

# 临近空间太阳能无人机在应急通信中的应用

马洪忠, 李庆, 刘晓春, 丁一恒

中国航天科工飞航技术研究院无人机技术研究所, 北京 100074

**摘要** 临近空间太阳能无人机飞行时间长、飞行高度高, 结合通信载荷可在临近空间形成空中通信服务系统, 在应急通信领域具有巨大的应用前景。介绍了国内外太阳能无人机平台的发展现状及其在通信方面的应用情况, 通过分析基于太阳能无人机的通信系统的特点、应用方向, 提出了基于太阳能无人机通信系统的3种典型应用场景, 探讨了其关键技术及效益。研究表明, 利用太阳能无人机平台可构建临近空间通信系统, 实现持久广域的通信覆盖, 使用灵活, 可在应急通信领域发挥重要作用。

**关键词** 临近空间; 太阳能无人机; 应急通信

基于太阳能无人机的临近空间通信系统<sup>[1-2]</sup>是指利用太阳能无人机等可在临近空间实现长时间飞行的平台提供通信服务的系统, 是介于目前已有地面通信系统和卫星通信系统之间的一个新型通信系统, 可用于开发地面与太空之间的高度空间的潜在利益, 提高通信容量和频谱利用率, 降低系统设备成本和复杂性。基于临近空间飞行器的互联网(HAPS)是“一种具有远大应用前景、可以颠覆电信产业发展的新技术”, 国际电信联盟(ITU)将其定义为“弥补信息覆盖缝隙”的新技术的一种, 认为“它是下一代无线通信的基础并且具有能够充分利用无线频谱资源、系统用户容量大、通信质量好、运营风险小等特点, 并可以随时进行通信载荷的升级”<sup>[3-4]</sup>。

美国 Google 公司和 Facebook 公司均通过收购公司

项目的形式, 投入巨资开展了空基互联网应用研究和技术验证, 目前两家公司均已开展了样机飞行。其中, Google 公司除了被公众熟知的利用高空气球实现互联网信号接入的“潜鸟计划”(Project Loon, 也称“热气球网络计划”)外, 为实现更大的通信速率和更加灵活的使用模式, 发展了“索拉拉”(Solara)系列太阳能无人机, 采用大展弦比正常式布局, 翼展 50 m, 有效载荷 32 kg, 2015年5月1日, Solara50(图1)在美国新墨西哥州进行了试飞。

Facebook 公司从 2013 年开始推行 Internet.org 项目, 以期加强偏远地区的网络覆盖, 实现全球三分之二高速互联网接入的无线覆盖率。其空中网络基站计划研制了“天鹰座”(Aquila)太阳能无人机, 旨在以激光通信实现无线网络传输, 提供“千兆级”通信速率。该无

收稿日期: 2018-02-08; 修回日期: 2018-03-02

作者简介: 马洪忠, 研究员, 研究方向为飞行器控制、总体设计, 电子信箱: mahzhong@163.com; 李庆(通信作者), 工程师, 研究方向为飞行器总体设计, 电子信箱: buaalqing@126.com。

引用格式: 马洪忠, 李庆, 刘晓春, 等. 临近空间太阳能无人机在应急通信中的应用[J]. 科技导报, 2018, 36(6): 47-54; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.06.006

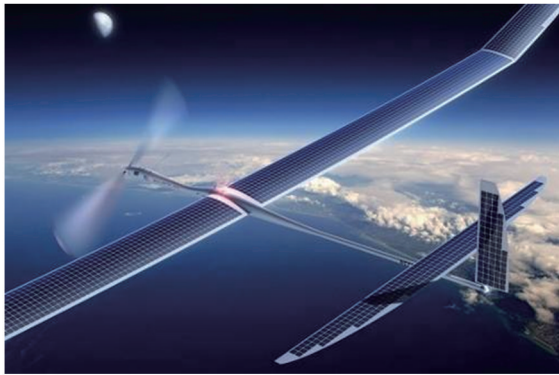


图1 Solara50  
Fig. 1 Solara50

人机采用大展弦比飞翼布局,翼展43 m,起飞重量400~454 kg,航时90天(设计值),外形如图2所示。该无人机于2016年6月28日在亚利桑那州尤马县(Yuma)首

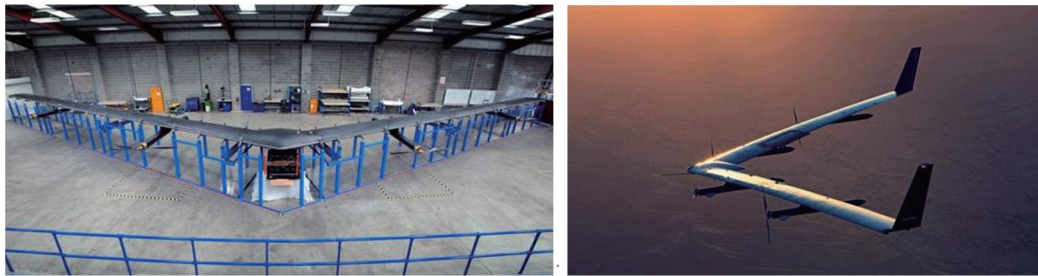


图2 Aquila  
Fig. 2 Aquila

## 1 太阳能无人机在通信体系中的定位

### 1.1 临近空间通信系统特点

太阳能无人机续航时间长、飞行高度高等能力优势,不但具备传统航空、航天飞行器的诸多优点,同时还具备自身独特的能力优势,一定程度上具有“准卫星”应用特征<sup>[12-13]</sup>。当其搭载通信载荷开展应用时,具有以下三大优势:

1) 作业效率高。凭借太阳能无人机平台的超长续航能力,单机单次执行任务可实现“周”级以上任务航时;凭借其超高飞行高度,对下可实现更广的区域覆盖,从而可完成大面积目标区域通信保障工作。

2) 综合效费比高。太阳能无人机平台成本在千万量级,相比于卫星,不需要通过数亿元的火箭发射,具有成本优势,且可多次重复使用,可返回地面升级;相比于其他油动无人机,太阳能无人机没有燃油消耗,以上因素使得太阳能无人机具有很高的综合效费比。

次试飞,目前正在开展低空飞行测试。2017年11月,Facebook公司宣布将基于天鹰座无人机与空客公司进行合作开展临近空间通信系统项目,以此推动HAPS从概念走向现实,并与国际电信联盟(ITU)就通信所需的宽波段频谱支持达成初步意向。

此外,国外还研发了多型有望应用于应急通信领域的临近空间太阳能无人机,如“太阳神”系列太阳能无人机<sup>[5-7]</sup>、“秃鹰(Vulture)”研究计划<sup>[8]</sup>、“西风”系列太阳能无人机<sup>[9-10]</sup>等。中国航天科工集团、中国航天科技集团、西北工业大学等单位研发的太阳能无人机平台也取得了重要进展<sup>[11]</sup>。

本文基于太阳能无人机的临近空间通信系统的特点和优势,对典型的应用场景及涉及的关键技术和潜在的效益进行分析。

3) 使用维护便捷。基于目前国内外在轻质高强复合材料结构、高效能源动力系统、总体优化等领域的技术突破,采用硬式机翼技术路线的太阳能无人机可实现翼展的有效控制,普通小型通航机场即可满足起降需求;同时可实现快速的展开部署与撤收,实现对应急场景的快速响应;能够有效应对对流层复杂紊流环境,飞行安全性高。

### 1.2 系统能力优势

国内目前已有通信手段包括卫星通信系统和地面蜂窝通信系统,地基铁塔主要用于平原城市等人口密集地区通信,天基卫星主要保障高价值窄带通信,临近空间太阳能无人机可利用其机动性好、使用维护效费比高、系统升级简易等独特优势,用于偏远地区通信补盲、灾区应急通信、远程通信、人口密集地区的通信备份和增强等,与以上2种手段形成有效互补。

基于太阳能无人机的临近空间通信系统与卫星通

信系统相比<sup>[14]</sup>,第一,与地面终端距离更近,处于临近空间的无人机与地球同步卫星相比,自由空间衰减减少 65 dB,通信保障速率较卫星有数量级的提升;可有效降低通信时延,提升通信质量,更有利于远程语音通信;也更有利于实现通信终端的小型化、宽带化和低成本;第二,不受卫星严格的发射窗口要求,可根据使用需求,快速反应实现应急补网;第三,制造及发射成本相对较低,其制造成本远低于价值达数亿元的卫星,其使用运行费用低廉,综合效费比高;第四,可根据使用或维护需求,快速返回地面更换有效载荷。

基于太阳能无人机的临近空间通信系统与地面蜂窝通信系统相比,第一,具有更广的覆盖范围,并可有效覆盖偏远山区、小型岛礁等难以架设地面基站的地区;第二,更强的任务适应性,可在遭受重大灾害时,快速应急恢复灾区通信能力;第三,更小的信道损耗,到地面近似为自由空间,信道损耗仅为蜂窝通信 2/5,可获得更高的通信容量,实现任务设备的小型化。

基于太阳能无人机的临近空间通信系统可与目前已有的卫星通信系统和地面通信系统综合组网,并可在某些情况下应急替代地面、卫星通信系统功能,因此临近空间通信系统是空天地一体化通信网络体系中重要组成部分,与地面、卫星通信系统可形成有效的补充和增强作用,未来可与卫星、地面通信系统共同构建“全域多维、立体覆盖”的天地一体化通信网络<sup>[15-17]</sup>。

### 1.3 应用方向

基于太阳能无人机的临近空间通信系统根据其自身应用特点,可实现增强、补盲、应急、远程中继等 4 类应用模式。可承载语音、图片、视频等信息,具备单向、双向通信能力。

第一,作为已有通信服务增强,随着无人机和通信技术的发展,基于临近空间太阳能无人机的临近空间通信系统能够提供更高的通信速率(可达到 1 Gbit/s)。可根据实际场景需求,提供局部地区临时通信增强能力,解决大型活动、体育赛事等短时间内局部区域通信容量需求增强问题。

第二,作为偏远地区通信补盲,偏远地区及海岛不便于架设地面基站,同时地面通信的使用维护成本过高。基于临近空间太阳能无人机的临近空间通信系统利用其机动部署的特点,能够为远海岛礁(礁)、边远地区等提供局部通信。例如,可通过约 20 架临近空间太阳能无人机即可实现对南海全域覆盖,解决中国南海

部分岛礁无法架设基站、通信存在盲区的问题。

第三,作为应急通信,在地震等灾害导致地区通信设施受到损毁的条件下,多机升空组网,在灾害发生后数小时内快速恢复通信能力,并可提供“周级”甚至更长时间的不间断应急通信服务,为黄金 72 小时救援行动提供信息保障,提高应对灾害的能力,减少损失。

第四,作为远程中继通信,以往中国远程中继通信多通过铱星或海事卫星系统,存在运营成本高、传输速率有限等问题,且系统升级困难,采用临近空间太阳能无人机作为远程中继通信平台,能够以更低的成本实现更大的传输速率,系统升级维护简易,从而可提供一种新型的远程语音和数据传输中继方式。

## 2 典型应用场景

面向不同的任务场景,应用的形式也有所不同。既可作为一个空中“Wi-Fi”对下覆盖,保障覆盖范围内用户的局域网通信,也可构建一个前后方通信的“空中信息走廊”,保障覆盖范围用户与后方的即时通信。既可自主接入现有运营商网络(公网),也可构建独立于公网之外的专用网络(专网)。以下介绍了基于太阳能无人机的临近空间通信系统的 3 种典型应用场景。

### 2.1 空中局域网

基于太阳能无人机的空中局域网,是以太阳能无人机的空基平台,搭载机载局域网单元,构建完整的空基局域网,提供信息服务。凭借太阳能无人机飞行高度高、机动性强、滞空时间长等优势,系统可提供远大于地面基站的网络覆盖范围以及不受区域限制的“伴随式”网络接入服务,实现区域内部用户信息互联互通,并为用户的 IP 数据、语音、视频等业务提供接口和传输链路。在区域反恐维稳、灾区应急救援等场景下,可有效支撑实现前方现场内部指挥调度功能。目前国内的中国航天科工集团正面向该类应用方向,通过商业航天的形式开展“飞云”工程的系统研发工作。

基于太阳能无人机的空中局域网由太阳能无人机平台、机载局域网单元、地面指挥控制单元和地面用户终端组成(图 3)。其中地面用户终端根据用户类型分为静中通和动中通用户终端。

根据任务需求,太阳能无人机起飞并按照预先规划的飞行航迹飞抵任务区域,在目标区域上方盘旋飞行。通过机载局域网单元对下形成局域网覆盖,为覆盖范围内的地面用户提供局域网接入服务,覆盖范围

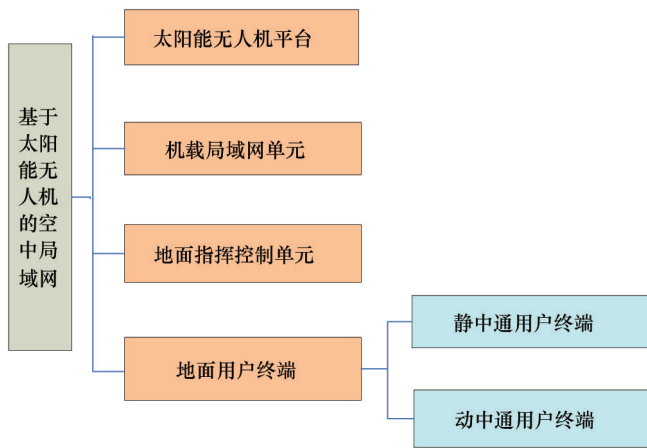


图3 基于太阳能无人机的空中局域网系统组成  
Fig. 3 Composition of an aerial LAN system based on solar-powered UAVs

内用户之间可实现内部通信及数据交互。指挥控制单元通过测控链路对无人机进行任务规划及实时监控。根据实际任务情况,无人机平台可对地/海面用户进行“伴随式”保障。系统使用模式如图4所示。

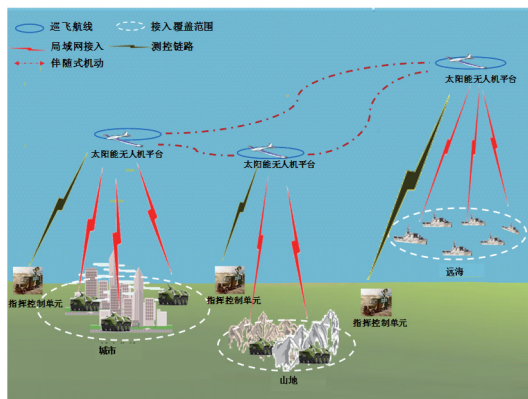


图4 基于太阳能无人机的空中局域网应用示意  
Fig. 4 Schematic diagram of the application for an aerial local area network based on solar-powered UAVs

## 2.2 海上应急通信

利用太阳能无人机的高空飞行能力以及超长滞空时间,可形成海上方向的应急通信手段,为覆盖范围内的沿岸受灾地区、值守岛礁、海上钻井平台、出海渔船等一定范围内手机用户提供前后方之间语音通话等应急通信保障服务,便于后方实时掌握前方情况,组织救援等行动开展。

系统由太阳能无人机平台分系统、机载通信载荷分系统、地面通信载荷分系统、机载指挥控制分系统、地面指挥控制分系统、地面支援保障分系统组成。系统包含视距通信无人机和卫星通信无人机两架无人机,根据不同任务场景需求,配置有不同载荷(表1),实现近/远海广域通信覆盖。

表1 无人机应用场景及载荷配置情况  
Table 1 Application scene and loads for the UAVs

视距通信无人机 (适用于视距内)	卫星通信无人机 (适用于视距外)
LTE 基站	LTE 基站
AIS 接收机或呼救接收机(SOS)	机载卫通终端
高速 X 频段通信设备	北斗短信终端
低速 UHF 通信设备	起降 UHF 频段通信设备

当任务区域处于视距数据终端测控范围内时,采用视距通信无人机进行业务保障,利用无人机搭载 LTE 通信基站对下形成区域覆盖,并通过视距微波链路实现前后方语音、短信、上网等信息交互,可保障覆盖范围内 400 个用户同时在线使用。此外,无人机还可利用搭载的船舶自动识别系统(AIS)信号接收机或呼救(SOS)信号接收机,实现覆盖范围内的船只 AIS 信号接收或 SOS 信号接收。当任务区域处于视距数据终端测控范围外时,采用卫星通信无人机执行任务,通过卫星通信链路实现前后方语音、短信、上网等信息交互。系统使用模式如图5所示。

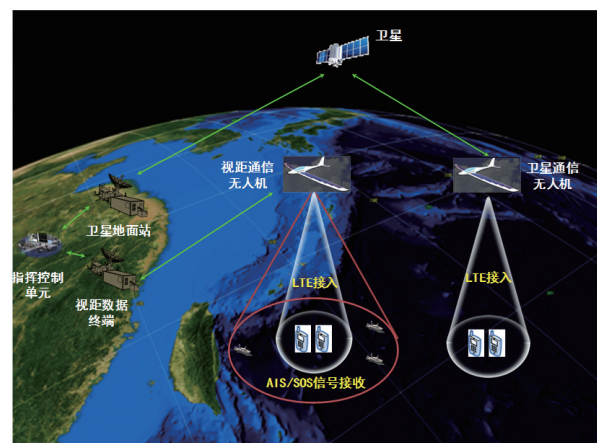


图5 太阳能无人机海洋应急通信保障应用示意  
Fig. 5 Schematic diagram of the application for overocean emergency communication support using solar-powered UAVs

## 2.3 偏远地区网络接入

针对偏远地区不便于架设地面基站,以及用户较为分散的实际情况,利用太阳能无人机续航能力强、覆盖范围大、使用维护便捷、可实现快速系统升级等能力优势,执行偏远地区网络接入保障任务,满足相关地区人员与外界通信交流需求。

基于太阳能无人机的空基互联互通系统主要包括无人机机群组成的空中互联通信平台、无人机控制/通信地球站(网关)、微基站、固定终端、移动终端等,具体拓扑关系如图6所示。

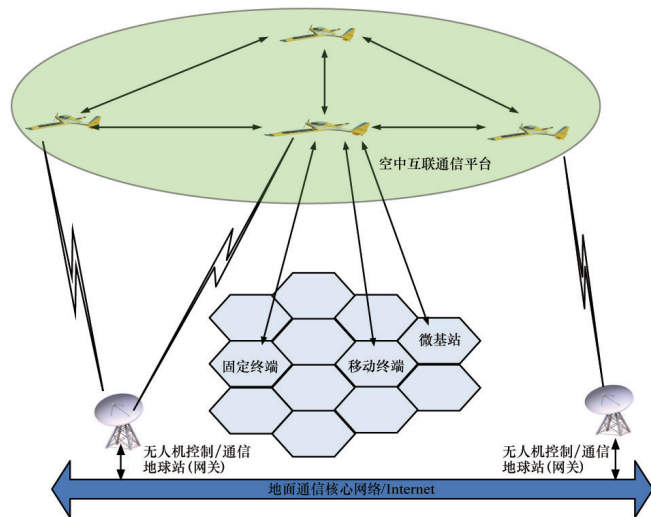


图6 系统组成及信息传输拓扑

Fig. 6 Composition of the system and topology of information transmission

太阳能无人机作为空中互联通信平台,每架无人机配置一副多波束天线,天线在其所覆盖范围内能发射多个点波束,每个波束实现对一个蜂窝小区的覆盖,无人机平台即相当于城市移动通信中的空中蜂窝基站。

无人机控制/通信地球站通过与无人机之间的双向通信,实现对无人机的控制,以及无人机覆盖区域用户信息与地面通信网络之间的无缝接入。无人机控制/通信地球站具备同时接入和控制多架无人机的能力。多架无人机直接或间接实现相互连通,构建空中互连网络,无法直接接入控制/通信地球站的无人机可经由其他无人机中继间接接入地球站。微基站主要用于手机、笔记本电脑等较弱信号用户与无人机通信的中继,通过一个或多个微基站实现对一个蜂窝小区的覆盖,实现该小区中用户的无线通信接入功能。固定终端或移动(车载)终端主要是针对一些特定无微基站覆

盖的应用场景,用户通过在家中或车上安装一个专门的信号增强转发器,经由转发器的中继实现用户的无线通信接入。

整个系统运行过程中,各空间太阳能无人机按照计划依次定期返航进行维护,确保整个系统可靠运行。

## 3 关键技术分析

基于太阳能无人机提供通信保障服务是一种崭新的应用模式,其中涉及的无人机平台、通信载荷及其应用方面均存在一些技术难点有待攻关。以下对系统涉及的关键技术进行分析。

### 3.1 高效能源系统设计与应用技术

高效的能源系统是太阳能无人机实现超长任务航时的关键支撑,具体包括高转化效率的太阳能电池、高能重比储能电池以及高效能源管理系统等。

太阳能电池方面,目前传统单晶硅太阳能电池转化效率偏低,组阵后转化效率为20%~23%,受材料特性影响,后续进一步提升空间有限;转化效率可达30%以上的砷化镓太阳能电池受目前工艺、设备等因素影响,价格在50万/km<sup>2</sup>以上,过高的价格导致其难以大规模应用。需针对衬底复用等技术开展攻关,以进一步降低成本,并提升太阳能电池效率。此外,为满足机翼曲面敷设以及临近空间环境适应性需求,需开展太阳能电池封装及敷设技术研究,严格控制由封装、敷设带来的质量增加,同时使太阳能电池具备良好的柔性,并具备耐高/低温变化、耐辐射、耐臭氧腐蚀、高可靠性等特点。

储能电池方面,储能电池组质量可占太阳能无人机总重的20%~50%,提高储能电池的能量密度可有效提升太阳能无人机整体性能,增加夜间飞行高度和任务载荷能力。传统锂电池组的能重比在200~230(W·h)/kg,目前正在针对具有更高能重比的新型锂电池、锂硫电池、固态电池等开展技术攻关,重点解决充放电循环次数、电池衰减性能、放电倍率等方面的问题。此外,储能电池对环境温度要求较为苛刻,储能电池组在临近空间低温低气压环境下的环境控制问题也是一个重要技术难点,需综合采用“被动+主动”环境控制措施满足环控需求。

能量管理系统方面,通过最大功率点跟踪器(MPPT)可实现对太阳能电池能量采集的最优控制,需进一步针对变功率跟踪技术进行深入研究,并提高基

础元器件性能水平,降低器件损耗。利用储能电池管理系统(BMS)对能源的存储和使用进行精细化管理,对电池的状态进行监测和保护,并重点针对能量均衡技术、剩余电量(SOC)高精度指示技术等开展技术攻关。通过提高能源管理技术水平,实现能源的精打细算,进一步支撑无人机总体性能提升。

### 3.2 太阳能无人机总体优化设计技术

太阳能无人机基于在低雷诺数高升阻比气动设计、大型轻质复合材料结构设计与制造、跨大空域高效螺旋桨设计等领域先进技术成果,采用硬式机翼技术路线,通过总体优化设计,可实现总体性能和使用维护性之间的平衡,满足相关任务需求。

在低雷诺数高升阻比气动设计方面,太阳能无人机典型雷诺数在数十万量级,流动分离、转换、流动再附等现象复杂,目前数值模拟计算结果存在较大偏差且计算不易收敛,在可容纳试验模型尺寸、风洞湍流度等方面,国内目前已有的大型风洞距离该类无人机试验需求尚有一定差距。后续需综合采用数值模拟、工程估算、部件级风洞试验、外场试飞等多种手段,提高该类大展弦比低速无人机的低雷诺数气动设计及评估能力。

在大型轻质复合材料结构设计与制造方面,设计中需要平衡结构轻质化和刚度/强度要求之间的关系,制造中需要有效控制树脂含量并实现结构制造的低成本化,通过尽可能降低结构质量系数以增加任务载荷能力。因此可通过选用在航空领域应用日趋成熟的高强碳纤维预浸料,配合真空袋模压成型等非热压罐成型工艺形式,将树脂含量控制在40%左右,并大幅降低复合材料结构成本,实现结构性能和成本的兼顾。

在跨大空域高效螺旋桨设计方面,20 km 临近空间高度空气密度约为海平面处的1/14,压强约为海平面处的1/18,高低空差别巨大的飞行工况对于螺旋桨的设计要求截然不同,其中临近空间低雷诺数条件对螺旋桨气动设计更是提出了严峻挑战,需考虑采用变桨距等手段,面向全程优化飞行目标进行优化设计。

### 3.3 基于太阳能无人机平台的信息服务技术

基于太阳能无人机平台开展通信类信息服务,为了实现高速率、大容量、广覆盖等特点,满足各种复杂应用场景的需求,仍需突破抗多普勒频偏设计、多用户资源调度、设备临近空间环境适应性设计等关键技术。

在抗多普勒频偏设计方面,当太阳能无人机平台

相对地(海)面用户有较快移动,尤其是发生径向运动时,多普勒效应将会对通信质量造成影响。需要通过通信波形设计,物理层频偏校正算法等,解决由无人机飞行速度引发的多普勒频偏等通信问题。

在多用户资源调度方面,随着空中通信系统覆盖范围增大,用户接入数量和系统服务能力需求持续增加,对系统设计提出了较高要求。需采用子载波分配、功率控制、自适应调制编码等技术设计合理高效的多址接入信道(MAC)资源调度,实现信道资源利用的最大化,为系统服务提供最优的服务质量(QoS)保障。

在设备临近空间环境适应性设计方面,临近空间强辐照、高臭氧、高低温交替,低气压等复杂飞行环境对信息服务系统的长时间可靠工作提出了挑战,并且由于太阳能无人机对质量、功耗指标敏感,需要基于现有链路和通信载荷设备开展环境适应性设计、轻量化设计和低功耗设计,最终适应平台系统的使用需求。

## 4 效益分析

基于太阳能无人机的临近空间通信系统可在应急通信等领域发挥重大作用,社会效益显著。还可向公众及企事业单位提供广泛的通信服务,形成对现有通信基础设施体系的有益补充。并能够有效带动与其相关联的上下游产业发展。

### 4.1 社会效益巨大

在地震、泥石流等重大自然灾害中,通过临近空间太阳能无人机可实现快速反应,构建应急信息保障体系,短时间内恢复灾区通信能力,能够满足了解灾区实时情况和救援的需求,防止恐慌情绪和不实信息扩散,便于救援工作策划和开展。

在南海岛礁、青藏高原山区等偏远地区布设基于太阳能无人机的临近空间通信系统,可填补相关通信覆盖空白,为及时了解当地有关情况,开展防止非法越界、保卫边疆、宣示主权等相关工作提供信息支撑。

在大型体育赛事、集会等活动中,基于太阳能无人机的临近空间通信系统可有效满足活动开展期间的通信保障需求,解决因人群聚集导致的区域内通信流量激增、通信质量下降问题。

### 4.2 具有潜在的经济价值

基于太阳能无人机的临近空间通信系统在投资运营方面的主要优势包括:

1) 建设周期短、可快速形成能力。系统中单架太

阳能无人机配合相应的地面设备即可独立执行任务。后续可通过在运营过程中的“自发造血”形成滚动发展,从而根据实际用户需求扩大建设规模。

2) 初期投资成本小、收益见效快。单架无人机价值在1000万左右,初期投入千万量级的资金即可开展系统的初步建设运营。单机投入运营后便可创造经济效益。

3) 场景适应性强、服务内容广泛。系统可基于无人机的快速到达、灵活部署能力,实现用户需求快速响应,满足受灾地区、远海、山区、沙漠、人群聚集区域等各类特殊任务场景需求。提供互联网接入、语音通信、AIS信号接收、SOS信号接收等各类服务。

在商业模式上,可通过出售全系统产品、提供信息服务、与运营商联合运营等多种方式实现盈利,并可与“一带一路”沿线国家(尚未建设有完备的通信基础设施)开展合作,构建空中信息走廊,在创造经济效益的同时,也具有显著的战略价值。

#### 4.3 有力带动上下游产业发展

基于太阳能无人机的临近空间通信系统建设,一方面可牵引临近空间太阳能无人机平台发展,另一方面牵引通信终端研发行业发展,促进通信载荷小型化,进而降低对卫星、地面通信系统的载荷能力需求或在同等载荷能力下实现更强的通信功能。

基于太阳能无人机的临近空间通信系统的加入以及空天地一体化通信网络的构建将提供更多样化的通信及互联网服务,有效降低系统成本,便于推广普及并带动整个通信服务行业的发展。

## 5 结论

临近空间太阳能无人机凭借自身的超长续航时间、大范围对地/海面覆盖能力、快速反应能力和高性价比,有望成为一种高效、便捷的新型通信平台,能够良好适应海上应急通信、突发自然灾害救援等应急通信任务场景。可以预见,随着太阳能无人机技术不断发展,基于太阳能无人机的临近空间应急通信系统将在不久的将来实现工程应用,创造社会经济价值。建议后续针对该系统运营涉及的空域管理、频段申请、牌照资质等开展相关研究,提供相关政策保障。

#### 参考文献(References)

[1] Liu Y, Grace D, Mitchell P D. Exploiting platform diversity for

GoS improvement for users with different High Altitude Platform availability[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(1): 196-203.

[2] Bayhan S, Gur G, Alagoz F. High altitude platform (HAP) driven smart radios: A novel concept[C]//International Workshop on Satellite and Space Communications. Piscataway, NJ: IEEE, 2007:201-205.

[3] Stephens H. Near-space[J]. Air Force Magazine, 2005, 88(7): 31.

[4] John P. RQ-4 A global hawk (TierII+HAEUAV)[EB/OL]. (2004-05-17)[2018-02-01]. [http://www.fas.org/irp/program/collect/global\\_hawk.htm](http://www.fas.org/irp/program/collect/global_hawk.htm).

[5] Brown S F. The eternal airplane[J]. Popular Science, 1994, 244(4): 70-75.

[6] Carey P G, Aceves R C, Colella N J, et al. A solar module fabrication process for hale solar electric UAVS[C]// Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion: WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC). Piscataway, NJ: IEEE, 1994, 2: 1963-1969.

[7] Flittie K, Curtin B. Pathfinder solar-powered aircraft flight performance[C]//23rd Atmospheric Flight Mechanics Conference. Boston, MA: AIAA, 1998: AIAA-98-4446.

[8] Chris H. SolarEagle (Vulture II) Backgrounder[R]. Wayback Machine, 2010.

[9] Amos J. Solar plane makes record flight[N]. BBC News, 2008-08-24.

[10] Hanlon M. QinetiQ Zephyr solar powered unmanned aircraft to land after 14 days aloft[N]. GizMag, 2010-07-23.

[11] 陶于金. 临近空间超长航时太阳能无人机发展及关键技术[J]. 航空制造技术, 2016(18): 26-30.

Tao Yujin. Development and key technologies of near space solar unmanned aerial vehicles with long flight time[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016(18): 26-30.

[12] NASA. ERAST: Environmental research aircraft and sensor technology[R]. Washington DC: NASA, 2002.

[13] NASA. Helios prototype: The forerunner of 21st century solar-powered “atmospheric satellites”[R]. Washington DC: NASA, 2002.

[14] 丁平, 杨健. 临近空间飞行器在空间通信中的应用[J]. 科技信息, 2009(10): 419-420.

Ding Ping, Yang Jian. Application of near space aircraft in space communication[J]. Science & Technology Information, 2009(10): 419-420.

[15] 费立刚, 范丹丹, 寇保华, 等. 基于中继卫星的天地一体化信息网络综合集成演示系统研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2015, 10(5): 479-484.

Fei Ligang, Fan Dandan, Kou Baohua, et al. Based on the integration of heaven and earth relay satellite information net-

- work integrated demonstration system research [J]. Journal of China Institute of Electronics, 2015, 10(5) : 479-484.
- [16] 张登银, 刘升升. 基于 Mesh 的空间信息网体系结构研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 69-73.  
Zhang Dengyin, Liu Shengsheng. Space information network system structure based on Mesh study[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(8): 69-73.
- [17] 姜会林, 刘显著, 胡源, 等. 天地一体化信息网络的几个关键问题思考[J]. 兵工学报, 2014(增刊1): 96-100.  
Jiang Huilin, Liu Xianzhu, Hu Yuan, et al. Several key problems of integrated information network of heaven and earth to think[J]. Journal of armaments factories, 2014(Suppl 1): 96-100.

## Application prospect of near space solar-powered UAVs in emergency communication

MA Hongzhong, LI Qing, LIU Xiaochun, DING Yiheng

UAV Technology Institute, HIWING Technology Academy of CASIC, Beijing 100074, China

**Abstract** The solar-powered unmanned aerial vehicles (UAVs) flying at the near space enjoy a long flight time and a high flight height. The air communication service system can be established when the solar-powered UAVs carry the communication loads and it has a great application prospect in the field of the emergency communication. This paper reviews the development of the solar-powered UAVs platform at home and abroad and the application in the area of communication. By analyzing the characteristics and the application directions of the communication system based on the solar-powered UAVs, three typical applications and their key technologies and benefits are analyzed. It is shown that the near space communication system can be constructed by using the solar-powered UAVs. The communication system can be used for the long-term wide area and is flexible in use. And it will play an important role in the field of the emergency communication.

**Keywords** near space; solar-powered unmanned aerial vehicles; emergency communication ●



(责任编辑 刘志远)