

关于低空经济智联网发展思考

高启学¹, 赵崧良²

(1. 四创电子股份有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 重庆长安工业(集团)有限责任公司, 重庆 401120)

摘要: 所谓低空经济, 一般是指与低空空域内以民用通用航空产业为主导^[1], 与航空器(含无人机)行业相关的经济, 主要包括通用航空器(含无人机)研发制造、飞行服务保障基础设施建设以及各类通用航空器(含无人机)行业应用等。本文以此为切入点, 开展低空智联网设计思路探讨, 将低空空域监视、移动互联网、卫星导航、大数据、云计算、人工智能等新技术与低空通航产业进行融合, 突破通用航空器(含无人机)身份统一认证、通信自组网、自主飞行、飞行保障等关键技术, 为低空智联网建设和行业标准制定提供参考, 确保低空通用航空器(含无人机)运行环境的效能与安全, 促进我国低空经济的快速发展。

关键词: 低空经济; 低空智联网; 无人机

中图分类号: V19

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.11.023

近年来, 我国陆续出台相关政策积极支持低空经济发展, 通过低空空域开放等方式培育低空经济增长点。国家发改委于2017年1月发布《关于建设通用航空产业综合示范区的实施意见》, 2月发布《通用航空“十三五”发展规划》。2021年2月中共中央、国务院印发了《国家综合立体交通网规划纲要》^[2], 规划纲要中指出“加强交通运输与现代农业、生产制造、商贸金融等跨行业合作, 发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、低空经济”。

目前, 中央空中交通管理委员会办公室已经批复湖南、江西、安徽为三个全域低空空域管理改革试点省份, 并将进一步扩大低空空域开放范围, 促进通用航空(含无人机)快速发展和安全有序进行。

1 通用航空器(含无人机)发展现状

截至2020年底, 我国在册的通用机场数量达到了339个^[3], 相比2019年增加了62个。我国在册的通用航空飞行器总数到达了4164架, 比2019年增加了524架。全国全行业注册的无人机数量已经超过40万架, 无人机运营企业共计10728家, 相较于2019年新增了3576家, 年增长率50%。以无人机产业为代表的低空航空器已经面向各个领域提供各种专业化服务, 比如农林植保、遥感测绘、救灾应急、安全监视、物流运输、消费娱乐等。

我国民用航空局继公布首批13个民用无人驾驶航空试验基地(试验区)名单之后, 2020年10月又发布了《民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引》, 明确试验基地(试验区)主要承担拓展运行场景, 开展无人机系统安全性、可靠

性及验证符合性研究, 统筹协调低空空域资源、提高低空空域资源使用效率, 探索无人驾驶航空运行基础设施投资、建设、使用及管理方式等5个方面任务, 构建城市场景、海岛场景、支线物流、高原环境运行和综合应用拓展5大试验区^[4]。低空经济作为新经济一部分, 已经呈现出巨大潜力, 发展渐入佳境。

2 低空智联网

2.1 应用场景

与通用航空器(含无人机)在低空经济领域发展良好势头不相称的是, 现阶段我国通用航空器(含无人机)相关标准的发布较为滞后, 法律、法规还不够完善, 造成异构机型之间信息格式、物理接口设计互不兼容。无人机测控及通信设备大都采用私有协议, 难以实现互联互通; 缺少统一的通信频谱规划和公共通信网络支持, 导致多架无人机在同一空域使用时容易出现频点冲突。对于低空通用航空器(含无人机)的探测和监视, 技术上常用雷达、光电以及无线电侦测等方式。但由于环境的复杂性及场景的差异性, 特别是对高楼林立的城市中飞行的微小型无人机, 缺乏有效监测和管控手段, 限制了无人机在城市环境中高密度使用。

为实现低空空域内通用航空器(含无人机)可观测、可规避、可通信、可控制、可管理, 支撑通用航空器(含无人机)飞行监控、运行管控、安全防护等服务业务, 有必要建立一个功能完善、性能先进的低空监视网络。中国工程院院士樊邦奎建议, 应加强无人机行业应用顶层设计, 开启低空智联网新基建, 他指出“低空智联网不仅是低空经济的重要配置要素, 更是低空治理体系的重要抓手”^[5]。



图1 低空智能网络应用场景示意图

2.2 网络拓扑

低空智能网络是针对低空空域运行特点，结合国家综合立体交通管理系统运行概念，吸取传统民航通信、导航和监视领域等成熟经验，充分利用5G通信、智能感知、卫星导航、大数据等新一代信息技术，丰富和完善监测管控，建立协议互联互通、信息融合共享、业务统一流程、网络智能调度、运行高效协同、指令顺达通畅的全空域、立体化的低空智能网络体系。

低空智能网络由低空管理系统、低空感知设施、网络链路传输和云数据中心组成。低空管理系统分为低空感知、网络链路传输、云数据中心和低空管理平台。低空感知设施由飞行监视感知、环境监视感知和安全防护感知组成，能够覆盖机场场面、进近、终端区、航路，实现低空空域飞行监视、环境监视和安全防护。网络链路传输以光纤、雷达、蜂窝、短波以及卫星通信链路为基础建设低空通信+监视网络，兼顾不同空间位置、地理环境、气象环境下的通信与监视能力。运输局中心能够实现低空智能网络数据接入、管理、分析和应用，为监视服务提供数据支撑。低空智能网络具备对通用航空器（含无人机）全航路无缝探测能力，可对探测到的航空器属性进行判别，对执行任务的航空器进行飞行控制，对非合作航空器（黑飞无人机）反制干预提供数据支持。通过空天地一体化通信、导航、监视，低空智能网络能够解决空间空域细分、飞行安全规则制定、全过程监视以及不同厂家无人机之间的通信和避障飞行等问题，保障低空空域智慧、安全、高效运行。

低空智能网络以平台为中心，“云、网、边、端”一体化架构，以云为基础，通过“云、网、边、端”协同，构建开放、立体感知、全域协同，提供网络化运行、数字化转型、智能化管理的服务能力。

3 低空智能网络关键技术研究

根据我国通用航空产业发展及实现民用无人机大规模有序应用的需求，利用新一代移动通信、互联网+物联网、智能传感、多源多模式目标识别、大数据、云计算以及深度学习等技术，构建空天地一体的通用航空器（含无人机）低空智能网络应用平台，提供低空环境下全域覆盖的测控及通信网络，避免通信资源的重复建设和通信频点资源冲突等问题。

通过5G通信网络、雷达/无线电/光电、卫星导航、地空ADS-B等多种技术，开展体系化监测和控制技术研究，通过智

联异构网络、低空复杂环境下通信组网、融合和多源探测技术。针对雷达、光电等主动探测方式存在较大环境制约问题，要研究微动多普勒识别技术，实现对低速、垂直飞行甚至是悬停目标进行探测；采用分布式、多形态传感器，包括光电、无线电、星基、北斗、动态数字空域构建等技术手段，通过主被动多源监测、识别技术，实现低空全域飞行目标监测和识别功能；构建相关监测、识别、接入等标准规范体系。

3.1 基于区块链的统一身份认证技术

工业和信息化部日前印发了《关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》^[6]，指出为建立完善民用无人机的安全监控体系，研究制定民用无人机数字身份识别规则、技术方案，通过加装通信模块、飞控软件升级、预留接口或采用国家制定的统一传输协议等技术手段，将产品纳入国家统一管控；利用移动通信网络、广播式自动监视系统或卫星通信等方式，全面实现“一机一码”。

实现通用航空器（含无人机）统一身份识别和认证，需要解决通用航空器及无人机融合运行中远程通信身份识别和指令安全难题。目前，国内外通用的身份认证方式总体上可分为以下几种类型：一是基于静态口令的认证方式；二是基于动态密码的认证方式；三是基于生物特征的认证方式；四是基于公钥密码学PKC的认证方式。

区块链作为一种兼具分布式、防篡改、隐私性和可追溯等安全特性的技术^[7]，在越来越多的领域显示出独特价值。随着低空智能网络应用终端的增加，网络空间环境将呈现出更为复杂的关系，如果身份认证过程仍旧过分依赖中心化方式或手段，无疑将加剧服务器端的安全风险，一旦其遭受恶意攻击，将会带来严重的隐私信息泄露风险。

因此，为了摆脱集中式信任架构下仅凭靠可信第三方主导认证过程的束缚，以及最大程度上控制用户密钥泄露和单点失效等问题，在保证用户密钥安全的基础上，研究分布式架构下低空智能网络中综合考量区块链技术和身份认证技术，建立一套低空智能网络环境下网络身份信任系统是极其必要的。

3.2 低空复杂环境下通信组网技术

国内尚无专门针对低空空域的通信网络，传统机载点对点专用测控链路覆盖距离有限，使用自组网设备时接入节点较少。低空智能网络采用多种通信技术和网络融合通信组网架构，该架构包括传统专用测控网、卫星通信网、5G移动通讯网，以及飞行器中继自组网等技术，可通过不同通信网络之间的融合组网拓展覆盖能力，并通过无缝垂直切换进一步提升网络整体的可靠性与稳定性。

在低空智能网络中，包括有人机和无人机等通用航空器既是通信服务的提供者，也是通信服务的使用者。作为通信服务的提供者，低空空域航空器与高空空域设备及空间卫星建立通信

链路,并为低空物联网中的其他设备以及地面用户提供通信业务的覆盖;作为通信业务的使用者,低空航空器则与地面基站或提供通信服务的其他低空物联网设备相连接,以满足其“网联化”需求。同时,采用基于软件定义的网络体系架构,实现用户面和控制面分离,并结合边缘网络技术,提升低空物联网业务的快速上线和灵活部署能力。

3.3 多传感器融合自主避障飞行技术

针对复杂低空环境下作业的通用航空器(含无人机)安全飞行的要求,能够在不同使用环境下对低空障碍物进行探测和识别,需要配置适应不同环境下的障碍物识别的传感器。为了避免探测传感器自身固有的缺陷,如何将不同类型传感器的优缺点进行互补是一个难点。

无人机的自主防撞方法可分为基于概率地图的方法、基于单元分解的规划方法、势场法、数学规划方法和基于进化计算的规划方法等。这五类方法中的每一类又有多种分支和不同的具体方法。

如采用毫米波雷达、激光雷达和视觉传感器相结合的方式对无人直升机前方的障碍物进行检测,利用毫米波雷达进行目标测距和测角,激光雷达完成与毫米波雷达的互补,可以进行障碍物的三维重建,并结合视觉传感器对探测到的目标进行识别。采用了基于机器学习算法对探测到的目标进行识别,可以有效判断障碍物的类型,进而为规避算法提供有利的判断条件。采用了认知发育的防碰撞控制策略,可以模拟人类认知智能的无人直升机认知防碰撞控制方法。

3.4 低空气象探测技术

低空空域对流强、天气变化相对剧烈、局部地方性天气和小气候明显,近地面能见度变化快,常规大尺度气象探测手段,难以针对此类低空恶劣天气进行预报。根据国际民航组织的统计,仅由于气象原因所造成的严重空中事故占航空事故的10%~15%;与气象直接或间接有关事故占航空事故的1/3左右,恶劣天气直接威胁到飞行安全。与民航飞机不同,大部分低空航空器速度慢、体积小、重量轻^[8],其自身抗强天气的能力很弱,所以低空飞行受到气象条件制约更为严重。

应用立体观测、智能协同、多源数据融合技术,为低空飞行气象服务提供系统级解决方案,为特定低空环境和特定低空飞行器进行多维度(不同时间段的周边及多个高度层)、多要素(风速、风向、温度、湿度、气压等)气象保障,可以实时监测飞行空域气象变化情况,为即将进入该区域的飞行器提供实时准确的预报,配合有效的管制措施,可以有效避免飞行器进入危险气象区域,确保航空安全。

4 总结

综上所述,应该形成这样的认知,即开展低空智能网联航

空器技术研究,能够促进我国低空航空运行环境的效能与安全,提升行业在国际标准制定的话语权,实现我国在通用航空的跨越发展,有利于空域安全、航行安全和国土安全,支撑低空管理改革工作。

同时,还应认识到,当前我国还没有完整的低空经济统计指标体系,对于我国低空经济的发展,只能依靠通用航空的有关数据。低空经济发展中有以下三点问题:①低空经济产业链短,在很多领域还没有得到开发;②受到收入水平不均衡因素的影响,很多消费者对低空经济的认识不足,发展受到阻碍;③我国低空经济的技术基础不牢。

我国低空经济正处在转型跨越的关键时期,低空经济除带动飞行器制造产业之外,还能促进空域监视、卫星互联网、大数据、云计算、人工智能等新技术与通航产业的融合,催生更大更多应用场景和商业模式,促进产业智慧转型,产生巨大政治、社会和经济效益。我们应大力培养低空经济相关的技术性人才,突破创新,打牢产业的基础;利用抖音、快手、微信公众号等主流短视频平台进行宣传推广,走入人们生活。

参考文献:

- [1] 卞鹏楼.低空经济、通航产业:辽宁发展新动力[J].辽宁经济,2013(8):9-15.
- [2] 无.国家综合立体交通网规划纲要[J].交通财会,2021(3):77-87.
- [3] 熊抒志.提高我国西南地区通用航空发展水平的分析[J].民航管理,2021(9):79-82.
- [4] 中国民用航空局.关于印发《民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引》的通知[EB/OL].(2020-05-21)[2022-01-11].http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202005/t20200522_202732.html.
- [5] 樊邦奎.无人机产业急需低空物联网[EB/OL].(2021-01-18)[2022-01-11].http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/2021-04/18/content_1116187.shtml.
- [6] 金伟,尚勇.中国无人机安全监管[J].科技导报,2019,37(14):66-77.
- [7] 张利华,张赣哲,曹宇,等.基于区块链的智能家居认证与访问控制方案[J].计算机应用研究,2022,39(3):863-867,873.
- [8] 胥川桂,李洪伟.低空飞行气象服务技术研究[J].电子世界,2021(2):158-159.

作者简介:高启学(1975-),男,安徽利辛人,高级工程师,硕士研究生,主要从事卫星导航和通信研究。