

航空科学技术

Aeronautical Science & Technology

1989 年创刊
2022 年第 33 卷 第 7 期
刊期：月刊
出版日期：2022 年 7 月 25 日
刊名题字：聂荣臻



中国航空工业集团有限公司

中国航空研究院

Chinese Aeronautical Establishment

院长：孙 聪

中航出版传媒有限责任公司

CHINA AVIATION PUBLISHING & MEDIA CO.,LTD.

董事长：刘 柱

总经理：龙明灵

《航空科学技术》编委会

主 任：郝照平

副主任：孙侠生 刘 林

特邀编委：唐长红 樊会涛 孙 聪 杨 伟 吴希明

委 员：丁全心 王永庆 王育鹏 王晓文 王海峰 邓平煜
邓景辉 古 彪 刘代军 刘永泉 刘 柱 孙志岩
苏炳君 李 平 李志强 李周复 李实求 李建榕
杨 辉 杨志刚 轩立新 吴良斌 张 力 张亚棣
陈 刚 段卓毅 姚俊臣 徐 明 殷云浩 郭平凡
黄 蓝 黄维娜 龚旭东 温 泉 雷宏杰 廖全旺
戴圣龙

秘书长：马 征 李小飞

《航空科学技术》编辑部

主 编：孙侠生

执行主编：高振勋 王钢林 相 倩

副 主 编：刘玲蕊

编辑部主任：樊丹丹

责任编辑：康 彬 王 为 陈东晓

英文审校：马 强

电 话：010-85672530/85672631

投稿邮箱：ast@aviationnow.com.cn

网 址：ast.aviationnow.com.cn

设计制作：曾 晖 张 炼

电 话：010-85672632

发行范围：公开发行人

国内订阅：全国各地邮局，邮发代号 2-691

发行单位：中航出版传媒有限责任公司发行部

发行经理：余 声

电 话：010-85672520

主 管：中国航空工业集团有限公司

主 办：中国航空研究院

出 版：中航出版传媒有限责任公司

地 址：北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 (100028)

国内统一连续出版物号：CN 11-3089/V

国际标准连续出版物号：ISSN 1007-5453

印刷单位：北京博海升彩色印刷有限公司

定 价：30 元

广告经营许可证号：京朝工商广字 0324 号

特约法律顾问：中闻律师事务所 张继先

目 次

综述

- 1 机载光电侦察装备发展现状分析 张 岚 赵显宇 熊钟秀

研究

- 8 一种无人机自主规避导弹的威胁度评估方法
..... 郭 强 何胜杰 程家林 王兴虎 孙 亘 郭菲

- 15 高超声速飞机气动外形概念设计
..... 刘济民 颜仙荣 张朝阳 沈 伋

- 23 基于边界层抽吸的埋入式进气道性能优化研究
..... 肖 毅 沈 亮 刘 敏 杨昌发

计算流体力学

- 30 基于机器学习预测流场特征的网格生成技术研究进展
..... 韩天依星 皮思源 胡姝瑶 许晨豪 万凯迪
高振勋 蒋崇文 李椿萱

- 46 面向航空工程的 CFD 不确定度量化方法研究 李 立

- 57 三维效应对超声速湍流燃烧流动大涡模拟的影响研究
..... 刘宏鹏

- 66 基于面向对象的非结构航空 CFD 软件体系结构设计
..... 乔 龙 李艳亮 杨思源 唐海龙 尹 强 吴奥奇 曾凯 钱战森

- 73 超声速欠膨胀喷流噪声数值模拟研究 施方成 王田天

- 86 PHAROS 求解火星进入热化学非平衡流场的测试及应用
..... 杨星链 王京盈 郝佳傲 孙柯

- 95 改进的准定常旋转坐标系阻尼动导数计算方法
..... 吴耕宇 鲍君波 宋万强 相倩

- 106 基于深度学习的二维翼型流场重构技术研究
..... 曹晓峰 李鸿岩 郭承鹏 王 强 马海

航空科学基金

- 113 飞机液压系统出油管路振动抑制方法研究
..... 邵敏强 张胜发 杨 乐 黄自力

- 120 基于机构随机振动分析的载荷谱非参数上限统计归纳方法对比
研究 冯志杰 肖慧婷 杨永锋

广告目录

封二 《航空科学技术》征稿启事

封三 航空工业知识服务平台

期刊基本参数：CN11-3089/V*1989*M*A4*94*Zh*P*30.00*3000*14*2022-07



Aeronautical Science & Technology

Monthly, Since 1989

Editorial Board

Chairman: Hao Zhaoping

Vice Chairmen: Sun Xiasheng Liu Lin

Guest Editor: Tang Changhong Fan Huitao

Sun Cong Yang Wei Wu Ximing

Members:

Ding Quanxin	Wang Yongqing	Wang Yupeng
Wang Xiaowen	Wang Haifeng	Deng Pingyu
Deng Jinghui	Gu Biao	Liu Daijun
Liu Yongquan	Liu Zhu	Sun Zhiyan
Su Bingjun	Li Ping	Li Zhiqiang
Li Zhoufu	Li Shiqiu	Li Jianrong
Yang Hui	Yang Zhigang	Xuan Lixin
Wu Liangbin	Zhang Li	Zhang Yadi
Chen Gang	Duan Zhuoyi	Yao Junchen
Xu Ming	Yin Yunhao	Guo Pingfan
Huang Lan	Huang Weina	Gong Xudong
Wen Quan	Lei Hongjie	Liao Quanwang
Dai Shenglong		

Secretary General: Ma Zheng Li Xiaofei

Editor-in-Chief: Sun Xiasheng

Executive Editor: Gao Zhenxun Wang Ganglin
Xiang Qian

Subeditor: Liu Lingrui

Director: Fan Dandan

Editors: Kang Bin Wang Wei Chen Dongxiao

English Editor: Ma Qiang

Production Editors: Zeng Hui Zhang Lian

Tel: 86-10-85672530/85672631

E-mail: ast@aviationnow.com.cn

Address: Fourth Floor, Block C, Shuguang Building,
No. 5 Jingshun Road, Chaoyang District, Beijing,
100028, China

Authority: Aviation Industry Corporation of China, Ltd.

Sponsor: Chinese Aeronautical Establishment

Published by: China Aviation Publishing & Media Co., Ltd.

Printed by: Beijing Bohaisheng Colour Print Co., Ltd.

Chinese Aeronautical Establishment

President: Sun Cong

China Aviation Publishing & Media Co., Ltd.

Chairman: Liu Zhu

CEO: Long Mingling

CONTENTS

Overview

- 1 Analysis on the Development Status of Airborne EO-Reconnaissance Equipments

Research

- 8 A Threat Evaluation Method of Autonomous UAV Avoidance Missile
- 15 Conceptual Design of Hypersonic ISR Vehicle Configuration
- 23 Research on Performance Optimization of Submerged Inlet Based on Boundary Layer Suction

Computational Fluid Dynamics

- 30 Progress of the Grid Generation Based on Flow Features Predicted by Machine Learning
- 46 Investigation of CFD Uncertainty Quantification Approaches Towards Aeronautical Applications
- 57 Study on the Three Dimensional Effects for the Large Eddy Simulation of Supersonic Turbulent Combustion Flows
- 66 Software Architecture of an Unstructured Aviation CFD Solver Using Object-Oriented Techniques
- 73 Numerical Investigation of Under-Expanded Supersonic Jet Noise
- 86 Test and Application of PHAROS Solver for Simulating Thermo-Chemical Nonequilibrium Flow of Mars Entry
- 95 An Improved Quasi-Steady Rotation Frame Method for Computing Damping Dynamic Derivatives
- 106 Research on Two-dimensional Airfoil Flow Field Reconstruction Based on Deep Learning

Aeronautical Science Foundation

- 113 Research on Vibration Suppression Method of Aircraft Hydraulic Pipeline System
- 120 Comparative Study on Non-Parametric Upper Limit Statistical Induction of Load Spectrum Based on Random Vibration

机载光电侦察装备发展现状分析



张岚¹, 赵显宇², 熊钟秀²

1. 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 四川 成都 610091

2. 航空工业洛阳光电设备研究所, 河南 洛阳 471000

摘要: 本文主要从航空侦察平台、典型机载光电侦察装备、机载光电侦察技术三个方面介绍机载光电侦察系统的发展现状及光电侦察技术研究现状。重点分析了多光谱探测、偏振探测、基于深度学习的目标识别等多种光电侦察技术的原理及应用发展趋势。最后, 通过分析航空平台和光电探测技术的发展趋势, 提出我国机载光电侦察装备的发展建议。

关键词: 侦察; 光电探测; 机载装备

中图分类号: V248.1

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2022.07.001

在现代军事斗争中, 信息的获取能力成为决定战争发展的主要因素。美国等西方国家将情报、监视和侦察系统(ISR)所涉及的装备、数据综合到一起供作战指挥与决策。后来美国又将ISR系统与指挥(command)、控制(control)、通信(communication)和计算机(computer)系统统一到一起, 形成C4ISR系统, 构成现代军队的神经中枢。

机载光电侦察作为C4ISR系统的重要一环, 是指利用光电探测手段, 在飞机等航空平台上获取敌方目标分布、地形信息、人员及装备活动的军事斗争手段。光电侦察装备是指利用目标及背景对各类光源的不同反射特性或其自身辐射的差异来进行探测、识别乃至瞄准、跟踪的军用仪器或系统。相对雷达、声学等侦察设备, 光电侦察装备成像效果直观, 利于人员判读; 光电侦察设备大多属于无源探测设备, 隐蔽性好, 不容易被敌方探测; 并且光电侦察设备抗干扰性能好, 可以在强电磁对抗环境中工作, 是侦察体系中不可或缺的重要装备。机载光电监视侦察系统能够利用航空平台快速、灵活的优势高效地对目标进行大范围、远距离侦察, 提供实时的战场态势情报, 数十年来, 机载光电侦察装备的应用为军事斗争的形态带来了深远的影响^[1]。

从使用上讲, 机载光电侦察包括光电侦察和光电监视两种类型, 光电侦察主要指在大范围内对目标区域进行探测、识别等; 而光电监视则主要是对已知目标进行观察, 掌握目标随时间的变化情况。相对雷达等侦察手段, 光电侦察

可以实现被动探测, 降低了被敌方发现的风险。同时得益于可见光及红外探测技术的发展, 光电侦察可以实现高分辨、高帧频成像, 成为提供战场支援和夺取信息优势的重要手段。

1 国外主要航空侦察平台

机载侦察装备是依托航空侦察平台而发挥作用的, 航空平台的飞行速度、飞行高度, 以及其隐身、气动要求都会直接影响航空侦察的结构甚至功能。而机载侦察装备(载荷)的性能与功能又直接影响航空侦察平台的效能与工作方式。航空侦察平台与光电侦察装备如何搭配使用主要取决于航空侦察任务需求与使用场景。不同侦察任务对区域范围、时效性乃至侦察设备的性能要求都有不同。一般来说, 侦察任务是军事活动的重要前提, 是军事情报获取的基本手段。在军事斗争的早期, 一般由专用的大型侦察机平台携带高性能光电侦察装备对目标作战区进行广域搜索, 获得全面完整的战场态势信息; 在军事斗争进行中, 战术侦察任务又成为侦察活动的主要形式, 其特点是侦察区域小, 时效性要求高。往往采用战斗机、无人机或直升机等航空战术平台加挂光电吊舱等多种形式的侦察装备对特定目标进行探测、识别及跟踪。

在分析机载光电侦察装备之前首先应该对目前主要的航空侦察平台进行梳理^[2-4]。专用侦察机是执行航空侦察

收稿日期: 2022-02-11; 退修日期: 2022-04-19; 录用日期: 2022-05-15

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项(52-L10D01-0613-20/22)

引用格式: Zhang Lan, Zhao Xianyu, Xiong Zhongxiu. Analysis on the development status of airborne EO-reconnaissance equipments[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(07): 1-7. 张岚, 赵显宇, 熊钟秀. 机载光电侦察装备发展现状分析[J]. 航空科学技术, 2022, 33(07): 1-7.

任务的重要平台,典型机型有美国的SR-71 侦察机、U-2 侦察机、EP-3 侦察机、EP-8 侦察机,以及RC-135 侦察机(见图1)等。其中SR-71 侦察机由洛克希德公司研制,1966年开始在美军服役,该机实用侦察高度达到24000m,最大飞行速度超过 $Ma\ 3$,装备有可见光、红外及合成孔径雷达等侦察设备。U-2 侦察机同样由洛克希德公司研制,于1956年进入美军服役,实用升限同样超过24000m,但其早期型号有效侦察高度仅为5000~15000m,装备有8台照相侦察用全自动照相机,还可安装合成孔径雷达。U-2 侦察机一直服役至今,其航电装置也在进行不断升级。而后三种侦察机均是在客机平台上改造而成,机体空间较大,搭载的侦察设备种类比较多,使用及维护成本较低。



图1 美国RC-135 侦察机

Fig.1 The RC-135 reconnaissance plane of U.S.

此外,侦察型直升机也是航空侦察的重要平台。由于其出动灵活度较高,侦察性直升机可以配属在海面舰艇上或在一些地面战场中使用。典型的侦察型直升机有美国RAH-66“科曼奇”直升机,俄罗斯卡-31、卡-52 直升机,法国“地平线”直升机,英国“海王”直升机等。美国陆军在2018年提出了“未来攻击侦察直升机”(FARA)计划,开启了下一代军用直升机的研发。

近些年,世界各主要国家都在大力发展无人侦察平台,无人机使用效费比很高,成为当前的局部战争中使用频率最高的武器之一。典型无人侦察机有“扫描鹰”无人侦察机、RQ-4“全球鹰”无人侦察机、MQ-8 无人直升机(见图2),以及RQ-170 隐身无人侦察机。此外,兼顾侦察与打击功能的无人机也在国际市场受到大量的关注,如美国的MQ-1、MQ-9 系列无人机(见图3),以色列“赫尔墨斯”900 型无人机以及俄罗斯“猎户座”无人机,我国的“翼龙”系列无人机在该类机型中处于世界先进水平^[5]。

除有人/无人飞机和直升机平台外,近些年飞艇等浮空平台再次得到人们的关注。飞艇具有留空时间长、覆盖面积大、能源消耗低等诸多优点,可作为边防、海防的空中监



图2 美国MQ-8“火力侦察兵”无人直升机

Fig.2 The MQ-8“Fire Scout”Unmanned helicopter



图3 美国MQ-9 察打一体无人机

Fig.3 The MQ-9 reconnaissance and strike integrate UAV

测平台。尤其是一些飞艇还能在平流层内长时间停留,可以进行低空预警。目前,美国军方将多艘飞艇(见图4)部署在伊拉克、阿富汗及其他地方,用于执行持久监视任务,这些平台执行任务的时间可达数周乃至数月。



图4 美国陆军混合飞艇

Fig.4 The hybrid airship of U.S.army

2 典型机载光电侦察装备

针对机载平台与使用需求的不同,机载光电侦察装备主要有内装式和吊舱式两种类型。内装式光电侦察设备装载在航空平台内部,在机身留出光窗,通常在一些对隐身性或气动要求高的平台中使用;而吊舱式侦察设备可以挂在机头、机腹乃至机翼处,使用较为灵活。

不同的机载光电侦察传感器配置差异也比较大。有的

只配置单红外传感器,有的只配置单可见光传感器,有的可以实现红外/可见光组合侦察。随着光电探测技术的发展,光电吊舱的传感器配置也在逐渐丰富,本节对几类典型的机载侦察装备进行介绍^[6-9]。

2.1 光电侦察吊舱

依据装机条件、结构外形的不同,常见的光电吊舱主要有转塔式和吊舱式两种类型。吊舱型光电侦察系统主要用于战斗机等机动性强的平台,其外形必须满足一定的径长比以满足高速气动要求,通过外挂物挂架与飞机相连,拆装灵活,通用性较强,但体积较大、重量较重。转塔型光电吊舱多用于直升机、无人机以及部分巡逻侦察机等相对飞行速度较慢的飞行器,它一般与飞机固连,成为飞机的一个组成部分。

典型的转塔式光电侦察系统有加拿大 L-3 韦斯凯(Wescam)公司生产的 MX-20 系列吊舱(见图 5)以及美国菲力尔(FLIR)公司研制的 Safire 系列吊舱(见图 6)。MX-20 是一款 90kg 级的高性能远距多传感器成像系统,红外成像分辨率有 640×512 或 1280×1024 可选,支持 4 个视场切换;可见光可提供 720P 和 1080P 两种分辨率,可连续变焦;此外还提供 30km 测距能力的激光测距器和激光照射器。该系列吊舱在美军 P-8A、HC-130H、德军 P-3C 以及部分无人机、直升机和浮空平台上均有装备。Safire 系列吊舱同样提供上述分辨率的红外及可见光相机,光学镜头可 120 倍变焦,红外窄视场为 0.25° ,宽视场为 40° ,电视摄像机窄视场为 0.25° ,宽视场为 29° ,此外还可提供近红外微光电视、短波红外成像、激光测距等功能。该系列吊舱同样在部分无人机、直升机及运输机平台上装备。

典型的吊舱式光电侦察系统有美国 MS-177 吊舱,法国泰雷兹公司的机载侦察识别系统(airborne reconnaissance observation system, AREOS)及泰勒斯英国公司研制的数字联合侦察吊舱(digital joint reconnaissance pod, DJRP)。MS-177 吊舱(见图 7)是从 DB-110 吊舱、MS-110 吊舱一路升级而来,由原美国联合技术公司(现雷神技术公司)研制,



图5 加拿大 L-3 MX-20 吊舱
Fig.5 L-3 MX-20 pod of Canada



图6 美军菲力尔 Safire 吊舱
Fig.6 FLIR Safire pod of U.S.

可提供可见光、近红外、短波红外及中波红外图像,成像焦距达到了 177in(约 4496mm),识别距离达到 80km。在短波红外及中波红外波段内还分出 6 个波段实现多光谱成像、每小时侦察覆盖面积可达 37000km^2 。泰勒斯公司的 DJRP 吊舱可提供可见光及长波红外图像,其中可见光传感器支持 6 倍光学变焦。DJRP 吊舱(见图 8)工作时光电传感器处于扫描状态,以实现广域范围的侦察。

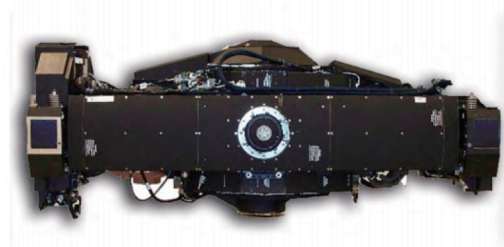


图7 美国 MS-177 系统
Fig.7 MS-177 system of U.S.



图8 泰雷兹 DJRP 吊舱
Fig.8 Thales DJRP pod

除传统的吊舱之外,近些年也有一些特殊外形的机载侦察装备。如装备在以色列“赫尔墨斯”900 型无人机(见图 9)上的“天空之眼”监视系统。将多孔径成像系统直接安装在机腹下,可在临空状态下对 80km^2 左右范围内的地面区域进行持续监视。另外,它可以在实时观察时以特定分辨率和放大率记录和显示图像,利用不同观察角和放大率,用户可以同时分别观看 10 个以上感兴趣区域,在任何时候都可以“及时回放”,以分析态势的发展。

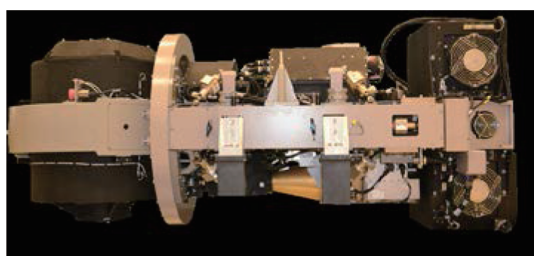


图9 装备有“天空之眼”系统的“赫尔墨斯”900型无人机

Fig.9 The “SkEye” system in Hermes-900 UAS

2.2 内装式光电侦察装备

典型的内装式光电侦察系统有原美国雷神公司研制的综合传感器系统(ISS)以及原美国柯林斯公司研制的“毕业生”电光侦察系统(SYERS),目前上述公司已经合并,组建了新的“雷神技术公司”。ISS系统主要装备在美国RQ-4“全球鹰”无人机上,包含一台 1024×1024 像素数可见光传感器和一台 640×512 中波红外传感器,对地面进行远距离、高分辨率、倾斜侦察成像,同时利用飞机的飞行运动将扫描向前递推,从而获得广阔地域内的连续图像。ISS系统的相关技术已被融合进雷神技术公司下一代“休斯”综合监视识别系统(HISAR)中。SYERS-2C系统已经应用于美国U-2侦察机中(见图10),可提供可见光、近红外、短波红外、中波



(a) SYERS-2型侦察系统



(b) SYERS-2系统在U-2侦察机上的装载示意

图10 美国SYERS-2型侦察系统及其在U-2侦察机上的装载示意

Fig.10 SYERS-2 reconnaissance system and the locad in U-2 plane

红外10个光谱波段图像,并且可对移动及静止目标进行探测、跟踪与评估。

3 机载光电侦察技术

光电侦察装备的能力形成主要依赖光电探测技术的发展。可见光和红外探测技术已经发展多年,在机载侦察领域,限制可见光和红外探测性能的主要因素是探测器的性能以及光和热在大气传播过程中的衰减,相关技术的研究资料丰富,本文不再作过多介绍。本节主要介绍多光谱探测、偏振探测和深度学习等新型技术的原理及在机载光电侦察领域的应用^[10]。

3.1 多光谱/高光谱探测技术

目前,伪装技术的发展对目标探测和识别技术提出了挑战。然而,伪装目标与真实目标的光谱图像信息之间存在着细微差异,光谱特性是物质的基本属性,不同波长的光谱反映原子或分子内能级跃迁的类型,通过分析这些光谱差别可以区分出真实目标与伪装目标之间的物质特征差异,从而实现反伪装探测。多光谱/高光谱成像是将传统光学成像技术和光谱测量技术相结合的一种新型侦察技术,其获取的信息不仅包括二维空间信息,还包含随波长分布的光谱辐射信息。我们可以通过多光谱/高光谱成像技术来分析被观测物体的光谱特征,从而探测、识别和评估表面材料,进而实现目标探测和地形分类。

常用的成像光谱波段主要有可见光波段、近红外波段、短波红外波段、中波红外波段和长波红外波段。他们分别根据目标的反射光和热辐射光来进行探测及识别,相同颜色的不同物体在可见光波段可能无法进行区分,但其热辐射水平会存在差异,据此可以实现目标识别与伪装揭露。而更精细的波段划分则能实现更强大的揭伪和识别能力,国外已研制出超过200个波段的航空多光谱相机^[11]。图11为对室外汽车进行中波多光谱成像的效果。

通过图11对室外汽车的多光谱图像可以看出,在不同光谱通道内,不同物体反射的光学强度是不同的,在装备使用中可以利用这一特点来减弱伪装网、植被等物体对目标的遮蔽效果。

3.2 偏振探测技术

偏振是光的4个基本特性之一,任何目标都存在一定的偏振特性。通常光电探测器中的图像信息主要反映视场内各物体到达探测器的光的强度差异。但实际场景中,一些雨雾或水面磷光等干扰因素也被叠加到目标的成像图上,会对目标的跟踪与识别有负面影响,甚至直接将有用的

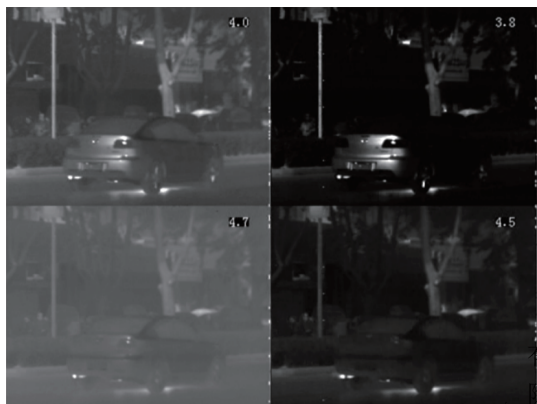


图 11 汽车多光谱图像^[12]
Fig.11 Multispectral imaging for automobile

目标信号淹没。不过,水面磷光以及雨雾等干扰信息和目标的偏振特性是不完全相同的,利用不同物体的光学偏振特征差别,可以有效地去除干扰,提升目标的信噪比^[13-14]。图 12 和图 13 分别展示利用偏振光学手段在图像去雾与发现伪装/隐蔽目标时的应用效果图。



图 12 偏振去雾
Fig.12 Polarization defogging

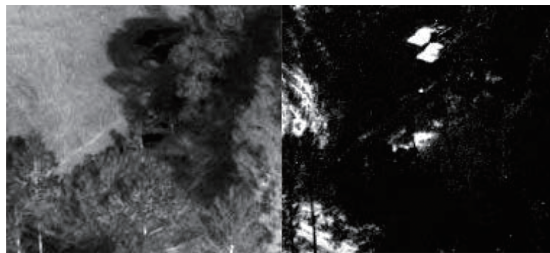


图 13 偏振发现隐蔽目标
Fig.13 Find camouflage targets through polarized light

偏振成像系统结构可分为两类:一类是有运动部件,通过旋转偏振器件等方法来滤除干扰图像,这种结构简单灵活、成本较低,不过实时性较差,对于变化场景的目标需要一定的反应和调整时间;另一类是无运动部件,如将不同方向的线偏振器件有规律地直接耦合在焦平面探测器阵列上,这种方法实时性较好,不过会牺牲一定的像素分辨率。

3.3 基于深度学习的目标识别技术

深度学习的思想来自人工神经网络,神经网络没有严格的定义,它的特点就是模仿人类大脑神经元之间传递信息的模式,是一个对接收到的信号不断迭代、不断抽象的过程。在侦察领域,深度学习方法在目标检测识别领域以其独有的精度与特征自动提取等优势,得到迅速发展并广泛普及。

目前,基于深度学习目标检测识别技术主要有二阶段(two-stage)和一阶段(one-stage)两种架构。二阶段结构的深度学习目标检测识别算法主要分为两步,首先通过显著性检测从图像中提取一系列候选框,然后通过深度卷积网络对每个候选框进行进一步的分类和回归定位以得到识别结果,其代表算法有 RCNN、Fast RCNN、Faster RCNN(结构图见图 14)等。一阶段结构的深度学习目标检测识别算法无须预先提取候选目标区域,而是将目标位置、类别和置信度以回归的方式求解,而不需要显著性检测过程,其代表算法有 SSD 系列、YOLO 系列(结构图见图 15),以及 EfficientDet 等。

对于两种架构而言,二阶段结构需要人工预先提取目标的特征,而一阶段结构是将特征提取环节也并入神经网络中,实现端到端的处理。在面对更多的目标种类,更复杂的应用场景中,一阶段效率更高,也逐渐成为深度学习的主流算法。不过一阶段发受样本的影响比较大,如果训练样本数量少或样本种类不够丰富,容易提取到非正确的目标特征,反而降低目标识别的正确率;另外一阶段法计算量比较大,训练时间长,因此在实际应用中还需根据真实应用场景选择合适的算法。

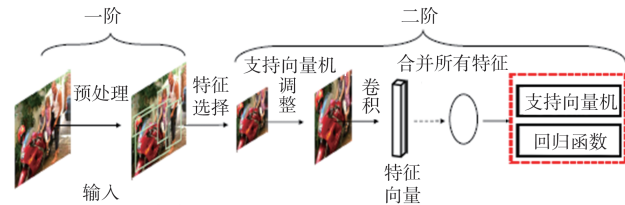


图 14 RCNN 结构图
Fig.14 Schematic diagram of RCNN

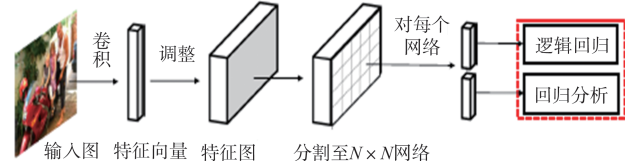


图 15 YOLO 结构图
Fig.15 Schematic diagram of YOLO

正因为深度学习技术的使用能极大地提升对目标的侦察识别效率,很多国家均对其持续投入研究。美国空军开发了一款“敏捷秃鹰”(agile condor)吊舱,集成了人工智能计算机,目前已在多型飞机上开展了试飞验证^[15-17]。

4 结束语

机载光电侦察装备在军事斗争中的重要作用,在历次现代战争中得到了证明。光电探测技术的持续发展,使光电侦察系统的能力和效率得到了持续提升,也让各型光电侦察设备得以在越来越多的航空平台上装备。

相对于机载光电预警、光电瞄准等光电探测系统,机载光电侦察设备技术主要具有探测范围广、目标种类多、工作时间久、处理数据量大等特点。因此大面阵探测器、多光谱目标探测手段、偏振图像处理手段、深度学习数据处理手段越来越广泛地在光电侦察系统中得到应用。同时,航空光电侦察能力的发挥是航空平台与侦察载荷共同作用的结果。如今,各种作战平台不断涌现,其更新换代的频率也日益加快,尤其是无人化作战平台的广泛应用,使得战场形态发生进一步转化。为适应装备的快速发展,缩短光电侦察载荷的研发周期,减少后勤压力,机载光电侦察装备要逐步走上通用化、标准化和模块化的发展道路。目前,美国已经基本实现了侦察载荷的通用化,其MS-110吊舱不仅可以挂载在多型战斗机和无人机上,其核心部件也可以作为内装载荷装备到一些侦察机及运输机上;而RQ-4“全球鹰”无人机也设计了可以调整的挂架,既能装载ISS系统,也能装载SYERS-2C系统。此外,随着光电侦察能力的提升,机载光电系统的复杂性也将提高,将带动航空电子系统的整体扩容,需要更先进的机载任务系统来支撑。

综合分析目前机载光电侦察系统发展趋势,我国机载光电侦察设备可以从以下几个方面着力:(1)提升我国大面阵探测器、高透过率光学镜片等一系列基础材料、基础器件的研发能力,进而提升侦察系统探测性能参数。(2)提高智能化程度,通过深度学习、大数据等手段提升侦察数据处理效率,快速形成情报信息,缩短战争准备时间。(3)提高通用化水平,注重开展型号统型设计和标准化工作,降低研发成本,缩短研发周期,同时可以有效地减轻保障负担。(4)提高产品集成度与功能复用性,将光电侦察与光电搜索、瞄准、跟踪等多种功能集成在一个装备中,提升单一装备的功能种类,同样有利于提升装备使用效率,减轻后勤压力。

参考文献

- [1] Usmaïl C L, Little M O, Zuber R E. Evolution of embedded processing for wide area surveillance[J]. in IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2014, 29(1): 6-13.
- [2] 袁涛,陈建发,潘枝峰,等. 光电侦察系统分辨能力研究分析[J]. 电光与控制, 2019, 26(6): 85-88,91.
Yuan Tao, Chen Jianfa, Pan Zhifeng, et al. Analysis on resolution of electro-optical reconnaissance system[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(6): 85-88,91. (in Chinese)
- [3] 沈宏海,黄猛,李嘉全,等. 国外先进航空光电载荷的进展与关键技术分析[J]. 中国光学, 2012, 5(1): 20-29.
Shen Honghai, Huang Meng, Li Jiaquan, et al. Recent progress in aerial electro-optic payloads and their key technologies[J]. Chinese Optics, 2012, 5(1): 20-29. (in Chinese)
- [4] 钟坚. 国外光电侦察告警技术的装备与发展[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(4): 30-33.
Zhong Jian. Equipment and development tendency of electro-optical warning reconnaissance technology[J]. Ship Electronic Engineering, 2008, 28(4): 30-33. (in Chinese)
- [5] 唐兴中,冷俊杰,李治权,等. 微型无人直升机的应用现状及发展趋势探析[J]. 航空科学技术, 2021, 32(1): 41-46.
Tang Xingzhong, Leng Junjie, Li Zhiquan, et al. Research on the development trend of micro unmanned helicopter[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(1): 41-46. (in Chinese)
- [6] 吴技. 国外航空侦察系统的现状与发展趋势[J]. 电视技术, 2009, 49(6): 107-112.
Wu Ji. Current status and developing trend of foreign airborne reconnaissance systems[J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(6): 107-112. (in Chinese)
- [7] 吉书鹏. 机载光电载荷装备发展与关键技术[J]. 航空兵器, 2019(6): 107-112.
Ji Shupeng. Equipment development of airborne electro-optic payload and its key technologies[J]. Aero Weaponry, 2019(6): 107-112. (in Chinese)
- [8] 李伦平,刘达. 机载光电侦察吊舱综合信息处理技术发展与分析[J]. 光学与光电技术, 2017, 15(6): 29-35.
Li Lunping, Liu Da. Development and analysis of synthetic information process technology for airborne electro-optical reconnaissance pod[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2017, 15(6): 29-35. (in Chinese)

- [9] John M W, John L M. Imagery improvements in staring infrared imagers by employing subpixel microscan[J]. Optical Engineering, 2007, 44(5): 056401.
- [10] 李江勇, 王诚. 机载红外探测系统的发展新思路[J]. 激光与红外, 2013, 43(7): 794-798.
Li Jiangyong, Wang Cheng. New thoughts on the development of airborne infrared detection system[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(7): 794-798. (in Chinese)
- [11] 邢思远. 面向新型卫星的全色与多光谱图像融合算法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2018.
Xing Siyuan. Research on panchromatic and multi-spectral image fusion method for new satellites[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2018. (in Chinese)
- [12] 兰卫华, 万敏, 王凯, 等. 中波红外多光谱成像技术研究[J]. 光电工程, 2012, 39(2): 794-798.
Lan Weihua, Wan Min, Wang Kai, et al. The study of MWIR multispectral imaging technology[J]. Opto-Electronic Engineering, 2012, 39(2): 794-798. (in Chinese)
- [13] 王晓娟, 赵宝奇, 兰卫华. 中波红外偏振成像对比试验研究[J]. 电光与控制, 2014, 21(6): 59-62.
Wang Xiaojuan, Zhao Baoqi, Lan Weihua. Contrast experiment of medium-wave and long-wave infrared polarization imaging system[J]. Electronics Optics & Control, 2014, 21(6): 59-62. (in Chinese)
- [14] 孙仲秋, 赵云升, 卢珊, 等. 偏振反射信息在植被遥感双向反射研究中的作用[J]. 遥感学报, 2018, 22(6): 947-956.
Sun Zhongqiu, Zhao Yunsheng, Lu Shan, et al. Function of polarization on the bidirectional reflectance factor of vegetation samples[J]. Journal of Remote Sensing, 2018, 22(6): 947-956. (in Chinese)
- [15] Mark B, Courtney R, Darrek I. Utilizing high-performance embedded computing, agile condor, for intelligent processing [C]//2017 SAI Intelligent Systems Conference, 2017: 1155-1159.
- [16] 王若辰. 基于深度学习的目标检测和分割算法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
Wang Ruochen. Research on image target detection and segmentation algorithm based on deep learning[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [17] 吴兆香, 欧阳权, 王志胜, 等. 基于人工智能的无人机区域侦察方法研究现状与发展[J]. 航空科学技术, 2020, 31(10): 57-68.
Wu Zhaoxiang, Ouyang Quan, Wang Zhisheng, et al. Status and development of regional reconnaissance methods of UAV based on artificial intelligence[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(10): 57-68. (in Chinese)

Analysis on the Development Status of Airborne EO-Reconnaissance Equipments

Zhang Lan¹, Zhao Xianyu², Xiong Zhongxiu²

1. Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co. Ltd., Chengdu 610091, China

2. AVIC Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, Luoyang 471000, China

Abstract: This paper introduces the development status of airborne photoelectric reconnaissance technology from three aspects: aerial reconnaissance platform, typical airborne photoelectric reconnaissance equipment and airborne photoelectric reconnaissance technology. The principle and application trend of multispectral detection, polarization detection and target recognition based on deep learning are analyzed. Finally, by analyzing the development trend of aviation platform and photoelectric detection technology, the development suggestions and requirements of airborne photoelectric reconnaissance equipment are put forward.

Key Words: reconnaissance; photoelectric detection; airborne equipments

Received: 2022-02-11; Revised: 2022-04-19; Accepted: 2022-05-15

Foundation item: China High Resolution Earth Observation System(52-L10D01-0613-20/22)