

文章编号: 1001-3806(2013)02-0204-03

改善数字全息再现像质量的背景强度补偿法

张引科, 王存帅, 郝劲波

(西安建筑科技大学 理学院, 西安 710055)

摘要: 为了完全消除 CCD 背景噪声和杂散背景光对数字全息再现像质量的影响, 在全息图强度分别减去参考光波和物光波强度相减法 and 全息图强度分别减去参考光波和物光波强度及 CCD 背景噪声相减法的基础上, 提出了改善数字全息再现像质量的背景强度补偿法。介绍了背景强度补偿法的原理, 并实验对比了全息图的直接再现像及应用背景强度补偿法对不同背景强度下获得的全息图处理后的再现像。结果表明, 背景强度补偿法显著地改善了再现像质量, 降低了对数字全息图记录环境的要求。

关键词: 全息; 再现像; 背景强度补偿法; 数字全息图

中图分类号: O438.1 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.016

Background intensity compensation method for improving the reconstructed image quality of digital hologram

ZHANG Yin-ke, WANG Cun-shuai, HAO Jin-bo

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

Abstract: Aiming at completely eliminating the influence of CCD's noise and scattered background light on the reconstructed image of digital hologram, based on the hologram subtracting reference light intensity and object light intensity (HRO) subtraction method and hologram subtracting reference light intensity, object light intensity and CCD's noise (HRON) subtraction method, the background intensity compensation method (BICM) was proposed. The quality of the experimentally reconstructed images of the original hologram and holograms processed by BICM was compared. Results show that BICM could effectively improve the quality of reconstructed image and relax the requirement on digital hologram recording environment.

Key words: holography; reconstructed image; background intensity compensation method; digital hologram

引言

数字全息技术是光学全息技术和数字技术相结合的产物, 由 GOODMAN 在 1967 年首次提出^[1]。在数字全息技术中用光电传感器件(如电荷耦合元件(charge-coupled device, CCD))记录全息图, 并将其以数字形式进行存储, 随后进行数字处理和数字再现。随着光电传感器件性能的提高和数字处理技术的进步, 数字全息技术也得到了长足的发展, 其应用领域也愈来愈广泛, 如形貌测量^[2]、变形测量、粒子场测试、显微观测^[3]、信息加密^[4]、3 维图像识别等。

与传统光学全息技术一样, 高质量的再现像也是数字全息技术的主要目标及其应用的决定因素。影响数字全息再现像质量的因素主要有两方面: (1) CCD 的空间分辨率及光敏面大小对全息图记录的影响, 这

受制于技术发展水平; (2) 零级光和共轭像等对数字全息再现像质量的影响。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。对于离轴数字全息来说, 以零级光的影响最为严重。由于零级光强度相对较大、分布范围较宽, 叠加在再现像上, 使再现像暗淡不清, 甚至观察不到。已经提出了几种消除零级光的方法, 例如小波变换法^[8]、全息图强度减去其平均强度的平均值相减法^[9]、全息图强度分别减去参考光波和物光波强度(hologram subtracting reference light intensity and object light intensity, HRO)^[10]的数字相减法等。作者也曾基于 HRO 相减法提出了全息图强度分别减去参考光波和物光波强度及 CCD 背景噪声(hologram subtracting reference light intensity, object light intensity and CCD's noise, HRON)^[11]的数字相减法, 不过 HRON 相减法只适用于 CCD 背景噪声较弱的情况。作者基于 HRO 相减法和 HRON 相减法, 进一步提出了背景强度补偿法, 能够完全消除 CCD 背景噪声及杂散背景光对再现像的影响, 同时降低了对数字全息图记录环境的要求。本

作者简介: 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

收稿日期: 2012-05-28; 收到修改稿日期: 2012-08-22

文中介绍了背景强度补偿法的原理及实验结果。

1 背景强度补偿法原理

1.1 HRO 相减法

若 CCD 背景噪声及杂散背景光可以忽略不计, 设全息图记录平面上的物光波复振幅和参考光波复振幅分别为 $O(x, y)$ 和 $R(x, y)$, 则该平面上的光场强度为:

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

式中, * 表示复共轭。全息图再现的光场强度分布与上式成正比, 第 1 项和第 2 项构成零级光, 第 3 项为原始像, 第 4 项为共轭像。

HRO 相减操作就是从全息图强度(1)式中先后减去参考光波强度和物光波强度^[10]。HRO 相减后全息图再现的光场强度为:

$$I_h'(x, y) = I_h(x, y) - |O(x, y)|^2 - |R(x, y)|^2 = O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) \quad (2)$$

可见, 在理想情况下, 对 HRO 相减处理后的全息图进行数字再现时, 只有原始像和共轭像, 而相对强度较大范围较宽的零级光波被消除, 所以得到的再现原始像和共轭像就更加清晰。

1.2 背景强度补偿法

将 CCD 背景噪声及杂散背景光统称为背景强度。背景强度是实际存在的、不可避免的, 尤其在物光较弱的情况下, 它对再现像的影响会很大, 这使得采用 HRO 相减法得到的再现像质量依旧不理想。设 CCD 实际记录到的全息图强度分布为 I_1 , 实际记录到的物光波强度(挡住参考光波只记录物光波所得)、参考光波强度(挡住物光波只记录参考光波所得)和背景强度(同时挡住参考光波和物光波记录所得)分别为 I_2 , I_3 和 I_4 , 则这 4 个强度分布分别表示为:

$$I_1(x, y) = |O(x, y)|^2 + |R(x, y)|^2 + O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) + N(x, y) \quad (3)$$

$$I_2(x, y) = |O(x, y)|^2 + N(x, y) \quad (4)$$

$$I_3(x, y) = |R(x, y)|^2 + N(x, y) \quad (5)$$

$$I_4(x, y) = N(x, y) \quad (6)$$

式中 $N(x, y)$ 为背景强度。此时, HRO 相减法处理后的全息图强度为:

$$I = I_1 - I_2 - I_3 = O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) - N(x, y) \quad (7)$$

在(7)式中多减去了一份背景强度, 使得再现像质量改善不彻底甚至反而受到严重影响。若对 HRO 相减法处理后的全息图再补偿一份背景强度, 即:

$$I' = I + I_4 = I + N(x, y) =$$

$$O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) \quad (8)$$

就能完全消除背景强度的影响。由于在这种方法中补偿了一份背景强度, 所以称这种方法为背景强度补偿法, 记为 HRO+N, 其中 H, R, O 和 N 4 个字母分别表示强度 $I_1 \sim I_4$ 。

2 实验结果与分析

2.1 全息图记录装置

数字全息图的记录装置如图 1 所示。激光器发出的光束被分光光楔 BS_1 分为两束, 一束光经过光束扩展器(beam expander, BE) BE_1 和 SF_1 扩束滤波后由透镜 L_1 准直作为物体照明光, 另一束光经过 BE_2 和 SF_2 扩束滤波后由透镜 L_2 准直作为参考光; 来自被记录物体的物光波和来自透镜 L_2 的参考光波经过 BS_2 合束后发生干涉在 CCD 表面形成全息图, 由 CCD 记录。图中 M_1 和 M_2 为平面反射镜, At 为光强衰减片, SF 为空间滤波器(spatial filter)。CCD 的光敏面大小为 12.7mm , 像元大小为 $3.2\mu\text{m} \times 3.2\mu\text{m}$, 像元总数为 800×600 。激光器的输出波长为 532nm , 被记录物体为实物为骰子, 记录距离为 340mm 。

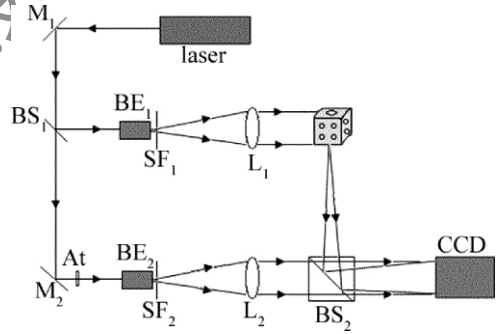


Fig. 1 Configuration of digital hologram recording system

2.2 实验结果与分析

在不同背景强度下得到的实验再现像如图 2 所示。对 4 种不同背景光条件下记录的全息图分别用 HRO 相减法和背景强度补偿法进行了处理, 对应的再现像分别如图 2a~图 2d 及图 2e~图 2h 所示。其中, 图 2a 和图 2e 是实验室全暗和只有 CCD 背景噪声的情况, 从图 2b 与图 2f、图 2c 与图 2g 到图 2d 与图 2h 对应的杂散光依次逐渐增强, 图 2d 与图 2h 是把实验室的日光灯完全打开作为杂散光。观察用 HRO 相减法的处理结果(见图 2a~图 2d)发现, 随着背景光的增强, 采用 HRO 相减法处理的全息图的再现像质量也逐渐变差, 即使在只有 CCD 背景噪声的情况下再现像质量也不是很好, 如图 2a 所示。这说明 HRO 相减法不能完全消除 CCD 背景噪声及其它杂散光的影响。采用 HRON 相减法可以去除 CCD 背景噪声的影响, 对于暗室条件下(只考虑 CCD 背

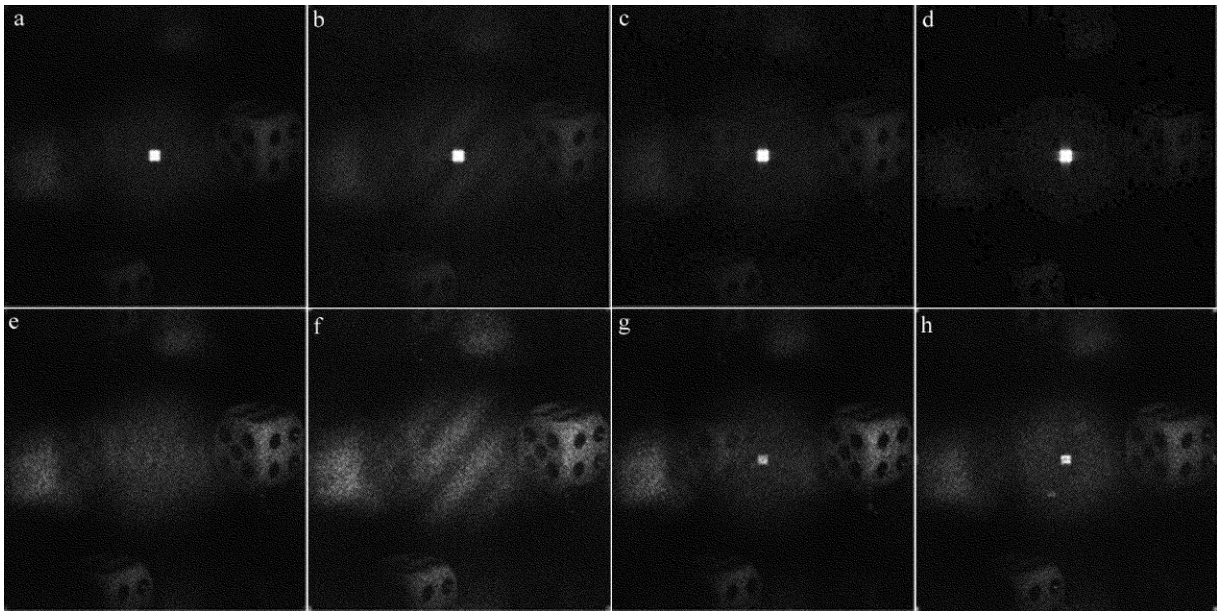


Fig. 2 Reconstructed images of holograms processed by HRO and HRO + N with different background intensity

景噪声)记录的全息图,HRON相减法可以有效地改善再现像质量^[11]。对比用HRO相减法的处理结果(见图2a~图2d)和用背景强度补偿法处理结果(见图2e~图2h)可发现,HRO+N方法处理后的再现像质量明显优于HRO方法处理后的再现像质量。观察图2e~图2h发现,这4种情况下的再现像质量差异不明显,说明HRO+N方法能够完全消除背景强度的影响。因此,可以把HRON相减法看作是HRO+N方法的一个特例。图2e~图2h中的再现像周围存在其它像,这是由于CCD光栅结构的衍射造成的。综上所述,采用背景强度补偿法有效地去除了背景强度的影响,得到了优质的再现像,可以大大降低对实验环境的要求,使数字全息的应用范围得到扩大。

3 结论

在分析HRO方法和HRON方法局限性的基础上,提出了背景强度补偿法(HRO+N法),对其原理进行了介绍,并对在4种不同背景强度下记录的全息图进行背景强度补偿处理,取得了理想的再现像。说明背景强度补偿法完全消除了CCD背景噪声和杂散背景光的影响,有效地改善了再现像质量,大大降低了对全息图记录环境的要求,从而可以扩大数字全息技术的应用范围。

参 考 文 献

[1] GOODMAN J W, LAWRENCE R W. Digital image formation from e-

lectronically detected holograms [J]. Applied Physics Letters, 1967, 11(3): 77-79.

[2] JIA F. Study on principle and applications of digital holography [D]. Xi'an: Northwest University, 2008: 53-66 (in Chinese).

[3] CHOI Y, LEE S. Three-dimensional volumetric measurement of red blood cell motion using digital holographic microscopy [J]. Applied Optics, 2009, 48(16): 2983-2990.

[4] YU Ch L, GU J H, LIU W, et al. An image digital watermark technique based on digital holography and discrete cosine transform [J]. Acta Optica Sinica, 2006, 26(3): 355-361 (in Chinese).

[5] YU Q T, LÜ X X, ZHANG Q Sh, et al. A new method of four-step phase-shifting digital holography based on arbitrary phase shifts [J]. Laser Technology, 2009, 33(4): 409-412 (in Chinese).

[6] XIONG B H, LI J Ch. Holographic interferometry principles and methods [M]. Beijing: Science Press, 2009: 570-571 (in Chinese).

[7] LIU W W, DAI Y Q, KANG X, et al. Zero-order image elimination in digital hologram based on finite impulse response filter [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(5): 856-859 (in Chinese).

[8] ZENG L, GU J H, ZHOU H, 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 (in Chinese).

[9] KREIS H M, JUPTUER W P O. Suppression of the dctermin in digital holography [J]. Optics Engineering, 1997, 36(8): 2357-2360.

[10] TAKAKI Y, KAWAI H, OHZU H. Hybrid holographic microscopy free of conjugate and zero-order images [J]. Applied Optics, 1999, 38(23): 4990-4996.

[11] WANG C Sh, ZHANG Y K, HAO J B, et al. Improving reconstruction image quality of digital holography using median filter and intensity subtraction [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011(12): 120901 (in Chinese).