

2020年无人机热点回眸

段海滨¹, 申燕凯¹, 赵彦杰², 王寅³, 牛轶峰⁴, 范彦铭⁵, 邓亦敏¹, 罗德林⁶

1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院仿生自主飞行系统研究组, 北京 100083

2. 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 北京 100041

3. 南京航空航天大学航天学院, 南京 210016

4. 国防科技大学智能科学学院, 长沙 410073

5. 中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035

6. 厦门大学航空航天学院, 厦门 361102

摘要 2020年为无人机领域的发展与应用提供了新的机遇,同时也提出了新的挑战。在过去的一年中,无人机技术所呈现出的一些新特点引发了更多关于无人机产业发展之路的深刻思考。从无人机政策法规、关键技术、应用推广等多视角全方位盘点和分析了2020年无人机的科技热点及发展动向。以政策为导向,以创新为内核,无人机技术和产业将会迎来新的增长点,集群化、智能化和实战化作为颠覆性技术仍是无人机未来发展的重要方向。

关键词 无人机;科技热点;集群智能

近年来,随着人工智能和微电子技术的发展,无人机基础零部件呈现出小型化、低成本、低能耗等特点。同时伴随着人工智能、5G通信等新技术的逐步完善和应用推广,无人机行业在良好的发展环境中迅速增长,行业规模不断扩大,民用无人机规模超过了军用无人机,工业级无人机成为重点发展领域。

2020年是不平凡的一年,各行各业的发展都受到了冲击。突如其来的新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎)疫情使政府和企业逐渐加深了对无人机显著

性优势的认识,无人机产业发展和规划迎来了新的机遇和挑战。科技创新作为无人机产业持续发展的核心驱动力,将引导着无人机行业在技术创新和产业链构建上的不断完善。

1 落实无人机管控政改新规

放眼全球,近年来无人机产业进入了发展的快车道,表现亮眼。然而,与行业快速增长形成鲜明对比的是监管政策的相对落后,无人机“黑飞”事件

收稿日期:2020-11-29;修回日期:2021-01-08

基金项目:科技部科技创新2030-“新一代人工智能”重大项目(2018AAA0102400, 2018AAA0102403, 2018AAA0102405, 2018AAA0100803);国家自然科学基金项目(U19B2029, U19B2033, U20B2071, 61876187)

作者简介:段海滨,教授,研究方向为无人机仿生自主控制、计算机仿生视觉和仿生智能计算,电子信箱:hbduan@buaa.edu.cn

引用格式:段海滨,申燕凯,赵彦杰,等. 2020年无人机热点回眸[J]. 科技导报, 2021, 39(1): 233-247; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.

01.020

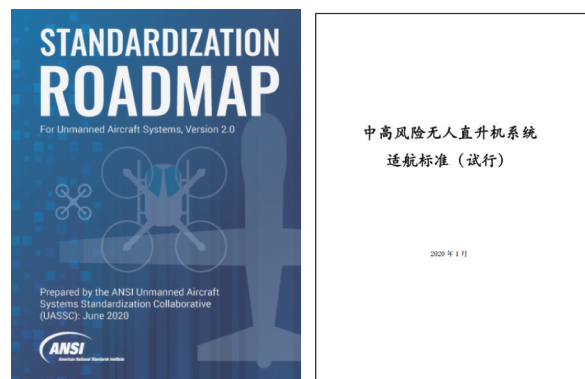
时常发生,给社会正常生产生活与居民人身安全带来一定的威胁。因此,加强无人机监管以引导行业健康有序可持续发展势在必行。

在肯尼亚禁止使用无人机数月后,2020年2月,肯尼亚民航局(Kenya Civil Aviation Authority, KCAA)起草了一项管理无人机技术使用的严格法规,以保护境内人员的隐私和安全,防范公共风险、恐怖活动和犯罪活动。此外,按规定无人机拥有者或操作者必须经过当局的认证^[1]。欧盟航空安全局(European Union Aviation Safety Agency, EASA)于2020年4月6日发布了全球范围内首个欧洲城市无人机安全操作规定,该规定将最大限度平衡无人机商业效益与确保公民安全和隐私的关系^[2]。2020年6月,美国国家标准协会(American National Standards Institute, ANSI)发布了《无人飞行器系统标准化路线图(2.0版)》工作草案(图1(a))^[3],该路线图对旧版本的修订、新标准的确定、差距评估和标准化预研等其他相关的领域提出了建议^[3]。2020年7月,阿联酋副总统兼总理默罕默德颁布的法律中概述了管理迪拜无人机活动的法规,该法律适用于迪拜及其自由区中任何无人机的活动(军事活动除外),旨在减少与无人机有关的活动风险,明确有关部门职责,将为公共和私人组织使用无人机提供相关服务^[4],帮助迪拜成为无人机制造、智能交通和创新的枢纽。

中国将无人机技术确定为重要的战略发展方向之一,出台了一系列政策法规大力扶持无人机产业的发展,助力经济结构的转型升级。2020年,与无人机研制、销售、使用与出口相关的管理部门(如中国民用航空局、工业和信息化部等)陆续发布了关于无人机生产制造、驾驶证登记注册和空中飞行管理等方面的政策。

中国民航局航空器适航审定司(简称民航局适航司)发布的通知称,将于2020年1月1日正式开展民用无人机适航审定工作,对无人机设计制造企业进行适航审查。2020年2月25日,民航局适航司发布了关于《中高风险无人直升机系统适航标准(试行)》征求意见的通知(图1(b))^[5]。该标准涉及

颁发和更改中高风险无人直升机系统设计、生产批准的适航标准,将有助于推动无人直升机系统标准化进程^[5]。2020年3月20日,工业和信息化部组织起草了《民用无人机生产制造管理办法(征求意见稿)》,该举措将为规范民用无人机生产制造相关活动,维护国家安全、公共安全、飞行安全,促进民用无人机产业健康有序发展提供政策指导^[6]。2020年3月27日,中国民航局发布了《民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引(征求意见稿)》的通知^[7],该意见以建设城市场景运行试验区、海岛场景运行试验区、支线货运运行试验区等多类型试验区为目标,谋求在特定类无人机试运行、监管和服务机制探索、无人机适航审定技术研究、运行技术验证等多个方面实现突破。在无人机行业立法方面,2020年7月8日,国务院办公厅正式印发《国务院2020年立法工作计划》(国办发〔2020〕18号),明确将无人驾驶航空器飞行管理暂行条例的制定纳入国务院2020年立法工作计划,并由中央军委联合参谋部、交通运输部负责起草^[8]。2020年9月28日,工业和信息化部无线电管理局组织起草的《民用无人机无线电管理暂行办法(征求意见稿)》明确指出,民用无人机可以申请使用840.5~845 MHz、1430~1444 MHz、2400~2476 MHz、5725~5829 MHz频段频率用于遥控、遥测、信息传输链路。这将为加强民用无人机无线电管理、维护空中电波秩序提供保障^[9]。



(a) 无人飞行器系统标准化路线图 (2.0版) (b) 中高风险无人直升机系统适航标准(试行)

图1 无人机政策法规

总而言之,在政策监管重点上,相较于2019年,2020年重点从无人机运行和空中飞行方面的管理,聚焦到无人机的产品和配套设施管理。这些重大监管政策的出台和相关立法工作的开展完善了无人机行业的运行体制机制,进一步促进了无人机行业的合法化运行,通过强监管措施,推动民用无人机行业步入健康、有序的可持续发展阶段。

2 创新驱动无人机技术革新

无人机产业能够持续爆发、带来巨大的经济效益的关键在于以创新驱动、技术革新为主的内在动力。在5G、人工智能、物联网和大数据等技术的推动下,2020年各种无人机新技术和新产品层出不穷,在无人机管理运营、新能源推进技术以及信息融合与环境感知领域取得了重要的进展。

2020年1月10日,DroneInch公司推出业界首个运营商级无人机运营管理平台DroneInch 2.0。该平台满足了飞行计划、运营商级运营以及灵活的定价模型等特殊需求和功能,可服务于大疆品牌的消费级、专业级和企业级无人机^[10]。在新能源推进技术领域,2020年2月,由BAE系统公司与Prismatic公司合作研发的PHASA-35太阳能飞机在澳大利亚皇家空军Woomera试验场成功完成了里程碑式的首飞(图2(a)),通过搭载成像系统可执行救灾、科研、监控、通信等任务^[11]。对于无人机而言,避障是一项至关重要的技术,但目前商用的无人机系统基本上停留在针对建筑等静态障碍物的规避。为了解决这个问题,瑞士苏黎世大学的研究人员为四轴无人机配备了可对突发事件作出快速反应的摄像头和算法,使无人机反应时间缩短到几毫秒^[12]。针对有玻璃墙和窗户的室内环境或有烟雾和灰尘的情况,宾夕法尼亚大学Taylor团队设计了一种能够在复杂场景下自主导航和避障的新型飞行器。该平台通过接触来推断玻璃墙等透明或反光障碍的存在,将碰撞检测与视觉感知结合在一起达到导航和避障的目的^[13]。据New Atlas网站3月8日报道,伦敦皇家兽医学院Bomphrey领导的国际

科学家团队研究蚊子在黑暗中飞行和着陆的能力,模仿昆虫利用气流检测障碍物的方法,开发了一种新的避碰感官系统,并在四轴飞行器上进行了测试^[14]。瑞士洛桑联邦理工学院Floreana团队针对室内环境等无全球导航卫星系统(GNSS)导航的情况,研究了一种基于Decawave公司的DWM1001超宽带节点的用于室内无人机导航和定位的超宽带系统。相比用于室内导航的运动捕捉系统,该系统携带方便,价格便宜,可以直接由电池供电^[15]。真实环境中无人机对自主导航和规避障碍物提出了更高的要求,瑞典吕勒奥工业大学和加利福尼亚理工学院的研究人员开发了一种基于非线性模型预测控制的技术,该技术可为无人机提供更好的自主导航和避障能力^[16]。据外媒2020年4月24日报道,致力于研究生物力学的初创公司Animal Dynamics研发了一款名为Skeeter的无人机。该无人机的灵感来源于蜻蜓,突破了拍打翅膀为其提供动力的难题,并能在大风环境下保持稳定^[17]。麻省理工学院官网2020年4月27日报道,该校研究人员创造了人机近似无缝协作的新系统“Conduct-A-Bot”(图2(b))。该系统利用可穿戴式传感器检测旋转手势、握紧拳头等动作发出的人体肌肉信号,控制无人机向左、向右移动等,未来该系统可用于人机协作的一系列应用场景^[18]。2020年9月,科罗拉多大学博尔德分校的ATLAS研究所和卡尔加里大学的研究人员共同开发了一种可驱动的可扩展结构,该结构可用于制造可变形的无人机。其优势在于可以降低无人机与周围物体碰撞所造成的损坏,同时保证操作员安全,其成果发表在机器人顶级国际会议IROS 2020^[19]。如图2(c)所示,瑞士洛桑联邦理工学院Floreana团队通过分析苍鹰等鸟类在密林中快速穿行的行为特征,设计了一种飞机翼形形变策略,可以显著提高无人机在不同飞行状态下的敏捷性、机动性、稳定性,满足飞行速度范围所需的功率^[20-21]。

2020年1月2日,中国移动联合华为公司完成全球首个无人机5G高空基站应急通信测试,在飞行高度200 m时覆盖能力超过6.5 km,验证了5G

高空基站方案的可行性及落地性,为今后的抗震救灾等应用场景提供更优质的应急通信方案^[22]。2020年1月3日,南京大学祝世宁团队历时2年多研发了无人机量子分发系统,使中国研究人员在国际上第一次实现了基于无人机的量子纠缠分发,填补了该领域的空白(图2(d))。这套系统以无人机作为平台,可高性能集成量子纠缠能源,有效滤除太阳光对于量子信号干扰,能满足量子通信的苛刻要求,适用于复杂的气象条件^[23]。到目前为止,航运仍然是速度最快、耗时最短的一种货物运输方式。随着无人机技术的发展,开通无人机专用货运航线对于降低运输成本、提高运输效率意义深远。2020年1月,由航空工业石家庄飞机工业有限责任公司与北京天域航通科技有限公司联合研制的大型商用无人机“鸿雁”在新疆某机场成功首飞,该无人机的成功首飞是中国无人机产业发展史上的一个重要事件,标志着运5B飞机改装无人机适航审

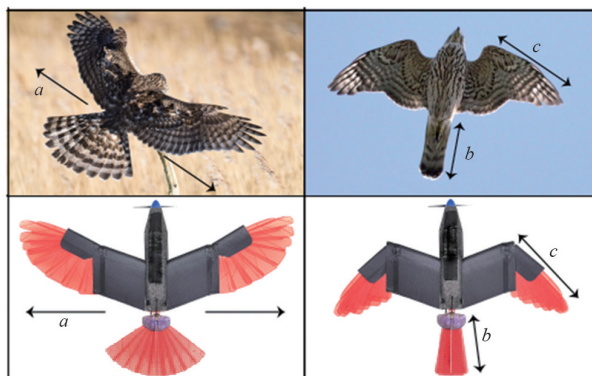
定试点工作取得了可喜的阶段性成果^[24]。2020年1月16日,在西南某通用机场,四川腾盾科技自主研发的全球首款大型三发通用型多用途无人机完成了首飞。该无人机首创三发布局,未来将为抢险救灾、森林防火、地理测绘、气象探测、空中应急通信、航空物流等行业的应用提供全新的无人机平台^[25]。2020年2月26日,清华大学的张志军团队研制出了一款无人机专用的紧凑刀形天线。该新式天线突破了传统刀形天线甜甜圈形状的辐射模式,可在2种辐射模式之间切换,并提供全方位的通信覆盖^[26]。单目视觉具有成本低、功耗小等优势,使其成为无人机感知与避障的重要手段。针对单目视觉对障碍物的感知能力不足等问题,南京航空航天大学曹云峰等^[27]提出了一种基于局部方位信息的无人机避障轨迹规划算法。在分析单目视觉感知对障碍物位置的可视性的基础上,建立了避障轨迹规划的相对坐标系,进而获取障碍物位置的



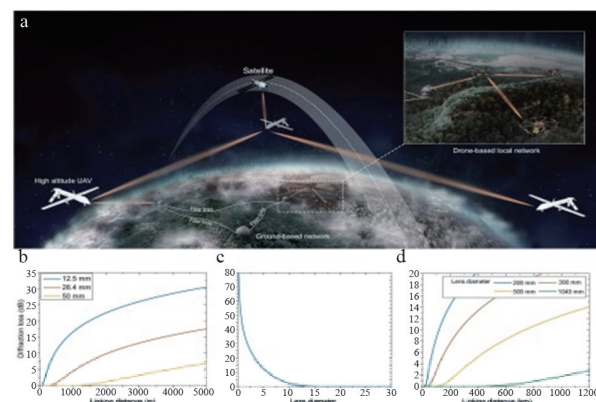
(a) PHASA-35 太阳能飞机



(b) 肌肉信号控制无人机



(c) 仿鸟类翼型无人机



(d) 无人机量子分发系统

图2 无人机新技术(图片来源:Baesystems, MI, 文献[20], National Science Review)

观测信息,实现无人机避障和轨迹优化。无人机通信因其灵活性高、可操纵强和成本低的特点,在无线通信领域作用越发重要。大连理工大学赵楠等^[28]开展了一项毫米波无人机通信网络技术研究。通过联合优化无人机位置、混合预编码向量以及功率分配,可最大化毫米波无人机通信网络的能量效率。2020年10月23—25日,在天津举办的2020国际制导、导航与控制学术会议(2020 International Conference on Guidance, Navigation and Control, IC-GNC 2020)上,南京航空航天大学的姜斌等设计并发布了一种实时故障诊断和重构的旋翼无人机编队平台,实现了外场飞行验证。2020年11月20—22日,在湖南湘潭举办的第5届无人飞行器系统自主控制前沿论坛上,国内十余位无人飞行器领域的知名专家做了精彩的学术报告和头脑风暴,与会专家学者分别从不同角度介绍了无人飞行器特别是无人机自主控制前沿理论突破、关键技术攻关、重大型号应用等方面的代表性新进展。

当前,无人机在自主导航、精准定位、可靠通信、实时避障等技术方面不断创新。利用先进的光电、雷达等技术,将有效提高无人机在探测、监视等方面的灵敏度和分辨率。未来无人机将具备隐身、自动敌我识别、人工智能控制等功能。

3 突破无人机关键技术

美国在已发布的《无人系统综合路线图(2017—2042)》和《2005—2030 无人机系统路线图》指出,无人机自主控制能力的最高级形式是集群自主控制,应围绕交互性、自主性、网络安全、人机协同等多个主题展开研究。2020年,国内外专家和学者以无人机集群自主控制能力为切入点,进一步开展了相关研究工作。

(1) 任务规划与决策。

任务规划是无人机集群应用的顶层规划,应根据任务环境态势、任务需求、自身特性等要求进行综合调度^[29]。同时,强耦合、高动态的战场态势对无人机集群在情报收集、监视、侦察以及目标攻击等方面的综合能力提出了更高的要求,制定合理高

效的任务规划方案是提高任务执行成功率和效率,降低任务风险,体现集群资源的智能化作战优势的关键问题之一。

为解决复杂动态环境下无人机集群实时任务规划问题,西北工业大学张耀中等^[30]提出了一种多约束条件下的自适应CBBA(consensus-based bundle algorithm)。通过引入动态任务生成机制,将多类型任务进行分解,简化了无人机集群协同作战的任务分解过程。针对未知环境下运动目标的固定翼无人机集群协同搜索-攻击任务规划问题,南京航空航天大学甄子洋等^[31]提出了一种基于人工势场和蚁群优化的无人机集群智能协同任务规划方法,该方法同时考虑了多种运动特性的目标。无人机集群任务规划过程中虽然考虑了很多约束条件,但较少关注天气条件对任务规划的影响。奥尔堡大学Thibbotuwawa等^[32]提出了一种应对天气不确定性的复杂任务规划的方法,并且给出多个实例进行方法的验证。波兰华沙董布罗夫斯基军队技术学院Stecz等^[33]提出了一种短程战术级无人机任务规划的概念。将无人机目标识别分配的路线规划问题分解为分配侦察任务、选择侦察传感器和指定无人机初始飞行计划等子问题。此外考虑识别时间限制和侦察传感器的特性,规划出详细的无人机真实飞行路线。麻省理工学院How^[34]团队分析了深度强化学习方法和基于力的运动规划方法的局限性,提出了一种深度强化学习和基于力的运动规划的混合算法来解决密集动态环境下的分布式运动规划问题。通过引入一个新的奖励函数来提高深度强化学习方法的性能,在基于力的运动规划方法不能产生时间最优路径的情况下,再利用深度强化学习方法进行优化。该团队还进一步设计了一种面向多无人系统的航迹规划器MADER(图3(a)^[35]),可在有静态障碍物、动态障碍物和其他规划代理的环境中生成无碰撞轨迹,该方法较传统方法可明显减少飞行时间和停留次数,达到轨迹更优^[35]。

(2) 环境感知与通信。

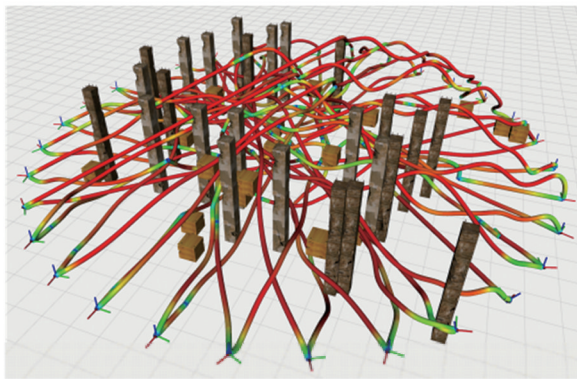
在复杂作战环境下执行多重任务时,要求无人机集群具有全面感知和理解复杂环境的能力。同时要求集群内部进行信息共享与交互,以辅助集群

成员任务决策,这是智能集群实现高等级自主控制的基础^[36]。因此,需持续开展关于协同感知与通信方面的关键技术攻关研究。

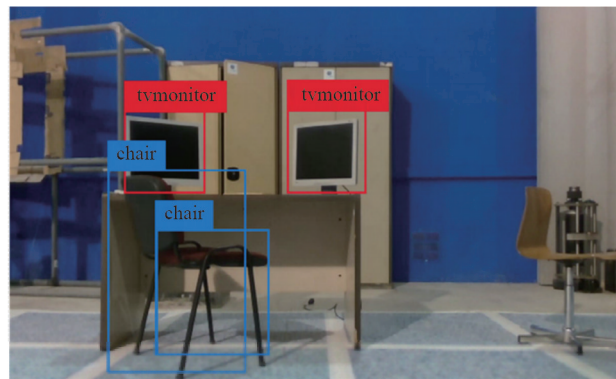
环境感知涉及数据采集、数学建模、信息融合与共享等方面。视觉目标跟踪在无人机机间避碰、地面目标跟随、地面目标侦察等方面具有很高的应用价值。针对固定翼无人机对峙跟踪地面目标过程中不能稳定获取目标图像的问题,国防科技大学的牛轶峰等^[37]基于核相关滤波算法,提出了线性旋转子空间的概念,设计了一种提高视觉目标跟踪稳定性的算法,可有效提高相对位置不断变化时视觉跟踪的稳定性和准确性,降低跟踪漂移的程度。借鉴生物头眼协调运动灵活改变视线的神经控制机理,构建智能仿生眼成为视觉控制研究的新热点。北京航空航天大学仿生自主飞行系统研究组开展了基于视觉感知的理论方法和应用的研究。基于鹰眼视觉机制,设计了一种用于无人机自主着陆任务的仿生视觉测量系统在硬件平台上对仿生视觉测量方法进行了验证,实现了对着陆目标特征信息的精准提取^[38]。室内环境具有丰富的高级语义信息,如何从环境中准确地感知、提取和利用这些语义信息仍然是研究领域面临的几个挑战。为了使无人机更好地了解环境,降低姿态估计的不确定性。麻省理工学院How团队提出了一个轻量级的、实时的可视化语义SLAM框架(图3(b))^[39]。该方法将低级视觉/视觉惯性里程测量与从检测到的语义对象中提取的平面几何信息相结合,在不同环境条件下进行了飞行测试^[39]。瑞士洛桑联邦理工学

院Floreana团队提出了一种基于视觉检测和跟踪算法,实现了无人机集群在没有通信或视觉标记的情况下的自主导航。采用卷积神经网络来实时检测和定位无人机邻居个体。此外,还设计了一个多智能体状态跟踪器来估计邻居个体的相对位置和速度,从而便于集群的高级控制。在有大量的背景干扰和复杂照明条件的情况下,实现无人机在户外环境下的安全导航^[40]。

先进开放的通信网络是无人机之间具备协同交互能力的基础,是保证集群间实时信息传输的重要手段。尤其对于特殊的应用环境,要求通信网络必须保证稳定可靠的信息交互,较低的通信延迟。针对无人机通信中机载端与地面控制中心信息快速传递的问题,北京邮电大学的张奇勋等^[41]利用先进的移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)技术对无人机端进行改进,建立了由集中式MEC无人机和分布式底层无人机组成的MEC无人机网络的联合通信模型和计算优化模型,根据无人机集群的三维分布特点,利用随机几何方法和排队理论,推导出单个链路和一组链路的成功传输概率,获得了比传统无人机更优的响应延迟。在现有的蜂窝网络中,如何保证无人机集群具有高可靠性和低延迟通信是一个挑战性难题。新加坡科技设计大学的Han等^[42]设计了一种基于蜂窝和设备对设备的无人机集群两阶段传输协议,在第一阶段使用相同的蜂窝频带向无人机集群发送控制消息,在第二阶段利用干扰较小的设备对设备频带转发给集群中的其他无人机,这套通信协议有助于提高无人



(a) 多智能体的航迹规划



(b) 轻量级语义识别

图3 无人机关键技术

机群通信和控制可靠性,降低通信延迟。正唐科技公司宣布研制了一种面向无人飞行器群、无人系统的无线通信系统。该系统是一种窄带短延迟通信网络,具有自组织、支持动态拓扑的特点,可实现无人机蜂群内部节点间的协同通信,已成功用于无人机的协同与测控通信^[43]。

(3) 协同自主控制。

无人机协同控制以集群通信为基础,以群体智能为核心,根据任务目标协调和调度各单体无人机。相较于单体无人机,无人机集群在应用于复杂任务场景时,具有高效率、灵活性强和可靠性高等优点。

编队队形形成与保持控制是实现无人机集群复杂机动和导航策略的基础。乌法国立航空技术大学 Muslimov 等^[44]提出了一种固定翼无人机集群保持特定几何形状的平行编队保持的新方法。该方法采用无领导者的一致性控制,综合了全局渐近稳定的分散协作控制律,具有无限的可扩展性。此外,将反步技术应用到固定翼无人机的非完整动力模型,为更真实的自动驾驶仪-无人机模型生成控制输入。在面对诸如森林或城区等复杂任务环境时,现有的无人机集群运动模型难以实现快速、安全的集群运动。针对这一问题,瑞士洛桑联邦理工学院 Floreana 团队结合位势场模型局部原理和多智能体的动力学特征提出了一个预测模型。该方法可显著提高群体的速度、一致性和安全性,并且与环境布局无关。此外,在充满障碍物的室内环境中实现了5个四旋翼飞行器协同导航^[45]。

无人机对环境的感知和任务决策能力受信息的不完整性和智能化程度限制,难以满足复杂战场环境中的高层次自主和智能要求,而人机共融可以充分发挥各自的优势,从而增强整体的智能决策水平。因此,北京航空航天大学段海滨等^[46]设计并提出了一种有人/无人机集群一致性控制方法,利用鸽群层级交互机制能够高效传递信息的特点,构建集群系统的层级交互网络,设计可节约资源的自适应牵制控制策略,实现有人/无人机集群运动状态的一致性。瑞士洛桑联邦理工学院 Martinoli 团队提出了一种可靠状态估计的策略。该策略扩展了

高斯滤波器,同时考虑集群间的绝对位姿和期望编队构型。实现了集群在通信失效条件下的编队保持控制,体现了无人机集群的无中心化特点^[47]。

由无人机自主控制的定义和内涵可知,态势感知、规划与协同、自主决策等技术是实现无人机自主控制的关键技术,是未来无人机研究和发展的主要方向。

4 无人机助力疫情协查防控

2020年新年伊始,新冠肺炎疫情突然来袭,各行各业均被卷入这场没有硝烟的战争中,这次疫情也集中地展现了无人机的应用优势和使用价值。无人机不仅代替人们进行检测体温、监管人员、疏导交通、运输医疗物资等工作,同时还能帮助企业消杀病毒,助力农民春耕等。

(1) 防疫宣传。

防疫宣传工作中存在小区住户多,防控信息传达不到位等问题。为了积极落实防疫责任和措施,让防疫宣传效果不打折,无人机充分发挥其轻便灵活、受地形影响小、覆盖面广的优势,替代人工进入社区、公共场所进行防控宣传工作。比如,2020年2月初,浙江省台州市公安局椒江分局巡特警大队组建党员小分队,利用无人机携带喊话器深入各村开展防疫宣传^[48],该模式也在山东省莒县、河南省巩义市、湖北省保康县、江西省南昌市、湖南省双牌县、内蒙古土左旗等地进行了有效推广。

(2) 防控巡查。

疫情发生后,各地陆续对街道、社区、住宅小区实施封闭式管理,防控力度空前,但在实施过程中,仍然存在人员易聚集、封闭有疏漏、防护不规范等高危现象。无人机具有机动灵活、巡查快捷、信息反馈及时、工作效率高等特点,成为高空巡查疫情防控的新手段。无人机可以每天多次巡查各个社区、村庄以及重要交通要道,对未佩戴口罩、违规聚集的市民进行“喊话”,劝导市民安心在家配合疫情防控工作,避免传染。

(3) 喷洒消毒。

阻断疫情传播途径,消除病毒传播源是防控疫

情的关键。疫情消毒面临覆盖面广、任务繁重等问题,而无人机消毒具有精准、快速、高效、安全4大优点。通过无人机喷洒消毒液,既降低了消毒人员的感染风险,又提高了消毒液喷洒的效率,喷洒速度快、喷洒面积大,可以实现无缝隙、无重复喷洒药物,为疫情的防控起到了积极的作用。

(4) 交通管控。

在逐步推进复工复产工作期间,城市主要出入通道口人流、车辆聚集增加,车辆巡检、车流检测、交通疏导、信息登记压力陡增。无人机凭借不受地形限制、飞行速度快、控制距离远的优势,变身为交警的“小助手”,在高速路的疫情防控检查点进行空中喊话,辅助交警加强管控工作,帮助交警进行交通疏导,提高检查点的检测效率,减少拥堵。而且,无人机协助交通管控还能避免人员因近距离接触造成感染。

(5) 远程测温。

发热是新冠病毒感染者的一项显著症状,在疫情防控过程中,测量人员体温成为一种重要的初步筛查方式。同时,要尽可能采用非接触的测温方式,避免因直接、间接接触导致的交叉感染。然而,诸如红外测温枪这种方式存在人与人之间距离小、感染风险高、检测效率低等问题。远程测温是无人机的

新“技能”,在无人机上装载红外热成像传感器即可达到人员快速、精准测温。这不仅可以实现远距离、全覆盖、高效率地测出区域人群温度或相关人员体温,而且还可以避免大量人力支出,减少人员接触,实现安全防护。

(6) 无人机物资保障。

新冠肺炎疫情危机凸显无人机货运的实用性,激发出更多的无人配送需求,解决防护服、手套、食品、药品等物资快速转运问题。2020年2月6日,浙江省新昌县人民医院“抗疫应急物资及标本无人机”顺利完成全流程飞行运输(图4(a)),很大程度节省人力成本与物力资源,也标志着全国首个抗疫“城市空中运输桥梁”已搭建完成^[49]。据外媒2020年4月15日报道,Google的母公司Alphabet统计,在新冠病毒大流行期间,使用无人机运送食物和药品的服务实现了用户大幅增长,在过去2周内完成了1000多份快递的投递(图4(b))^[50]。

在疫情期间,无人机技术应用得到了进一步的推广,发挥了十分重要的作用,无接触配送或将成为未来发展趋势。随着5G技术的日益成熟,5G无人机有望在物流配送、智能安防、指挥城市、指挥交通等领域中大有作为,有助于推进无人机商业化,并为无人机产业持续发展和创新提供途径。



(a) 迅蚁无人机



(b) Google 无人机

图4 无人机疫情应用(图片来源:Sina, Google)

5 加速无人机集群技术验证

随着人工智能、微电子、卫星通信、5G等技术

的快速发展,具有抗毁性强、成本低、作战效费比高等优势的无人机集群,可实施广域分布式多点多向突击,日益成为天空战场的“主力军”、精兵作战的

“急先锋”、出奇制胜的“杀手锏”,对传统的防御系统提出了极大的挑战。因此,研究新的战术、战法和新式武器应对无人机集群作战的威胁迫在眉睫。

美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)宣布已于2020年1月和9月完成了“进攻性蜂群使能战术”(Offensive swarm-enabled tactics, OFFSET)项目的第3次和第4次野外实验(图5(a)),分别演示了异构蜂群无人机完成城区突袭任务以及无人车辆、蜂群无人机自主定位可疑目标、保卫多个模拟目标的能力^[51-52]。据DARPA网站2020年4月13日报道,DARPA宣布授予9家机构OFFSET计划的第5轮“蜂群冲刺”合同。第5轮“蜂群冲刺”聚焦于实物试验台和蜂群战术这2项关键技术。其中,在实物试验台技术领域,5家机构将专注于加速硬件组件的集成和增强,以创建新型蜂群能力;在蜂群战术技术领域,4家机构将着重于设计和实施运用大

量空中和地面机器人的其他战术,并解决特定的使命任务目标^[53]。据Asdnews网站2020年10月7日报道,莱昂纳多公司和英国皇家空军快速能力办公室合作,成功演示了基于“蜂群无人机”的Brite-Cloud诱饵弹的电子战干扰能力(图5(b))。此次演示针对敌方防空阵地的陆基雷达系统进行干扰,充分发挥集群作战优势,通过集群协同作战最大程度干扰敌方雷达系统,并获得了理想的压制结果^[54]。2020年10月21,英国Blue Bear系统公司宣布,利用该公司研发的即插即用的开放式架构和“智能互联”技术,实现了20架固定翼无人机协作、异构的无人机蜂群的超视距飞行等最新的蜂群无人机技术操作的验证(图5(c))^[55]。2020年10月,中国电子科学研究院开展了陆空协同固定翼无人机“蜂群”系统的相关试验试飞工作(图5(d)),充分发挥固定翼无人机速度快、航时长等优势,验证了陆上发射和空中投放无人机“蜂群”对地察打、精



(a) 美国OFFSET项目第3次测试



(b) 英国“蜂群”无人机电子战



(c) 英国异构无人机集群



(d) 中国电子科学研究院无人机“蜂群”验证

图5 无人机集群作战(图片来源:DARPA, Asdnews, Adsadvance, Janes)

确打击等各项任务能力,标志着中国首个实用化无人机“蜂群”就此诞生^[56-57]。

无人机集群技术因其智能程度高、环境适应性强、协同作战灵活等优势而备受各国重视。目前,该技术正处于快速发展阶段。随着相关技术的日益成熟,智能无人机集群必将作为无人机系统的重要组成部分成为未来战场中的重要作战力量,在战争中扮演着重要的角色,甚至改变军事作战模式。

6 推动无人机实战化进程

2020年地方局势、武装冲突频频上演,地区的稳定和安全是全球密切关注的焦点。无人机作战作为未来作战的重要形式和武器装备,在战场实战化应用中的作用日益凸显,正在改变着未来的战争格局。

据央视网2020年9月24日转发伊朗法尔斯通讯社的报道,伊朗伊斯兰革命卫队利用无人机对通过霍尔木兹海峡的美国“尼米兹”号航母及其护卫队进行监视、锁定和跟踪(图6(a))^[58]。2020年9月27日,在亚美尼亚和阿塞拜疆因纳卡问题爆发新一轮冲突之际,阿塞拜疆利用部署的自杀式无人机等多类型无人机,摧毁了亚美尼亚的S-300等高价值的防空系统和地面资产,造成亚美尼亚人员大量伤亡^[52]。同时,亚美尼亚一方也动用了土耳其研发的“少尉”TB-2武装无人机予以还击^[59]。

除战场实战应用外,2020年各国都加紧开展

对现有或在研的无人机平台及系统的作战性能评估和飞行测试的相关工作。2020年1月20日,意大利莱昂纳多公司的新型多传感器战略监视无人机 Falco Xplorer 在特拉帕尼空军基地完成首飞。通过搭载“海鸥”T-80多模式监视雷达、SAGE电子情报系统、用于海上任务的自动识别系统、光电转塔及可选的高光谱传感器等有效载荷,使该无人机可执行战略情报、监视与侦察任务^[60]。2020年5月5日,美国波音澳大利亚公司推出空中力量编队系统(Airpower Teaming System, ATS)。作为3架“忠诚僚机”中的第1架,采用“模块化机头”设计,可根据任务需求快速更换,核心机身部分保持不变,ATS于2020年12月开始试飞。由航空工业直升机所自主研的AR500C高原型无人直升机于2020年5月20日在鄱阳无人机基地成功首飞,先后完成了前后飞行、左右侧飞、悬停回转、机动飞行等科目。该型无人直升机填补了中国高原型无人直升机领域的空白^[61]。2020年12月9日,在美国亚利桑那州尤马试验场的演示中(图6(b)),F-22、F-35与XQ-58A忠诚僚机首次实现基于数据链推送和信息转换的编队飞行^[62]。

作为现代空中军事力量中的一员,经过多次局部战争的历练,无人机在现代战争中的地位和作用日渐突显。无人机不仅在战场上将与有人战斗机协同作战,甚至在某些条件下还有可能替代有人机,成为未来空中作战的主力装备。



(a) 伊朗无人机监视画面



(b) F-22、F-35与XQ-58A编队

图6 无人机作战应用(图片来源:CCTV, The Aviationist)

7 跟进反无人机技术发展

随着无人机技术的快速发展,其潜在的威胁和隐患也随之而来,如:无人机可能误入飞机的飞行路线造成航班延误等。反无人机技术伴随无人机的盛行而蓬勃发展,市场潜力同样巨大。反无人机技术按照功能大致可以分为两大类:一是无人机探测技术,二是无人机反制技术,而后者又可细分为干扰阻断、直接摧毁和监测控制等。

在无人机探测技术方面,2020年1月,Drone Shield公司入围了美国陆军远征技术研究计划,该公司将开发的基于人工智能和机器学习的无人机检测算法融入到RFPatrol可穿戴式无人机探测器和Drone Sentry自主无人机探测与对抗系统^[63]。如图7(a)所示,以色列Israel Aerospace Industries的子公司ELTASystem已在欧洲、拉丁美洲和东南亚的多个大型国际机场成功测试了集成多层传感器,可用于对无人机进行检测、跟踪、识别和破坏的Drone Guard系统^[64]。据外媒2020年2月16日报道,Dynamite Global Strategies公司宣布了Drone Master Anti-Drone Counter-UAS System系列中的新无人机监视雷达传感器和信息系统。该系统装备先进的3D雷达功能,可360°检测、跟踪、分类和响应飞机在低空空域以及地面上的人、动物和车辆构成的安全威胁^[65]。2020年7月,THALES在位于法国埃松的Limours基地生产了“地火”反隐身和反无人机雷达,用于装备法国空军的新一代中程地对

空系统。该雷达具有高度的机动性、战术性和空运能力,能够同时探测和跟踪大范围的隐身目标、无人机群,引导防空导弹拦截高机动或弹道导弹目标,适合多种环境作战。2020年6月,Hensoldt公司将为系统集成商Kongsberg公司提供最新型Spexer 2000 3D雷达。作为第3代雷达系统,该系统可显著增强陆基防空系统对近程空地小目标(如:无人机、直升机、战斗机、战车等)的探测、侦察、分类能力,尤其是对于雷达散射截面积小、机动性强、集成高精度光学传感器的无人机^[66]。

在无人机反制技术方面,据Janes网站2020年2月报道,TRD新加坡公司在2020年新加坡航展上推出新型Orion H+便携式、低功耗反无人机系统,采用5000 mAh锂聚合物电池可连续运行60 min以上,或长达48 h的待机。此外,该系统还配备多达6个无线电频率的干扰模块及卫星导航系统频率,可在20 s内中断商用无人机、自制无人机,甚至军用无人机的通信链路,触发其自动着陆或返回规则^[67]。2020年10月26日,美国一家初创公司发布了一种专用于对抗“蜂群”无人机的导弹“智能反无人机空中制导交战系统”(图7(b))。该导弹由成本较低的碳纤维、铝和3D打印部件制成,重量不足0.9 kg,其配备固体火箭发动机可快速、准确击中空中移动小目标。该导弹的制导系统由摄像机和电子设备组成。其中,基于人工智能技术的视觉算法的摄像机可以高速检测、识别和跟踪视野内的物体。此外,该导弹也能够区分目标与鸟类、建筑物



(a) Drone Guard系统



(b) SAVAGE 发射器

图7 反无人机技术(图片来源:UnmannedairSpace, SAVAGE)

和其他空中干扰物体,其战斗部采用一对一直接命中杀伤方式,也可根据用户需求采用破片杀伤方式^[68]。

尽管反无人机技术采取了多种手段,但它们都具有一定局限性,没有任何一种方案可以做到万无一失。此外,反无人机市场还需要不断应对无人机技术的新进展。随着无人机系统市场的扩张,反无人机系统还应该具备更加机动、灵活、高效的感知、探测、识别多类型多目标的能力。

8 结论

从无人机管控新规、创新驱动无人机技术革新、无人机自主控制关键技术、无人机疫情协查防控、无人机集群技术验证、无人机实战化以及反无人机技术等方面回顾和分析了2020年无人机的部分热点及发展新态势。无人机集群化、智能化、实战化仍是无人机领域的重要发展方向,在人工智能、微电子、卫星通信、5G等变革性技术有力助推下,无人机领域的许多关键技术取得了很大进展,但未来无人机领域在环境感知理解、人机智能融合、自适应学习、多机协同任务规划、集群对抗、反无人机等方面还有很多“卡脖子”技术亟待突破^[36]。在当今机遇与挑战并存的新时代,无人机已经成为引领新一代人工智能科技革命和产业变革的战略性关键技术,必将显示出带动性的“头雁”效应。

参考文献(References)

- [1] KCAA. The civil aviation(unmanned aircraft systems) regulations[EB/OL]. (2020-02-19)[2020-12-27]. <https://www.kcaa.or.ke/sites/default/files/regulation/Civil%20Aviation%20%28Unmanned%20Aircraft%20Systems%29%20Regulations%202020.pdf>.
- [2] EASA. EASA publishes first rules for safe drone operations in Europe's cities[EB/OL]. (2020-04-06)[2020-12-27]. <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/easa-publishes-first-rules-safe-drone-operations-europes-cities>.
- [3] ANSI. ANSI publishes standardization roadmap for unmanned aircraft systems, version 2.0[EB/OL]. (2020-06-30)[2020-12-27]. <https://www.ansi.org/news-and-events/standards-news/all-news/2020/06/ansi-publishes-standardization-roadmap-for-unmanned-aircraft-systems-version-20-30>.
- [4] GCAA. Drone laws in the United Arab Emirates[EB/OL]. (2020-07-01)[2020-12-27]. <https://uavcoach.com/drone-laws-in-uae>.
- [5] 装备工业二司. 中高风险无人直升机系统世行标准(试行)[EB/OL]. (2020-01-01)[2020-12-27]. <http://www.caac.gov.cn/HDJL/YJZJ/202002/P020200225622960426433.pdf>.
- [6] 装备工业二司. 民用无人机生产制造管理办法(征求意见稿)[EB/OL]. (2020-03-20)[2020-12-27]. https://www.miit.gov.cn/gzcy/yjzj/art/2020/art_07fe2e6a2b6e497eb70c-9996aa48f11b.html.
- [7] 中国民航局. 民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引(征求意见稿)[EB/OL]. (2020-3-27)[2020-12-27]. http://www.caac.gov.cn/HDJL/YJZJ/202003/t202003-27_201782.html.
- [8] 国务院办公厅. 国务院2020年立法工作[EB/OL]. (2020-7-8)[2020-12-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-07/08/content_5525117.html.
- [9] 无线电管理局. 民用无人机无线电管理暂行办法(征求意见稿)[EB/OL]. (2020-09-28)[2020-12-27]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/wgj/gggs/art/2020/art_c705c28a6d1a-4d55af2c2ba22d8d7582e.html.
- [10] UAV EXPERT. Droneinch introduces droneinch 2.0[EB/OL]. (2020-01-10)[2020-12-27]. <https://www.uavexpert-news.com/2020/01/droneinch-introduces-droneinch-2-0>.
- [11] BAE Systems. Solar electric unmanned air vehicle with the potential to transform the air and space market[EB/OL]. (2020-01-27)[2020-12-27]. <https://www.baesystems.com/en-us/product/phaea-35>.
- [12] Falanga D, Kleber K, Scaramuzza D. Dynamic obstacle avoidance for quadrotors with event cameras[J]. *Science Robotics*, 2020, 5(40): eaaz9712.
- [13] Mulgaonkar Y, Liu W, Thakur D, et al. The Tiercel: A novel autonomous micro aerial vehicle that can map the environment by flying into obstacles[C]. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2020: 7448-7454.
- [14] New Atlas. Mosquito night navigation inspires new drone obstacle avoidance system[EB/OL]. (2020-03-08)[2020-12-27]. <https://newatlas.com/science/mosquito-night-nav>

- igation-drone-obstacle-avoidance-system/.
- [15] Queralta J P, Almansa C M, Schiano F, et al. UWB-based system for UAV localization in GNSS-denied environments: Characterization and dataset[J]. arXiv preprint arXiv, 2003, 04380: 2020.
- [16] Lindqvist B, Mansouri S S, Agha-Mohammadi A A, et al. Nonlinear MPC for collision avoidance and control of UAVs with dynamic obstacles[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 4: 6001-6008.
- [17] Air Recognition. Animal dynamics creates biomechanical small-UAS based on dragonfly[EB/OL]. (2020-04-24) [2020-12-27]. <https://www.airrecognition.com/index.php/focus-analysis-photo-report-aviation-defence-industry/aviation-defence-industry-technology/6172-animal-dynamics-creates-biomechanical-small-uas-based-on-dragonfly.html>.
- [18] MIT. Muscle signals can pilot a robot[EB/OL]. (2020-04-27) [2020-12-27]. <https://news.mit.edu/2020/conduct-a-bot-muscle-signals-can-pilot-robot-mit-csail-0427>.
- [19] Hooman H, Ryo S, Daniel L, et al. PufferBot: Actuated expandable structures for aerial robots[C]//IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Las Vegas: IEEE, 2020: 07615.
- [20] Ajanic E, Feroskhan M, Mintchev S, et al. Bioinspired wing and tail morphing extends drone flight capabilities [J]. Science Robotics, 2020, 5: eabc2897.
- [21] Ajanic E, Feroskhan M, Mintchev S, et al. Bio-inspired synergistic wing and tail morphing extends flight capabilities of drones[J]. arXiv, 2020, 2002: 02421.
- [22] C114通信网. 覆盖能力超6.5KM! 全球首例无人机5G高空基站应急通信又有新突破[EB/OL]. (2020-01-02) [2020-12-27]. <http://www.c114.com.cn/news/126/a1113276.html>.
- [23] Liu H Y, Tian X H, Gu C, et al. Drone-based entanglement distribution towards mobile quantum networks[J]. National Science Review, 2020, 7(5): 921-928.
- [24] 经济日报. 大型商用无人机“鸿雁”成功首飞[EB/OL]. (2020-01-02)[2020-12-27]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1656509617335160138&wfr=spider&for=pc>.
- [25] 中国新闻网. 全球首款大型三发通用型多用途无人机首飞成功将于2021年面向市场[EB/OL]. (2020-01-16) [2020-12-27]. <https://www.chinanews.com/sh/2020/01-16/9061995.shtml>.
- [26] Liu P Q, Li Y, Wang S D, et al. Millimeter-wave planar antenna array based on modified bulk silicon micromachining technology[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2020, 68(11):7676-7681.
- [27] 张洲宇, 曹云峰, 范彦铭. 基于局部方位信息的无人机避障轨迹规划[J]. 中国科学:技术科学, 2020, 50, Doi: 10.1360/SST-2020-0225.
- [28] Pang X W, Tang J, Zhao N, et al. Energy-efficient design for mmWave-Enabled NOMA-UAV networks[J]. Science China Information Sciences, 2020, 1: 1-16.
- [29] 贾高伟, 王建峰. 无人机集群任务规划方法研究综述[J]. 系统工程与电子技术, 2020, 43(1): 99-111.
- [30] Zhang Y Z, Feng W C, Shi G Q, et al. UAV swarm mission planning in dynamic environment using consensus-based bundle algorithm[J]. Sensors, 2020, 20(8): 2307-2328.
- [31] Zhen Z Y, Chen Y, Wen L D, et al. An intelligent cooperative mission planning scheme of UAV swarm in uncertain dynamic environment[J]. Aerospace Science and Technology, 2020, 100: 105826.
- [32] Thibbotuwawa, Bocewicz, Radzki, et al. UAV mission planning resistant to weather uncertainty[J]. Sensors, 2020, 20(2): 515-576.
- [33] Stecz W, Gromada K. UAV Mission planning with SAR application[J]. Sensors, 2020, 20(4): 1080-1098.
- [34] Semnani S H, Liu H, Everett M, et al. Multi-agent motion planning for dense and dynamic environments via deep reinforcement learning[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 5(2): 3221-3226.
- [35] Tordesillas J, How J P. MADER: Trajectory planner in multi-agent and dynamic environments[J]. 2020, arXiv: 2010.11061.
- [36] 段海滨, 申燕凯, 赵彦杰, 等. 2019无人机热点回眸[J]. 科技导报, 2020, 38(1): 170-187.
- [37] 车飞, 李杰, 牛轶峰. 无人机保距跟踪中的视觉跟踪算法研究[J]. 无人系统技术, 2020, 3(1): 19-30.
- [38] Duan H B, Xi L, Xu Y, et al. Eagle-vision-inspired visual measurement algorithm for UAV's autonomous landing[J]. International Journal of Robotics and Automation, 2020, 35(2), doi:10.2316/J.2020.206-0221.
- [39] Bavle H, Puente P D L, How J, et al. VPS-SLAM: visual planar semantic SLAM for aerial robotic systems[J]. IEEE Access, 2020, 8: 60704-60718.
- [40] Schilling F, Schiano F, Floreano D. Vision-based flocking in outdoor environments[J]. 2020, arXiv: 2012.01245.
- [41] Zhang Q X, Chen J R, Ji L, et al. Response delay opti-

- mization in mobile edge computing enabled UAV swarm [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69(99): 3280–3295.
- [42] Han Y T, Liu L, Duan L J, et al. Towards reliable UAV swarm communication in D2D-Enhanced Cellular Network[J]. 2020, arXiv: 2002.04897
- [43] 无人机蜂群组网数据链解决方案[EB/OL]. (2020-12-09) [2020-12-27]. <https://www.81uav.cn/uav-news/202012/09/72735.html>.
- [44] Muslimov T Z, Munasypov R A. Consensus-based cooperative control of parallel fixed-wing UAV formations via adaptive backstepping[J]. Aerospace Science and Technology, 2020, 109, 2021–2043.
- [45] Soria E, Schiano F, Floreano D. Predictive control of aerial swarms in cluttered environments[J]. 2020, doi: 10.21203/rs.3.rs-82503/v1
- [46] 赵建霞, 段海滨, 赵彦杰. 基于鸽群层级交互的有人/无人机集群一致性控制[J]. 上海交通大学学报, 2020, 54(9): 973–980.
- [47] Wasik A, Lima P U, Martinoli A. A Robust Localization system for multi-robot formations based on an extension of a Gaussian mixture probability hypothesis density filter[J]. Autonomous Robots, 2020, 44: 395–414.
- [48] 台州公安. 为战疫情 台州公安用无人机向市民宣传疫情防控措施[EB/OL]. (2020-02-12)[2020-12-27]. <http://zj.sina.com.cn/taizhou/2020-02-12/detail-iimxxstf07550-91.shtml>.
- [49] 宇辰网. 蚂蚁搭建全国首个抗疫“城市空中运输桥梁”[EB/OL]. (2020-02-07)[2020-12-27]. <https://www.81uav.cn/uav-news/202002/07/69258.html>.
- [50] De Zeen. Google's wing drones deliver essentials during coronavirus pandemic[EB/OL]. (2020-04-15)[2020-12-27]. <https://www.dezeen.com/2020/04/15/google-wing-drone-delivery-coronavirus-virginia/>.
- [51] Unmanned systems technology. DARPA conducts fourth OFFSET autonomous swarm experiment[EB/OL]. (2020-01-03)[2020-12-27]. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/09/darpa-conducts-fourth-offset-autonomous-swarm-experiment>.
- [52] Army Technology. US DARPA conducts fourth major OFFSET field experiment[EB/OL]. (2020-09-21)[2020-12-27]. <https://www.army-technology.com/news/us-darpa-offset-field-experiment/>.
- [53] Swarm Tactics. DARPA OFFSET Program calls for fifth swarm sprints[EB/OL]. (2020-4-13)[2020-12-27]. <http://www.swarmtactics.com/>.
- [54] ASD News. Leonardo EW capability at the heart of RAF swarming drones capability demonstration[EB/OL]. (2020-10-07)[2020-12-27]. <https://www.asdnews.com/news/defense/2020/10/07/leonardo-ew-capability-at-heart-raf-swarming-drones-capability-demonstration>.
- [55] Advance. Blue Bear demos collaborative 20-drone swarm on BVLOS ops[EB/OL]. (2020-10-21) [2020-12-27]. <https://www.adsadvance.co.uk/blue-bear-demos-collaborative-20-drone-swarm-on-bvlos-ops.html>.
- [56] Janes. China likely to deploy new multiple UAV launcher in near future[EB/OL]. (2020-10-21) [2020-12-27]. <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/china-likely-to-deploy-new-multiple-uav-launcher-in-near-future>.
- [57] NBC news. U.S. airstrike kills top Iran general, Qassem Soleimani[EB/OL]. (2020-01-03) [2020-12-27]. <https://www.nbcnews.com/news/world/airstrike-kills-top-iran-general-qassim-suleimani-baghdad-airport-iraqi-n110-9821>.
- [58] 央视网. 伊朗革命卫队公布无人机拍摄的美国航母照片[EB/OL]. (2020-09-04)[2020-12-27]. <http://m.news.cctv.com/2020/09/24/ARTIvHGuzHZXXQ49qrpTS3rN20-0924.shtml>.
- [59] TOC. Russia fighter was attacked by Armenian or Azerbaijani S-300 missile system[EB/OL]. (2020-09-04) [2020-12-27]. <https://bulgarianmilitary.com/amp/2020/10/09/russia-fighter-was-attacked-by-armenian-or-azerbaijani-s-300-missile-system/>.
- [60] Drone Life. Malek M. Leonardo's Falco Xplorer surveillance drone takes off[EB/OL]. (2020-01-20) [2020-12-27]. <https://dronelife.com/2020/01/20/leonardos-falco-xplorer-surveillance-drone-takes-off/>
- [61] 央广网. 中国首个高原型无人直升机成功首飞[EB/OL]. (2020-05-23)[2020-12-27]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1667467640655608493&wfr=spider&for=pc>.
- [62] Air Recognition. 5-8 US Air Force has successfully demonstrated data exchange between F-22 F-35 fighter and XQ-58A Valkyrie UAV[EB/OL]. (2020-12-09) [2020-12-27]. <https://www.airrecognition.com/index.php/news/defense-aviation-news/2020/december/6759-us-air-force-has-successfully-demonstrated-data-exchange-between-f-22-f-35-fighter-and-xq-58a-valkyrie-uav.html>.
- [63] Soldier Systems. U.S. army xTechSearch shortlists drone-Shield[EB/OL]. (2020-02-20) [2020-12-27]. <https://sol->

- diersystems.net/2020/01/15/u-s-army-xtechsearch-shortlists-dronesshield.
- [64] Unmanned Airspace, Iron drone partnership strengthens drone interception capabilities[EB/OL]. (2020-01-07) [2020-12-27]. <https://www.unmannedairspace.info/counter-uas-systems-and-policies/iai-iron-drone-partnership-strengthens-drone-interception-capabilities>.
- [65] Unmanned Airspace. DGS announces new drone detection surveillance radar[EB/OL]. (2020-02-16)[2020-12-27]. <https://www.unmannedairspace.info/counter-uas-systems-and-policies/dgs-announces-new-drone-detection-surveillance-radar>.
- [66] Air Bus. Hensoldt unveils its new Spexer 2000 3rd Gen radar for C-UAS and not only[EB/OL]. (2020-06-22) [2020-12-27]. <https://www.edrmagazine.eu/hensoldt-unveils-its-new-spexer-2000-3rd-gen-radar-for-c-uas-and-not-only>.
- [67] Janes. TRD Singapore unveils Orion H+ portable C-UAS system[EB/OL]. (2020-02-01) [2020-12-27]. <https://www.janes.com/defence-equipment-intelligence/singapore-airshow-2020-trd-singapore-unveils-orion-h-portable-c-uas-system/>.
- [68] Forbes. David H. SAVAGE Missile takes aim at drone swarms[EB/OL]. (2020-10-26) [2020-12-27]. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/10/26/savage-missile-takes-aim-at-drone-swarms/?sh=317773742bb3>.

Review of technological hotspots of unmanned aerial vehicle in 2020

DUAN Haibin¹, SHEN Yankai¹, ZHAO Yanjie², WANG Yin³, NIU Yifeng⁴, FAN Yanming⁵, DENG Yimin¹, LUO Delin⁶

1. Bio-inspired Autonomous Flight System(BAFS) Research Group, School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China
2. CETC China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China
3. College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China
4. College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China
5. Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Shenyang 110035, China
6. School of Aerospace Engineering, Xiamen University, Xiamen 361102, China

Abstract The year 2020 witnessed new opportunities and challenges for the development and application of unmanned aerial vehicles (UAVs). More profound thoughts were invoked on the developments of UAV industry with some new features. This paper tries to summarize and analyze some hot topics and new developments of UAV in 2020 from the aspects of new regulations, key technologies, practical applications and so on. Under the promotion of innovation and relevant policies, the UAV industry will reach a new point and have new vitality. Swarm autonomy, intelligent action and actual combat are still the important directions of UAV developments in the future.

Keywords unmanned aerial vehicle; technological hotspots; swarm intelligence ●



(责任编辑 徐丽娇)