

文章编号:1001-5078(2007)11-1133-04

机载红外预警探测系统

王慧君¹, 赵寅², 倪树新¹

(1. 中国电子科技集团公司第二十七研究所, 河南 郑州 450005; 2. 华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要: 文章概述了红外预警探测系统概念、特点、技术优势, 国外发展现状和趋势, 机载红外预警探测系统组成结构和探测体制、关键技术及其途径分析。

关键词: 红外; 搜索跟踪; 预警探测; 机载系统

中图分类号: TN215; TN976

文献标识码: A

Airborne IR Early Warn Detect System

WANG Hui-jun¹, ZHAO Yin², NI Shu-xin¹

(1. 27th Research Institute of CETC, Zhengzhou 450005, China;

2. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The paper briefly summaries the concept, characteristics and advantages of IR early warn detect system, introduces the recent development state and trend abroad, places the emphasis on the discussion of its configuration and detection system, and finally analyses the key technologies and its solving method.

Key words: IR;IRST; early warn detection system; airborne

1 概述

机载红外预警探测系统是以红外搜索跟踪系统为预警探测传感器的远程无源探测系统。它与机载预警雷达协同工作, 用以增强预警机目标探测能力、抗电子战能力和生存能力。

与雷达预警探测系统相比, 红外预警探测系统具有两个本质的特征: 一是工作于光频的红外波段(波长为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 或 $8 \sim 12 \mu\text{m}$), 二是以无源(被动)方式工作。正是工作频段和工作方式的重大变化, 导致预警探测系统战术性能的重大变化, 使得红外预警探测系统具备了如下技术特点: 抗电子干扰能力强; 隐蔽性好, 不易受反辐射导弹攻击; 对目标的热辐射敏感, 探测隐身目标能力强; 借助目标红外特征信号分析, 可识别和分类目标; 体积小、质量轻、功耗低, 适装性好。

发展机载红外预警探测系统, 可为雷达预警机提供一种工作于光频的无源预警探测手段, 以增强预警机对隐身飞机、战术导弹和低空巡航导弹的探

测能力, 并与机载预警雷达协同工作, 减少雷达开机时间, 以提高其生存能力, 并降低电源消耗。也可用以填补雷达盲区。

2 国外发展现状和趋势^[1-4]

自 20 世纪 90 年代初开始, 为弥补其雷达预警机对低飞小目标(主要是战术导弹和巡航导弹)探测能力的不足, 美国空军和海军先后实施了发展空基红外预警探测系统的计划, 包括空军的机载监视试验(AST)计划和“眼镜蛇球”(Cobra Ball)预警机计划, 海军的“门警”(Gate Keeper)系统和 E-2C“高级鹰眼”(Advancing Hawkeye)计划。

AST 计划的实施, 实现了 X 波段雷达与红外探测系统的数据融合, 通过试验证实了系统对战区导弹的全天候探测和跟踪能力, 探测距离达 322km。

“眼镜蛇球”预警机实现了红外探测传感器与

作者简介: 王慧君, 女, 高级工程师, 长期从事情报研究和总体论证工作。E-mail: wanghuijun27@126.com
收稿日期: 2007-08-23

激光测距仪的组合,验证了对助推段导弹的有效探测距离可达400km以上,并能预测弹道导弹的弹着点。空军装备了3架RC-135S“眼镜蛇球”型光电预警机用于海湾战争,并将其纳入战区导弹防御系统计划。

“门警”系统是美国海军为其战区导弹防御系统而研制的。该系统采用被动红外搜索跟踪(IRST)和激光雷达精确测距的主/被动探测体制,可探测助推段和后助推段的战区导弹,并给出目标的精确三维轨道数据。红外系统的有效探测距离可达800km。拟装备E-2C、S-3或E-3预警机。

E-2C“高级鹰眼”计划是海军正在实施的一项旨在对E-2C“鹰眼2000”预警机进行全面升级改造而实施的一项计划。改造的重点放在提高预警探测传感器的电子对抗能力和探测能力方面,包括装备先进的UHF固态有源相控阵雷达和先进的红外搜索跟踪系统(SIRST),两者配合工作,实现数据融合。也可通过CEC(协同作战能力)数据链进行SIRST组网,实现无源定位。SIRST对低空亚音速巡航导弹的探测距离达278km。

未来红外预警机的发展趋势^[5-6]:

(1)红外预警探测系统与雷达预警探测系统配合工作;

(2)将红外搜索跟踪系统与激光测距机一体化集成,实现目标搜索、跟踪和飞行轨迹的精确测量;

(3)通过战术数据链将红外预警机组网,实现无源红外搜索、跟踪和三维定位;

(4)发展无人机红外预警探测网。

3 机载红外预警探测系统组成结构和探测体制

3.1 组成结构

红外预警探测系统是预警机的主要任务电子系统的子系统之一。除此之外,还包括雷达预警探测子系统、导航子系统、通信子系统、电子对抗侦察子系统、敌我识别子系统、数据链终端等。

红外预警探测系统主要由双波段红外摄像头、图像处理单元(包括中波红外图像处理、长波红外图像处理和图像融合处理)、跟踪信息处理单元、综合信息处理单元、综合显示单元、通信与数据接口以及伺服稳定平台组成。

双波段红外摄像头由接收光学系统和双波段红外凝视焦平面阵列探测器(3~5 μm 波段和8~

12 μm 波段)组件组成,完成目标红外辐射信号采集、信号预处理。

图像处理单元完成两路视频处理,图像分割、特征提取、匹配相关、融合处理。

角跟踪处理单元完成跟踪决策和角跟踪误差信号提取。

通信与数据接口完成红外预警探测分系统与机内及机外信息和数据交换。

3.2 探测体制

红外预警探测系统用于机载预警的探测体制主要有三种:即IRST与雷达集成和信息融合、IRST与激光雷达集成和多机组网IRST无源定位等。

(1)IRST与雷达集成和信息融合体制

是指IRST系统与雷达预警探测系统集成,或者轻型红外预警机(作为雷达预警机的前置机)与雷达预警机(作为中心机)协同工作,借助数据链路并通过信息融合实现目标定位。其优点是可实现功能和性能的优势互补,延伸预警探测距离,在雷达受到干扰而无法正常工作时,预警机仍能靠IRST系统实现对目标的搜索和跟踪,但无定位能力。这种体制的合理应用是雷达预警机加装IRST系统的集成与融合应用,这也是美国“高级鹰眼”预警机所采取的技术路线。

(2)IRST与激光雷达集成体制

是由IRST系统完成目标搜索与跟踪并借助其精密角跟踪信息引导同一稳定平台上的同轴激光雷达波束对目标测距,实现对目标的精确定位。这种全光电体制具有测量精度高、抗干扰能力强、适装性好的特点,不足之处是由于激光雷达波束很窄,要求极高的角引导精度(毫弧度量级),因而技术难度较大。美国空军的“眼镜蛇球”预警机和海军的“门警”预警系统就是采用这种体制。

(3)多机组网IRST无源定位体制

是基于三角定位的原理,利用两个或两个以上具有一定基线长度的高测角精度IRST系统,借助空-空数据链和定位算法实现目标精确定位的一种预警探测体制。这种体制的测量原理比较简单,定位(测距)能力主要取决于IRST系统的灵敏度,而定位精度则主要取决于预警机导航系统的姿态测量精度(要求 $\leq 0.3\text{mrad}$)、IRST系统的测角精度(方位和俯仰)、布站几何及站址定位精度、平台间时间同

步精度以及测量算法精度。其中预警机导航系统的姿态测量精度不高,是实现该体制的主要制约因素。目前国外姿态测量精度约 0.9mrad ,因而制约了基于高精度角跟踪的双基地无源定位的精度。

对上述三种红外预警探测系统体制的分析比较表明:全光电预警探测体制可独立实现低可探测性目标的搜索、跟踪和高精度定轨,但微弧度量级的激光跟踪瞄准精度实现起来有一定技术难度;多机组网红外无源定位体制也可实现低可探测性目标的无源搜索、跟踪和定位,但因受预警机姿态测量精度的制约而难以实现;红外搜索、跟踪系统与雷达集成和融合体制,能实现两者的优势互补,而且近期具有较强的工程可实现性,因此是性价比较好的一种预警探测系统体制。

4 关键技术及其技术途径分析

机载红外预警探测分系统的关键技术主要包括:高灵敏度大阵面红外焦平面探测器技术,光学系统设计与装调技术、多目标图像跟踪处理技术,多基地红外无源高精度定位技术,目标特性与目标识别技术,红外辐射、大气传输特性建模技术和高精度伺服稳定平台技术。

(1) 红外焦平面阵列探测器技术

IRST 系统是红外预警机关键预警探测传感器,而红外焦平面探测器则是 IRST 系统核心器件,其性能好坏直接影响预警机的预警探测能力。国外用于远程 IRST 的第二代红外焦平面探测器技术已相当成熟。自主发展高性能中波和长波红外焦平面探测器已成为红外预警机成败的关键。要满足红外预警机发展的需求,需要通过解决高纯度材料,大直径大单晶粒生长,焦平面芯片设计制造,大功率低温制冷和测试分析等技术,研制并生产出实用化产品。在红外焦平面阵列探测器技术尚不成熟的情况下,采用 $4n$ 系列或线列加机械扫描的方案不失为一种可实现途径。

(2) 光学系统设计与装调技术

IRST 系统的探测器是大阵面、小像元红外焦平面阵列,为了实现高空间分辨率成像,要求光学系统必须具有高的空间分辨率和良好的成像质量。如果采用 IRST/激光雷达探测体制,则因要求红外粗跟踪、精跟踪、激光发射和激光接收光轴的严格同轴和同光路。这必然增大光学系统的设计、制造和装调

的难度。通过光学系统 CAD、CAM 技术和精密安装调试技术,使光学系统和光电转换获得最佳匹配的技术途径,可使上述问题得到解决。

(3) 多目标图像跟踪处理技术

多目标跟踪处理是预警探测系统的共性关键技术。对基于成像跟踪的 IRST 系统则必须在图像预处理和融合处理的基础上,通过目标分割、特征提取、匹配相关和智能决策才能实现。由于高分辨率图像跟踪处理的数据量非常大,实时处理多批次目标是一个工程技术难题,解决的技术途径是采用基于 DSP 的并行高速浮点数字信号处理器;软件和硬件计算功能合理划分,并尽量简化算法。

(4) 目标特性和目标识别技术

目标特性(主要是目标的红外辐射特性和目标的飞行特性)既是红外预警探测系统设计的依据,也是目标识别分类的依据,然而敌方目标的红外辐射特性是十分保密的,给建立目标数据库带来困难。解决的技术途径是通过仿真试验,建立目标特征提取方法,积累目标特征数据;通过多源目标特征信息融合并建立目标识别算法;充分发挥红外系统高分辨成像的技术优势,提取目标的外形特征,提高识别概率。

(5) 红外辐射大气传输特性建模技术

尽管红外波段处于大气传输窗口,但其辐射信号传播距离仍然受大气环境条件的限制,而大气传播特性和红外辐射大气衰减模型是红外预警探测系统总体设计的依据,特别是在地面以上 2km 高度范围内,大气对预警机探测低飞巡航导弹和飞机是至关重要的。

(6) 高性能伺服稳定平台

IRST 是高精度跟踪系统,在机载应用条件下,载机的飞行姿态变化会导致光学系统瞄准线的变化,高精度伺服稳定平台是保证稳定跟踪和提高跟踪精度的技术措施之一。

采用计算机前馈和二自由度速率陀螺复合控制技术可将机体姿态变化对瞄准线的影响大大降低。

(7) 双基地红外无源高精度定位技术

利用两架红外预警机的角跟踪数据对机动目标精确定位,原理比较简单,但其工程实现却比较困难,主要是定位精度问题。影响定位精度的因素(误差源)包括 IRST 的角跟踪误差、基线长度及其

测量误差、数据处理和传输时延误差和算法近似性误差等。通过提高预警机导航系统的姿态测量精度、IRST 的角跟踪精度(采用基于预测滤波的共轴跟踪技术、高精度伺服支架和大动态范围、快速响应伺服系统),合理延长基线长度(设计载机编队飞行航路使两机对目标视线夹角大于 30°)、提高载机导航定位精度和采用高速信号处理器等技术途径,可明显改善定位精度。

(8) 激光测距机光束精密引导技术

机载远程激光测距机的发射波束的发散角极窄(约几十微弧度),为保证波束照射到目标上并保持连续跟踪,必须采用高精密度波束引导,为此首先借助 IRST 系统对目标进行粗跟踪,然后由与高速处理器和宽带控制轻质反射镜相连的中红外焦平面阵列测量目标像点距焦平面中心点的偏差信息,控制反射镜偏转,使激光束对准目标实施跟踪和测距。这对于机载系统来说难度是非常大的,但并非不能实现。

5 结束语

预警机是高技术战争条件下夺取信息优势的重要装备。雷达预警探测系统与红外预警探测系统集

成与数据融合以提高预警机预警探测能力、生存能力(雷达开机时间可减少几倍)、持续作战能力(机上电能消耗大大降低),是现役预警机升级改造的重要技术途径。发展机载红外预警探测系统,不仅对提高空军作战指挥能力起到重要作用,而且对关键光电器件(红外焦平面阵列探测器)、相关的关键技术和红外搜索跟踪装备的发展起到重大推动作用。

参考文献:

- [1] David A Fulghum. Cobra ball revamped for battlefield missions[J]. AWST, Aug. 4, 1997, 48-57.
- [2] Paul Proctor. AST test build confidence for future missile defenses[J]. AWST, Aug. 12, 1996, 50-53.
- [3] 罗辅仁. 预警机的发展趋势[J]. 电子科学技术评论, 2004, (1): 25-29.
- [4] 辛云宏, 等. 一种基于双波段红外搜索与跟踪系统的单站测距方法[J]. 红外技术, 2004, 21(1): 5-8.
- [5] 黄常青, 郑链, 宁承天. 红外多目标跟踪算法研究[J]. 红外与激光工程, 2005, (2): 188-191.
- [6] 蔡毅. 红外系统中的扫描型和凝视型 FPA[J]. 红外技术, 2001, (1): 3-7, 14.

(上接第 1132 页)

而它的“大气层外拦截器”(EKV)的质量仅为 55kg。可见,随着新材料、微电子和光电子等高技术的飞速发展,美国在动能杀伤拦截器轻小型化方面的进展是相当快的。

4.4 通用化

通用化是指所研制的系统能够适应多种型号、多种场合的制导武器,如美国 SDI 计划所研制的大气层外轻型射弹(LEAP)动能拦截器,就可供不同的弹道导弹防御系统(标准导弹、民兵导弹、近程攻击导弹——SRAM 等)使用,使得成本大大压缩,减少了不必要的重复投资。又如美军正在研制的新的“大气层外拦截器”(EKV),随着识别能力的提高,就可以把它作为地基和海基中段防御系统的一种通用拦截器,即通用化的具有识别能力的高性能 EKV。从 EKV 的发展可见通用化也是红外成像导引头技术的一个重要发展趋势。

5 结束语

本文对红外成像导引头的关键技术和发展趋势

进行了讨论,可以看出,由于技术的发展和进步,红外成像制导技术的应用越来越广,红外成像制导武器已成为制导武器家族中的重要成员。同时,由于红外成像导引头具有技术密集程度高、投资力度大、研制周期较长等特点,因此,有必要集中各优势单位,分工协作,联合攻关,使我国的红外成像制导技术尽快实现工程化应用,并达到较高的程度,走国产化、强军兴国之路。

参考文献:

- [1] 黄国庆. 红外成像制导武器及其导引头的现状与发展[J]. 红外技术, 1998, 20(5): 36-40.
- [2] 施德恒. 红外成像导引头及其成像制导武器[J]. 光机电信息, 2002, 8: 34-38.
- [3] 常青, 卢焕章. 用可重组结构实现高性能实时信息处理[J]. 微电子学与计算机, 2001, 18(2): 30-33, 55.
- [4] 刘永昌, 朱虹. 红外寻的制导技术的发展现状与新趋势[J]. 红外技术, 1999, 21(4): 7-12.
- [5] 袁继俊. 红外探测器发展述评[J]. 激光与红外, 2006, 36(12): 1099-1102.