

文章编号: 0253-2239(2009)07-2030-03

# 尺度缩小合成孔径激光雷达的二维成像实验

周煜 许楠 栾竹 闫爱民 王利娟 孙建锋 刘立人

(中国科学院上海光学精密机械研究所 中国科学院空间激光通信及检验技术重点实验室, 上海 201800)

**摘要** 在尺度缩小的合成孔径激光成像雷达实验室装置上, 实现了一个二维图案目标的同时方位向和距离向的二维成像, 达到扫描条带宽度 $\leq 10$  mm 和分辨率约为  $1.2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 。

**关键词** 合成孔径激光成像雷达; 二维成像; 方位向; 距离向

**中图分类号** TN958 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092907.2030

## 2D Imaging Experiment of a 2D Target in a Laboratory-Scale Synthetic Aperture Imaging Ladar

Zhou Yu Xu Nan Luan Zhu Yan Aimin Wang Lijuan Sun Jianfeng Liu Liren

(Key Laboratory of Space Laser Communication and Testing Technology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract** The 2D imaging in both the azimuth and the range directions of a 2D target is realized in our laboratory-scale synthetic aperture imaging ladar setup. It was reached that the scan strip of  $\leq 10$  mm and the resolution of about  $1.2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ .

**Key words** synthetic aperture imaging ladar; two-dimensional imaging; azimuth direction; range direction

按照合成孔径激光成像雷达(SAIL)的光学原理<sup>[1~7]</sup>我们设计了一个缩小尺度的实验室 SAIL 装置,首先在短距离上模拟远场衍射实现了点目标的方位向激光合成孔径成像<sup>[8]</sup>,然后在采用 HCN 光谱吸收盒同步起始光频相位的基础上实现了点目标的方位向和距离向同时成像<sup>[9]</sup>,成像分辨率达到约为  $1.2 \text{ mm}$ (距离向) $\times 2 \text{ mm}$ (方位向),事实上点目标成像分辨率的测量可以认为是对于整体系统的分辨率标定。本文报道我们在该装置上的进一步研究进展,即实现了一个二维图案目标的方位向和距离向的同时二维成像,这是继美国两个单位<sup>[10,11]</sup>后的国际上第 3 个成功的实验室 SAIL 实验结果。

实验室 SAIL 装置仍是文献<sup>[9]</sup>的自由空间光学结构(如图 1 所示),但是发射小孔和接收小孔采用了相同尺寸的方形孔径代替了圆孔,这对于成像分辨率有利<sup>[6]</sup>。目标是一个“W”字符或者两个“V”

字符的图案(如图 2 所示),采用棱镜反射式反光膜制作。使用电子控制精密平动机械移动目标,模拟 SAIL 和目标之间的相对运动,并且同时进行方位向和距离向的数据的同时收集。本振光束臂的长度接近目标距离,用于减弱非线性啁啾和光频同步相位误差,HCN 吸收盒光路用于采样起始光频同步。光源采用  $1.55 \mu\text{m}$  单模啁啾半导体激光器,输出功率  $2 \text{ mW}$ ,激光啁啾范围  $1538.5 \sim 1541 \text{ nm}$ ,波长扫描速率  $100 \text{ nm/s}$ ,啁啾速率  $1.2674 \times 10^{13} \text{ Hz/s}$ ,准直后通过  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  的方形发射孔径发射,物面衍射照明主斑为  $10 \text{ mm}$  的方斑(如图 3 所示),即扫描条带宽度 $\leq 10 \text{ mm}$ 。目标距离为  $3.2 \text{ m}$ ,相当于产生约为  $3.2 \text{ m}$  的相位二次项照射波面。目标面成  $45^\circ$  放置,步进间隔  $0.1 \text{ mm}$ ,步数 251。本振反射镜与目标中心差距约  $20 \text{ mm}$ ,所产生的外差信号频率为约  $1.8 \text{ kHz}$ ,示波器采样频率  $2.5 \text{ MHz}$ 。

**收稿日期**: 2009-06-26; **收到修改稿日期**: 2009-06-29

**作者简介**: 周煜(1976—),男,博士,副研究员,主要从事晶体光学、空间激光通信和空间激光雷达等方面的研究。

E-mail: sunny@mail.siom.ac.cn

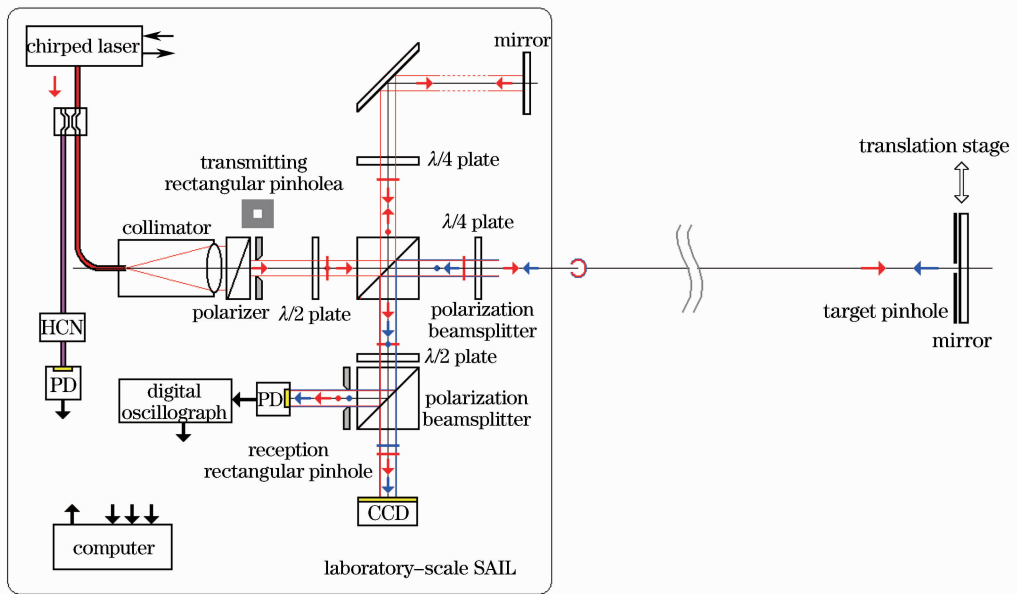


图 1 缩小尺度 SAIL 的实验布置图

Fig. 1 Experimental arrangement of a laboratory-scale SAIL

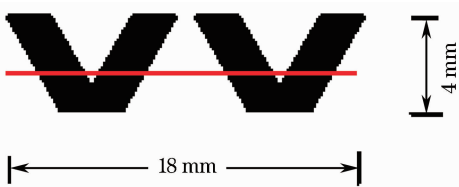


图 2 所使用的目标图案

Fig. 2 Target pattern used

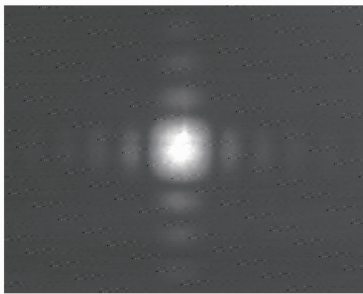


图 3 照明光斑

Fig. 3 Illuminating spot

振幅值的振幅分布和相位分布,其具有四个明显的振幅峰值和相位类二次项凹陷,与输入图像和实验结果相符。但是振幅峰值位置与类二次项凹陷位置有偏离,同时也有一个相位偏置,表明这一次实验可能存在发射轴与接收轴的不同轴和目标移动的倾斜。照明强度的空间不均匀分布也影响了成像质量。

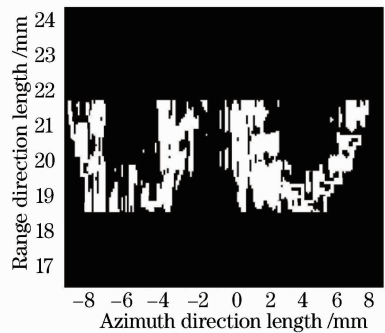


图 4 实验结果

Fig. 4 Experimental result

探测到的二维分布的光电信号经过距离向傅里叶变换聚焦和方位向的相位类二次项匹配滤波后将产生目标字符的实验结果输出图像<sup>[9]</sup>,图 4 给出了二值化结果,实验表明分辨率维持在约 1.2 mm(距离向)×2 mm(方位向)。图 5 给出了在距离向傅里叶变换聚焦成像之后,在方位向匹配滤波之前,某一个距离采样指数上的沿方位向(图 2 直线剖面)的复

本实验实现了一个二维图案目标的方位向和距离向同时成像,扫描条带宽度为≤10 mm,分辨率为约 1.2 mm×2 mm,达到预期设计。表明解决了 SAIL 空间光学,时间光学和图像处理等方面的核心问题并实现了整个系统的光学,光电子学和图像处理的联通。关于空间应用及检验的一些问题及解决方案可参见文献[12,13]。

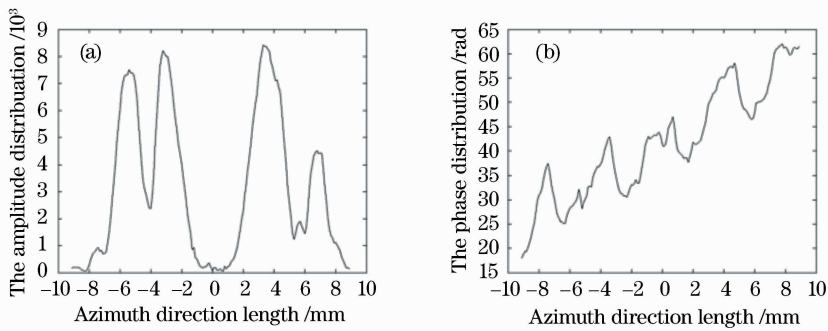


图 5 距离向聚焦后的一个方向上的复振幅值的振幅分布(a)和相位分布(b)

Fig. 5 The amplitude distribution (a) and the phase distribution (b) along a certain data line in the azimuth direction after the focused imaging in the range direction

### 参 考 文 献

- Liu Liren. Synthetic Aperture Laser Imaging Radar (I): Defocused and Phase-Biased Telescope for Reception Antenna [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5): 997~1000  
刘立人. 合成孔径激光成像雷达(I): 离焦和相位偏置望远镜接收天线[J]. *光学学报*, 2008, **28**(5): 997~1000
- Liu Liren. Synthetic Aperture Ladar (II): Spatial Phase Biased Telescope for Transmitting Antenna [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1197~1200  
刘立人. 合成孔径激光成像雷达(II): 空间相位偏置发射望远镜[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1197~1200
- Liu Liren. Synthetic Aperture Ladar (III): Circulated Duplex Telescope [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1405~1410  
刘立人. 合成孔径激光雷达(III): 双向环路发射接收望远镜[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1405~1410
- Liu Liren. Synthetic Aperture Imaging Ladar (IV): Unified Operation Mode and Two-Dimensional Data Collection Equation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(1): 1~6  
刘立人. 合成孔径激光成像雷达(IV): 统一工作模式和二维数据收集方程[J]. *光学学报*, 2009, **29**(1): 1~6
- Liren Liu. Optical Antenna of Telescope for Synthetic Aperture Ladar [C]. *SPIE*, 2008, **7094**: 7094F
- Liu Liren. Synthetic Aperture Imaging Ladar (V): Imaging Resolution and Antenna Aperture Function [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1408~1415  
刘立人. 合成孔径激光成像雷达(V): 成像分辨率和天线孔径函数[J]. *光学学报*, 2009, **29**(5): 1408~1415
- Xu Nan, Lu Wei, Liu Liren. Simulation of Nonlinear-Chirp Compensation by Scan-Filtering in SAIL [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(1): 47~54  
许楠, 鲁伟, 刘立人. 合成孔径激光成像雷达中非线性啁啾逐一扫描滤波校正算法的仿真与分析[J]. *光学学报*, 2009, **29**(1): 47~54
- Zhou Yu, Sun Jianfeng, Luan Zhu *et al.*. Aperture-Synthesizing Experiment of a Down-Scaled Synthetic Aperture Imaging Ladar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(12): 2446~2448  
周煜, 孙建锋, 栾竹等. 尺度缩小合成孔径激光成像雷达的孔径合成实验[J]. *光学学报*, 2008, **28**(12): 2446~2448
- Zhou Yu, Xu Nan, Luan Zhu *et al.*. Two-Dimensional Imaging Experiment of a Point Target in a Laboratory-Scale Synthetic Aperture Imaging Ladar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(2): 566~568  
周煜, 许楠, 栾竹等. 实验室合成孔径激光雷达点目标二维成像实验[J]. *光学学报*, 2009, **29**(2): 566~568
- M. Bashkansky, R. L. Lucke, F. Funk *et al.*. Two-dimensional synthetic aperture imaging in the optical domain [J]. *Optics Letters*, 2002, **27**(22): 1983~1985
- S. M. Beck, J. R. Buck, W. F. Buell *et al.*. Synthetic-aperture imaging lidar: laboratory demonstration and signal processing [J]. *Applied Optics*, 2005, **44**(35): 7621~7629
- Liu liren. Laser Communications in Space I: Optical Link and Terminal Technology [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1): 3~20  
刘立人. 卫星激光通信 I: 链路和终端技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(1): 3~20
- Liu liren. Laser Communications in Space II: Test and Verification technique on the ground Optical Link and Terminal Technology [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 147~155  
刘立人. 卫星激光通信 II: 地面检测和验证技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 147~155