

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0218-03

激光水下目标探测技术的应用及其进展

章正宇, 周寿桓, 张小龙, 宣飞, 眭晓林

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要 讨论了激光水下目标成像探测手段的性能、优点、国外发展及应用,分析了系统工作方式和分类,并展望了今后该领域的技术发展方向。

关键词 激光水下测距; 激光水下成像; 新进展

中图分类号 TN247; TN249

文献标识码 A

Application and Development of Under-Water Target Detection by Laser

ZHANG Zheng-yu, ZHOU Shou-huan, ZHANG Xiao-long, XUAN Fei, SUI Xiao-lin

(North-China Research Institute of Electronic & Optics, Beijing 100015, China)

Abstract Characteristic, advantage, development and application of under-water target detection by laser are introduced in this paper. Imaging pattern is analyzed and development tendency is summarized.

Key words submarine imagine; submarine range; new development

1 引言

激光水下目标探测技术是采用蓝绿激光作为照明光源,运用光电传感器对水下目标进行测距、成像和目标识别。与声波相比,光波在水介质传输距离要短的多,但在其他方面弥补了声波的不足。首先在水中光速受温度和盐度变化的影响较小,所以探测方向性好,定位较准确。另外,根据电磁波成像的衍射理论,光波具有能直接二维强度成像、多光谱摄像以及图象分辨率高等特点,这对于自动、快速识别目标具有重要意义。

特别是激光问世后,其亮度高、脉冲短、准直度高等优点用于水下目标,对如水雷等的探测,可以获得声纳难以实现的成像和测距效果;另外,激光的高亮度使得日光、生物光和其他海洋光噪声均可以被有效滤除;而激光的相干和偏振使制作二维空间滤波器成为可能,这种滤波器可用来提高图象衬比度及探测信噪比;作为系统载体方式来说,在空气——水界面传播时的高透过率和高准直度也使得激光不仅在水对水探测,而且在机载或星载(空对水)探测中具有声纳难以比拟的独特优势。

20世纪90年代以来,激光与声学相结合水下探

测的概念被各海洋军事大国确认并予以重点发展,国外开展激光水下目标探测技术研究的国家,主要有美国,加拿大,瑞典,澳大利亚,前苏联,法国,荷兰,日本等。相继研制成功LS-4096,SM-2000SS水下激光行扫描成像系统(美国),SHOALS机载激光雷达测绘系统(加拿大),FLASH机载激光水文测量仪(瑞典),WRELADS(澳大利亚)投入工程应用。

在军用水下目标,特别是水雷探测系统中,最具代表性的为美国海军“Magic Lantern”探雷系统,该系统属于美海军非声水雷探测计划的重要部分,海湾战争期间,该系统被安装于SH-2F猎雷直升机上,如图1。开始搜索被声纳等其他反水雷装备清扫过的水域,共出航3次,搜索到残存水雷18枚,并同时多个深度平面进行监视,每小时探测15 km²的水域,可满足海军和陆战队对拍岸浪区和海滩区的水雷进行快速侦察要求。该项实战已证明,激光探雷系统与声纳探雷装置相比的主要特点是探雷速度快、精度高、有效覆盖面积大、图像清晰逼真,是有效的水雷探测装备。

目前,“Magic Lantern”已完成美国海军各项海试并开始装备MH-53E直升机上,澳大利亚、新西兰和埃及经政府许可已正式订购该系统,亚洲国家



图1 SH-2F上安装“Magic Lantern”系统工作实景

Fig.1 “Magic Lantern” mounted on the helicopter SH-2F

科威特和沙特也表示了订购意向,该系统允许用户范围还包括日本、韩国、我国台湾地区和泰国。

另外,在“Magic Lantern”系统成功研制后,美国海军继续支持卡曼公司和桑德斯公司研制“四月阵雨”激光探潜系统和 ALMDS 先进激光探雷系统,预计于 2004 年投入使用。

2 系统分类

根据国外研究情况,从成像特征和技术效果分析,目前工程应用探测系统包括行扫描成像(LLS)和单脉冲成像(SPI)两种工作体制。

2.1 行扫描成像

行扫描是传统成像方式,采用激光束照明目标上各个点,用单元探测器(如光电倍增管,APD等)探测反射光,每个光脉冲提供深度数据,激光束对目标进行逐点扫描,也就是通过载体第一维运动,系统第二维行扫描把各个脉冲的第三维距离信息构成三维图像。

行扫描成像优点是在空间上将海水引起的后向散射滤除在接收视场之外,并且同步扫描成像是根据物体表面反射率而不是根据图像,因而使得前向散射光的剧烈影响较小,相反,小角度的前向散射还有利于增大目标信号,这种抑制前向散射技术使得行扫描成像具有较宽的水质适用范围。但这种基于单元探测器的距离成像体制采用距离伪彩色显示,成像效果不直观;同时行扫描成像要求水下实时测距精度较高,激光束窄而且发散角很小,否则会造成成像精度差,横向分辨率低;另外还必须采用高重复频率的激光照射、接收和高精度同步扫描机构,因此行扫描成像被广泛用于机载大面积海域勘探和水深测量,对于小目标和运动目标的实时成像识别具有很大局限性。

2.2 单脉冲成像

随着 CCD 等光电成像技术的发展,国外开始研究强度成像的水下激光雷达。通过光脉冲照射目标,采用凝视型面阵探测器接收,提供平面图像,同时随着载体移动,拼接各个脉冲图像,提供组合图像

和大目标图像。

与行扫描成像不同,单脉冲成像需要大能量和空间分布较均匀的照明光源,而对激光光束角和发射重复频率要求比较低;接收机部分是将像增强器与 CCD 面阵通过光纤或透镜耦合,一方面大大提高了成像灵敏度,另一方面凝视型 CCD 的背景噪声被视场内 N 个像素平分,在扩大接收视场的同时能有效提高成像信噪比,而成像分辨率主要由成像光学系统和探测器像素尺寸决定。

与行扫描成像相比,单脉冲成像具有成像快、直观和快速可变视场等优点,也不需要光束的偏转,更适宜于对运动小目标,特别是水雷等实现清晰成像,另外强度成像的效果符合人眼观察习惯,因此在水雷对抗等应用中具有突出优点。前面介绍的“Magic Lantern”系统就是采用单脉冲成像方式显示出独特的探测水雷效果,但由于强烈的军事应用背景,设备属于严格禁运,技术文献也被严密封锁,SPI 系统是日前激光水下目标探测的主要研究方向。

3 系统工作方式

光电系统运行需要平台支撑,目前具有水下探测功能的载体主要有舰船、水下机器人和扫雷直升机,系统可以根据需要设计成机载吊舱设备,舰载设备(安装在舰艇头部或腹部),也可以大量安装在无人潜航器(UUV)或水下机器人上。因此水下目标探测从工作方式主要分为水对水舰载体制和空对水机载体制。

机载条件下,由于载体具有快速、灵活飞行的特点,因此目标搜索可以由载体和激光扫描装置直接完成;在舰载或艇载情况下航迹搜索往往无法快速实现,可以采用行进过程中距离扫描式大视场单脉冲成像以及通过加装二维电机进行交叉式扫描来增大扫描范围,这样有利于在不影响载体运动情况下帮助探测系统调整对目标的倾角,获得最大探测能力和更多目标特征;还可以利用声纳导测,激光小角度扫描测距搜索以提高速度和增加宽度,完成探测、跟踪和识别水下目标的任务,并根据作战需要为后续硬杀伤灭雷系统(如超空炮)、鱼雷发射系统或水下蛙人提供准确的目标种类和位置以快速消灭目标。整个系统将大大提高探测和攻击的准确性,降低漏探率。

与机载体制相比,舰载应用技术难度较大。当前围绕探雷、灭雷核心目的,发挥各种载体优势,研制适合不同载体装备的激光成像探测系统,可以有效提高水下目标观察能力。

4 发展对策

海洋是未来现代化战争的主要战场之一,与陆地上较完善的探测和观察手段(如光学、雷达、红外、电视和激光等)相比,水下探测主要利用声纳来完成。目前海战中水对水,空对水及岸对水的对抗日趋激烈,尤其是廉价而极具杀伤力的水雷,威胁正在全世界迅速扩散。美海军大型舰只,包括“罗伯特号”护卫舰,“特里波利”号两栖攻击舰,宙斯盾巡洋舰“普林斯盾”号等均毁于水雷,如图2。这些舰只一般都配备了高性能声呐,但未能有效探测到水雷这样的小目标。另外,复杂的海底地形和水下天然及人工障碍也对舰艇登陆和潜艇下潜航行造成极大威胁。



图2 1991年美国“特里波利”号两栖攻击舰被锚雷炸断龙骨
Fig.2 The keel of USA Warship “Tripoli” is bombed out by anchor-mine

水下扫雷和水下勘测(包括地貌测绘、防撞、登陆破障,打捞残骸)两大任务的基础是实现多手段复合水下探测(包括距离,图像等三维信息)。在美海军制定的2002~2007年反水雷计划中,其中新增加的核心内容即为ALMDS激光探雷系统和RAMICS快速灭雷系统。

综上所述,在该系统研制中需考虑如下几点:

第一,注重研制与应用相结合。

激光水下目标探测技术研制是目前和未来军事应用的需要,注重需求牵引,提高系统实用性是该项技术发展的重要原则,需求为技术创新指明了方向,而高新技术进步又为装备发展和未来作战提供了技术优势。

国外该项技术(“Magic Lantern”等)的发展历程也表明,坚持技术研制与工程应用相结合,实现阶段成果应用和技术不断创新,是确保该项技术产生巨大经济效益和军事效益的有效途径。

第二,建立声光复合探测手段。

声光复合探测就是着重发挥声纳的远距离搜索、定位和瞄准功能,通过声纳信息导引,载体和扫

描系统逼近目标到激光有效作用范围内,获得可疑目标的精确距离、图像和识别获得的目标信息后,传递给侦察指挥系统,从而实现对水下目标的远距离探测、准确识别和精密火控。

另外,在机载条件下,运用激光探测无需载体拖曳,有效提高了探测载体的机动能力和侦察范围,特别是随着超空炮灭雷弹(如RAMICS等)的实用,快速无拖曳已成为扫雷重要发展目标。

发展水下光探测,并不是削弱声纳作用,而是要在目前水下探测依靠单一声通道基础上,开辟水下光探测通道,建立复合探测手段或多种探测手段,提高对可疑目标的识别能力和机载浅海水下目标探测能力。

第三,注重水域水质,研发ATR系统。

与美国“大洋进攻”的作战方针相比,我国担负着近海防御的作战使命,海洋环境的水质范围较宽,建立对水质自适应的高效探测系统是在国外发展基础上进行创新研制,从而实现国内工程应用的重要环节。

在较混浊海域、较远探测距离或者海况复杂情况下,水体前向散射/后向散射和图像位移/扰动均较大,难以提取目标所有细节,通过特征识别来辨别可疑目标,特别是水雷应该成为激光水下目标探测系统发展的关键技术,因此,建立多种型号的锚雷、沉底雷和鱼雷模型和数据库,对实现ATR(Auto Target Recognizer),从而在工程应用上提高激光水下目标探测能力具有重大实用价值。

第四,注重DPL激光器和ICCD探测器研制。

适合于水下探测的照明光源是蓝绿波段的激光,从目前激光器发展技术水平看,倍频固体激光器可作为工程用激光照明源。但对于舰载和机载应用,特别是军用水下机器人平台,对系统功耗和体积均有较严格限制,将较先进的二极管抽运固体激光器技术应用于激光水下目标探测系统,将会提高光电转换效率,简化发射机冷却结构,有效降低功耗和体积。目前美国也已完成从灯泵激光的“Magic Lantern 90”向DPSL的“Magic Lantern A”系统改型。

另外,ICCD由于其像增强和精确波门选通特性被应用于激光水下目标成像探测系统中,研制绿光波段较高响应率的ICCD有助于整机系统的国产化研制和装备。