

干涉仪激光成像原理及实验^{*}

吴 健^{**} 贺联合 彭仁军 程 莉 刘盛纲

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

【摘要】 就激光成像的成像方式而言,激光干涉仪成像比其他的成像方法有显著的优点。介绍了激光干涉仪成像的基本原理和实验室的初步实验。研究工作证明,激光干涉仪成像在原理上是可行的,并有可能成为激光成像领域的一种新手段。

关键词 干涉仪; 激光雷达; 成像; 全息术

中图分类号 O434.14

干涉仪成像方式与激光扫描成像或激光照明焦平面成像方式有很大的不同。它利用激光的相干性,在监视空域形成相干条纹。当运动目标进入条纹区域时,目标上的每一个散射点将条纹强度的空域分布特性转换成时域上的回波信号序列,不同位置散射点的信号可以从回波信号序列形式或相位加以区别。因此,对回波信号经过一定程序的处理,就可以还原出目标的散射点的分布及它们各自的散射强度。激光干涉仪成像目前尚在发展之中,如能完善并投入使用,则同其他的成像方法相比,有以下显著优点:1)分辨率不受天线孔径和激光束束宽的限制,可以在远距离上实现更高的分辨率;2)成像速率优于扫描成像方式,且不需要机械扫描机构;3)接收系统使用常规单元探测器,比激光照明焦平面成像方式更简单易行。

这些优点使得在10~15km的作用距离上,用成像方式确切识别目标成为可能。激光干涉仪成像主要将在战术防御、光电对抗等军事领域发挥作用;在民用领域(如机场导航)也可能找到应用前景。

1 基本探测原理

激光干涉仪成像的基本思想源自全息成像。让我们先回顾一下全息图的形成过程。一束参考光和物光在感光胶片上形成一幅全息照片,当用参考光照明全息照片时,就能再现物像。根据全息的原理,照片上的任意一小部分都包含物光的全部信息。因此,沿照片上的任一直线切下一窄条,它仍能再现物像。如果物光是点光源,则再现的物像为一个点。

如果在原来全息胶片的位置上,换成一个沿胶片平面的一条直线运动的探测器,探测器就能把全息条纹在沿运动方向的空间分布转换成时间信号序列。从全息图形成的原理出发,这个时间序列中显然包含着物光的信息。通过一定的计算程序,必然能还原物像。如果物光是点光源,则还原物像也为一个点。

“一个点”意味着物光源是一个点光源,它在到达探测平面时,可以看作为球面波。由此,探测平面上的全息图实际上是球面波和参考光形成的干涉条纹。如果用一个强散射点取代探测器,并将探测器置于参考光源的近旁。当强散射点在干涉条纹中运动时,它将干涉条纹的信息顺序向各处散射,探测器仍然可以接收到干涉图信息的时间序列,与探测器直接探测的时间序列是相同的。

2 成像原理及计算机数值模拟

“一个点”显然不是图像,图像需要有众多点阵所组成。一个物体通常会有多个强散射点,它在干涉场中运动时,会出现什么情况?我们以迈克尔逊干涉仪产生的等倾条纹为例来说明。

迈克尔逊干涉仪条纹形状呈现为一系列同心环,其间隔随直径的增大而越来越密,当“一个点”的散射目标沿通过干涉场中心的直线自左向右运动时,它的散射强度的时间序列类似一个调频波,在中心点左面,频率由高到低;而在中心点右面,频率由低到高。其数学表达已有文章论述^[1]。一个计算机的数值模拟如图 1 所示。经过一定的程序运算,还原的“点”强度如图 2 所示。

如果目标在沿运动方向的直线上有两个以上散射点,它们的散射回波在强度序列上是相似的,只是在相位上有一个时延,时延的数值取决于散射点的间距和目标运动的速度。通过一定的措施,可以忽略它们在探测平面上的干涉效应^[2],则在探测器的响应中,各散射点的散射强度表现为强度相加。图 3 和图 4 给出了计算机上模拟的两个散射点的接收信号的强度相加的波形和它们还原后的“点”强度。

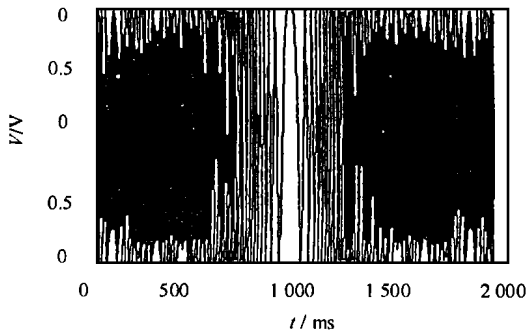


图 1 回波信号的数值模拟

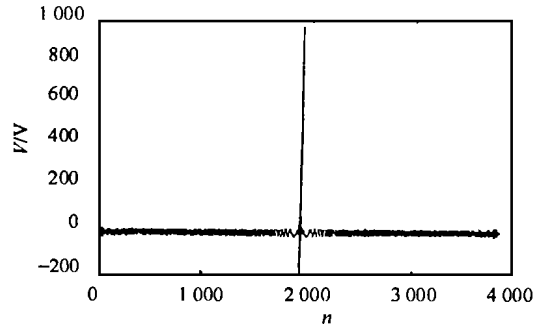


图 2 数值模拟的回波信号的还原

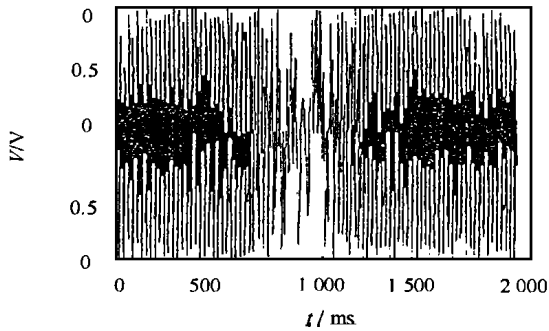


图 3 两个目标时的回波信号模拟

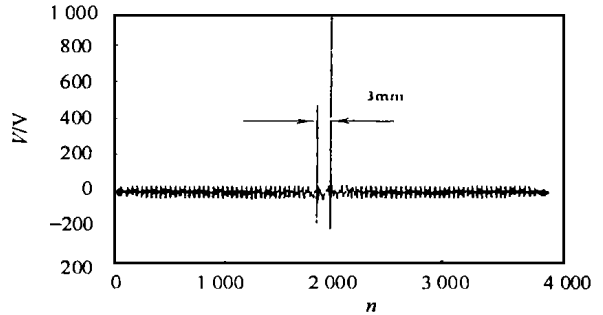


图 4 图 3 信号的还原

目标的各散射点不在沿运动方向的同一直线上时,各散射点所散射的回波强度序列之间失去了相似性,其特征依直线之间的距离而有所不同^[3]。此时,散射点分布的还原算法的复杂性大大增加,尚需进一步作大量的工作。

从全息原理来看,在目标为多个散射点组成时,每个散射点的散射强度中,都包含了同一个‘物点’的信息。以在运动直线上的两个点的情况为例,两个有一定时延的回波的强度相加波形,等效于一个散射点在这样一个全息干涉场中运动所产生的散射回波序列:这个全息干涉场是由两个相距一定间隔的‘物点’和参考光产生的。从这一观点出发,对激光干涉仪成像还原算法的研究,可能对全息照片的计算机读出会有所启发。

3 原理性实验结果

为验证上述想法,我们设计并进行了一个原理性实验。实验安排如图 5 所示。干涉场用 He-Ne 激光器通过迈克尔逊干涉仪形成;目标安置在一个蜗轮蜗杆装置上,蜗轮蜗杆由直流电机带动,从而带动安装目标的装置沿导轨作匀速运动。目标由带有穿透孔的金属片和接在其后的一个探测器组成;穿透孔的直径很小(0.2 mm),在干涉场中运动时,通过穿透孔的光强可以认为完全反映了

干涉场的光强分布。我们用它们来代表雷达目标的散射点, 用透射光强来取代散射光强。无论透射光强还是散射光强, 它们在探测器中响应出的时间序列都是相同的, 都能从原理上说明问题。而透射光的强度要比散射光强得多, 利用透射光可使实验装置简化, 实验费用大大减少。实验中, 采用了单孔和双孔两种目标片。

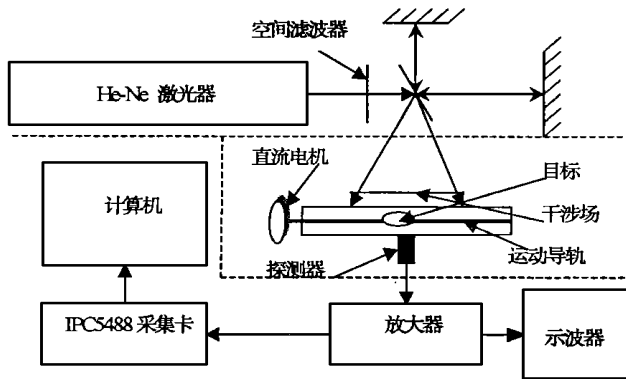


图 5 实验安排示意图

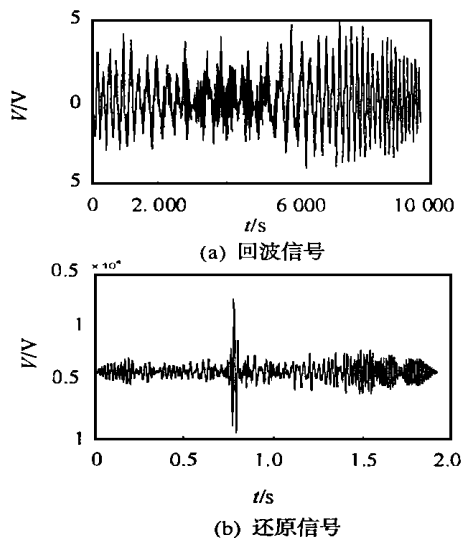


图 6 单点目标的实验

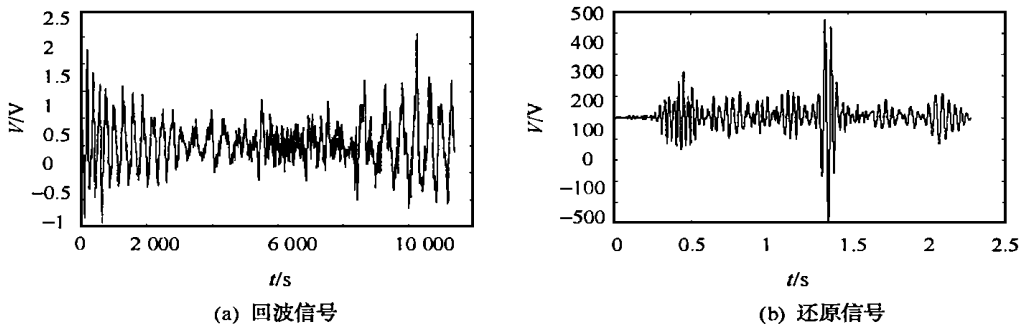


图 7 双点目标的实验

透过穿透孔的光强在探测器上产生响应, 形成的时间信号波形经放大后, 由 IPC5488 采集卡采集数据, 转换成时间序列并送入计算机处理。处理的方法请参看文献^[4]。实验结果分别示于图 6 与图 7。实验所用的干涉场的有效宽度为 50 mm, 目标通过时间为 22.3 s, 采样点数为 11 421 个。图 6 是单孔目标时, 探测器接收到的时间信号波形和经过计算机处理后的代表单点目标的脉冲。图 7 则是双孔目标时, 探测器接收到的时间信号波形和经过计算机处理后的代表双点目标的双脉冲。目标孔的间距为 2 mm, 处理后, 计算双脉冲代表的间距为 2.014 mm。从处理的结果来看, 用激光干涉场作为照明场, 完全可以还原运动目标的散射点图像分布。

4 结论

本文研究了干涉仪激光成像的基本原理, 并设计了原理性的实验, 从原理和实验两方面证明了干涉仪激光成像的可能性。当然, 要使其实用化, 还有很多理论和技术上的问题需要解决, 如在理论上需解决: 1) 横向分辨率的理论极限以及它与作用距离的关系, 干涉仪激光成像的距离方程; 2) 离散目标和连续目标的成像算法; 3) 综合测距、测速和成像的信号综合设计; 4) 不同散射点散射回波之间的干涉效应及大气湍流对成像质量的影响。在技术上需解决: 1) 形成远距离干涉场的光学

系统; 2) 成像算法的硬件实现; 3) 显示方式及其实现; 4) 作用距离的实验估测。

另外, 激光干涉仪成像最重要的两个特征指标, 是在作用距离上的横向分辨率和数据更新速率。只有在这两个指标上有所突破, 才有可能在众多的激光探测手段中占据一席之地。

参 考 文 献

- 1 贺联合, 吴 健, 刘盛纲. 一维运动物体在干涉场中的成像. 光学学报, 1998, 18(11): 1 582~1 587
- 2 Gross R A. Synthetic aperture laser Radar. AD-D012711, 1987
- 3 Scholl Marija S. Laser agile illumination for object tracking and classification feasibility study. SPIE, 1988, 887: 107~114
- 4 贺联合. 干涉仪激光成像技术研究. [学位论文]. 成都: 电子科技大学, 1998

Principle and Experiment of Interference Imaging Lidar

Wu Jian He . Lianhe Peng Renjun Cheng Li Liu . Shenggang
(Institute of Applied Physics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper reports the jobs of some authors in the recent three years, which include the basic principle and the primary bread-board experiment of the laser interference imaging lidar. It is shown that the laser interference imaging lidar is principally feasible and is quite possible to be a new ways in the area of the laser imaging since it has evident advantages comparing with traditional methods.

Key words interference; lidar; imaging; holography

·科研成果介绍·

微波实验计算机全面辅助教学法

主研人员 范光泉 汤炎灿

微波实验教学长期沿用传统教学法, 实验教学质量得不到保证, 本课题正是研究能确保实验教学质量, 减轻学生课后负担并提高实验兴致的教学方法。

该项成果提出的微波实验计算机全面辅助教学法(CCAD)模式立意新且全面。通过把握和控制实验技能训练、测试知识学习, 数据处理和完成报告等主要教学环节的教学质量, 当场完成上述教学环节, 达到提高实验的教学水平与质量, 增强学生做实验的积极性和减轻其课后负担的目的。软件采用 VB 编制, 界面友好美观, 功能灵活齐全, 且具容错性, 学生当场处理测试数据, 程序根据所设阈值能给出是否重测的提示。实验报告完整、正规, 问题随机产生, 可重选, 附标准答案, 教师可即席评阅报告, 并对测试数据进行回归分析, 计算机指导调配提高了教学水平。

该微波实验 CCAI 软件系统操作方便, 实用性强, 起到了提高实验教学水平和质量的作用, 在高等学校微波实验教学的计算机应用方面属国内领先水平, 具有较好的社会效益、潜在的经济效益和推广应用价值。

·科 下·