

· 光电系统 ·

主动雷达/红外成像复合制导关键技术

王学伟, 徐庆九

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要:单一体制的反舰导弹制导方式已不能适应现代海战的作战需求,因此发展多模复合制导技术,提高反舰导弹的目标识别能力、抗干扰能力和突防能力就成为反舰导弹导引头技术研发的重点。针对主动雷达/红外成像的复合制导方式,探讨了分口径技术与共口径技术两种不同复合方式的特点,指出同轴共口径是主动雷达和红外成像传感器布局的理想方式和发展方向。采用时空配准、融合检测、数据关联、融合识别与跟踪等复合信息处理技术,可实现复杂环境下对目标有效地捕获与跟踪。

关键词:反舰导弹;复合制导;主动雷达;红外成像;数据融合

中图分类号: TP212.9; TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)01-0009-03

Key Technology of Active Radar/Infrared Imaging Composite Guidance

WANG Xue-wei, XU Qing-jiu

(Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: The single anti-ship missile guidance system has not met the requirements of the modern sea warfare, so it is very important to develop the multi-mode compound seeker, to improve the target recognizing, anti-disturbing and penetrating ability for the anti-ship missile. Aiming at active radar/infrared imaging compound guidance, the features of the non-common aperture and common aperture technology are discussed. The coaxial and common aperture is the ideal method and the development direction. The target acquisition and tracking can be realized under the complex conditions by the time and space registration, fusion detection, data association, fusion identification and fusion tracking.

Key words: anti-ship missile; composite guidance; active radar; infrared imaging; data fusion

高技术条件下的现代海战中,反舰导弹面临的作战环境越来越复杂,不仅舰载拦截武器迅速发展,构成了对反舰导弹的层层拦截,以硬杀伤手段来削弱反舰导弹的突防能力,而且各种有源干扰、无源干扰、隐身技术以及电子诱饵的使用进一步削弱了反舰导弹的突防能力^[1]。因此,随着战场环境的日益复杂和水面舰艇综合防护能力的提高,主动雷达采用径向距离高分辨体制可以获取目标的距离,并能有效抑制角闪烁及海杂波的影响。红外成像制导技术具有高分辨率、高灵敏度、高信息更新率的优点,可

实现对预定目标的精确打击。采用主动雷达与红外成像双模复合的制导技术具有:全天时、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;复杂环境下选择、识别目标能力;对运动目标精确定位能力。二者优势互补,可以进一步提高导弹的突防能力。

综上所述,复合制导已成为反舰导弹发展的关键技术,是战斗力生成的倍增器,也是世界各国竞相发展的前沿技术。

反舰导弹中,采用主动雷达/红外成像双模复合

收稿日期:2012-01-11

基金项目:国家教育部新世纪优秀人才支持计划项目

作者简介:王学伟(1973-),男,山东青州人,博士,副教授。主要研究方向为精确制导。

的较多^[2]。其中,法国的飞鱼反舰导弹采用的是主动雷达/红外成像双模导引头,具有灵活的可编程四维航线点飞行剖面,增加了对沿海目标的攻击能力;瑞典的RBS15MK3反舰导弹采用了主动雷达/红外成像双模导引头,具有电子对抗能力,可以进行真假目标分析、干扰寻的、宽频带频率捷变等,可通过数据链与其他平台进行数据交换,具备末端预测规避机动与二次攻击能力;法国与意大利联合研制的奥拓马特-4反舰导弹,采用雷达/红外成像双模导引头,可以通过数据链发回目标红外图像,具有目标选择能力与较强的抗干扰能力。台湾海军装备的雄风-Ⅱ反舰导弹,采用雷达/红外成像双模导引头,分口径布局,雷达天线位于弹体头部,红外成像系统位于天线罩后弹体上方的背脊前端中部,具有自动目标识别和图像跟踪功能。

1 传感器共口径技术

主动雷达/红外成像双模复合导引头在复合方式上主要有2种不同的形式^[3],一种方式是采用雷达传感器与红外传感器分平台安装,称为分口径技术。如瑞典研制的RBS-15MK3导弹的复合导引头就是采用这种复合方式,雷达和红外成像部分采用上下分立的排布。工作时微波信号的接收和发射、红外信号的接收也是完全分立的。这种复合方式也可以看成是2种体制探测器的拼接。分口径结构的优点是技术成熟,实现简单。最大缺陷是2个探测器必须通过空间坐标转换和时间校准,增加了系统信号处理的复杂性和伺服随动机构的复杂性,难于实现真正意义上的复合,另外体积和质量较大。

另一种是采用雷达传感器与红外传感器共轴安装的方式,称为共口径技术。如美国洛克希德-马丁公司研制的毫米波/红外成像复合导引头就是采用了这种方式。共轴安装复合传感器的工作原理为:微波信号可以直接从可透射微波反射红外波的反射面穿过。红外信号被大反射面反射后,再经过最前方的小反射面进行二次反射,最终被位于中间掏洞的平板缝阵天线后方的红外图像传感器接收。

共口径相对于分口径在结构上具有结构简单、体积小、质量轻等优势,适合在空间要求苛刻的导弹上应用。另外还可以实现2个传感器数据的精确配准,为复合信息处理减小误差。但整流罩的材料选择、设计、加工工艺等是共口径结构中存在的

主要问题,同时,其对雷达天线有一定的遮挡和红外能量的衰减。只要很好地解决了整流罩所存在的难点,那么共口径结构就会是复合导引头的理想结构。

发展同轴共口径必须要解决双模头罩问题。头罩保护导引头内部件,对双模头罩的要求包括:(1)应选用对微波、红外均有较高透过率的双透波材料。即损耗较小地透过微波与红外辐射;(2)充分考虑材料在指定频带内的介电性能,在指定范围内的强度、热膨胀系数,以及密度、抗雨蚀性能等。常用材料:低损耗有机或无机材料,如硫化锌、锗玻璃等。同时,对头罩厚度也有要求,应保证在微波波段反射损耗最小,使其有高的透过性能,有足够的机械性能使其满足高的抗过载性能要求^[4]。

对于同轴共口径的导引头安装方式,复合导引头内部既要安装雷达又要安装红外,使得导引头内部的电磁环境异常复杂。这种电磁环境包括:(1)雷达探测器的频率源与收发组件在工作时会向外辐射高频电磁脉冲;(2)红外图像传感器需配备斯特林制冷机,它也会对整个导引头系统产生十分严重的高频干扰;(3)伺服机构中的力矩电机磁力线的干扰。这种复杂的电磁环境会严重影响导引头的整体性能。

2 复合信息处理技术

主动雷达/红外成像复合导引头的信息处理机是一个非常复杂的系统,主要包括主动雷达信号处理、红外焦面阵成像信号处理、数据融合3种功能。这三部分处理的工作量都很大,因而一般采用分布式处理结构,主动雷达与红外成像子系统均采用单独的处理完成各自的预处理,将预处理结果通过接口送到融合中心,由融合中心完成特征级与决策层数据融合处理^[5]。

单个传感器,无论是主动雷达还是红外成像,其信息处理技术都比较成熟。这里重点讨论复合信息处理。

2.1 时空配准

在主动雷达/红外成像数据融合系统中,各个传感器一般具有不同的数据率和测量坐标系,而关联判决和航迹融合需要同一测量坐标系内、同一时刻的目标状态估计,因此需要对各单个传感器的数据进行时间和空间上的同步处理^[6]。

空间配准主要消除传感器空间布局带来的误

差,对于采用共口径技术的传感器布局,该部分误差影响很小。

时间配准要消除信号不同步带来的误差。时间不同步的原因是两传感器的开机时刻、采样周期、处理速度以及信号在通信过程中的时间延迟等因素的影响,导致两传感器对同一目标的测量不能同步地进行。

多传感器时间配准方法主要有曲线拟合法、最小二乘法和线性插值等,其基本思想都是以某一传感器时间节点为基准,对其余传感器通过已知时间节点上的数据来估计所需时间节点上的数据,从而达到传感器在时间节点上的一致性,即把不同传感器在不同时刻对同一目标的测量数据转换到以融合时间节点为基准的时标数据^[7]。

2.2 融合检测

融合检测的作用是通过主动雷达和红外成像检测数据的融合处理^[7],使得复合导引头在干扰条件下具有高的目标检测概率。

例如,箔条干扰会对雷达产生十分强的回波,而对雷达的目标检测和识别构成威胁。而红外烟幕或诱饵会威胁到红外导引头的目标检测和识别。将红外和主动雷达进行复合,由于它们的物理特性不同,对抗红外成像的措施(红外烟幕、诱饵)对雷达不起作用,而对抗雷达的措施(箔条)则对红外成像不起作用。因此,可以采用融合方法来消除干扰的影响,提高检测率。

2.3 数据关联

数据关联是确定主动雷达和红外成像是否探测的是同一目标。如果不是同一目标,则根本无从谈及信息互补,更谈不到对目标的优化探测。主动雷达和红外成像各自提供了目标方位角,各自的测量构成了观测数据集,数据关联可采用加权法、最近邻法、K近邻法、修正的K近邻法、独立序贯法、相关序贯法、独立双门限法、经典分配法与广义分配法等^[8]。

2.4 融合识别

由于常规的单一传感器自动目标识别系统存在许多局限性,它仅基于某一类数据有限集进行识别决策,尤其是存在干扰的复杂场景中,其抗干扰能力和识别的可靠性将大为降低。多模制导引入导弹制

导系统的一个重要原因是明显提高了导弹的目标识别能力。

红外成像能够体现目标的形状信息,主动雷达能够提供红外成像无法获取的目标距离信息,在融合识别过程中,应充分利用这些信息的互补性。目标识别的基础是目标的特征参数,所谓特征就是真目标与假目标之间的一种差异。舰船目标的特征有:

(1)由红外和主动雷达分别测量出来的舰船目标的位置是基本一致的,而对于随机的假目标却没有这种特性,因此,红外和主动雷达测量出来的目标位置的一致性为舰船目标识别的重要特征之一。

(2)在主动雷达跟踪状态下,由红外测得的舰船目标位置必邻近图像坐标系原点,所以,目标位置的相邻性亦是舰船目标识别的特征之一。

(3)舰船目标的灰度值是随着时间(距离由远及近)增长的,所以,灰度变化率是识别舰船目标的重要依据之一。

(4)当目标距离小于红外成像导引头作用距离时,红外导引头便开始对舰船目标进行成像,在这种情况下,目标的面积、形状及其变化率是区分舰船目标和假目标的重要特征。

现代海上战争需要导弹对特定目标进行精确打击。因此,复合导引头应具有选择、识别特定目标的能力。如:

- ① 舰艇编队内不同舰艇目标的选择与识别;
- ② 攻击部位的选择;
- ③ 舰艇目标与干扰的选择与识别;
- ④ 舰艇目标与岛岸背景的选择与识别。

2.5 融合跟踪

融合跟踪模块的功能是通过红外和主动雷达对目标的跟踪结果,采用融合方法使目标的角位置精度得到进一步的提高。常用的方法如加权最小二乘融合方法。

红外成像提供的可供目标识别的信息较雷达丰富,因此在目标跟踪过程中,应该以红外成像为主,结合雷达提供的距离信息,进一步提高跟踪精度,增加跟踪的可靠性和稳定性。

3 结 论

复合制导具有任一单模导引头不(下转第59页)

- [10] W Xiao-Lei, W Pei, M Chang-Jun, et al. Modulation of Splitting Beam Angle with Metal-Nonlinear Optical Material-Metal (M-NL-M) Array Structure[J]. Chinese Physics Letters, 2008, 25(12):4375-4377.
- [11] 王庆艳, 王佳, 张书练. 基于金属表面等离子激元控制光束的新进展[J]. 光学技术, 2009, 35(2):163-171, 174.
- [12] 闵长俊. 亚波长金属结构中表面等离子体调控机理及应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [13] L-C Wang, Y-p Niu, S-q Gong. Design of directional beaming from a nanoslit in metallic film surrounded by metal-dielectric surface gratings[J]. Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications, 2011, 9(2): 179-183.
- [14] S Kim, H Kim, Y Lim, et al. Off-axis directional beaming of optical field diffracted by a single subwavelength metal slit with asymmetric dielectric surface gratings[J]. Applied Physics Letters, 2007, 90(5):051113-1-3.
- [15] Z Sun, H K Kim. Refractive transmission of light and beam shaping with metallic nano-optic lenses[J]. Applied Physics Letters, 2004, 85(4):642-644.
- [16] G Wurtz, R Pollard, A Zayats. Optical bistability in nonlinear surface-plasmon polaritonic crystals[J]. Physical Review Letters, 2006, 97(5):57402.
- [17] 葛德彪, 闫玉波. 电磁波时域有限差分方法[M]. 2版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [18] A Taflove, S C Hagness. Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method[M]. 2nd ed. London: Arrech House antennas and propagation library, 2000.
- [19] 文明, 王新林, 等. 色散金属的时域有限差分方法[J]. 光电技术应用, 2010, 25(5):70-73.
- [20] M Besbes, J P Hugonin, P Lalanne, et al. Numerical analysis of a slit-groove diffraction problem[J]. Journal of the European Optical Society: Rapid Publications, 2007, 207022-1-17.
- [21] X Wang, G Schatz, S Gray. Ultrafast pulse excitation of a metallic nanosystem containing a Kerr nonlinear material [J]. Physical Review B, 2006, 74(19).
- [22] P M Goorjian, A Taflove, R M Joseph, et al. Computational modeling of femtosecond optical solitons from Maxwell's equations[J]. Quantum Electronics, IEEE Journal of, 2002, 28(10):2416-2422.
- [23] J -P Bérenger. Perfectly Matched Layer (PML) for Computational Electromagnetics[J]. Synthesis Lectures on Computational Electromagnetics, 2007, 2(1):1-117.
- [24] R Gordon, A G Brolo. Increased cut-off wavelength for a subwavelength hole in a real metal[J]. Opt. Express, 2005, 13(6):1933-1938.
- [25] S Astilean, P Lalanne, M Palamaru. Light transmission through metallic channels much smaller than the wavelength [J]. Optics Communications, 2000, 175(4-6):265-273.

(上接第11页)

可比拟的优越性,是现代海战中战斗力的倍增器,也是世界各国正在竞相发展的前沿技术。主要发展特点是:(1)主动雷达/红外成像复合是反舰导弹发展的主流方向;(2)同轴共孔径是传感器复合的主流方向;(3)同控式是复合导引头控制导弹的主流方向;(4)特征级复合是复合信息处理的主流方向。

参考文献

- [1] 胡生亮, 李胜勇, 李敬辉. 对雷达/红外复合制导导弹的冲淡干扰方法研究[J]. 光电技术应用, 2004, 19(4).
- [2] 刘桐林. 世界导弹大全[M]. 北京: 军事科学出版社, 1998.
- [3] 刘隆和, 姜永华. 双模复合寻的制导技术[M]. 北京: 解放军出版社, 2003.
- [4] 沈世绵. 飞航导弹材料[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [5] 丁锋, 姜秋喜, 张楠. 多传感器数据融合发展评述及展望[J]. 舰船电子对抗, 2007, 30(3): 52-55.
- [6] 张二虎, 卞正中. 基于最大熵和互信息最大化的特征点配准算法[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(7):1194-1199.
- [7] 夏克强, 周凤歧, 周军. 红外/雷达复合制导数据融合技中的时间校准方法研究[J]. 航天控制, 2007, 25(1): 8-12.
- [8] Yaakov Oshman. An Information Fusion Approach to Missile Guidance [C]//International Conference on Control, Automation and Systems 2007. COEX, Seoul, 2007: 1-6.
- [9] Chia-Chi Chao, Yet-Ta Wu, Sou-Chen Lee. A Composite Passive Ranging Guidance Strategy For Anti-ship Missile [J]. Journal of C.C.I.T, 2005, 34(1): 1-20.
- [10] WANG Ju, WU Si-liang, ZENG Tao. Multi-Sensor Data Fusion Technologies for Blanket Jamming Localization [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2005, 14(1).
- [11] 王飞, 雷虎民. 红外/毫米波雷达双模制导跟踪融合算法的优化[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(2): 250-254.
- [12] 康大勇, 高俊光, 胡琥香, 等. 红外双色复合制导对抗技术[J]. 光电技术应用, 2009, 24(5): 14-16.