

多通道定向散斑干涉计量方法

陈 颜

(北京工业大学应用物理系)

提 要

本文提出一种多通道定向散斑干涉计量的方法。利用一个多狭缝光阑对物体进行编码曝光。可以用一张负片直接给出连续变化的物体在不同的时间间隔内各种状态两两之间相对面内位移的情况,对被记录物体表面即可进行逐点观测,也可进行全视场观察。给出了有关的实验结果。

关键词: 多通道; 散斑; 干涉计量。

一、引 言

最近 C. Joenathan 等人提出一种多通道散斑剪切干涉计量技术^[1]。这种技术虽然可以对多种状态物体的两两相邻状态进行散斑干涉计量。但无法给出任意两种状态之间面内位移情况,也不能对被记录的物体表面进行逐点观测。本文提出一种多通道定向散斑干涉计量技术。可以给出任意两种状态之间相对面内位移情况,也可进行全视场观测^[2]。

二、原理和方法

多通道定向散斑干涉计量的实验装置与普通双曝光定向散斑干涉计量装置相同^[3],如图1和图2所示。图1为照相装置, O 为物体,用一束准直激光照明; l 为成像透镜; p 为狭缝,其宽度为 b ,紧贴透镜 l 放置; H 为记录干版,放在物体 O 的像平面内; l 为物体与透镜之间的距离; l' 为物体的像与透镜之间的距离。由于狭缝的作用,在 H 平面内产生方向与狭缝相垂直的定向散斑,散斑的长度 σ 为 $\sigma = \frac{b\lambda}{l'}$, 式中的 λ 为激光波长。

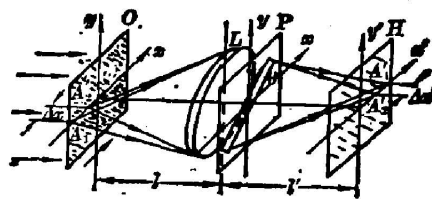


Fig. 1 Photographic device of oriented speckle

设狭缝倾斜放置,与 x 轴夹角为 θ (图1), P 平面的振幅透过率 $t_P(x, y)$ 为

$$t_P(x, y) = \text{Rect}\left(\frac{x \sin \theta + y \cos \theta}{b}\right).$$

在两次曝光之间,物体沿 x 轴方向移动,移动量为 Δx ,像平面上散斑移动量为 $\Delta x'$,

$$\Delta x' = M \Delta x,$$

式中 M 为照相系统的放大率。设物平面上光场分布为 $D(x, y)$,在线性记录条件下得到负片 H 的振幅透过率 $t_H(x, y)$ 为

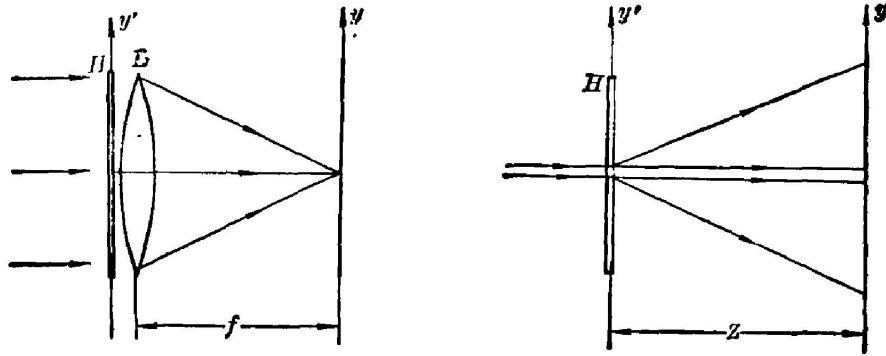


Fig. 2 Observation device for speckle interferometry

$$t_H(x, y) = t_0 - t_1 \left[\left| D\left(\frac{x}{M}, \frac{y}{M}\right) \otimes F\{t_P(y, y)\} \right|^2 + \left| D\left(\frac{x-bx}{M}, \frac{y}{M}\right) \otimes F\{t_P(x, y)\} \right|^2 \right]. \quad (1)$$

将负片 H 放在图 2 所示的装置中进行观察, 采用准直激光束照明时, 在其频谱面上的光强分布为

$$I(x, y) \propto \left| \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) t_P\left(\frac{V}{f}x, \frac{V}{f}y\right) \right] \star \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) t_P\left(\frac{V}{f}x, \frac{V}{f}y\right) \right] \right|^2 \times \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi M \Delta x}{\lambda f} x\right) \right] \quad (2)$$

或

$$I(x, y) \propto \left| \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda z}, \frac{My}{\lambda z}\right) t_P\left(\frac{V}{z}x, \frac{V}{z}y\right) \right] \star \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda z}, \frac{My}{\lambda z}\right) t_P\left(\frac{V}{z}x, \frac{V}{z}y\right) \right] \right|^2 \times \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi M \Delta x}{\lambda z} x\right) \right]. \quad (3)$$

(2)、(3) 式中 f 为透镜焦距, z 为观察距离。(2) 和 (3) 式说明, 带有定向散斑负片 H 的空间频谱是一条宽度为 $2\frac{fb}{V}$ 或 $2\frac{zb}{V}$, 与 x 轴夹角为 θ 的光带。在两次曝光之间, 物体发生位移, 光带内将出现干涉条纹。干涉条纹垂直于物体位移方向(图 3)。

对一个连续变化的物体在不同的时间间隔内的 m 种状态进行多通道定向散斑干涉测量, 需将一个多狭缝光阑代替单狭缝光阑。对物体 m 种状态进行编码曝光。光阑的狭缝数应为 $n, n = \frac{m(m-1)}{2}$ 。每个狭缝与 x 轴的夹角为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 。记录时, 对物体进行 m 次曝光^[4], 每次曝光打开 $m-1$ 个狭缝, 在 m 次曝光中每个狭缝打开两次。曝光的编码方式见图 6 及图 7 中表格所示。所得到的负片 H 的空间频谱强度分布为

$$I(x, y) \propto \sum_{i=1}^n \left| \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{Rect}\left(\frac{Vx \sin \theta_i + Vy \cos \theta_i}{bf}\right) \right] \star \left[\bar{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{Rect}\left(\frac{Vx \sin \theta_i + Vy \cos \theta_i}{bf}\right) \right] \right|^2 \times \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi M \Delta x_i}{\lambda f} x\right) \right]. \quad (4)$$

(4) 式中 Δx_i 为第 i 个狭缝两次打开时, 所记录的物体两种状态之间相对面内位移量。(4) 式说明, 在图 2 所示的装置中观察负片 H 时, 在频谱面内可以同时得到几个不同方向的光带, 每个光带内都有一组干涉条纹。这些干涉条纹直接说明了被记录物体 m 种状态中任意两种状态之间相对面内位移情况^[5]。测量这些干涉条纹宽度时, 应沿着条纹的分布方向(即

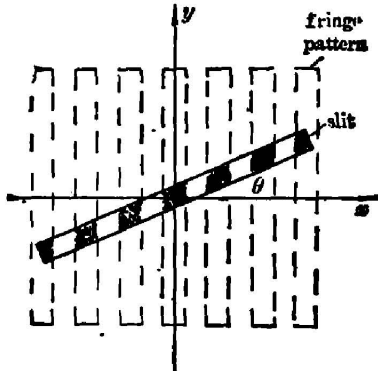


Fig. 3 Fringe pattern of oriented speckle interferometry

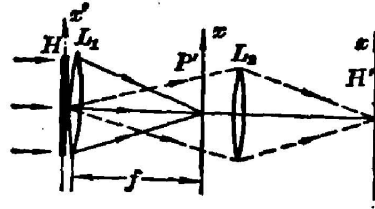


Fig. 4 Observation device with a spatial filter

物体位移方向),而不能沿着狭缝方向(图3)。当物体位移方向与狭缝相垂直时,将观察不到干涉条纹。这种负片也可采用图4的装置对物体表面进行全视场观测。图4中 L_1 为傅里叶变换透镜; L_2 为成像透镜; P' 为小孔光阑,放在频谱面上。设小孔中心的坐标为 $(x_0, 0)$,则在物体表面内是位移分量为 $\Delta x = \frac{m\lambda f}{Mx_0}$ 的点在 H' 平面上均为亮条纹,其中 $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。观察时,移动小孔光阑,使小孔逐次与谱平面上的光带相重合,就可得到物体所有状态两两之间相对面内位移在物体表面上的分布情况。

实验中,狭缝个数将受到狭缝宽度 b 和狭缝之间夹角 $\Delta\theta$ 的限制。在不影响干涉条纹清晰度的条件下,狭缝宽度和夹角应取得小些。一般 $b=1\sim 2\text{mm}$, $\Delta\theta=10^\circ\sim 20^\circ$ 。

这种方法也可以实现对物体的多种状态两两之间相对面内位移大小和方向的同时判别。记录时,需增加 $m-1$ 个狭缝,在对物体 m 种状态曝光之后,横向移动记录干版(或物体),使物体相对于干版产生一个附加面内位移,然后把干版位移后的物体状态 O'_m 作为第 O_{m+1} 种状态进行曝光。观察时,在负片的频谱面上将出现 $m-1+n$ 组干涉条纹。其中 $m-1$ 组干涉条纹是物体的状态 O_1 至 O_{m-1} 分别与干版位移之后所记录的状态 O'_m 之间相对面内位移产生的。干版位移方向是已知的,比较干涉条纹“ O_i, O_m ”与“ O_i, O'_m ”,如果“ O'_i, O'_m ”的干涉条纹较密,说明物体第 m 种状态相对第 i 种状态的位移方向与干版位移方向相同,反之则相反。将“ O_i, O_m ”、“ O_i, O'_m ”、“ O'_i, O_m ”、“ O'_i, O'_m ”四组干涉条纹相比较,可得出物体第 i 与第 j 两种状态之间相对面内位移方向。这样从一张负片上就可同时得到物体全部 m 种状态两两之间相对面内位移的大小和方向。

三、实验结果

取一块有粗糙表面的钢板作为试件,He-Ne激光器的输出功率为 2mW ,成像透镜的焦距 $f=185\text{mm}$,通光孔径 $D=50\text{mm}$,光阑开有六个狭缝($b=1\text{mm}$, $\theta_0=15^\circ$,如图5),采用天津I型银盐乳胶干版。

图6是记录时使钢板绕光轴连续转动三次,平均每次转动的角度为 i ,按照图6中表格的编码方式,对干版进行四次曝光后所得到的观察结果。图6-(a)为采用空间滤波进行全视

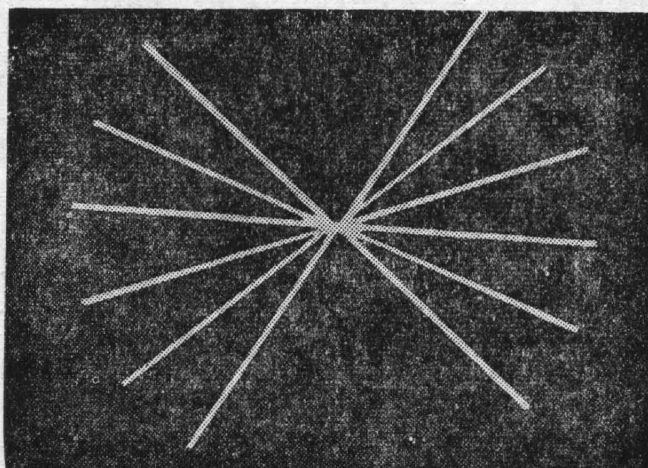
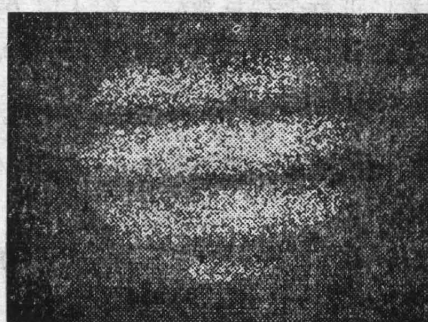
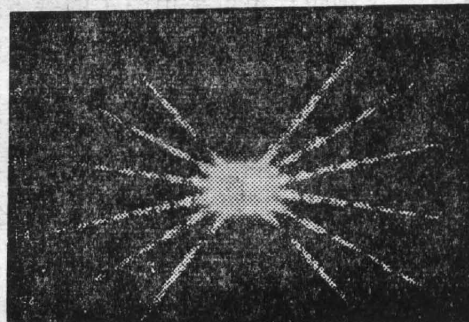


Fig. 5 Multislit diaphragm



(a)



(b)

Narrow slit	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
Steel plate states	O_1, O_2	O_2, O_3	O_1, O_3	O_1, O_4	O_2, O_4	O_3, O_4
Interferometric fringe	1~2	2~3	1~3	1~4	2~4	3~4
Measured rotated angle	1.9'	4.0'	5.9'	6.9'	5.0'	1.0'
True rotated angle	2.0'	4.0'	6.0'	7.0'	5.0	1.0'

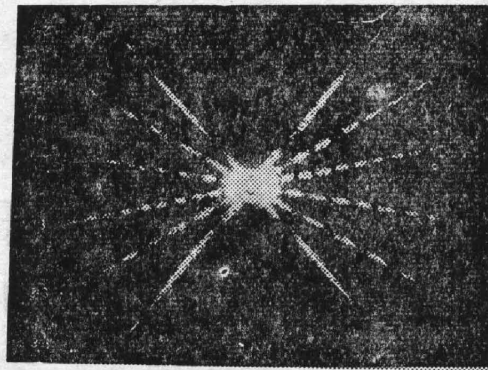
Fig. 6 Observation results of multiplexing oriented speckle interferometry:

(a) from the whole field of vision with a spatial filter; (b) at a point of recording plane

场观察的结果,图 6-(b) 为逐点观察的结果。

图 7 是记录时平移钢板两次,移动量分别为 $\Delta x_1 = 10 \mu\text{m}$ 、 $\Delta x_2 = 30 \mu\text{m}$, 然后平移平版,干版的移动量为 $\Delta x_H = 10 \mu\text{m}$, 按照图 7 中的表格进行编码曝光后所得到的观察结果。从图 7 中“ O_1, O_2 ”、“ O_2, O_3 ”、“ O_1, O_3 ”三组干涉条纹的分布可获知钢板每次平移量和总平移量的大小。比较图 7 中“ O_1, O_3 ”、“ O_1, O_3' ”、“ O_2, O_3 ”、“ O_2, O_3' ”四组干涉条纹,可判知钢板每次平移的方向均与干版平移方向相同。

多通道定向散斑干涉计量术,可以在一张负片上得到连续变化的物体在不同的时间间隔内各种状态之间两两相对面内位移的情况,记录装置简单,操作方便,可对物体表面进行全视场观测和逐点观测。可以认为这是一种可行的多通道散斑干涉计量的新方法。



Narrow slit	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
Steel plate states	O_1, O_2	O_2, O_3	O_1, O_3	O_1, O'_3	O_2, O'_3	O_3, O'_3
Interferometric fringe	1~2	2~3	1~3	1~3'	2~3'	3~3'
Measured deformed amount (μm)	11	30	41	51	41	11
True deformed amount (μm)	10	30	40	50	40	10

Fig. 7 Observation results of multiplexing oriented speckle interferometry for judging displacement direction

参 考 文 献

- [1] C. Joenathan *et al.*; *Optica Acta*, 1984, **31**, No. 6 (Jun), 681~692.
- [2] M. Francon; *Laser Speckle and Applications in Optics*, (Academic Press, New York, 1979), 85~92.
- [3] J. C. Dainty; *Laser Speckle and Related Phenomena*, (Springer-Verlag Press, New York, 1975), 191~196.
- [4] W. H. Steel; *Interferometry*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1983), 225~229.

Multiplexing interferometry with oriented speckle

CHEN YAN

(Department of Applied Physics, Beijing University of Polytechnology)

(Received 25 September 1986; revised 2 March 1987)

Abstract

A technique for multiplexing interferometry with oriented speckle is presented. States of object at discrete time intervals can be recorded using a multislit diaphragm by this method. Any events at discrete time intervals can be studied on the same recording plane for not only the point of object surface on by one but also all-field of vision. The experimental results are given.

Key words: multiple; interferometry; speckle.