

# 环形光栅光学扫描全息术的研究

梁万国 赵达尊 谢敬辉 赵业玲

(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**摘 要** 为了充分利用光学扫描全息系统的分辨率, 提出了用环形光栅扫描物体的光学扫描全息术。其优点是: 可以用非相干光源记录扫描全息图, 系统为单光路, 从而可以提高系统的稳定性。阐明了环形光栅光学扫描全息术的基本原理, 并给出了实验结果。

**关键词** 光学扫描, 全息术, 光电混合处理系统。

## 1 引 言

为了让全息术走出实验室对实际景物进行全息记录, 必须改变传统全息图的记录条件和光源。1985 年美国 Poon 等人提出了在离焦非相干图像处理系统中利用声-光外差技术产生光学扫描全息术的方法<sup>[1]</sup>。该方法的优点之一是不需要大透镜就能够产生大物体的全息图; 另一优点是: 由于全息图是通过外差扫描技术以电流的形式贮存, 可以通过在电子束编址空间光调制器上进行光学再现或数字再现<sup>[2]</sup>, 也便于全息图的电视传输, 它可以在三维光学遥感和三维机器人视觉等方面得到应用。但他们提出的方法必须采用声-光调制器将源光束变为频率不同的两束光以产生与时间有关的菲涅耳波带板扫描物体, 使二者发生卷积, 用光电探测器记录二者卷积的结果, 在进行再处理时又要从外差信号中提取物体的信息, 这样在电学处理过程中比较麻烦。理论上证明, 光学外差不是必要的<sup>[3]</sup>。另外, Poon 等人提出的扫描全息术必须要求菲涅耳波带板实时扫描物体, 这就要求两束有一定外差的激光通过光学元件在马赫-陈德尔干涉仪发生干涉, 而马赫-陈德尔干涉仪的实现必须要求性能很好的防震台, 这对于让全息图走出实验室对实际景物进行记录很难实现。为此本文提出了用环形光栅来扫描物体的光学扫描全息术, 而环形光栅的制作不要求防震台, 可以事先用一定方法制备好, 这样就可以实现全息术在实际中得到应用; 并且用环形光栅扫描物体的光学扫描全息术可用非相干光照明产生扫描全息图。再者 Poon 等人提出的光学扫描全息术采用双光路系统, 而本文提出的方案用单光路系统, 从而提高了系统的稳定性。

## 2 理论分析

### 2.1 投影环形光栅的产生

环形光栅光学扫描全息系统的结构如图 1 所示。由光源发出的光经透镜  $L_1$  扩束后变为球

面波而产生发射点光源,把事先制备好的环形光栅放在距离该发散点光源的一定距离处,当环形光栅被点光源投影照射后,就在其后面的空间中产生了具有不同环间距的环形光栅。

以透镜  $L_1$  的会聚点  $S$  为坐标原点建立坐标系  $(x_2, y_2, z)$ , 它离放置环形光栅处的距离为  $z_0$ , 该处的环形光栅的透过率函数为  $f_{CC}(x_2, y_2, z_0)$ , 但位于 X-Y 移动台上的物体中某一截面离坐标原点的距离为  $z$ , 该处的环形光栅的透过率函数为  $f_{CC}(x_2, y_2, z)$ , 对于  $z = z_0$  处的环形光栅的透过率函数为

$$f_{CC}(x_2, y_2, z_0) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \cos \left[ \frac{2\pi \sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{d_0} \right] \leq 0, \\ 0 & \text{其它,} \end{cases} \quad (1)$$

式中  $d_0$  为环形光栅扫描元件的环间距。

根据简单的几何关系可以得到,当点光源距环形光栅  $z_0$  时,在距离环形光栅为  $z - z_0$  的平面上,环形光栅的透过率函数则有

$$f_{CC}(x_2, y_2, z) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \cos \left[ \frac{2\pi z_0 \sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{z d_0} \right] \leq 0, \\ 0 & \text{其它.} \end{cases} \quad (2)$$

对于相同面积的菲涅耳波带板和环形光栅,由于菲涅耳波带板条纹间隔中间稀,边缘密,而环形光栅的稀密程度一样,当菲涅耳波带板的条纹间隔等于菲涅耳波带板最边缘的条纹间隔时,环形光栅的自相关特性比起菲涅耳波带板的自相关特性来说更接近于  $\delta$  函数<sup>[4]</sup>,故采用环形光栅扫描物体使二者发生卷积从而产生扫描全息图。

### 2.2 记录过程

如图 1 所示,记录时用扩散的光束照明环形光栅,该环形光栅经过扩散光束放大后投射到物体上,(物体固定在 X-Y 移动台上),当物体通过 X-Y 移动台与环形光栅发生相对运动时,光波不动,这相当于光波(CG)扫描物体。若移动台在  $x_2$  方向上以速度  $v$  重复运动, $x_2$  方向上每次运动时对应于  $y_2$  方向上有不同的  $y_m$ (物体上的点在  $x_2, y_2$  方向采用反射坐标,  $m$  为采样数)。通过聚光镜  $L_2$  聚集后光电探测器接收到的响应是<sup>[5]</sup>

$$i_m(t, y_m, z) = \iint_{CC} f_{CC}(x_2, y_2, z) O(vt - x_2, y_m - y_2, z) dx_2 dy_2, \quad (3)$$

式中  $O$  为物体的光波强度透过率函数分布。该电信号经过滤波、放大等处理后,进入模数转换器 A/D 的电信号为

$$i_a(x, y, z) = f_{CC}(x, y, z) \textcircled{C} O(x, y, z), \quad (4)$$

式中令  $x = vt, y = y_m$ , 而  $x, y$  是扫描机构有关的量(空间域中的量),卷积“ $\textcircled{C}$ ”表示对于  $x, y$  求二维卷积。

当环形光栅通过发散光束投射时,由于物体深度  $z$  不同而与之扫描的环形光栅的环间距

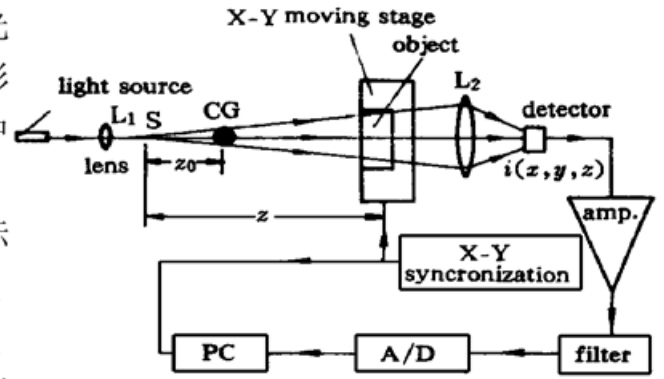


Fig. 1 Scheme of the optical scanning holographic system

亦不同,也就是说物体不同深度的信息通过与该深度相对应的环形光栅的强度透过率函数卷积进行了编码,因此在  $i_d$  中既包含物体的平面位置信息  $(x, y)$  又包含物体的深度信息  $z$ , 从而实现了全息记录, 这个过程叫做编码过程。

### 2.3 再现过程

采用数字再现该全息图信息, 再现时数字存贮的全息图信号与物体内某一平面  $z$  相对应环数(某一环间距)的环形光栅函数进行卷积操作, 通过选择不同的平面  $z$  可以把厚样品的不同深度进行解卷积, 即可观察到样品不同深度的信息。把具有不同环数的环形光栅存放在计算机中, 再现过程在计算机内自动完成, 这个过程叫做译码过程。

$f(x, y, z) = i_d(x, y, z) \otimes f_{cc}(x, y, z') = [f_{cc}(x, y, z) \otimes f_{cc}(x, y, z')] \otimes O(x, y, z)$ , (5)  
式中  $f_{cc}(x, y, z')$  表示与平面  $z'$  对应的环形光栅的透射系数。

可以证明

$$f_{cc}(x, y, z) \otimes f_{cc}(x, y, z') \text{ (滤掉直流后)} = \begin{cases} \delta(x, y) & \text{当 } z = z' \text{ 时,} \\ \text{噪声} & \text{当 } z \neq z' \text{ 时;} \end{cases} \quad (6)$$

(6) 式的计算机仿真结果如图 2 所示 ( $x$  轴量纲为采样点序号)。

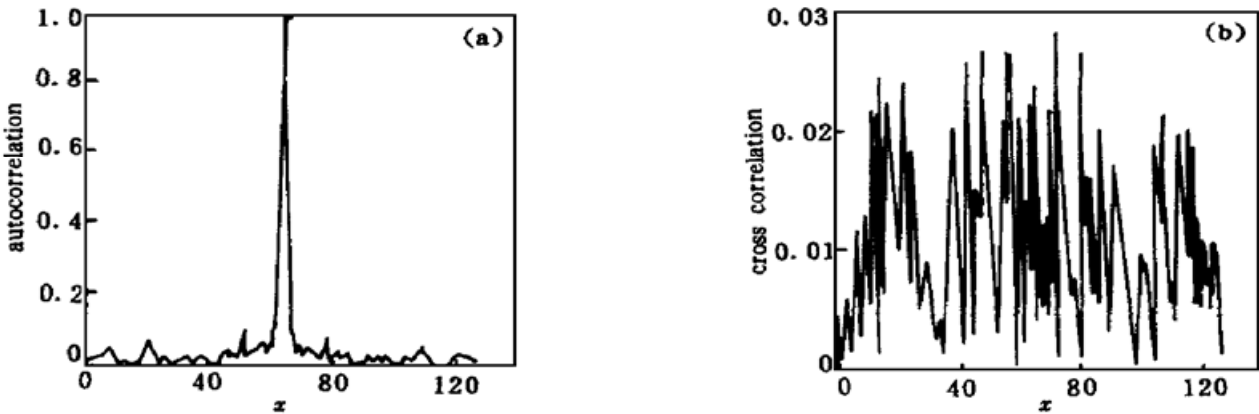


Fig. 2 The result of  $f_{cc}(x, y, z) \otimes f_{cc}(x, y, z')$  (a)  $z = z'$ , (b)  $z \neq z'$

利用(6)式, (5)式变为

$$f(x, y, z) = \begin{cases} O(x, y, z) + \text{噪声} & \text{当 } z = z' \text{ 时,} \\ \text{模糊像} & \text{当 } z \neq z' \text{ 时.} \end{cases} \quad (7)$$

从(7)式可以看出, 将存储于计算机中的全息图数据与物体某一截面的  $z$  参数(环间距)相对应的环形光栅进行卷积, 卷积后结果为该截面的信息上的噪声部分, 其中的噪声类似于同轴全息中的共轭像干扰, 在离轴全息时可以消除; 当存储于计算机中的全息图数据与物体任何  $z$  参数(环间距)都不相对应的环形光栅发生卷积时, 卷积后结果只有模糊像部分。通过存储于计算机内的全息图数据与物体的不同深度相对应的环形光栅(环间距)发生卷积, 可以把物体的不同截面的信息再现出来。

## 3 实验结果

实验中用直径为 1 cm 的圆作为简单的物体, 实验时与物体扫描的环形光栅的环数为 20 环, 据前面的理论分析, 通过把扫描的强度分布与物体的强度透射率发生卷积即可生成全息图。实验中测得的信号光数据即为全息图的数据。但由于光源不稳定, 故采用双光路的光源补偿技术, 将测得的信号光数据除以参考光数据, 按照二者比值的数据矩阵产生的图像即为全息图。图 3 为获得的扫描全息图像, 图 4 为全息图的再现像。



Fig. 3 The scanning hologram of the object



Fig. 4 The reconstructed image of the original object

**结 论** 阐述了用环形光栅扫描物体的光学扫描全息术的基本原理,给出了实验结果。从光学扫描全息术的基本原理可以看出,记录时用实时的对应某一环数的环形光栅的强度分布与物体的强度透射率发生卷积从而产生扫描全息图,再现时用与记录时相对应的环形光栅的强度分布与全息图信号发生卷积即可再现物体的信息。由于产生实时的环形光栅是把事先按一定比例大小制备好的环形光栅放在光路中投影而产生的,通过投影就在空间中产生了实时的具有不同环间距的环形光栅,而投影光源可以用非相干光源,所以用环形光栅扫描物体的光学扫描全息术可用非相干光照明产生扫描全息图;Poon 等人提出的光学扫描全息术采用双光路系统,而本文提出的方案用单光路系统,从而提高了系统的稳定性。

光学扫描全息术的原理和方法,不仅可以用于可见光,而且可用于红外、紫外、X 射线等电磁波段以及声波领域。这些特点,将会在高分辨率三维物体成像、全息图的电视传输、光学遥感、三维机器人视觉和非相干光信息处理的研究中得到实际应用。

### 参 考 文 献

- [1] Poon T C. Scanning holography and two-dimensional image processing by acousto-optic two-pupil synthesis. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1985, 2(4): 521~ 527
- [2] Poon T C, Schilling *et al.*, Real-time two-dimensional holographic imaging by using an electron-beam-addressed spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1993, (1): 63~ 65
- [3] 梁万国, 谢敬辉, 赵达尊等. 双光瞳系统的光学传递函数和扫描全息术. 北京理工大学学报, 1997, 17(2): 226~ 229
- [4] 梁万国, 谢敬辉, 赵达尊等. 环形光栅与菲涅耳波带板自相关特性比较. 北京理工大学学报, 1998, 18(3): 325~ 330
- [5] 顾德门 J W. 傅里叶光学导论. 北京: 科学出版社, 1979. 183~ 184

## Circular Grating Optical Scanning Holography

Liang Wanguo Zhao Dazun Xie Jinghui Zhao Yeling

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

(Received 13 June 1998; revised 29 March 1998)

**Abstract** In order to fully use the resolution of optical scanning hologram system, a method of using circular grating to scan the objects is proposed for producing the optical scanning holograms. The advantages are that the incoherent light can be used to produce holograms and the stability of the optical system is increased as a single path system. The principle of the circular grating optical scanning holography and the experimental results are presented.

**Key words** optical scanning, holography, hybrid optoelectrical processing system.