

Extended Research Based on High-Order Correlation Imaging

Zhuan Li, Chunmei Liu, Junling Wang

Basic Education Department, Army Academy of Armored Forces, Beijing
Email: lizhuan1979@hotmail.com

Received: Sep. 30th, 2018; accepted: Oct. 8th, 2018; published: Oct. 15th, 2018

Abstract

Using the method of high-order correlation imaging, the image of multiple scattered objects in the same place is achieved, and the ghost imaging puzzle is realized. Bucket detection is taken to determine the similarity between the detected object and the reference object by measuring the intensity correlation between the two detectors, which provides a theoretical way of realizing object recognition.

Keywords

High-Order Correlation Imaging, Bucket Detection, Jigsaw, Object Recognition

基于高阶关联成像的拓展研究

李 转, 刘春梅, 王俊玲

陆军装甲兵学院基础部, 北京
Email: lizhuan1979@hotmail.com

收稿日期: 2018年9月30日; 录用日期: 2018年10月8日; 发布日期: 2018年10月15日

摘 要

利用高阶关联成像的方法, 对多个分散物体在同一处成像, 实现鬼成像拼图的方案; 利用符合测量的方式, 通过对两探测器强度关联涨落的测量, 判定待检测物体与参考目标物体的相同程度, 理论上提供了一种实现目标识别的方法。

关键词

高阶关联成像, 桶探测, 拼图, 目标识别



1. 引言

鬼成像是基于光场的二阶关联效应的一种新的成像方式，其令人惊奇之处在于获得物体的像的过程中，物体和像不在同一光路中，是一种非定域成像方式，受到国内外学者的广泛关注，很多学者对鬼成像都做了大量的工作[1] [2] [3]。三阶关联成像、四阶关联成像等高阶关联成像也都取得了一定的进展[4] [5] [6] [7] [8]。人们利用三阶关联成像可以实现一个物体在不同位置处呈两个像，利用四阶关联成像可以实现一个物体在不同位置处呈三个像的情况。近期，笔者对高阶关联成像方案进行了拓展研究，发现利用三阶关联成像的方法，还可以实现两个物体同时在一处鬼成像，利用四阶关联成像的方法，就可以实现三个物体同时在一处鬼成像，从而找到了对多个分散物体同时在一处成像的方案，实现了鬼成像拼图。在计算过程中还发现利用符合测量的方法，采用光学原理还能实现目标识别[9] [10]。

2. 鬼成像拼图

2.1. 两个物体的鬼成像拼图

图1是利用三阶关联成像方案上实现两个物体的鬼成像拼图。设T1和T2是分散在不同地方的两个物体，此方案的目的是要把两个物体同时在一处成像。空间非相干的扩展热光源发出的光经过分束器BS后被分成两束：其中透射光束传播一段距离后照亮物体T1，用桶探测器D1进行桶探测；反射光束又被分束器BS后被分成两束，一束传播一段距离后照亮物体T2后用桶探测器D2进行桶探测；另一束自由传播一段距离后直接被D3探测，然后把探测结果在计算机上进行符合测量。

设光源处光场为 $E_s(\vec{r}_s)$ ，用 $E_1(\vec{r}_1)$ ， $E_2(\vec{r}_2)$ 分别表示物体前的光场，用 $E_3(\vec{r}_3)$ 表示探测面D3上的光场；T1、T2分别表示两光路中放置的物体的空间分布函数。用探测器D1、D2分别进行桶探测，因此D1、D2、D3的测量的瞬时信号强度为[2]

$$\begin{aligned} I_j &= \int T_j^2(\vec{r}_j) E_j^*(\vec{r}_j) E_j(\vec{r}_j) d\vec{r}_j, j=1,2 \\ I_3(\vec{r}_3) &= E_3^*(\vec{r}_3) E_3(\vec{r}_3), \end{aligned} \quad (1)$$

因此三路信号的三阶关联测量函数为

$$G^{(3,3)}(\vec{r}_3) = \langle I_1 I_2 I_3(\vec{r}_3) \rangle = \left\langle \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_2) E_1^*(\vec{r}_1) E_2^*(\vec{r}_2) E_3^*(\vec{r}_3) E_3(\vec{r}_3) E_2(\vec{r}_2) E_1(\vec{r}_1) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \right\rangle, \quad (2)$$

式中已将物体看作是振幅型分布。考虑到热光涨落满足各态历经条件，公式中的积分和系综平均可以交换顺序，则

$$G^{(3,3)}(\vec{r}_3) = \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_2) G^{(3,3)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2, \quad (3)$$

其中

$$G^{(3,3)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3) = \langle E_1^*(\vec{r}_1) E_2^*(\vec{r}_2) E_3^*(\vec{r}_3) E_3(\vec{r}_3) E_2(\vec{r}_2) E_1(\vec{r}_1) \rangle. \quad (4)$$

由于热光场满足高斯统计，根据高斯矩定理，高阶矩总是可以用一阶矩的积表示，公式(4)展开为

$$\begin{aligned} G^{(3,3)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3) &= \langle I_1(\vec{r}_1) \rangle \langle I_2(\vec{r}_2) \rangle \langle I_3(\vec{r}_3) \rangle + \langle I_1(\vec{r}_1) \rangle \left| \langle E_2^*(\vec{r}_2) E_3(\vec{r}_3) \rangle \right|^2 + \langle I_2(\vec{r}_2) \rangle \left| \langle E_1^*(\vec{r}_1) E_3(\vec{r}_3) \rangle \right|^2 \\ &+ \langle I_3(\vec{r}_3) \rangle \left| \langle E_1^*(\vec{r}_1) E_2(\vec{r}_2) \rangle \right|^2 + [\langle E_1^*(\vec{r}_1) E_2(\vec{r}_2) \rangle \langle E_2^*(\vec{r}_2) E_3(\vec{r}_3) \rangle \langle E_3^*(\vec{r}_3) E_1(\vec{r}_1) \rangle + c.c.], \end{aligned} \quad (5)$$

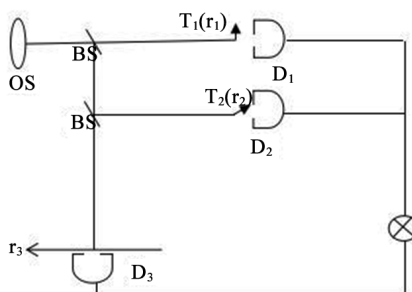


Figure 1. The ghost imaging puzzle for two objects
图 1. 两个物体的鬼成像拼图方案

其中, $\langle I_j(\vec{r}_j) \rangle = \langle E_j^*(\vec{r}_j) E_j(\vec{r}_j) \rangle, j=1,2,3$ 。

在计算光场互关联 $\langle E_i^*(\vec{r}_i) E_j(\vec{r}_j) \rangle$ 时, 虑及热光源场关联[2]

$$\langle E_s^*(\vec{r}_s) E_s(\vec{r}_s') \rangle = I_s \delta(\vec{r}_s - \vec{r}_s'), \quad (6)$$

和大面积光源假设, 可得

$$\langle E_i^*(\vec{r}_i) E_j(\vec{r}_j) \rangle = I \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j). \quad (7)$$

由公式(3)、(6)、(7)得

$$\begin{aligned} G^{(3,3)}(\vec{r}_3) = & I^3 \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_2) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 + I^3 T_2^2(\vec{r}_3) \int T_1^2(\vec{r}_1) d\vec{r}_1 \\ & + I^3 T_1^2(\vec{r}_3) \int T_2^2(\vec{r}_2) d\vec{r}_2 + I^3 \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_1) d\vec{r}_1 + 2I^3 T_1^2(\vec{r}_3) T_2^2(\vec{r}_3), \end{aligned} \quad (8)$$

以上计算中考虑到热光强度分布是均匀的, 则 $\langle I(r_j) \rangle = I, j=1,2,3$. 用 $S_1 = \int T_1^2(\vec{r}_1) d\vec{r}_1$ 表示物体 1 的面积, $S_2 = \int T_2^2(\vec{r}_2) d\vec{r}_2$ 表示物体 2 的面积, $S_{12} = \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_1) d\vec{r}_1 = \int T_1^2(\vec{r}_2) T_2^2(\vec{r}_2) d\vec{r}_2$ 表示两物体乘积的面积, 则(8)式整理后得

$$G^{(3,3)}(\vec{r}_3) = I^3 [S_1 S_2 + S_{12} + S_2 T_1^2(\vec{r}_3) + S_1 T_2^2(\vec{r}_3) + 2T_1^2(\vec{r}_3) T_2^2(\vec{r}_3)], \quad (9)$$

其中第一项表示两物体面积的乘积, 第二项表示两物体乘积的面积, 这两项形成背景, 第三项是对第一个物体的鬼成像, 第四项是对第二个物体的鬼成像, 这两项在探测平面 D3 处形成两物体像的叠加, 第五项是两鬼像的乘积, 是对两物体像的重叠部分的加强。从而用这种方式实现了对两物体的鬼成像拼图。

2.2. 三个物体的鬼成像拼图

图 2 是三个物体的鬼成像拼图方案。T1、T2 和 T3 是分散的三个物体, 探测器 D1、D2、D3 分别进行桶探测, 用公式(1)~(7)的假设及推到方法, 得到四阶关联测量函数为

$$G^{(4,4)}(\vec{r}_4) = I^4 \begin{bmatrix} S_1 S_2 S_3 + S_1 S_{23} + S_2 S_{13} + S_3 S_{12} + 2S_{123} + (S_{23} + S_2 S_3) T_1^2(\vec{r}_4) \\ + (S_{13} + S_1 S_3) T_2^2(\vec{r}_4) + (S_{12} + S_1 S_2) T_3^2(\vec{r}_4) + 2S_1 T_2^2(\vec{r}_4) T_3^2(\vec{r}_4) \\ + 2S_2 T_1^2(\vec{r}_4) T_3^2(\vec{r}_4) + 2S_3 T_1^2(\vec{r}_4) T_2^2(\vec{r}_4) + 6T_1^2(\vec{r}_4) T_2^2(\vec{r}_4) T_3^2(\vec{r}_4) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$S_i = \int T_i^2(\vec{r}_i) d\vec{r}_i$ 表示物体 $i(i=1,2,3)$ 的面积, $S_{ij} = \int T_i^2(\vec{r}_i) T_j^2(\vec{r}_i) d\vec{r}_i$ 表示 i 和 j 两物体乘积的面积, $S_{123} = \int T_1^2(\vec{r}_1) T_2^2(\vec{r}_1) T_3^2(\vec{r}_1) d\vec{r}_1, i(i=1,2,3)$ 表示三物体乘积的面积。

在(10)式中, 第 1~5 项是背景项, 第 6~8 项分别对应各物体的鬼成像, 它们的和表示出在探测平面处形成的三物体鬼像的叠加, 第 9~11 项表示三个鬼像中重叠部分的两两加强, 第 12 项表示三物体鬼像共同重叠部分的加强。从而用这种方式实现了对三物体的鬼成像拼图。

此方案可以推广至多个物体拼图的研究。

3. 目标识别

仔细分析鬼成像拼图(9)式中各项的物理意义,发现 S_{12} 项还有更深层的意义和用途。利用它可以进行目标识别。方案如图 3 所示。

目标识别模型如图 3 所示,空间非相干的扩展热光源发出的光经过分束器 BS 后被分成两束:其中透射光束传播一段距离后照亮参考目标物体 T1,用桶探测器 D1 探测其光强;反射光束传播一段距离后照亮待检测物体 T2 后用桶探测器 D2 探测其光强,然后把两路探测结果在计算机上进行符合计算。通过符合测量两探测器强度关联的涨落来判断待检测物体与参考目标物的相同程度,从而进行目标识别。

对两个探测器进行符合测量的关联函数为

$$\langle I_1 I_2 \rangle = \langle I_1 \rangle \langle I_2 \rangle + \int \left| \left\langle E_1^*(\vec{r}_1) E_2(\vec{r}_2) \right\rangle \right|^2 d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 = \langle I_1 \rangle \langle I_2 \rangle + I_0^2 S_{12}, \quad (11)$$

$\langle I_1 \rangle$ 和 $\langle I_2 \rangle$ 分别为两探测器所测得的单路平均强度。 S_{12} 表示两物体乘积的面积,当两物体完全相同且放置位置相同时取 $S_{12} = 1$, 当两物体完全正交或者完全不同时 $S_{12} = 0$, 这种测量方式可以为进行目标识别提供方式方法。

由(11)式,两探测器强度关联的涨落为

$$\langle I_1 I_2 \rangle - \langle I_1 \rangle \langle I_2 \rangle = I_0^2 S_{12}. \quad (12)$$

从而通过实验很容易测得系数 S_{12} ,

$$0 \leq S_{12} \leq 1. \quad (13)$$

在进行目标识别时,旋转参考目标物进行多次测量,如果测得的最大值为 1,说明待检测物体与参考目标物完全相同。 K 的大小反映了待检测物体与参考目标物的相同程度。

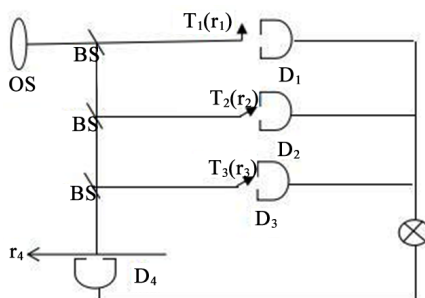


Figure 2. The ghost imaging puzzle for three objects

图 2. 三个物体的鬼成像拼图方案

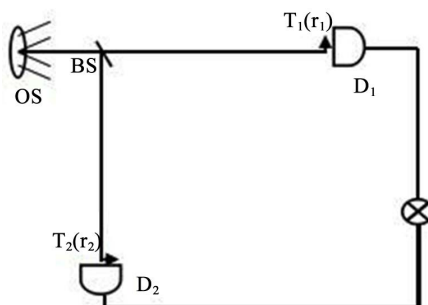


Figure 3. The model for the object recognition

图 3. 目标识别方案

4. 小结

在鬼成像应用中, 可能需要把分布于不同位置的散落的碎片拼凑起来才能看出物体的形状, 因此进行鬼成像的拼图研究是必要的。本文采用高阶关联成像的方案, 进行理论拓展研究, 提出了如何把几个分散物体同时在一处实现鬼成像拼图的方案。另外, 本文还通过符合测量为进行目标识别提供一种方式方法。结果表明: 通过对两探测器强度关联涨落的测量, 可以判定待检测物体与参考目标物体的相同程度。下一步可以进行相关的实验验证。

参考文献

- [1] Bennink, R.S., Bentley, S.J. and Boyd, R.W. (2002) Two-Photon Coincidence Imaging with a Classical Source. *Physical Review Letters*, **89**, 113601. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.113601>
- [2] 汪凯戈, 曹德忠, 熊俊. 关联光学新进展[J]. 物理, 2008, 37(4): 223-232.
- [3] Liu, X.F., Li, M.F., Yao, X.R., et al. (2013) High-Visibility Ghost Imaging from Artificially Generated Non-Gaussian Intensity Fluctuations. *AIP Advances*, **3**, 052121. <https://doi.org/10.1063/1.4807655>
- [4] 欧丽华. 二阶和三阶关联成像理论研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2007.
- [5] Chan, K.W., Sullivan, M.N. and Boyd, R.W. (2009) High-Order Thermal Ghost Imaging. *Optics Letters*, **34**, 3343-3345. <https://doi.org/10.1364/OL.34.003343>
- [6] Liu, H.-C. and Xiong, J. (2013) Properties of High-Order Ghost Imaging with Natural Light. *Journal of Optical Society of America A*, **30**, 956-961. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.30.000956>
- [7] Chen, X.-H., Wu, S.-S., Wu, W., et al. (2014) An Improved Algorithm to Reduce Noise in High-Order Thermal Ghost Imaging. *Journal of Optical Society of America A*, **31**, 2105-2108. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.002105>
- [8] Cao, D.-Z., Li, Q.-C., Zhuang, X.-C., et al. (2018) Fractional-Order Correlation Imaging with Thermal Light. arxiv:1801.04680v1.
- [9] Zhang, S.-Z., Song, H.-L., Xiang, X.-Y., et al. (2010) Fast SIFT Algorithm for Object Recognition. *Computer Systems & Applications*, **19**, 82-85.
- [10] Wang, P., Gao, Y.-H., Li, B., et al. (2012) Technology of Detection and Recognition of Laser Imaging Radar Space Target. *Modern Defence Technology*, **40**, 31-36.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: app@hanspub.org