

应用激光数字散斑测量物体面内位移的研究

陈书汉

(嘉应学院物理系, 广东 梅州 514015)

摘要:利用激光数字散斑原理搭建光路对物体面内位移进行测量,利用 CCD 接收毛玻璃移动前后的散斑图像,通过计算机数字图像处理得到干涉条纹并计算毛玻璃的面内位移。最后讨论对本系统测量的灵敏度,范围和精度进行了分析和讨论。

关键词:激光数字散斑干涉测量;面内位移;精确度

中图分类号:TB853.22 **文献标识码:**A

Research of Plane Displacement Measurement Based on DSPI

CHEN Shu-han

(Department Physics, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: The principle of DSPI is used to set up a optical system to measure plane displacement. CCD is used to receive the speckle image, the interference fringes are analysed which are got from computer digital image processing and the plane displacement of ground glass is calculated. Finally, the sensitivity, scope and precision of this system's measurement is discussed and analyzed.

Key words: DSPI; plane displacement; precision

1 引言

散斑现象普遍存在于光学成像的过程中,很早以前牛顿就解释过恒星闪烁而行星不闪烁的现象。由于激光的高度相干性,激光散斑的现象就更加明显。最初人们主要研究如何减弱散斑的影响,在研究的过程中发现散斑携带了光束和光束所通过的物体的许多信息,于是产生了许多应用。例如用散斑的对比度测量反射表面的粗糙度,利用散斑的动态情况测量物体运动的速度,利用散斑进行光学信息处理,甚至利用散斑验光等。激光数字散斑技术是一项集激光、数字图像处理、电子等多学科为一体的综合性技术,具有非接触、全场同时测量、精度高、灵敏度高、测量迅速简便等优点。激光数字散斑(DSPI)又称电视全息、电子散斑(ESPI),是全息测量技术的发展。全息测量虽然具有全场非接触同时测量的优点,但是电子全息需要进行费时费力的化学湿处理过程,并且对测量环境要求高,因而限制了其在工程中的应用^[1]。

2 实验原理

所谓面内位移就是物体位移方向和光波传播方向垂直,搭建如图1所示的光学系统,把一束激光照射在光学粗糙表面上,由于表面漫散射的光干涉,将产生许多随机分布的亮暗斑点,用透镜成像在 CCD 摄像机上并拍摄毛玻璃移动前的散斑图像。在像平面上的光强分布可以看作:

$$U_0(r) = u_0(r) \exp \phi_0(r) \quad (1)$$

其中, $u_0(r)$ 是光波的振幅; $\phi_0(r)$ 是经物体漫射后的物体光波的相位^[2]。

在垂直光路的方向上移动毛玻璃,物光和考光之间光程发生变化,从而使干涉场强度随之产生变化,此时记录下微位移前后散斑干涉图样,经相减处理就可以得到反映位移变化的相关条纹。被激光照

基金项目:梅州市科学技术局自然科学研究项目(No. 07KJ36)资助。

作者简介:陈书汉(1980-),男,硕士,助教,研究方向为光电检测技术。E-mail: hanmons@163.com

收稿日期:2008-08-20

明的物体可以看作表面粗糙的漫反射体,表面上每一点都可以看作互相独立的散射基元,产生散射光(子波),散射光经过成像透镜在像面上产生了一个衍射斑(相干脉冲响应),所有的衍射斑相干迭加形成亮暗相间的光场——散射场(即物面的散射图),如图1所示。

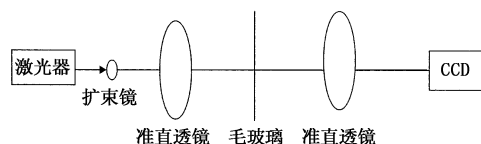


图1 物面的散射图

在物体位移前拍摄一张物体的散斑照片,在物体位移后物体上各点将产生位移。这时再拍摄下物体位移后的一张散斑图像。物体的每一个物点都有一对散斑与之对应,测量相应物点的位移。因为物体是移动微小位移,所以可以认为每个散斑对都是杨氏干涉中的衍射双孔。当用激光束照射散斑对时,会产生杨氏干涉条纹,通过测量干涉条纹的间隔距离,就可以算出物体的位移大小。

当用物体位移前后的二张散斑图相减得到的散斑图,在每一位置处的散斑对会产生一个杨氏干涉条纹,其光场分布如下:

$$T_H(u, v) = s_0 f(u, v) - s_1 \Phi(u, v) [1 + \exp(i2\pi M x_0)]$$

式中, λ 是激光波长,其中第二项就是杨氏干涉项,其光强分布为:

$$I_K(u, v) = |\Phi_K(u, v) [\cos(2\pi M x_0)]|^2$$

$$u = X/\lambda z$$

式中, X 是杨氏干涉条纹的位置。干涉条纹最亮的位置满足下式:

$$2\pi M x_0 = 2\pi N$$

$$u = X/\lambda z$$

从上两式可得:

$$x_0 = \lambda z / M X$$

将上式微分可得:

$$\Delta x_0 = \lambda z / M \Delta X$$

上式表明该点位移与条纹的法线方向一致,在测量波长 λ , 物像放大倍数 M 和 CCD 镜头距离 z 时,只要测出相邻两干涉条纹的间隔 ΔX ,就可以算出物面上任意一点的位移 Δx_0 。

3 实验结果与讨论

首先用 CCD 接收物体位移前的一张散斑图并记录,再记录下位移后的一张散斑图。对移动前后的散斑图像进行图像处理^[3]。把物体位移前后的二幅散斑图相减并将变成灰度图,并采用频域滤波、二值化等图像处理方法,可得毛玻璃移动前后的散

斑图像所产生的干涉条纹,如图2所示为毛玻璃移动 $5\mu\text{m}$ 时由计算机图像处理后的条纹,再经过二值化细处理可得图3所示的清晰条纹。本测量系统将毛玻璃移动 $1\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $4\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $6\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$ 后分别进行测量,测量结果如表1所示。

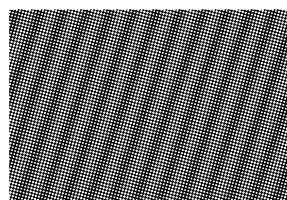


图2 带通滤波后的图像

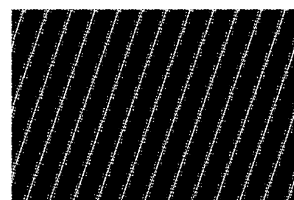


图3 细化后的图像

表1 实验测量结果

激光波长 ($\times 10^{-6}\text{m}$)	CCD 镜头 距离 z/m	CCD 放大 倍数 M	条纹间距 $\Delta X / (\times 10^{-3}\text{m})$	计算出 物体移动 距离 $x_0 = \lambda z / M \Delta X / (\times 10^{-6}\text{m})$	物体实际 移动位移/ ($\times 10^{-6}\text{m}$)
0.6328	0.48	7.3333	8.4637	4.894	1
0.6328	0.48	7.3333	7.5984	5.451	4
0.6328	0.48	7.3333	8.2054	5.048	5
0.6328	0.48	7.3333	6.8546	6.043	6
0.6328	0.48	7.3333	8.0501	5.145	7

由表1可以看出,当物体移动 $5 \sim 6\mu\text{m}$ 时,这个实验有比较小的测量误差。在此测量中,实验的平台稳定性会影响到此次测量的精度,所以本测量系统在一张稳定的光学平台上进行,避免平台稳定性不好对测量的影响。粗糙物体的粗糙程度和移动方向也都会影响到测量的精度。另外,照射激光的扩束效果也是影响测量精确度的因素之一。当扩束不够均匀的激光经准直镜打在毛玻璃上,会在 CCD 镜头形成不均匀的散斑,即得到的衍射晕不均匀,这对后面的信息解析形成很大的干扰。

4 结束语

实验表明,本测量系统在 $5 \sim 6\mu\text{m}$ 有较高的精确度,与全息干板二次曝光法相比,大大的节省测量时间。用 CCD 摄像机取代干板做试验,省去了显影定影等繁杂的湿处理手续,大大提高了检测效率。本测量系统装置简单、实用,测量系统误差小、精度高、灵敏性好。

参考文献:

- [1] 干光,于俊华,等. 数字散斑干涉技术及应用[J]. 激光技术,2002,26(3):237-240.
- [2] 王任璠. 信息光学理论与应用[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2003:290.
- [3] 施晓红,等. MATLAB 应用图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003,6.