

· 红外技术 ·

红外搜索与跟踪系统发展综述

石永山¹, 张尊伟²

(1. 海军驻锦州地区军事代表室, 辽宁 锦州 121000; 2. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

摘要: 首先指出了红外搜索与跟踪(IRST)系统的优势和在军事应用中的重要性, 介绍了红外搜索跟踪系统的发展历程, 对比了多种IRST系统的性能及其特点, 分析了IRST系统的关键技术并对系统的发展趋势进行了展望。

关键词: IRST系统; 红外探测器; 图像处理

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)04-0011-04

Development of Infrared Search and Track System

SHI Yong-shan¹, ZHANG Zun-wei²

(1. Military Representative Office of Navy in Jinzhou, Jinzhou 121000, China;

2. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: The advantages and the importance in military application of infrared search and track (IRST) system are proposed at first. And then, the development process of IRST system is introduced. The performances and characteristics of some IRST systems are compared. The key technologies of IRST system are analyzed. Finally, the development of IRST system is forecasted.

Key words: infrared search and track (IRST) system; infrared detector; image processing

红外技术的发展, 各种红外武器系统的出现, 使得在诸多的武器装备中, 多了一项迎接这个挑战的手段。红外搜索跟踪系统就是其中重要的一种, 由于它具有被动式的工作方式, 有较强的抗电子干扰的能力, 能够在雷达使用效率比较低的区域, 即沿地平线几度范围内, 探测和跟踪空中和地面的威胁目标, 因此, 它可以弥补常规雷达四抗(抗反辐射导弹、抗电子战、抗低空超低空突防、抗隐身目标)能力不足的缺点。红外搜索跟踪系统与雷达系统的互补性而形成装备的“光电结合”, 还可以发挥多传感器数据融合的有利条件, 凭借其数据的冗余性, 增加对目标跟踪分类和识别能力, 使探测变得更加可靠。

由于红外搜索跟踪系统在现代战争中具有重

要的应用价值^[1-2], 因此国外军事大国对此十分重视, 一直投入大量的人力物力, 竞相研究和发发展该项装备。如各种型号的空军机载红外告警系统, 海军机载红外搜索与跟踪系统, 海军舰载红外搜索与跟踪系统, 地基红外搜索与跟踪系统等。

1 红外搜索跟踪系统发展历史

第一代红外搜索跟踪系统(IRST)的发展始于20世纪70年代, 大多采用扫描红外探测器的系统, 典型的系统如法国电信有限公司的DIBV-1A“旺皮尔”和荷兰信号公司的“伊尔斯坎”系统。然而由于第一代IRST系统过于笨重且系统的虚警率大、稳定性不够, 在有雾或高湿度环境下系统的探测距离会

收稿日期: 2016-08-11

作者简介: 石永山(1969-), 男, 本科, 主要研究方向为光电技术与质量监督; 张尊伟(1973-), 男, 本科, 主要研究方向为光电技术与治理管理。

严重下降,它们的最大距离也相对有限,而且尺寸非常大、质量重。结果第一代海军红外搜索跟踪系统直到1980年代中期才投入部队使用。它们很难满足军方的作战需求。

第二代红外搜索和跟踪系统。进入90年代以后,随着红外焦平面阵列探测器件、信号处理机和算法软件等都取得了突破性进展,从而为研制第二代舰载红外搜索和跟踪系统提供了可靠的技术保证。法国和荷兰根据研制第一代系统的经验,研制出第二代IRST系统。

发展的典型系统有:“旺皮尔”(VAMPIR)红外搜索跟踪系统。法国研制其MB型用于航空母舰和驱逐舰。“旺皮尔”MB型工作波段为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$;双波段探测头共用一个光学通道,减轻了光学系统的质量,同时系统广泛采用先进的红外探测器、信号处理器和图像处理算法,使得其具有小型化和高效能的特点,而被海军广泛应用。

IRSCAN红外搜索跟踪系统,荷兰研制用于驱逐舰。其扫描头质量约75 kg,转速78转/分钟,俯仰视场 14.6° ,方位覆盖范围 360° ,采用1 024元焦平面阵列探测器。工作波段为 $8\sim 14\ \mu\text{m}$;对飞机探测距离大于15 km。

AN/SAR-8改进型红外搜索与跟踪系统,美国和加拿大联合研制,用于补充舰载雷达警戒系统功能,探测掠海飞行导弹。其技术性能是:扫描头质量约180 kg,视场方位角 360° ,俯仰角 20° ;工作波段为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$;探测距离大于30 km。

进入2000年之后,随着超大规模红外焦平面探测器阵列产品的出现、双色和多色探测器的发展。这些探测器规模和性能的提高极大地推动了IRST系统从第二代进入第三代IRST^[3-6],系统的性能得到了全面的提升。

典型的第三代IRST系统。以色列Rafael公司于2006年推出的海上观察者(sea spotter)IRST系统。采用2个中波凝视红外探测器,自动识别从海面到天顶的慢速至超音速以及极小的目标。运用图像处理算法来分析目标运动并确定探测到的是否是敌方目标。据拉法尔公司称,“海上观察者”能把虚警率降低到每24 h一次。跟上一代IRST系统相比,系统的虚警率大大降低。

VAMPIR NG IRST系统是法国Sagem防务安全公司为探测海上威胁而设计。VAMPIR NG为全景监

视系统,具有极远程红外搜索和跟踪能力以及远程识别能力,该系统使用一个高分辨率制冷型 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 中波面阵焦平面连续扫描成像覆盖全景。采用了最先进的图像处理技术和第三代陀螺稳定红外传感器,系统能够获得最大效能,具有效费比高、探测距离长、能快速捕获来袭目标等特点。能提供高分辨率的全景图像,其监视和预警功能可以增强舰艇自身防御能力。系统还可以辅助直升机降落和控制登陆舰艇动作。图1为该示意图。



图1 VAMPIR NG红外搜索与跟踪系统

法国Thales Optronique SA公司的“月亮女神”ARTEMIS IRST系统,ARTEMIS系统是现役装备的第一台分布式凝视全方位IRST系统,具有全景以及宽仰角覆盖探测能力,可同时探测和跟踪空中和海面目标。ARTEMIS系统使用中波大规模红外焦平面阵列,由3个红外传感器头合在一起覆盖方位 360° ,仰角覆盖 25° ,更新频率10 Hz。传感器单元集成在舰上桅杆的顶部。

2 IRST系统关键技术及解决途径

2.1 全方位大覆盖体制的研究

360° 全方位覆盖范围包括需要全景观察且无观察盲区,以及具有大高低角覆盖。为了实现这一目的,现有的IRST系统分3种方法实现^[7]。

(1)长阵列的红外焦平面阵列扫描加时间延迟积分(TDI)体制

目前装备的第二代红外搜索跟踪系统多采用此体制,在旋转传感器扫过每个位置时,对单独的探测器单元多个串行输出进行延迟并积分成单一

的输出以提高信噪比。然而,该扫描机制的系统具有固有的局限性。为了保证所需扫描速率,每个像素上的驻留时间仅为几十微秒量级,导致信噪比低,从而造成探测和航迹判决之间的显著延迟,对虚警率也有不利影响。此外,因这些扫描系统固有的较低刷新率,故削弱了高分辨率带来的益处。图2为线列扫描加时间延迟积分成像示意图。

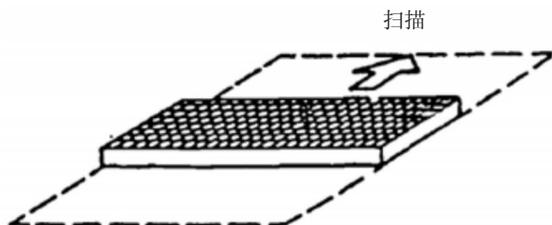


图2 线列扫描加时间延迟积分成像示意图

(2)凝视型焦平面器件体制

这种设计将360°方位视场分割成多个视场,每个红外传感器负责一定区域内的警戒任务,通过多个红外传感器的视场重叠拼接,完成全方位的覆盖。

如泰雷兹公司设计的新一代海军IRST系统ARTEMIS即采用这种体制^[8],该系统(如图3)单个红外传感器视场为120°,要完成全方位的覆盖需要3个红外传感器。目前该系统已经在舰上装备。

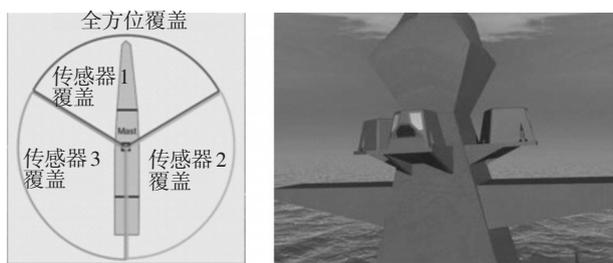


图3 Artemis IRST中三个红外传感器分布图

(3)凝视型焦平面器件快速扫描体制

新一代的IRST系统中有一部分采用凝视型焦平面器件快速扫描体制。这种体制的优点是扫描时可以方位覆盖360°,停止扫描时凝视型焦平面可以做跟踪器使用,且凝视型焦平面器件积分时间比TDI型器件还长。但是在高速扫描状态下,需要解决图像模糊拖影的问题,所以必须采用相应的消像移技术,即保证探测器在积分时间(曝光时间)内景

物所成像与焦面没有相对移动。法国的第三代“VAMPIR NG”IRST即采用这种体制,如图4。

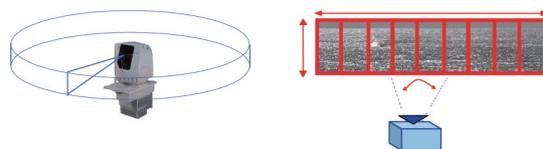


图4 VAMPIR NG IRST全景扫描和图像获取示意图

2.2 大规格红外焦平面阵列研制

目前国外正在研制的新一代IRST系统上大多采用了第三代大规格红外焦平面阵列,以满足新一代IRST系统在水平方向能够覆盖360°,更大的空间角度分辨率、更快的数据刷新速率和更高的探测灵敏度等要求。

大规格红外焦平面阵列技术是IRST系统的核心技术。目前美国、法国和以色列等国在大规格红外焦平面阵列技术方面的保持领先优势。

2.3 实时图像处理技术

实时图像处理技术是IRST系统的一项关键技术。典型的IRST系统的数据处理流程如图5所示。其中包括目标提取、目标跟踪和目标识别等技术^[9]。

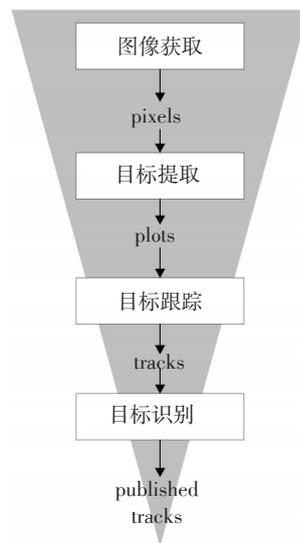


图5 IRST系统中图像处理流程图

由于IRST系统目标成像距离远,在红外图像中是点目标,缺乏尺寸、形状、纹理等结构信息,几乎

被复杂的红外背景所淹没,加上光电系统以及红外传感器的内部噪声干扰,致使图像的信噪比极低,给检测任务带来了很大困难。

目前解决这一难题的技术途径通常在目标、背景及干扰源建模、红外信息预处理基础上采用空间滤波和时间滤波对目标进行增强,增强后选择出适用的目标判别方法,确定出判据准则、判别流程以及相关参数。

IRST系统的多目标跟踪阶段对目标在三维空间中沿目标运动轨迹进行多帧累计判决,排除假目标挑选出真实目标^[10]。此方法称为数据关联,数据关联是多目标跟踪的关键技术之一,主要的目的是进行目标点与航迹之间的关联,常用的数据关联算法PDA,神经网络算法,多假设算法MHT,多分辨率跟踪算法,最大似然估计MLS与期望值最大化算法EM相结合的递归算法等。

最后,系统还需要对关联输出目标的类型进行甄别,剔除掉地面杂波、飞鸟、太阳反光、云层、海面杂波等干扰物,得到真实的飞行目标;然后根据目标的几何形状和运动特性对目标的威胁分类进行鉴别,在实战中目标的运动特性尤其重要。可根据目标速度来判别目标有无动力,若目标的运动速度、加速度超过某一门限值,则判定其有动力,由此可更准确地完成威胁分类。

3 IRST系统未来发展趋势

(1)向多探测器多源数据融合发展

未来IRST系统^[11-16]所探测的目标将是多种形式的目标,目标的红外特性也不会只局限于中波红外或者长波红外波段,系统采用的探测器将扩展到短波红外、紫外、可见光、红外偏振等。可以更好地增强系统抗干扰能力、识别目标的能力。此外采用红外被动测距技术或结合主动测距技术的IRST跟踪系统也将是未来的发展方向之一。

(2)新型扫描结构的研究

为了实现系统立体360°覆盖范围,扩大俯仰搜索范围,必须重新考虑新的搜索方式。而且新的搜索方式不能牺牲其他方面的性能和要求。美国人在F-35 EOTS系统上就采用了新型的结构方式,如图6所示。该结构体制保证了系统在扫描过程中光学效率不发生变化;同时旋转扫描过程中没有角度死区,可以实现全空域扫描。

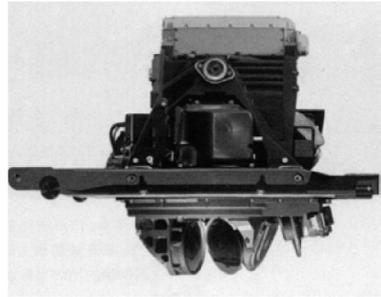


图6 F-35战斗机的EOTS系统

(3)多波段传感器光学共光路设计

高度集成、高度综合是未来IRST系统发展的趋势。将多个光电传感器集成在一个系统中,同时兼顾多种工作模式是新一代IRST系统追求的目标。在系统设计中,首先考虑红外与激光的集成化设计,必然要求系统光学上实现共光路设计;中波红外与长波红外共光路设计,充分利用红外的光谱信息,提高系统目标探测率和识别率;同时增加目标定位能力,为火控系统提供数据支持;在激光波段上综合激光测距、激光照射和激光光斑跟踪功能;实现同一套系统可兼顾空对空搜索跟踪功能,也可兼顾对地FLIR功能。

(4)高性能信号处理技术

高性能信号处理技术是IRST系统永远追求的目标。随着高速信号处理技术及先进的专用信号处理硬件的发展,采用先进的人工智能目标处理、识别技术,IRST系统将不断提高复杂环境下多目标处理的能力。

4 结论

IRST系统是现代战争中探测来袭飞机、导弹的重要手段,它能提高武器系统的反应时间,增强夜战能力,为此各军事强国正在抓紧新一代IRST系统技术的研究。发展高性能红外探测器件,应用各种高新技术,实现高分辨率、高灵敏度、低虚警率和远距离探测,提高环境适应性和平台适应性,是新一代红外预警探测系统的发展方向。

参考文献

- [1] Jong De A. IRST and its perspective[J]. SPIE, 1995, 206: 2552.

(下转第72页)

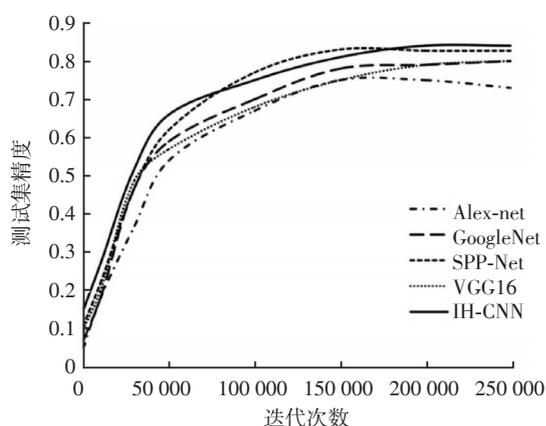


图10 各主流模型基于 Caltech-101 数据集的准确率曲线

6 结论

引入的分层计算感知模拟系统的网络结构是将在生物视觉领域所取得的研究进展与计算机视觉应用结合起来,基于生物理论和模型提出的新的目标识别模型。该模型能够有效的提高图像目标

识别的准确度,对比以往的经典卷积神经网络,不仅在算法的效果上有所提高,而且训练的参数有所减少,训练所需的时间也更短。虽然距离世界先进算法的水平还有差距,但本结构的准确度比传统的目标识别算法依旧高出许多。

参考文献

- [1] Cun Y Le, Boser B, Denker J S, et al. Back propagation applied to handwritten zip code recognition[J]. Neural Computation, 1989.
- [2] Deng J, Dong W, Socher R, et al. Image net: A large-scale hierarchical image database[J]. CVPR, 2009.
- [3] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G. Imagenet classification with deep convolutional neural networks[J]. NIPS, 2012.
- [4] Zeiler M D, Fergus R. Visualizing and understanding convolutional neural networks[J]. ArXiv, 2013:1311, 2901.
- [5] Sermane P, Eigen D, Zhang X, et al. Overfeat: integrated recognition, localization and detection using convolutional networks[J]. ArXiv, 2013:1312, 6229.

(上接第14页)

- [2] Brusgard, Thomas C. Distributed aperture infrared sensor systems[J]. SPIE, 1999: 3436.
- [3] Yves Klein. ARTEMIS: First naval staring IRST in service.
- [4] Nougues. Third-generation naval IRST using the step-and-stare architecture[J]. SPIE Defense & Security, 2008.
- [5] Michael Engel, Amir Navot. Sea spotter-a fully staring naval IRST system[J]. SPIE 2013.
- [6] Dominique M, Olivier D, Guillaume V, et al. New generation of Naval IRST: example of EOMS NG[J]. SPIE 2010 (7660).
- [7] 翟尚礼, 孙宁, 王文胜. 地基红外搜索跟踪系统设计与实现[J]. 指挥信息系统与技术, 2011, 2(4): 17-21.
- [8] Grollet, C. ARTEMIS staring IRST for the FREMM frigate [J]. SPIE, 2007, 6542.
- [9] 白学福, 梁永辉, 江文杰. 红外搜索跟踪系统的关键技术和发展前景[J]. 国防科技, 2007(1): 34-36.
- [10] Quaranta C, Balzarotti G. Probabilistic data association applications to data fusion[J]. Optical Engineering, 2008 (2).
- [11] Buss J R. Staring infrared panoramic sensor (SIRPS). SPIE, 1998, 743:3436.
- [12] Mark Everett. A naval infrared search and track demonstrator and its fusion with other ship sensors[J]. SPIE, 2006, 6206:620626.
- [13] Rioland J. Disposition de veille optronique sectorielle ou panorama a grand witnesses sans movement apparent. 0115534[P]. 2001.
- [14] Guzzetti L E, Busnelli L. EF2000 PIRATE test flights campaign[J]. SPIE, 2008:7109.
- [15] Ceglie de S U, Moro M Lo. A bispectral panoramic IRST-results from measurement campaigns with the Italian navy[J]. SPIE, 2010:7660.
- [16] Pozzi A, Ondini A, Casagrande G. Fully automated IR target search and recognition processor[J]. Proc OPTRO, 2016.