

沿圆周路径测量散斑摄影杨氏条纹

胡逸群

(长沙铁道学院科研所)

Measurement of Young's fringe in speckle photography
along circular loci

Hu Yiqun

(Research Department, Changsha Railway Institute, Changsha)

提要: 实现和完善了沿圆周路径测量散斑杨氏条纹间距的设想, 对计算机模拟的无噪声白光散斑摄影条纹图验证的结果表明, 该技术成功地克服了衍射晕非均匀照度的影响, 测量精度和可靠性得到保障。

关键词: 散斑摄影, 衍射晕

前言

在散斑摄影术中, 由于杨氏条纹调制了一个由记录系统光瞳形状决定的照度不均匀背景——衍射晕, 条纹极值点明显漂移。如果在测量条纹间距之前不消除这种影响, 将得不到准确的结果。O. S. Vikram 和 K. Vedam 等提出了沿着选择路径计数杨氏条纹的设想^[1]。虽然这个设想很精巧, 但迄今为止未见过将此构思付诸实践的报道。本文试图完成这一工作, 并对模拟的无噪声白光散斑摄影条纹图进行验证。

条纹极值点与灰度极值点的关系

假设被测物体承受面内位移, 记录系统具有圆形光瞳, 则当用细激光束照射双曝光

散斑图时, 在远处的观察屏上的照度公式为:

$$I(x, y) = \left[\frac{1-\nu}{1+\nu} + \frac{2\nu}{1+\nu} \cos^2 \frac{\pi}{g} \mathbf{r} \cdot \mathbf{s} \right] \times I_0(\rho) \quad (1)$$

式中

$$\mathbf{r} = (x, y)$$

是观察平面位置矢量; ν 为对比度; g 是条纹间距;

$$\rho = (x^2 + y^2) / \rho_{\max}$$

是归一化径向坐标, ρ_{\max} 是晕半径; $I_0(\rho)$ 是衍射晕函数, 只与 ρ 有关。因此, 我们可以沿着 $\rho = \text{常数}$ 的圆周路径来测量条纹间距。

图1表示选择路径与条纹极大值的关系。实直线表示条纹极大线, 实圆周表示选择的扫描路径, 虚线圆周为晕边界。A、B 两点虽不处于条纹极大线上, 但由于它们的灰度值大于或小于圆周上邻域像素的灰度值, 因而是灰度极值点, 故必须将这两点去掉, 否

收稿日期: 1987年10月5日。

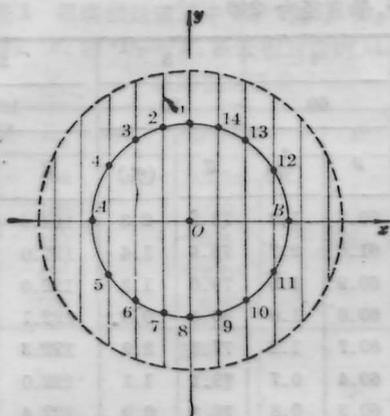


图1 圆周路径与条纹极大的关系

则会出错。

计算过程

1. 条纹图的计算机模拟
白光散斑的晕函数为^[2]

$$I_0(\rho) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 [\cos^{-1}\rho - \rho(1-\rho^2)^{1/2}]^2 \quad (2)$$

按方程(1)和方程(4)计算大小为 256×256 的离散照度矩阵, 每个矩阵元素即像素的可能值为 $0 \sim 127$, 127 代表最大照度, 0 为零照度, 衍射晕的直径取为 240, 条纹与 x 轴的夹角 $\theta = 30^\circ$ 。对比度在 $0.1 \sim 1.0$ 之间变化, 条纹间距取 $20 \sim 120$ 。图 2 是在 VAX-11/785 小型计算机上模拟的无噪声白光散斑摄影条纹图, 晕内有 8 个条纹, $g = 30$, 对比度分别为 0.1 、 0.3 、 0.5 和 1.0 。

2. 确定条纹方向

首先找到晕中心, 然后选取适当长度和角步长, 在给定角度范围内做一系列径向向量。沿着这些矢量对条纹图进行灰度积分, 积分值最大的角位置即为条纹方向角 θ 。

3. 沿着圆周路径进行灰度扫描

以晕中心为圆心, 不大于晕半径、不小于条纹间距(估计值)的适当长度为半径做圆。设圆周的起点位于中央条纹的极大值线上

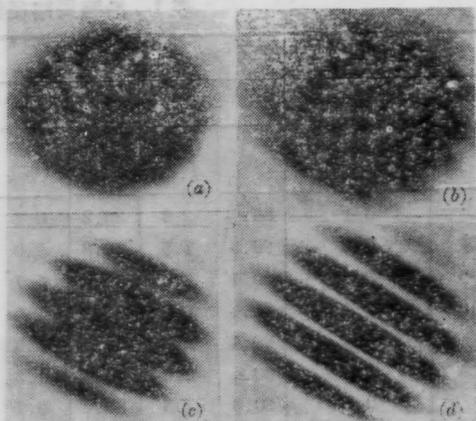


图2 计算机模拟的无噪声白光散斑摄影条纹图
间距 30, $\theta = 30^\circ$, 对比度分别为
a) 0.1; b) 0.3; c) 0.5; d) 1.0

(见图 1 中的点 1)。从起点开始, 依次确定圆周路径所经过的各像素的位置及灰度, 并确定出灰度极值点。

4. 确定条纹间距

计算机自动丢弃非条纹极值的灰度极值点后, 条纹间距与极大值点序目的关系为

$$g = \sqrt{(x_i - x_{N-i+2})^2 + (y_i - y_{N-i+2})^2} / j \quad (3)$$

j 即为第 i 点与第 $(N-i+2)$ 点跨越的条纹数, N 是极值点个数

$$j = \begin{cases} N+2-2i & \text{对于 } i > (N+2)/4 \\ 2i-2 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

条纹间距与极小值点序的关系为

$$g = \sqrt{(x_i - x_{N-i+1})^2 + (y_i - y_{N-i+1})^2} / j \quad (5)$$

j 为第 i 点与第 $(N-i+1)$ 点之间跨越的条纹数,

$$j = \begin{cases} N+1-2i & \text{对于 } i > N/4 \\ 2i-1 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

将这些间距值取加权平均, 便可得到由该圆周路径确定的平均条纹间距。

5. 选取不同半径的圆周对第 3、4 两步重复若干次, 将各次结果再平均。根据误差理论, 随机变量样本容量增大, 平均值的标准

表1 沿圆周路径测得的条纹间距, 晕直径为 240

条 纹 数		12		8		6		4		3		2	
给 定 间 距		20		30		40		60		80		120	
测量间距及 相对误差		<i>g</i>	<i>e</i> (%)										
对	0.1	20.4	2.0	30.2	0.7	40.3	0.8	60.8	1.3	78.2	2.3	124.2	3.5
	0.2	20.3	1.5	30.3	1.0	39.7	0.8	61.6	2.7	78.9	1.4	121.0	0.8
	0.3	20.4	2.0	30.2	0.7	40.0	0.0	60.9	1.5	79.0	1.3	122.0	1.7
	0.4	20.4	2.0	30.3	1.0	40.3	0.8	60.6	1.0	80.6	0.8	122.1	1.8
比	0.5	20.4	2.0	30.4	1.3	40.4	1.0	60.7	1.2	77.7	2.9	122.3	1.9
	0.6	20.4	2.0	30.4	1.3	40.4	1.0	60.4	0.7	79.1	1.1	122.0	1.7
	0.7	20.3	1.5	30.2	0.7	40.1	0.3	60.5	0.8	79.3	0.9	122.4	2.0
	0.8	20.4	2.0	30.2	0.7	40.1	0.3	60.5	0.8	80.5	0.6	122.1	1.8
度	0.9	20.3	1.5	30.1	0.3	39.8	0.5	60.5	0.8	79.7	0.4	123.5	2.9
	1.0	20.3	1.5	30.1	0.3	40.3	0.8	60.4	0.7	79.3	0.9	125.6	4.7

偏差减小, 因而间距的准确度增加。

结果与讨论

为了能够比较, 我们用沿着条纹方向的灰度积分法(未消除衍射晕影响)测量条纹间距及相对误差。[3]结果表明, 条纹极大值靠近晕中心, 条纹极小值远离晕中心。随着晕内条纹数的减小和对比度下降, 偏离程度加大。比如当晕内条纹数小于6时, 由条纹极大测得的间距误差大于5%; 条纹数小于4时, 误差大于10%。另一方面, 只要条纹反差比较好, 由条纹极小测得的间距准确得多。条纹越少, 对条纹反差要求越高。

表1是沿着圆周路径测出的条纹间距。从整个测量结果来看, 衍射晕的影响被消除了。测量精度不受条纹数和对比度的干扰。即使条纹少, 对比度低, 也能得到非常满意的精度。没有测量失败的情况。这就是说, 不

仅精度提高了, 而且增强了对恶劣条件的适应能力。同时, 这种方法所用机时比沿着条纹方向的灰度积分法少。

条纹方向测量精度也与条纹数、对比度有关, 但最大误差仅为1.1°。为了突出说明本技术在避免衍射晕非均匀照度影响方面的功效, 文中未涉及噪声问题。实际上, 衍射晕本身是充满随机噪声的, 它必然会给分析带来影响。我们将在另一篇文章里详细介绍解决噪声问题的方法^[4]。

感谢谷士文副教授、沈新权和陈练兵等同志的热情帮助。

参 考 文 献

- 1 C. S. Vikram *et al.*, *Appl. Opt.*, 22(15), 2242(1983)
- 2 S. A. Isacson *et al.*, *Appl. Opt.*, 24(2), 189(1985)
- 3 胡逸群, *光学学报*, 8(11), 1012(1988)
- 4 胡逸群, *长沙铁道学院学报*, 7(1), 69(1989)