

doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2014.12.004

引用格式: 高遐 熊健. 有人机/无人机协同概念及相关技术[J]. 电讯技术 2014, 54(12): 1612-1616. [GAO Xia, XIONG Jian. Concept and Relevant Technologies of Cooperative Operation for Manned-Unmanned Aerial Vehicles[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(12): 1612-1616.]

有人机/无人机协同概念及相关技术*

高遐¹** 熊健²

(1. 空军装备部, 北京 100081; 2. 中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要: 针对有人机/无人机协同作战概念和若干技术问题展开研究。首先从协同对象、协同层次、协同阶段、任务类型等四个方面分析了有人机/无人机协同概念, 然后对协同控制系统研制涉及的通用开放式架构、机间智能通信网络、有人机/无人机协同控制、多传感器协同信息处理等技术进行了探讨, 最后提出了发展建议, 期望为后续研究提供一定的参考。

关键词: 有人机; 无人机; 协同作战; 协同控制

中图分类号: TN915.03 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-893X(2014)12-1612-05

Concept and Relevant Technologies of Cooperative Operation for Manned-Unmanned Aerial Vehicles

GAO Xia¹, XIONG Jian²

(1. Equipment Department of Air Force, Beijing 100081, China;
2. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper discusses the cooperative operational concept and several technical issues of manned-unmanned aerial vehicles. Firstly, it analyzes cooperative operational concepts from the aspects of collaborative platform, collaborative level, collaborative phase and mission type. Then, it presents several system development technical issues including general open software architecture, intra-flight intelligence communication network, manned-unmanned aerial vehicles coordinated control and multi-sensor data processing. Finally, it gives some suggestions in hope of providing some valuable references for further researches in this area.

Key words: manned aerial vehicle; unmanned aerial vehicle; cooperative operation; coordinated control

1 引言

随着无人机大量投入常规情报搜集与实际战争, 并获得极大的成功, 催生了对无人机能力扩展的新需求, 而无人机与有人机组编协同作战是这种能力扩展的重要方面。美国国防部在最新发布的无人系统综合路线图^[1]中指出“美国军事中心从中东转移至亚太地区以后, 有人无人编队将成为一种基本作战模式”, 进一步强化了有人无人编队的作战意义。

美、英等国^[2-6]从20世纪末就开展了一系列有人无人编队技术研究计划, 研究作战概念、关键技术,

并通过飞行试验验证有人机控制无人机的可行性、有效性和实用性。特别是在2011年9月, 美国陆军开展的“有人无人系统综合能力演练”(Manned Unmanned Systems Integration Capability Exercise, MUSIC)全面验证了直升机、地面部队、通用地面控制站等对多种类型无人机的综合互操作集成作战能力。

有人无人编队技术已经过了大量的研究, 并在部分平台上装备形成作战能力, 但是各方面对有人无人编队概念以及所涉及的关键技术等方面的认识还比较模糊。本文将在分析国外有人无人编队技术领域

* 收稿日期: 2014-11-26; 修回日期: 2014-12-18 Received date: 2014-11-26; Revised date: 2014-12-18

** 通讯作者: 122589790@qq.com Corresponding author: 122589790@qq.com

研究的基础上对基本概念体系进行梳理,重点探讨所涉及的关键技术问题,最后提出后续发展建议。

2 有人无人编队协同概念分析

按照美国国防部《2011~2036 无人系统综合路线图》定义,有人无人编队(Manned-Unmanned System Teaming)是指有人与无人系统为执行相同任务而建立的整体编队,通过平台互操作和资源共享控制,以达成共同的任务目标^[7]。

可以从协同对象、协同层次、协同阶段和协同任务等多种视角来分析概念内涵,如图 1 所示。

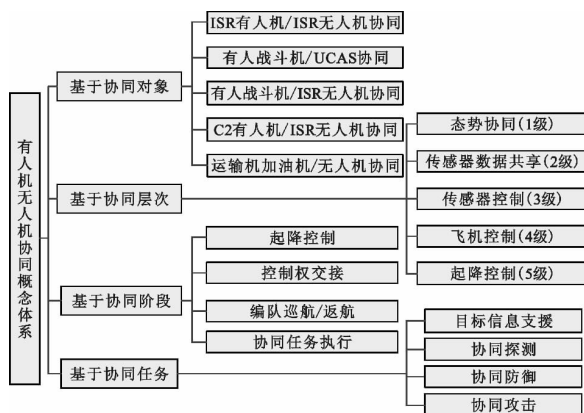


图 1 有人无人机协同概念体系

Fig. 1 Cooperative operational concept architecture of manned-unmanned aerial vehicles

2.1 基于协同对象视角的概念体系

从协同对象上看,有人机包括了指挥控制类、ISR类、战斗机类、运输机/加油机类等平台,无人机包括了ISR类、UCAS类、察打一体类等平台。

协同对象在飞行速度、任务能力等方面应具备匹配性。ISR有人机与ISR无人机协同,可实现协同探测,提升目标信息获取的完整性和准确性;有人战斗机/UCAS协同主要进行目标信息支援、协同目标定位、协同攻击,缩短目标攻击任务完成时间;有人战斗机与ISR无人机协同主要用于提升前者目标打击的准确性和实时性;C2有人机与ISR无人机协同主要为目标信息支援和协同探测,提高前者的战场态势感知能力;加油机/运输机与无人机协同主要提升对灵活作战力量的投送能力和控制能力。

2.2 基于协同层次视角的概念体系

如图 2 所示,从协同层次上看,按照无人机 5 级互操作等级,包括经无人机地面站的态势共享、有人机无人机之间直接的传感器数据传输、无人机载荷控制、飞行控制、起降控制等,级别越高,控制能力越强,涉及的关键技术越多越复杂。

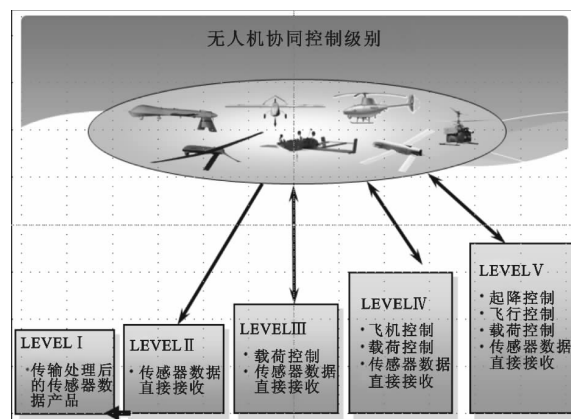


图 2 协同控制层级

Fig. 2 Coordinated control level

随着研究的深入和技术的发展,未来控制级别将划分越细,层级越多。有人机对无人机的控制存在一对一、一对多和多对一的控制关系,但某一级别的控制权仅能由一个平台掌握,未来将以发展一架有人机对多架无人机的高级协同控制为主。

2.3 基于协同阶段视角的概念体系

从协同阶段上看,在无人机任务剖面的不同阶段,可实现不同对象、不同层级、不同任务类型的协同方式。

起飞降落阶段主要实现起降协同控制;控制权交接是有人机控制无人机的前提,包含有人机之间的交接、有人机和无人机地面站间的交接;协同任务执行包括目标信息支援、协同探测、协同防御和协同攻击等任务类型;巡航/返航阶段涉及到编队飞行、空中加油等多种协同方式。

2.4 基于任务类型视角的概念体系

从任务类型上看,无人机可作为有人机的忠诚僚机执行目标信息支援、协同探测、协同攻击等任务。

目标信息支援包含目标打击前的信息支援和或打击后的战场评估,主要用于战斗机间、无人侦察机与有人战斗机间,可由 1~2 级协同层级提供。为实现该能力,主要应解决平台间时空同步、目标信息传输实时性和稳定性的问题。

协同探测包含协同空域搜索、协同目标定位、协同目标跟踪、协同目标识别等,可由 3~5 级协同层级提供,实现时主要应解决传感器资源管理、多源传感器数据融合、多源信息自主分发的问题。4 级以上时需解决多机编队航迹实时管理的问题。

协同攻击主要用于战斗机间的协同,包括协同大型目标饱和攻击、分布式多目标打击、协同电子/火力攻击、它机制导等,应具备 3~5 级协同层级,应解决武器资源管理的问题。为提升操作的稳定性和

规范性,减少操作复杂度,还应制定标准的协同消息集,解决智能辅助决策、人机界面优化等问题。

为实现多种协同对象间的多任务、多级别协同控制,降低开发维护成本,机载无人机协同控制系统的研制可采用开放式、通用化、可扩展的任务处理架构,并通过无人机群智能通信网络、有人/无人机协同控制、多传感器协同信息处理等关键技术的攻关,增强有人/无人机协同编队间信息交互的稳定性,降低有人/无人机操作员工作复杂度,提高多平台传感器资源利用率和协同探测能力。

3 相关技术研究

3.1 开放式、通用化、可扩展任务处理架构

现有无人机采用专用、定制、封闭任务处理架构,存在系统复杂、研制成本高、开发周期长、模块互换与升级扩展难度大等问题。开放式、通用化、可扩展任务处理架构可有效解决专有架构的这些问题,提供平台内部组件之间、不同平台之间的高度互操作性。

硬件架构可选用以太网、PCI 串行总线或 VPX 总线的多处理模块集成处理架构形式,开放系统接口标准,解决平台内部与外部系统间的网络化互联能力,并提供多总线冗余备份。

如图 3 所示,软件架构建议采用分层处理架构,包括板级支持层、操作系统层、中间件层和应用层,其中,中间件层是该架构的核心,为系统提供通用的操作环境,包含接口服务(I/O)组件、传输服务组件、基础管理组件等。

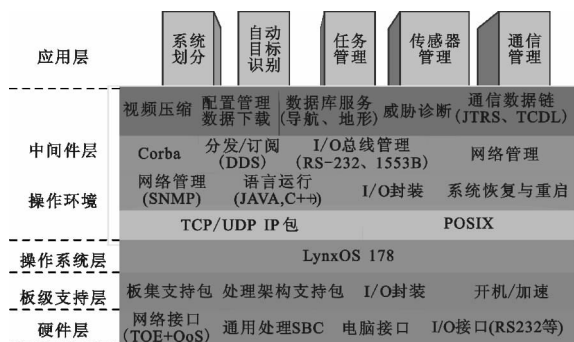


图3 软件架构示意图
Fig. 3 Software architecture

接口服务组件包括接口驱动、接口服务管理、数据传输等功能,提供标准接口API和消息规范。标准消息集的确定应满足有人/无人编队中所涉及的各项要素,如地面控制站、编队长机、编队成员等。

如图 4 所示,传输服务组件提供公共对象请求代理体系架构(CORBA)、数据分发服务(DDS)、网络服务(Web service)等多种分布式系统服务,实现

发布/订阅、请求/响应等多种传输管理方式,并兼容传统如 1553B、RS422 等总线功能^[8]。在开放式服务架构下,可提供点到点、端到端的多种能力,可以使用开放式传输协议、时间同步方法等功能,并且可根据需要进行灵活配置。

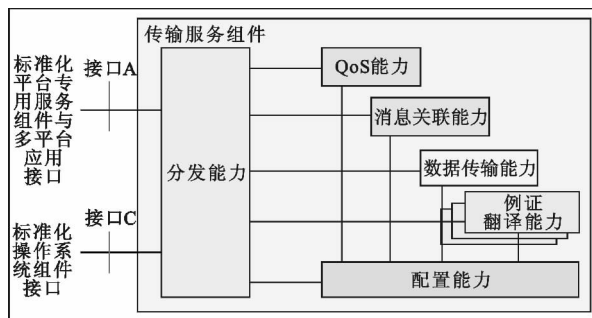


图4 传输服务功能
Fig. 4 Transmission service function

基础管理组件包括了简单网络管理协议(SNMP)网络管理、视频压缩处理、配置管理、数据库服务等。

3.2 无人机群智能通信网络技术

无人机群作战、有人/无人机协同作战需要形成分布式网络,主要交互信息包括威胁信息、航线与路点、目标位置与类型、武器投放确认、位置与状态报告、情报广播等。

在网络架构上,典型包括视距星状网络、超视距星状网络、蜂窝状网络、网状网络等4种形态,如图5所示。其中,视距/超视距星状网络、蜂窝网络等依赖于地面站的中心控制与中继能力,时延较长,不适用于现有非对称链路;网状网络是一种自组织网络形式,编队内部、编队与地面站之间可采用定向或全向等不同链路,部署灵活方便,时延低,可动态适应不同编队要求和拓扑变化。

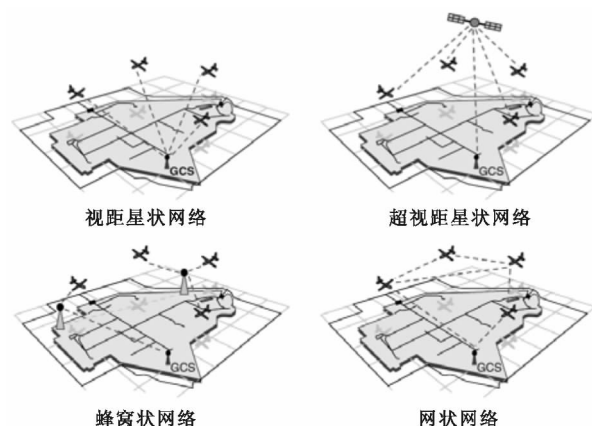


图5 网络架构
Fig. 5 Network topology

网络性能判据包括连接性、数据交互成功率和
服务发现率等,如图 6 所示。

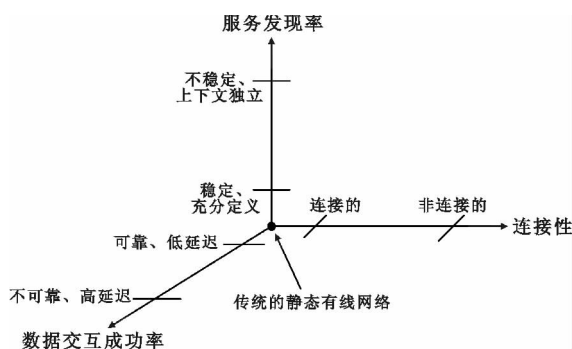


图 6 网络性能判据

Fig. 6 Network performance criterion

无人机群通信网络智能化网络的主要特点有实时性、安全性、鲁棒性、抗毁性、智能性。

网络实时性是指传输的低延迟特性以及对高优先权业务的服务质量保证能力,是保障有人机协同控制无人机进行高效目标发现、决策、跟踪定位、攻击环路先决条件。

网络安全性包括系统安全和数据安全两个方面,网络系统安全指防止通信网络阻塞、中断、瘫痪或者被非法控制;网络数据安全是指防止通信网络中传输、存储、处理的数据信息丢失、泄露或者被篡改。

网络鲁棒性是指在网络系统面临内部结构或外部环境改变时能够维持其功能的能力。有人无人机协同面临成员损失、链路状态、控制层级及对象、拓扑结构变化等,要求网络在多样和动态变化的环境下具备保持网络性能的能力,即鲁棒性。

网络智能性是指网络具有智能化的维护管理能力,具体表现为“自学习、自形成、自维护/管理”3 个关键特征,以达到无人监管辅助下的自主运行,并保证高威胁环境下的网络顽存性。

3.3 有人无人机协同控制技术

机载无人机控制系统与地面无人机控制系统的关键差别是操作人员少且需兼顾本平台操作,因此机载无人机控制系统需具备更简明优化的人机接口,更智能的实时任务规划和控制能力,为操作员提供容易理解的战场态势、完整精确的目标信息、可简化操作的决策辅助提示、自动的控制指令转译等。

人机接口技术包含显示和操作两个部分。关于界面显示,可通过附加实际的三维地理数据,结合数据处理模块生成的敌我双方力量部署、威胁范围、运动趋势等战场数据,生成利于操作员识别的战场态势图;基于生成的无人机航迹、传感器工作参数等数据,生成有地形地貌、威胁标注的有航迹动态显示

图、传感器扫描速率/探测范围动态显示图;通过画中画等形式,全角度显示各传感器获取的目标原始数据^[4]。关于界面操作,可充分利用界面复选框、提示选择、文本输入框、鼠标点击、语音输入、飞行操纵杆等对无人机进行一键操控或精细化操作。

无人机实时任务规划技术即基于交战规则知识库、算法模型,采用编队协同管理、飞行规划、传感器规划、武器规划、通信规划工具,构建任务规划器,自动进行实时动态任务规划,生成目标威胁等级、目标分配、攻防编组、角色分配、无人机任务模式、飞行模式等要素的任务序列,为飞行员提供决策辅助,减少作战过程中的操控复杂度,提高操作的实时性和科学性。

无人机控制技术即将任务规划生成任务序列,转换成无人机可理解的飞行、载荷控制指令发送至无人机,包括飞行速度、方位角和姿态等飞行指令,以及传感器的工作时间、工作参数配置、武器发射时间、制导模式设置、武器授权和解锁、通信链路工作时间、工作设备等载荷控制指令。

3.4 多传感器协同信息处理技术

有人无人机进行传感器协同探测时,将涉及同类或异类的传感器协同。如图 7 所示,通过多传感器协同信息处理技术将传感器数据进行时空统一、格式统一,转换成系统可识别的传感器数据报告,再经融合分配和融合控制,选择合适的融合算法和优化的资源调度,进行分级式融合,生成更准确的目标分类信息、高级别的战场态势和精确的目标信息。典型协同处理包括电子支援措施(ESM)协同信息处理、地面移动目标指示(GMTI)协同信息处理、异类传感器数据处理等。

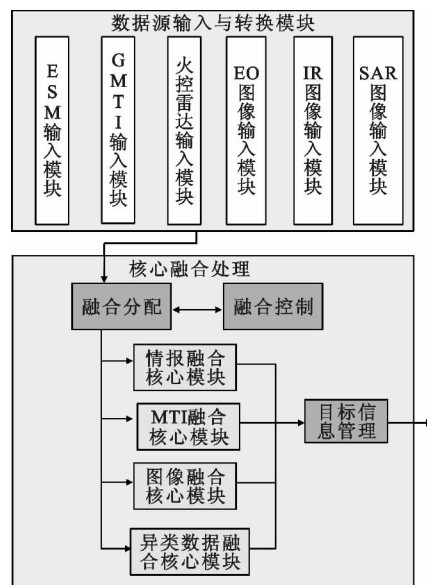


图 7 多传感器协同信息处理流程

Fig. 7 Flow of multi-sensor data processing

情报融合主要用于 ESM 协同对辐射源定位,可延长目标定位距离,提升定位精度。处理过程为:有人机接收其他 2~3 个无人机平台获取的目标脉冲描述字信息,通过时空转换和描述字配对,得出各平台间的到达角度差、到达时间差或到达频差,再经滤波算法,计算预测得到辐射源的精确位置信息。三机通道到达时间差协同定位仿真结果表明,辐射源定位精度将由单平台的 5% 左右提升到 0.1% 以上。

GMTI 协同从不同视角探测目标,可提高目标跟踪的连续性和方位向的定位精度,信息处理过程包括地理坐标转换、预测、聚类、价值计算和目标航迹分配等。其中,地理坐标转换是指基于平台位置将同一时间片段获得的航迹转换到同一坐标系下,预测即通过滤波算法滤除虚假点;聚类是将战场上的点迹按地理区域划分成点簇,以减少后期计算复杂度;价值计算是通过矩阵计算每簇点迹与预测轨迹的相似度;目标航迹分配即使用优化算法匹配各点迹到预测航迹里。

异类协同可综合利用多种传感器对同一目标进行探测,克服各传感器的探测距离、气象等环境因素的限制,提高目标发现概率和目标信息的完整性及精确性。典型协同传感器组合为 ESM/图像传感器、ESM/GMTI、GMTI/图像传感器,其信息处理主要流程包括坐标转换、目标信息通用要素提取、聚类分簇、目标拟合、目标信息与图像叠加等。

4 发展建议

现有无人机均发展专用“机-站-链”系统体系,要实现有人无人编队协同还存在较大困难,开放化、型谱化、通用化、标准化演进的趋势不可避免。为切实推动有人无人协同技术的长足发展,后续重点关注和研究的方向主要包括以下三个方面。

(1) 加强需求分析,完善系统架构

深化有人无人协同作战应用及协同模式研究,充分分解协同控制流程,全面梳理关键技术,形成完善的机载控制系统架构和无人机受控系统架构。

(2) 重视顶层规划,提升协同互操作能力

构建完善的协同体系,推进有人无人协同系统标准化工作,促进功能软件开放化、控制自动化、界面简化,逐步实现有人机对无人机的通用化控制与融合。

(3) 落实技术路径,逐步提升控制层级

重点突破基于决策辅助的实时规划与控制技术、人机系统接口(HSI)技术、高动态自主信息分发等三方面关键技术,逐步实现对无人机 LOI-2~5 级的互操作水平,解决有人无人编队协同作战问题,在提高生存性的同时增强任务效能。

5 结 语

随着无人机平台及新技术的不断发展及应用,未来有人无人机协同作战的战略意义和重要性日益凸显。本文从协同对象、协同层级、任务阶段等角度初步构建了有人机无人机协同的概念体系,并提出了若干关键技术问题的解决方法和后期发展建议,旨在促进该技术领域的快速发展,将有人无人编队协同概念推向实际应用。

参考文献:

- [1] The Department of Defense of USA. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011 - 2036 [R]. Washington DC: DoD 2012.
- [2] Veth M, Busque J, Heesch D, et al. Affordable Moving Surface Target Engagement [C]//Proceedings of 2002 IEEE Aerospace Conference. Montana, USA: IEEE, 2002: 2545 - 2551.
- [3] Butler A. U. S. Army Testing More MUM - T Technology [J]. Aviation Week & Space Technology 2014: 10.
- [4] Balinda M, Mark E, Robert Y, et al. Hunter Standoff Killer Team (Hskt) Ground And Flight Test Results [J]. Proceedings of SPIE 2007 6578: 1 - 14.
- [5] Kurnaz S, Cetin O. Autonomous Navigation and Landing Tasks for Fixed Wing Small Unmanned Aerial Vehicles [J]. Acta Polytechnica Hungarica 2010 7(1): 1 - 10.
- [6] Johnson D. Manned/Unmanned Common Architecture Program (Mcap) Net Centric Flight Tests [J]. Proceedings of SPIE 2009 7345: 1 - 10.
- [7] The Department of Defense of USA. Unmanned System Integrated Roadmap FY2013 - 2038 [R]. Washington DC: DoD 2014.
- [8] 王焱. 有人/无人协同作战[J]. 电讯技术, 2013, 53(9): 1253 - 1258.
WANG Yan. Cooperative attack for manned/unmanned aerial vehicles [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(9): 1253 - 1258. (in Chinese)

作者简介:



高 遐(1973—),女,北京人,2010 年获博士学位,现为工程师,主要从事装备管理方面的研究;

GAO Xia was born in Beijing in 1973. She received the Ph. D. degree in 2010. She is now an engineer. Her research concerns equipment management.

Email: 122589790@qq.com

熊 健(1975—),男,四川成都人,硕士,高级工程师,主要从事通信数据链、机载综合信息系统方面的研究。

XIONG Jian was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1975. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns communication data link and airborne integrated information system.