



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101957171 B

(45) 授权公告日 2012. 02. 01

(21) 申请号 201010258316. 2

(22) 申请日 2010. 08. 19

(73) 专利权人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

(72) 发明人 赵建林 邸江磊

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 王鲜凯

(51) Int. Cl.

G01B 9/021 (2006. 01)

G01N 21/45 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5805316 A, 1998. 09. 08, 全文.

US 2009091811 A1, 2009. 04. 09, 全文.

CN 101794111 A, 2010. 08. 04, 全文.

仇宇. 全息图的数字化频域滤波及数值再现研究. 《电子科技大学学报》. 2006, 第 35 卷 (第 6 期), 970-972, 976.

审查员 韩冰

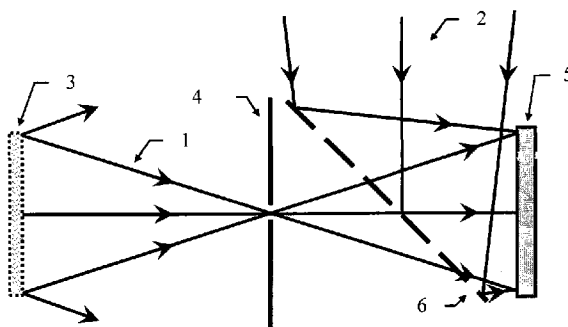
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种可有效抑制零级和共轭像的同轴数字全息方法

(57) 摘要

本发明涉及一种可有效抑制零级和共轭像的同轴数字全息方法,其技术特征在于:针对漫反射型物体或透射型物体,通过数字全息图记录过程的特殊设计,仅利用一幅数字全息图,并经过简单数值运算得到抑制零级衍射和共轭像的全息再现像,在全息图的再现过程中,光阑或者低通滤波操作可以挡掉 0 级 +1 级以及所有高次衍射光波,仅仅让 -1 级衍射光波透过,从而使 -1 级全息像得到分离重现。相比于通常的同轴数字全息图,其再现像受到零级和共轭像的严重干扰,本方法全息再现像的效果理想,其避免了相移和 HRO 相减等方法不可实时性以及数值迭代算法复杂且需要多步计算等的缺点。



1. 一种漫反射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,其特征在于步骤如下:

步骤 1,在待测物体与全息干涉图数字记录位置之间设置一个小孔,激光照射并透过待测物体或者从待测物体表面反射的激光束通过小孔,沿同一光轴方向到达记录位置形成物光波;该物光波在记录位置与参考光波发生干涉,形成反映待测物体的全息干涉图;所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波;

步骤 2,以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ , 其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长, 等于激光照射时激光的波长;  $R$  为再现照明光波的复振幅分布, 等于参考光波的复振幅的共轭;  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数, 等于全息干涉图的强度;  $\cos \theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离, 等于小孔到记录位置的距离;

然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

步骤 3, 选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1%~70%;

步骤 4, 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ ; 计算中衍射距离  $d$  取待测物体到小孔的距离。

2. 一种透射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,其特征在于步骤如下:

步骤 1, 以汇聚激光照射并透过待测物体到达记录位置形成物光波, 该物光波在记录位置与参考光波发生干涉, 形成反映待测物体的全息干涉图; 所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波; 所述的记录位置设置于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点之后;

步骤 2, 以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波, 利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ , 其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长, 等于激光照射时激光的波长;  $R$  为再现照明光波的复振幅分布, 等于参考光波的复振幅的共轭;  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数, 等于全息干涉图的强度;  $\cos \theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离, 等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离;

然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

步骤 3, 选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1%~70% ;

步骤 4, 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ ; 计算中衍射距离  $d$  取待测物体到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离。

3. 一种透射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法, 其特征在于步骤如下:

步骤 1, 在待测物体与全息干涉图数字记录位置之间设置一个透镜, 以平行激光照射并透过待测物体, 经过透镜汇聚后到达记录位置形成物光波; 该物光波在记录位置与参考光波发生干涉, 形成反映待测物体的全息干涉图; 所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波; 所述的记录位置设置于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点之后;

步骤 2, 以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波, 利用描述光波衍射传播的菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式

$$U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\theta) dx dy$$

得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ , 其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长, 等于激光照射时激光的波长;  $R$  为再现照明光波的复振幅分布, 等于参考光波的复振幅的共轭;  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数, 等于全息干涉图的强度;  $\cos\theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离, 等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离;

然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

步骤 3, 选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1%~70% ;

步骤 4, 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式计算衍射图样  $H_4$ ; 计算中的衍射距离  $d$  取透镜到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离; 步骤 5, 对

衍射图样  $H_4$  的强度分布乘以  $P(x, y) \exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$ , 其中  $P(x, y)$  为透镜的光瞳函数,

$\exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$  为透镜引入的相位变换, 之后继续利用菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式

计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的  $H_3$ ; 计算中的衍射距离  $d$  取透镜到待测物体的距离。

## 一种可有效抑制零级和共轭像的同轴数字全息方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及全息技术领域,特别涉及一种可有效抑制零级和共轭像的同轴数字全息方法。

### 背景技术

[0002] 英籍学者伽柏在研究如何提高电子显微镜的分辨本领时,首次提出了同轴全息术的思想。同轴全息术的特点是参考光波与物光波同轴,记录光路简单,对环境和光源的相干性要求较低。但缺点是零级衍射(即直透光)和共轭像与原物场的再现像也同轴,从而使原物场的再现像受到很强的背景干扰,再现像质量下降。与同轴全息术相比,离轴全息术中物光和参考光有一定的夹角,从而使全息图再现过程中的零级衍射、再现像及其共轭像彼此分开,但离轴全息术对全息图记录光路、环境震动及记录介质的要求较高,且并不适用于粒子场测量等领域。

[0003] 近年来,数字全息术逐渐成为研究的热点。数字全息术以固体成像器件 CCD (Charge Coupled Device, 电荷耦合器件) 或 CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, 金属氧化物半导体) 替代传统的银盐干板来记录全息图,通过计算机数值模拟全息图的衍射过程,利用快速傅里叶变换算法及频谱滤波处理等获得物光波场的振幅和相位信息,实现三维物光波场重构,避免了传统的湿化学处理过程,具有快速、实时等优点。根据不同记录光路结构,数字全息术也分为同轴和离轴两类。同轴数字全息术对 CCD 的空间分辨率要求较离轴数字全息术低,但与传统的同轴光学全息术类似,同轴数字全息术的再现像同样受到零级衍射和共轭像的干扰,因而限制了其广泛应用。

[0004] 目前,同轴数字全息术主要采用相移技术、HRO 相减技术或者重建过程的数值迭代算法等,来消除数值再现像中零级衍射和共轭像的影响。相移技术要求依次记录有一定相移差的四幅或多幅数字全息图,并通过对所记录的多幅全息图进行数值计算,以消除零级衍射和共轭像,但在多幅全息图的记录过程中往往难以精确控制相移,且对于快速变化的物体无法利用该方法。HRO 相减技术需要利用 CCD 分别记录物光、参考光以及其所形成的数字全息图,并对其进行相应的数值计算,但与相移技术类似,同样难以用于物体的动态变化过程。重建过程的数值迭代算法通过在同轴数字全息图的数值重建过程引入迭代因子,经过多步迭代计算获得无完全无直透光和共轭像影响的全息再现像,但是其运算复杂,多步运算耗时较久。

### 发明内容

[0005] 要解决的技术问题

[0006] 为了避免现有技术的不足之处,本发明提出一种可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴全息方法,通过数字全息图记录过程的特殊设计,仅利用一幅数字全息图,并经过简单数值运算得到抑制零级衍射和共轭像的全息再现像,克服已有方法需记录多幅全息图或者运算复杂等缺点。

[0007] 技术方案

[0008] 一种漫反射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,其特征在于步骤如下:

[0009] 步骤 1,在待测物体与全息干涉图数字记录位置之间设置一个小孔,激光照射并透过待测物体或者从待测物体表面反射的激光束通过小孔,沿同一光轴方向到达记录位置形成物光波;该物光波在记录位置与参考光波发生干涉,形成反映待测物体的全息干涉图;所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波;

[0010] 步骤 2,以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$[0011] \quad U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

[0012] 得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ ,其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos \theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离等于小孔到记录位置的距离;

[0013] 然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方,得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

[0014] 步骤 3,选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波,获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ;所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1%~70%;

[0015] 步骤 4,对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ ;计算中衍射距离  $d$  取待测物体到小孔的距离。

[0016] 一种透射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,其特征在于步骤如下:

[0017] 步骤 1,以汇聚激光照射并透过待测物体到达记录位置形成物光波,该物光波在记录位置与参考光波发生干涉,形成反映待测物体的全息干涉图;所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波;所述的记录位置设置于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点之后;

[0018] 步骤 2,以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$[0019] \quad U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

[0020] 得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ ,其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos \theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离;

[0021] 然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

[0022] 步骤 3, 选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1% ~ 70%;

[0023] 步骤 4, 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ ; 计算中衍射距离  $d$  取待测物体到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离。

[0024] 一种透射型物体可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法, 其特征在于步骤如下:

[0025] 步骤 1, 在待测物体与全息干涉图数字记录位置之间设置一个透镜, 以平行激光照射并透过待测物体, 经过透镜汇聚后到达记录位置形成物光波; 该物光波在记录位置与参考光波发生干涉, 形成反映待测物体的全息干涉图; 所述参考光波为与物光波相干的且光轴重合的激光光波; 所述的记录位置设置于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点之后;

[0026] 步骤 2, 以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波, 利用描述光波衍射传播的菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式

[0027]

$$U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\theta\right) dx dy$$

[0028] 得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ , 其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos\theta$  是倾斜因子,  $d$  为衍射距离等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离;

[0029] 然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布;

[0030] 步骤 3, 选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 1% ~ 70%;

[0031] 步骤 4, 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分公式计算衍射图样  $H_4$ ; 计算中的衍射距离  $d$  取透镜到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离;

[0032] 步骤 5, 对衍射图样  $H_4$  的强度分布乘以  $P(x, y) \exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$ , 其中  $P(x, y)$  为

透镜的光瞳函数,  $\exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$  为透镜引入的相位变换, 之后继续利用菲涅尔 - 基尔

霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的  $H_3$ ; 计算中的衍射距离  $d$  取透镜到待测物体的距离。

[0033] 本发明的有益效果是: 利用本发明中方法最终可以获得清晰的再现像, 且抑制了同轴全息中零级和共轭像影响。本发明中方法简单, 可行, 仅需要在全息图的记录和再现过程对光路稍作调整, 即可以通过数字全息图记录过程的特殊设计, 仅利用一幅数字全息图, 并经过简单数值运算, 进行一次数字滤波实现同轴全息中零级和共轭像的抑制。在本发明

全息图的记录过程中,小孔光阑的作用是限制物体表面漫射光的方向,只允许表面上每点产生的球面子波中很小的一个立体角元内的光波通过小孔到达记录平面。参考光波可以采用会聚球面波、平面波,也可以采用发散球面波,以使记录平面上的干涉条纹间距较大,降低对 CCD 等记录介质的空间分辨率要求。此时,记录全息图时的小孔滤波实际上是借助了小孔成像原理,由于漫射的特点,物体上各点均会有散射光通过小孔,对于全息图而言,实际记录的相当于是小孔的非涅耳全息图,而该小孔又由其透射光场表征,故而实际记录了漫射物的全息像。而对于透射型物体,可以直接用会聚球面波照明,此时汇聚点处无需放置小孔光阑,且物体位置可以沿轴向随意移动。对于透射型物体也可以用平面波照明,但在物体后须放置一成像透镜,同样汇聚点处无需放置小孔光阑。对于透射型物体而言,会聚照明本身或者加一透镜就相当于频谱压缩,因而记录全息图无需再加小孔光阑滤波,此时实际记录的是汇聚点的菲涅耳全息图,而该汇聚点又由相应的汇聚光波表征,故而实际记录了透明物的全息像。在全息图的再现过程中,光阑或者低通滤波操作可以挡掉 0 级 +1 级以及所有高次衍射光波,仅仅让 -1 级衍射光波透过,从而使 -1 级全息像得到分离重现。相比于通常的同轴数字全息图,其再现像受到零级和共轭像的严重干扰,本方法全息再现像的效果理想,其避免了相移和 HRO 相减等方法不可实时性以及数值迭代算法复杂且需要多步计算等的缺点。

#### 附图说明

[0034] 图 1:漫射型物体全息记录过程示意图;

[0035] 图 2:漫射型物体全息再现过程示意图;

[0036] 图 3:透射型物体采用汇聚球面光照明全息记录过程示意图;

[0037] 图 4:透射型物体采用汇聚球面光照明全息再现过程示意图;

[0038] 图 5:透射型物体采用平行光照明全息记录过程示意图;

[0039] 图 6:透射型物体采用平行光照明全息再现过程示意图。

[0040] 图中,1-照射并透过或从物体表面反射的激光束、2-与激光束 1 相干的参考光波、3-待测漫射型物体、4-小孔光阑、5-CCD 相机、6-分光器件、7-与参考光波 2 共轭的再现照明光波、8-待测透射型物体、9-成像透镜。

#### 具体实施方式

[0041] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0042] 实施例 1:请参阅图 1 和图 2。本实施例为针对漫射型物体木制国际象棋子的可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,本实施例包括待测漫射型物体 3、CCD 相机 5、小孔光阑 4、分光器件 6、从漫射型物体 3 反射或透射的激光束 1、与激光束 1 相干的参考光波 2、与参考光波 2 共轭的再现照明光波 7 以及全息干涉图 H,衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H_3$ 。

[0043] 本实施例的工作过程为:在漫反射型待测物体 3 与数字记录全息干涉图的 CCD 相机 5 之间设置小孔光阑 4,激光照射并透过漫射型物体 3 或者从漫射型物体 3 表面反射的激光束 1 通过小孔光阑 4,沿同一光轴方向到达 CCD 相机 5 形成物光波,激光束 1 的波长为 532nm。该物光波在 CCD 相机 5 位置与参考光波 2 发生干涉,形成反映待测物体信息的全息干涉图 H。所述参考光波 2 为与物光波 1 相干的且光轴重合的激光光波。以与参考光波 2

共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$[0044] \quad U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

[0045] 计算得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ , 其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长, 为 532nm,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos \theta$  是倾斜因子, 在全息图记录和数值再现过程中因为满足傍轴近似,  $\cos \theta$  的值取 1,  $d$  为衍射距离等于小孔到记录位置的距离, 此实施例中取 4cm。然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方, 得到衍射图样  $H_1$  的强度分布。选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波, 获得滤波后的衍射图样  $H_2$ ; 所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 20%; 对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ ; 计算中衍射距离  $d$  取待测物体到小孔的距离, 此实施例中取 4cm。

[0046] 所述漫射型物体 3 为所需要测量物体, 光束可以透过该物体或从物体表面反射并携带需要测量的信息, 本实施例中为木制国际象棋子;

[0047] 所述激光束 1 为照射并透过漫射型物体 3 或者从其表面反射的光束, 包含有需要测量物体的信息, 作为全息图记录过程的物光;

[0048] 所述参考光波 2 与激光束 1 相干, 为球面光波或者平面光波, 作为全息图记录过程的参考光;

[0049] 所述 CCD 相机 5 为记录全息干涉图的光学图像数字记录器件;

[0050] 所述小孔光阑 4 为一对从待测物体 3 透射或反射的激光束 1 不透明的屏, 其中间开一空, 小孔半径  $r$  大小可调整, 此实施例中  $r$  取 0.5mm, 主要起到限制到达 CCD 相机 5 的物光光束的空间频率的作用;

[0051] 所述分光器件 6 为一分光镜, 主要是将物光波 1 和与参考光波 2 合并发生干涉, 且物光和参考光的夹角为零, 在 CCD 相机 5 处形成同轴全息图;

[0052] 所述再现照明光波 7 为数值计算过程中与参考光波 2 共轭的数值模拟的光波;

[0053] 所述全息干涉图  $H$  为 CCD 相机 5 记录并得到的数字全息图;

[0054] 所述衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H_3$  为数值计算过程中获得的衍射光的强度分布图样。

[0055] 利用本发明中的方法最终可以获得清晰的同轴全息再现像, 且抑制了零级和共轭像影响。本发明中的方法简单、可行, 仅需要在全息图记录和全息像再现过程中对光路稍作调整, 即可以实现传统同轴光学全息术的零级和共轭像抑制。在本发明提出的全息图记录过程中, 小孔光阑的作用是限制某些方向的物体表面漫射光到达全息图记录平面, 只允许表面上每点产生的球面子波中很小的一个立体角元内的光波通过小孔到达记录平面。参考光波可以采用会聚球面波或平面波, 也可以采用发散球面波, 以使记录平面上的干涉条纹有较大的间距, 降低对 CCD 等记录介质的空间分辨率要求。此时, 记录全息图时的小孔滤波实际上是借助了小孔成像原理, 由于漫射的特点, 物体上各点均会有散射光通过小孔, 对于全息图而言, 实际记录的相当于是小孔的菲涅耳全息图, 而该小孔又由其透射光场表征, 故



而实际记录了漫射物的全息像。

[0056] 实施例 2:请参阅图 3 和图 4。本实施例为针对透射型物体透明生物细胞切片的可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,本实施例包括待测透射型物体 8、CCD 相机 5、分光器件 6、透过漫射型物体 8 的汇聚球面激光束 1、与激光束 1 相干的参考光波 2、与参考光波 2 共轭的再现照明光波 7 以及全息干涉图 H,衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H_3$ 。

[0057] 本实施例的工作过程为:以汇聚激光束 1 照射并透过待测透射型物体 8 到达数字记录全息干涉图的 CCD 相机 5 形成物光波,该物光波在记录位置与参考光波 2 发生干涉,形成反映待测物体的全息干涉图 H,激光束 1 的波长为 640nm;所述参考光波 2 为与物光波相干的且光轴重合的激光光波。所述的 CCD 相机 5 位置设置于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点之后。以与参考光波共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

$$[0058] \quad U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta) dx dy$$

[0059] 计算得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ ,其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长为 640nm,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos \theta$  是倾斜因子,在全息图记录和数值再现过程中因为满足傍轴近似,  $\cos \theta$  的值取 1,  $d$  为衍射距离等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离,此实施例中取 5cm。然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方,得到衍射图样  $H_1$  的强度分布,选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波,获得滤波后的衍射图样  $H_2$ 。所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 5%。对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的衍射图样  $H_3$ 。计算中衍射距离  $d$  取待测物体到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离,此实施例中取 6cm。

[0060] 所述透射型物体 8 为所需要测量物体,光束可以直接透过该物体并携带需要测量的信息,本实施例中为透明生物细胞切片; ;

[0061] 所述激光束 1 为透过透射型物体 8 的汇聚球面光束,包含有需要测量物体的信息,作为全息图记录过程的物光;

[0062] 所述激光束 2 与激光束 1 相干,为平面光波,作为全息图记录过程的参考光;

[0063] 所述 CCD 相机 5 为记录全息干涉图的光学图像数字记录器件;

[0064] 所述分光器件 6 为一分光镜,主要是将物光波 1 和与参考光波 2 合并发生干涉,且物光和参考光的夹角为零,在 CCD 相机 5 处形成同轴全息图;

[0065] 所述再现照明光波 7 为数值计算过程中与参考光波 2 共轭的数值模拟的光波;

[0066] 所述全息干涉图 H 为 CCD 相机 5 记录并得到的数字全息图;

[0067] 所述衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H_3$  为数值计算过程中获得的衍射光的强度分布图样。

[0068] 本发明中的方法简单、可行,仅通过数字全息图记录记录过程的特殊设计,同时仅利用一幅数字全息图,经过简单数值运算,并进行一次数字滤波即可。在本发明中,对于透射型物体可以直接用会聚球面波照明,此时汇聚点处无需放置小孔光阑,且物体位置可以

沿轴向随意移动,会聚照明本身就相当于频谱压缩,因而记录全息图无需再加小孔光阑滤波,此时实际记录的是汇聚点的菲涅耳全息图,而该汇聚点又由相应的汇聚光波表征,故而实际记录了透明物的全息像。再现时,低通滤波操作可以挡掉 0 级、+1 级以及所有高次衍射光波,仅仅让 -1 级衍射光波透过,从而使 -1 级全息像得到分离重现。相比于通常的同轴数字全息图,其再现像受到零级和共轭像的严重干扰,由本方法得到得全息再现像的效果理想,避免了相移和 HRO 相减等方法不可实时性以及数值迭代算法复杂且需要多步计算等的缺点。

[0069] 实施例 3:请参阅图 5 和图 6。本实施例为针对透射型物体红血球细胞切片的可有效抑制零级衍射和共轭像的同轴数字全息方法,本实施例包括待测透射型物体 8、成像透镜 9、CCD 相机 5、分光器件 6、透过漫射型物体 8 的平行激光束 1、与激光束 1 相干的参考光波 2、与参考光波 2 共轭的再现照明光波 7 以及全息干涉图 H,衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  和  $H_4$ 。

[0070] 本实施例的工作过程为:在待测透射型物体 8 与数字记录全息干涉图的 CCD 相机 5 之间设置一个成像透镜 9,以平行激光束 1 照射并透过待测物体 8,经过透镜汇聚后到达记录位置 CCD 相机 5 形成物光波,激光束 1 的波长为 632.8nm。该物光波在记录位置与参考光波 2 发生干涉,形成反映待测物体的全息干涉图 H。所述参考光波 2 为与物光波相干的且光轴重合的激光光波。所述的记录位置亦即 CCD 相机 5 所处位置设置于平行激光照射并透过待测物体 8 后,穿过透镜形成的汇聚点之后。以与参考光波 2 共轭的光波作为数值模拟计算过程的再现照明光波,利用描述光波衍射传播的菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式

[0071]

$$U(\xi, \eta) = -\frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) R(x, y) \frac{\exp(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2})}{\sqrt{d^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} \times (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\theta) dx dy$$

[0072] 计算得到复振幅分布  $U(\xi, \eta)$ ,其中:  $(\xi, \eta)$  为积分公式计算得到的平面,  $(x, y)$  为待测物体的全息干涉图平面的坐标,  $\lambda$  为再现照明光波波长等于激光照射时激光的波长,为 632.8nm,  $R$  为再现照明光波的复振幅分布等于参考光波的复振幅的共轭,  $h(x, y)$  是全息图的复振幅透射函数等于全息干涉图的强度,  $\cos\theta$  是倾斜因子,在全息图记录和数值再现过程中因为满足傍轴近似,  $\cos\theta$  的值取 1,  $d$  为衍射距离等于汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点到记录位置的距离,此实施例中取 10cm,然后对复振幅分布  $U(\xi, \eta)$  取模值并求平方,得到衍射图样  $H_1$  的强度分布,选取衍射图样  $H_1$  的低频部分对衍射图样  $H_1$  进行滤波,获得滤波后的衍射图样  $H_2$ 。所述的低频部分为衍射图样  $H_1$  的内切圆半径的 10%。对衍射图样  $H_2$  再次利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算衍射图样  $H_4$ ,计算中的衍射距离  $d$  取透镜到汇聚激光照射并透过待测物体后形成的汇聚点的距离。对衍射图样  $H_4$  的强度分布乘以  $P(x, y) \exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$ ,其中  $P(x, y)$  为透镜的光瞳函数,

$\exp\left[-i \frac{k}{2f} (x^2 + y^2)\right]$  为透镜引入的相位变换,之后继续利用菲涅尔-基尔霍夫衍射积分公式计算得到有效抑制零级和共轭像的数字全息再现像的  $H_3$ ;计算中的衍射距离  $d$  取透镜到待测物体的距离,此实施例中取 10cm。

[0073] 所述透射型物体 8 为所需要测量物体,光束可以直接透过该物体并携带需要测量

的信息,本实施例中为红血球细胞切片;

[0074] 所述激光束 1 为透过透射型物体 8 的平行激光光束,包含有需要测量物体的信息,作为全息图记录过程的物光;

[0075] 所述激光束 2 与激光束 1 相干,为平面光波,作为全息图记录过程的参考光;

[0076] 所述 CCD 相机 5 为记录全息干涉图的光学图像数字记录器件;

[0077] 所述分光器件 6 为一分光镜,主要是将物光波 1 和与参考光波 2 合并发生干涉,且物光和参考光的夹角为零,在 CCD 相机 5 处形成同轴全息图;

[0078] 所述再现照明光波 7 为数值计算过程中与参考光波 2 共轭的数值模拟的光波;

[0079] 所述全息干涉图 H 为 CCD 相机 5 记录并得到的数字全息图;

[0080] 所述衍射图样  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  和  $H_4$  为数值计算过程中获得的衍射光的强度分布图样。

[0081] 本发明中方法简单、可行,仅需要在全息图的记录和全息像的再现过程中对光路稍作调整,通过数字全息图记录过程的特殊设计,仅利用一幅数字全息图,并经过简单数值运算,进行一次数字滤波即可。在本发明全息图的记录过程中,对于透射型物体可以用平面波照明,但在物体后须放置一成像透镜,同样汇聚点处无需放置小孔光阑。对于透射型物体而言,加一透镜就相当于频谱压缩,因而记录全息图无需再加小孔光阑滤波,此时实际记录的是汇聚点的菲涅耳全息图,而该汇聚点又由相应的汇聚光波表征,故而实际记录了透明物的全息像。在全息图的再现过程中,光阑或者低通滤波操作可以挡掉 0 级 +1 级以及所有高次衍射光波,仅仅让 -1 级衍射光波透过,从而使 -1 级全息像得到分离重现。相比于通常的同轴数字全息图,其再现像受到零级和共轭像的严重干扰,由本方法得到的全息再现像的效果理想,其避免了相移和 HRO 相减等方法不可实时性以及数值迭代算法复杂且需要多步计算等的缺点。

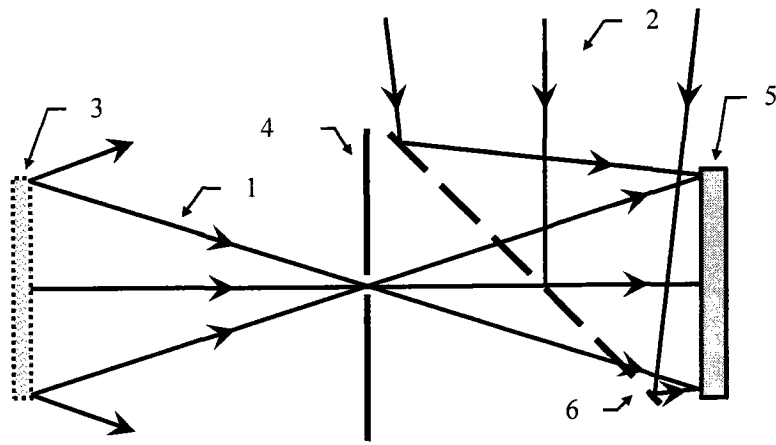


图 1

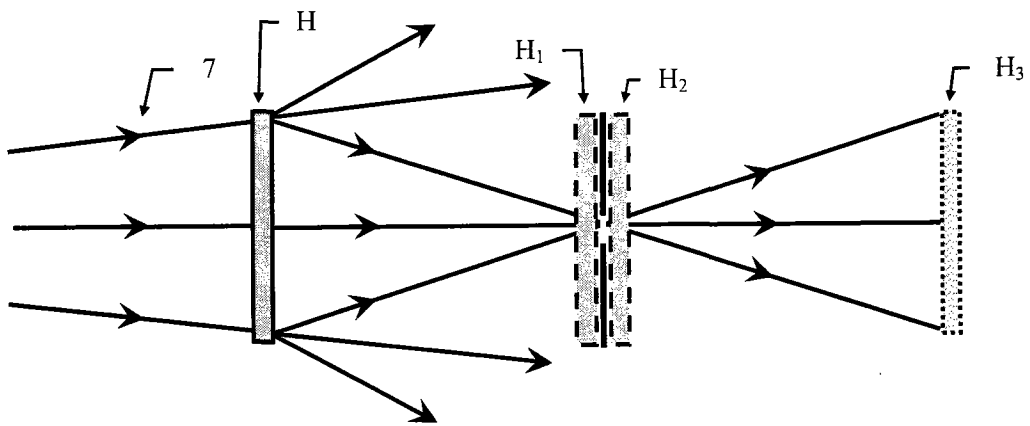


图 2

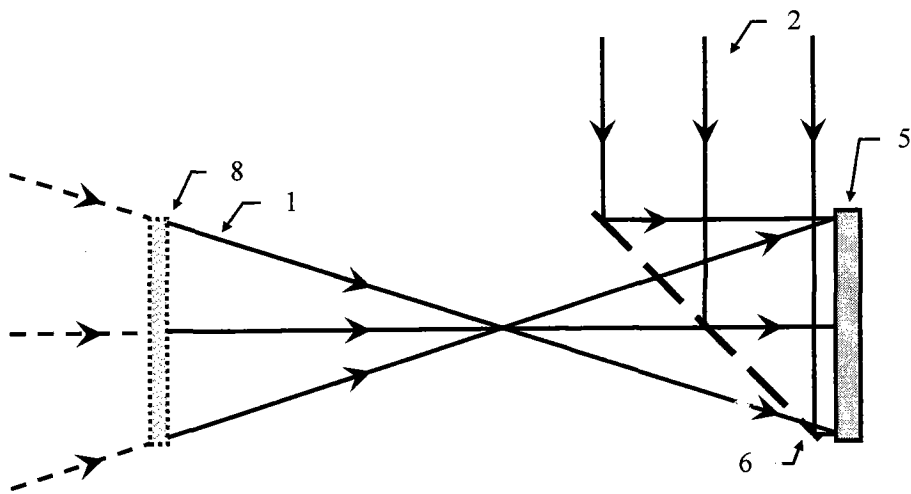


图 3

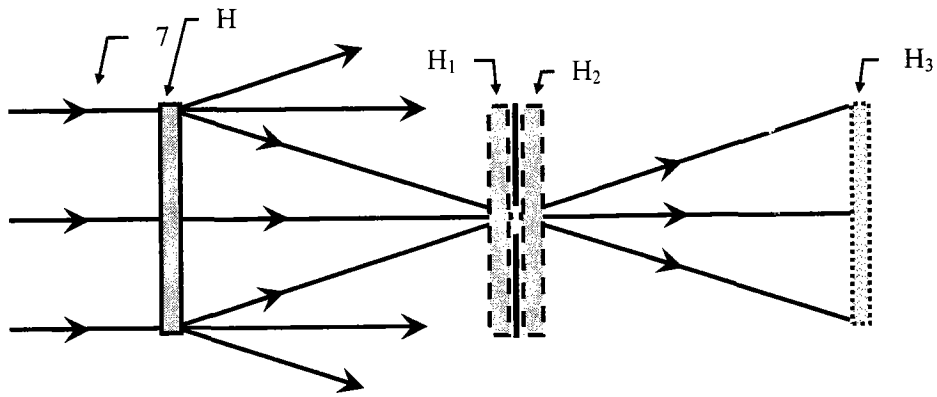


图 4

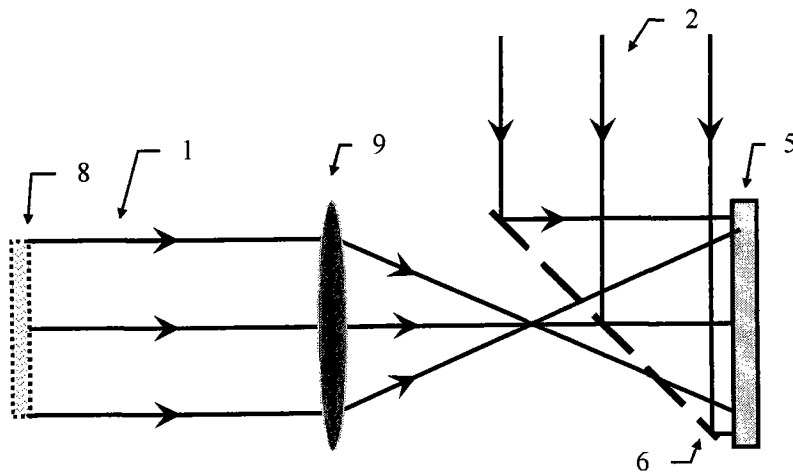


图 5

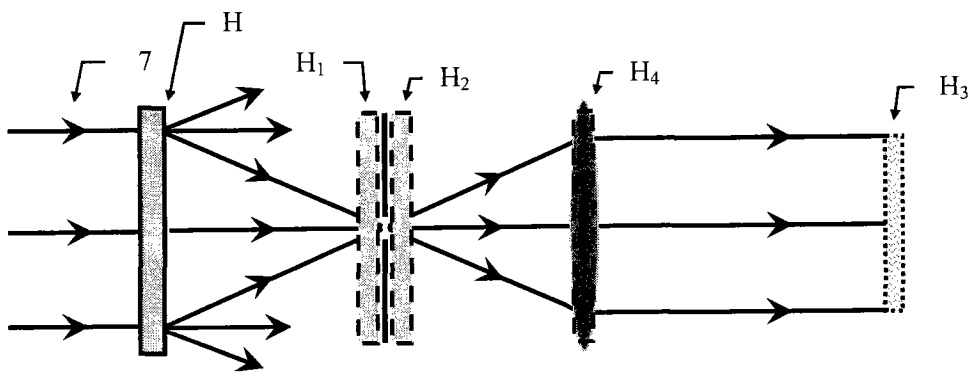


图 6