

实验室合成孔径激光雷达点目标二维成像实验

周煜 许楠 栾竹 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和检验重点实验室, 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, 实现了一个点目标的同时方位向和距离向的二维成像, 实验结果符合预想的设计。

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/AOS20092902.0566

Two-Dimensional Imaging Experiment of a Point Target in a Laboratory-Scale Synthetic Aperture Imaging Ladar

Zhou Yu Xu Nan Luan Zhu Sun Jianfeng Liu Liren

(CAS Key Laboratory of lasercom and Testing, 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 point target is realized in our laboratory-scale synthetic aperture imaging ladar setup. The experimental results are identical with the predicted.

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^[1~6]设计了一个缩小尺寸的 SAIL 装置, 并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^[6]。本文报道进一步的进展, 即实现了点目标的方位向和距离向的同时二维成像, 这是国内的首先报道。

实验室 SAIL 装置仍然采用文献[6]的自由空间光学结构(见图 1), 由发射小孔发射的激光光束在目标上产生反射, 回波通过接收小孔在光电探测器上进行光学外差接收, 单一目标点采用反射镜加小孔形成, 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。实验布置上改动和增加的有: 光源采用了 1.55 μm 单模啁啾 YAG 激光器, 用于方位向和距离向数据的同时收集; 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; 增加了 HCN 吸收盒光路, 用于采样起始光频同步^[7]; 增加了光纤 FP 检测通道,

监视光频啁啾扫描。

激光输出功率 2 mW, 激光啁啾范围 1540~1542 nm, 时间 20 ms, 准直后通过直径 $\phi 1$ mm 的发射孔径发射(虚拟 1(望远镜), 其到目标的距离为 3.2 m, 在目标平面上产生曲率约为 3.2 m 的相位二次项照射波面其爱里斑直径为 $\phi 12$ mm。接收孔直径 $\phi 1$ mm, 发射光束发散度和外差接收视场基本满足匹配条件^[4,5]。目标点直径约 $\phi 1$ mm, 回波在接收孔平面产生二次项波面即方位向位相历程, 曲率也约为 3.2 m, 目标和本振相对距离差为 ~ 4.4 mm 产生的外差信号频率为 ~ 375 Hz。目标步进间隔 100 μm , 测量行程 130 间隔, 数据取样 73 个间隔。长度为 0.2 m 和 0.5 m 的光纤 FP 的测量结果的分析表明所使用的激光器的啁啾非线性值不大于线性波长啁啾对应的频率啁啾非线性值, 影响较小, 图 2 给出了啁啾范围为 1550~1551 nm, 变化率为 2000 nm/s 时的 FP(0.5 m)示波器扫描图(局部)。

收稿日期: 2009-01-21

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

导师简介: 刘立人(1942-), 男, 研究员, 博士生导师, 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: Lirenliu@mail.shenc.ac.cn

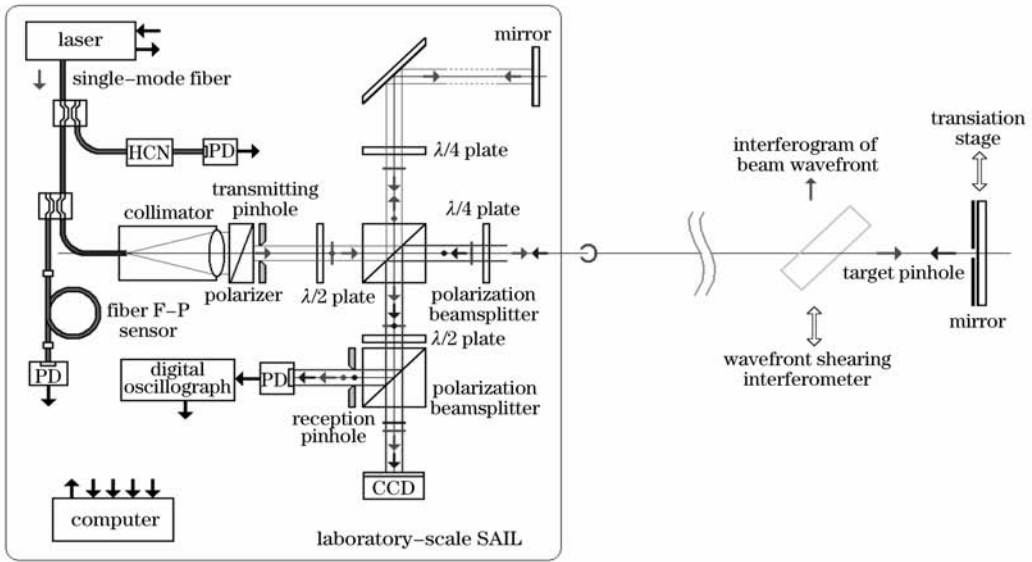


图 1 缩小尺度 SAIL 的实验布置图

Fig. 1 Experimental arrangement of a laboratory-scale SAIL

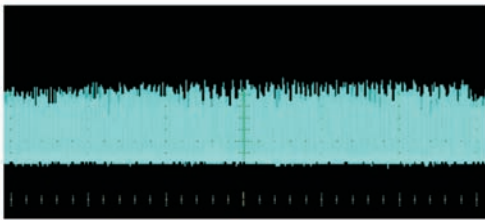


图 2 啁啾激光的 FP 扫描图(100 μs/格)

Fig. 2 F-P scanning oscillogram of laser chirp (100 μs/div)

图 3 是某一次实验所得到的典型的距离向光学外差光电探测信号示波器波形图(局部)。实验中方位向采样的两个零点的间隔为 7.2 mm, 小于爱里斑直径, 相当于目标扫描偏离中心 4.8 mm。距离向成像采用对于距离信号的直接傅立叶变换实现, 图 4 是一个点目标的距离方向的聚焦成像分布。在所有距离采样中可以取得的频率同步点的方位向相位信号, 计算表明它由一个相位二次项和一个线性项组成, 二次项是孔径相干合成所需的相位历程, 线性项是由于目标运动方向不严格垂直于系统光轴所

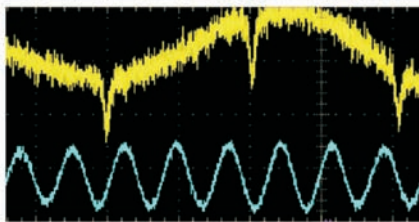


图 3 光学外差信号(下)和 HCN 谱线信号(上)

Fig. 3 Electronic signals from heterodyne detection (below) and HCN spectrum lines (top)

致, 约 10"。方位向聚焦成像采用相位二次项匹配滤波实现, 点目标在距离和方位向的二维像如图 5 所示。点目标像的距离向宽度(单边)约为 0.6 mm, 方位向(全)宽度约为 2 mm, 而天线孔径为 φ1 mm, 因此与理论预测相近^[3]。

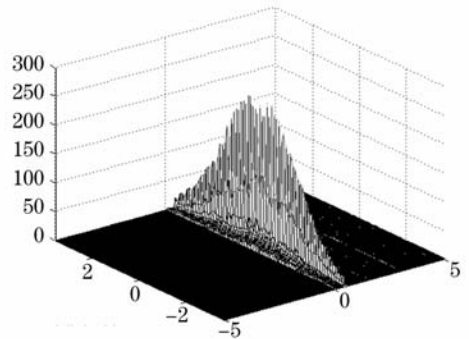


图 4 点目标的距离方向聚焦成像

Fig. 4 Focused image of a point target in the range direction

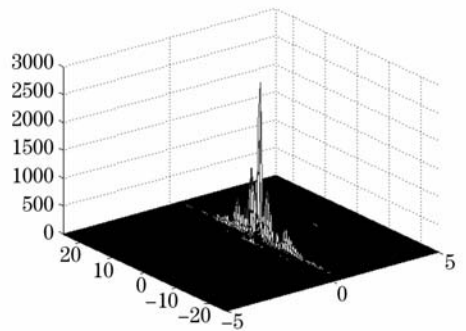


图 5 点目标的二维成像图

Fig. 5 2D image of a point target

本实验实现了一个目标点的方位向和距离向同时二维孔径相干合成成像,解决了 SAIL 空间光学,时间光学和图像处理等方面的核心技术。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 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
- 3 Liu Liren. Synthetic aperture ladar (III): Circulated duplex telescope[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1405~1410
刘立人. 合成孔径激光成像雷达(III): 双向环路发射接收望远镜[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1405~1410
- 4 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
- 5 Liren Liu. Optical antenna of telescope for synthetic aperture ladar[C]. *SPIE*, 2008, **7094**: 7094F1
- 6 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
- 7 M. Bashkansky, R. L. Lucke, F. Funk *et al.*. Two-dimensional synthetic aperture imaging in the optical domain[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(22): 1983~1985