

第三代红外搜索和跟踪(IRST)系统

王颖丽

(绵阳职业技术学院,四川 绵阳 621000)

摘要:红外搜索和跟踪系统是现代战争中重要的关键系统之一,随着军事的需要以及红外焦平面阵列的迅速发展,已经开始第三代红外搜索和跟踪系统的研究。第三代 IRST 系统的主要特点是探测和识别距离远,具有 360° 水平全景覆盖范围,单波段或双波段工作。本文主要介绍正在研制的几种典型的 IRST 系统,包括法国 Thales 的“月女神”IRST、法国 Sagem 的 VAMPIR NG IRST、以色列 Rafael 的海上观察者等系统。未来的 IRST 系统将是多波段、多功能系统,能够实现全空域探测。文中还介绍了一些新的解决方案,如采用球形传感器和曲面焦平面,改善 IRST 系统的能力。

关键词:红外搜索和跟踪系统;第三代;红外焦平面阵列

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A

The third generation infrared search and track (IRST) system

WANG Ying-li

(Mianyang Vocational and Technical College, Mianyang 621000, China)

Abstract: Infrared search and track (IRST) system is one of most important crucial system in modern war. With the military requirements on IRST and fast developing of infrared focal plane arrays (IRFPA), the third generation IRST system has been developed. The 3rd Gen IRST systems are characteristic of long detection and identification, 360° panoramic view coverage and single or dual band operation. In the paper, typical IRST systems are introduced including ARTEMIS IRST system, VAMPIR NG IRST system and Sea Spotter IRST system etc. IRST system will operate in multiple band and will be multiple functional. Here some new solutions such as using spherical sensor configuration and curved FPA which can improve performance of IRST system are also described.

Key words: infrared search and track (IRST) system; third generation; IRFPA

1 引言

红外搜索和跟踪(IRST)系统已经越来越成为现代战争中不可或缺的关键系统之一^[1]。它是一种远程被动红外探测系统,其隐蔽性好,可用来快速探测和跟踪飞机或导弹等具有威胁的红外目标。在军事应用上,IRST系统是雷达很好的补充,二者具有互补性,可以增强对目标跟踪、分类及识别的能力,使得探测数据更加可靠,从而缩短作战系统的反应时间。

目前,已经得到应用的IRST系统大多是第二代红外系统,其中配有第二代红外线列探测器,如法国的“旺皮尔(VAMPIR)MB”IRST系统、加拿大和荷

兰联合研制的“天狼星(SIRIUS)”IRST系统等。这类系统的特点是扫描速度快、视场范围较大,可远距离探测,但识别能力不足,已经不能满足更远距离探测和识别的军事需要,急需新一代的IRST系统——第三代IRST系统。

第三代IRST系统的发展是在红外焦平面阵列探测器发展的基础上发展的。近年来,红外焦平面探测器发展迅速,焦平面探测器阵列的像元数大幅

作者简介:王颖丽(1969-),女,讲师,工程硕士,主要研究方向是信息和图像处理技术及应用。

收稿日期:2009-05-20;**修订日期:**2009-06-19

增加,性能也得到了提高,如 InSb 中波红外探测器阵列像元数已经达到 1024×1024 元, HgCdTe 中波红外探测器阵列像元数为 $640 \times 480/512$ 元, HgCdTe 长波红外探测器像元数为 $640 \times 512/480$ 元,其他材料如非制冷红外探测器、量子阱红外光电探测器(QWIP)也逐渐得到应用,双色和多色探测器也发展起来。这些探测器性能的提高极大地推动了IRST系统从第二代进入第三代。

就目前而言,主要有法国 Sagem 公司、法国 Thales Optronique SA 公司、以色列 ELTA 公司、美国 Rockwell 以及 Northrop Grumman 公司等正在研制第三代IRST系统。本文将简述对第三代IRST系统的要求,介绍正在研制或应用的第三代IRST系统的情况和典型的系统结构,并讨论未来IRST系统的发展趋势。

2 对第三代IRST系统的要求^[2]

第一代和第二代IRST系统都不是成像系统,即只探测目标不识别目标。21世纪,一些新的舰船或新的飞机导弹等威胁源以隐形形式出现,由于雷达的有效反射面积较小,所以雷达不能很好地探测这些新的威胁源,所以要求IRST系统具有比第一、二代IRST系统更远的探测距离。第三代IRST系统除了要求探测距离远,还要求具有识别和辨认目标的功能。这就要求其红外探测器具有更大规格,从而还要负担更长的积分时间。

第三代IRST系统首先在海军光电系统得到应用,它是在制冷型红外焦平面阵列的基础上的IRST系统。这些系统包括一个或多个传感器,特点是广域,传感器与先进的成像和信号处理算法相结合,设计为可自动探测和跟踪威胁源。第三代海军IRST系统之所以优于第二代IRST系统,归因于其凝视特性,即具有更长的积分时间(毫秒级而不是微秒级)。虽然探测器性能得到提高,但是其再访问时间短,积分时间就短,这样必然影响探测速率的提高。所以,IRST系统的设计要考虑折中问题,使探测器的性能达到平衡点,根据需要设计出性能最优的系统。例如,在探测距离和视场之间进行的折中,若要探测距离远,则视场就要小;若要视场大,则探测距离必然减小。

通常为满足探测距离远、视场宽的军事需要,系统在结构上有三种解决方案:

(1)分布式传感器系统(distributed-sensors system, DSS)。在这种方案中,第三代系统采用一定数

量的凝视传感器,合并工作覆盖整个视场(FOV)。这种系统由于采用多个传感器,缩短了再访问时间,使探测速率得到提高。据2004年报道,雷声视觉系统(RVS)公司为海军分布式结构研究了大视场所需要的MWIR FPA,像元达到 2560×512 元。这种分布式传感器系统的优势是显而易见的,但是由于采用多个传感器,成本较高,还存在设计安装的问题。

(2)步进凝视型系统。这种方案的局限性在于其再访问时间长,更新频率慢。

(3)扫描型系统。工作时,宽视场(WFOV)前视红外(FLIR)相机扫描大视场,窄视场(NFOV)FLIR用于高精度跟踪和监视、识别。该种方案的局限性在于更新速率慢、再访问时间也较长。

从军事需求出发综合分析可得,第三代IRST系统应具有的特点是:

- (1)采用凝视面阵红外焦平面阵列探测器;
- (2)探测距离远,分辨率高,目标识别距离远;
- (3)再访问时间短,探测和跟踪速度快;
- (4)宽视场, 360° 水平全景覆盖范围;
- (5)大的仰角范围;
- (6)单波段或双波段工作(以后可选多波段工作);
- (7)可同时跟踪多个威胁源;
- (8)可用性、可靠性、可维护性高;
- (9)易集成;
- (10)具有增长潜力。

目前,IRST系统设计者所面临的问题依然是:

- (1)对小目标或暗目标具有最大探测距离;
- (2)具有较大的仰角覆盖区域;
- (3)降低高性能红外探测器的成本。

3 典型的第三代IRST系统及应用

3.1 美国 Rockwell 和 Boeing 北美公司自动化与导弹系统部的凝视红外全景传感器(SIRPS)^[3-4]

该系统用于海上监视和威胁探测,包括超音速低空飞行的巡航导弹,能提高预警威胁源能力,具有连续水平 360° 的全景视场,其凝视系统采用 1024×1024 元 FPA(可升级到双色探测器)。SIRPS设计采用分布式传感器结构,包括12个传感器模块,两两分布于船体的六个方向。

3.2 以色列 ELTA 公司的 EL/L-8273/4 IRST 系统^[5]

EL/L-8273/4 IRST系统为远程、多功能被动多光谱IRST系统,EL/L-8273用于空军,EL/L-8274用于海军和地面应用,具有全 360° 水平视场覆盖范

围,用于威胁告警。该系统采用高灵敏度的红外凝视焦平面阵列,安装在高速旋转的稳定支座上。应用先进的多光谱目标识别技术,IRST系统可自动、连续搜索、拦截、跟踪目标。系统采用以色列SCD公司的“蓝精灵(Blue Fairy)” $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 320×256 元InSb FPA焦平面阵列。

3.3 以色列Rafael公司的海军IRST系统——海上观察者(Sea Spotter)^[6]

2006年10月,以色列Rafael公司的军械发展管理局揭开其先进的海军IRST系统的详细情况,命名为“海上观察者”。采用2个 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ InSb凝视FPA(而不是采用早期的扫描方法),自动识别海面和机载目标,识别从海面到天顶的慢速至超音速以及极小的目标。“海上观察者”可实现连续性监视,实现对舰船周围的威胁和目标的自动探测。“海上观察者”目前尚处于研究中,它适用所有海军舰船。

3.4 英国QinetiQ公司的海上IRST演示器^[7]

QinetiQ公司为英国国防部研制了一种海上IRST演示器,该系统使用2台凝视型红外摄像机以及能够分离视场的光具,以便对地平面进行全景跟踪。使用凝视型探测器的IRST系统具有更高的灵敏度和追踪速率。演示器配备的现成商品的 640×512 元中波红外探测器,未来也可兼容 1024×768 元的红外探测器。

3.5 法国Sagem防务安全公司的第三代海上IRST-VAMPIR NG^[8]

VAMPIR NG IRST系统是法国Sagem防务安全公司为探测海上威胁源而设计,可用于海上和海岸两种模式,是对抗对称或非对称威胁自卫的有效解决方法,这些威胁有:掠海导弹以及战斗机等。与上一代海军IRST系统相比,新一代系统要探测近海威胁和高仰角机载威胁,所以需要大的仰角范围。

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,是一种步进凝视系统,采用一个第三代高分辨率制冷型 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 红外热像仪,配有高质量镜头的小型扫描器。VAMPIR NG包含4个机动轴,可以水平、上下转动IR传感器头以及所有的光学系统。

3.6 法国Thales Optronique SA公司的“月女神”ARTEMIS IRST系统^[9]

2006年10月,Thales公司在巴黎欧洲海军展览会上展示了其ARTEMIS IRST系统,这是专为防御

空中广域和海面威胁而设计的,已进入全面研制阶段。ARTEMIS是新一代海军光电侦察和保卫系统,采用新型设计,具有显著的性能,在各种条件下都可进行保卫工作。它被选为法国海军未来欧洲多用途护卫舰FREMM的IRST系统。ARTEMIS主要探测空中的小目标,虚警率非常低。

ARTEMIS为全凝视红外监视系统,可同时探测和跟踪空中和海面目标,如战斗机、掠海反舰导弹、快速攻击舰等。系统采用分布式传感器结构,具有全景以及宽仰角覆盖探测能力,可以说没有任何盲点区域。

ARTEMIS IRST传感器采用中波红外热像仪,内含制冷型 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ HgCdTe大规格红外焦平面阵列,是全凝视、无转动系统。包括3个传感器头,每个传感器有一个FPA,合在一起为 360° ,仰角 25° ,更新频率10 Hz。传感器单元集成在舰上桅杆的顶部,如果在大型舰船或者飞机上,则集成4个传感器单元。

3.7 美国Northrop Grumman公司研制的F-35战斗机上的光电分布式孔径系统(DAS)^[10-11]

F-35战斗机的光电传感器系统包括光电瞄准系统和分布式孔径系统(DAS),其中分布式孔径系统用于探测飞机四周空域内的敌方威胁。

DAS包括6个多功能成像红外传感器头,6个传感器分布在飞机的前后、上下、左右6个位置,每个传感器覆盖 $90^\circ\times 90^\circ$ 视场,与一个或多个头盔显示器配合以确保飞行员能够全方位观察。传感器采用 1024×1024 元阵列红外探测器。DAS分别完成IRST系统、导弹逼近告警和导航等功能。F-35的6个传感器是相同的,彼此可互换,并提供自动轴线校准。F-35战斗机采用DAS后,将显著增强作战效能和生存能力。

4 讨论

4.1 IRST系统未来发展趋势

对于第三代IRST系统的发展,随着红外探测器器件技术的迅猛发展,从研制到应用周期的大大缩短以及成本逐渐降低,IRST系统性能也将得到大幅度提高。

4.1.1 向双波段或多波段系统发展

目前研究的第三代IRST系统绝大部分采用的依然是单波段红外探测器,未来IRST系统所探测的目标将是多种形式的目标,目标的红外特性不会只局限于中波红外或者长波红外波段,所以采用双波

段或多波段系统,可以更好地增强识别目标的能力。

另一方面,长波红外波段比中波红外波段对目标和背景的微小温差更灵敏,因此可以提供更远的探测距离。但是在潮湿的条件下,中波红外波段受到影响要比长波红外波段要小些。所以将中波红外和长波红外两个波段结合使用,使其优势互补,可提高IRST系统性能。

为解决多波段红外探测器制作困难的问题,采用多光谱技术将红外波段分解成若干个窄的波段也能提高目标识别能力。

4.1.2 向凝视系统发展

由前所述,第三代IRST系统的概念的出现以及正在研制的系统表明,未来IRST系统将采用凝视红外焦平面阵列探测器,尤其是较大规格阵列探测器。这将大大提高探测距离和识别能力。由于使用凝视阵列,积分时间增加,所以要求更新速率要高,相应配套的传输与处理的容量也要大大增加。

4.1.3 向具有IRST和前视红外双重功能的系统发展

未来的IRST系统将是一个集多功能于一体的系统,要同时具有快速搜索跟踪以及远距离识别功能,即大视场搜索跟踪和小视场前视红外两种功能,当搜索跟踪目标时使用的是IRST功能,当要识别目标时,相当于前视红外的功能。

4.1.4 向分布式传感器系统发展,实现全空域探测

从以上可知,大多数第三代IRST系统的特点就是采用分布式传感器结构解决视场问题。要想实现全方位立体范围的探测,分布式传感器系统结构是未来IRST系统发展的必然趋势。采用这种系统结构,可以大幅降低系统的虚警率。但是,这种系统结构需要多个红外传感器,成本高,随着红外探测器技术的发展及工艺成熟,成本也会降低。

4.2 IRST系统的新的解决方案

在军事应用中,IRST系统的范围达到水平 360° 范围是远远不够的,希望是立体 360° 覆盖范围。德国于20世纪90年代就提出一种半球形IRST演示器的概念,目前美国也在进行一种球形传感器的研究。另外为了克服传感器中平面探测器照度不均匀的缺点,美国也开始研究采用曲面焦平面进行成像的研究,这种概念同时也可以用于红外探测器成像。

4.2.1 美国Lucid Dimension的球形传感器^[12]

对于探测效果来说,最理想的是能够探测到自身以外的立体 360° 空域范围,美国Lucid Dimension

公司正在研发一种球形传感器结构(spherical sensor configuration,SSC),用于在三维方向上探测和跟踪目标。这种结构克服了视场的局限,在一个球体的表面安装多个传感器,最理想的情况是传感器遍及球面。该公司给出一种SSC结构,在球面分布有503个传感器。SSC比目前的成像系统具有明显的优点,能明显增强三维(3D)态势感知能力,具有广泛应用前景,尤其是在机载平台上更有优势。

在红外方面, Lucid Dimension目前正在设计可用于探测和跟踪红外目标的球形系统(SDS),主要工作在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 热成像波段。当前样机工作在 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 。SDS可同时跟踪任意空间方位上的多个目标,这使得该系统成为红外搜索和跟踪(IRST)系统理想的传感器系统。

SDS系统提供达4II立体球形视场,可提供连续被动探测,功耗低。其宽视场和高速探测非常适合捕获目标初始段或其他来袭威胁源。

Lucid Dimension已经完成了一个第二代样机,可在二维方向上探测红外和可见光目标,设计二维样机装有30个红外传感器。

SDS系统采用高端HgCdTe红外探测器,可提供更高速、更高探测率的探测能力,但是其成本高、高功耗,这对于SDS系统将采用多个传感器来说,不能不考虑成本及功耗的问题。

4.2.2 采用曲面阵列探测器成像可扩展到曲面红外焦平面成像

美国高级计划局(DARPA)正在进行一项研究,原因在于目前的相机采用的平面焦平面成像,存在探测器照度不均匀的缺点,需要多透镜校正球形或其他光学像差。为了减少探测系统的质量,需要减少更多复杂的光学和机械系统,如果采用球面探测器或称曲面焦平面(它类似于人眼,视网膜是曲面焦平面),能够获得比平面探测器更大的视场角,而没有在平面焦平面遇到的像差。

这种方案可以延伸到红外探测器焦平面,这将对很多军事应用大有益处,其中不需要多探测器或常平架,因此减少了系统为实现宽视场而通常要求的机械和光学复杂性,非常适合那些如无人机的小型平台。

5 结束语

第三代IRST系统的特点是采用凝视红外焦平面阵列探测器,探测距离远、分辨率高,目标识别距

离远,具有 360°水平全景覆盖范围,单波段或双波段工作(以后可选多波段工作),等等。本文介绍了几种典型的 IRST 系统,提出发展趋势和一些新的解决方案。

参考文献:

- [1] 李富栋. 机载红外搜索与跟踪系统的现状与发展[J]. 激光与红外,2008,38(5):409-412.
- [2] Pierre-Olivier Nougues, et al. Third-generation naval IRST using the step-and-stare architecture [J]. SPIE, 2008, 6940:69401B.
- [3] Steven R. Barrios, et al. Staring infrared panoramic sensor (SIRPS) for surveillance and threat detection[J]. SPIE, 1997,3061:585-590.
- [4] James R Buss. Staring infrared panoramic sensor(SIRPS) [J]. SPIE,1998,3436:743-762.
- [5] Zvi Schneider, et al. ELTA's IRST defense and Self-protection system[J]. SPIE,2007,6542:654232.
- [6] 昌强. 以色列研发新一代海上 IRST 系统[J]. 应用光学,2007,28(2):150.
- [7] Mark Everett, et al. A naval infrared search and track demonstrator and its fusion with other ship sensors [J]. SPIE,2006,6206:620626.
- [8] Third Generation Naval Infrared Search and Track-VAMPIR NG [EB/OL]. <http://www.sagem-ds.com/pdf/en/D1018.pdf>.
- [9] Michael J Gething. Jane's Electro-optical System,2007-2008:9.
- [10] 王浩,等. 先进战斗机光电传感器综合系统及其光电对抗技术[J]. 光电技术应用,2005,20(5):67-71.
- [11] Michael J Gething. Jane's Electro-optical System,2007-2008:505-506.
- [12] Ryan Riel, et al. Spherical sensor configuration [J]. SPIE, 2008,6940:694019.