

低空无人机防御系统的雷达-光电复合探测技术

徐新民

乌鲁木齐鸿利盛祥安防技术有限公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】低空无人机防御系统的雷达-光电复合探测技术，通过结合雷达与光电传感器的优势，有效提升了低空无人机的探测能力与拦截精度。雷达可提供较大探测范围与全天候作战能力，而光电系统则在细节分辨和目标识别方面具有独特优势。该技术通过信息融合、数据协同与目标跟踪，显著提升了无人机目标的检测和判别能力，克服了传统单一传感器面临的局限性。本文深入探讨了雷达与光电复合探测技术的系统架构、工作原理及应用前景，为低空无人机防御技术的创新与发展提供了新思路。

【关键词】低空无人机；雷达；光电传感器；复合探测；信息融合

【收稿日期】2025年7月16日

【出刊日期】2025年8月15日

【DOI】10.12208/j.jer.20250372

Radar-electronic composite detection technology for low altitude UAV defense system

Xinmin Xu

Urumqi Hongli Shengxiang Security Technology Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang

【Abstract】 The radar-optoelectronic integrated detection technology for low-altitude UAV defense systems combines the strengths of radar and electro-optical sensors to enhance detection capabilities and interception accuracy. While radar provides extensive coverage and all-weather operational performance, electro-optical systems excel in detail resolution and target identification. By integrating information fusion, data coordination, and target tracking, this technology significantly improves the detection and classification of UAV targets, overcoming limitations inherent in traditional single-sensor approaches. This paper explores the system architecture, operational principles, and application prospects of radar-optoelectronic integrated detection technology, offering innovative perspectives for advancing low-altitude UAV defense systems.

【Keywords】 Low-altitude UAV; Radar; Electro-optical Sensor; Integrated detection; Information fusion

引言

随着无人机技术的迅速发展，低空无人机的应用逐渐增多，给空域安全带来前所未有的挑战。传统防空系统往往难以应对低空飞行和小型目标的检测需求。为了提高防御效果，雷达与光电复合探测技术应运而生，凭借其优势互补的特点，成为解决低空无人机探测难题的重要手段。雷达提供强大的探测能力，能够在复杂天气环境下有效工作，而光电系统则具备高精度目标识别能力，两者的结合能够显著提升无人机的检测与拦截效果。

1 低空无人机防御面临的探测难题与挑战

低空无人机的普及使得传统的防空系统在应对低空飞行目标时面临巨大挑战。由于低空无人机体积小、飞行高度低，且通常采用隐身设计，传统雷达在探测这些目标时存在较大局限性。雷达技术虽然可以提供广

泛的探测范围，但其对于小型低空目标的探测精度和目标分辨能力较弱，尤其在复杂地形或恶劣气象条件下，低空无人机的隐蔽性更强，传统雷达的反射信号较弱，难以有效捕捉^[1]。低空无人机的防御问题不仅在于目标的发现，更在于如何确保目标的精准识别与跟踪。针对这一问题，单一雷达系统的局限性愈发显现，迫切需要更为精密的探测技术来提高防御效能。

低空无人机往往依靠多种手段进行伪装和规避，传统雷达的“视距”受限，难以应对高速、小型、高机动性目标的突发性与隐蔽性。单一依赖雷达的探测系统难以做到全方位、多角度的监控，且容易受到雷达干扰或电磁波屏蔽等因素影响。在实际应用中，尤其是在城市、山区等复杂地形环境下，雷达系统的反射面较为复杂，无法有效提供准确的目标定位。而光电探测系统，特别是红外成像技术，可以弥补雷达在目标分辨度上

的不足，提供更清晰的目标图像，并能够在低光环境下进行有效探测。光电系统本身也存在着天气条件、视距限制以及远程探测能力较差等问题。低空无人机防御的核心挑战在于如何突破技术壁垒，克服探测盲区，并提高探测精度和反应速度。

面对这些挑战，探测系统的融合成为提升低空无人机防御能力的关键方向。雷达与光电技术的结合能够有效弥补各自的短板，达到优势互补的效果。通过数据融合与信息共享，系统可以实现对目标的全面监控，克服雷达和光电各自的局限性，如雷达难以识别的低反射物体或光电系统受天气影响的问题^[2]。尤其是在复杂的环境中，雷达提供了远程探测能力，光电系统则通过高分辨率图像增强目标的识别精度。如何有效整合这两种技术，提升探测性能，成为当前低空无人机防御技术研究的热点。

2 雷达与光电系统的优势互补及其协同工作机制

雷达与光电系统在低空无人机防御中的优势互补，为提升探测能力和反应速度提供了强有力的支持。雷达系统具有广泛的探测范围和全天候工作能力，能够在复杂气象条件下进行持续监测。雷达可以快速发现远距离目标并进行初步跟踪，尤其在低空无人机的初步探测阶段，雷达的高灵敏度和长距离探测能力能显著提高目标的发现率^[3]。雷达在面对小型、低反射物体时，往往由于回波信号较弱，无法准确定位目标。光电系统在精确识别和目标判别方面展现出了独特的优势。光电传感器，尤其是红外成像系统，能够在低光照或恶劣天气条件下，提供清晰的图像和详细的目标信息，对于小型目标的辨识精度远高于雷达。

两者的协同工作机制使得低空无人机防御系统能够实现更为精准和高效的目标探测。雷达系统提供了一个宏观的监视框架，能够从远距离探测到潜在威胁并进行目标初步筛选。通过与光电系统的结合，雷达可以将目标的大致位置和运动轨迹传输给光电系统，而光电传感器则利用其高分辨率能力，精确确认目标的外观特征和类型。这种信息融合的过程大大减少了单一系统的误报率，提高了对低空飞行目标的检测精度和可靠性。尤其是在复杂环境中，雷达与光电系统的结合可以根据目标的动态变化，灵活切换工作模式，保证系统的全面适应性和高效运作。

雷达与光电系统的协同不仅限于探测与识别阶段，数据融合与实时处理也是两者协同工作的关键。现代雷达与光电系统通常配备强大的数据处理平台，能够实时接收和分析从不同传感器获得的信息，通过高度

集成的算法进行目标筛选和信息融合^[4]。融合后的数据将提供更加完整、准确的目标信息，极大地提升了低空无人机防御的反应速度和决策效率。这种协同工作机制使得防御系统能够在动态环境中迅速做出判断，为低空无人机的拦截和反制提供了有力的保障。

3 雷达-光电复合探测技术在低空无人机防御中的应用策略

雷达-光电复合探测技术在低空无人机防御中具有广泛的应用潜力，能够有效提升目标探测的准确性与反应速度。在低空无人机的探测过程中，雷达通过其长距离、高覆盖的优势，能够快速探测到目标的存在并提供初步的定位信息^[5]。雷达在低反射目标的识别和分辨方面存在一定困难，尤其是在复杂环境中，其探测精度容易受到地形、气象以及干扰因素的影响。光电系统在这一过程中弥补了雷达的不足，凭借其优越的分辨率和图像识别能力，能够对小型目标进行精准识别。通过两者的复合应用，系统能够在广域探测与细致识别之间形成良好的协同效果，确保低空无人机在不同飞行场景下都能被及时发现和有效追踪。

在实际应用中，雷达-光电复合探测技术的策略关键在于数据融合与信息共享。雷达系统提供大范围的目标探测，能够实时跟踪无人机的轨迹并传输给光电系统进行更精确的分析。光电传感器则对雷达提供的粗略定位进行补充，采用红外成像技术进行目标的详细识别。数据融合平台通过实时整合来自雷达和光电传感器的数据，结合先进的算法分析和处理，能够在不同环境条件下迅速做出反应。这种复合探测策略不仅提高了目标识别的准确度，还能有效减少误报和漏报率，确保防御系统的高效性和可靠性。特别是在复杂的城市环境和恶劣气候条件下，雷达和光电系统的协同工作为低空无人机的防御提供了多层次的保障。

雷达-光电复合探测技术的应用还体现在精准的目标分类和快速的响应机制上。结合雷达系统的远程监视能力和光电系统的高分辨率成像，系统可以对不同类型的无人机进行智能分类，识别是否为威胁目标，并根据不同的威胁等级快速启动响应措施^[6]。通过这种智能化、精确化的探测策略，低空无人机防御系统能够在复杂的战场环境中高效运作，最大限度地提高对低空无人机的拦截成功率。无论是民用无人机还是军用侦察无人机，复合探测技术都能够在第一时间做出反应，为防御操作提供关键的数据支持。

4 低空无人机防御系统中雷达-光电复合探测技术的性能评估

低空无人机防御系统中雷达-光电复合探测技术的性能评估主要关注系统在不同环境条件下的探测精度、反应速度以及抗干扰能力。通过对雷达和光电系统协同工作的综合评估，能够衡量该技术的实际作战能力。雷达系统在低空无人机防御中的应用面临着目标分辨率不高、低反射目标难以检测等问题，而光电系统在图像识别精度上具备优势，但在天气不佳或低能见度条件下其表现受到限制。通过结合雷达的远程探测和光电系统的高分辨率成像，可以有效弥补单一传感器的局限性，从而实现对低空无人机的精确定位与识别^[7]。在性能评估中，系统的目标识别能力、距离分辨率以及在复杂环境中的适应性是关键指标。

为了准确评估雷达-光电复合探测技术的性能，需要通过模拟试验与实战演练相结合的方式进行全面测试。通过设置不同的环境条件，如复杂地形、恶劣气象、背景干扰等，可以检验系统在实际操作中的表现。在多变环境中，雷达系统的探测范围和初步追踪能力能够在第一时间发现目标，而光电系统则能提供更为详细的目标图像，帮助系统进行精确识别。在性能评估过程中，数据融合与信息处理的效率也至关重要，评估系统在实时信息处理和响应中的性能，以确定其应对快速变化战场环境的能力。评估结果通常会显示，雷达与光电系统协同工作时，相较于单一系统，综合性能有了显著提升，尤其是在目标的分辨率和识别准确度方面。

除了目标识别与追踪能力，雷达-光电复合探测技术的抗干扰能力也是评估的重要指标。低空无人机常采用反制措施，如电子干扰或伪装，防御系统必须具备足够的抗干扰能力以确保探测效果。雷达系统的抗干扰性能，尤其是在电磁干扰和噪声环境下的表现，直接影响到防御系统的可靠性^[8]。而光电系统在这方面相对较为稳定，但其受限于视距和光照条件的变化，因此系统的综合抗干扰能力需要进行严格评估，以确保在复杂干扰下依然能够提供准确的探测结果。通过对雷达与光电系统在不同条件下的综合评估，能够确定其在低空无人机防御中的实际应用价值，为进一步优化和

完善该技术提供重要参考。

5 结语

雷达-光电复合探测技术在低空无人机防御系统中的应用展现了显著的优势。其有效结合了雷达的远程探测能力和光电系统的高分辨率目标识别，弥补了单一系统的局限性，提升了探测精度和反应速度。性能评估结果表明，该技术在复杂环境中具备较强的适应性和抗干扰能力，能够在低空无人机防御中发挥关键作用。未来，随着技术的不断发展，雷达-光电复合探测系统将更加完善，进一步提升防御系统的整体效能。

参考文献

- [1] 蒲伯巍,殷旭,胡亚希,等.基于基站网络的低空无人机入侵防御系统的研究[J].广东通信技术,2025,45(05):76-79.
- [2] 曹昌盛.变电站低空无人机防御系统技术及建设方案研究[J].中国设备工程,2024,(14):108-110.
- [3] 赵亮,赫龙,刘金山,等.低空无人机防御系统在智能体育馆中的应用探究[J].智能建筑,2020,(02):34-37.
- [4] 马成,李蓉,耿卓杉.低空无人机安全风险及探测防御措施[J].中国无线电,2025,(03):47-49.
- [5] 侯琛.浅谈雷达探测技术在低空无人机防御中的研究[J].办公自动化,2024,29(10):4-7.
- [6] 杨子轩,王晨,石绍芹,等.低空无人机与地面移动式激光雷达的点云配准研究[J].科学技术创新,2024,(16):94-97.
- [7] 向志强,刘波,江少锋.“低慢小”目标的雷达与光电复合探测跟踪方法[J].计算机测量与控制,2023,31(05):34-40+47.
- [8] 刘光辉.低空无人机探测技术的发展前景与趋势[J].现代雷达,2022,44(04):99-100.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

