

文章编号: 1001-3806(2009)04-0419-03

## 高清晰度粒子全息再现像的获取方法

曹娜<sup>1</sup>, 徐青<sup>1</sup>, 曹亮<sup>1</sup>, 崔广斌<sup>1</sup>, 薛军<sup>2</sup>, 马继明<sup>1</sup>, 张占宏<sup>1</sup>

(1. 西北核技术研究所, 西安 710024; 2. 西安武警学院 物理系, 西安 710012)

**摘要:** 为了掌握同轴粒子场全息诊断中再现系统参量, 如放大率、光强、图像采集设备及背景光等因素对粒子再现像质量的影响, 开展了系列的实验研究。由实验可知, 调节再现光的强度, 使背景光强尽量接近 CCD 阈值下限, 可以得到背景噪声均匀、再现清晰度高的图像; 而对于粒径在  $20\mu\text{m}$  以下的较小粒子及具有一定放大率的再现系统, 则需要通过适当增加再现光强度来得到高清晰度的图像; 保持实验室的暗背景环境对图像采集是非常有利的。结果表明, 此方法可以在粒子场全息再现过程中获得高清晰度粒子再现像。

**关键词:** 全息; 粒子再现像; 实验; 光强; 图像

中图分类号: O438.1

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1001-3806.2009.04.025

## Methods for obtaining high-quality reconstructed image of particles

CAO Na<sup>1</sup>, XU Qing<sup>1</sup>, CAO Liang<sup>1</sup>, CUI Guang-bing<sup>1</sup>, XUE Jun<sup>2</sup>, MA Ji-ming<sup>1</sup>, ZHANG Zhan-hong<sup>1</sup>

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China; 2. Department of Physics, Xi'an Armed Police Force Academy, Xi'an 710012, China)

**Abstract:** In order to understand the effect of the system factors, such as light intensity, magnification, CCD and background, on the reconstructed image of different diameter particles in the process of holographic reconstruction, a series of experiments were performed. The experimental results showed that, by adjusting the light intensity and making the background light intensity closed to the lower limit of CCD threshold, images with smoothing background and high definition were acquired. For particles with diameter less than  $20\mu\text{m}$  and a reconstruction system with a certain magnification, a little higher intensity of reconstruction light was needed for ideal images. It was favorable for image keeping the experimental environment dark. Results show that high quality particle images can be obtained by means of the above methods in the process of particle holographic reconstruction.

**Key words:** holography; reconstructed particle image; experiment; light intensity; image

## 引言

同轴粒子场全息技术作为一项较为成熟的实用技术, 在研究一定动态过程中微小物体的尺寸、形状、位置、速度等参量信息中有着广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。该技术除实验室应用外, 还大量应用于海洋<sup>[6]</sup>、航空<sup>[3]</sup>和航天<sup>[7]</sup>等领域。在这些研究中, 往往需要图像质量较高的再现像, 关于这方面的研究报道亦很多<sup>[5-8]</sup>, 比如, 人们关注最多的是记录过程中的曝光条件和全息干版的冲洗条件, 以此来获得质量最好的全息图。然而, 对于瞬态过程的全息诊断而言, 作为记录光源的脉冲激光器能量具有一定的不稳定性, 每一次输出的光脉冲能量有一定差别(约10%); 此外, 每一次实验中条件的变化、准直状态、元件偏心等等同样会引起全息干版曝

光能量的变化。这种由于设备自身参量的起伏或测试系统结构上的变化引起的曝光能量变化是不可避免的。当然, 对于干版过曝光或曝光不足的问题, 可以通过后期的干版冲洗条件的调节<sup>[9-10]</sup>来获得接近最佳曝光条件的要求, 同时, 还可以通过改变再现光强来得到高对比度的再现像<sup>[11]</sup>。作者对再现过程中系统参量如放大率、光强、图像采集设备的变化及背景光等因素, 对不同粒径同轴粒子全息再现像的影响进行了系统的实验研究, 得到了粒子场全息再现过程中获得高清晰度粒子再现像的实验方法。

## 1 实验系统组成

实验中所用全息图为通过1:1的4f光学系统进行像面全息记录的标准粒子板, 粒子板上按区域分布着粒径分别为  $5\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$  的圆形小粒子点阵, 实验中所观测的区域为: 均匀  $50\mu\text{m}$  点阵和依次为  $50\mu\text{m} \rightarrow 10\mu\text{m} \rightarrow 100\mu\text{m} \rightarrow 20\mu\text{m} \rightarrow 50\mu\text{m} \rightarrow 5\mu\text{m} \rightarrow 100\mu\text{m} \rightarrow 10\mu\text{m} \rightarrow 50\mu\text{m}$  的点阵。4f光学系统的中心分辨为

作者简介: 曹娜(1969-), 女, 副研究员, 主要从事脉冲全息诊断技术应用的研究。

E-mail: cnt96@vip.sina.com

收稿日期: 2008-04-25; 收到修改稿日期: 2008-07-04

7 $\mu\text{m}$ ,记录光源为532nm脉冲激光器,脉宽150ps,脉冲能量70mJ,记录方式为同轴像面全息。干版按照标准冲洗方法及时间进行处理;再现光源为半导体抽运532nm连续激光器,经扩束准直后入射到粒子板全息图上,再现的粒子像经过1:3成像物镜放大后成像在CCD灵敏面上(CCD为微视DIS-902HB型,灵敏面尺寸为795像素 $\times$ 596像素),传输到计算机进行数据存储和处理。在该实验系统上,完成了系列实验,研究了不同条件下实验系统参量对粒子再现像的影响情况,并进行了分析。

## 2 实验系统参量对再现像的影响

### 2.1 再现光强度对粒子再现像的影响

图1中给出了未经衰减的再现光照明全息图后所得的粒子再现像。由图可见,由于再现光过强,粒子像

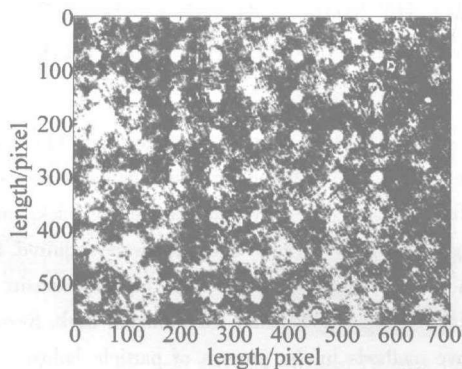


Fig. 1 The reconstructed image with the original reconstruction light intensity ( $225\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) (1 pixel corresponding to  $4\mu\text{m}$ )

强度及部分区域的杂散光强度超过了 CCD 的阈值上限,从而被视为强度值相同,导致实际强度较高的粒子像与背景混合在一起,湮没了有效的粒子信息,无法从该图像中获得粒子数据。故需要降低再现光的强度。

图2a、图2c为CCD采集的再现光强衰减11倍和780倍后所获得的再现粒子像,图2b、图2d为对应图2a和图2c中纵轴230处直线的灰度图,图2e、图2f为相应的灰度直方图。由图可见,随着再现光强度的衰减,再现像背景的灰度增加,但各处灰度值接近,起伏较小;而粒子像的灰度值远高于背景灰度,表现在图像中为背景均匀,粒子像清晰的再现像(见图2c、图2d)。从图2e、图2f可以明显看出,再现光强较强的再现图像中,粒子处于高灰度值处,该灰度值所占区域最多;背景噪声则相对集中在低灰度值处,但在整个灰度区间都有分布;而对再现光较弱的再现图像,粒子和背景噪声在灰度区间中有两个明显的峰值分布,表明随着再现光强的减弱,背景噪声中的高强度部分被急剧衰减,背景趋于均匀,而粒子像则突出在背景之中。

在不同再现光强度下,再现图像的背景噪声的统

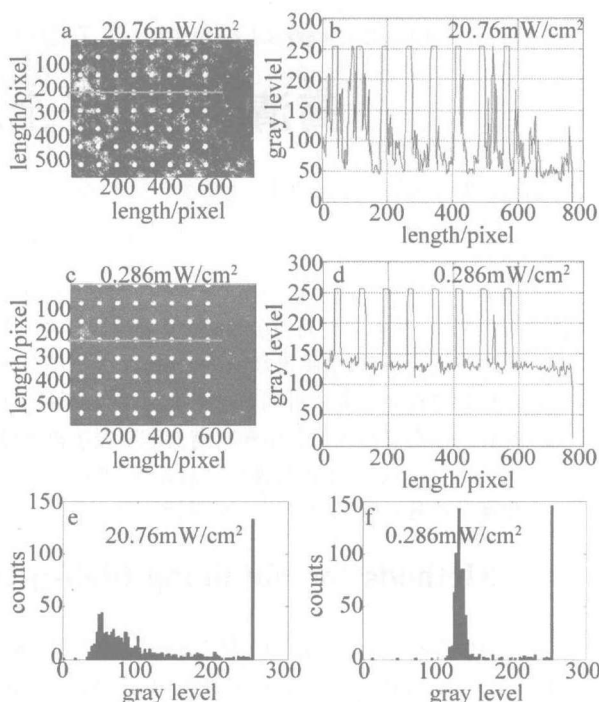


Fig. 2 The reconstructed images, intensity distribution and the corresponding gray histograms at 230 pixels line (1 pixel corresponding to  $4\mu\text{m}$ )

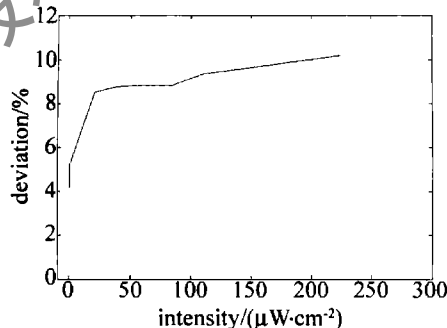


Fig. 3 Relations of the statistical deviation of the background noise and the reconstructed light intensity

计涨落均方差与再现光强度的关系曲线在图3中给出。与图2的结论一致,在CCD阈值下限附近,随着再现光强度的增加,背景光的离散程度急剧增加,噪声明显;当再现光达到一定值之后,由于CCD的饱和作用,虽然噪声点增多,强度增大,但在阈值上限处均被截止,因此,背景噪声的离散程度增加比较缓慢,在再现图像上表现为图像背景越来越亮,再现粒子的清晰度越来越差,最终被湮没在背景噪声中。

需要指出的是,对于不同曝光条件的全息图而言,都存在这样一个背景噪声均匀、再现像清晰度高的区间,且该区间在CCD阈值下限的附近区域。该区域所对应的再现光强度范围与全息图的透过率及CCD的动态范围相关。

### 2.2 不同粒径的粒子再现像与再现光强度的关系

从上面的讨论中得知,随着再现光强的减弱,再现像的背景趋向均匀,再现粒子清晰度增加。但是,是否

再现光强越弱越好呢?作者在可以获得高清晰度再现像的区间选取了两个不同的再现光强度下的再现像,如

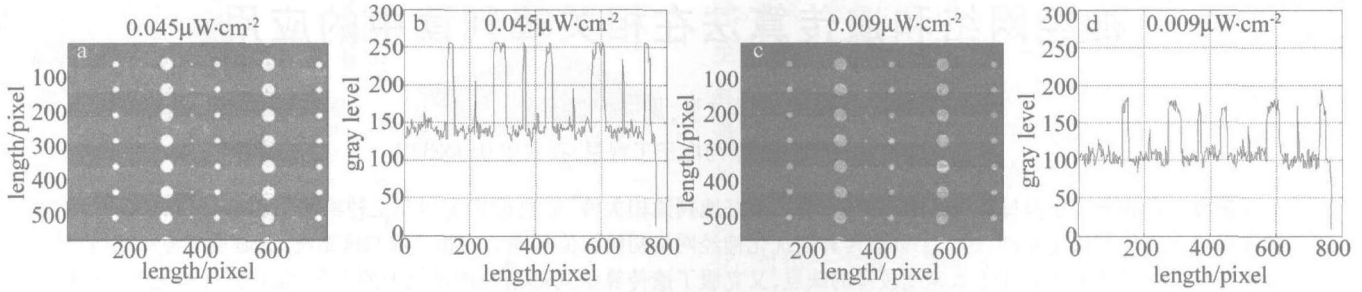


Fig. 4 The reconstructed images of particles with different sizes (1 pixel corresponding to  $4\mu\text{m}$ )

$20\mu\text{m}\rightarrow 50\mu\text{m}\rightarrow 5\mu\text{m}\rightarrow 100\mu\text{m}\rightarrow 10\mu\text{m}\rightarrow 50\mu\text{m}$ ; 图4b和图4d为粒子所在直线段和背景直线段的强度分布图。由图可见,在较低的再现光强下,不同的再现光强度得到的再现图像都有均匀的背景,且随着再现光强度的降低,背景噪声的强度也相应降低,但再现粒子的强度同时减小。对于大粒子( $20\mu\text{m}$ 以上)而言,其信号噪声比依然较大,粒子像仍清晰可见,但小粒子的强度则近乎湮没在背景中,无法识别。此时,适当提高再现光强,小粒子再现像的对比度有明显提高(见图4a)。在图4a和图4c两图中, $5\mu\text{m}$ 的粒子均未出现,是由于在成像记录过程中, $4f$ 的中心光学分辨率为 $7\mu\text{m}$ ,因此,小于该分辨尺寸的粒子未被记录上。

从上述实验结果可以看出,并非再现光强越接近接收器件 CCD 的阈值下限越好,对于微小颗粒而言,由于其自身散射的光强较弱,过低的再现光强度会导致粒子信息湮没于背景之中。因此,在调节再现光强度时,最好在使稍大粒子像强度接近 CCD 阈值上限时,逐渐降低再现光强,在尽量降低背景噪声的同时,保证微小颗粒的再现像强度明显高于背景。

### 2.3 环境背景光再现像对比度的影响

由于采集用的 CCD 属于高灵敏光电器件,环境光的存在同样会对其采集的图像带来一定的背景噪声,图5中给出了图像存储计算机显示器对采集图像的影响。

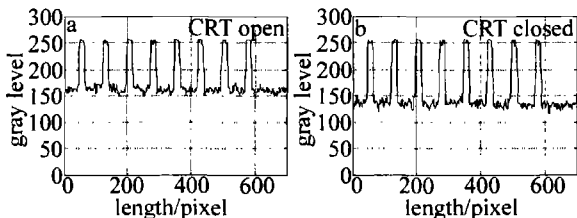


Fig. 5 Intensity distribution of the reconstructed image under different environmental background (1 pixel corresponding to  $4\mu\text{m}$ )

图5a为显示器不关闭时粒子所处某一直线段的强度分布图,图5b为显示器关闭时相应的强度分布图。在再现采集实验中,显示器与 CCD 灵敏面夹角大于 $90^\circ$ ,且相距大于 $1\text{m}$ ,但其发出的荧光依然对图像背景产生了较为明显的影响,关闭显示器后,图像背景噪声强度灰

图4所示。图4a和图4c为 CCD 采集的粒子再现像,从左至右粒子直径依次为 $50\mu\text{m}\rightarrow 10\mu\text{m}\rightarrow 100\mu\text{m}\rightarrow$

度值由160下降为130。由此可见,在采集过程中,保持实验室的暗背景环境对图像采集是非常有利的。

### 2.4 系统设备性能对再现像的影响

对于理想记录的全息图来说,使图像对比度最大化无疑是非常理想的。然而,任何一个图像采集设备都有一定的动态范围,即有其所能探测到的最低强度,亦存在一个饱和度,超过这一范围的光强度都保持恒定值。虽然图像背景噪声强度接近采集设备阈值下限时,可以获得对比度最好的粒子图像,但是实际图像中的粒子像和背景的对对比度往往小于 CCD 的动态范围,需要再现系统的放大率最好较小,但是对于粒子场中较小颗粒的测量,如果放大率不够,则会对粒子尺寸的测量带来较大不确定度。因此,在一定放大率的再现系统中,适当增加再现光强度可以得到高清晰度的图像,这在图4的实验结果中已经表现出来。另一种获得高对比度再现像的方法则是在再现系统中采用更加灵敏的采集设备。

## 3 结论

粒子场同轴夫琅和费全息诊断中,影响再现粒子对比度的因素体现在记录、冲洗和再现过程的众多环节中,由于在粒子场的动态实验中,脉冲光源输出能量自身的不稳定性导致理想的曝光条件很难实现,因此,人们往往从干版处理等后期的环节寻找解决办法。作者主要从实验方面详细研究了再现光强度对再现粒子像清晰度的影响、不同粒径再现像与再现光强度的关系以及实验环境和设备性能对再现粒子像的影响。在粒子场同轴全息中,对于不同曝光条件的全息图而言,都存在一个背景噪声均匀、再现像清晰度高的区间,且该区间位于 CCD 阈值下限的附近区域。再现光的强度应当使背景光强尽量接近 CCD 阈值下限,但是对于具有一定放大率的再现系统,则需要通过适当增加再现光强度来得到高清晰度的图像。在采集过程中,保持实验室的暗背景环境对图像采集是非常有利的。

(下转第425页)

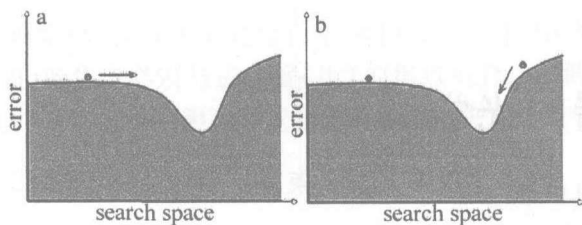


Fig. 6 Contrast between searching speeds of BP optimized by GA or not  
a—before optimized b—after optimized

## 4 结 论

把遗传 BP 算法成功地应用于相关峰判读系统中,既解决了系统判读中容易出现的漏判、误判的问题,也能更好地把噪声和相关峰区分开来。系统用遗传算法训练权值和阈值,先全局寻取最优解,赋给 BP 网络一个初始值,再经过神经网络学习精确定位。既发挥了两者的优势(全局寻优和指导性搜索),同时也克服两者的不足(盲目寻优和局部性收敛)。保证了系统能在要求精度的前提下加快收敛速度,取得了很好的判读效果。

### 参 考 文 献

- [1] YANG Q D, LI J Zh. Design the weight and threshold of artificial neural network based on the genetic algorithm [J]. Journal of Tianjin University, 2003, 36(3): 782-786 (in Chinese).
- [2] PELCKMANS K, SUYKENS J A K, de MOOR B. Building sparse representations and structure determination on LS-SVM substrates [J]. Neurocomputing, 2005, 64(3): 137-159.
- [3] XIA G F, ZHAO B J, HAN Y Q. Chaotic weak signal detection in the long range laser rangefinders using neural network [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 449-451 (in Chinese).
- [4] KERMANI B G. Using neural network and genetic algorithm to enhance performance in an electronic nose [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1999, 46(4): 429-439.
- [5] LUO B L, WANG Ch Ch, DU J L. Study on laser beam combination by binary phase grating [J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 381-389 (in Chinese).
- [6] MU K J, ZHOU X J, REN G R, et al. Reconstruction of parameters of fiber gratings from time-delay characteristics using the genetic algorithm [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(5): 687-693 (in Chinese).
- [7] van ROOI A J F, JAIN J L C, JOHNSON R P. Neural network training using genetic algorithms [M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1996: 136-147.
- [8] XU D P, ZHOU J Zh, GUO H F. Quality prediction of laser cladding layer based on improved neural network [J]. Laser Technology, 2007, 31(5): 511-514 (in Chinese).
- [9] Fecit. Neural network theory and MATLAB 7 application [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2005: 89-115 (in Chinese).
- [10] XIE T, CHEN H W. Evolutionary algorithms for multi-objective optimization and decision-making problems [J]. Engineering Science, 2002, 4(2): 59-67 (in Chinese).
- [1] YAMAKAWA M, KAMIKAWA M, YOSHIKAWA T, et al. Measurement of droplet distribution of a D. I. Gasoline spray with pulsed laser holography [J]. Transaction of Society of Automotive Engineers of Japan, 2001, 32(4): 45-50.
- [2] THOMPSON B J. Holographic methods for particle sizing and velocity measurement-recent advances [J]. Proc SPIE, 1989, 1136: 308-326.
- [3] TRONLINGER J D. Particle field holography [J]. Opt Engng, 1975, 14(5): 383-392.
- [4] VOSSING H J, BORRMANN S, JAENICKE R. In-line holography of cloud volumes applied to the measurement of raindrops and snowflakes [J]. Atmospheric Research, 1998, 49(3): 199-212.
- [5] SORENSON D S, MINICH R W, ROMERO J L, et al. Ejecta particle sizing distributions for shocked loaded Sn and Al metals [J]. J A P, 2002, 92(10): 5830-5836.
- [6] O'HERN T J, KATZ J, ACOSTA A J. Holographic measurements of cavitation nuclei in the sea [R]. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1985: 39-42.
- [7] COIMBRA C F M, RANGEL R H, TROLINGER J D. The science behind spaceflight holography investigation in a virtual apparatus [R]. Reston, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001: 1-17.
- [8] LUO Zh X, LI Z R, LI Z Y, et al. An automatic segmenting method for restricted image of high speed particle field [J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(3): 503-506 (in Chinese).
- [9] PHIPPS G S, ROBERTSON C E, TAMASHIRO I M. Reprocessing of nonoptimally exposed holograms [J]. Appl Opt, 1980, 19(5): 802-811.
- [10] ULIBARRENA M, MENDEZ M J, BLAYA S, et al. Anomalous D-Log E curve with high contrast developer Kodak D8 on ultra fine grain emulsion BB640 [J]. Optics Express, 2001, 9(12): 645-651.
- [11] VIKRAM Ch S. Optimizing image quality in fraunhofer holography with variable intensity reconstruction beam [J]. Optik, 1990, 86(2): 58-60.

(上接第 421 页)

### 参 考 文 献