

大景深多重全息术及其应用*

林有义 高淑梅** 赵志敏

唐志高

(南京航空航天大学应用光学研究室, 南京 210016) (苏州建筑职工大学, 苏州 215006)

摘 要 提出并实现了用一般 He-Ne 激光器记录的大景深多重全息术. 这种技术是根据光源时间相干性的特点, 在参考光上作光路补偿来扩大景深, 并用旋转光楔调制两平面参考波, 记录大景深物场的多重全息图. 这是一种重像数可以选择的大景深多重全息术. 文中给出理论分析和实验结果, 理论分析与实验结果是吻合的. 文中还提出了用旋转光楔实现多路多参考光编码记录的多通道大景深全息干涉计量术. 这种技术可用于研究大景深物场的时间序列动态过程.

关键词 多重全息术, 大景深多重全息术, 光路补偿, 旋转光楔.

1 引 言

旋转光楔多重全息术^[1]是利用一旋转光楔调制平面参考波, 实现多参考光编码记录获得多重全息图. 所记录物场的景深仍受光源的相干长度限制^[2]. 在物光光路上作光路补偿, 可用不同光程的物照明光, 并使物光与参考光的光程差等于激光管腔长的偶数倍^[3], 和采用多束与参考光等光程的物光分区照明^[4]等方法. 用多束与物光波等光程的参考光, 则是在参考光路上作光路补偿^[5], 无论用哪一种光路补偿方法, 都能扩大景深摄得较满意的大景深全息图.

旋转光楔多重全息照相光路, 较适于在参考光路上作光路补偿. 因为转动光楔可同时改变两平面参考波的传播方向, 并与大景深物场一一对应, 记录大景深多重全息图. 将该技术用于全息干涉计量术, 则为一种新的大景深多通道全息干涉计量术.

2 基本原理

旋转光楔大景深多重全息照相光路系统如图 1 所示. 图中由 BS_2 反射的参考光 R_1 与物体 O_1 的物光等光程, BS_2 透射的光经 M_2 、 M_3 反射后的参考光 R_2 与物体 O_2 的物光等光程. 两参考光的传播方向相同, 并由同一旋转光楔调制. 转动光楔改变参考光的传播方向, 并与物光一一对应记录.

* 航空科学基金.

** 徐州师范学院物理系.

收稿日期: 1993 年 12 月 31 日; 收到修改稿日期: 1994 年 3 月 4 日

设记录的物场为 O_1 、 O_2 点源发出的球面波。
 (x, y, z) 为记录平面坐标, 在非涅耳近似条件下,
 物光波可分别表示为

$$\begin{aligned} O_{1i} &= O_{10} \exp [j\Phi_{1i}] \\ &= O_{10} \exp [jk(x^2 + y^2 - 2xx_{1i} - 2yy_{1i})/2z_{1i}] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} O_{2i} &= O_{20} \exp [j\Phi_{2i}] \\ &= O_{20} \exp [jk(x^2 + y^2 - 2xx_{2i} - 2yy_{2i})/2z_{2i}] \end{aligned} \quad (2)$$

平面参考波 R_1 、 R_2 均同时受旋转光楔调制, 并沿
 同方向入射到干版. 如图 2 所示. 其中 R_2 增大的
 光程为 Δr . 调节 BS_2 使 R_1 、 R_2 分别为

$$\begin{aligned} R_{1i} &= R_0 \exp [j\Phi_{ri}] \\ &= R_0 \exp [jk(x \cos \varphi_i + y \sin \varphi_i) \sin \theta_i] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_{2i} &= R_0 \exp [j(\Phi_{ri} + k\Delta r)] \\ &= R_0 \exp [jk(x \cos \varphi_i + y \sin \varphi_i) \sin \theta_i] \exp [jk\Delta r] \end{aligned} \quad (4)$$

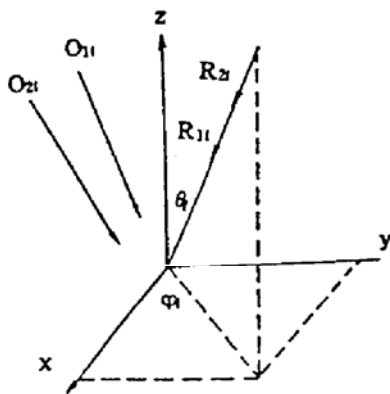


Fig. 2 Coordinate for recording

$$\begin{aligned} T(x, y) &= nc [O_{10}^2 + O_{20}^2 + 2R_0^2(1 + \cos k\Delta r)] \\ &+ \sum_{i=1}^n \{ O_{10}O_{20}C_0 \exp [j(\Phi_c + \Phi_{1i} - \Phi_{2i})] + O_{10}O_{20}C_0 \exp [j(\Phi_c - \Phi_{1i} + \Phi_{2i})] \\ &+ O_{10}R_0^i C_0 \exp [j(\Phi_c + \Phi_{1i} - \Phi_{ri})] + O_{10}R_0^i C_0 \exp [j(\Phi_c - \Phi_{1i} + \Phi_{ri})] \\ &+ O_{20}R_0^i C_0 \exp [j(\Phi_c + \Phi_{2i} - \Phi_{ri})] + O_{20}R_0^i C_0 \exp [j(\Phi_c - \Phi_{2i} + \Phi_{ri})] \} \\ R_0 &= R_0 [1 + \exp(-jk\Delta r)]; \quad R_0^i = R_0 [1 + \exp(jk\Delta r)] \end{aligned} \quad (7)$$

上式第 1 项代表直射光; 第 2、3 项是两物点之间的互相干项, 在离轴全息记录情况下, 适当
 加大物光与参考光之间夹角, 互相干项不会干扰物体的再现像; 第 4~6 项分别代表所记录
 物场再现的原始像和共轭像.

设记录不同景深处同一物体, 即 $x_{1i} = x_1$, $y_{1i} = y_1$, $z_{1i} = z_1$. 并用平行光垂直入射再现, 由
 (7) 式中第 4 项原始像的位相组合可得^[2]

$$Z_{1i} = z_1, \quad X_{1i} = x_1 + z_1 \cos \varphi_i \sin \theta_i, \quad Y_{1i} = y_1 + z_1 \sin \varphi_i \sin \theta_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

并有 $(X_{1i} - x_1)^2 + (Y_{1i} - y_1)^2 = z_1^2 \sin^2 \theta_i \quad (9)$

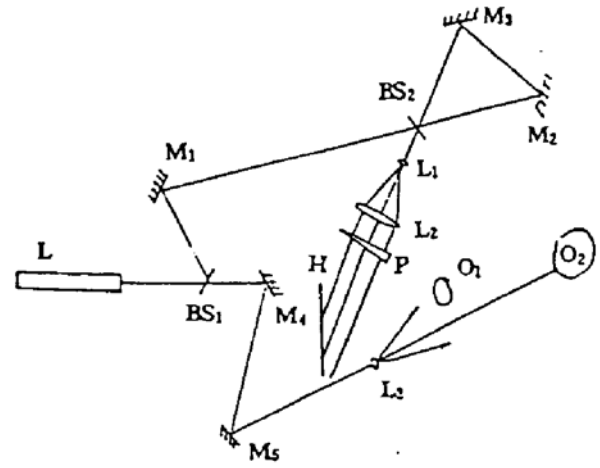


Fig. 1 The experimental light path

BS₁、BS₂-beam splitter; L-He-Ne laser; L₁、L₂、L₃-
 lens; P- rotating prism; M₁ ~ M₅- mirror; H-
 holographic plate

式中 (X_1, Y_1, Z_1) 为原始像的中心坐标, 另一景深处再现原始像的中心坐标为

$$Z_2 = z_2, \quad X_2 = x_2 + z_2 \cos \varphi \sin \theta, \quad Y_2 = y_2 + z_2 \sin \varphi \sin \theta, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

及
$$(X_2 - x_2)^2 + (Y_2 - y_2)^2 = z_2^2 \sin^2 \theta \quad (11)$$

(8~11)式说明, 用平行光垂直入射再现时, 能同时观察到所有的再现原始像. 不同景深处的物体分别位于不同平面 ($Z_1 = z_1, Z_2 = z_2$) 上, 并分布在以 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 为中心的不同半径 ($z_1 \sin \theta$ 和 $z_2 \sin \theta$) 的圆周上. 两平面再现原始像的位置随 z, θ 而变, 因而轨迹不会呈圆周形^[2].

3 实 验

实验用图 1 所示的光路, 试件为一虎一兔, 其间距为 50 cm (约为激光相干长度的 2.2 倍). He-Ne 激光管腔长 50 cm. R_2 的附加光程 Δr 取 50 cm, 并与远处兔的物光等光程. R_1 与近处虎的物光等光程. 共拍摄 8 个通道. 经再现可同时观察到所有的再现多重像. 由于景深较大, 翻拍成普通照片时是分别对焦. 如图 3 所示. 图 3(a) 中对远处兔像对焦, 近处虎像较模糊. 图 3(b) 是对近处虎像对焦, 能观察到与图 3(a) 相反的效果. 实验结果说明理论分析与实验基本吻合.

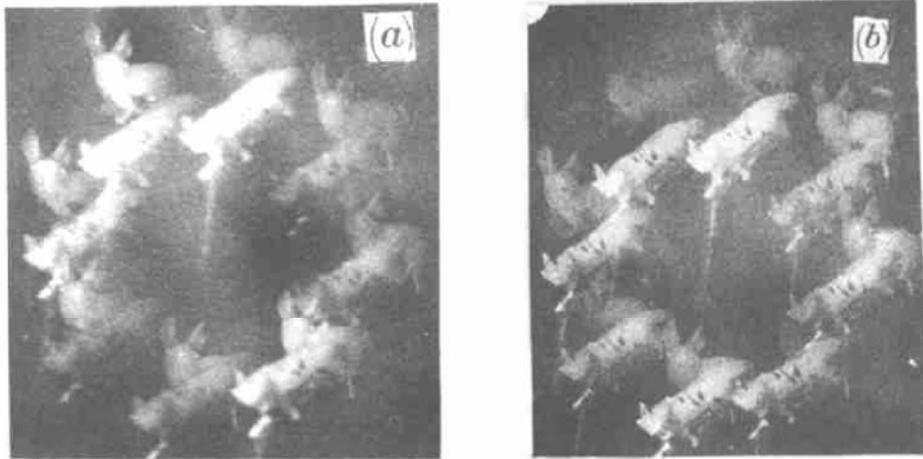


Fig. 3 Original images

4 应 用

全息干涉计量术是全息应用的重要领域. 大景深多重全息术能记录大景深物场的多重像, 并同时再现出所有的波前, 因此这种多通道技术就能为大景深物场不同状态的记录与比较, 以及在时间序列动态过程中进行抽样记录与比较提供一新途径.

实验用图 1 的光路, 记录反映全内腔 He-Ne 激光管 (管长 50 cm, 受记录面涂白粉) 玻壳变形的双曝光全息图. 共用 3 个通道, 记录了激光管点燃 1'、15' 和 30' 时前后两种状态. 再现的干涉条纹如图 4 所示. 从图可以看出, 激光管开始点燃时, 玻壳基本上沿管轴不均膨胀, 点燃 30' 后玻壳基本上沿径向膨胀. 实验结果与激光管使用要求是吻合的.

5 讨 论

理论分析和实验结果表明, 根据所用的激光器管长选择恰当的 Δr , 不但能拍摄大景深分离物体, 而且还能用于摄制连续分布物体的大景深多重全息图, 扩大全息术应用范围. 一般

情况, lr 取值约为实际使用激光器相干长度的 2 倍。

要避免再现多重像重叠, 需用最小半径 $r_1 \sin \theta_{\max}$ 和 $r_2 \sin \theta_{\max}$ (Q_{\max} 等于平面参考波初始入射方向和 z 轴的夹角与光楔顶角之差^[2]), 并根据被摄物体大小形状安排光路。与旋转光楔多重全息术一样, 这种技术仍然是综合应用全息记录的冗余性和多重性而实现的。

从实验结果可以看出, 所摄制的多重全息图的衍射效率不高, 再现像的噪声也较大。这是作多曝光记录必然产生的结果。另一原因是用参考光作光路补偿时, O_1 与 R_2 、 O_2 与 R_1 的光程差适等于激光管腔长的奇数倍, 使干版不同位置上接收到两光波的相干性降低造成的。而再现像上的散斑噪声, 则是用小光圈 ($f/22$) 摄制普通照片所造成的。从实验结果还可以看出, 将再现的多重像翻拍成普通照片时, 由于景深较大像的部分较为模糊, 而且大小也逐渐变化 (如图 4 所示), 所以依据干涉条纹作定量分析时, 必需按像变化大小确定与原物相对应的坐标关系

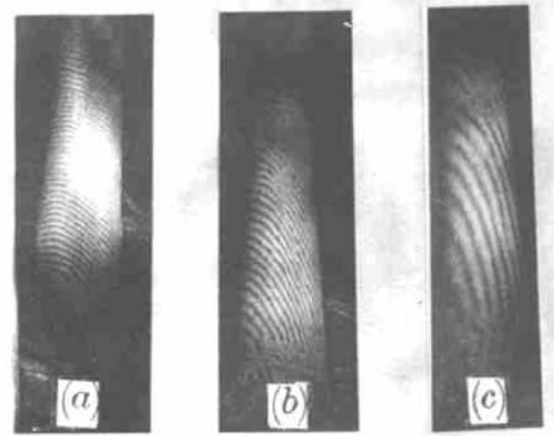


Fig. 4 Double exposure holographic interference fringe

参 考 文 献

- [1] 林有义, 胡克莉, 吴健南, 旋转光楔多重全息术. 光学学报, 1992, 12(5): 437~439
- [2] Youyi Lin, Keli Hu, Jiannan Wu, Rotating prism multiplex holography and its application. *Opt. Engng*, 1994, 33(1): 209~212
- [3] 葛万福, 熊乘衡, 大景深全息图的拍摄. 光学学报, 1985, 5(7): 600~604
- [4] 幸良梁, 印建平, 大场景全息照相. 光学学报, 1986, 6(5): 433~439
- [5] 于美文, 光学全息及信息处理. 北京: 国防工业出版社, 1984, 109~114, 154~155

Multiplex Holography with Great Depth and Its Application

Lin Youyi Gao Shumai Zhao Zhimin

(Applied Optics Research Section, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Tang Zhigo

(Suzhou University of Architecture Profession, Suzhou 215006)

(Received 31 December 1993; revised 4 March 1994)

Abstract According to the principle of rotating prism multiplex holography and great depth holography, a multiplex holography with great depth by using He-Ne laser is demonstrated. The technique uses reference beam path compensation and rotating prism modulation of two plane reference beams to record multiplex hologram of great depth of object field. The multiplexing number could be chosen arbitrarily. The theoretical analysis and experimental results are presented and shown well in agreement. A multiplexing technique is proposed for holographic interferometry of great depth which uses multiple reference beams to encode and record holograms. This technique can be used for observing time sequencing dynamical process of great depth of object field.

Key words multiplex holography, multiplex holography of great depth, make-up path, rotating prism.