

·光电探测·

条纹管激光成像雷达在近程海面监测应用分析

盛元平¹, 孙剑峰², 徐大伟¹

(1. 海装沈阳局, 辽宁 沈阳 110031; 2. 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:近程海面监测通常要在低照度条件下, 获得高清晰、高分辨目标图像, 以提高监测效能。与传统被动红外成像监测相比, 激光成像雷达是一种主动成像技术, 能获得目标强度和距离像(统称为四维像), 具有较高的目标探测与目标识别概率。分析了美国条纹管激光成像雷达的发展现状及具有的技术优势, 阐述了条纹管激光成像雷达采用的闪光式体制、一次成像、高速获取目标数据的原理。指出条纹管激光成像雷达既适用于近程海面监测, 也可与现有监测手段, 如被动红外、微波雷达等复合使用, 提高监测效率。

关键词:激光雷达; 条纹管; 海面监测

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255 (2012)01-0034-03

Application Analysis of Short-range Ocean Surface Monitoring for Streak Tube Imaging Lidar

SHENG Yuan-ping¹, SUN Jian-feng², XU Da-wei¹

(1. Military Representatives Bureau of NED in Shenyang, Shenyang 110031, China;

2. Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In order to enhance the efficiency of imaging monitoring, the short-range ocean surface monitoring usually obtains the high-definition and high-resolution images under the low illuminance. Compared with the traditional infrared imaging monitoring, lidar is an active imaging technology, which can obtain the intensity and range image (4D image), so it has the high detection and recognition probability. The development status and technology advantage of U.S. streak tube imaging lidar (STIL) are analyzed. The principles of the flash type system, one-time imaging and high-speed data acquisition are discussed. The streak tube imaging lidar can be used in the short-range ocean monitoring, and can also be combined with other sensor, such as passive infrared and microwave radar to improve the monitor efficiency.

Key words: lidar, streak tube, ocean surface detection

目前, 遥感探测海面环境的主要手段是微波雷达和被动红外^[1-2], 微波雷达成像距离远, 但在近距离处存在盲区; 被动红外可弥补盲区目标探测, 但只能获取目标红外辐射强度轮廓像, 不能获取目标的距离信息, 不能对目标进行空间位置评估; 受海上环境影响较大, 如目标的红外辐射特性与背景相近时, 将极大影响成像对比度, 探测率有待进一步提高。

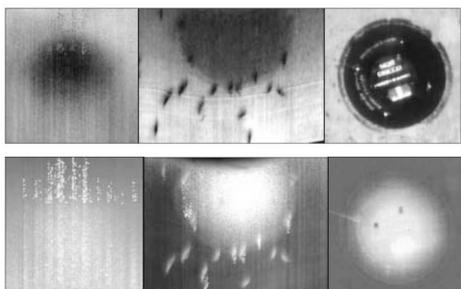
条纹管激光成像雷达是一种先进的光电成像技术^[3-4], 它可同时提供反映目标材质信息的强度像和反映目标空间位置及表面结构信息的三维几何距离像, 统称为四维像。该雷达不易受外界环境影响, 抗干扰性好; 缺点是成像距离较近, 要与其他监测方式(如被动红外)复合使用, 有效提高近程海面监测效能。

1 研究现状

条纹管激光成像雷达(streak tube imaging lidar, STIL)是21世纪初美国提出并试验演示了的一种新型非扫描闪光式激光成像雷达,采用高探测灵敏度的条纹管作为四维像探测器^[5-6],海洋透过“窗口”532 nm绿光激光为光源,利用条纹管快速探测器对不同时间到来的光子偏转差异,实现三维空间信息和强度信息的获取,成功地演示了水雷探测、海底地形地貌勘探等实验,并做到了小型化^[7]。

2000年前后,美国国家海洋管理局(NOAA)与Arete Associate联合利用条纹管激光成像雷达,成功地实现了大范围海下水雷搜索、海底地貌,并很快装配于直升机和潜艇上^[8-10],使这种体制的激光雷达在地貌勘察、海洋监测等领域进入实用阶段。2004年,已经有条纹管激光成像雷达进行实际演练的报道。

图1给出的是水深相同的情况下^[8],不同浑浊程度的水下目标的探测结果,图1a、图1b、图1c分别是极浑浊水(Coastal 7 water)、较浑浊水(Jerlov III water)和清水(Jerlov Ib water)中,获得的水雷强度像和距离像。其中,图1b部分是有鱼群通过时成像结果。从图1中可以看出,水的混浊程度对二维强度像的清晰度影响比较大,而对目标的距离像影响相对较小,即使在很浑浊的水中,仍能够获得目标准确的高度信息和立体结构信息,仍能够判断目标的真伪性。可见,图1a在极浑浊的水中,目标已经不是规则的圆形。图1b较浑浊的水中,目标的形状基本上可以看出来,距离像上受影响相对较小。图1c在清水中,目标上的文字都清晰可见。



(a) 极浑浊水 (b) 较浑浊水 (c) 清水

图1 STIL-EOID 系统对不同浑浊程度的水下目标探测

图2展示的是条纹管激光雷达(STIL)对夏威夷水下1~12 m地貌三维探测的结果^[8]。海底地貌细节的成像清晰可辨,充分表明了水下目标三维成像的

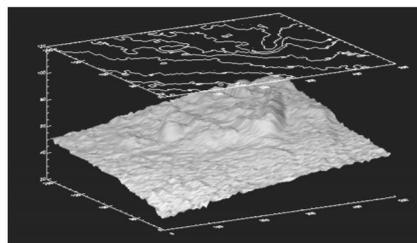


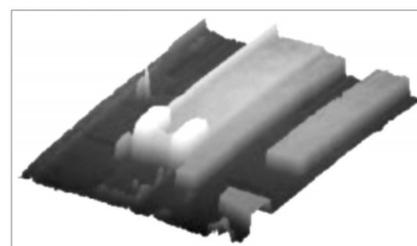
图2 STIL 系统对1~12.1 m海底地貌的探测

能力。

随后,美国将该技术引入到机载遥感成像中,公布了机载条纹管激光成像雷达航拍试验结果^[8],通过推扫成像方式,获取了高分辨的地面建筑物场景三维距离像,见图3所示。



(a) 航拍照片



(b) 重构后的距离像

图3 机载航拍试验

由国外实验报道可以看出,条纹管激光成像雷达在大视场条件下,能获得高分辨及高探测灵敏度的激光强度像和距离像,特别是距离像,能获取场景目标空间位置关系和目标表面空间结构,这极大简化了复杂场景中目标分割提取的算法复杂度,因此具有较高的目标探测识别概率,这非常有利于在近程海面成像监测过程中高效检测场景内目标,这是目前被动红外成像体制所不具备的。

激光成像雷达的优势在于高空间分辨率和距离分辨率,其劣势在于不能远距离成像。目前国际上一般能获得3 km的激光四维像。条纹管激光雷达由于采用高探测灵敏度条纹管为探测器,可将成像距离提高到5 km左右,这极大地扩展了激光雷达的应

用范围,也能满足近程海面监测的需求。并且随着技术的进一步发展,获得更远距离的激光四维像也是指日可待的。

2 成像基本原理及应用分析

条纹管激光成像雷达是闪光式体制的,可一次成像,并能高速获取目标四维像数据。该雷达依据瞬态光学中高精度微弱信号测量原理,使用条纹管作为成像雷达的四维像探测器^[5-6, 9-10],其工作原理如图4所示。

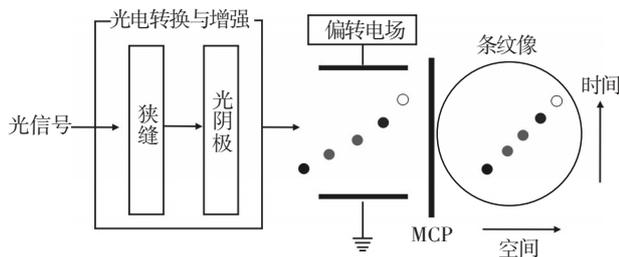


图4 条纹管的工作原理

光学系统将回波光信号的像成在狭缝上,狭缝取出的一维空间信息通过中继透镜成像在变像管的光电阴极上。当光阴极上的狭缝部分被光脉冲照明时,将发射光电子,其瞬态发射密度正比于该时刻的光脉冲强度,因此光阴极发出的电子脉冲在时空结构上是入射光脉冲的复制品。电子脉冲经静电聚焦系统聚焦后,进入偏转系统。偏转系统上加有随时间线性变化的斜坡电压,由于不同时刻进入偏转系统的电子受到不同偏转电压的作用,按照脉冲到达的时间先后顺序,经MCP(微通道板)放大后到达荧光屏。在荧光屏上将沿垂直于狭缝的方向展开,这一方向对应于时间轴,可以得到沿狭缝每一点展开的时间信息,重构后便可以得到回波信号所对应的距离信息,即目标的距离像。

通过分析条纹管激光成像雷达自身特点,如下条件使条纹管激光成像雷达具备满足近程海面监测的需求:

(1)高探测灵敏度:条纹管探测其内部有MCP,能对微弱信号进行放大,使探测器具有极高的探测灵敏度,有利于完成远距离探测;

(2)高距离分辨率:偏转系统能提高距离分辨率,使条纹管的距离分辨率达到厘米量级,测距精度高;

(3)大视场成像:条纹管激光雷达的像元数与光阴

极材料线对数和尺寸有关,一般线对数为25 l.p./mm,对 $\Phi 17$ mm光阴极来讲,其像元数为 1×425 ,因此可做到大视场和高空间分辨率。

但也应看到,在近程海面成像监测应用中,希望成像系统体积小、功耗低和帧频高,降低成像系统对应用平台总体需求。但目前条纹管探测器与被动红外相比,其体积仍较大,这主要是因为器件自身光电转换环节较多,因此需要进一步优化器件内部结构,减小器件体积;其次,激光器在小型化高功率高频上仍需进一步研究,提高电光转换效率,减小器件体积;最后,目前条纹管探测器相当于一种线列焦平面探测器,获取空间图像需要一维扫描,与被动红外相比,成像帧频较低,因此需要发展面阵焦平面四维像探测器。

可以分析,条纹管激光成像雷达在近程海面监测具有良好的应用前景,但为满足实际需求,仍需进行相关研究,以加快推进技术成果的应用转化。同时该项技术也可拓展到其他应用领域,如遥感测绘、避障防撞等。国内刊物已有开展此类技术研究的公开报道^[11-13],可为采用先进的激光雷达成像技术进行近程海面监测提供借鉴。

3 结 论

条纹管激光成像雷达是一种先进的闪光式线列焦平面成像体制,具有大视场、高分辨和高探测灵敏度等优势,具备实现近程海面四维成像监测的应用条件,可有效提高成像监测效能;也可与其他成像技术,如被动红外和微波雷达,复合成像,充分利用不同成像体制的优势,为近海成像监测提供一种先进的光电成像技术。

参考文献

- [1] 吴三元, 邱新军, 马来群. 海面RCS与雷达海上目标监测[J]. 火控雷达技术, 2008, 37(2): 51-53.
- [2] 何友金, 毛剑英, 谭伟. 海面岛礁背景下舰船红外自动识别技术研究[J]. 光电技术应用, 2010, 25(4): 31-34.
- [3] Andrew Nevis, Russell J Hilton, et al. The Advantages of Three-Dimensional Electro-Optic Imaging Sensors[J]. SPIE, 2003, 5089: 225-237.
- [4] 陈慧敏, 粟苹, 李昆, 等. 基于不同作用体制下的非扫描激光成像雷达探测技术[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(增刊): 219-222.

(下转第70页)

- al. A Neural Network for Nonuniformity and Ghosting Correction of Infrared Image Sequence [J]. Lecture Notes in Computer Science(S1611-3349), 2005, 3656: 1208-1216.
- [5] Flavio Torres, Sergio N Torres, Cesar San Martin. A Recursive Least Square Adaptive Filter for Nonuniformity Correction of Infrared Image Sequences [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3773: 540-546.
- [6] Sergio N Torres, Majeed M Hayat. Kalman Filtering for Adaptive Nonuniformity Correction in Infrared Focal-plane Arrays [J]. JOSA A, 2003, 20(3): 470-480.
- [7] Bradley M Ratliff, Majeed M Hayat, Russell C. Hardie. An Algebraic Algorithm for Nonuniformity Correction in Focal-plane Arrays [J]. JOSA A, 2002, 19(9): 1737-1747.
- [8] Bradley M Ratliff, Majeed M Hayat, J Scott Tyo. Generalized Algebraic Scene-based Nonuniformity Correction Algorithm [J]. JOSA A, 2005, 22(2): 239-249.
- [9] Russell C Hardie, Frank Baxley, Brandon Brys, et al. Scene-based Nonuniformity Correction with Reduced Ghosting using A Gated LMS Algorithm [J]. Optics Express, 2009, 17(17): 14918-14933.
- [10] J E Dennis, Jr Robert, B Schnabel. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations [M]. Pennsylvania: SIAM, 1987: 155-157.
- [11] D Keren, S Peleg, R Brada. Image Sequence Enhancement using Sub-pixel Displacements [C]// Washington D. C: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1988: 742-746.

(上接第28页)为核心。数字化、智能化、网络化光谱分析检测技术和光谱仪器必将是光谱技术和光谱仪器持续发展的主要方向。同时,产品应实现系列化、规模化,涵盖专用级、便携级、研究级等低、中、高端,不断拓展应用,形成规模效应。

参考文献

- [1] 吴瑾光,近代傅里叶变换近红外光谱技术及其应用(上卷).北京:科学技术文献出版社,1994.
- [2] 邬云山,等.近红外分析仪[J].光学精密工程,1993,1(1):47-53.
- [3] Turner J F, Treado P J. App 1 Spectrosc, 1996, 50(2):277.
- [4] Fulton G, Horlick G. App 1 Spectrosc, 1996, 50(7):885.
- [5] Exander A, Gao G H, Tran C D. App 1 Spectrosc, 1997, 51: 1603.
- [6] 吉海彦.近红外光谱仪器技术[J].现代科学仪器,2001,6: 25-28.
- [7] 徐广通,袁洪福,陆婉珍.现代近红外光谱技术及应用进展[J].光谱学与光谱分析,2000,20(2):134-142.
- [8] 陆婉珍.现代近红外光谱分析技术[M].北京:中国石化出版社,2007.
- [9] Thomas E V, Haaland D M. Anal Chem, 1990, 62:1091-1099.
- [10] 徐云,王一鸣,等.用近红外光谱检测牛奶中的三聚氰胺[J].红外与毫米波学报,2010,29(1).
- [11] 马东红,王锡昌,等.近红外光谱技术在食品产地溯源中的研究进展[J].光谱学与光谱分析,2011,31(4): 877-881.
- [12] 周子立,张瑜,等.基于近红外光谱技术的大米品种快速鉴别方法[J].农业工程学报,2009,8(5):131-135.
- [13] 刘翠玲,郑光,等.近红外光谱技术在农药残留量检测中的研究[J].北京工商大学学报,2010,4(5):52-55.
- [14] 陈兰珍,赵静,等.蜂蜜真伪的近红外光谱鉴别研究[J].光谱学与光谱分析,2008,11(4):2565-2568.
- [15] 徐玮,谭红,等.近红外光谱法快速测定白酒中的酒精度[J].中国农学学报,2010,26(19):70-72.

(上接第36页)

- [5] A D Gleckler. Multiple-Slit Streak Tube Imaging Lidar (MS-STIL) Applications [J]. Proc. SPIE, 2000, 4035: 266-278.
- [6] Asher Gelbart, Chris Weber, Shannon Bybee-Driscoll, et al. FLASH lidar data collections in terrestrial and ocean environments [J]. SPIE, 2003, 5086: 27-38.
- [7] Mark Kushina, Geoff Heberle, et al. ALMDS Laser System [J]. SPIE, 2003, 4968: 163-168.
- [8] Andrew J Nevis. Automated Processing For Streak Tube Imaging Lidar Data [J]. SPIE, 2003, 5089: 119-129.
- [9] A D Gleckler, A Griffis, J Plath, et al. Streak Tube Imaging Lidar for Electro-Optic Identification [C]// Proceeding of the Fourth International Symposium on Technology and Mine Problem. Naval Post Graduate School, Monterey, CA, 2000: 12-16.
- [10] Anthony D Gleckler, Asher Gelbart. Three-dimensional imaging polarimetry [J]. SPIE, 2001, 4377: 175-185.
- [11] 魏靖松,程元丽,徐强,等.单狭缝条纹管激光雷达的成像[J].中国激光,2008,35(4):496-500.
- [12] 孙剑峰,郜键,魏靖松,等.条纹管激光成像雷达水下探测成像研究进展[J].红外与激光工程,2010,39(5): 811-814.
- [13] 孙剑峰,魏靖松,刘金波,等.条纹管激光成像雷达目标重构算法[J].中国激光,2010,37(2):510-513.