

无人机组网技术在海洋观测中的应用研究

徐 栋¹, 杨 敏¹, 王新胜², 孙昕雨¹

(1. 国家海洋局 北海海洋技术保障中心, 山东 青岛 266033; 2. 哈尔滨工业大学(威海), 山东 威海 264209)

摘要: 为了应对海洋多个观测平台间组网通信的迫切需求, 作者从体系架构和通信链路等多个层面对无人机组网通信技术的研究进展进行总结, 并关注了军用和搜救方面的特殊应用。最后结合实际项目中多机协同海洋观测的具体场景, 分析了现有无人机组网通信技术的成果和不足, 指出了未来的发展方向。

关键词: 无人机; 组网通信; 多机协同; 中继平台; 海洋观测

中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)01-0045-07

DOI: 10.11759/hyxx20171011012

目前无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)技术受到重点关注, 具备有人机无法比拟的独特优势, 可以在高危地区和极端条件下进行大比例尺抵近观测, 充分发挥其低成本、小风险、机动灵活、应急响应速度快、无需人员驾驶的特点, 为高空遥感和卫星遥感提供重要的补充, 越来越广泛应用于航拍航测、权益维护、抢险救灾等民用领域; 在军事领域, 鉴于当前世界局势的变化, 未来战争的主要形式将是高技术条件下的局部战争^[1], 从而成就了无人机更广阔的应用空间。

从无人机诞生之日起, 对其的使用多数采取单飞单控的方式, 这除了技术所限的原因之外, 更多是由于没有多机协同的迫切需求来驱动。

而当前日趋敏感的国际政治军事形势、逐渐升级海洋权益岛礁的争夺态势、不断严峻的海洋环境保护现状, 造成了观测目标所在环境以及运动状态的极大不确定性, 单一无人机已不能胜任日益复杂的应用环境, 利用多无人机协同观测并跟踪目标成为改善无人机执行飞行任务能力的一种有力手段。

与此同时, 军方对于多无人机组网通信的需求也同样迫切, 无人作战飞机(Unmanned Tactical Aircraft, UTA)的提出和研究, 要求现有的无人机单飞局势必须改变, 因为 UTA 如果成为未来战场的主角, 必须具备和有人战斗机一样的性能, 不仅自身有战斗能力, 还要有编组和协同作战的能力。

1 无人机组网通信的意义

无人机组网通信的主要目标是通过无线通信技术手段实时共享网络中每架无人机的数据信息, 使

单个无人机更好地利用所获得的数据资源。由此, 可以变相提高单个无人机处理信息的速度, 完善对突发特殊情况的应急响应, 增强无人机的工作效率和生存能力^[2]。

在无人机组网模式中, 其通信方式与功能模块与以往的单机工作存在很大差异, 从而形成了截然不同的工作方式。二者的机构见图 1。

由图 1 可见, 无人机组网通信的意义主要在于以下几个方面:

1.1 提高无人机飞行的任务维度和工作效率

通常, 单无人机飞行只执行单任务, 为执行下一任务需返回更换模块或直接更换无人机。无人机组网完成后, 可以同时起飞多架具备不同功能的无人机, 形成一个多任务的有机整体, 从而大大节省了飞行往返的时间, 提高了工作效率。

1.2 增强无人机的可控性和实时应变能力

无人机在传统的方式中需要预先制定好航线, 尤其是中远程无人机更是因为通信技术的原因在一定的距离外就和基站失去联系, 进入了所谓的盲区。从前此类问题并没有较好的解决办法, 利用人造卫星等辅助通信手段也只能在一定程度上改善这一现

收稿日期: 2017-10-11; 修回日期: 2017-12-21

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201505031)

[Foundation: Special Fund for Marine-scientific Research in the Public Interest, No.201505031]

作者简介: 徐栋(1987-), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要从事遥感与地理信息、组网通信、海洋环境保护等方面研究, 电话: 13678889178, E-mail: jl6461@aliyun.com

状, 而如图 1 所示, 无人机组网通信之后, 控制中心可以通过其他节点, 对目标节点进行间接控制, 极大

程度上消除了盲区的存在空间, 使全体无人机可以快速有效地应对各种突发状况, 进一步提高了生命力。

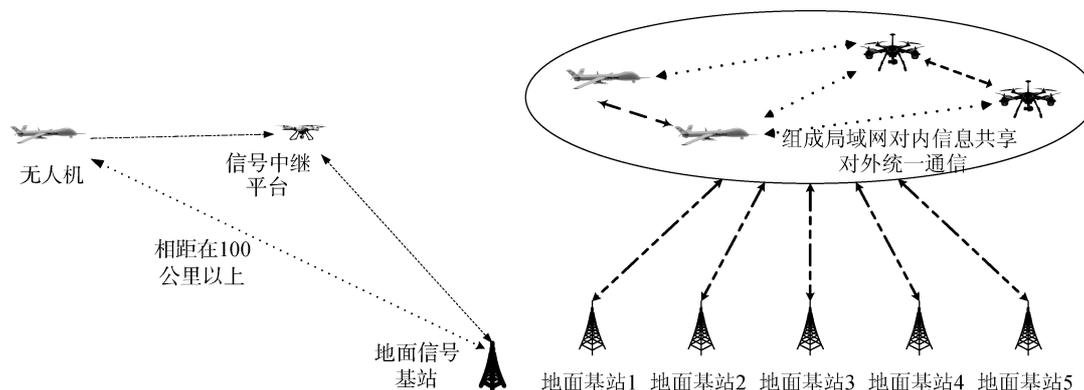


图 1 无人机单机(左)及组网(右)工作方式

Fig. 1 UAV single (left) and networking (right) modes of operation

1.3 改善无人机的抗毁性和抗干扰性

如图 1 所示, 单机状态下, 无人机采用链状通信模式, 每一个节点的损坏都会造成系统的整体故障; 而无人机组网之后, 采取了网状的通信结构, 每一个节点对于整体而言都不是不可或缺的, 其他节点可以经备用路由重新组网并弥补其功能, 提高了系统的抗毁性; 同样, 即使无人机因遭受干扰而无法直接获取某项信息时(例如经纬度), 亦可由其他节点传送数据进行补充, 保证其稳定运行。

1.4 扩展无人机的发展潜力

无人机组网通信之后, 终端间的互联互通带来了一些额外的功能, 可以拓宽无人机的应用范围, 例如可以将所得信息反馈给地面移动目标, 为其提供中继服务。

2 无人机组网通信技术现状

2.1 网络体系结构

主动网络又被称为可编程网, 它是一种新的网络体系结构, 和传统网络有着很大的不同^[3], 传统网络仅负责在终端和系统之间转发数据, 并不改变其内容, 而主动网络则加入了网络内部的计算和处理功能, 交换设备通过定制化的程序可以对通过它的用户数据进行分析计算, 而不仅仅是被动地转发, 从而提高了网络的交互能力。

无人机组网需采用主动网络以具备可编程定制的能力, 同时还必须根据组网决策的不同确定基本网络结构图, 目前无线移动通信网通常可以分为 4 类^[4]:

2.1.1 完全集中式组网

完全集中式网络以一个中心节点配备多个中继节点和终端, 由中心节点来进行路由选择, 终端只具备简单接收和发送的功能。

2.1.2 分层集中式组网

分层集中式网络由若干上一种组网方式的分层组成, 某一分层的特定节点会作为下一级分层的中心控制节点。在以上两种组网方式中, 中心节点对于整个网络的运行不可替代, 因此并不适合于需要很高网络抗毁性的无人机网络。

2.1.3 完全分布式组网

在完全分布式的网络中, 网络的控制由所有网络节点均匀地分担, 要求所有节点必须实现完全的同步才能有效地进行网络控制, 造成了大量的附加开销, 对于网络联通结构经常发生改变的无人机网络并不适合。

2.1.4 分层分布式组网

在分层分布式的网络中, 网络是分多层结构的, 在同一层结构中所有节点的地位都相同。分层节点之间采用完全分布式的方式, 这种方式的优点在于路由选择只是由网络中的小部分节点来完成, 于是一方面简化了节点间互相传送的组网信息, 另一方面避免了在第一、第二种组网架构中过于集中的路由控制, 非常适合无人机网络, 其结构如图 2 所示。

随着无人机组网系统中节点的不断移动和变化, 建立的通信路径也会不断变化, 如果网络中的源节点和目的节点之间存在着多条可用的通信路径, 就会存在路径选择的问题。主动网络可以选择适当的

路由来获得较好的网络特性,在图 2 中的虚线箭头就表示的是网络在原来的通信路径破坏后再选择建立的通信路径。

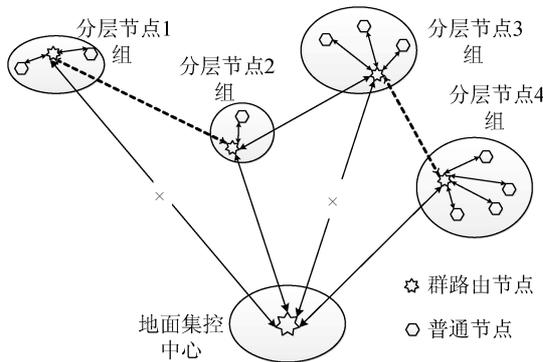


图 2 分层分布式分群网络结构图

Fig. 2 Schematic of hierarchically distributed clustering network structure

2.2 通信链路模型

无人机组网通信之后,中继平台是其链路模型中的重要内容,具有很强的现实意义和优势^[5]。由于任务无人机和中继无人机之间的信道,与中继无人机和地面控制终端之间的信道截然不同^[6],因此,有必要以非对称双向中继信道(Two Way Relay Channel, TWRC)模型为以上三者构成的无线中继链路建模。

从物理层开始进行网络编码可以从根本上提高无线通信系统的性能,袁全盛^[7]等以非对称双向中继信道模型为基础,提出了非对称多阶相移键控物理层网络编码方案,以理论表达式的形式表述了中断概率、误码率等主要性能指标,全面评估了物理层网络编码方案在无人机组网通信中的设计可行性。

随着应用的深入和推广,无人机的中继通信模型,不仅可以为其本身开展目标观测助力,还可以反过来让无人机组网为地面移动节点提供中继服务。移动自组网由于节点频繁移动,山川河流等地形阻隔和覆盖范围广大等因素,网络的互联互通无法保障。此时以强大的空中中继节点为移动的地面终端提供中继通信,将有效改善地面节点间的通信情况。

目前,以具有无线通信组网能力的无人机组成中继网络,对移动自组网通信提供支持的研究正处于起步阶段,清华大学电子工程学院的徐赞新^[8]等,以经过试验验证的加权质心单无人机飞行模型为基础,划定各个空中节点管控范围,对多无人机中继网络开展飞行控制,研究并总结了跨域地面节点自身之间、地面节点与无人机之间以及无人机自身之

间的连通率,对研究多无人机与地面移动自组网协同中继通信的研究具有开创性的重要参考价值。

3 特殊场景下对无人机组网通信的需求

3.1 军用无人机对组网通信的需求

3.1.1 迅速自组网能力

由于战场态势的变化会导致网络拓扑结构的迅速调整,军用无人机系统需要具备短期自组网的能力,可以重新配置路由来保证数据链路的实时通信,具备高度的自主性和自适应能力。

3.1.2 极低的路由开销

战场的时间就是生命,过多的路由开销会占据无线信道,严重影响网络速率,需具备相较于民用场景更多的节点数目,并开发高性能低开销的路由协议。

3.1.3 良好的数据格式

网络传输的数据量是制约无人机战场反应速度的关键因素,需开发良好的数据格式,以最低的数据量存储最多的信息,实现快速的数据交换。

3.1.4 健壮性

战时对抗极为激烈,不能因单一节点的损毁破坏整个系统,需具备分布式的网络结构和节点冗余,使其他节点可以迅速填补特定节点的空白,维护网络的鲁棒性和生存性。

3.1.5 安全及保密

军用无人机网络一旦采用无线信道,极易受到窃听和干扰,所以必须对传输信息进行加密,并不定期更换密钥,对全部节点进行通信检查,识别筛选敌人伪装节点,预防来自各方的攻击^[9]。

3.2 搜救无人机组网通信需求

野外远程搜救是无人机组网通信应用的特殊场景,杨润丰等^[10]提出了一种适用于无人搜救机组的移动通信模型,经分析论证和现场仿真,验证了该模型以一架或多架无人机作为中继节点空中悬停或作规律性移动的方式,可以有效减轻抵近观测的搜救节点与地面基站进行通信的压力,令其将自身资源专用于现场搜救,不定期向中继节点回传结果即可,极大地提高了搜救机组的灵活性和效率,该方案可以使移动通信更广泛地应用于环境监测和灾害应急响应等方面。下一步可根据测试获得的任务无人机与中继无人机的数量关系,研究同步

通信的阈值,改进通信及数据运算模块,提高并发连接中继的节点数量。

4 多无人机海洋观测实验验证与问题分析

近年来,随着国内无人机技术的快速发展,无人机遥感监测已在民用技术领域得到广泛的应用并取得了良好的应用效果。在海洋环境监测方面,无人机作为一种新的遥感监测平台,成为空间数据获取的重要手段,与卫星航天遥感、有人机航空遥感、海面船舶调查形成有机补充,形成对海洋环境的全方位、立体化监测。同时随着无人机技术的不断成熟,能够搭载多种不同的海洋环境探测任务载荷,对各类海洋动力环境要素、海洋环境现象和海上目标进行探测^[11]。

海面浩瀚无垠,缺乏参照,识别度较低,这是海洋观测中面临的主要问题,为了更好地确定边界和基准点,倾向于从海岸等有参照物的区域开始延伸连续观测,以便降低后期图像配准和拼接的难度;多机协同观测所获取的海面图像,类似于单机多架次图像拼接,需要互相知晓彼此区域的精确坐标,这在理想化的试验中可以预先在陆地设置固定航线,而一旦有实际应变需求或突发情况,临时变更区域不可避免,就迫切需要无人机之间具备组网通信的能力;此外,在海洋观测应用中,还需要考虑覆盖范围较广、光线反射强烈、空气中水汽成分和盐度较高、海上风力较大等因素,给无线通信带来的阻力。

北海技术中心联合山东省仪器仪表研究所,依托海洋公益性行业专项“海洋高光谱仪和机载激光测量系统产品化关键技术研究及应用示范”,在青岛金沙滩附近海域,开展了无人机载高光谱组网观测实验。实验获取了良好的实验数据,包括高光谱立方体数据、惯导姿态数据/GPS 位置数据各两套。

高光谱遥感是 20 世纪 80 年代发展起来的一种具有重大突破的遥感技术,可以保证遥感信息的定量化分析与应用,并已广泛应用于地质、生态、水文和海洋等领域。无人机载高光谱有两个优势:高光谱分辨率和高空间分辨率。高光谱分辨率可以用于辨清地物的材质,识别伪装后的岛礁及附近船舶;高空间分辨率有利于消除高光谱图像中的混合像元效应,将每个像元与每一种地物的光谱相对应,提高识别地物类型的效率^[12]。

4.1 技术指标

此次实验中,无人机平台选用的是经纬 M600 PRO 无人机。该无人机最大起飞质量 15.5 kg;最大可承受风速 8 m/s;最大水平飞行速度 65 km/h(无风环境);工作环境温度-10℃至 40℃。

无人机搭载高光谱设备参数如表 1 所示。

表 1 机载高光谱设备参数

Tab. 1 Airborne hyperspectral equipment parameters

设备	主要参数	监测要素
机 载 高 光 谱	1. 光谱范围: 400~1000 nm;	
	2. 光谱分辨率: 2.1 nm;	
	3. 光谱通道数: 281;	
	4. 空间通道数: 900;	
	5. 每秒最大帧数: 249;	
	6. 平均 RMS 半径 6 μm;	
	7. 扫描方式: 外置推扫式;	
	8. 通讯方式: USB3.0;	海面要素、
	9. 操作温度: 5~40℃;	陆地地形地
	10. 尺寸: 10 cm×12.5 cm×5.3 cm;	貌、植被
	11. 质量: 0.6 kg;	
	12. 位深度: 12 bit;	
	13. 镜头: 17 mm, FOV 16 deg(视场角 16°)/IFOV 0.88 mrad(瞬时视场角 0.88 毫弧度);	
	14. 综合分辨率和覆盖区域, 推荐飞行适宜高度在 100~200 m。	

4.2 实验流程

本次实验采用两架六旋翼无人机进行组网观测初级阶段尝试,两个架次同时升空,分别进行海面观测和陆地植被观测,并于陆地接收端搭建局域网,形成数据间的互联互通,共享成果,沟通进度,从而大大节省了无人机覆盖特定观测海域的时间,提高了试验的效果和任务的维度,使单个无人机节点可以掌控更多海域信息,并于后期将所得数据成像进行拼接。

4.3 组网通信

在此次实验中,初次尝试采用广播级一体化高清图传的方式,向陆地接收端实时传送机载电脑光谱数据成像过程,最高支持分辨率 1 080 p/60fps,配备 USB、3G-SDI、mini-HDMI、接口、集成遥控器,实现远距离、低延时高清实时影像与控制信号传输,并配有 GPS,可同时记录位置信息。

整套网络系统实行三级架构,第一级是岸基的

集成指挥中心、第二级架构节点是无人机平台、第三级是底层数据采集设备。一二级之间的物理链路使用无线网络(3G/4G、无线图传);二三级之间的物

理链路使用有线直连(串口、USB、HDMI 等设备自带协议);底层采集高光谱原始数据,后期进行数据成像拼接、信息提取和分析,如图3所示。

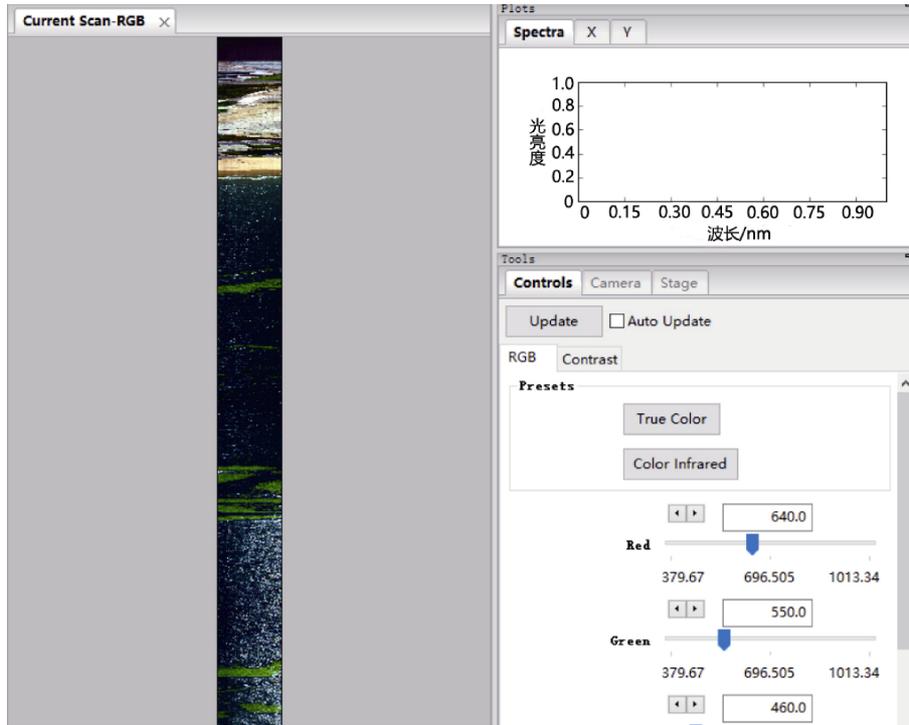


图3 拼接后所得海面图像

Fig. 3 Sea-surface image acquired after mosaicking

4.4 问题分析

此次实验明确了下一步多无人机协同海洋观测需要解决的问题:

(1) 实时传送的数据仅为机载电脑画面,需要拓展无人机数据接口,研发满足特定需求的专用数据模块,实时传送更多数据格式的数据,并根据所需获取不同的数据内容,定制程序算法,提取关键信息,减轻数据链路的通信压力;

(2) 此次组网观测需由不同终端接收观测数据,再完成终端间的组网通信,具有延时性和半自动性,需完成统一终端的搭建,形成完备的数据集成平台;

(3) 此次组网仅在陆地完成,未来可考虑设计机载无线通讯模块,实现无人机空中组网通信,设置通用的数据格式,消除因飞机型号不同,采用的地图数据不同等带来的通信障碍,实现无人机之间自动收发指令,智能通信,进一步提高无人机的应变能力和工作效率,真正达到实时组网通信;

(4) 此次组网无人机架次太少,今后需考虑搭建分层分布式无线网络体系,实现多架无人机协同

组网观测,并进一步扩展无人机组网通信在海洋观测中的应用潜力,完成为海面移动自组网节点提供中继通信平台等高阶试验,如图4所示。

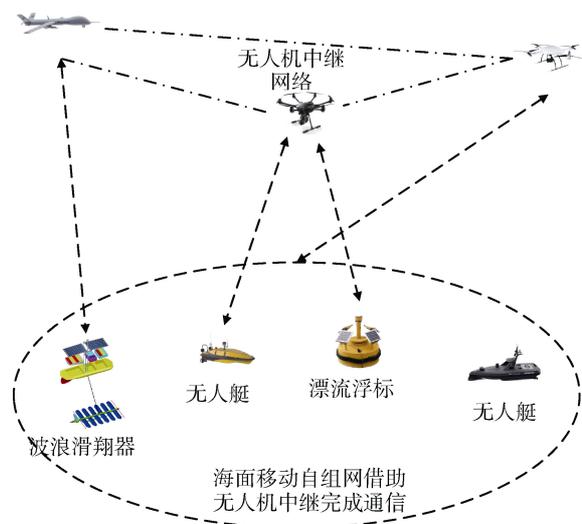


图4 多无人机与海面移动自组网协同中继通信

Fig. 4 Cooperative relay communication for multi UAVs and sea-surface mobile ad-hoc networks

5 总结

作者通过对比无人机单机作业和组网通信的具体形式,分析了无人机快速机动组网的意义,研究了现阶段围绕无人机组网体系架构和通信链路模型的技术进展,并关注了在军方和搜救等特殊场景的应用研究,最后以多机协同海洋观测的应用实验为例,探讨了无人机组网通信技术的成果和不足,为未来进行深化和高阶的研究提供了依据和参考。

参考文献:

- [1] 王海涛. 军事通信网及其相关问题的探讨[J]. 通信世界, 2002, 22: 39-40.
Wang Haitao. A discussion on the military communication network and its related issues[J]. Communications World, 2002, 22: 39-40.
- [2] 何兆龙. 无人机自组网技术研究[J]. 无线电工程, 2008, 8: 47-48, 64.
He Zhaolong. Research on unmanned aerial vehicle (UAV) ad hoc network technology[J]. Radio Engineering, 2008, 8: 47-48, 64.
- [3] 米志超, 郑少仁. 无线战术互联网控制器通信协议的设计与实现[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2000, 6: 24-29.
Mi Zhichao, Zheng Shaoren. Design and implementation of wireless tactical internet controller communication protocol[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2000, 6: 24-29.
- [4] 陈明辉. 无人机组网及网络信息共享的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
Chen Minghui. Research on information sharing of unmanned network and network[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2005.
- [5] Cerasoli C. An analysis of unmanned airborne vehicle relay coverage in urban environments[C]//MILCOM 2007-IEEE Military Communications Conference, Orlando, Florida, USA: IEEE, 2007: 1-7.
- [6] Zhan P C, Yu K, Swindlehurst A L. Wireless relay communications with unmanned aerial vehicles: performance and optimization[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 2011, 47(3): 2068-2085.
- [7] 袁全盛, 胡永江, 王长龙. 无人机通信中的非对称物理层网络编码研究[J]. 电子技术应用, 2015, 41(12): 90-93.
Yuan Quansheng, Hu Yongjiang, Wang Changlong. Research on asymmetric physical layer network coding in UAV communication[J]. Electronic Technology Application, 2015, 41 (12): 90-93.
- [8] 徐赞新, 袁坚, 王钺, 等. 一种支持移动自组网通信的多无人机中继网络[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(2): 150-155.
Xu Zanzin, Yuan Jian, Wang Yue, et al. A multi unmanned aerial vehicle relay network supporting mobile ad hoc network communication[J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition), 2011, 51 (2): 150-155.
- [9] 刘昕. 军用无人机自组网技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
Liu Xin. Research on the technology of military unmanned aerial vehicle (UAV) ad hoc network[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.
- [10] 杨润丰, 骆春波, 张智聪. 适用于无人搜救机组的新型移动中继通信模型[J]. 电讯技术, 2014, 54(10): 1330-1334.
Yang Runfeng, Luo Chunbo, Zhang Zhicong. A new mobile relay communication model for unmanned search and rescue units[J]. Telecommunications Technology, 2014, 54(10): 1330-1334.
- [11] 王军锋, 邓豪, 魏育成, 等. 无人机海洋观测系统集成技术研究[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(9): 157-162.
Wang Junfeng, Deng Hao, Wei Yucheng, et al. Research on integrated technology of unmanned aerial vehicle (UAV) ocean observation system[J]. Ship Science and Technology, 2017, 39 (9): 157-162.
- [12] 颜文俊, 王同招. 高光谱遥感影像地面伪装目标检测方法的研究[J]. 机电工程, 2007, 1: 4-6.
Yan Wenjun, Wang Tongzhao. Research on detection method of ground camouflage target in hyperspectral remote sensing image[J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2007, 1: 4-6.

Study of networking and communication technologies of unmanned aerial vehicles and their application in oceanographic observation

XU Dong¹, YANG Min¹, WANG Xin-sheng², SUN Xin-yu¹

(1. North China Sea Marine Technical Support Center, SOA, Qingdao 266033, China; 2. Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China)

Received: Oct. 11, 2017

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV); networking and communication; multi-aircraft cooperation; relaying platform; marine observation

Abstract: To meet the urgent need for network communication between multi-observation ocean platforms, in this paper, we summarize advances in UAV communication technology research from many aspects, including the system architecture and communication link and the unique applications of military and search-and-rescue operations. Finally, we investigate actual scenarios in multi-aircraft cooperative marine observations and analyze the achievements and shortcomings of existing UAV networking and communication technologies. We also note possible directions for future development.

(本文编辑: 谭雪静)