

文章编号: 1672-8785(2023)11-0001-05

无人机激光光电目标跟踪 指示技术研究

刘 怡 刘东升* 黄自力 曾 晶 李伟男 张 翔

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 无人机技术近年来发展迅速, 军事应用日益广泛。传统机载激光目标指示器重量与体积较大, 很难集成于无人机来实现军事应用。主要介绍了一种国际主流的激光制导武器系统技术方案及作战应用流程, 并研究了一种轻小型化的三光合一的无人机激光光电目标跟踪指示载荷。有别于传统激光指示照射, 该无人机激光光电载荷通过与无人机的紧耦合完成小型化集成, 并实现了远近距离一体化探测功能: 远距离可对打击目标进行定位引导(大地坐标位置信息), 近距离可对打击目标进行激光照射指示引导。同时, 本文的指示方法利用低成本小型无人机突击作战, 避免了人员暴露及伤亡风险, 提高了无人化作战效率。

关键词: 无人机; 激光; 光电; 跟踪; 目标指示

中图分类号: E933.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2023.11.001

Research on Laser Optoelectronic Target Tracking and Indication Technology for UAV

LIU Yi, LIU Dong-sheng*, HUANG Zi-li, ZENG Jing, LI Wei-nan, ZHANG Xiang

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: UAV technology has developed rapidly in recent years, and its military application is increasingly extensive. The traditional airborne laser target indicator is difficult to be integrated into UAV for military application due to its large weight and volume. The technical scheme and operational application process of one of the world's mainstream laser guided weapon systems are introduced in this paper, and a light and miniaturized laser photoelectric target tracking and indicating load of UAV is studied. Different from the traditional laser indication irradiation, the UAV laser photoelectric load achieves miniaturization integration through tight coupling with the UAV, and realizes the integrated detection function of short and long distance. The target can be positioned and guided at a long distance (geodetic coordinate position information), and can be guided by laser irradiation at a short distance. At the same time, the instruction method in this paper makes use of low-cost small UAV assault operations, which avoids the risk of personnel exposure and casualties, and improves the efficiency of unmanned combat.

Key words: UAV; laser; optoelectronic; tracking; target indication

收稿日期: 2023-07-27

作者简介: 刘怡(1981-), 男, 重庆人, 研究员, 主要从事光电信息方面的研究。

*通讯作者: E-mail: lds_amm@163.com

0 引言

近年来,无论是针对重要目标的特别行动,还是大规模作战中的广泛应用,无人作战形式已屡见不鲜,渗透到战争的各个环节,作战效能日益凸显。由于具备良好的机动性,无人机由早期的侦察、监视逐步扩展到对地精确打击中,已成为无人作战的重要平台。通过对多型传感器的信息综合处理并结合无线组网技术,可实现对局部作战环境的多维感知,为作战行动提供精确可靠的态势支撑。

随着自动目标识别技术的发展,精确制导武器具有一定的自动目标捕获能力,但为末制导提供指示信息(如激光照射、目标坐标或图像等)仍然是极其重要的。在突击作战场景中,由于指示信息往往由作战小组或单兵提供,在进行引导时存在暴露的风险,而且对时敏目标、运动目标提供指示信息存在困难。因此,本文对小型无人机激光光电目标跟踪指示技术进行研究,探索适用于上述典型作战场景的机动无人化引导装备,为后期有人-无人组合部队及其新质作战能力的形成提供支撑。

1 系统技术方案及作战应用流程

不同于常规的作战样式,突击作战通过敏捷反应、攻其不备给敌人造成出其不意的震撼和威慑,以达到影响全局的战略效果^[1]。由于突击作战机动性与隐蔽性的要求,精确制导武器无论是投送还是行动携带都受到了限制,直接使用存在困难。同时,突击作战小组深入敌后,位于区域信息链的最前端,可以作为火力支援的自动化指挥系统(C4ISR)通过信息化装备进行火力引导^[2],从而实现对目标的精确打击。

适用于突击作战小组的小型无人机具有轻小型化、易拆装、机动性强等特点,可由单兵操作来执行任务。2018年3月,美国海军陆战队首次在第1师第7陆战团第3营部署小型四旋翼“即时眼”无人机。如图1所示,该无人机质量为0.45 kg,续航时间约为30 min(采



图1 小型四旋翼“即时眼”无人机

用电动力),航程为5~10 km,最大飞行高度超过3600 m。它配有3个光电/红外传感器和1个前视红外热成像传感器,可通过手动或预编程控制,手持发射后即可执行情报、监视和侦察(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, ISR)任务^[3]。

突击作战装备信息化程度高,小型无人机配备越来越成为常态。无人机的首要使命是执行ISR任务,因此光电系统是基本配置。通过将激光指示器与无人机光电系统集成来发展无人机激光光电跟踪指示系统,可使小型无人机具备为制导武器提供引导的能力。

激光制导武器的引导通常由机载激光照射吊舱或者用地面激光照射器对目标实施激光照射来实现。卫星制导武器与图像制导武器可以通过预先加载目标坐标或图像模板完成末制导。对于突击作战中的时敏目标和运动目标,地面照射不但可能暴露位置,而且难以对目标实施有效照射引导,同时也难以给出固定目标坐标(用于卫星制导)或提供导弹视角的目标图像模板(用于图像制导)。小型无人机配备激光光电跟踪指示系统后,可从空中对时敏、运动目标实施激光照射、激光测距间接定位与图像获取,为制导武器提供末制导信息,从而提升毁伤效能。

无人机激光光电跟踪指示系统的作战应用可分为起飞、侦察识别、跟踪(巡飞)、指示、评估、返航等几个步骤(见图2),具体如下:

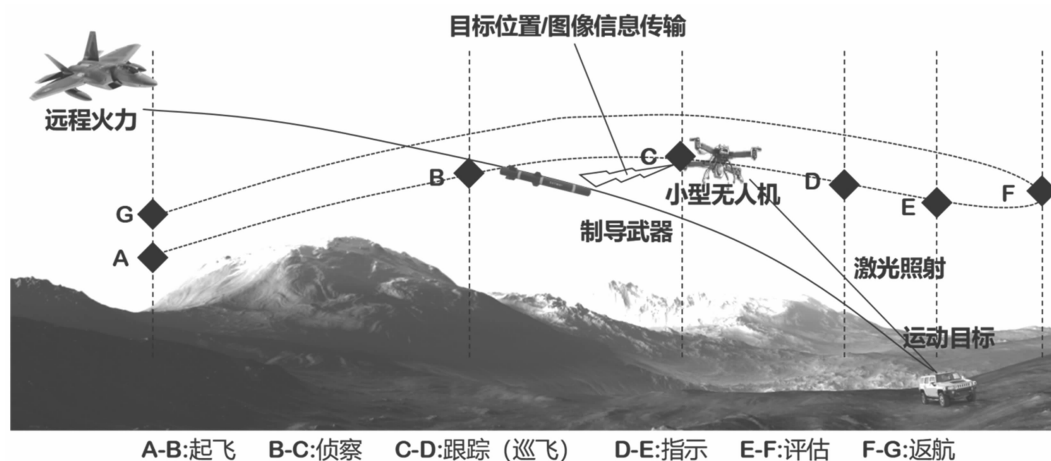


图2 无人机激光光电跟踪指示流程示意图

(1)起飞: 作战小组控制飞机从目标邻近区域(≥ 2 km)起飞, 通过人员操控或预置坐标飞往目标区域。

(2)侦察识别: 无人机可通过自动目标识别自主发现并锁定目标, 或利用通信系统将光电系统探测图像回传至操控端并通过“人在回路”完成对目标的识别与锁定。

(3)跟踪(巡飞): 光电跟踪模块对锁定目标进行跟踪, 并驱动伺服机构使目标保持在视场内。无人机激光测距模块对跟踪目标进行测距, 结合图像信息与距离信息来实现自主巡飞与闭环跟踪。

(4)指示: 作战小组通过指挥通信系统呼叫后方(地面/空中)火力, 当制导武器进入末制导阶段, 控制无人机根据制导武器类型进行目标指示(为激光制导弹药提供激光指示、为卫星制导弹药提供目标坐标、为图像制导弹药提供目标图像模板等)。无人机可利用通信系统与弹载数据链完成激光照射指示同步以及目标坐标信息、图像模板信息的传输。

(5)评估: 实施打击后, 作战小组通过无人机回传图像进行毁伤评估, 决定是否实施第二轮打击。

(6)返航: 任务完成后, 无人机自动返航。

2 基于图像的目标识别与跟踪

当无人机与目标存在相对运动时, 实施激光目标指示的前提是要实现准确的目标识别与

跟踪。由于小型无人机载荷能力有限, 为满足突击作战全天候适应性需求, 可选择非制冷红外成像系统来实现对目标的探测, 从而完成图像识别与跟踪。基于图像的目标检测识别与跟踪流程如下: 对感兴趣区域进行光电探测, 获取光电/红外图像, 然后以“人在回路”或自动目标识别的方式锁定目标, 并通过图像处理算法获取视频图像中的目标位置, 最后驱动光电系统实现对目标的闭环跟踪。

“人在回路”是传统的目标识别方式, 主要依靠操控人员在所获图像中进行观察、发现、识别并确认目标。随着人工智能的飞速发展和处理器计算能力的大幅提高, 利用深度神经网络实现对图像特征的分层提取, 可较好地解决传统方法中基于像素域提取底层视觉特征的问题。基于深度学习的自动图像识别技术已经日趋成熟。基于网络结构的拓扑变化, 采用卷积神经网络、循环神经网络等深度学习模型, 可实现对不同目标检测、识别任务多源数据的联合学习, 从而提高对目标的检测、识别性能。

在加州海军航空武器试验场进行的无人机发射小型滑翔弹药重新定向打击测试中, 美国陆军操作员在模拟的“战区”附近通过平板电脑接管无人机。发射小型滑翔炸弹后, 架构、自动、自主和交互界面(Architecture, Automation, Autonomy and Interactive Interfaces, A3I)系统检测到了更高级别的威胁, 改变攻击目标

并完成了目标打击。A3I 系统是美军多年来与谷歌等公司合作研发的人工智能目标检测识别系统,可以让无人机、地面战车上的光电传感器自动识别可疑目标。该系统未来不仅可以让美军有人/无人机等前线火力平台的目标识别与打击实现“联网化”,而且还能配装研制中的“未来垂直起降飞机”。

新型无人机系统(如美国空军 RQ-4 “全球鹰”无人机、MQ-1 “捕食者”无人机、“鹰眼”无人机等)可提供长时间的实时、近距离跟踪与监测。尤其美国的“扫描鹰”无人机目前已实现了开放式操作,即由陆地发射后转而由舰载控制站指挥、两架无人机协同自主进行地面运动目标跟踪与定位等^[4]。

3 基于激光光电的目标定位

在美军无人机军事需求排序中,目标定位(目标大地坐标位置信息获取)是仅次于侦察的第二重要功能。无人机侦察具有成本低、使用灵活、实时侦察等优点。无人机可利用自身搭载的光电系统与激光测距设备,通过姿态测量/激光测距实现基于图像的主动目标定位。与被动目标定位(通过图像信息和无人机的其它参量进行定位^[6])不同,主动目标定位是利用激光测距获得目标与无人机的距离,然后根据测距值以及无人机坐标、姿态、光电载荷光轴角度和探测器参量等信息进行定位^[7]。主动目标定位能达到较高精度,是主流的目标定位方法。

在实际使用中,基于卫星定位精度带来的无人机坐标、姿态等误差以及引入的光电系统角度误差与激光测距误差,在动平台激光测距定位时可能会产生几米到几十米的定位误差^[8]。在高精度卫星定位服务覆盖区域,可利用增强定位技术提高无人机坐标、姿态定位精度,从而减小目标定位误差。

目标定位技术在小型无人机上的应用包括以下几个方面:

(1)通过激光测距获得目标到无人机的距离信息,可用于目标识别锁定后的自主巡飞跟

踪,也可用于激光半主动制导武器对时敏、运动目标实施打击时的激光照射引导指示。

(2)通过激光光电目标定位技术获得目标大地坐标位置信息,为卫星定位制导武器对时敏、运动目标实施打击提供引导。卫星定位制导武器通过无人机提供的目标定位坐标修正弹道,保证目标在导弹的末制导搜索范围内。

(3)基于光电跟踪系统,以空中视角获得目标的图像信息并实时更新,为图像制导武器在末制导阶段的识别跟踪提供更可靠的目标图像信息。

4 激光编码照射与目标指示

将光电系统与小型激光指示器集成设计,再利用无人机系统的通信与卫星定位功能,可形成集侦察、识别、自动巡飞跟踪与引导指示于一体的适用于单兵操作的激光光电跟踪指示小型无人机。此类装备的典型代表是美国 UTC 宇航系统公司在特种作战部队装备展上推出的用于中小型无人机系统的新型 TASE400 LD 激光指示光电载荷(见图 3)。



图 3 TASE400 LD 激光指示光电载荷

TASE400 LD 的直径约为 180 mm,重量约为 4.8 kg。它采用符合北约标准 NATO STANAG 3733 的激光指示器,是业界最轻的用于无人机的激光指示有效载荷之一。因此,美军 10~25 kg 级别无人机将首次采用激光指示器。TASE400 LD 为操作人员提供可见光/

中波红外成像功能以提高态势感知能力, 并为增强目标识别能力提供优化的光学设计。该系统集成了图像稳定、叠加、画中画以及增强的机载视频处理功能, 并集成了地理指向以及 ViewPoint 战术处理、利用和分发的机载 GPS/INS 功能, 为操作员提供了多任务处理、记录和传送关键数据的能力。该系统的激光指示器与北约所有的制导弹药和半主动激光导引头兼容。TASE400 LD 是 UTC 宇航系统公司 TASE 系列产品的最新成员。经试验证明, 该系列可在最恶劣的无人军事环境中飞行数十万小时, 其中包括执行美军特种作战部队的任务。

5 应用前景

21 世纪以来, 随着 C4ISR 的不断发展, 远近程探测与远近程精确制导武器依靠一体化的网络信息链路实现信息共享, 形成高效低消耗的作战方案。通过激光技术、光电图像信息处理技术、小型无人机技术的深度交叉融合, 实现适装或集成于小型无人机等无人平台的目标跟踪指示激光光电载荷, 为突击作战小组或单兵提供引导激光等制导方式的远程火力对时敏、运动目标实施精确打击的新质装备。

6 结束语

本文主要围绕无人机在突击作战中的应用需求, 通过激光光电目标跟踪指示技术和无人机技术的交叉融合, 将具备激光、可见光与红外探测器的激光光电装备与班组级小型无人机

集成, 实现一种对时敏、运动目标自动跟踪和指示的无人机激光光电载荷以及目标指示方法, 可提升突击小组的人机协同作战能力。随着无人机越来越小型化, 实现激光光电载荷与无人机的一体化集成, 进一步减小体积和重量, 将是未来的重点研究方向。

参考文献

- [1] 李东杰, 傅光明, 简如国. 空降作战的制约因素及前瞻 [J]. 国防科技, 2019, 40(4): 105-108.
- [2] 纪浩然. 基于移动云模式的指挥信息系统架构研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2017.
- [3] 李磊, 徐月, 蒋琪, 等. 2018 年国外军用无人机装备及技术发展综述 [J]. 战术导弹技术, 2019, 40(2): 1-11.
- [4] 沈悦. 基于无人机视觉信息的移动目标识别与追踪 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [5] Tisdale J, Ryan A, Zu K, et al. A Multiple UAV System for Vision-Based Search and Localization [C]. Seattle: 2008 American Control Conference, 2008.
- [6] Lin F, Dong X, Chen B M, et al. A Robust Real-Time Embedded Vision System on an Unmanned Rotorcraft for Ground Target Following [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(2): 1038-1049.
- [7] 蔡明兵. 基于北斗的无人机跟踪目标定位技术研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2017.