

# 无人机编队飞行问题初探

朱战霞, 袁建平

(西北工业大学 航天工程学院, 陕西 西安 710072)

**摘 要:** 回顾了国内外无人机的发展历史和近年来的发展趋势, 简要介绍了无人机在军事、国民经济和科学技术方面的作用。分析了单架无人机执行任务时面临的问题和编队飞行的优势, 介绍了国内外在无人机编队飞行方面的研究状况, 同时对保证无人机编队飞行的关键技术进行了探讨和分析。

**关 键 词:** 无人机; 编队飞行; 关键技术

**中图分类号:** V279 **文献标识码:** A

## 引言

无人机由于具有重量轻、尺寸小、机动性高、隐蔽性好、适应性强和不必冒生命危险等特点, 在民用和军用领域受到广泛关注。近年来, 无人机在战争中用于执行侦察、监视、设置假目标、骚扰与诱惑和电子干扰等任务, 取得了相当好的战果, 使人们越来越意识到它的作用与潜力。除了靶机和侦察机之外, 无人机逐渐向攻击型和战斗型方面发展, 而且应用领域也越来越广。在军事上主要用来侦察、监视、通信中继、电子对抗、战果评估、骚扰、诱惑、反潜、目标攻击等; 在国民经济上用于大地测量、气象观测、城市环境监测、地球资源勘探、森林防火和人工降雨等; 在科学技术上用于大气取样, 对核、生、化污染区的取样与监测等; 另外, 由于无人机与空间飞行器都属于无人驾驶范畴, 在某些方面具有相似之处, 所以空间飞行器新型元器件、子系统、有效载荷的飞行试验也可以用无人机来进行先行验证。

无人机作为一种有效的侦察、作战、防卫工具, 虽然在近年来体现了较大的优越性和一些潜在的新用途, 但是, 如何尽可能地发挥其作用仍然是人们关注的焦点。为了提高无人机的作战效率, 拓宽其使用范围, 国外近几年提出一种全新的概念——无人机编队飞行。它可以弥补单架无人机执行任务时面临的问题, 具有自己独特的优势和发展前景。将无人机

和编队飞行结合起来是对无人机发展的一个新领域, 可以拓宽无人机的应用范围, 提高其使用效率。

## 1 无人机的发展历史以及面临的问题

虽然早在1913年就证实自动驾驶仪具有自动操纵飞行器的能力, 但这并没有立即使人们将注意力集中于无人机的发展和研制上, 在之后长达40多年的时间里, 无人机的发展相当缓慢。从20世纪60年代开始, 无人机的价值逐渐被人们所认识, 研制的步伐也开始加快。在20世纪70~80年代的中东战争中, 小型无人机崭露头角。1982年6月, 在有名的贝卡谷地战役中, 以色列用自制的“侦察兵”和“猛犬”等无人机, 收集了叙利亚的火力和战场情况, 取得了突出的战果, 引起了各国的震惊。在20世纪90年代的海湾战争中, 多国部队成功地使用了多种无人机执行侦察、战场损伤评估、火炮校正和人员搜救等任务。据统计, 在“沙漠风暴”行动中, 美军仅“先锋”无人机就出动307架次, 飞行1 011 h。由于无人机在执行前线 and 深入敌后的作战任务中无人员伤亡而且连续作战性强, 因此受到作战部队的广泛欢迎。以上事实充分证明, 在以信息技术为主的现代局部战争中, 用无人机来执行侦察、监视、设置假目标、骚扰与诱惑和电子干扰等任务, 取得了相当好的战果。世界上许多国家都在研制和开发自己的无人

收稿日期: 2002-04-12; 修订日期: 2002-09-05

基金项目: 西北工业大学“英才培养计划”基金资助项目

作者简介: 朱战霞(1973-), 女, 陕西武功人, 讲师, 博士, 主要从事飞行器飞行动力学与控制研究;

袁建平(1957-), 男, 陕西宜川人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为飞行器动力学与控制及GPS应用。

机,包括美国、法国、加拿大、英国、德国、意大利、日本、澳大利亚、中国等。我国无人机的研制开始于 20 世纪 60 年代左右,除靶机外,已经发展研制出数十种不同类型、配套完整、功能齐全、性能先进的无人机,包括长空系列、ASN 系列等。

从世界无人机发展趋势看,近年来,除了靶机和侦察机外,无人机的研制逐渐向其他类型发展,包括反雷达型、大高度超音速型、人工智能型、悬翼式、空空交战型等。

对于单架无人机,它虽然具有重量轻、尺寸小、机动性高、隐蔽性好、适应性强、不必冒生命危险等一系列有人驾驶飞机无法比拟的优点,但仍然存在相应的问题。主要有:

(1) 执行侦察任务时,如果飞机中途出现故障,必须中断任务返回维修,这对民用虽无关紧要,但在战争中有可能贻误战机而破坏整个作战计划;

(2) 执行对地观测任务时,由于摄像机角度的限制,只能看到局部信息,有可能遗漏或者丢失目标。同时单架无人机只能从一个方向对目标进行观测,相机不能同时获得不同方位的立体图片和数据,影响了可靠性和逼真度;

(3) 在侦察范围上,单架无人机受到限制,有可能遗漏目标;

(4) 对于攻击型、战斗型无人机,其主要任务是摧毁敌方目标,需要尽可能按计划和要求圆满完成既定任务,以便保证整个战略战术的整体效果。若单架机出征,除同样存在前面提到的问题外,在作战范围、杀伤半径、摧毁能力、攻击精度等方面也受到限制,使执行任务的成功率受到影响。

以上这些问题使无人机的应用受到一定的限制,如何解决就成为研究的焦点。

## 2 无人机编队飞行的优势

近年来,国外有些专家提出了无人驾驶飞行器编队飞行的概念。编队飞行最初是针对空间飞行器(主要是卫星)提出的,目的是为了降低卫星的研制发射成本,提高卫星对地观测的覆盖率,实现多方位多视角观测、三维立体相干成像、电子侦察、三维成像云层气象观测等。从理论上来说,当然也可以用于无人机上。

所谓无人机编队飞行,就是将多架无人机按照一定的形状进行排列,并使其在整个飞行过程中保持队形不变。编队的主要目的就是保持各飞机之间所给定的相对姿态和相对位置,这可以通过控制飞机相对于某一特定点的距离来实现,这个特定点可

以是编队中心点或者是飞在最前面的飞机(首机)或者是其他抽象化的点。

无人机采用编队飞行具有以下优点:

(1) 可以扩大视野。采用一定的编队进行飞行,可以扩大侦察和搜索的范围;

(2) 通过调整相机在飞机上的安装角度,编队飞行可以实现对目标的全方位立体拍照,提高信息的逼真度。这可用于实现空间对地观测,比如侦察和监视地面目标、军事测绘、大气测量与观测、近地环境变化监测等。由于无人机自身的特点,使其可以近距离对地面目标有选择性和针对性地实施观测,并且可以进入敌方阵地进行监视,提高情报的可靠性和时效性。在实际应用中,可以随时随地进行,设备简单,操作方便,灵活可靠;

(3) 编队飞行无人机可以进行星载设备的演示验证。将准备用于卫星上的某些设备先安装在无人机上进行演示,以便对设备的性能进行评估,验证其实际应用特性并分析设计方案,成功后再转移到卫星上使用。相对于直接在空间飞行器上进行试验,具有耗时少、费用低、技术难度小、便于方案的实施修改和完善、易于操作、研制周期短等特点;

(4) 编队飞行可以提高无人机的整体效率。对多架飞机采用一定的编队飞行,在执行任务时的成功率和抗突发事件的能力都比单架飞机飞行(简称单飞)高。例如,在某次任务的执行过程中,有一架飞机出现故障不能继续,那么它可以返回进行维修,而其余飞机仍旧按照原来的计划保持编队飞行,使任务得以圆满完成;

(5) 可以提高命中率。对战斗机而言,多架飞机的编队飞行可以同时从不同角度对同一目标进行全方位攻击,扩大命中范围,提高杀伤力和命中率;也可以同时对多个敌方目标实施攻击,扰乱敌防空体系,提高战斗的时效性;

(6) 从气动效率和结构强度方面考虑,编队飞行可以减小整体上的飞行阻力。对近距离编队飞行来说,可以获得相当于大展弦比飞机的气动性能,同时不至于减小飞机所具有的结构强度,也不会增加飞机的重量,即可实现重量轻、展弦比大、气动性能好、结构强度高等优点。

虽然编队飞行具有单飞无法比拟的优点,但是,要将编队飞行应用于实际飞行中,还会涉及到很多问题。无人机的编队飞行属于一个较新的研究领域,虽然也有人对无人机编队飞行的构形设计、编队控制进行了讨论和研究<sup>[1,2]</sup>,但是,实际应用的却寥寥无几。不过,有些研究机构已经在积极进行这方面的试验与研究。例如,斯坦福大学 GPS 实验室正在研

究利用无人机编队飞行作为演示验证平台来验证导航系统的性能。这种导航系统是他们自己组装的一种新的多天线 GPS 接收机与惯性测量单元,为此,先用单架无人机(Dragonfly UAV)进行了设备的性能测试,成功之后又购买了一架同样的无人机,用两架飞机编队组成导航平台,设计与试验了协同飞行路径规划、交通车辆报警、故障恢复、逃逸机动等技术<sup>[3]</sup>。国内在无人机编队飞行方面的研究还处于起步阶段,资料相对很少,有待于进一步探讨。

### 3 无人机编队飞行需要解决的关键技术

无人机进行编队飞行时,首先要具备单架机飞行所必须的系统控制、通信、信息融合、数据压缩、传感器、飞行控制、机身与推进系统等技术,除此之外,还需要解决以下几个关键技术:

(1)编队队形设计。利用无人机编队飞行执行任务时,队形的设计和选择是一个重要方面。在设计编队队形时,除要考虑飞机间气动力影响之外,还要考虑任务要求及飞机间信息交换的冗余度,同时保证编队机动时不至于发生相撞;

(2)航迹规划。利用无人机编队飞行实现既定的任务,必须进行航迹规划和设计。在编队飞行中,最优的航迹是保证编队容易保持,尽可能没有大速率的机动转弯,并且飞向目标区域的航迹尽可能短,还要尽量避开敌方的雷达,或者在飞行过程中暴露在敌方雷达下的机率最小等<sup>[4]</sup>;

(3)编队控制。根据特定任务对编队队形的要求,要控制编队队形在整个飞行过程中保持不变或者在一定的误差范围内变化。分布式编队的实现将需要紧密维持和控制参与编队任务的飞机间的相对距离和方位<sup>[1]</sup>,包括对飞机相对(绝对)位置、姿态的测量和对其变化的敏感度;选取合适的传感器;编队机动、防撞以及孔径的优化;编队飞行控制系统的模型建立;编队和单个飞机之间的自主性,包括高等级的故障检测系统和故障修复系统,提高任务的鲁棒性;多架飞机组成的飞行编队的分散控制器设计和计算方法等;

(4)信息互换和传递技术。编队飞行过程中,既要保证飞机与地面控制站之间信息和数据的传递,还要保证编队飞机之间信息和数据的实时收集、传递和处理。无人机系统的信息包括目标信息、环境信息、状态信息等,既来源于飞机自身的传感器,也来源于其他机载、星载和陆海基传感器,是一种空间与地面立体的、动态的信息。操作人员根据遥显信息以

及任务分析和规划、导航、情报等,借助于数据链实时地操纵或监控无人机。为了适应无人机这一全新特殊的控制方式,必须研究基于计算机网络和无线通讯网络的信息网络化技术,研究存在网络延迟和时钟不同步时的信息实时收集与处理方法;

(5)近距离编队时飞机之间的气动影响。编队飞行(特别是近距离编队飞行)中,作用在飞机上的力与力矩,必须考虑气动干扰的影响<sup>[2]</sup>。飞行中的一些仿真计算,包括气动力数据表以及可以看作是飞机状态量函数的力和力矩,对于单架飞机可以应用常用的方法计算,但是,对于多架飞机的编队飞行,不能应用同样的方法。编队飞机之间的相互作用是飞机间相对距离和相对方位的函数,因此,必须推导一种可行的公式,使仿真计算时能够考虑编队飞机间的相互影响。

### 4 结束语

由于无人机编队飞行可以弥补单机执行任务时的不足,提高完成任务的成功率,使其很可能成为无人机发展和应用的一个新动向。但是由于编队飞行所需技术还不成熟,有待于进一步研究,所以距离实际推广应用还需要时间。

### 参考文献:

- [1] Wolfe J D, Chichka D F, Speyer J L. Decentralized controllers for unmanned aerial vehicle formation flight [R]. AIAA Guidance Navigation and Control Conference, AIAA-96-3833, 1996. 1-9.
- [2] Proud W, Pachter M, D'Azzo J. Close formation flight control [R]. AIAA Guidance Navigation and Control Conference, AIAA-99-4207, 1999. 1 231-1 246.
- [3] Eric Hallberg, Isaac Kaminer, Antonio Pascoal. Development of a flight test system for unmanned air vehicles [J]. IEEE Control System Magazine, 1999, 19(1): 55-65.
- [4] McInain W, Beard W. Trajectory planning for coordinated rendezvous of unmanned air vehicles [R]. AIAA Guidance Navigation and Control Conference, AIAA-2000-4369, 2000. 1 247-1 254.

(下转第12页)

## The Development of Earth Observation Science and Space-Station-Based Earth Observation

WEI Juan<sup>1</sup>, NING Fang-li<sup>2</sup>, HUANG Yong-xuan<sup>1</sup>

(1. *Institute of System Engineering, Xi'an Jiaotong University,*  
*Xi'an 710049, China;*

2. *Mechanical Department, Northwestern Polytechnical University,*  
*Xi'an 710072, China)*

**Abstract:** This paper mainly summarizes the development of earth observation science and based-space-station earth observation. The predominance, type and application of earth observation based on the manned space station will be discussed seriously. Then, the important meaning of based-space-station earth observation to China will be introduced. Finally, information-net-based-space based on the space station and growing development of remote sensing will be presented as the trend of development of earth observation.

**Key words:** earth observation; space station; information-net-based-space; remote sensing

(编辑:王育林)

=====

(上接第 7 页)

## Discuss on Formation Flight of UAV

ZHU Zhan-xia, YUAN Jian-ping

(*College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University,*  
*Xi'an 710072, China)*

**Abstract:** The UAV's phylogeny and its development trends in recent years are reviewed. Then its uses in military, economics, science and technology are introduced briefly. The problems are analyzed when using one UAV to carry out the mission and the advantages of formation flight are posed. The external and internal progress and research degree of UAV formation flight are also introduced and the key technologies which ensure the formation flight are discussed and analyzed.

**Key words:** UAV; formation flight; key technology

(编辑:王育林)