

微波/红外成像复合制导技术发展分析

赵峰民, 刘 皞, 陈望达

(海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001)

摘 要:军事需求是武器装备发展的源动力,军事需求来源于对战场环境的准确分析。通过对现代高科技局部战争中战场环境的变化和反舰导弹面临的作战形势的分析,结合各种制导体制的优缺点以及复合制导技术的现状,提出了发展微波/红外成像复合导引头以完成反舰导弹面临的新的作战任务,并对复合导引头的关键技术进行了分析论证,最后得出发展微波/红外成像复合导引头可以提高反舰导弹突防能力的结论。

关键词:微波/红外成像;复合制导;需求分析

中图分类号:TJ765.3 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.01.002

Analysis of the development of radar/IR compound guidance technique

ZHAO Feng-min, LIU Hao, CHEN Wang-da

(Brigade of Graduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Military requirements are the original impetus for the development of military equipment, and the military requirements are derived from the exact analysis of the battlefield environment. By analyzing the change of the battlefield environment and the operational situation that anti-ship missile faces, the characteristics of all guidance system and the status of compound guidance are introduced, an idea is proposed that radar/IR compound seeker should be developed to accomplish the new missions that the anti-ship missiles confronted, and the key techniques of the compound guidance system are discussed and demonstrated. At last the conclusion is made that the radar/IR compound seeker can improve the penetration ability of anti-ship missiles.

Key words: radar/IR; compound guidance; demand analysis

1 引 言

从1967年第三次中东战争埃及使用苏制“冥河”导弹击沉以色列“埃拉特”号驱逐舰开始,反舰导弹一直是水面舰艇的最大威胁。反舰导弹的打击精度主要依赖导引头的制导技术,随着光电干扰和隐身技术的发展,纯粹的单一频段或者模式的制导体制受各自性能弱点的局限,已不能满足现代战场作战的需要。

复合制导可以发挥各种制导方式的优点,大大提高精确制导武器的突防能力和命中精度,实现复杂环境下的目标分选识别;形成较强的抗干扰以及反隐身作战能力。海湾战争后,美、俄等军事大国为提高反舰导弹的性能,都在积极发展复合制导技术

和装备。因此,复合导引技术必将得到快速发展和广泛应用。

2 反舰导弹面临的形势分析

随着军事战略的转型和干扰技术的发展,面对新的作战任务和复杂的战场环境,反舰导弹面临挑战主要有以下两方面。

2.1 战场环境的变化使目标检测识别难度加大

目标特性方面。隐身技术是提高水面舰艇生存能力的有效手段之一,也是现代舰艇设计中普遍采

基金项目:装备预先研究项目(No. 51301010102)资助。

作者简介:赵峰民(1982-),男,博士生,主要从事红外图像处理 and 导弹攻防方面的工作。E-mail: fengmin66@139.com

收稿日期:2011-06-04

用的技术。随着隐身技术的发展,现代舰艇设计中普遍采用的隐身技术包括电磁隐身技术、红外隐身技术以及等离子体隐身技术等,这些技术的使用降低了舰艇目标的辐射特性,极大地提高舰艇的隐身能力,对于反舰导弹导引头的目标检测能力提出更高的要求。

作战环境方面。随着精确制导武器的发展,在广阔海域中舰艇的生存能力面临巨大的挑战,舰艇编队大洋决战的局面将不会出现,未来海战将是依托近岸环境进行的高强度攻防作战,近岸、港内目标的打击将是反舰导弹面临的新的作战任务。首先,由人工建筑、停泊舰船、码头设施和岛屿等构成的环境极其复杂,即使 RCS 很强的舰艇也会淹没在复杂的近岸回波背景中(如图 1 所示)所示使得微波导引头难于检测目标;其次,近岸常有商船等民用船只,这些船只的回波与舰艇极为相似,而反舰导弹需要将这些船只与军舰区分开来,就要求其导引头具有识别不同类别船只的能力。单一模式的微波导引头受制于其较低的角分辨率使得其对于这种复杂目标的识别分选能力较弱,无法满足未来战争的需要。



图 1 近岸目标的雷达回波

Fig. 1 radar echo of targets in shore

2.2 干扰技术的发展使抗干扰能力面临严峻挑战

反舰导弹的巨大威力和飞速发展也促进了电子战装备的快速发展,现代舰艇普遍装备电子战反导装备,使得导弹进攻面临由箔条、角反、舰载干扰机及舷外有源无源干扰设备构造的复杂电磁环境。其中由箔条和角反射体组成的无源干扰和舷外有源诱饵是目前反舰导弹面临的重大威胁。图 2 和图 3 显示了箔条干扰和舷外有源诱饵的基本原理。

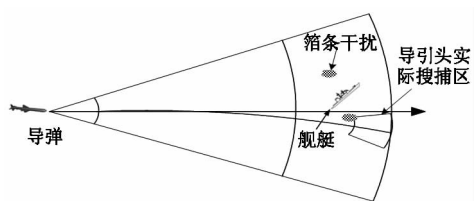


图 2 箔条干扰典型对抗态势

Fig. 2 conflict state of chaff jamming

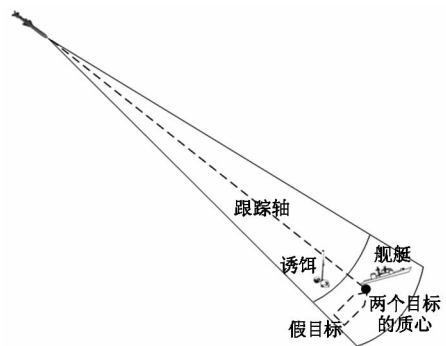


图 3 舷外有源诱饵对抗态势

Fig. 3 conflict state of outboard active decoy

根据干扰原理的不同可以将箔条干扰分为冲淡干扰和质心干扰。冲淡干扰是在末制导雷达开机之前发射箔条干扰弹,使得末制导雷达开机后抓到箔条假目标,从而诱骗来袭导弹;质心干扰是在导弹转入跟踪阶段后,在末制导雷达的跟踪波门内布防箔条云,使导弹跟踪舰艇和箔条的质心而最终偏离目标,以达到保护己方舰艇的目的。

舷外有源诱饵就是利用一定的手段布置到离舰艇一定距离的海面或者空中的干扰机,通过转发末制导雷达的信号对来袭导弹进行干扰和诱骗,使其偏离目标。舷外有源诱饵通常采用储频转发体制,将侦查到的末制导雷达的射频信号经过适当的处理和放大后向导弹转发形成假目标。新型的舷外有源诱饵具有以下特点^[1]:干扰源位于载舰舷外,角度欺骗性好;采用储频转发的工作体制,信号逼真;普遍使用行波管发射机,干扰功率强;工作频带宽,转发覆盖频段范围大;参数调节范围广,能够抑制相参、捷变频等末制导雷达的多种抗干扰手段。

概括起来,这些干扰手段都是针对导引头的频率窗口、时间窗口和空间窗口实施干扰,干扰反舰导弹末制导系统的目标搜索、识别及跟踪过程,使导弹看不清、跟不准。随着干扰技术的发展和对于战场环境、敌我对抗态势认知的深入,电子战装备的发展越来越具有针对性,这要求反舰导弹导引头必须不断进行升级以提高抗干扰能力适应复杂的战场环境,其中复合制导技术是一个理想的手段。

3 复合制导技术分析

对于反舰导弹面临的难题,复合制导技术是一种有效的解决手段。从 20 世纪 70 年代中期美国开始研制紫外/红外复合导引头以来,到现在为止世界上已经出现了十余种复合制导体制的数十种精确制导武器。文献[2]中对于复合制导技术和装备的发展进行了详尽的介绍,在此不再赘述。本文通过分

析美国的 SLAM 空地导弹及台湾的雄风 - II 反舰导弹制导技术,提出了发展微波/红外成像复合制导技术以解决反舰导弹面临的难题。

3.1 红外成像/GPS 复合制导实现近岸目标打击

美国海军的 AGM - 84E SLAM 空地导弹是根据 1986 年空袭利比亚的作战情况发展的一型具备对岸攻击能力的导弹^[3]。SLAM 导弹的主要使命是攻击近岸和陆上目标,如港口设施、停泊舰船。作战时,SLAM 导弹在离开载机后首先利用 INS/GPS 复合导航技术根据事先制定的任务规划自控飞行,当导弹到达红外成像导引头视场内一预定点时(目标进入红外探测器作用距离),红外成像导引头开始工作,将视频图像通过弹载抗干扰双向数据链发回到载机,由操作员完成目标的识别,然后 SLAM 导弹自动跟踪目标直到命中。该弹的后续改进型 SLAM - ER 和 Grand SLAM 改进了目标识别能力,其中 Grand SLAM 增加了新型的自动目标识别系统^[4],利用目标侦察照片作为基准图像和红外实时图像进行匹配,能够更精确的识别目标。

导引头制导体制的选择是由其战略目标和使用环境决定的。SLAM 导弹是美国利用其全球定位技术及信息技术方面的绝对优势打造的一种低成本的空地导弹,在保证完成作战任务的前提下,其末端制导只选用了造价相对低廉的红外成像导引头而放弃了成本较高的改进的微波导引头。高精度抗干扰的 6 通道 GPS 接收机和 256×256 元的凝视焦平面红外成像导引头是 SLAM 空地导弹的关键。高精度 GPS 辅助导航保证了 SLAM 导弹可以按照预定的规划路线接近目标,使目标进入红外导引头的视场内;红外成像导引头对于近岸目标的高分辨能力使 SLAM 导弹具备了对近岸等复杂背景下目标的准全天候的探测识别能力。

3.2 微波/红外成像复合制导提高抗干扰能力

台湾的雄风 - II 反舰导弹是台湾根据美国鱼叉反舰导弹自行研制的微波/红外成像复合制导导弹。雄风 - II 反舰导弹红外成像导引头的使用提高了其末端抗干扰能力和目标探测跟踪的精度。当微波导引头受到干扰时,雄风 - II 反舰导弹可以利用其红外成像导引头进行干扰的抑制和引导作战;在导弹攻击的末端,利用红外成像导引头角分辨率较高的特点,雄风 - II 反舰导弹可以实现对目标的精确跟踪。

雄风 - II 反舰导弹的复合制导体制是根据其面临的复杂的电磁环境而采用的一种有效的对抗手段,其红外成像导引头的作用是辅助微波导引头进

行目标的探测识别,提高导引头的抗干扰能力和角跟踪精度,随着多传感器信息处理技术的发展,雄风 - II 反舰导弹也可能具备近岸目标识别的能力。

3.3 微波/红外成像复合制导技术分析

SLAM 空地导弹和雄风 - II 反舰导弹都采用了红外成像制导技术,但是根据作战任务和使用环境的不同,二者采用了不同的复合制导方案。根据反舰导弹面临的作战形势,结合对于复合制导技术的分析可知微波/红外成像复合制导技术可以解决反舰导弹面临的目标识别和抗干扰的难题,原因如下:

(1) 红外成像技术具有高分辨率、高灵敏度、大动态范围和准全天候工作的特点,对于复杂背景下的目标具有较高的分辨能力,图 4 显示了红外成像探测器获取的港内目标的红外图像(对应场景的雷达回波如图 1 所示),可以看出红外成像技术能够有效解决近岸港内复杂背景下目标的检测识别难题,并且能够大幅提高导引头的抗干扰能力和跟踪精度。随着 ATR 技术的发展,红外图像目标自动识别和跟踪系统的应用将使红外成像制导的导弹具备真正的“发射后不管”的能力,红外成像导引头将不再需要人工干预进行目标识别,也不再处于辅助引导的地位,而作为一个独立的目标检测识别的通路,根据需要与其他传感器进行配合完成目标的检测识别。



图4 近岸目标的红外图像

Fig. 4 IR image of targets in shore

(2) 红外成像制导作用距离比较近、视场角比较小,只能用于末端对目标的精确识别,在远距离时需要其他制导技术进行精确的引导,使得目标进入红外成像探测器的作用范围。

GPS/INS 中制导技术可以实现对于导弹的精确引导,并且成本较低,但是只适用于在全球定位技术上有优势的国家,而且攻击目标一般为相对固定的目标,对于移动目标的打击需要实时更新目标的信息;微波/红外成像复合制导技术不但能够在远距离上利用雷达进行目标的探测,而且能够充分利用目标不同频段的信息,可以充分发挥两种制导体制的

优势弥补相互的缺陷,具有全天候工作能力、抗多种电子干扰、光电干扰和反隐身目标能力、距离和角度高分辨和复杂环境下识别目标能力,是解决反舰导弹面临的复杂背景下目标检测识别的难题和提高反舰导弹抗干扰能力的可行方案。

(3)微波和红外成像制导都是成熟的制导技术,在现役精确制导武器中得到了广泛应用,这使得微波/红外成像复合制导在技术上是完全可行的。复合制导不是两种体制的探测器的简单叠加,而是在弹载任务计算机的控制下通过两种探测器的协调工作,充分利用两种探测器获取的空间/时间/频谱等多维的特征信息进行数据融合处理,完成对于干扰模式的识别、对抗场景分析判断等作战任务。复合制导中如何根据作战的需要合理有效的使用两种传感器及充分利用两种传感器获取的数据是复合制导的关键。

微波/红外成像复合制导中多源信息融合模式主要有微波引导红外成像进行目标检测、红外成像辅助微波完成目标分选以及微波/红外成像融合进行场景态势的分析判断和目标跟踪等,通过灵活地使用两种传感器可以大大提高反舰导弹抗干扰能力及实现复杂背景下目标检测识别。

4 微波/红外成像复合制导关键技术

微波/红外成像复合制导技术主要面临传感器结构复合、雷达和红外子系统的设计以及传感器信息融合处理等关键技术难题。

4.1 传感器结构复合设计

雷达与红外两个系统的复合需要综合考虑结构的布局安排、气动性能及两种探测体制的相互影响等。通常有四种解决方案:

(1)红外系统前置方案。红外导引头安装在雷达导引头天线罩鼻锥部,美国的 RIM-7R(海麻雀)舰空导弹就是采用这种布局,制冷器、红外信息处理模块及电子线路安装在后面的电子舱中,两者之间用管线相连。该方案是一种经典的复合方案,通过对现有的雷达与红外系统作适当的改进后可以较快实现。

(2)红外系统侧置方案。红外系统安装在雷达天线后面的舱体侧面,美国 SIM-BLOCK4A 和台湾的雄风-2 反舰导弹采用的这种方案。红外侧置方案中,雷达系统和红外系统相互间的影响较小,可以充分发挥各自的优势。

(3)红外、雷达共径方案。红外与雷达导引头采用共辐射面设计,红外系统的光学组件安装在雷

达天线中心,雷达天线口面作为红外光学的主反射镜,其最大优点是用同一个伺服系统实现雷达与红外的同步跟踪。双模天线罩技术是这种方案的关键^[5]。

(4)雷达导引头采用共形天线,头部空间安装红外导引头^[6]。弹体共形天线的结构方案是最有利于双模复合导引头的结构形式。附着在弹体头部表面上的保形天线、电子扫描角跟踪系统和红外跟踪系统的复合是一个创新的研究问题。

4.2 微波子系统的设计

复合导引头中微波导引头要求具有较强的自主攻击的能力,以保证复合导引头在红外成像导引头无法使用的条件下,可以由微波导引头完成作战任务,设计中主要考虑以下两个方面:

(1)微波导引头的宽视角、高精度设计

微波导引头要具有较高的视场角和较高的引导精度^[7],用于大范围的搜索和将导弹精确引导到目标附近,使目标进入红外成像导引头的作用距离,利用红外成像导引头的高分辨率的特点进行目标的精确识别。

(2)微波导引头抗干扰设计

微波导引头要求具备一定的抗干扰能力和目标识别能力,所以在微波导引头设计中采用可捷变频率源技术和超宽带收发技术,使雷达具有频率、重频和脉宽等参数捷变的能力,并在此基础上实现高效灵活搜捕策略。

4.3 红外子系统的设计

红外导引头子系统的设计主要是考虑红外探测器的选择和稳定跟踪系统的设计。

(1)红外探测器的选择

红外探测器是红外制导技术的核心,其质量的优劣是红外导引头发展水平的重要标志。探测器的选择要考虑探测器的类型和材料、探测器工作波段。

凝视焦平面阵列探测器已经达到使用水平,在红外成像导引头中使用比较广泛的几种凝视焦平面阵列探测器大致有:碲镉汞(HgCdTe)/硅 CCD 混合焦平面探测器、锑化铟(InSb)光伏焦平面阵列及硅化铂(PtSi)肖特基势垒电荷耦合器件等。探测器工作波段的选择需要考虑环境因素。对于反舰导弹考虑采用 3~5 μm 或者 8~12 μm 波段红外成像探测器,需要根据实际情况充分考核各波段红外成像器对于不同气候的适应性,以此决定选用的探测器的波段以及类型。

(2)稳像系统

稳像系统在红外导引头中有着重要作用,它一方面要稳定光轴,另一方面要接受控制信号驱动光轴跟踪目标。无论在点源跟踪还是成像跟踪的红外导引头中,稳像精度都是一个重要指标^[8]。此外,稳像系统还决定着导引头的跟踪视场和跟踪速度甚至跟踪精度等指标。

稳像系统要具有随动功能和扫描功能,以保证在雷达系统稳定跟踪目标但尚未超出红外的有效探测距离时,红外探测跟踪系统的位标器能对准目标;当雷达指示的目标方向的精度超出红外探测跟踪系统的瞬时视场时,或者雷达不能提供目标信息时,红外探测跟踪系统就需要进行扫描。

4.4 多传感器信息处理技术

精确制导武器能在复杂的战场环境中更好地发挥效能,很大程度上依赖于智能化的信息处理方法,这对于微波/红外成像复合制导的导引头有着重要的意义。微波/红外成像复合制导导引头要充分发挥两种制导模式的优点就要充分利用各传感器获取的信息,所以多传感器信息处理技术的研究尤为重要。

多传感器信息处理技术包括目标识别跟踪的算法研究以及高速硬件实现技术研究。其中复合制导导引头目标识别跟踪算法的研究要融合各传感器获取的信息进行综合处理,将雷达获取的信息和红外成像探测器获取的图像信息结合起来,充分利用各传感器的特性,提高目标识别和跟踪的精度。红外/微波复合制导中主要在特征级上进行信息的融合处理,实现干扰模式和对抗态势的分析以及目标/背景的动态区分等。

高速硬件实现技术主要是采用专用高速硬件,进行并行处理。从发展看,用互联的多微处理机结构或分布处理机结构来代替中央处理机结构,以扩大信号处理的能力,满足导引系统对运算能力提出的更高要求,是目前多传感器信息处理技术的一个主攻方向。

5 结束语

微波/红外成像复合制导技术综合了光学、电子及传感器等领域的先进技术,结合了两种模式制导体制的优点,能够充分利用战场中目标不同频段的信息,比单一模式制导方式更加适应和满足现代战场中复杂环境下作战的需求,对于提高反舰导弹在复杂环境中的目标识别和抗干扰能力具有重要作用,将极大提高反舰导弹的突防能力。

参考文献:

- [1] Zhang Lin, Long Fei, Pan Li-li. Review of ship-born out-board active decoy technology in foreign army[J]. Journal of Dalian Naval Academy, 2010, 33(1): 114 - 116. (in Chinese)
张林, 龙飞, 潘莉莉. 外军舰载舷外有源诱饵技术现状[J]. 海军大连舰艇学院学报, 2010, 33(1): 114 - 116.
- [2] Sun Jing, Yu Yanmei, Sun Changmin. Development analysis of multimode compound guidance technology and equipment[J]. Guidance & Fuze, 2005, 26(3): 5 - 10. (in Chinese)
孙静, 于艳梅, 孙昌明. 多模复合制导技术与装备发展分析[J]. 制导与引信, 2005, 26(3): 5 - 10.
- [3] Liang Wei, Zhang Ke. Development and key technologies of precise-guidance weapon[J]. Fire Control and Command Control, 2008, (12): 5 - 7. (in Chinese)
梁薇, 张科. 精确制导武器发展及其关键技术[J]. 火力与指挥控制, 2008, (12): 5 - 7.
- [4] Zhang Dongqing, Zhang Chunxue, Wen Suli. Research on the application of automatic target recognition on missile[J]. Tactical Missile Technology, 2010, (5): 1 - 6. (in Chinese)
张冬青, 张纯学, 文苏丽. 自动目标识别技术在导弹上的应用研究[J]. 战术导弹技术, 2010, (5): 1 - 6.
- [5] Chu Xiaochuan, Zhao Fangming, Wang Chaoqun. IR subsystem of radar/IR dual mode seeker[J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, (8): 283 - 285. (in Chinese)
储小川, 赵芳铭, 汪朝群. 雷达/红外双模导引头中的红外子系统[J]. 红外与激光工程, 2002, (8): 283 - 285.
- [6] Wang Chaoqun. Future development of IR detecting and tracking technology in dual mode precise homing guidance missile[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(1): 21 - 24. (in Chinese)
汪朝群. 红外探测跟踪技术在复合寻的制导中的应用前景[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(1): 21 - 24.
- [7] Gao Weiliang. Key technologies in dual mode compound guidance[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2006, (6): 54 - 57. (in Chinese)
高伟亮. 双模复合寻的制导的关键技术[J]. 飞航导弹, 2006, (6): 54 - 57.
- [8] Zhao Shanbiao, Zhang Tianxiao, Li Xiaozhong. Introduction to IR seeker[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2006, (8): 42 - 45. (in Chinese)
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.