

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0071-03

菲涅耳波带板的环数与孪生像噪声的关系

孙萍^{1,2}, 谢敬辉¹, 蒋玉蓉¹, 周元林¹, 张颖¹

(¹北京理工大学光电工程系, 北京 100081)
(²北京师范大学物理系, 北京 100875)

摘要 满足夫琅和费远场条件的两个物体, z 值大的物体将被环数少的菲涅耳波带板扫描, 具有小而平直的孪生像噪声振幅; 当物体满足近场条件时, 无论菲涅耳波带板环数取多少, 孪生像噪声振幅都比较大, 因此必须消除孪生像噪声。

关键词 信息光学; 光学扫描全息术; 孪生像噪声; 远场; 近场

中图分类号 TN248.4

文献标识码 A

Relationship between the Fringe Number of the Fresnel Zone Plate and the Twin-Image Noise

SUN Ping^{1,2}, XIE Jing-hui¹, JIANG Yu-rong¹, ZHOU Yuan-lin¹, ZHANG Ying¹

(¹Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)
(²Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract In the far-field, the further object scanned by FZP with fewer fringes has flatter and lower amplitude of twin-image noise for reconstructed image. In the near-field, the twin-image noise has serious effects on the reconstruction.

Key words information optics; optical scanning holography; twin-image noise; far-field; near-field

1 引言

光学扫描全息术(OSH)是一种新型的光电混合型三维成像技术,它在许多领域里都具有潜在的应用,如实时全息处理、三维荧光显微术、全息相关、机器人视觉、三维遥感和生物医学成像等^[1]。因为光学扫描全息术采用的是同轴全息,因此存在固有的孪生像,孪生像的存在降低了重建图像的信噪比^[2]。本文分析了当物体分别满足远场和近场条件时,孪生像噪声对重建图像的影响。

2 孪生像噪声分析

图1是光学扫描全息术实验装置图。光学扫描全息术的记录过程如下^[3]:激光束被分束镜BS₁分成两束光,上臂为平面波,下臂为声光调制器AO调制的球面波,两束频率差为 Ω 的光波在物体上相干形成实时菲涅耳波带板,其强度分布形式为

$1 + \sin\left(\pi \frac{x^2 + y^2}{\lambda_0 z} - \Omega t\right)$ 。其中, z 为物体某一截面到透镜 L 的焦平面的距离, λ_0 为激光波长。当菲涅耳波带板扫描物体时,光电探测器接收物体的透射光,输出外差电流 $i_{\text{scan}}(x, y)$ 。 $i_{\text{scan}}(x, y)$ 经过混频和低通滤波后成为解调的外差信号,也就是物体的全息图函数,其表达式为:

$$H(x, y; z) = O(x, y; z) * \left[1 + \sin\left(\pi \frac{x^2 + y^2}{\lambda_0 z}\right) \right] \quad (1)$$

其中 $*$ 表示卷积。整个物体的全息图函数为在厚度 z 上的积分,即

$$T(x, y) = \int_z O(x, y; z) * \left[1 + \sin\left(\pi \frac{x^2 + y^2}{\lambda_0 z}\right) \right] dz \quad (2)$$

采用数字重建图像的办法来再现图像。用自由空间的脉冲响应 $h(x, y; z')$ 与全息图函数 $H(x, y; z)$ 作相关运算得到重建物体的强度 $f(x, y; z)$ 。 $h(x, y; z')$ 和 $f(x, y; z)$ 的表达式如下

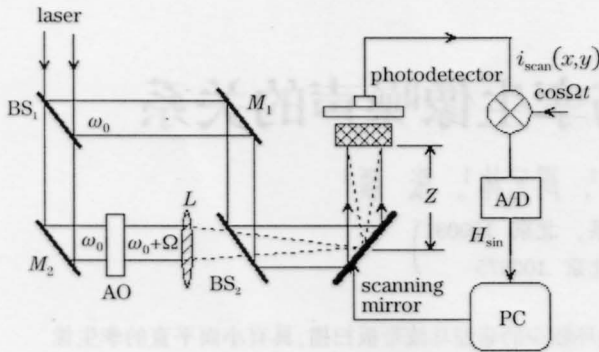


图1 光学扫描全息术实验装置

Fig.1 Setup of optical scanning holography

$$h(x,y;z') = j \frac{\pi}{\lambda_0 z'} \exp\left(j\pi \frac{x^2+y^2}{\lambda_0 z'}\right) \quad (3)$$

$$f(x,y;z) = H(x,y;z) \otimes h(x,y;z') \quad (4)$$

其中 \otimes 表示相关运算符。当取 $z=z'$ 时,得到物体 z 截面的重建图像。将(1)式按照复数形式展开,得到

$$\begin{cases} H(x,y;z) = \psi_R(x,y;z) - \psi_V(x,y;z) + \psi_0(x,y;z) \\ \psi_R(x,y;z) = O(x,y;z) * \frac{1}{2j} \exp\left(j\pi \frac{x^2+y^2}{\lambda_0 z}\right) \\ \psi_V(x,y;z) = O(x,y;z) * \frac{1}{2j} \exp\left(-j\pi \frac{x^2+y^2}{\lambda_0 z}\right) \\ \psi_0(x,y;z) = O(x,y;z) * 1 \end{cases} \quad (5)$$

第一项 $\psi_R(x,y;z)$ 为全息图的实像,其强度分布为

$$I_R = \psi_R(x,y;z) \psi_R^*(x,y';z) \quad (6)$$

第二项 $\psi_V(x,y;z)$ 为全息图的虚像,是实像的孪生像,成为实像的噪声。第三项为零级光束,作为背景

光影响重建图像的对比度。

$\psi_R(x,y;z)$ 很容易由公式(5)导出:

$$\psi_R(x,y;z) = H(x,y;z) + \psi_V(x,y;z) - \psi_0(x,y;z) \quad (7)$$

在得到 $H(x,y;z)$ 以后,从 $H(x,y;z)$ 中扣除这两项的影响就可以消除全息图实像的噪声,图像重建时只需用 $h(x,y;z')$ 与 $\psi_R(x,y;z)$ 作相关运算便得到无孪生像噪声的重建图像。

3 FZP 环数与孪生像噪声的关系

首先设计扫描光场,即菲涅耳波带板。由菲涅耳波带板的强度分布表达式可知其位相因子为

$$\phi = \frac{k_0}{2z} (x^2+y^2) = \frac{\pi}{\lambda_0 z} r^2$$

则沿半径 r 方向的空频为

$$f_{FZP} = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{r_0}{\lambda_0 z}$$

对应半径为 r_0 时的环数为

$$n = \int_0^{r_0} f_{FZP} dr = \frac{r_0^2}{2\lambda_0 z}$$

此式给出了参数 n, r_0 和 z 之间的关系,它是设计FZP的依据。选取 $\lambda_0=760 \text{ nm}$, $r_0=0.5 \text{ cm}$,当 $n_1=10$ 时, $z_1=164 \text{ cm}$;当 $n_2=5$ 时, $z_2=329 \text{ cm}$ 。图2和图3的(a)和(a')分别对应10环和5环的FZP强度截面图。

为了分析FZP的环数与孪生像之间的关系,设计一狭缝物体,其缝宽 $D_1=0.1 \text{ cm}$,如图2(b)和(b')所示。图2(c)和(c')分别对应 $n=10$ 和5带有孪生像

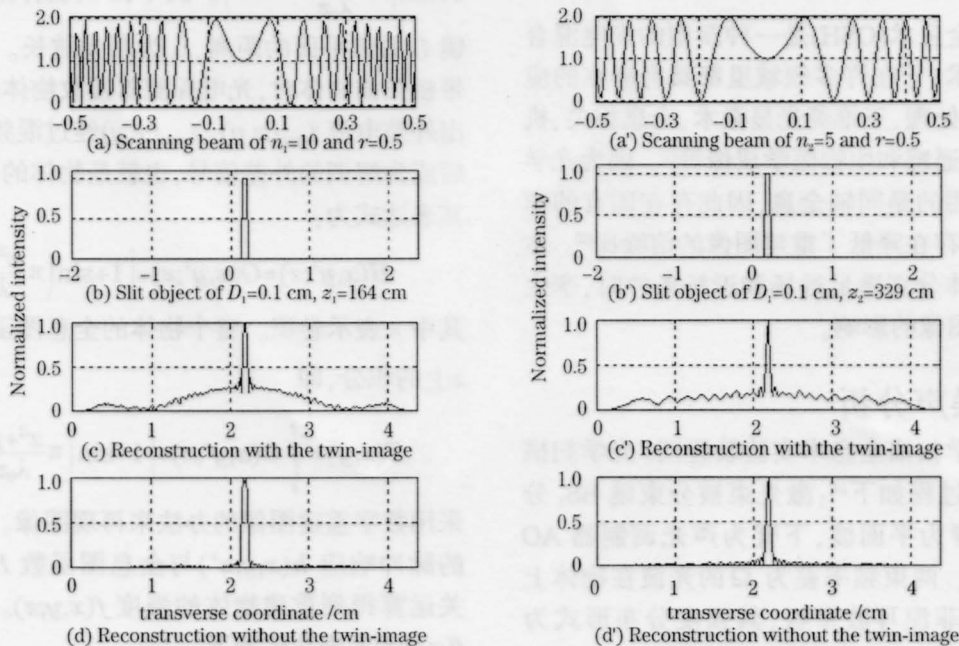


图2 远场条件下菲涅耳波带板的环数与孪生像噪声的关系

Fig.2 Relationship between the fringe number of the scanning beam and the twin-image noise in the far-field

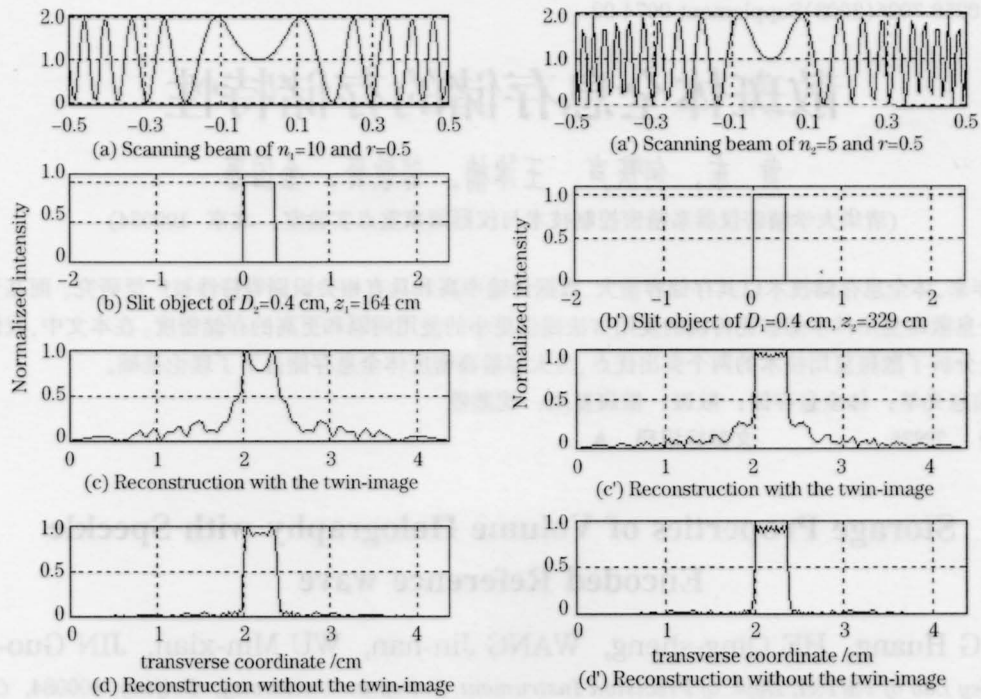


图3 近场条件下菲涅耳波带板的环数与孪生像噪声的关系

Fig.3 Relationship between the fringe number of the scanning beam and the twin-image noise in the near-field

的狭缝 D_1 的重建图像。从图中看出,孪生像噪声振幅的存在,破坏了图像的分辨率,降低了图像的信噪比。图 2(d)和(d')分别对应 $n=10$ 和 5 按照(7)式的方法消除了孪生像的狭缝 D_1 的重建图像。可见,重建的狭缝图像具有相当低的背景振幅,验证了前面对孪生像噪声来源的分析,同时也说明用前面提出的方法来消除孪生像噪声是可行的。比较图 2(c)和(c')可以看到,当 FZP 环数少时,孪生像噪声振幅也小。

从参数 n, r_0 和 z 之间的依赖关系可以看出, FZP 的环数 n 实际上对应物体所在的位置 z 。夫琅和费全息远场条件是 $z \gg D^2/\lambda_0$, 在本文中 $D^2/\lambda_0 = 132 \text{ cm}$ 。显然,在图 2 中,狭缝物体的几何位置满足夫琅和费远场条件,而图 2(b')中的狭缝位置相对图 2(b)来说更接近远场条件。因此,当物体的几何位置和夫琅和费远场条件越接近,孪生像噪声对图像重建的影响越小,也就是说,物体远远满足夫琅和费远场条件时,在重建图像时可以忽略孪生像噪声的影响。

近场条件是 $z \ll D^2/\lambda_0$ 。选取 $D_2=0.4 \text{ cm}$, 保持 λ_0, n, r_0 不变,此时 $D_2^2/\lambda_0=2105 \text{ cm}$, z_1, z_2 都满足近场条件。图 3(b)和(b')是缝宽为 0.4 cm 的狭缝;图 3(c)

和(c')分别对应 $n=10$ 和 5 带有孪生像的狭缝 D_2 的重建图像;图 3(d)和(d')分别对应 $n=10$ 和 5 按照数字滤波方法消除了孪生像的狭缝 D_2 的重建图像。从图 3 可见,无论 FZP 环数取多少,近场时孪生像噪声振幅都比较大。因此,当物体满足近场条件时孪生像噪声是不可忽略的。

4 结 论

当物体满足远场条件时,在 FZP 环数少的情况下,孪生像噪声振幅小。当物体满足近场条件时,无论 FZP 环数取多少,孪生像噪声振幅都比较大,此时必须消除孪生像噪声。

参 考 文 献

- 1 T. C. Poon, M. H. Wu, K. Shinoda *et al.* Optical scanning holography[J]. *Proc. IEEE*, 1996, **84**(5):753-764
- 2 K. Doh, T. C. Poon, G. Indebetouw. Twin-image noise in optical scanning holography[J]. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(6): 1550-1555
- 3 K. Doh, T. C. Poon, M. H. Wu *et al.* Twin-image elimination in optical scanning holography [J]. *Optics & Laser Technology*, 1996, **28**(2):135-140