

文章编号:1004-4213(2011)02-0300-7

# 数字全息显微系统结构参量对再现像质的影响

马利红,王辉,李勇,邓丽军

(浙江师范大学 信息光学研究所,浙江 金华 321004)

**摘 要:**为了获取高质量的数字全息显微再现像,分析了同轴相移数字全息显微系统结构参量对再现像质的影响.首先经过计算得出理想成像时,像空间物光波频率完全由物体面形结构频率和系统放大倍率决定.然后基于显微成像时物光波的所有频率分量都应该被有效记录的分析,得出在同轴相移系统中放大倍率必须使物光波的空间频率缩小到满足采样要求;并得出在相同的放大倍率下记录距离会影响有效记录的物体尺寸,记录器件离开像平面的距离越小,有效记录的物体尺寸越大,在像平面上时有效记录的物体尺寸最大.计算机仿真和光学实验都证明了上述结论的正确性.

**关键词:**数字全息显微;再现像质;放大倍率;记录距离

**中图分类号:** TB87.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20114002.0300

## 0 引言

数字全息显微测量是数字全息术最有潜力的应用领域<sup>[1-5]</sup>.全息图携带有物体振幅和相位的全部信息,将数字全息技术和显微技术相结合,可以精确地分析物体的三维面形结构和相位型物体的位相信息,因而数字全息在显微中的应用具有其他显微技术不可替代的优势,是一种比较理想的对微小物体进行三维形貌和位相分布测量的方法.

在使用数字全息显微术进行形貌测量或位相测量时,一般都是利用物光波的相位信息,而相位信息的获得经常需要对再现实像复振幅的复角进行相位展开运算<sup>[6-7]</sup>,这种运算对于噪音非常敏感,噪音的存在将导致有效的相位信息被掩埋.已有不少文献针对各种噪音源进行分析并提出相应的消除方法<sup>[8-10]</sup>.文献[8]利用数字图像处理技术提高再现像质量,但提出的方法只适用于强度像;文献[9]提出用自适应滤波的方法,对包裹相位去除部分噪音后,再进行展开运算,通过该滤波处理可以取得良好的效果;文献[10]采用角谱算法计算再现像,再辅以滤波降低噪音并提高像的分辨率.使用上述各种数字图像处理技术可以在一定程度上消除噪音,提高再现像的像质.但是,显微测量主要目的是为了测出物体面形或位相分布的微观结构,当这些“噪音”被消除的时候,也就意味着一些结构信息损失掉了.因此在数字全息显微测量中,应尽可能的有效记录物光

波的全部频率信息,获取无噪音的数字全息图,这是提高再现像质的最根本也是最有效的方法,基于此本文分析了同轴数字全息显微系统结构参量设计要​​求.分析结果表明为了实现最佳成像,物平面的所有频率分量都应该被有效记录,因此系统的放大率必须使物光波的空间频率缩小到满足采样定理;同时记录器件离开像面的距离影响有效记录的物体尺寸,在相同的放大倍率下,离开像平面的距离越小,有效记录的物体尺寸越大,在像平面上时有效记录的物体尺寸最大.

## 1 像空间物光波频率

本文以拍摄反射型物体的全息图为例.首先要指出的是,一个物体表面,宏观上看是粗糙表面,但在微观上总可以看成是一个凹凸起伏的光滑表面.设物体表面反射率分布函数为  $\rho_o = \rho(x, y, z_o)$ ,凹凸起伏函数(面形函数)为  $z_o = z(x, y)$ .在数字全息显微测量中,  $z_o = z(x, y)$  一般是很小的,可以认为  $z_o = z(x, y)$  是相对于  $x, y$  的单值函数,则  $\rho_o = \rho(x, y)$ .如图 1,设平面  $Q(z = D_0)$  为物平面,单位振幅的平面波垂直  $Q$  面入射到  $P$  点,再反射到物平面,由于面形的凹凸起伏很小,所走的光程可近似表示成

$$d_o \approx 2[D_0 - z(x, y)] = 2D_0 - 2z(x, y) \quad (1)$$

相位延迟为  $\Delta\varphi_f = 2kD_0 - 2kz(x, y)$ ,其中  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  是波长,物平面上物光波复振幅应该表示成

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 60877002)、浙江省自然科学基金(No. Z1080030)、浙江省教育厅项目(No. Y201016465)和金华市科学技术研究项目(No. 2010-1-050)资助

**第一作者:**马利红(1979-),女,博士研究生,主要研究方向为信息光学与数字全息技术. Email: zjnumlh@zjnu.cn

**导师(通讯作者):**王辉(1958-),男,教授,博导,主要研究方向为信息光学与数字全息技术. Email: wh@zjnu.cn

**收稿日期:** 2010-08-26; **修回日期:** 2010-10-17

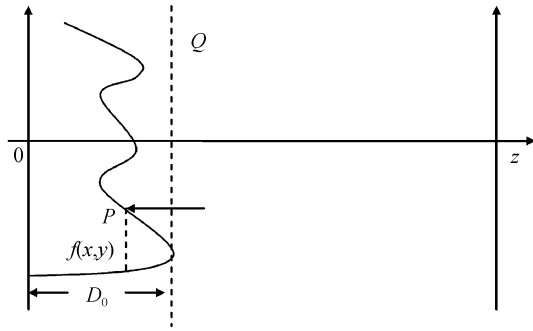


图1 反射型物体面形结构和所走光程的关系  
Fig.1 The sketch for the relationship of the surface structure and the optical length in reflection mode

$$u_o(x, y) = \rho(x, y) A \exp(i2kD_0) \cdot \exp[-i2kz(x, y)] \quad (2)$$

在数字全息显微测量中,被显微测量的物体一般很小,其反射率一般变化不大,而且本文更关心的是物体的面形结构或位相信息,因此可以忽略反射率变化对物光波的影响,即物光波可以直接表示成

$$u_o(x, y) = A \exp[-i2kz(x, y)] \quad (3)$$

在预放大数字全息显微系统中,如果成像系统数值孔径足够大并理想成像,则所成像的复振幅分布可以写成

$$u_i = \frac{\exp[ik(d_1 + d_2)]}{M} \exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda M f}(x_i^2 + y_i^2)\right] \cdot u_o\left(\frac{x_i}{M}, \frac{y_i}{M}\right) = \frac{\exp[ik(d_1 + d_2)]}{M} \exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda M f}(x_i^2 + y_i^2)\right] \cdot A \exp\left[-i2kz\left(\frac{x_i}{M}, \frac{y_i}{M}\right)\right] \quad (4)$$

式中,  $d_1$  表示物距,  $d_2$  表示像距,  $M = -d_2/d_1$  是放大倍数,  $f$  是焦距. 因此在理想成像情况下,像平面的物光场分布完全由物体面形结构和成像系统的放大倍率决定.

进一步分析像平面物光场的相位分布,由于相位变化产生的空间频率可以由式(5)求出

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} = \frac{2}{M\lambda} z'_x(x, y) + \frac{1}{M\lambda f} x_i \quad (5)$$

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial y_i} = \frac{2}{M\lambda} z'_y(x, y) + \frac{1}{M\lambda f} y_i$$

式(5)中第二项是透镜成像引入的球面波频率分量,可以通过选择适当的成像光路(比如  $4f$  成像系统)消除本项. 本文中仅考虑第一项对数字全息图的影响,即像空间物光波的频率为

$$\xi = \frac{2}{M\lambda} z'_x(x, y), \eta = \frac{2}{M\lambda} z'_y(x, y) \quad (6)$$

$z'_x(x, y)$  和  $z'_y(x, y)$  是物体的面形结构频率. 因此,在数值孔径足够大并理想成像时,像空间物光波的频率完全由物体的面形结构频率和系统的放大倍率决定.

## 2 系统结构参量与再现像质的关系

由于记录器件分辨率的限制,全息图中不能被有效记录的高频信息,会成为全息图的噪音,从而成为再现像的噪音. 为了保证进入记录面的物光波可以被有效记录,解决问题的办法之一是对被记录的物体大小和记录距离进行严格限制<sup>[11-13]</sup>. 但是,通过这两者的限制并不能保证被限制区域内物体发出的所有物光波信息都能够进入记录面. 事实上,由第二节的分析可知,不同频率分量的物光波对应不同频率的物体结构,因此在数字全息显微测量中,设计的系统应该尽可能让所有的物光波频率分量都进入记录面,并能够被有效的记录.

在数字全息显微系统中,可以把预放大所成的像平面看作是发出物光波的物平面,记录器件可以置于像平面的前或后某个位置,记录器件与像平面的距离看作是全息记录距离. 设经过理想成像系统后,像平面发出的物光波频率最大值为  $\xi_{\max}, \eta_{\max}$ . 在同轴全息中,由于物光波自相干项的存在,全息图的最大空间频率被展宽为物光波空间频率的 2 倍. 但是,如果采用相移技术,这一项即使不满足采样定理,也由于在每步相移中保持不变而可以被消除. 因此同轴相移全息中,可以对全息图进行亚采样,但是采样条件必须满足:  $\xi_{\text{ccd}} \geq 2\xi_{\max}, \eta_{\text{ccd}} \geq 2\eta_{\max}$ . 为了使所有物光波频率信息都能被有效记录,结合式(6),对于一个显微观测样品,在同轴相移全息显微系统中,放大率必须满足

$$M \geq \max\left(\frac{4z'_x(x, y)}{\lambda \xi_{\text{ccd}}}, \frac{4z'_y(x, y)}{\lambda \eta_{\text{ccd}}}\right) \quad (7)$$

式中  $\max()$  表示取两个表达式中最大的值. 由式(7)可知,被显微观测的样品面形结构频率越大,则要求显微系统的放大倍率设计的越大. 否则如果放大倍率不满足式(7),则物光波的高频信息由于欠采样而不能被有效记录,成为全息图的噪音,继而成为再现像的噪音.

数字全息显微系统中另一个重要的结构参量是记录距离,即记录器件离开像平面的距离. 如果像平面所发出的物光波频率最大值为  $\xi_{\max}, \eta_{\max}$ , 则对应的衍射角为:  $\sin \theta_x = \pm \lambda \xi_{\max}, \sin \theta_y = \pm \lambda \eta_{\max}$ . 为了正确恢复相位信息,应使所有对称的频率分量全部被记录. 如图 2, 预放大所成的像平面和记录器件垂直并对称与  $Z$  轴, 以  $x$  维为例,  $P_1$  点和  $P_2$  点是被限制后的像平面边缘点  $L_x = \overline{P_1 P_2}$ , 记录器件大小为  $L_{\text{ccdx}} = \overline{Q_1 Q_2}$ , 记录距离为  $z_i$ , 由几何关系可得  $x$  维能被有效记录的尺寸,并同理推广到  $y$  维

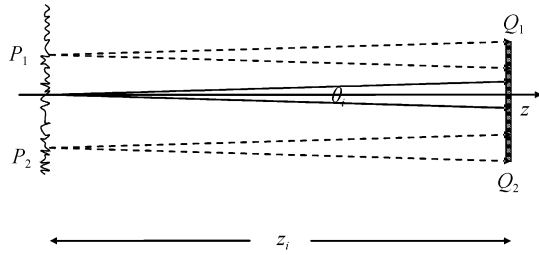


图2 有效记录的物体尺寸与记录距离关系

Fig. 2 The sketch for relationship of recorded object size and recording distance

$$L_x \leq L_{\text{ccd}x} - 2z_i \sin \theta_x = L_{\text{ccd}x} - 2z_i \lambda \xi_{\text{max}} \quad (8)$$

$$L_y \leq L_{\text{ccd}y} - 2z_i \sin \theta_y = L_{\text{ccd}y} - 2z_i \lambda \eta_{\text{max}}$$

式(8)表明,当像空间物光波最大频率满足采样要求并记录器件尺寸、记录波长一定时,记录距离越小,能有效记录的物体尺寸越大,位于像平面时,即距离距离  $z_i=0$ ,能有效记录的尺寸最大:  $L_x=L_{\text{ccd}x}$ ,  $L_y=L_{\text{ccd}y}$ . 由式(8)可求出对记录距离的要求

$$z_i \leq \min\left(\frac{L_{\text{ccd}x} - L_x}{2\lambda \xi_{\text{max}}}, \frac{L_{\text{ccd}y} - L_y}{2\lambda \eta_{\text{max}}}\right) \quad (9)$$

式中  $\min()$  表示两者中的最小值. 当待记录尺寸、记录器件尺寸、记录波长都一定,并且像空间物光波最大频率满足采样要求时,则记录距离必须满足式(9),否则物体边缘将有部分区域发出的物光波信息不能完全进入记录器件,而影响再现像质.

### 3 计算机仿真及结果分析

本文首先采用计算机仿真的方法验证同轴相移

全息显微系统结构参量对再现像质的影响. 设被记录物体面形函数为:  $f(x, y) = H \left[ \sin\left(\frac{2\pi}{W_x}x\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{W_y}y\right) \right]$ . 考虑理想成像的情况,根据式(6),像空间物光波频率最大值为:  $\xi_{\text{max}} = \frac{4\pi}{\lambda M} \frac{H}{W_x}$ ,  $\eta_{\text{max}} = \frac{4\pi}{\lambda M} \frac{H}{W_y}$ . 由式(7),在同轴相移全息中,显微系统放大倍

率的设计要求为:  $M \geq \max\left(\frac{8\pi}{\lambda \xi_{\text{ccd}}} \frac{H}{W_x}, \frac{8\pi}{\lambda \eta_{\text{ccd}}} \frac{H}{W_y}\right)$ . 实验中采用的光路如图3,设记录器件像素数为  $500 \times 500$ ,采样间隔为  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ ;波长采用  $0.532 \mu\text{m}$ ;  $y$  方向的面形起伏周期和  $x$  方向的相同:  $W_y = W_x$ . 并令  $r = H/W_x$ ,表示物体的“粗糙”程度,当放大倍率为1时,允许的物体最大粗糙度为0.004234. 进行多组实验,选用的实验参量如表1,  $z_i$  表示记录距离(显微系统成的像平面到记录器件的距离),  $L_x = L_y$  表示记录的像平面尺寸;  $M$  是系统的放大倍率.

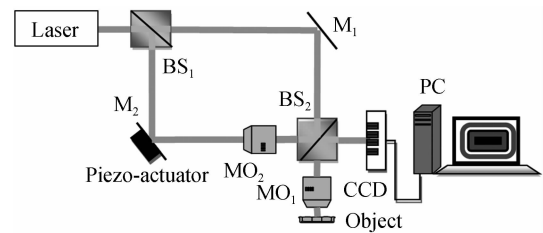


图3 实验光路

Fig. 3 Schematic of digital in-line holographic microscopy

表1 数字全息显微成像实验参量

Table 1 Experimental parameters for digital holographic microscopy

Parameter	1	2	3	4	5	6	7
$z_i/\text{mm}$	40	20	20	20	0	20	20
$L_x=L_y/\text{mm}$	0.372 0	1.436 0	1.436 0	1.600 0	2.50	1.436 0	1.436 0
$W_x=W_y/\text{mm}$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
$H$	0.000 635 1	0.000 635 1	0.001 270 2	0.001 270 2	0.001 270 2	0.001 8	0.001 8
$r$	0.002 117	0.002 117	0.004 234	0.004 234	0.004 234	0.006	0.006
$M$	1	1	1	1	1	1	3

对表1实验组中每组参量模拟计算同轴全息图,采用四步相移的方法,得到没有零级和共轭项干扰的全息图平面物光波分布,利用菲涅耳再现法计算得到再现物光波复振幅(除第五组像面全息外,因为已直接得到物光波复振幅),并利用复角关系求得包裹相位图,最后通过成熟的基于离散泊松方程解的相位展开方法进行解包裹运算,得到再现相位像. 为了与物体原形貌比较方便,将所有的再现像区域都插值到  $500 \times 500$ . 实验结果如图4至图10. 第1组和第2组参量相比,记录距离第1组大于第2组,记录尺寸第1组小于第2组,但是两组的记录参量都满足公式(7)至(9),再现结果如图4(b)和5(b),

两组都得到很好的再现结果. 第3组的放大率,记录尺寸都刚好满足式(7)和(8)的极限条件,也能得到很好的再现结果,如图6(b). 第4组和第3组相比,唯一的不同的是第4组设计的记录尺寸大于式(8)的要求,再现结果如图7(b),边缘部分没能记录全部物光波信息而存在相位误差. 第5组是像面全息,和第3组第4组相比,记录距离更近,记录尺寸更大,但满足式(8)的要求,得到很好的再现结果,如图8(b). 因此记录距离越小,能有效记录的尺寸越大,像平面时最大. 第6组的放大率设计不满足公式(7),因此像空间频率不满足完全被有效记录条件,再现结果很差,如图9(b). 第6组对物体进行3倍

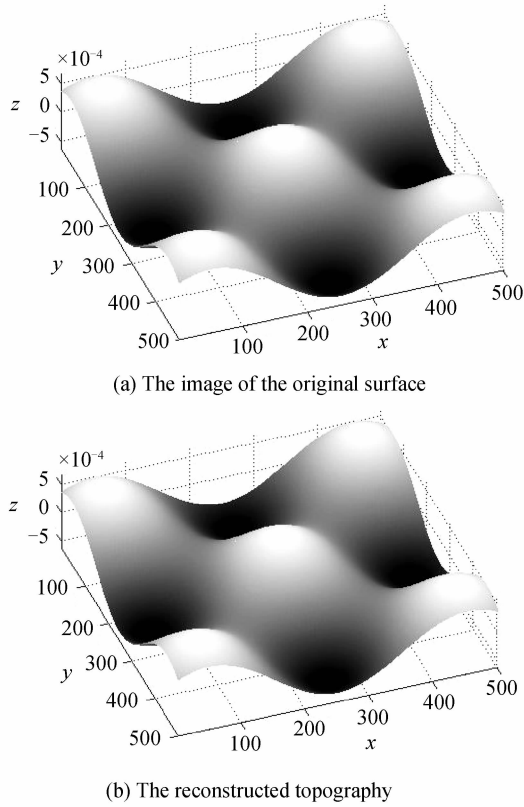


图 4 第 1 组参量对应的实验结果  
Fig. 4 Experimental results using the parameters in Set 1

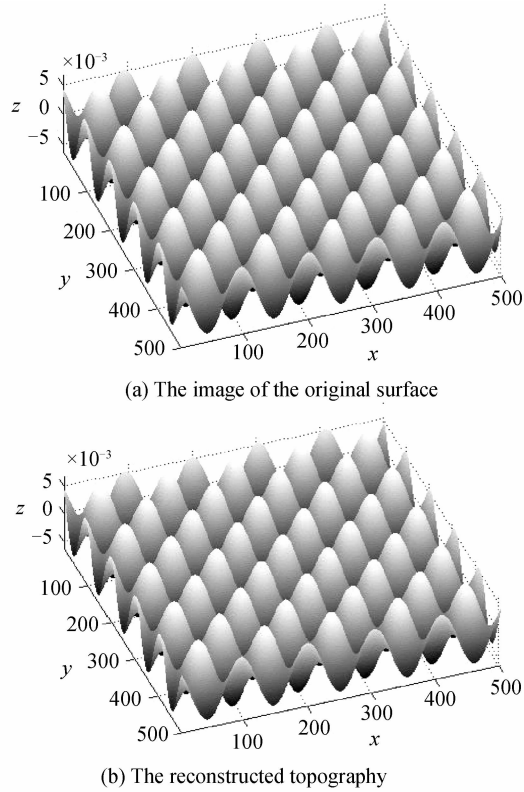


图 5 第 2 组参量对应的实验结果  
Fig. 5 Experimental results using the parameters in Set 2

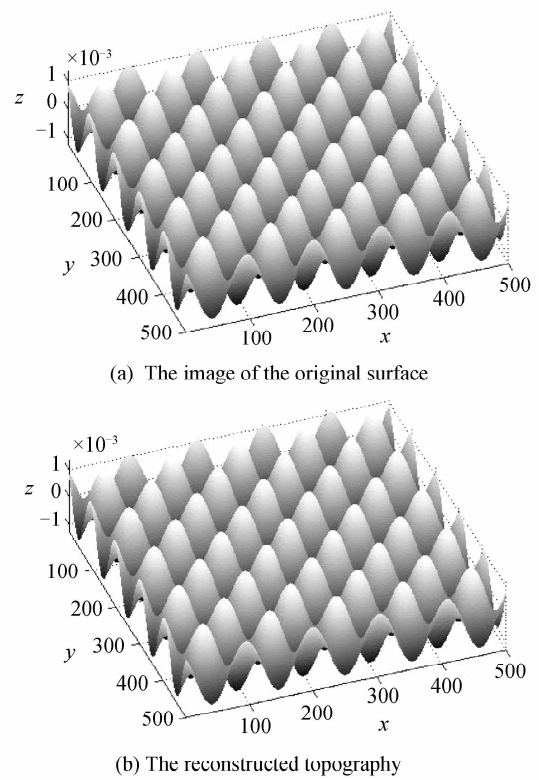


图 6 第 3 组参量对应的实验结果  
Fig. 6 Experimental results using the parameters in Set 3

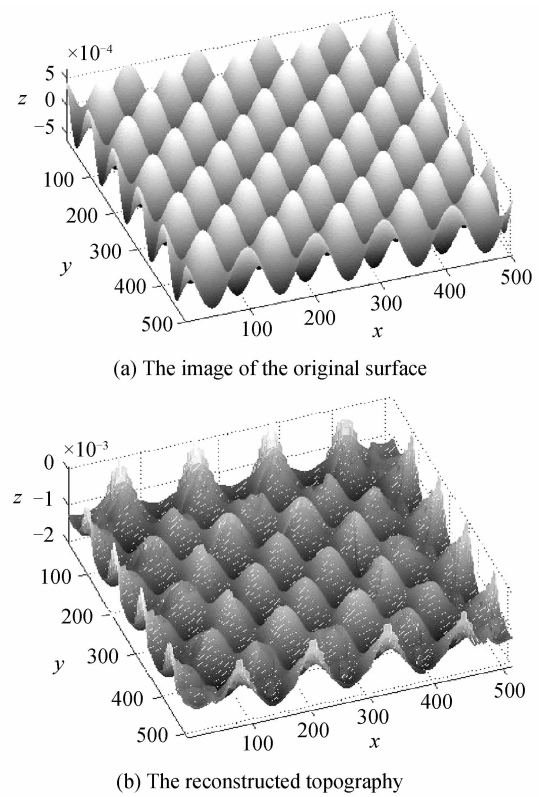
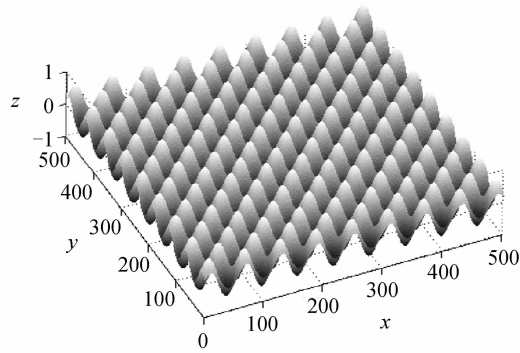
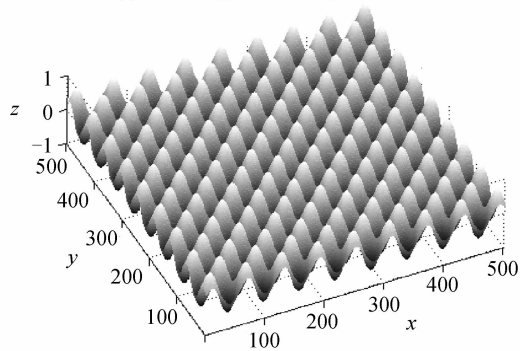


图 7 第 4 组参量对应的实验结果  
Fig. 7 Experimental results using the parameters in Set 4



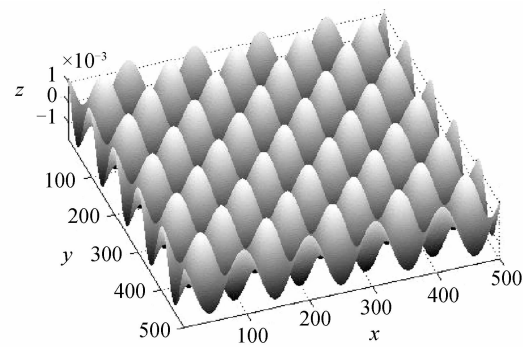
(a) The image of the original surface



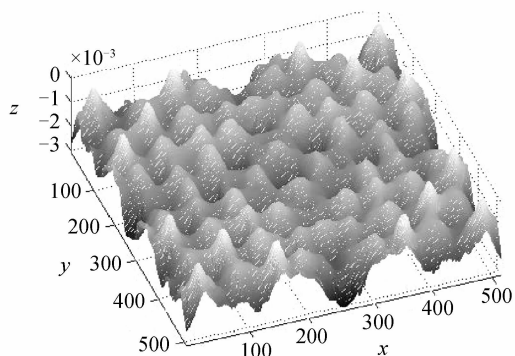
(b) The reconstructed topography

图 8 第 5 组参量对应的实验结果

Fig. 8 Experimental results using the parameters in Set 5



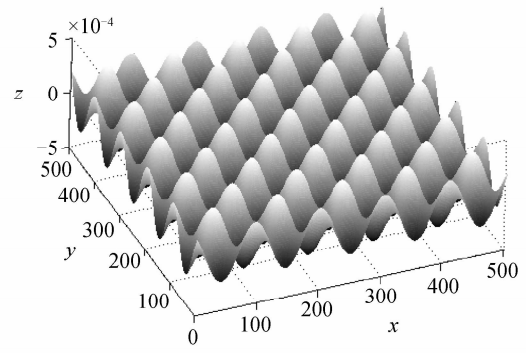
(a) The image of the original surface



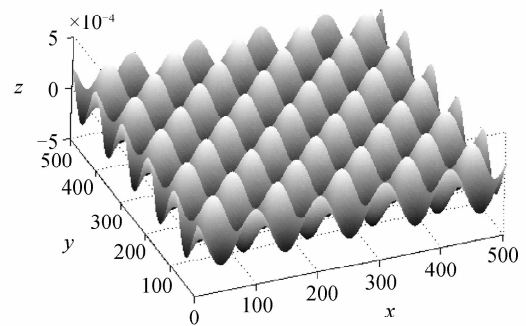
(b) The reconstructed topography

图 9 第 6 组参量对应的实验结果

Fig. 9 Experimental results using the parameters in Set 6 的预放大,其放大率设计满足式(7),因此再现结果又很好,如图 10(b). 通过这几组模拟实验,充分证明了本文提出的系统结构参量设计要求的正确性.



(a) The image of the original surface



(b) The reconstructed topography

图 10 第 7 组参量对应的实验结果

Fig. 10 Experimental results using the parameters in Set 7

## 4 实验验证

进一步通过光学实验验证同轴相移全息显微系统结构参量对再现像质的影响. 由于本文理论分析同样适用于透射型物体,为了尽量避免记录过程引入其他噪音,采用透射型同轴记录光路. 记录波长为  $0.532 \mu\text{m}$ ,记录物体是正弦型相位光栅,采用  $10\times/0.25$  的显微物镜,此显微物镜数值孔径能保证物体的绝大部分频率进入成像系统. 记录用的 CCD 是日本 JAI 公司的 CV-A50,像素间隔为  $8.6 \mu\text{m} \times 8.3 \mu\text{m}$ ,像素数为  $752 \times 582$ ,截取中间  $512 \times 512$  部分. 显微放大 5 倍,CCD 置于像平面前 3 cm. 采用四步相移的方法,得到全息图平面物光波复振幅分布,它的频谱如图 11(a),由频谱图知,物光波频率不满足采样定理,再通过空间角谱法再现,得到包裹相位图如图 11(b). 采用基于离散泊松方程解的相位展开方法解包裹后,再现像如图 11(c),不能得到正确的相位像. 为了满足采样,显微放大 10 倍,CCD 同样置于像平面前 3cm. 物光波频谱分布如图 12(a),由频谱图知,物光波频率已满足采样定理,同样进行空间角谱法再现后,得到包裹相位图如图 12(b),由包裹相位图可以看出,边缘部分如理论分析由于物光频谱没有被完全记录而存在问题. 对包裹相位图取去除边缘部分后解包裹,得到再现像如图 12(c),

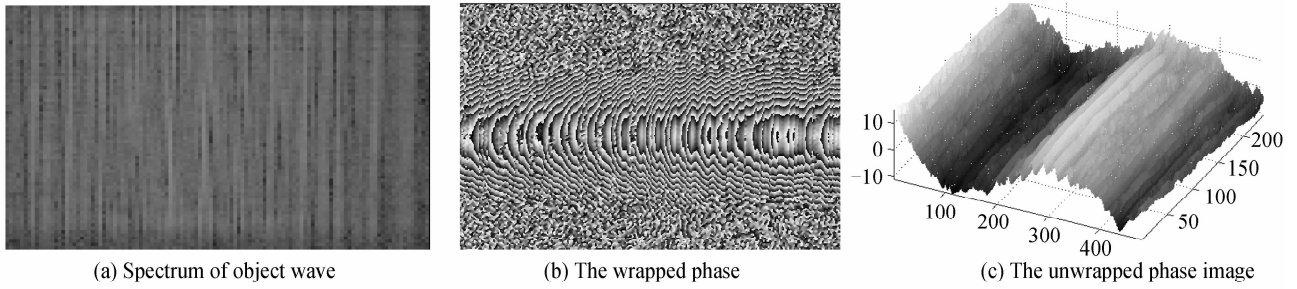


图 11 物光波频率不满足采样时对应的实验结果  
 Fig. 11 Experimental results when the object wave does not satisfy the sampling capacity

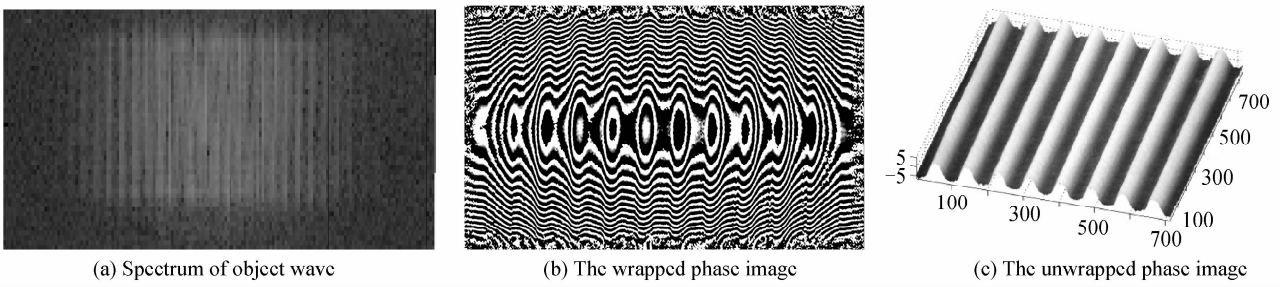


图 12 物光波满足采样时对应的实验结果  
 Fig. 12 Experimental results when the object wave satisfies the sampling capacity

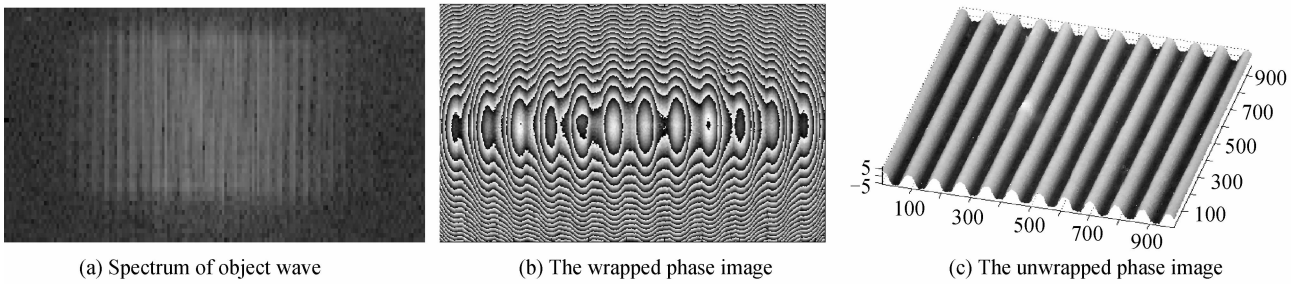


图 13 物光波满足采样的像面全息图对应的实验结果  
 Fig. 13 Experimental results when the object wave satisfies the sampling capacity in image-plane hologram

得到正确的正弦型相位光栅相位图. 为了验证记录距离与有效记录尺寸的关系, 将此 CCD 置于像平面, 得到物光波频谱如图 13(a), 包裹相位图如图 13(b), 此包裹相位图不存在边缘问题, 对整个包裹相位图解包裹, 得到再现像如图 13(c), 得到正确的正弦型相位光栅相位图. 由于空间角谱法得到的再现像素尺寸和全息图像素尺寸一致, 因此图 12(b) 和 13(b) 显示, 记录距离越小, 有效记录的尺寸越大, 在像面上有效记录的尺寸最大.

### 5 结论

数字全息显微术已广泛应用于各个领域, 再现像的像质直接影响测量的准确度和准确度. 通过理论分析和实验, 对于数字全息显微系统的参量设计得到一些有益的启示:

1) 宏观上粗糙物体表面在微观上总可以看成是连续的曲面分布, 物光波的空间频率由物体的面形结构频率决定. 在理想成像时, 像空间物光波频率与

物体面形结构频率成正比, 与放大率成反比.

2) 设计的系统应该让所有的物光波频率分量都进入记录面, 并能够被有效的记录. 因此必须设计合适的系统放大倍率, 使像空间的物光波空间频率缩小到满足采样要求, 从而获取高质量的数字全息图.

3) 记录器件离开系统所成的像平面的距离影响有效记录的物体尺寸, 离开像平面的距离越小, 有效记录的物体尺寸越大, 在像平面上时有效记录的物体尺寸最大.

### 参考文献

[1] CUCHE E, BEVILACQUA F, DEPEURSINGE C. Digital holography for quantitative phase-contrast imaging[J]. *Optics Letters*, 1999, **24**(5): 291-293.  
 [2] CHARRIÈRE F, KÜHN J, COLOMB T, et al. Characterization of microlenses by digital holographic microscopy[J]. *Applied Optics*, 2006, **4**(5): 829-835.  
 [3] KOU S S, SHEPPARD C J. Imaging in digital holographic microscopy[J]. *Optics Express*, 2007, **15**(21): 13640-13648.  
 [4] KEMPER B, BALLY G. Digital holographic microscopy for live cell applications and technical inspection[J]. *Applied Optics*, 2008, **47**(4): A52-61.  
 [5] MANN C J, BINGHAM P R, PAQUIT V C, et al.

- Quantitative phase imaging by three-wavelength digital holography[J]. *Optics Express*, 2008, **16**(13): 9753-9764.
- [6] FORNARO G, FRANCESCHETTI G, LANARI R, *et al.* Robust phase-unwrapping techniques: a comparison [J]. *JOSA A*, 1996, **13**(12): 2355-66.
- [7] ZAPPA E, BUSCA G. Comparison of eight unwrapping algorithms applied to Fourier-transform profilometry [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2008, **46**(2): 106-116.
- [8] GARCIA-SUCERQUIA J, RAMIREZA J A H, PRIETOC D V. Reduction of speckle noise in digital holography by using digital image processing[J]. *Optik*, 2005, **116**(1): 44-48.
- [9] PALACIOS F, GONCALVES E, JORGE R, *et al.* Adaptive filter to improve the performance of phase-unwrapping in digital holography[J]. *Optics Communications*, 2008, **238**(4-6): 245-251.
- [10] MANN C J, YU L, LO C, *et al.* High-resolution quantitative phase-contrast microscopy by digital holography [J]. *Optics Express*, 2005, **13**(22): 8693-8698.
- [11] ZHONG Li-yun, ZHANG Yi-mo, LÜ Xiao-xu, *et al.* Analysis of the characteristics about the digital holography of the spherical reference wave[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1209-1213.  
钟丽云,张以谟,吕晓旭,等.球面参考光波数字全息的一些特点分析及实验[J].*光学学报*,2004,**24**(9):1209-1213.
- [12] WANG Hua-ying, WANG Da-yong, XIE Jian-jun. Analysis of recording conditions of digital hologram by maximum spatial frequency[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(4): 645-649.  
王华英,王大勇,谢建军.用极值频率法分析数字全息的记录条件[J].*光子学报*,2007,**36**(4):645-649.
- [13] WANG Hua-ying, WANG D Y, ZHAO J, *et al.* Resolution analysis of imaging system with pre-magnification digital holography[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(4): 729-733.  
王华英,王广俊,赵洁,等.预放大数字全息系统的成像分辨率分析.*光子学报*,2008,**37**(4):729-733.

## Effect of System Parameters on the Reconstructed Image Quality in Digital Holographic Microscopy

MA Li-hong, WANG Hui, YONG Li, DENG Li-jun

(*Institute of Information Optics, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China*)

**Abstract:** The effect of system parameters on the reconstructed image quality in in-line digital holographic microscopy was studied. Firstly the spatial frequency of object wave was computed. Under the assumption of perfect imaging, the spatial frequency of object wave in the image space was completely determined by the frequency of the surface structure of the measured specimen and the magnification of the imaging system. Then, a suitable magnification must be designed so that the spatial frequency of object wave in the image space could satisfy the sampling capacity, based on the analysis that all the spatial frequency components of object wave should arrive at the recording plane and be effectively recorded in order to acquire the reconstructed image with high quality. And the recording distance affects on the object size which can be effectively recorded. When the magnification was the same, the size became larger with the decrease of the recording distance. Both the simulation and optical experiments validate the correctness of the proposed analysis.

**Key words:** Digital holographic microscopy; Reconstructed image quality; Magnification; Recording distance