能力需求

**中图分类号:** E926.3 V279

**文献标识码:** A

## Operational Modes and Capability Requirements for Cooperative Air Combat of Manned Vehicle and Unmanned Vehicle

FU Zhao-wang, KOU Ying-xin, Yu-lei, LI Zhan-wu  
(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract** Cooperative modes and capability requirements for cooperative air combat of manned vehicle and unmanned vehicle are proposed based on the characteristics of the future air combat. Firstly, the operational advantage of manned vehicle and unmanned vehicle cooperative air combat is deeply analyzed based on the information transformation style, then, two cooperative combat mode are proposed and the combat process and functional structure are analyzed separately. Third, the command and control problem is searched based on the Observe-Orient-Decide-Act command and control circle. At last the capability requirements for each platform of cooperative combat system are analyzed. This research will be certain significance for the development of cooperative air combat of manned vehicle and unmanned vehicle.

**key words** cooperative air combat, operational advantage, command and control, capability requirements

### 引 言

多机协同空战是指由多种战斗机组成的编队体系在探测、指挥控制、信息传输处理与武器打击之间进行的深层次配合的联合作战方式,它全面考虑整个作战过程,是战术、技术和装备体系有机结合下实

施的作战行动。传统上,协同空战一般是指多种有人飞机(编队)之间的协同,本文扩充了这一概念的外延,协同空战不仅指多种有人机之间的协同,而且应包括有人机和无人机的协同,后者称为有人-无人机协同空战,这种空战方式具有更大的作战潜力和应用前景。

有人-无人机协同空战是指:将具有远距探测能力的有人机作为指挥机,将不具备远距探测能力、隐身性能良好并且携带制导武器的无人机作为攻击机,指挥机位于敌机的火力打击范围之外,攻击机处于指挥机的监视空域,在数据链信息的支持下,攻击机和指挥机通过密切协同来完成信息获取、战术决

收稿日期: 2010-10-15

修回日期: 2010-12-09

\* 基金项目:“十一五”预研基金(KJ-050402011),航空科学基金(20085196011),航空科学基金资助项目(20095196012)

作者简介:付昭旺(1985-),男,湖南邵阳人,博士生,研究方向:协同作战,体系对抗。

策、指挥引导、武器发射和武器制导等火控过程达成作战任务。阿富汗战争中,美国用“掠夺者”作为载体,发射了“海尔法”空地导弹,实现了无人机直接对地攻击,改变了无人机的作战模式,也初步体现了有人/无人机协同作战的优势和通过其他平台引导无人机发射精确制导武器作战的有效性<sup>[1]</sup>。

在未来的战争中,各种武器平台之间一体化协同作战将是一种重要的作战模式,而无人战斗机也必然成为协同作战系统中的重要组成部分,多平台协同作战将使各种资源得到充分、合理地配置,从而极大地提高作战效能。当前,无人机与有人机协同作战的模式已成为无人机作战运用研究中的一大热点,引起了世界各国极大的研究兴趣<sup>[1-4]</sup>。

## 1 有人/无人机协同空战的作战优势

有人/无人机协同空战实现了“传感器”和“射手”空间上的有效分离,而通过数据链实时高效的信息共享,又保证了“传感器”和“射手”协同的高度一致性,有人/无人机协同作战方式改变了信息链到武器链的时空过渡方式,其作战优势主要体现在以下几个方面:

(1)可以实现“发现即摧毁”的作战模式。网络中心战的重要特征是从传感器到打击平台的链路中信息的高效流动。现代空战中,载机对目标的探测和跟踪距离远远大于武器发射距离,有人/无人机协同作战方式可以将有人机获得的目标信息及时、充分地利用起来,迅速达成作战效果,大大缩短从目标信息获取到组织火力打击的作战过程。

(2)能有效地应对现代空战的复杂电磁干扰环境。现代空战都处在复杂电磁环境下,作战飞机的传感器容易受到敌方的干扰或反辐射导弹的攻击,而有人/无人机的协同作战方式,等于将传感器建立在后方飞机上,避免受到敌方反辐射导弹的攻击,同时,多机的传感器可以组成一个信息源网络,每架载机作为网络上的一个节点,任何一个或多个节点功能的毁坏都不会影响其他节点的正常工作,增强了复杂电磁环境下战场信息的保障能力。

(3)可以实现灵活的作战战术。因为无人机不涉及人员伤亡问题,能够承担有人机无法执行的危险性战斗任务,比如抵近目标实施近距离的电子干扰或深入危险空域完成侦察干扰等。同时,由于无人机不进行电磁辐射,仅采用数据链进行通信,信息流量小、通讯频率较低,保密性好,不易被敌方察觉和截获,可实现隐蔽接敌和静默攻击战术。

(4)能大大提高作战效能。有人/无人机协同空战充分发挥了人的决策优势和无人机的特点,通过优势互补、分工协作,将各自的效能发挥到最大。在作战过程中,有人机处于安全地带,通过指挥控制无人机执行作战任务,降低了飞行员的作战风险,无人机造价低廉,能大量投入使用,无人机特有的“我亡敌亡”的作战方式将使敌人防不胜防。进攻作战中,采用无人机进行先期作战,可以消耗敌人的有生力量,为后续的有人机作战创造空战优势,防御作战中,在无人机的协同下,几架有人机就能防御广阔的空域,能减少兵力和作战资源投入,降低作战成本,提高了防御效率。

## 2 有人/无人机的协同作战方式

有人/无人机的协同作战从目标探测开始,经过目标截获、跟踪、瞄准直至武器发射等一系列作战过程。根据协同方式和传递信息不同可以分为传递目标信息与传递控制指令两种协同空战方式,如图 1(a)和图 1(b)所示。

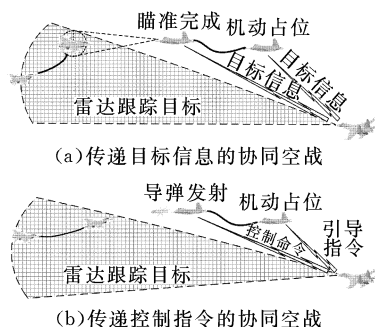


图 1 两种协同空战方式

### 2.1 传递目标信息的协同空战

传递目标信息的协同作战方式是指:有人机获取目标信息,然后通过数据链将目标信息传递给无人机,无人机将收到的目标信息经过坐标转换、滤波、误差处理后进行火控解算,得到控制指令,自主完成机动站位和武器发射,后续的武器制导可由有人机完成,也可由无人机完成,由无人机完成制导要求有人机持续地给无人机提供目标信息,无人机仅作为制导信息中转平台,其协同流程如图 2 所示。

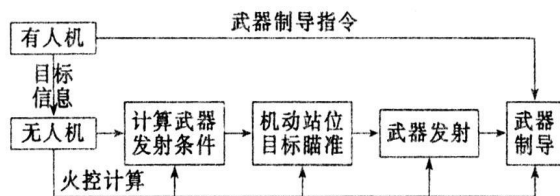


图 2 传递目标信息的协同作战

传递目标信息的协同空战,有人机只给无人机提供实时的目标指示信息,包括目标编号、目标类型、目标位置、飞行速度等目标参数,由无人机自己完成火控计算,这就要求无人机装备简易的火控系统,使其具有一定的自主作战能力。无人机的火控系统应包括机载传感器、火控计算机、外挂物管理系统、飞行控制系统和数据链终端设备,如图 3 所示

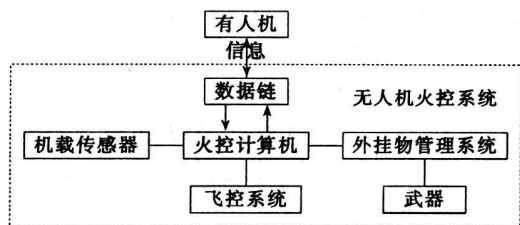


图 3 无人机火控系统结构

火控计算机是无人机火控系统的核心,主要对各种内部和外部信息源进行处理,产生火力和飞行控制指令。飞行控制系统主要用于稳定无人机飞行姿态角和飞行航迹。机载传感器主要用于获得无人机的飞行状态信息。数据链设备用于无人机和有人机进行信息交换。外挂物管理系统完成武器管理和武器投放

## 2.2 传递控制指令的协同空战

有人机给无人机传递的控制指令主要包括引导指令和控制命令,传递引导指令是指有人机跟踪测量目标信息,并根据无人机和目标的空间位置及运动状态实时解算无人机对目标的火控解,得到无人机要完成攻击的引导指令并传递给无人机。无人机根据引导指令进行机动飞行,一旦无人机进入武器发射区域,有人机向无人机传递武器发射控制命令,无人机即发射武器并脱离,后续的武器制导由有人机完成,其协同流程如图 4 所示

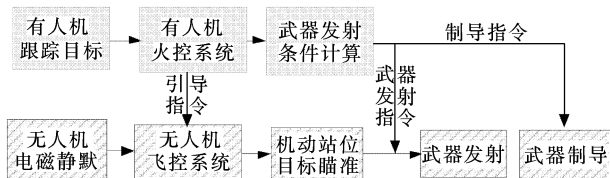


图 4 传递控制指令的协同作战流程

传递控制指令的协同空战是一种全程引导式的协同,在作战全过程无人机均需要有人机提供控制指令,有人机不仅要获得目标的信息参数还需要无人机回传自身的位置参数。有人机只需要给无人机提供引导指令和控制命令,引导指令参数主要包括无人机飞行航向、飞行速度、飞行高程、飞行时间,控制命令包括无人机的作战方式、武器发射时机和发

射方向等。无人机一方面根据引导指令来完成自身的飞行控制和导航解算,并打包回传自身的飞行状态及位置参数,另一方面,根据有人机的控制命令使用资源和发射武器

全程引导式的协同方式,无人机仅作为一种空中武器发射平台,只须装备飞控系统和导航定位装置,而不必装备探测设备和火控系统,防止了电磁暴露,能提高攻击的隐蔽性和突然性,所以这种协同方式具有巨大的作战效能和发展潜力。将成为未来一种重要的有人/无人机协同作战方式。

## 3 协同作战的指挥控制

有人/无人机协同作战的指挥控制是指有人机对无人机在任务执行各阶段中的飞行、通信、战术运用和武器发射的监管、指挥和控制。协同空战体系本身就是一个复杂的控制系统,与传统的协同空战方式相比,无人机不具备和有人机一样的自主性,这对有人/无人机协同空战的指挥控制提出了更高的要求。从国外研究情况来看<sup>[5]</sup>,有人/无人机协同作战指挥控制是一个十分复杂的问题,它具有系统的复杂性、决策信息分布性和控制过程的高度实时性。3 个特点,涉及到无人机平台的自主控制、信息通信、人机交互和动态反馈等多方面内容,目前国内对有人/无人机协同控制的研究尚处于探索阶段<sup>[6]</sup>。

经典的观测-评估-决策-行动的决策控制模型或称为 OODA (Observe, Orient, Decide, Act) 指挥控制环。由美国上校 John. R. Boyd 提出,广泛应用于指挥控制、决策分析领域,如图 5 所示。

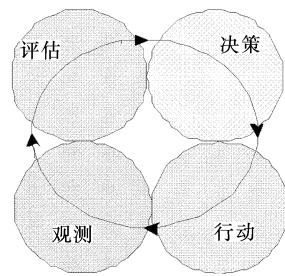


图 5 指挥控制中的 OODA 循环

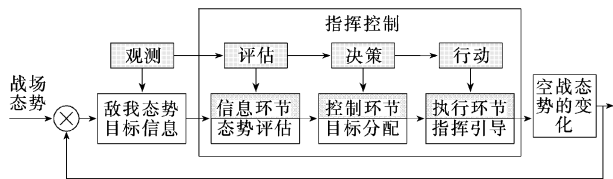


图 6 有人-无人协同作战的指挥控制流程

OODA 循环以嵌套的形式关联,基于 OODA 环的角度而言,有人/无人机协同空战中,最小的 OODA 循环是 1 架有人机和 1 架无人机组成的作战系统的闭环控制环。对应于 OODA 控制环节,有人机主要完成观测、评估和决策 3 个环节,而无人机则

完成行动环节。观察是指有人机获取战场态势信息和目标信息,评估是通过对获取的信息进行处理完成战场态势评估,决策是指根据评估结果完成目标分配,行动是指无人机根据有人机的指挥引导执行攻击过程。这种循环类似于非线性的反馈控制系统的控制流程<sup>[7]</sup>,如图6所示。流程主要包括3个功能环节:信息环节、控制环节和执行环节,统称为指挥控制环节。

在多架无人作战飞机协同攻击的条件下,有人机要同时控制空中的多架无人机,保证多无人机之间时间、空间上的高度协同,这对有人机的指挥控制提出了极高的要求。为了降低有人机的指挥控制难度和飞行员的指挥压力,可以在无人机上装备一套信息交联设备,使多无人机之间保持一定的交互性和协作性,使无人机能自主地避免类似碰撞、误攻击等非战斗损失。

## 4 作战平台能力需求分析

有人/无人机协同作战是一个复杂的体系,要达成一定的协同作战效果,各参与作战平台必须要具备与执行自身任务相匹配的能力需求。在协同作战过程中,主要涉及有人机、无人机和武器3种作战平台,有人机主要完成目标信息获取、战场态势感知、目标分配和指挥引导等作战任务;无人机完成机动飞行、目标瞄准、武器发射和信息反馈等作战任务;武器平台主要完成接受制导指令、反馈位置和命中目标的任务。所以,有人/无人机协同空战中对各作战平台的能力需求应基于各平台的任务需求进行分析。

### 4.1 有人机的能力需求

在协同作战系统中,有人机主要任务是完成信息获取、信息处理和战术决策并给无人机传递信息(目标指示或控制指令),信息是影响整个系统作战效能的主要因素,体现在以下4个指标:一是信息获取的空间范围,二是信息全面性,三是信息的精确性,四是信息的稳定性。与之相应的能力需求为:①要求其机载雷达具有较大发射功率,最好装备相控阵雷达,保证对远距离目标的探测和跟踪能力;②要具有多目标跟踪能力,能高效地完成多批次目标的目标识别、运动参数测量、目标航迹管理;③要装备高分辨率机载雷达或多种探测设备,并配备强大的火控计算机进行信息处理,提高信息精度;④机载雷达应具有较强的电子对抗能力,确保其在复杂电磁干扰环境下正常工作,提高信息保障能力。

### 4.2 无人机的能力需求

无人机作为协同空战系统中的作战执行者,也是整个指挥控制环的终端环节,无人机的作战能力对整个协同系统的作战效能具有直接影响。由于现代空战作战空域广阔,所以无人机首先应具备长航时、大范围飞行能力,如美国发展的“全球鹰”无人机,活动半径大于1000 km,续航时间大于24 h,基本能满足现代空战作战范围的需求;其次,无人机要装备精确的导航设备,能够对自身进行精确定位,否则引导过程中积累的定位误差可能导致攻击引导失败;再则,作为武器发射平台,无人机应尽可能多挂载制导武器,并且应尽可能地接近目标发射武器,前者要求无人机有足够的体积和动力,后者要求无人机应具有优良外型隐身能力和较大的巡航速度,通过保持长时间的低可探测并采用大速度巡航来尽可能地接近目标。

### 4.3 武器的能力需求

现代空战的主要武器是空空导弹,考虑到空战实际,无人机主要应装备中距雷达制导导弹或反辐射导弹,也可以装备少量近距导弹,由于无人机的体积较小,所以应控制导弹的重量,一是可以减小载荷以增强无人机的机动性,二是可以防止部分导弹发射后对无人机造成不平衡力矩,影响其飞行性能。由于在协同过程中,存在导弹的制导交接问题,所以要求导弹装备双向数据链,以向制导载机回传自身的位置信息来提高武器的制导精度。

### 4.4 数据链的能力需求

数据链是有人机和无人机之间实现的互通、互联的纽带,也是实现有人/无人机协同作战的关键所在。一方面,由于目标、有人机、无人机和武器都是高速运动作战平台,数据链要能保证分布在不同空域的各作战平台实现实时的信息传输,其信息传输延时应达到毫秒级;另一方面,有人机和无人机在协同作战时可能相距很远,这就要求数据链具备远距传输能力,考虑到空战实际,如果仅以加大发射功率来提高数据链的传输距离,则容易被敌方探测或截获。所以,装备一种低功率、远距离的数据链系统显得十分必要。

## 5 结 论

无人机是充分利用信息技术革命成果而发展的高性能武器装备,将对提高战斗空间感知能力、高风险目标攻击能力和电子战能力等起到重要作用,未来空战的制空权将由无人机来协助支配。有人/无人

机协同空战具有极大的作战潜力和应用前景,是未来空战发展的重要方向。随着无人战斗机的发展和传感器技术、数据链技术的成熟应用,多机之间高精度、高速度信息传输能力为有人/无人机协同作战提供了有力技术支撑。本文通过对有人/无人战斗机协同空战作战优势、作战方式、指挥控制和各作战平台能力需求的探讨,对未来协同空战的发展方向进行了有益的探索。

## 参考文献:

- [1] Thomas J. Cooperative Engagement: Concept for a near team Air-To-Air Unmanned Combat Aircraft system [M]. Browning Lt Col, USAF 2006.
- [2] 彭 辉,相晓嘉,吴立珍,等.有人机/无人机协同任务控制系统[J].宇航学报,2008,29(5): 136-141.
- [3] 肖 霞.有人机过渡到无人机的变革与挑战[J].电子对抗,2007(4): 36-39.
- [4] Linquist E. Cooperative Engagement Capability Provides Combat Capability Through Connectivity [J]. Naval Forces, 2005, 26(1): 56-58.
- [5] 曹菊红,高晓光.多架无人机协同作战智能指挥控制系统[J].火力与指挥控制,2003,28(5): 22-25.

- [6] 王宏伦,王英勋.无人机飞行控制与管理[J].航空学报,2008(5): 51-55.
- [7] 罗继勋.预警机指挥控制飞机及编队作战原理[M].北京:解放军出版社,2009.
- [8] 高劲松,陈峭东,李 锋,等.无人战斗机火控系统研究的几个问题[J].电光与控制,2003,10(1): 36-41.
- [9] 祝小平,周 洲.作战无人机的发展与展望[J].飞行力学,2005,23(2): 1-4.
- [10] Chen Y L, Gregory B, Easley M. Market2based Collaborations for Unmanned Air Vehicle Operations [M]. Proc. IEEE 2006 Workshop on Distributed Intelligent Systems, 2006.
- [11] 金国栋,卢利斌,方传中.反辐射无人机需求和效能分析[J].现代防御技术,2006,34(2): 27-31.
- [12] 龙 涛.多UCAV协同任务控制中分布式任务分配与任务协调技术研究[D].长沙:国防科技大学博士学位论文,2006.
- [13] Butenko S, Murphey R, Pardalos P. Cooperative Control Models, Applications and Algorithms [M]. Kluwer: Academic Publishers, 2003.
- [14] 朱泽君,孔垂炼,邵 晓.无人机前置协同舰艇编队实现海战场的指挥控制[J].舰船电子工程,2009,29(6): 77-81.

(上接第 62页)

control law for braking phase of manned lunar soft landing. The optimal trajectory is iteratively searched based on the Pontryagin's maximum principle and GA. Then the non-linear control law based on the limit cycle is presented to track the optimal trajectory. Since the thrust of DPS cannot vary near the maximum thrust, the RCS is used to eliminate errors. Simulations show that the closed-loop control is very effective in tracking the optimal trajectory. And the fuel is saved at least 71.95 kg comparing with traditional guidance law in total. In conclusion, the guidance and control law obtained in this investigation is of lower fuel consumption requirement and robust.

## References

- [1] Floyd V B. Apollo Experience Report-mission Planning for Lunar Module Descent and Ascent [C]//NASA TN D-6846, 1972, 3.
- [2] Floyd V B, Thomas G P. Study of Powered-descent Trajectories for Manned Lunar Landings [C]//

- NASA Project Apollo Working, 1963 3-6.
- [3] Guidance System Operations Plan for Manned LM Earth Orbital and Lunar Missions using Program Luminary 1C (LM 131 Rev. 1), Section 5. Guidance Equations. (Rev. 8). Apollo Guidance Navigation Control. R-567. MIT [M]. Cambridge, Massachusetts, 1970.
- [4] Christopher N D. An Optimal Guidance Law for Planetary Landing [M]. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, USA, 1997, 1376-1381, AIAA-97-3709.
- [5] Liu H M, Feng J H, Gui H T, et al. Guidance Law Designing and Its Errors Analyzing for Lunar Soft Landing [J]. Journal of System Simulation, 2009 (2): 936-943.
- [6] Wang D Y, Ma X R, Li T S, et al. Neuro-Optimal Guidance Law for Lunar Soft Landing [J]. Systems Engineering and Electronics, 1999, 12 31-36.
- [7] Duan J H, Xu S J, Zhu J F. Optimization of Lunar Soft Landing Trajectory based on Ant Colony Algorithm [J]. Journal of Astronautics, 2008 (3): 476-481.
- [8] Klumpp A R. Apollo Lunar Descent Guidance [J]. Automatic, 1974, 10(2): 133-146.