

doi: 10.3969/j.issn.1001-893X.2018.07.020

引用格式: 顾海燕. 美军无人机集群作战的发展启示[J]. 电讯技术 2018, 58(7): 865-870. [GU Haiyan. Development inspirations of US multiple-UAV cooperative engagement[J]. Telecommunication Engineering 2018, 58(7): 865-870.]

美军无人机集群作战的发展启示^{*}

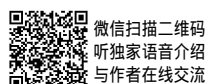
顾海燕^{**}

(中国西南电子技术研究所 成都 610036)

摘 要: 总结了美军无人机集群作战主要项目及特点, 列举了典型的无人机集群作战应用模式, 提出了涉及的通用化开放式架构、集群通信网络、空中平台发射与回收、无人机自主性提升等关键技术及解决途径, 并在此基础上给出了发展启示。

关键词: 无人机集群; 集群通信; 开放式架构; 无人机自主性

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



微信扫描二维码
听独家语音介绍
与作者在线交流

中图分类号: V279; TN915.03 文献标志码: A 文章编号: 1001-893X(2018)07-0865-06

Development Inspirations of US Multiple-UAV Cooperative Engagement

GU Haiyan

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper summarizes the project development process and characters of US multiple-UAV cooperative engagement, presents representative cooperative operational application modes, proposes key technical issues and solutions including open architecture, communication network, autonomous functionality. Finally, it gives development inspirations and suggestions for further researches in this area.

Key words: multiple-UAV cooperative engagement; cooperative communication; open architecture; UAV autonomous functionality

1 引言

随着军事技术在世界范围内的传播和提升, 各国长期依赖高投入研制高性能装备, 传统军力研制模式受到威胁。为了不大幅增加国防开支, 又能继续保持作战优势, 寻求新的技术突破口是必由之路。利用无人机无人人员伤亡、全生命周期费效比低等特点, 构建系统簇群完成复杂任务, 将作为一种新的作战技术, 触发未来战争模式变革^[1]。该战术具有高密度密集、功能分布化、自主协同等特点, 可填补战术与战略之间的空白, 以多元化投送方式快速投送到目标区域遂行多样化军事任务。在此背景下, 本文就美军无人机集群项目的进展、应用模式、关键技术进行了综述, 并给出了发展建议, 以供该领域相关人

员参考。

2 美军无人机集群项目发展特点

从 2010 年前后开始, 美国国防高级研究计划局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DRAPA)、国防部、空军、海军分别针对特定军事应用需求, 开展了一系列无人机集群作战相关概念技术研究及演示验证项目。关于集群作战概念及技术研究, 主要以 DARPA 为主, 包括拒止环境中协同作战 (Collaborative Operations in Denied Environment, CODE)^[2]、体系综合技术和试验 (System of Systems Integration Technology and Experimentation, SOSITE)^[3]、进攻性蜂群使能技术 (Offensive Swarm

* 收稿日期: 2018-01-10; 修回日期: 2018-06-18 Received date: 2018-01-10; Revised date: 2018-06-18

** 通信作者: guhaiyan00@163.com Corresponding author: guhaiyan00@163.com

Enabled Tactics ,OFFSET) ^[4] 等。3 个项目各有侧重 ,均为实现无人机集群作战走向实战探索技术途径和实现方法。其中 CODE、OFFSET 项目主要针对拒止空间、城市环境作战 ,进行集群作战的战法、架构和编队协同技术研究; SOSITE 主要针对集群编队实施分布式作战的概念、支撑架构和工具开展研究; 由于 SOSITE 提出的作战概念需要部署大量的低成本、可重复使用的无人机 ,因此启动“小精灵”项目 ,对无人机空中发射与回收技术进行突破 ,解决无人机可重复使用的问题。关于无人机集群能力验证的项目 ,主要研制或采用各类小型、微型无人机平台 ,如“山鹑”“郊狼”、近战隐蔽自主一次性无人机 (Close-in Covert Autonomous Disposable Aircraft ,CI-CADA) 、“小精灵”等无人机 ,针对敌防空系统、驱逐舰、宙斯盾、核生化等区域开展编队飞行、集群作战演示验证。这些项目当前均在验证过程中 ,主要完成了空中发射和发射后再集群飞行的能力 ,关于编队集群作战能力实现较少。美军主要概念及技术研究类项目特点归纳如表 1 所示 ,演示验证类项目特点归纳如表 2 所示。

表 1 DARPA 无人机集群相关技术研究项目
Tab. 1 The multiple-UAV cooperative engagement research projects of DARPA

技术研究项目	突破技术	目标能力
CODE(2014 年 ~)	自主能力 ,人机接口 ,开放式架构	6 架以上 ,提升拒止环境 /对抗空域生存率和作战效率
SOSITE(2014 年 ~)	体系架构概念分析 ,体系架构的集成及工具开发	新技术系统集成 ,提升多平台整体作战效能
OFFSET(2016 ~ 2020 年)	开放系统架构 ,编队自主性、人与蜂群编队作战、蜂群网络等技术	100 架次以上规模 ,提升部队在城市环境的防御、火力、精确打击效果及情报、监视与侦察(Intelligence ,Surveillance and Reconnaissance ,ISR) 能力

表 2 美军基于平台的集群能力验证项目
Tab. 2 The multiple-UAV cooperative engagement capability demonstration projects of US military forces

验证项目 (无人机名称)	时间	平台特点	作战任务或目标	提升的效能
异构弹群作战	2017 年	诱饵弹、干扰弹、反辐射导弹	对敌防空压制 /摧毁	低价值对抗敌防空系统
国防部“山鹑”无人机	2011 年启动 ,2014 年开始试验 ,2016 年实现 3 架 F/A-18F 抛洒 103 架无人机	450 g ,可更换各种传感器 /有效载荷 ,作为干扰机、诱饵、自杀式无人机等	对驱逐舰进行电子干扰、赛博攻击、情报监视侦察	消耗敌方舰空导弹
DAPAR“小精灵”无人机	2015 年启动 ,2016 年论证设计 ,2018 年试飞验证	0. 8 Mach ,最大载重 54. 5 ,包括光电 /红外载荷外、电子战、探潜设备	渗透到敌防区内共同执行情报侦察与监视、电子攻击或地理空间定位	在强对抗环境中维持作战优势
海军实验室 LOCUST 的“郊狼”无人机	2016 年完成 30 架蜂群飞行 ,计划在 P-8、舰船、“捕食者”等无人机上发射	5. 4 ~ 6. 3 g ,157 km/h ,光电红外传感器	集群空中监视、护航、对“宙斯盾”系统饱和攻击	利用体积小及规模优势对抗舰载武器
美国海军实验室 CICADA 无人机	2006 年开始 ,2017 年将实现 P-3 释放 32 架无人机	约 65 g ,不携带动力设备 ,天气、温度、湿度、气压、声学或生化探测传感器	核生化区域检查、侦察、情报搜集等	飞机、气球甚至大型无人机投放; 对目标区域上空空域的精细化环境感知

3 典型作战概念及应用模式

作为一种 21 世纪新的空中军事操作概念 ,美国是世界上最先发起无人机集群作战研究的国家 ,以进一步支撑美军保持空中优势^[5]。其作战模式仍在探

索中 ,计划用于竞争拒止空间^[6]、城市巷战、核生化区域反无人机作战等环境 ,提出作战模式主要有饱和攻击、集群防御、集群侦察、集群干扰及分布式作战等 ,作战对象主要有地空导弹系统、海上“宙斯盾”系统 /驱逐舰、城市环境中的低、小、慢目标等。

3.1 对地防空压制

针对敌方地面地空导弹 (Surface-to-Air Missile, SAM) 系统形成的高对抗环境, 有人平台进入作战风险较高, 美军提出了逐步采用无人机集群作战代替传统隐身平台作战的方式。如雷神公司 (Raytheon Company) 设计了微型空射诱饵弹 (Miniature Air Launched Decoy, MALD)、高速反辐射导弹 (High Speed Anti-Radiation Missile, HARM)、联合防区外武器 (Joint Standoff Weapon, JSOW) 3 种无人飞行器联合空射集群作战样式, 包括诱敌开机、电子干扰和火力打击 3 个流程, 作战使用场景如图 1^[7] 所示。

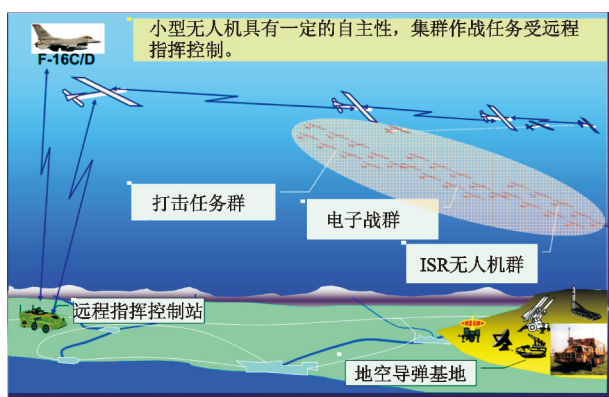


图 1 无人机集群防空压制作战概念

Fig. 1 The combat concept of SEAD for multiple-UAV cooperative engagement

此外, 美军设计采用 F-16 战斗机空中发射无人机群, 形成情报侦察机群、电子战机群、火力攻击机群, 分波次对敌方地面防御系统作战, 显著增强作战战费比和战场人员生存能力^[7]。

3.2 对海上舰艇打击

采用基于空基或海基投放控制的蜂群无人机系统, 对海面“宙斯盾”、驱逐舰等目标的探测雷达、目标指示雷达、数据链、导航、着舰引导、敌我识别系统实施电子干扰, 夺取战场电磁优势, 必要时进行自杀式火力打击, 提高己方作战飞机编队反舰弹突成功率 and 战场生存率。无人机雷达截面 (Radar Cross Section, RCS) 非常小, 敌方发现目标时, 导弹和舰炮无法使用, 仅能用“密集阵”近防系统、激光武器系统、电子干扰机等对抗。设以 250 km/h 速度来袭, 海面防御系统从发现到启动拦截只有 15 s 时间; 8 架无人机集群进攻时, 有 2.8 架无人机能够避开拦截系统。图 2^[8] 为美国海军研究结果, 距离 0~5 为无人机集群距驱逐舰的距离, 无人机距驱逐舰越近毁伤概率越高; 驱逐舰的近防武器系统可对抗距离 3 和距离 4 范围的无人机群; 电子干扰机仅能对抗距离 2 范围内的无人机。

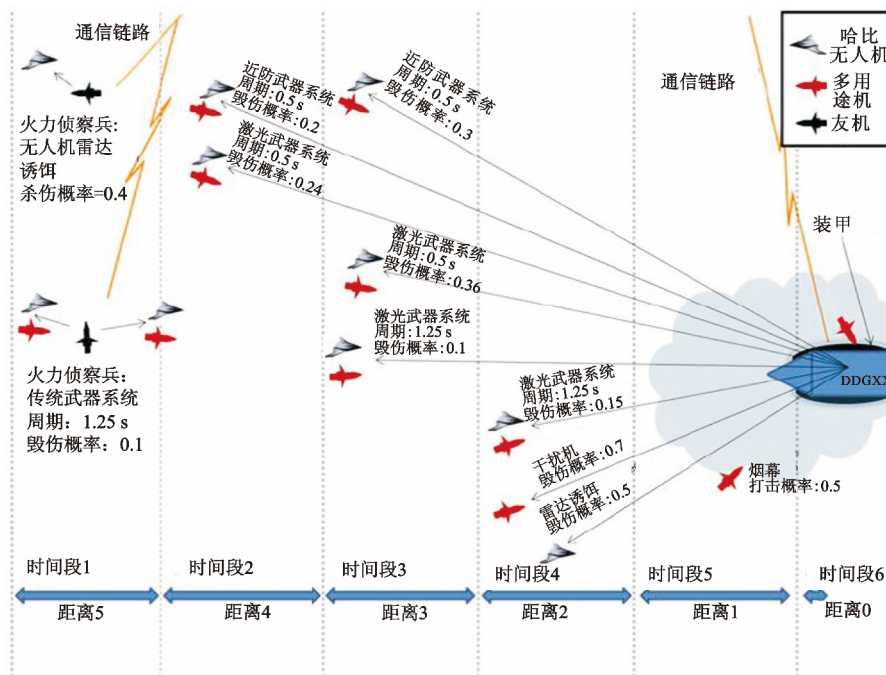


图 2 无人机集群对抗驱逐舰作战概念

Fig. 2 The combat concept of attacking destroyers for multiple-UAV cooperative engagement

3.3 对城市巷道低小慢目标作战

城市环境具有建筑物遮挡、巷道复杂、路径多样等特点,战场态势具有动态性和不可预测性,作战系统一般采用集中任务规划、分布式任务执行的方式,使用场景如图3所示。采用小型无人机作战,有利于狭窄巷道的灵活作战,获取更高精度的低小慢目标信息。通过指挥控制广泛分布的无人机机群,可进一步扩展作战区域,增加战场武器和传感器资源,同时执行目标探测、目标定位、火力打击、战损评估等多样化任务^[9]。



图3 无人机集群城市巷道作战概念
Fig.3 The combat concept of urban campaign for multiple-UAV cooperative engagement

4 需解决的关键技术问题

无人机集群作战系统是由大量无人机基于开放式体系架构进行综合集成,以通信网络信息为中心,以系统的群智涌现能力为核心,以平台间的协同交互能力为基础,以单平台的节点作战能力为支撑,构建具有抗毁性、低成本、功能分布化等优势 and 智能特征的作战系统^[10]。相对于单无人机作战数量的增加,在异构载荷协同、协同通信及任务分配复杂度、无人机自主性方面都带来了更大挑战^[11]。

4.1 编队集群开放式架构

无人机集群作战具有动态和分布式的概念,作战系统包含了飞行器、武器、传感器、任务系统,若采用通用化开放式体系架构,将新技术及新系统集成于作战系统,在保持系统多样性和先进性的同时可有效解决现有封闭式架构下的专用系统在开发成本效益、异构平台间资源互操作、链路互联互通、协同服务可跨平台移植、能力升级扩展等方面的不足^[3]。对于2015年DARPA公布SOSITE项目,

图4描述了基于开放式架构形成的系统的作战能力,其主要目标即开发开放式系统架构,为可互换的组件和平台提供统一的标准和工具,使得每型平台均可快速升级或更换载荷。开放式架构设计包括通用化处理框架、开放式系统互联、共性支撑功能聚合、标准体系构建等措施^[12-13]。

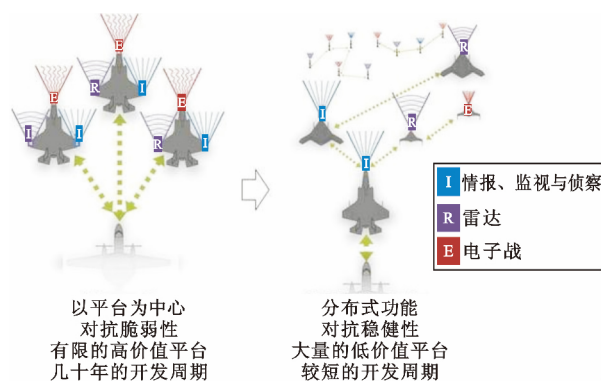


图4 SOSITE 开放式架构能力描述
Fig.4 SOSITE open architecture ability overview

4.2 无人平台低成本小型化设计

小型无人机是未来无人机集群作战的主体,在强对抗作战环境需求和研制成本效益的双重背景下,为使其具有集群作战和与有人机编队协同作战能力,需充分发挥商用小型无人机设计技术,进一步提升其自主性、远程性,快速发展出与远程驾驶飞机能力相当、布局紧凑、成本节约、可跨任务集成的无人机平台。新材料、发电装置、传感器和自动化技术的进步,为小型无人机发展带来了更多可能性。美国空军在小型无人机路线图中提出,小型无人机系统需具备小型引擎设计、小型载荷分布式模块化集成、尺寸重量功耗与冷却的平衡等16项关键特性^[10]。

4.3 空中平台发射与回收

无人机集群作战主要采用中小型无人机,任务需求和风险决定了无人机是否需要回收。低成本的MALD系统将消耗敌方大量的地空导弹,可极大增强效费比优势。传统的中小型无人机主要为地面部队提供侦察、监视、目标指示、战损评估等能力,但受制于平台的尺寸、重量功耗,大部分小型无人机采用大型平台发射投送,扩大作战半径。对有价值回收的无人机进行回收或加油可进一步延长作战时间,提升作战效能^[14]。空中平台一般采用运输机、战斗机较大平台进行搭载发射,对空空相对导航的精

度、可靠性提出了较高要求,必要时通过数据链传输发射回收引导指令及信息。美国的“小精灵”无人机为实现空中发射与回收,主要采用差分卫导、视觉导航及低时延数据链实现,其中采用差分卫导和低时延数据链进行发射回收引导的技术已在 X-47B 的空中加油和着舰项目中完成飞行验证。

4.4 无人机集群通信

通过使用网络化手段对无人机集群进行能力集成,是提高无人系统的组织性、机动性与协同性的关键,将增强空、海、地战争的效费比。为有效对抗敌反无人机手段,通信网络需具备智能化、高鲁棒、低探测、低截获、抗干扰等能力^[15]。美国的战术目标瞄准网络技术(Tactical Targeting Network Technology, TTNT)具有动态组网、高吞吐量、低传输时延、低截获等特点,已在各种飞机、舰船和地面平台上集成,正在研究其应用于小型无人机/导弹武器协同作战的可能性。实现网络智高鲁棒的手段包括简单网络规划、自组织无中心随遇入网/建网、时间同步不依赖性、业务自适应、智能管理维护、功率/速率自适应、频谱智能感知等方面^[16-18]。实现低探测低截获的手段主要有:扩跳频、功率/速率控制、分集接收、模拟/数字混合跳频等;采用频谱智能感知设计,利用全频段的接收通道进行频谱干扰检测、干扰程度、模式分析,实现基于认知抗干扰能力,可识别随机和连续干扰,以保证一定频带被干扰下不影响节点间最大通信速率。

4.5 无人机自主性

无人机自主性提升可有效理解战场态势,推测己方操作员、敌方及中立方战场意图,将极大程度降低操作员工作负荷,提升战场灵活性^[19]。当前无人系统自主性不足,表现在作战效能和安全性依赖于操作员经验,载荷资源及数据共享不足,任务规划及决策主要针对预定任务或战场环境,对突发威胁反应不及时等。提升蜂群作战自主性,首先需支撑单节点能力的构建与形成,解决信息融合、自动威胁目标感知与规避、编队保持、在线任务规划^[20]等技术。无人机集群作战离不开人员的授权及引导^[10],图 5^[10]展示了无人机自主能力与人员操控工作量的关系。为达到以有限人为干预,精准控制无人机群完成复杂多样战术动作的目的,需开发简明高效的人机交互技术,使协同作战系统具备分布式、智能化、人机一体协同作战能力。

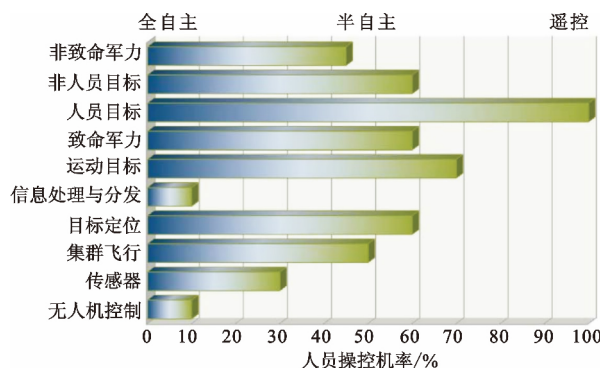


图 5 无人平台自主性操作量变化分析

Fig. 5 Notional sliding scale of autonomy

5 发展启示

5.1 集群作战模式新颖多样,优势明显

美军对无人机集群作战概念及模式仍在探索中,当前提出的主要有饱和攻击、集群防御、集群 ISR、集群干扰等,其战术作用机理研究仅限于近战、聚合、机动和集群 4 种独立形式。由于无人机集群作战具有高度密集型、协同性、灵活性、低成本、鲁棒性等特性,能以有限的成本、较低的人员伤亡和成本获得较大的作战效能。

5.2 作战对象多样,以高价值高威胁目标为主

采用具有一定规模的无人机机群对高价值高威胁目标进行探测打击,保证作战有效性的同时,有效降低采用高性能装备的人员伤亡和成本代价。主要作战对象包括海面驱逐舰、“宙斯盾”系统、地面防空系统等;作战区域包括地形复杂、目标动态杂乱的城市场环境以及高危的拒止空间。

5.3 无人机以小微型为主,通过有人平台投放提升作战能力

为了符合低价值特点,增强效费比,主要是几十公斤到几十克不等的小、微型无人机,但其续航能力及作战半径有限,难以突入目标区域远距精确作战。采用大型飞机、地面车辆或水面舰船等有人平台进行投射,可延长无人机机群作用距离,通过操作员远距必要的临时干预,可进一步提升作战的精确性和可靠性。

5.4 技术复杂广泛,多种项目和组织合力攻关

涉及技术包括分布式作战概念、无人机平台设计、无人机发射与回收、协同开放式架构、集群通信、协同任务规划与分布式战场管理等技术,既需提升无人机自主性、无人机集群协同,也需研究人与集群

系统之间的协调能力。因此,需针对解决问题的侧重点,集合相关领域研制单位共同攻关和验证。

6 结束语

未来战场将逐渐演变为多域环境,作战单元需具备灵活自适应的操作能力和安全性。随着信号处理与分发、战场态势生成与决策等技术的发展,将显著增强中小型无人机的战场作用,提升对抗战场涌现的突发威胁的能力,集群作战的战略意义和重要性也将日益凸显。从美国无人机集群技术总体发展来看,正在从关键技术、演示验证逐步进入实用化阶段,而国内目前该领域尚处于概念深化阶段,虽然突破了部分单项关键技术,但离装备应用尚有距离。因此,为切实推动无人机集群技术的实用化发展,需强化顶层设计,找准突破点,多单位从多个技术领域合力攻关进行研制。

参考文献:

- [1] Enterprise Capability Collaboration Team. Air superiority 2030 flight plan[R]. Washington DC: US Air Force 2016.
- [2] LEDÉ J C. Collaborative operations in denied environment (CODE) [R]. Virginia, USA: DARPA 2015.
- [3] SHAW J. System of systems integration technology and experimentation(SoSITE) [R]. Virginia, USA: DARPA 2015.
- [4] CHUNG T H. Offensive swarm-enabled tactics [R]. Virginia, USA: DARPA 2017.
- [5] LAIRD R F. A 21st-century concept of air and military operations[R]. Washington DC: Center for Technology and National Security Policy National Defense University 2009.
- [6] SANDELLN, DIRECTOR S. Contested environment strategy and plans[R]. Virginia, USA: DARPA Strategic Technology Office 2014.
- [7] SURAŻYŃSKI L. Miniaturised unmanned aerial systems (UAS) in SEAD missions during electromagnetic conflicts [Z]. Warsaw, Poland: London Military University of Technology 2006.
- [8] PHAM L V. UAV swarm attack: protection system alternatives for destroyers [R]. California, USA: Naval Postgraduate School 2012.
- [9] RONDEAU T. New horizons in UAV/Drone research at DARPA [R]. Virginia, USA: DARPA ACM MobiSys 2017.
- [10] OTTO R P. Small unmanned aircraft system (SUAS) flight plan: 2016 – 2036 [R]. Washington DC: US Air Force 2016.
- [11] MORBIDI F, FREEMAN R A, LYNCH K M. Estimation and control of UAV swarms for distributed monitoring tasks [C]// Proceedings of 2011 American Control Conference. San Francisco, CA, USA: IEEE 2011: 1–5.
- [12] Strategic Technology Office. Broad agency announcement system of systems integration technology and experimentation(SoSITE) [R]. Virginia, USA: DARPA 2014.
- [13] 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. (in Chinese)
- [14] LACHOW I. The upside and downside of swarming drones [EB/OL]. (2017-02-28) [2018-01-05]. <http://dx.doi.org/10.1080/00963402.2017.1290879>.
- [15] TORTONESI M, STEFANELLI C. Multiple-UAV coordination and communications in tactical edge networks [J]. IEEE Communications Magazine 2012(12): 48–55.
- [16] ROHDE S, STEINICKE F. A system of systems concept for an avionic digital service platform based on micro unmanned aerial vehicles [J]. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics 2010(10): 459–466.
- [17] BEKMEZCI I, SAHINGOZ O K, TEMEL S. Flying ad-hoc networks (FANETs): a survey [J]. Ad Hoc Networks 2013(11): 1254–1270.
- [18] DANIEL K, ROHDE S. Cognitive agent mobility for aerial sensor networks [J]. IEEE Sensors Journal, 2011(11): 2671–2682.
- [19] SCHARRE P. Robotics on the battlefield part ii the coming swarm [R]. Washington DC: Center for a New American Security 2014.
- [20] CHAUMETTE S, LAPLACE R, MAZEL C, et al. CARUS, an operational retasking application for a swarm of autonomous UAVs: first return on experience [C]// Proceedings of the 2011 Military Communications Conference. Baltimore, MD, USA: IEEE 2011: 2004–2010.

作者简介:



顾海燕 (1985—), 女, 四川绵阳人, 硕士, 工程师, 主要从事航空电子方面的研究。
Email: guhaiyan00@163.com