

基于鬼成像进行复杂环境下的目标探测研究

李 转, 朱泽亚, 叶 开, 王世强, 王玉浩

陆军装甲兵学院基础部, 北京

收稿日期: 2023年4月3日; 录用日期: 2023年5月22日; 发布日期: 2023年5月30日

摘 要

鬼成像又称关联成像, 是一种新奇的成像技术。本文就是基于热光鬼成像创新实验进行复杂环境下的目标探测研究。基于改进后的实验设备, 分别以不同颜色透光物体作为障碍物、以粘稠液体为障碍物、以烟雾作为障碍物、以旋转毛玻璃作为动态障碍物、以及强光照射物体时的鬼成像来研究鬼成像在复杂环境下的抗干扰能力, 为鬼成像技术在复杂环境下的目标探测提供方式和依据。本研究将量子光学中最前沿的研究成果作为创新实验引入教学, 激发学生的学习兴趣, 促使学生探索鬼成像在工程、军事、生活等方面的实际应用。

关键词

鬼成像, 创新实验, 目标探测, 抗干扰

Research on Target Detection in Complex Environment Based on Ghost Imaging Experiment

Zhuan Li, Zeya Zhu, Kai Ye, Shiqiang Wang, Yuhao Wang

Basic Education Department, Army Academy of Armored Forces, Beijing

Received: Apr. 3rd, 2023; accepted: May 22nd, 2023; published: May 30th, 2023

Abstract

Ghost imaging, also known as correlation imaging, is a novel imaging technology. This paper is based on the innovative experiment of thermal ghost imaging for target detection in complex environments. Based on the improved experimental equipment, the anti-interference ability of ghost imaging in complex environments is studied by taking different color transparent objects as obstacles, viscous liquids as obstacles, smoke as obstacles, rotating ground glass as dynamic obstacles,

文章引用: 李转, 朱泽亚, 叶开, 王世强, 王玉浩. 基于鬼成像进行复杂环境下的目标探测研究[J]. 传感器技术与应用, 2023, 11(3): 286-291. DOI: 10.12677/jsta.2023.113032

and ghost imaging when objects are illuminated by strong light, respectively. It provides methods and basis for ghost imaging technology to detect targets in complex environments. In this study, the cutting-edge research achievements in quantum optics are introduced into teaching as innovative experiments. This will not only stimulate students' interest in learning, but also stimulate students to explore the practical application of ghost imaging in engineering, military, life and other aspects.

Keywords

Ghost Image, Innovation Experiment, Target Detection, Anti-Interference

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

热光关联成像又称鬼成像[1][2],是一种新奇的成像技术。从光源发出的光被分束器分成两束,信号光经过待测物体后,由探测器进行桶探测,闲置光经过不含物体的光路,由探测器记录光强的空间分布信息,再将两探测器进行强度关联测量,通过计算重现目标物体。由于有空间分辨能力的探测器接收的光束不通过物体,这在传统光学中是不可能成像的,也正是鬼成像技术吸引人的地方。

2007年北京师范大学熊俊老师将热光鬼成像引入到近代物理实验教学当中[3],2016年我校也将热光鬼成像引入创新实验室,这为学生更好的了解最前沿的科学研究技术提供了环境,为培养学生的研究兴趣和创新能力提供了平台[4][5]。

由于鬼成像对目标信息采用桶探测的方式,只收集通过目标物体的光强而不是空间分布信息,理论上说,不管路径中的障碍物是水、是云、是雾,相对于经典的成像方式,它们对鬼成像效果影响要小很多,因此我们不满足于原有的热光鬼成像创新实验平台的验证试验,更希望能够利用鬼成像进行复杂环境下的目标探测研究,为鬼成像技术运用于复杂战场环境,侦察敌情、发现目标、探测目标提供新的方式方法。

2. 设计原理与方法

2.1. 热光鬼成像实验装置

热光鬼成像实验装置如图1所示[2]。用波长为650 nm的激光通过两偏振片P1、P2,入射到旋转的毛玻璃G上,形成空间非相干的扩展热光源,再经过50/50的分束器BS后被分成两束:其中透射光束传播一段距离后照亮物体T,透过物体的光经透镜L会聚再被CCD1全部接收,CCD1与透镜L共同构成桶探测器,实验中是将CCD1被照亮区域内所有像素点的灰度值累加起来作为其输出强度;反射光束自由传播一段距离后直接被CCD2探测。将探测结果在计算机上进行符合运算,可再现物体的像。

鬼成像过程中,对任何单路光的强度测量均得不到有关物体完整的信息;符合测量的空间分辨部分是在参考光路中进行的,而参考光路中并没有物体,物体放置于信号光路,而对信号光路只执行桶测量。鬼成像的这一诡异的成像特点激发了我们的研究兴趣,既然是桶探测,只收集光强信息,那么物体和桶探测器之间的干扰物是否会影响成像效果?鬼成像是否具有抗干扰能力?这种抗干扰能力的研究可能会提高复杂环境下的目标探测能力,这种研究是有意义的。

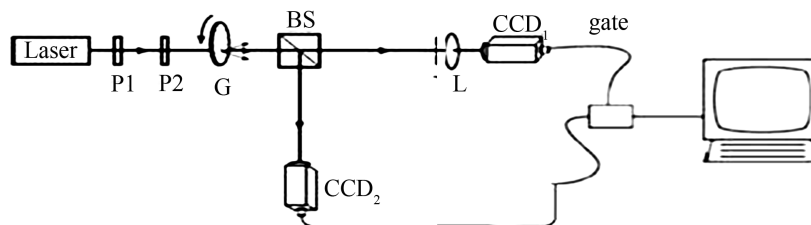


Figure 1. The experimental setup for the ghost imaging
图 1. 鬼成像实验装置

2.2. 改进后的计算鬼成像

图 1 的实验对外界环境的要求较高, 实验几乎是在暗室的环境进行的, 要想更好的获得鬼成像图像, 需要 CCD 探测器具有高的时间和空间分辨能力, 对实验设备的要求高, 且不利于鬼成像的实际应用。改进后的实验采用 Stephen 等人的方案[6] [7], 搭建了计算鬼成像的实验平台。

光源信息是事先采集好存储在电脑中的, 光路中没有任何的透镜甚至是一片镜子, 更适合实际应用。实验中可在物体与桶探测器之间放置不同类型的障碍物。

3. 实验仪器与装置

实验仪器: 电脑、投影仪、成像物体、光电二极管 NIUSB-6009 数据采集卡。

实验过程: 首先在物体与桶探测器之间放置不同类型的障碍物, 然后把事先做好的二维散斑图作为光源信息存储在电脑里, 通过投影仪透射在物体上, 在反射光路上用光电二极管作为桶探测器收集反射回来通过障碍物之后的光强, 再通过信息采集卡转化成为数字信号存起来, 最后进行符合计算即可以呈现物体的像。

4. 实验内容

基于改进后的实验设备, 分别以不同颜色透光物体作为障碍物、以粘稠液体为障碍物、以烟雾作为障碍物、以旋转毛玻璃作为动态障碍物、以及强光照射物体时的鬼成像来研究鬼成像在复杂环境下的抗干扰能力, 为鬼成像技术在复杂环境下的目标探测提供方式和依据。

4.1. 以不同颜色的透光障碍物时的鬼成像

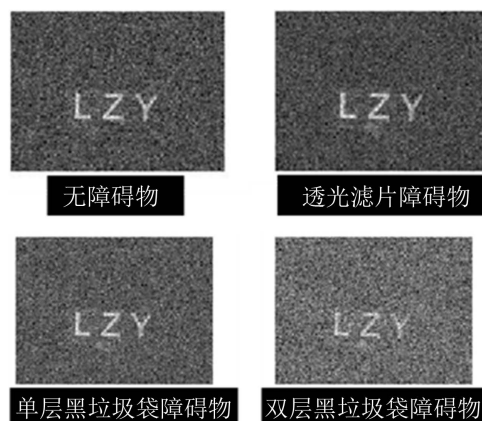


Figure 2. The ghost imaging experimental results by taking different color transparent objects as obstacle
图 2. 以不同颜色透光障碍物时的鬼成像实验结果图

首先用实验室绿色和红色的透光玻璃板进行实验，玻璃板的颜色并没有对成像结果产生影响，如图 2 右上图所示。然后使用黑色垃圾袋作为障碍物进行实验，使用超市里买的家用的普通黑色垃圾袋，隔着垃圾袋用眼睛无法看到物体，用相机也不可能拍到，但实验结果显示用鬼成像的方法完全可以呈现出清晰的像，如图 2 下面两图所示。用单层的、双层的垃圾袋做实验，都能成清晰的像，双层的黑色垃圾袋使成像质量略受影响。但用四层垃圾袋时成像就很模糊，我们分析影响成像效果的不是颜色而是透光率。因为采用的是桶探测，这样障碍物的颜色及光的散射等对强度的影响不大，所以几乎不影响成像效果，这一点与传统的成像方式不同。

4.2. 以强光照射物体时的鬼成像

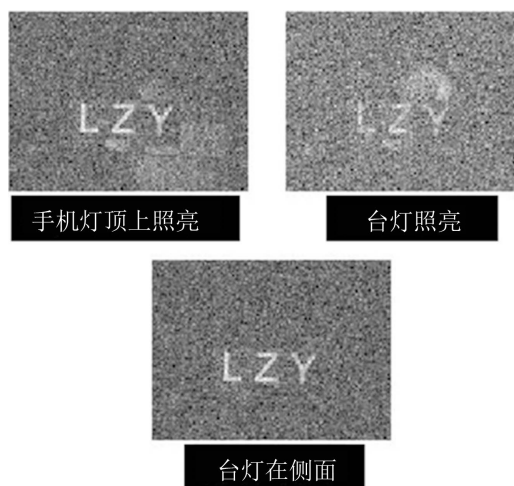


Figure 3. The ghost imaging experimental results as the object illuminated by strong light

图 3. 以强光照射时的鬼成像实验结果图

图 3 是用辅助光源测试了抗光干扰能力，首先用手机灯在字的上端照亮字，可以看到鬼成像几乎没有受到任何影响。进一步换用台灯照亮，当把台灯放置在侧面，使灯光照在物体上时，成像效果清晰而无变化；当把台灯放置在物体正上方，和物体一起成像时，可以看到物体仍能呈现相对清晰的像，而且是包含物体和台灯的像。

4.3. 以粘稠液体为障碍物时的鬼成像



Figure 4. The ghost imaging experimental results by placing viscous liquids as obstacles

图 4. 以粘稠液体为障碍物时的鬼成像实验结果图

图 4 是以半透明的粘稠的洗发水作为障碍进行实验，因为瓶子是有颜色的，洗发水非常粘稠，瓶子上有字和图案且凹凸不平(是关于洗发水的使用说明)，且透过瓶子用眼睛或者照相机根本看不到任何东西，我们当时预测鬼成像也不一定能成像，但实验结果显示用鬼成像的方式使成像质量几乎不受任何影响，由此实验结果可以很明显的表现出鬼成像对于苛刻条件的视线条件有着很强的优越性。

4.4. 以烟雾作为障碍物时的鬼成像



Figure 5. The ghost imaging experimental results by placing smoke as obstacles
图 5. 以烟雾为障碍物时的鬼成像实验结果图

实验室里用艾灸条燃烧制造烟雾作为障碍物硝烟弥漫的战场进行实验。用一个带盖子的塑料盒(20 cm × 13 cm × 12 cm)，里面铺上沙，把灸条点着至于盒内，盖上盖子，并密封，盒子里便充满了烟雾。可以用放入灸条根数的多少制造不同浓度的烟雾，如图 5 所示。图 5 右图分别表示在烟不太浓(2 根灸条两头点燃)、烟很浓(4 根灸条两头点燃)分别采集 10,000 帧时的成像。随着采集帧数的增加成像效果会更好。

实验情况看，当有 2 根灸条时就几乎看不清物体了，隔着烟雾无法拍照，但是用鬼成像的方式还可以呈现比较清晰的像，并且随着采集帧数的增加，成像效果会越好，在浓烟滚滚的情况下，可以用增加采集帧数的方式对成像效果进行弥补。

4.5. 动态障碍物时的鬼成像

前面的实验都是用静态障碍物，图 6 是旋转的毛玻璃作为动态障碍物时的鬼成像。实验过程中我们发现在采集帧数相同的情况下，随着毛玻璃转速的加快成像清晰度降低，不过增加采集帧数可以弥补这一问题。显然由于毛玻璃对光的吸收、散射等使得隔着毛玻璃照相这种普通的成像方式无法实现的，但利用鬼成像几乎都不产生影响。



Figure 6. The ghost imaging experimental results by placing rotating ground glass as dynamic obstacles
图 6. 以旋转毛玻璃为动态障碍物时的鬼成像实验结果图

通过以上实验分析得到影响鬼成像效果的因素不是颜色、不是障碍物的折射率、色散、也不是障碍物的运动速度，而是透光率。因为采用的是桶探测，这样只要障碍物的颜色、折射率、色散、速度等对强度的影响不大，就几乎不会影响到成像效果，这一点与传统的成像方式不同。但是如果光穿透不了，探测器收集不到光强，就不能成像了。上述实验充分说明鬼成像确实具有在复杂环境下的抗干扰能力，这为鬼成像技术在复杂环境下的目标探测提供方式和依据。

5. 结论

本文将量子光学中最前沿的研究成果热光鬼成像作为创新实验引入教学，搭建了新的实验平台进行复杂环境下的目标探测研究，分别以不同颜色透光物体作为障碍物、以粘稠液体为障碍物、以烟雾作为障碍物、以旋转毛玻璃作为动态障碍物、以及强光照物体进行鬼成像实验，研究表明，相对于传统的成像方式，鬼成像确实具有在复杂环境下的抗干扰能力。这一研究既能激发学生的探究兴趣，培养其探索创新精神，又为鬼成像技术运用于复杂战场环境，侦察敌情、发现目标、探测目标提供了新的方式方法。

参考文献

- [1] 高超. 鬼成像质量影响因素的研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 长春理工大学, 2019.
- [2] 李转, 王俊玲, 许永晗, 等. 静态可透光障碍物对鬼成像影响的实验研究[J]. 量子光学学报, 2014, 20(3): 214-217.
- [3] 熊俊. 近代物理实验[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 422-429.
- [4] 张凤琴, 林晓珑, 王道. 创新人才培养下的大学物理实验教学改革研究[J]. 大学物理, 2017, 36(3): 36-39.
- [5] 刘江涛, 童红, 李伟民, 等. 在多媒体教室中实现热光鬼成像[J]. 大学物理, 2018, 37(3): 44-47.
- [6] 王肖霞, 陶勇, 杨风暴, 等. 基于多散斑图组合-调制的鬼成像优化方法[J]. 光子学报, 2020, 49(12): 232-242.
- [7] Stephen, S.W., Matthew, P.E., Richard, B., *et al.* (2013) Fast Full-Color Computational Imaging with Single-Pixel Detector. *Optics Express*, **21**, 23068-23074. <https://doi.org/10.1364/OE.21.023068>