

用中值滤波和光强相减法改善数字全息再现像质量

王存帅 张引科 郝劲波 吴艳

(西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055)

摘要 针对数字全息再现像质量差的问题,对数字全息再现光强度进行了分析,介绍了光强相减法和中值滤波方法的原理,提出了用中值滤波和光强相减法改善数字全息再现像质量的设想。光强相减法就是对全息图用 HRON 相减处理消除零级像和背景光。中值滤波处理能有效地减少背景噪声光。实验对比全息图的直接再现像、HRO 相减处理后的再现像、光强相减法处理后的再现像和中值滤波与光强相减法共同处理后的再现像,表明本方法有效地提高了再现像质量。

关键词 数字全息;菲涅耳再现;HRON 相减法;中值滤波

中图分类号 O438.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.120901

Improving Reconstruction Image Quality of Digital Holography Using Median Filter and Intensity Subtraction

Wang Cunshuai Zhang Yinke Hao Jinbo Wu Yan

(School of Science, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract Aiming at improving the quality of reconstructed images of digital holography, based on the analysis of the reconstruction light intensity of digital hologram, a method combining light intensity subtraction and median filtering is proposed. The principles of light intensity subtraction and median filtering are described. Light intensity subtraction based on HRON subtraction diminishes the zero-order image and background light. The median filter process effectively minimizes the background noise light. From the comparison of quality of experimentally reconstructed images obtained by different methods, it is shown that the proposed method could effectively improve the quality of reconstructed image of digital hologram.

Key words digital holography; Fresnel reconstruction; HRON subtraction; median filter

OCIS codes 090.1995; 090.1970

1 引言

数字全息技术由 Goodman 等^[1]在 1967 年提出,是传统光学全息技术和数字技术相结合的产物。在数字全息技术中用光电传感器件(如 CCD 或 CMOS 摄像机)代替传统光学全息技术中的记录介质(如银盐干板)来记录干涉图样,并将干涉图样以数字图像的形式存入计算机,然后进行处理并重现。随着计算机技术和数码摄像器件的飞速发展,数字全息技术及其应用受到越来越多的关注,其应用范围已涉及形貌测量^[2]、变形测量、粒子场测试、显微观测^[3]、信息加密^[4]、三维图像识别等许多领域。

在数字全息技术及其应用中,高质量的再现像一直是研究人员追求的目标和研究的热点。对数字全息再现像质量的影响主要来自共轭像和零级像,消除零级像和共轭像的常用方法有相移技术^[5]、频域滤波^[6]和空域滤波^[7]等。对于离轴数字全息,以零级像的影响为主,它使再现像暗淡不清,甚至观察不到。近年来,已提出了几种消除零级像的方法,包括小波变换^[8]、全息图减均值法^[9]、HRO 相减法^[10]等。本文在 HRO 相减的同时又减去了背景光,并且在 HRO 相减和减去背景光之前用中值滤波法对全息图进行了预处理,使得再现像的质量得到明显改善。

收稿日期: 2011-08-08; 收到修改稿日期: 2011-08-24; 网络出版日期: 2011-10-17

基金项目: 陕西省自然科学基金(2011JM8022)资助课题。

作者简介: 王存帅(1987—),男,硕士研究生,主要从事光电信息处理方面的研究。E-mail: shuaiwen@163.com

导师简介: 张引科(1964—),男,博士,教授,主要从事光电信息处理方面的研究。E-mail: yinkezhang@163.com

2 原 理

2.1 数字全息再现光强度分析

设全息记录平面上的物光和参考光的复振幅分布分别为 $O(x, y)$ 和 $R(x, y)$, 则全息记录平面上光场的强度分布为

$$I_H(x, y) = |O(x, y)|^2 + |R(x, y)|^2 + O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) + N(x, y), \quad (1)$$

式中 $N(x, y)$ 为背景光强度。全息再现的光强分布与 $I_H(x, y)$ 成正比, 第 1 项和第 2 项构成零级像, 第 3 项为再现像, 第 4 项为共轭像, 第 5 项为背景光。

2.2 光 HRO 相减法

HRO 相减是指用全息图强度 [(1) 式] 减去参考光强度 $|R(x, y)|^2$ 和物光波强度 $|O(x, y)|^2$ 的操作。HRO 的 3 个字母分别代表全息图、参考光和物光。HRO 相减后全息图再现光的强度为

$$I'_H = I_H - |O(x, y)|^2 - |R(x, y)|^2 = O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) + N(x, y). \quad (2)$$

从 (2) 式可见, 对 HRO 相减处理后的全息图进行数字再现时, 在像面上就可以得到加强了再现像和共轭像, 而很强的零级像将被显著减弱甚至完全滤除, 能得到质量较好的再现像和共轭像。

在实验中常常会发现进行 HRO 相减处理后的再现像质量仍不理想, 原因是 HRO 相减虽然减去了物光和参考光, 但没有减去背景光, 如果实验中背景光影响较严重就会使再现像暗淡不清。要获得质量较好的再现像就需要非常严格的实验条件。为此在 HRO 相减的基础上再减去背景光强度, 即

$$I''_H = I'_H - N(x, y) = O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y), \quad (3)$$

这样 HRO 相减就扩展成 HRON 相减。HRON 相减不但可以有效地提高再现像质量, 还可以降低对实验环境的要求。

2.3 中值滤波法

为了得到质量更好的再现像, 在 HRON 相减处理之前引入中值滤波处理。中值滤波是抑制噪声的非线性处理方法, 在中值滤波中, 要设定像点的邻域。图像中值滤波后各像点的输出等于该像点邻域中所有像素灰度的中值, 即存在一个滑动的窗口, 窗口内所有像素灰度的中值作为被滤波窗中的像点处理后的灰度。

3 实验结果与分析

3.1 实验光路与过程

实验记录光路如图 1 所示, 波长为 532 nm 的光束被分光光楔 BS_1 分为两束, 分别经过空间滤波器 (SF) 实现空间滤波, 再由透镜 L_1 和 L_2 准直, 一束作为物体照明光, 一束作为参考光, 最后经 BS_2 合束后形成干涉图样, 由 CCD 记录。图中 M_1 和 M_2 为反射镜; CCD 的光敏面尺寸为 12.7 mm, 像素数为 800 pixel × 600 pixel, 尺寸为 3.2 μm × 3.2 μm; 被记录物体为实物骰子, 记录距离为 290 mm。

先用 CCD 记录下全息图的强度分布; 保持光路不变, 分别挡住参考光和物光, 在同一实验状态下, 记录物光强度和参考光强度; 最后同时挡住参考光和物光记录背景光的强度。

3.2 实验结果分析

图 2 是实验得到的再现像的结果。图 2(a) 是对 CCD 采集到的全息图直接进行菲涅耳数字再现得到的结果, 从中几乎观察不到再现像和共轭像。只对再现像可能出现的区域再现, 就得到图 2(b), 可以观察到再现像, 这说明在图 2(a) 中确实包含了再现像和共轭像, 但由于直透光在再现光场中心形成大而亮的零级像, 加上背景噪声的影响, 在很大程度上降低了再现像的对比度, 使之难于被观察到。

图 2(c) 是对 CCD 采集到的全息图进行 HRO 相减处理后的再现像。对比图 2(c) 和 (a), 可以看出图 2(c) 的再现效果比图 2(a) 稍好, 但还是不能清晰地观察到再现像和共轭像, 这是因为背景噪声的影响太

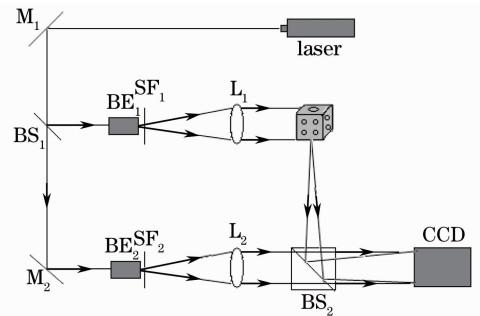


图 1 实验光路图

Fig. 1 Experimental configuration

大。对全息图进行 HRON 相减处理后进行菲涅耳再现得到了图 2(d),从中可以比较清晰地观察到再现像和共轭像。

为了进一步改善再现像的质量,对 CCD 采集到的全息图进行中值滤波,对滤波后的全息图再进行 HRON 相减处理,然后进行菲涅耳再现,得到的结果如图 2(e)所示。对比图 2(e)和(d),可以发现图 2(e)的再现像质量比图 2(d)有了明显改善。同时,对比图 2(e)和(a)说明,本文提出的中值滤波法和 HRON 相减法可以有效地改善数字全息再现像质量。

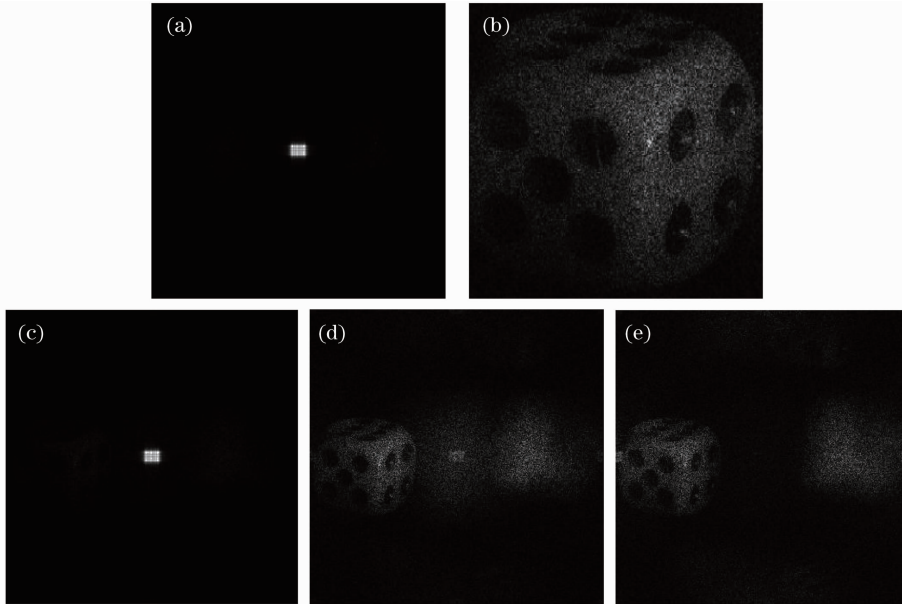


图 2 全息图的再现像。(a)直接再现像;(b)特定区域再现像;(c) HRO 相减处理后的再现像;
(d) HRON 相减处理后的再现像;(e)中值滤波和 HRON 相减处理后的再现像

Fig. 2 Constructed images of holograms. (a) Constructed image of original hologram; (b) constructed image of a specific area of the hologram; (c) constructed image of hologram processed by HRO subtraction; (d) constructed image of hologram processed by HRON subtraction; (e) constructed image of hologram processed by median filter and HRON subtraction

4 结 论

对全息图采用 HRON 相减处理得到了很好的实验效果,说明了背景光影响的存在和减去背景光的必要性。为了真实地显示背景光的影响,本文采用的是背景光影响较大的一组实验结果。在很多实验中,背景光的影响或许没有本实验中这么大,但该影响是确实存在的,而且想要通过实验光路完全抑制是比较困难的,所以要得到优质的数字再现像,减去背景光非常必要。此外,通过中值滤波对全息图进行预处理,然后再进行 HRON 相减处理能显著改善再现像的质量。

参 考 文 献

- 1 J. W. Goodman, R. W. Lawrence. Digital image formation from electronically detected holograms[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**(3): 77~79
- 2 Ge Baozhen, Zou Jin, Lü Qieni *et al.*. Surface morphometry by digital holography based on $4f$ system[J]. *Journal of Tianjin University*, 2006, **39**(6): 712~716
葛宝臻, 邹 瑾, 吕且妮 等. 基于 $4f$ 系统的数字全息表面三维形貌恢复技术[J]. *天津大学学报*, 2006, **39**(6): 712~716
- 3 Y. Choi, S. Lee. Three-dimensional volumetric measurement of red blood cell motion using digital holographic microscopy [J]. *Appl. Opt.*, 2009, **48**(16): 2983~2990
- 4 Yu Chiliang, Gu Jihua, Liu Wei *et al.*. An image digital watermark technique based on digital holography and discrete

- cosine transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 355~361
- 尉迟亮, 顾济华, 刘 薇 等. 基于数字全息及离散余弦变换的图像数字水印技术[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3): 355~361
- 5 Ichirou Yamaguchi, Tong Zhang. Phase-shifting digital holography[J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(16): 1268~1270
- 6 Xiong Bingheng, Li Junchang. *Holographic Interferometry: Principles and Methods*[M]. Beijing: Science Press, 2009. 570~571
- 熊秉衡, 李俊昌. 全息干涉计量——原理和方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 570~571
- 7 Liu Wenwen, Dai Yiquan, Kang Xin *et al.*. Zero-order image elimination in digital hologram based on finite impulse response filter[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5): 856~859
- 刘雯雯, 戴宜全, 康 新 等. 基于有限脉冲响应滤波器的数字全息零级像消除[J]. *光学学报*, 2008, **28**(5): 856~859
- 8 Zeng Ling, Gu Jihua, Zhou Hao *et al.*. Application of wavelet transform for eliminating zero order image in digital hologram [J]. *Journal of Suzhou University (Natural Science Edition)*, 2010, **26**(2): 56~60
- 曾 凌, 顾济华, 周 皓 等. 小波变换消除数字全息零级像的应用[J]. *苏州大学学报(自然科学版)*, 2010, **26**(2): 56~60
- 9 Thomas M. Kreis, Werner P. O. Juptuer. Suppression of the dc term in digital holography[J]. *Opt. Eng.*, 1997, **36**(8): 2357~2360
- 10 Guo Chengshan, Wang Weitian, Li Jian *et al.*. Elimination of zero-order diffraction spot in digital reconstruction of hologram[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(8): 1073~1076
- 国承山, 王伟田, 李 健 等. 全息图数字再现中零级衍射斑的消除[J]. *光学学报*, 1998, **18**(8): 1073~1076