

DOI: 10.19297/j.cnki.41-1228/tj.2018.03.001

红外导引头关键技术国内外研究现状综述

马晓平, 赵良玉

(北京理工大学 宇航学院, 北京 100081)

摘 要: 红外导引头是先进精确制导武器普遍采用的目标敏感装置之一, 在简单介绍红外导引头组成及工作流程的基础上, 综述了红外导引头关键技术——红外探测技术、自动目标识别技术和图像实时处理技术的国内外研究现状及其发展趋势, 指出红外导引头向着复合化、系列化、小型化、标准化、通用化、网络化、智能化、多用途及低成本的趋势发展。

关键词: 红外导引头; 红外探测; 自动目标识别; 图像实时处理

中图分类号: TJ765.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2018)03-0003-08

0 引言

随着现代战争日趋信息化、智能化, 战场环境日益复杂化以及作战任务需求日渐多样化, 现代军事的作战理念和作战形态正悄然发生着深刻的变化, 实现低成本、高精度、超视距的目标打击成为现代军事任务的重要指标, 而精确制导武器作为典型的信息化武器已经普遍应用于关键军事目标的精确打击任务当中, 也将在未来的信息化战场上扮演着越来越重要的角色。

导引头作为精确制导武器系统的核心, 兼具自主搜索、识别与跟踪目标的复杂功能, 能够持续输入目标信息并给出制导控制指令, 确保武器系统不断地跟踪目标, 进而实现对目标的精确打击^[1]。随着光电技术的不断发展, 导引头工作的频谱范围已经广泛地覆盖了可见光、红外波段、毫米波、激光以及多谱段复合。因为红外导引头在制导精度、抗干扰性、隐蔽性和效费比等方面具有很大优势, 已经成为先进精确制导武器广泛采用的目标敏感装置之一^[2]。

20世纪50年代初期, 美国与苏联冷战期间军事装备与技术的竞争使红外导引头技术竞相推陈

出新, 而将红外导引技术最早运用于制导武器是源自1956年美国海军研制成功的第一代红外型AIM-9B“响尾蛇”空空导弹^[3-5]。经过六十多年的发展, 红外导引头已经在地空、空地、空空、地地等战术导弹武器中得到了广泛应用, 其具体的发展历程根据技术特征的不同分为以下四个方面: 在探测波段的发展上, 经历了从近红外波段探测(1~3 μm)到中远红外波段探测(3~5 μm, 8~12 μm); 在探测器类型上, 经历了从非制冷硫化铅探测器、制冷硫化铅/碲化铋探测器到制冷/非制冷焦平面成像探测器; 在探测体制上, 经历了从光机扫描到凝视焦平面探测的发展; 在探测模式上, 经历了从“点源”探测到“成像”探测的发展过程^[6-7]。

关于红外导引头的历史沿革和技术路线可参考文献[8-10], 本文在简单介绍红外导引头的功能、组成及其工作流程的基础上, 重点结合红外导引头在红外成像探测方面的关键技术, 介绍其国内外发展现状, 并对其发展趋势作出展望。

1 红外导引头的基本介绍

红外导引头是制导武器利用红外探测器连续

收稿日期: 2018-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(11532002)

作者简介: 马晓平(1993-), 男, 宁夏固原人, 硕士研究生, 主要研究方向是飞行器制导与控制。

引用格式: 马晓平, 赵良玉. 红外导引头关键技术国内外研究现状综述[J]. 航空兵器, 2018(3): 3-10.

Ma Xiaoping, Zhao Liangyu. An Overview of Infrared Seeker Key Technologies at Home and Abroad[J]. Aero Weaponry, 2018(3): 3-10. (in Chinese)

识别、捕获和跟踪目标辐射能量实现自动寻的的制导装置^[11]，与其他类型的导引头一样，红外导引头除了具备连续探测目标的红外辐射，识别、捕获和跟踪目标的功能以外，还具有隔离弹体姿态角扰动，消除弹体扰动对位标器在空间指向稳定性的影响等能力，也可以对锁定后的目标进行自动跟踪并实时输出导引规律所需要的制导信息^[12-13]。

1.1 红外导引头的基本组成

红外导引头作为精确制导武器的关键组成部分，从结构上来看，主要由光学系统、成像系统、红外探测系统、制冷器（非制冷探测体制除外）、陀螺伺服系统以及信号处理电子线路等组成，其系统结构组成如图 1 所示。其中，由光学系统、成像系统、红外探测系统、陀螺伺服系统组成的光电机械系统又称作红外位标器；电子线路舱主要由信号处理电路、控制调节器电路、信息处理机等电子线路组成^[2]。

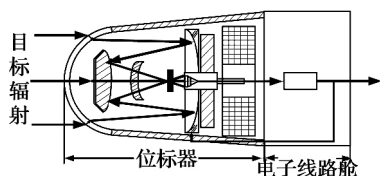


图 1 红外导引头系统结构图

Fig. 1 System components of infrared seeker

光学系统由整流罩、光学镜片和光敏元件等组成，其作用是实时接收和汇集目标辐射的红外线能量。

成像系统根据红外导引头获取信息方式的不同，其功能有很大差异。点源探测体制分为调制盘和非调制盘两种，而调制盘的作用主要是确定目标相对于导弹的位置信息并抑制目标背景的干扰，完成对探测系统所获取的目标和场景信号的分类，目标特征的提取与识别等。成像探测体制有扫描和凝视两种方式，主要是探测目标和背景之间的红外辐射的温差以及空间位置信息等，并将这些信息处理成图像信息，大大提高了红外导引头的灵敏度和热分辨率，二者最大的区别在于扫描型成像器件是一维线列分布的焦平面，而凝视型成像器件是二维平面阵列分布的焦平面。

红外探测器是红外导引头的核心，是探测、识别和分析目标物体红外信息的关键部件，其能透过烟、尘、雨、雾、阴影、树丛等障碍实现全天候探测重要的远距离军事目标，根据探测机理的不同可分为制冷型探测器和非制冷型探测器。

陀螺伺服系统由转子、内环、外环、支架和绕组线圈等组成，其作用是使对准目标的光学系统、成像系统与光敏元件等探测系统元件，不受导弹飞行过程中弹体摆动的影响而偏离目标，对探测系统光轴进行稳定，隔离导弹弹体姿态角扰动，使位标器在空间实现对目标的稳定跟踪。

电子线路系统主要集成了红外导引头信息处理系统与控制调节系统电路等（包括电压放大、滤波电路、功率放大电路），其功能是提高信息处理系统输出误差指令信号的品质并对其进行功率放大，形成跟踪目标的控制电流，同时反馈控制调节器对导引头控制回路进行校正，以此满足系统的总体任务要求。

1.2 红外导引头的分类

经过几十年的不断发展与广泛使用，红外导引头的在装备应用方面具有丰富的类型，按照其获取信息的方式、功能、工作波段以及工作模式的不同可以分为以下几种，如图 2 所示。

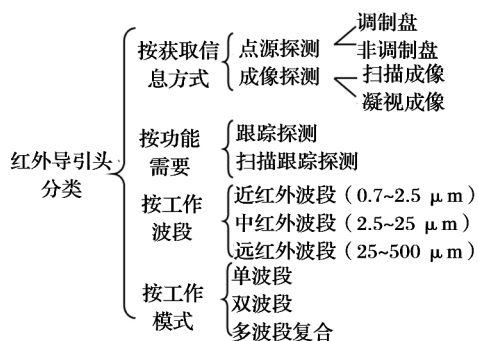


图 2 红外导引头的分类

Fig. 2 Classification of infrared seekers

1.3 红外导引头的工作流程

红外导引头系统的工作信息流程如图 3 所示。来自目标的红外辐射穿过大气透过整流罩，红外导引头的光学系统接收到目标的红外辐射，由成像系统将其聚焦于探测器的光敏面上，再由红外探测器通过光电转换将光信号转换成易处理的电信号，经电子线路进行信号的滤波、放大，检测出目标位置误差信息，或者由成像电路系统读出图像信号，经过非均匀校正和图像预处理后得到原始红外图像，然后将该信号传输至陀螺伺服系统

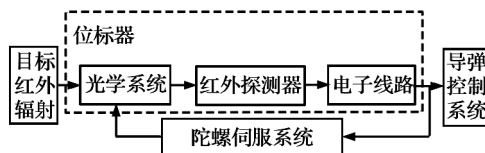


图 3 红外导引头的工作流程图

Fig. 3 Workflow of infrared seekers

带动光学系统进动,使光轴向着目标位置方向运动,构成导引系统的角跟踪回路,实现导引系统对目标的不间断跟踪,形成制导控制系统所需要的导引信号输入到自动驾驶仪,形成控制指令并操纵导弹飞向目标^[2,14]。简言之,红外导引头就是红外制导武器的“眼睛”,其主要任务是截获目标,进而实现武器系统对目标的识别、跟踪与打击。

2 红外导引头的关键技术

近年来,随着以机器学习为基础的图像识别、目标跟踪等人工智能技术以及光电子技术、计算机技术和网络信息技术的深入发展,红外导引头在成像制导方面得到很大的提升,为了更好地适应未来信息化电子战环境,这就要求红外导引头具备更强的红外探测能力、更快的图像实时处理速度和更敏锐的电子感知能力。其中,红外成像探测技术、自动目标识别技术、图像实时处理技术等均是现阶段各个国家围绕提高制导武器系统智能化水平和抗干扰能力的重点发展方向,也是影响红外导引头系统制导精度的关键技术,对这些关键技术的国内外研究现状进行系统梳理无疑具有重要的意义。

2.1 红外探测技术

红外探测技术主要分为红外成像探测技术和红外非成像探测技术,虽然红外非成像探测技术经历了漫长的发展历程,而且技术已经相对成熟,但是由于红外成像探测技术具备抗干扰能力更强、目标识别精确度更高、可靠性更高等优势,已然成为现代红外制导武器更受青睐的关键技术之一。

不同于扫描成像依赖探测元件和扫描镜头对目标地物进行基于线列的瞬时视场取样扫描,以凝视红外成像探测技术为典型代表的红外成像探测技术采用大规模探测单元和凝视工作方式,能够连续累积目标辐射能量,此外,受制于现代先进导弹武器小弹径、大跟踪场等条件的限制,其探测组件一般体积较小、重量较轻,在目标响应上又兼具图像分辨率高、灵敏度高、信息更新率高等诸多优点,适于对高速机动小目标、无人机蜂群编队、复杂地物背景中的运动目标或隐蔽目标成像。由于省去了传统扫描成像方式中的复杂光学系统和扫描部件,集成化程度高,不仅易于满足弹载要求,而且能推动精确制导武器向轻小型化方向发展^[15]。

目前,凝视红外成像技术已在精确制导武器中得到广泛应用,如图4所示的美国第四代 AIM -

9X“响尾蛇”空空导弹采用 128×128 元锑镉汞凝视焦平面成像红外导引头,采用内部制冷装置对光敏元件进行冷却,导引头具有 180° 的跟踪视场,其目标截获距离在蓝天背景下为 $13 \sim 16$ km,具有超视距、多目标选择瞄准和全向跟踪能力;此外,如图5所示的英国先进近距空空导弹(ASRAAM)也采用了 128×128 元制冷凝视焦平面成像红外导引头^[16-18],具有多目标跟踪和全向跟踪能力;如图6所示的以色列空空导弹“怪蛇”5采用了双波段焦平面阵列红外导引头和先进的制导算法,具备发射后截获和全向攻击能力,并具有极强的抗干扰能力,是目前最先进的近距空空导弹之一^[19]。



图4 美国“响尾蛇”AIM-9X 空空导弹

Fig. 4 AIM-9X air-to-air missile



图5 英国先进近距空空导弹(ASRAAM)

Fig. 5 Advanced short-range air-to-air missile



图6 以色列“怪蛇”5空空导弹(ASRAAM)

Fig. 6 Python 5 air-to-air missile

事实上,随着飞机隐身性能的不断提高以及新型红外干扰技术的日益发展,红外成像探测技术所面临的目标信息、环境状态和任务使命均发生了深刻的变化。换言之,随着目标信息处理维度的增加,红外成像探测系统对目标检测与跟踪的信号空间已经由早期点源探测体制(调制盘、交叉、玫瑰扫)的时域一维检测发展到二维空域检测、时空域三维检测、时域三维跟踪后检测。随着这种趋势的深入发展,基于大视场和高分辨率的大规格、小尺寸探测元的红外焦平面探测器需要具备更加智能的焦平面阵列的全数字化信息处理能力,有效降低数据压缩、特征提取以及数据链传输的复杂性将成为红外成像探测技术未来发展的关键所在;与此同时,结合先进信号处理和信息融合算法的多色焦平面阵列计算成像技术的广泛应

用,有助于新型机载平台的“共形成像”和“超光谱成像”大幅提高目标探测和识别的能力。此外,目标分类识别的信号空间也已经由传统的波形特征识别、二维成像识别,进一步向基于空间几何特征、多光谱特征、偏振特征等构成的多维空间综合识别方向发展^[20-21]。因此,采用高空间分辨率成像、多光谱成像、偏振成像、多体制成像的高灵敏度多元探测器红外成像技术,发展双波段/多波段复合、自适应红外焦平面阵列,以此提高红外导引头全向作用能力和抗干扰能力仍然是目前以及未来一段时间内红外成像制导技术的研究热点,而此技术发展的关键还在于有效整合红外导引头整流罩材料的“全向探测”能力和“全波段”透过能力^[11]、系统融合多光谱/全波段复合成像技术等一系列复杂问题。

随着军用光电技术的迅猛发展和微电子元器件以及微计算机技术在制导武器的成功应用,使得以扫描成像探测技术、凝视红外成像技术、双色成像探测技术、多光谱成像探测技术在内的红外探测技术迎来了更广阔的发展空间。

2.2 自动目标识别技术

自动目标识别技术(ATR)指精确制导武器对目标的自动检测、识别与精确跟踪,实现导弹武器发射后即可自动完成寻的任务,也是精确制导武器所面临的巨大瓶颈技术之一。其发展历程始终伴随着目标识别与跟踪算法的不断进步与提高^[22],主要经过了从统计模式识别到基于视觉的知识模式以提高自动目标识别系统的自适应能力和学习能力的发展历程。基于此背景,包含了人工神经网络、支持向量机及深度学习算法的自动目标识别技术始终朝着智能化水平的方向发展,但由于自动目标识别系统所面临的情境信息(上下文信息)、辅助情境信息(地图数据、季节/气候情报信息等)、语义信息等始终在变化,战场环境的复杂化和目标特性的不确定性等问题成为阻碍自动目标识别系统与技术发展的巨大挑战^[23-24]。

受红外导引头系统中红外成像传感器和信息处理机等硬件条件的约束,自动目标识别相关算法的开发以及系统测试在 20 世纪 80 年代的发展陷入迟滞,但人工神经网络的再次兴起,为自动目标识别算法提供了人工神经网络固有的直觉学习能力。自动目标识别技术要求系统能充分地描述目标和背景之间的微小差异,需要对目标特性以及环境变化具备强鲁棒的识别方法,而神经网络在组合计算方面所具备的巨大优势,可以有效实

现对数据计算视觉和多传感器融合方法的快速优化。然而,由于自动目标识别技术的复杂性,现阶段将人工神经网络用于自动目标识别领域的主要问题还在于有限样本情况下并不能对目标的所有状态和各种背景条件下的目标识别给出人们所期望的性能^[25],因此大量的数据采集和大数据分析手段也将成为该领域不容忽视的主要技术手段。

支持向量机技术(SVM)是一种基于统计学习理论(STL)的机器学习算法,主要用于研究有限样本情况下的数据分析和模式识别问题,区别于传统的统计模式识别方法强调经验风险最小化导致“过学习问题”,支持向量机技术具有在解决复杂问题时无需付出庞大计算代价的优势,可以有效规避人工神经网络中的“维数灾难”和贝叶斯网络中“网络规模爆炸问题”,具备很好的推广能力(指学习模型对未来输出进行正确预测的能力),成为模式识别和机器学习领域的研究热点^[26-27]。支持向量机的主要特点是具有模块化结构,通过选择不同的函数和优化方法完成不同的任务,克服了人工神经网络中易出现的局部最优解问题,适于解决小样本、非线性、高维模式问题。目前,支持向量机作为自动目标识别的一种关键技术,不仅广泛运用于军事上飞机舰船等目标的识别,也普遍在深空探测领域中外天体的地形地貌探测、无人驾驶车辆地面目标识别^[28]、医学无创血糖监测^[29]等多个领域得到应用。

深度学习始于人工神经网络(ANN),是一种对深层人工神经网络进行有效训练的方法,Hinton^[30]等人提出的基于深度置信网络的非监督贪心训练算法是其诞生的标志^[31]。此后,深层玻尔兹曼机、和积网络等新型深层网络结构的出现使深度学习技术步入了高速发展阶段^[32-33]。其中,由于深层人工神经网络——深度卷积神经网络(DCNN)在图像分类与识别应用中的优异性,可以很好地实现对目标特征的自动提取和对红外图像的自动目标识别与分类,例如美国 deepmind 团队已经通过深度神经网络完全实现了超越人类先验知识局限性的机器自主监督强化学习,不仅让 AlphaGo 与人类选手在围棋大战中取得了压倒性的胜利,而且让之后的去人工特征 AlphaGo Zero 完全通过自主学习进一步实现了对 AlphaGo 的历史性超越^[34],由此赋予了机器完全自主学习和创新的能力。目前,基于深度学习的自动目标识别技术仍然面临着红外目标图像的数据源有限以及多目标识别红外图像的复杂多变性问题,而这些问题在未

来一段时期内也将成为制约红外图像自动目标识别技术实现突破的障碍,但可以预见的是,深度学习在自动目标识别领域将具有广泛的应用前景。

为了科学有效地进一步实现自动目标识别,可以从自动目标识别技术的多学科融合性、数据的充分性与有效性、加强系统化设计、强化需求分析和可实现分析几个方面改变研究思路,解决单一技术途径难以解决的自动目标识别难题,为红外导引头的智能化发展提供良好的技术支撑,有利于先进精确制导武器实现精确打击目标、智能化攻击目标,进而对提高发射平台的生存能力具有重要意义。

2.3 图像实时处理技术

图像实时处理技术的作用是对来自红外成像探测系统的视频信号进行分析与甄别,并排除混杂在目标信号中的背景噪声和红外诱饵干扰,提取真实的目标信号,进而计算目标位置和命中点。一般包括红外图像预处理、红外图像实时检测、目标图像实时跟踪三类关键技术^[35]。

红外图像的预处理是为了削弱探测到的红外图像噪声和抑制背景,由于背景杂波对目标检测造成严重的干扰,所以需要着力研究红外图像的背景及噪声抑制技术,主要包括时间域图像预处理方法、变换域图像预处理方法和空间域图像预处理方法。其中,目前较为普遍的背景抑制算法有基于时间的高阶差分方法、帧间非线性滤波算法、高通滤波截止频率自适应算法、对偶树复小波变换分解多尺度算法、二维离散小波变换多尺度算法、中值滤波算法、顶帽变换算法、自适应引导滤波算法等^[36-37]。

红外图像实时检测是指通过红外图像的预处理之后进行图像的检测和甄别,从而保证后续的目标图像可靠跟踪。红外图像实时检测方法一般分为单帧检测和多帧检测两种形式^[35]。单帧检测方法仅依据目标和背景的灰度差异进行目标检测,没有帧间信息的关联,便于硬件实现,执行效率高;复杂背景下的红外图像多采用帧间检测方法,一般根据目标和背景的温度、形状、灰度以及运动特征进行检测,检测精度高于单帧检测,不易导致高漏检率和虚警率。其中,多帧检测方法包括跟踪前检测算法和检测前跟踪算法两类。目前较为普遍的跟踪前检测算法有最大间类方差法、最大熵估计法、基于邻域反向相位特征检测算法、遗传算法、神经模糊算法以及图像局部熵法等;检测前跟踪算法包括三维匹配滤波算法、图像流法以及动

态规划法等^[38-40]。

目标图像实时跟踪是红外导引头图像实时处理的关键技术之一,由于非线性理论的重大突破以及计算机计算能力的显著提升,现阶段实现目标跟踪的主要算法已经不仅仅局限于传统意义上的模板匹配、光流法和卡尔曼滤波方法,交互式多模型粒子滤波算法、无迹粒子滤波等^[41-43]算法可以获取更高的精度,但仍亟待解决的是算法运算量和存储空间的需求增加,造成实时跟踪上的困难,粒子退化问题也需得到重视。

红外导引头系统的发展始终离不开图像实时处理技术、红外探测技术与自动目标识别技术的发展,虽然红外探测技术的发展是红外导引头系统发展的重要标志,但只有在红外光学技术、自动目标识别技术等其他技术相应取得均衡有效发展的基础上,红外导引头方可迎来迅速的进步与长足的发展。为了保证红外成像导引头目标跟踪精度的可靠性和跟踪目标的实时性,发展出具备较低运算量的弹载计算机软硬件系统,也有利于促进红外成像导引头图像实时处理技术的深入发展。

3 结 束 语

信息时代的到来已经从根本上改变了传统意义上的战争思维和形态,信息时代孕育出的云计算、物联网、大数据等新技术以及新一代人工智能技术也已经广泛应用于军事领域,用于精确打击目标的制导武器也逐步摆脱了传统的制导模式,“发射后不管”的智能化模式将进一步提高制导武器系统的抗电磁干扰能力和制导精度,在海陆空天一体化作战的背景下,尽管红外导引头多项关键技术均取得了长足的发展进步,但采取单一红外制导模式的制导武器系统已经难以满足复杂多变的战场环境和战术任务需求,多光谱/多波段光学成像制导、多模复合制导^[44]、多弹协同制导^[45]等技术将成为未来精确制导武器最为理想的选择。与此同时,防御武器系统也将面临更大的威胁与挑战,因此要更加注重防御系统的全方位保护和分层、分段、分目标拦截,在新型制导武器装备攻防的相互较量中,红外导引头正向着复合化、系列化、小型化、标准化、通用化、网络化、智能化、多用途、低成本的方向发展,逐步实现一个平台多种型号或者一种型号多个平台的跨型号、跨平台的装备使用。

参考文献:

- [1] 汤永涛,林鸿生,陈春. 现代导弹导引头发展综述[J]. 制导与引信, 2014, 35(1): 12-17.
Tang Yongtao, Lin Hongsheng, Chen Chun. The Development and Summary of Modern Missile Seeker[J]. Guidance & Fuze, 2014, 35(1): 12-17. (in Chinese)
- [2] 赵善彪,张天孝,李晓钟. 红外导引头综述[J]. 飞航导弹, 2006(8): 42-45.
Zhao Shanbiao, Zhang Tianxiao, Li Xiaozhong. Review of Infrared Seeker[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2006(8): 42-45. (in Chinese)
- [3] 樊会涛,崔颢,天光. 空空导弹 70 年发展综述[J]. 航空兵器, 2016(1): 3-12.
Fan Huitao, Cui Hao, Tian Guang. A Review on the 70-Year Development of Air-to-Air Missiles[J]. Aero Weaponry, 2016(1): 3-12. (in Chinese)
- [4] 赵鸿燕. AIM-9X Block II 空空导弹研制进展[J]. 飞航导弹, 2014(3): 22-26.
Zhao Hongyan. The Research Progress of AIM-9X Block II Air-to-Air Missile[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2014(3): 22-26. (in Chinese)
- [5] AIM-9X Air-to-Air Missile Upgrade Navy Programs [R]. DOT&E Annual Report, 2015.
- [6] 贾林通,童中翔,王超哲,等. AIM-9X 红外成像制导导弹的发展综述与启示[J]. 飞航导弹, 2015(12): 20-24.
Jia Lintong, Tong Zhongxiang, Wang Chaozhe, et al. Review of the Development of AIM-9X Infrared Imaging Guided Missiles[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2015(12): 20-24. (in Chinese)
- [7] 刘珂,陈宝国,李丽娟. 空空导弹红外导引头技术发展趋势及关键技术[J]. 激光与红外, 2011(10): 1117-1121.
Liu Ke, Chen Baoguo, Li Lijuan. Development Analysis of Air-to-Air Missile in Infrared Guidance[J]. Laser & Infrared, 2011(10): 1117-1121. (in Chinese)
- [8] 付联效. 光学制导技术发展综述[C]//红外、遥感技术与应用研讨会,上海,2015.
Fu Lianxiao. Development Summarize of Optical Guidance Technology[C]//The Symposium on Infrared and Remote Sensing Technology and Application, Shanghai, 2015. (in Chinese)
- [9] 徐春夷. 国外导引头技术现状及发展趋势[J]. 制导与引信, 2012, 33(2): 11-15.
Xu Chunyi. The Present State and Development Trend of Foreign Seeker Technology[J]. Guidance & Fuze, 2012, 33(2): 11-15. (in Chinese)
- [10] 张肇蓉,高贺,张曦,等. 国外红外制导空空导弹的研究现状及其关键技术[J]. 飞航导弹, 2016(3): 23-27.
Zhang Zhaorong, Gao He, Zhang Xi, et al. The Present State and Key Technology of Foreign Infrared Guidance Air-to-Air Missile[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2016(3): 23-27. (in Chinese)
- [11] 葛致磊,王红梅,王佩,等. 导弹导引头系统原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 35-55.
Ge Zhilei, Wang Hongmei, Wang Pei, et al. Principle of Missile Seeker System[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 35-55. (in Chinese)
- [12] 刘珂,李丽娟. 空空导弹与红外导引系统发展评述[J]. 激光与红外, 2016(1): 5-10.
Liu Ke, Li Lijuan. Development Analysis of Air-to-Air Missile and Infrared Guidance[J]. Laser & Infrared, 2016(1): 5-10. (in Chinese)
- [13] 李丽娟,刘珂. 空空导弹红外成像探测技术发展分析[J]. 红外技术, 2017, 39(1): 1-7.
Li Lijuan, Liu Ke. Analysis of Air-to-Air Missile IR Image Detecting Technology Development[J]. Infrared Technology, 2017, 39(1): 1-7. (in Chinese)
- [14] 曹如增. 典型抗干扰红外导引头工作机理及抗干扰性分析[J]. 航天电子对抗, 2005(1): 35-37.
Cao Ruzeng. Analysis of Typical Anti-Jamming Infrared Seeker Working Mechanism and Anti-Jamming[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2005(1): 35-37. (in Chinese)
- [15] 范金荣. 精确制导武器的发展趋势[J]. 现代军事, 2000(7): 33-35.
Fan Jinrong. The Development Trend of Precision Guided Weapons[J]. Conmilit, 2000(7): 33-35. (in Chinese)
- [16] 任淼,文琳,王秀萍. 2016 年国外空空导弹发展动态研究[J]. 航空兵器, 2017(1): 10-17.
Ren Miao, Wen Lin, Wang Xiuping. Study on the Development of Foreign Air-to-Air Missiles in 2016[J]. Aero Weaponry, 2017(1): 10-17. (in Chinese)
- [17] 王为奎,田戎,吴华,等. 国外红外导弹导引系统发展与特点[J]. 飞航导弹, 2017(11): 33-37.
Wang Weikui, Tian Rong, Wu Hua, et al. Development and Characteristics of Foreign Infrared Missile Guidance System[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2017(11): 33-37. (in Chinese)
- [18] 任淼,刘晶晶,赵鸿燕,等. 2015 年国外空空导弹发展动态研究[J]. 航空兵器, 2016(2): 9-16.
Ren Miao, Liu Jingjing, Zhao Hongyan, et al. Study on the Development of Foreign Air-to-Air Missiles in 2015[J]. Aero Weaponry, 2016(2): 9-16. (in Chinese)
- [19] 吕洁,罗勇,卿松,等. 红外制导技术在空空导弹中

- 的应用分析[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(12): 70-74.
- Lü Jie, Luo Yong, Qing Song, et al. Application Analysis of Infrared Guidance Technology in Air-to-Air Missile [J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017, 38(12): 70-74. (in Chinese)
- [20] 高晓冬, 王枫, 范晋祥. 精确制导系统面临的挑战与对策[J]. 战术导弹技术, 2017(6): 62-69.
- Gao Xiaodong, Wang Feng, Fan Jinxiang. The Challenge and Development Paths for Precision Guidance System [J]. Tactical Missile Technology, 2017(6): 62-69. (in Chinese)
- [21] 范晋祥, 杨建宇. 红外成像探测技术发展趋势分析[J]. 红外与激光工程, 2012(12): 3145-3153.
- Fan Jinxiang, Yang Jianyu. Development Trends of Infrared Imaging Detecting Technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012(12): 3145-3153. (in Chinese)
- [22] 杨卫平, 沈振康. 红外成像导引头及其发展趋势[J]. 激光与红外, 2007(11): 29-37.
- Yang Weiping, Shen Zhenkang. Infrared Image Seeker Technique and Its Development Trend [J]. Laser & Infrared, 2007(11): 29-37. (in Chinese)
- [23] 范晋祥. 对红外成像自动目标识别智能化发展的思考[C]//上海市红外与遥感学会、云南省光学学会, 2017: 12.
- Fan Jinxiang. Reflections on the Intelligent Development of Automatic Target Recognition in Infrared Imaging [C]// Shanghai Society of Infrared and Remote Sensing, Yunnan Optical Society, 2017: 12. (in Chinese)
- [24] 李尚生, 李炜杰, 付哲泉, 等. 从作战使用和技术改进看精确制导技术发展[J]. 飞航导弹, 2017(3): 74-77.
- Li Shangsheng, Li Weijie, Fu Zhequan, et al. The Development of Precision Guidance Technology from the Perspective of Operational Use and Technical Improvement [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2017(3): 74-77. (in Chinese)
- [25] Schachter B J. Automatic Target Recognition [M]. 2nd ed. SPIE Press, 2017.
- [26] 李瑞东, 孙协昌, 李勣. 空间目标红外特征提取与识别技术[J]. 红外技术, 2017, 39(5): 427-435.
- Li Ruidong, Sun Xiechang, Li Meng. Infrared Feature Extraction and Recognition Technology of Space Target [J]. Infrared Technology, 2017, 39(5): 427-435. (in Chinese)
- [27] 张迪飞, 张金锁, 姚克明, 等. 基于SVM分类的红外舰船目标识别[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(1): 179-184.
- Zhang Difei, Zhang Jinsuo, Yao Keming, et al. Infrared Ship-Target Recognition Based on SVM Classification [J]. Infrared and Laser Engineering, 2016, 45(1): 179-184. (in Chinese)
- [28] 刘禹希. 基于机器视觉的智能驾驶车辆的目标识别研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 22-32.
- Liu Yuxi. Research on Target Recognition of Intelligence Driving Vehicle Based on Machine Vision [D]. Changchun: Jilin University, 2017: 22-32. (in Chinese)
- [29] 张晓霞. 基于支持向量机的无创血糖检测电极影响研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2017: 15-20.
- Zhang Xiaoxia. The Study on Non-Invasive Glucose Test Influence by Electrode Based on the Support Vector Machine [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017: 15-20. (in Chinese)
- [30] Hinton G E, Osindero S, Teh Y W. A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets [J]. Neural Computation, 2006, 18(7): 1527-1554.
- [31] 许强, 李伟, Loubi P. 深度卷积神经网络在 SAR 自动目标识别领域的应用综述[J]. 电讯技术, 2018, 58(1): 106-112.
- Xu Qiang, Li Wei, Loubi P. Application of Deep Convolutional Neural Network in SAR Automatic Target Recognition: A Summarization [J]. Telecommunication Engineering, 2018, 58(1): 106-112. (in Chinese)
- [32] Salakhutdinov R, Hinton G. Deep Boltzmann Machines [C]// Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2009 Clearwater Beach, Florida, USA, 2009: 448-455.
- [33] Poon H, Domingos P. Sum-Product Networks: A New Deep Architecture [C]// Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), Barcelona, 2011: 689-697.
- [34] Silver D, Schrittwieser J, Simonyan K, et al. Mastering the Game of Go without Human Knowledge [J]. Nature, 2017, 550: 354-359.
- [35] 孙慧婷. 红外弱小多目标实时处理[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2017: 11-18.
- Sun Huiting. Infrared Small Dim Multi-Targets Real-Time Processing [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2017: 11-18. (in Chinese)
- [36] 汪大宝. 复杂背景下的红外弱小目标检测与跟踪技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010: 13-51.
- Wang Dabao. Research on Infrared Weak Small Targets Detection and Tracking Technology under Complex Backgrounds [D]. Xi'an: Xidian University, 2010: 13-51. (in Chinese)
- [37] 侯洁, 辛云宏. 基于高通滤波和图像增强的红外小目标检测方法[J]. 红外技术, 2013, 35(5): 279-284.
- Hou Jie, Xin Yunhong. A Method for Infrared Small Tar-

- get Detection with High-Pass Filter and Image Enhancement Technology [J]. *Infrared Technology*, 2013, 35 (5): 279–284. (in Chinese)
- [38] 黄成, 王红梅. 干扰条件下的红外目标检测方法研究[J]. *航空兵器*, 2017(5): 31–36.
Huang Cheng, Wang Hongmei. Research on Infrared Target Detection Method under Jamming Condition [J]. *Aero Weaponry*, 2017(5): 31–36. (in Chinese)
- [39] Chen C L P, Li H, Wei Y, et al. A Local Contrast Method for Small Infrared Target Detection [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 52(1): 574–581.
- [40] Cheng M M, Zhang G X, Mitra N J, et al. Global Contrast Based Salient Region Detection [C] // *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2011: 409–416.
- [41] 毕艳军, 李雪霞, 李凌雁. 径向基神经网络实现红外目标检测[J]. *舰船科学技术*, 2016(16): 118–120.
Bi Yanjun, Li Xuexia, Li Lingyan. Infrared Target Detection Based on Radial Basis Function Neural Network [J]. *Ship Science and Technology*, 2016(16): 118–120. (in Chinese)
- [42] 王玲玲, 辛云宏. 基于形态学与遗传粒子滤波器的红外小目标检测与跟踪算法[J]. *光子学报*, 2013(7): 849–856.
- Wang Lingling, Xin Yunhong. A Small IR Detection and Tracking Algorithm Based on Morphological and Genetic-Particle Filter [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013(7): 849–856. (in Chinese)
- [43] 张福俊, 郝润平, 张艳宁. 改进分形法结合局部熵的红外小目标检测方法[J]. *中国体视学与图像分析*, 2014(1): 17–22.
Zhang Fujun, Xi Runping, Zhang Yanning. Infrared Small Target Detection by Improved Fractal and Local Entropy [J]. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 2014(1): 17–22. (in Chinese)
- [44] 李炯, 张涛, 张朋飞, 等. 反导/反临拦截弹多模导引头关键技术浅析[J]. *航空兵器*, 2018(1): 8–14.
Li Jiong, Zhang Tao, Zhang Pengfei, et al. Analysis of Key Techniques of Multi-Mode Seeker for Anti-Missile/Anti-Near-Space Vehicle Interceptor [J]. *Aero Weaponry*, 2018(1): 8–14. (in Chinese)
- [45] 杨剑影, 周佳玲, 魏小倩. 多导弹攻击高机动目标的分布式协同制导关键技术[J]. *航空兵器*, 2017(3): 3–12.
Yang Jianying, Zhou Jialing, Wei Xiaoqian. Key Technologies of Distributed Cooperative Guidance and Control Method for Multiple Missiles Attacking the Maneuvering Target [J]. *Aero Weaponry*, 2017(3): 3–12. (in Chinese)

An Overview of Infrared Seeker Key Technologies at Home and Abroad

Ma Xiaoping, Zhao Liangyu

(School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The infrared seeker is one of the target sensitive devices which is commonly used on advanced precision guided weapons. Based on a brief introduction to the components and workflow of infrared seeker, the state-of-art and development tendency of infrared seeker key technologies are reviewed, including infrared detecting technology, automatic target recognition and real-time image processing technology. It is pointed out that infrared seeker is developing towards the trend of compounding, serialization, miniaturization, standardization, generalization, networking, intelligentize, multi-purpose and low-cost.

Key words: infrared seeker; infrared detecting; automatic target recognition; real-time image processing