

Research on Detection and Defense Methods of “Low Small Slow” UAV

Guanghui Zhang

Chongqing Chang'an Industry (Group) Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract

“Low small slow” UAV, usually refers to the flight altitude of less than 500 meters, small size, speed less than 100km/h UAV, they are easy to control, low cost, strong concealment and other characteristics, become a potential safety hazard. If these drones are used maliciously, they may illegally invade sensitive areas, such as military bases and nuclear power plants, or carry out privacy violations, terrorist attacks, or even interfere with air traffic during important activities, threatening the normal operation of national security, public safety and air traffic management. This paper mainly discusses the effective detection and defense methods for “low small slow” UAV to ensure public safety and social stability.

Keywords

“low small slow” UAV; detection method; defense method

基于“低小慢”无人机探测及防御方法的研究

张广辉

重庆长安工业(集团)有限责任公司, 中国·重庆 401120

摘要

“低小慢”无人机,通常指的是飞行高度低于500m、体积小、速度低于100km/h的无人机,它们因易于操控、成本低廉、隐蔽性强等特点,成为潜在的安全隐患。这些无人机若被恶意利用,可能会非法入侵敏感区域,如军事基地、核电站,或在重要活动期间实施隐私侵犯、恐怖袭击,甚至干扰空中交通,威胁到国家安全、公共安全以及空中交通管理的正常运行。论文主要探讨针对“低小慢”无人机的有效探测及防御方法,以保障公共安全和社会稳定。

关键词

“低小慢”无人机;探测方法;防御方法

1 引言

随着科技的不断进步,无人机技术已从军事领域迅速扩展至民用市场,其身影频繁出现在影视拍摄、农业植保、物流配送、环境监测等多个领域,极大地促进了社会经济的发展与生活便捷性的提升。然而,伴随着无人机普及率的激增,“低小慢”无人机(即飞行高度低、体积小、速度慢的无人机)所带来的安全隐患日益凸显,成为全球范围内亟待解决的问题。这类无人机因体积小、噪音低、操作灵活等特点,易于隐蔽飞行,不仅可能被用于非法监视、侵犯隐私,还可能对重要设施如核电站、机场造成潜在威胁,甚至被恐怖分子利用实施攻击,严重威胁到公共安全和社会稳定。因此,探索高效且可行的“低小慢”无人机探测与防御技术,已成为当今科研及安全领域的一项迫切任务。

2 “低小慢”无人机的特点

无人机,全称为无人驾驶航空器,是一种无需人员直接驾驶,通过遥控、自动程序控制或自主系统进行操控的飞行器。自20世纪初无人机概念诞生以来,随着材料科学、电子技术、信息技术等领域的飞速发展,无人机的应用范围迅速扩大,从最初的军事侦察、打击任务,拓展到了农业植保、地理测绘、灾害监测、货物运输、娱乐摄影等多个民用领域,成为现代科技发展的标志性产物之一。无人机按用途大致可分为军用无人机和民用无人机两大类。军用无人机侧重于执行侦察、情报收集、电子战、精确打击等任务,而民用无人机则更多应用于环境监测、影视拍摄、物流配送等和平目的。根据其尺寸、重量、飞行高度、续航能力等不同技术参数,无人机又可细分为大型、中型、小型及微型无人机等类别,其中“低小慢”无人机特指那些飞行高度低、体积小、速度慢的无人机,它们在操作便捷性和隐蔽性方面表现出独特优势,但也正是这些特点,使其成为安全监管的难点。

【作者简介】张广辉(1982-),男,中国河北晋州人,本科,高级工程师,从事特种机械研究。

3 “低小慢”无人机探测技术

无人机探测技术作为维护国家安全、公共安全及空域管理的关键手段，随着无人机应用的广泛与多样化，其重要性日益凸显。无人机探测技术旨在及时、准确地识别、定位并跟踪空中无人机，防止未经授权的侵入、保护敏感区域、保障航空安全及防范潜在威胁。其中，雷达探测技术、光学探测技术、红外探测技术与声波探测技术是当前最为广泛应用的方法。

3.1 雷达探测技术

雷达探测技术基于无线电波反射原理，通过发射电磁波并接收回波来探测目标物体的位置、速度、高度等信息。针对“低小慢”无人机的特性，传统的雷达系统面临挑战，因为这些无人机体积小、雷达截面积（RCS）小、飞行高度低且速度慢，容易在杂波和地面反射中“隐身”。因此，针对无人机的专用雷达系统应运而生，比如多频段雷达采用多个工作频率，包括高频（VHF）、UHF 波段雷达，能够较好地弥补传统雷达在低空小目标检测上的不足。VHF 雷达波长较长，对小 RCS 目标具有较好的探测能力，同时穿透能力强，能有效减少地面杂波干扰。

3.2 光学探测技术

光学探测技术主要利用可见光、红外线或紫外线等电磁波谱中的非可见光部分，通过捕捉目标反射或自身辐射的光线来实现探测和识别。相较于雷达，光学探测技术在目标识别、细节分辨上具有明显优势，但受天气条件和视线限制较大。

①光电红外（EO/IR）传感器：结合了可见光相机与红外热像仪，白天利用可见光成像，夜间或低光照条件下切换到红外模式，捕捉无人机的热特征，有效对抗伪装和隐蔽飞行。

②红外搜索与跟踪系统（IRST）：专为远距离、全天候目标跟踪设计，无需发射信号，减少被反制的风险，适用于对隐身目标的探测。

3.3 红外探测技术

红外探测技术是通过感知物体表面温度差异产生的红外辐射差异来成像，即使在完全黑暗或烟雾环境中也能有效工作。无人机在飞行过程中，其发动机、电池或其他电子设备会产生热量，形成与周围环境不同的红外辐射特征，红外热像仪可以捕捉这些细微的温度变化，实现对“低小慢”无人机的精确探测。尤其是长波红外（LWIR）热像仪，因其对温差敏感度高，成为夜间无人机探测的首选技术。然而，红外热像仪的成本相对较高，且在极端高温或低温环境中，目标与背景的温差减小，可能影响探测效果。

①红外热像仪：利用无人机发动机、电池工作时产生的热量与环境背景形成温差，通过热像仪捕捉这些红外辐射图像，实现对无人机的探测与定位。热像仪根据探测波段的长短，分为短波红外（SWIR）、中波红外（MWIR）和长

波红外（LWIR），其中 LWIR 波段对于温差较小的目标有更高的敏感度，适合于远距离无人机探测。

②双/多光谱红外系统：结合不同波段的红外探测器，如 MWIR 与 LWIR 的组合，不仅能提高目标识别的准确性，还能有效区分目标与地面背景、自然热源等的干扰，增强在复杂环境中的探测性能。

3.4 声波探测技术

声波探测技术是一种基于无人机飞行时产生的声波特征进行识别与定位的方法。由于“低小慢”无人机通常飞行高度低、速度慢，其螺旋桨产生的噪声在一定范围内可被地面的声学传感器捕捉，进而实现探测目的。关键技术是环境噪声抑制技术，由于自然环境和人类活动也会产生大量背景噪声，如何在复杂声场中有效提取无人机的声学信号是技术难点。采用先进的降噪算法和信号处理技术，如自适应滤波、波束形成技术，提高信号信噪比，确保探测的准确性。

3.5 多源传感器融合技术

多源传感器融合技术是现代无人机探测系统的核心组成部分，它通过集成多种类型的传感器（如雷达、红外、声波、光电、无线电频谱监测等），实现信息的交叉验证、互补增强，以提高目标探测的精度、可靠性及全面性，特别是在应对“低小慢”无人机这类具有高度隐蔽性和复杂飞行模式的目标时，显得尤为重要。

多源传感器融合技术的基本原理是将来自不同传感器的数据，在时间和空间上进行关联、匹配、综合分析，利用各自传感器的优势，克服单一传感器的局限性。这种融合不是简单地将数据叠加，而是通过高级算法处理，如卡尔曼滤波、贝叶斯估计、神经网络等，对传感器数据进行深层次挖掘和优化，提取最可靠的目标信息。

4 “低小慢”无人机防御方法

4.1 干扰技术

干扰技术通过干扰无人机的通信链路、导航系统或控制信号，使无人机失去控制、迫降或返航，从而达到防御目的。主要包含以下几种方式：

①无线电干扰：针对无人机与遥控器之间的无线电通信进行干扰，阻断控制指令的传递。这要求精确识别无人机所使用的通信频率，然后发射强功率的噪声信号覆盖该频段，迫使无人机与遥控器之间的连接中断。例如，一些便携式无人机干扰枪可以在短时间内有效阻止无人机的进一步操作。

②GPS 干扰：由于许多无人机依赖 GPS 信号进行定位与导航，通过发射伪 GPS 信号或直接干扰 GPS 频段，可以误导无人机的导航系统，使其无法正确判断位置，最终失去方向或自动降落。GPS 干扰器能够在一定范围内创建“GPS 黑洞”，迫使无人机进入失联状态，失去飞行能力。

③射频干扰：针对无人机使用的特定射频频段进行干

扰,如阻断无人机与地面站之间的视频传输或遥测数据链路,降低无人机的操作效率或迫使操作员失去对无人机的控制。射频干扰设备需不断更新以应对无人机通信技术的升级。

4.2 诱捕技术

诱捕技术则是通过设置假目标或陷阱,吸引并控制或捕获无人机。

①网捕系统:利用无人机追踪技术,一旦无人机进入设定的捕捉区域,通过地面发射或另一架无人机搭载的捕捉网,迅速包围并缠绕住目标无人机,迫使其降落。网捕系统在保证安全的前提下,能够有效且非破坏性地捕获无人机。

②电磁诱捕器:通过发射特定的电磁波,吸引无人机内的电子元件,诱导其飞向预先设定的区域,然后利用物理或电磁手段将其捕获。这种方法依赖于对无人机电子系统的深入了解,以精准控制无人机的飞行路径。

4.3 摧毁技术

①激光武器:激光技术以其高精度、反应速度快、作用距离远等优势,在无人机防御领域展现出巨大潜力。固态激光武器系统能瞬间集中能量烧穿无人机外壳或关键部件,使其丧失功能坠落。激光武器具有连续射击能力,不需考虑弹药补给,但受天气和大气条件影响较大,且高功率激光系统成本及能耗较高。

②微波武器:通过发射高强度微波脉冲,破坏无人机内部电子设备,导致其控制系统失灵。这种非动能杀伤手段可以在不产生爆炸碎片的情况下实现对无人机的有效摧毁,适用于人口密集地区,减少附带伤害。微波武器的挑战在于能量聚焦与传输效率,以及如何在伤害周围电子设备的前提下实施精准打击。

5 基于“低小慢”无人机探测及防御方法的发展创新

当前,国际上在“低小慢”无人机探测与防御领域的研究呈现多元化发展趋势,涉及雷达探测、光电与红外成像、声学检测、无线电频谱分析、多传感器融合技术以及各类主动防御措施。例如,雷达技术方面,相控阵雷达和多频段雷达因其高分辨率和低空探测能力,成为低空小目标探测的优选方案;光学探测技术通过红外热成像与可见光图像处理,提高了目标识别精度和全天候作业能力;声波探测技术则在复杂环境和低光环境下展现出独特价值。然而,尽管技术进步显著,仍面临诸多挑战,包括但不限于探测精度、抗干扰能力、成本效益比以及在复杂环境下的稳定应用等。未来“低

小慢”无人机探测及防御方法的发展创新主要有以下趋势:

①软硬件结合的主动防御系统:未来防御技术将趋向于软硬结合,除了物理层面上的拦截、摧毁,还包括对无人机操作系统、通信链路的软件攻击,如通过网络入侵、病毒植入等方式实现远程控制或瘫痪。但这也带来了伦理与法律上的挑战,如何在保障公共安全的同时,避免对无辜设备造成影响,成为亟待解决的问题。

②非致命性精确干预技术:研发更多非致命性防御手段,如定向声波武器、电磁脉冲枪等,以最小的物理伤害迫使无人机降落或失去控制。这些技术需克服距离限制、环境影响等难题,确保在复杂环境中的稳定性和有效性。

③多源数据采集:首先,综合探测系统需集成各类传感器,包括但不限于X波段雷达用于广域覆盖和初步筛选,红外热像仪和可见光相机用于夜间或复杂气象条件下的目标识别,声学传感器捕捉无人机特有的音频特征,以及无线电频谱分析设备监测无人机的遥控信号。通过这些传感器的协同工作,系统能够从不同角度和频谱范围获取目标信息。

④数据融合中心:构建高效的数据处理与融合中心,是综合探测系统的核心。这里,来自不同传感器的数据经过时间同步、格式转换后,利用数据融合算法(如卡尔曼滤波、贝叶斯融合、多假设跟踪等)进行综合分析。这些算法能够处理多源数据的冗余、矛盾信息,提高目标定位的准确性和完整性,减少误报率。

6 结语

在21世纪科技飞速发展的背景下,无人机技术以其独特的优势,迅速渗透至农业、影视制作、物流、环境监测、灾难救援等多个领域,极大促进了社会经济的发展和生活方式的变革。然而,随着无人机应用的普及,特别是“低小慢”无人机的增多,一系列安全问题也随之浮现。研究基于“低小慢”无人机探测及防御方法对于无人机的安全有序应用具有极为重要的意义,也是未来研究的热点。

参考文献

- [1] 屈旭涛,庄东晔,谢海斌.“低慢小”无人机探测方法[J].指挥控制与仿真,2020,42(2):8.
- [2] 马越,廖晨,张若愚,等.“低慢小”无人机雷达探测研究与展望[J].国防科技,2023,44(5):60-66.
- [3] 需霞.无人机探测与反制装备技术应用及趋势展望[J].中国安防,2023(Z1):41-46.
- [4] 李晨博.应对“低小慢”目标防空武器装备建设问题研探[J].舰船电子工程,2023,43(5):11-14.