

散斑条纹的快速高精度处理技术

李喜德 方 强 谭玉山
(西安交通大学 机械系, 西安 710049)

提 要

本文提出一种快速高精度散斑杨氏条纹(斑纹)场处理方法——同态阈值滤波法。用它实现了散斑场条纹的快速、逐点连续高精度处理。

关键词: 斑纹场, 同态阈值滤波。

一、前 言

散斑技术作为一种成熟的非接触光学测量方法已被广泛地应用于各种工程领域。这不仅由于它的非破坏性与非接触性,更在于它的简单与可靠性。但是正如其他测量技术一样,斑纹分析技术作为散斑测量的实现手段也有其固有的缺点,那就是随着测量客体复杂程度加深,随着测量数据的增加使得测量时间成倍增加,人工逐点法已不再能满足要求。为此,很多学者借助于计算机与图象处理技术提出了很多加速测量速度与提高测量精度的方法^[1~8]。本文讨论一种在实际测量中非常有效的快速、高精度斑纹处理方法——“同态阈值滤波”法。它是对条纹场中待定信息在频率域中进行同态滤波及阈值给定后获得所要求信息的。

二、基本 原理

在连续自动高精度测量技术中,有两个参数是至关重要的,那就是精度和速度。本文提出的斑纹场的速度连续与高精度处理方法就是基于这种要求而提出的。它的主要思想是从统计光学的观点来看,散斑场是一个全频场,由于多种频谱分量的存在,使得斑纹场具有很低的对比度,如果不进行处理而直接测量,将必然使测量精度降低。加以斑纹场中由于衍射晕的存在,其亮条纹中心与暗条纹中心均发生不同程度的移动而使强度极值的测量出现误差。为此,本文进行同态阈值滤波处理,使相乘条件下的斑纹场信息与噪声分离,以利于线性滤波与处理。

设 $I(\mathbf{r})$ 为分析平面上的斑纹场分布,则

$$I(\mathbf{r}) = \left\{ \frac{1-v}{1+v} + \frac{2*v}{1+v} * \cos^2[\phi(\mathbf{r})] \right\} * I_1(\mathbf{r}). \quad (1)$$

式中 v 为斑纹场对比度; $I_0(\mathbf{r})$ 为晕函数; $\phi(\mathbf{r})$ 为描述条纹分布的相位函数。对 $I(\mathbf{r})$ 场沿

某选定方向进行强度采样*。设其方向程度为 $I_i^\alpha(\mathbf{r})$ ；晕函数各向对称，为简单起见令 $\nu=1$ ，则：

$$I_0^\alpha(\mathbf{r}) = I_0(\mathbf{r}), \quad (2)$$

$$I_i^\alpha(\mathbf{r}) = I_{0i}(\mathbf{r}) * \cos^2[\phi_i^\alpha(\mathbf{r})], \quad (3)$$

式中 α 为某扫描方向与 x 轴夹角； $i=1, 2, \dots$ 对 (3) 式进行对数变换，即

$$\log_{10}[I_i^\alpha(\mathbf{r})] = \log_{10}[I_{0i}(\mathbf{r})] + \log_{10}\{\cos^2[\phi_i^\alpha(\mathbf{r})]\}, \quad (4)$$

(4) 式的处理，不仅可提高后继变换时输入函数的质量，而且使信号 $\cos^2 \phi_i^\alpha(\mathbf{r})$ 与晕函数 I_{0i} 分离，这正是采用同态滤波的原因。对 (4) 式进行快速傅里叶变换：

$$F\{\log_{10}[I_i^\alpha(\mathbf{r})]\} = F\{\log_{10}[I_{0i}(\mathbf{r})] + \log_{10}(\cos^2[\phi_i^\alpha(\mathbf{r})])\}, \quad (5)$$

(5) 式即斑纹场 $I_i^\alpha(\mathbf{r})$ 在对数意义下的谱。

如本文前面所述，由于斑纹场的随机性及对散斑负片进行分析的二次散斑效应，频谱中包含了各种频谱分量。因此，须对频谱进行某种滤波。本文的滤波器按下述方法设计：

设 f_0^α 是谱中次级主极大的采样坐标， Δf_0 是一小量，则滤波函数 H 定义为：

$$H = \begin{cases} 0 & 0 < f^\alpha \leq (f_0^\alpha - \Delta f_0), \\ 1 & (f_0^\alpha - \Delta f_0) < f^\alpha \leq f_0^\alpha + \Delta f, \\ 0 & f_0^\alpha + \Delta f_0 < f^\alpha, \end{cases} \quad (6)$$

式中选择 Δf_0 是为了确保次级主极大被绝对通过滤波器，一般为几个采样点。上述对数谱经过 (6) 式所描述的滤波函数后，已滤掉频谱中包含主极大在内的所有高低频分量而只保留次极大。这样，在滤掉高低频分量后，所剩的次大即是含 $\cos^2 \phi(\mathbf{r})$ 的频谱分量 ($\phi(\mathbf{r})$ 为斑纹场的相位函数)。

经上述处理后，若直接进行反变换，虽然可使斑纹场质量大大改善，但它不能选择出最佳的强度扫描方向。因此，若一个与条纹取向相近的扫描方向被选用，这必然会给条纹间距和方向的计算带来误差，甚至得不到正确的结果，为此，又设计如下阈值过程：

设主极大，次极大谱的值分别为 V_F^α ， V_S^α ，若

$$\frac{V_S^\alpha}{V_F^\alpha} = \begin{cases} < V_0 & \text{重新选择扫描方向**} \\ \geq V_0 & \text{选定该扫描方向，参加后续处理} \end{cases} \quad (7)$$

当 (7) 式的第二个不等式在预先结定的 m 个 ($m \geq 2$) 扫描方向均满足时；第二个阈值条件起作用，为：

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= (f_0^\alpha)_{F_{\max}} && \text{为第一扫描方向} \\ S_2 &= (f_0^\alpha)_{S_{\max}} && \text{为第二扫描方向} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中 $(f_0^\alpha)_{F_{\max}}$ 为各扫描方向中 f_0^α 最大者所取方向， $(f_0^\alpha)_{S_{\max}}$ 为各扫描方向中 f_0^α 次最大者所取方向。上述阈值过程中，第 (7) 式的提出，是认为的斑纹场的频谱中次极大与主极大之比应高于某一阈值，这样才能保证有较好的扫描方向和斑纹场质量，在实际的程序中，若有两个方向使 (7) 式的第一个不等式均成立，则该斑纹场被认为质量太差而不测量。第 (8) 式是基于：对于同一幅斑纹场，当扫描方向与条纹取向垂直时， $f_0^{\alpha 0}$ 必然为最大，而当其平行时，

* 方向的选定尽量不与条纹方向一致，这样可得到较高的测量精度。采样数可根据需要选择 128、156 或 512

** V_0 为一统计值，一般取 0.01~0.025 即可。

则 $f_0^0=0$ 的事实*。即经过上述阈值过程, 后续处理只需对上述阈值选定的两个方向的数据进行处理。

最后的工作是反变换及条纹方向和间距的计算。设 $LI_i^\alpha(\mathbf{r})$ 为反变换后对数意义下的光强沿 α 方向的采样的强度, 则

$$LI_i^\alpha(\mathbf{r}) = F^{-1}\{F(\log_{10}[I_i^\alpha(\mathbf{r})]) \otimes H\} = K \otimes \cos^2[\phi_i^\alpha(\mathbf{r})], \quad (9)$$

由(9)式得到了条纹信息 $\cos^2[\phi_i^\alpha(\mathbf{r})]$, 其中当 Δf_0 选择的很小, 且保证次级主极大通过滤波器时, K 在条纹分布的区域中基本为一常数。整个处理系统及过程分别如图(1)、(2)所示。

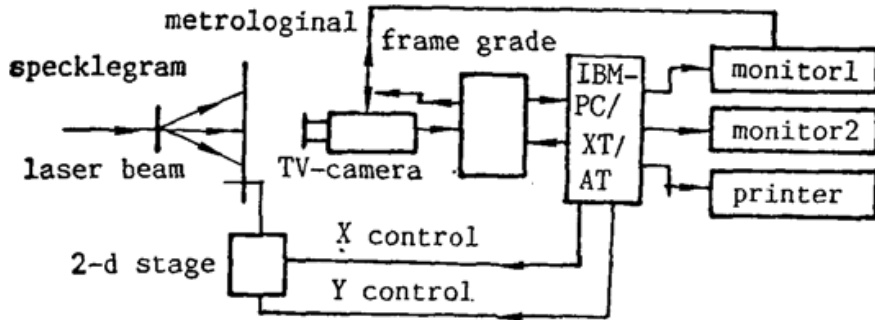


Fig. 1 Arrangement of processing system

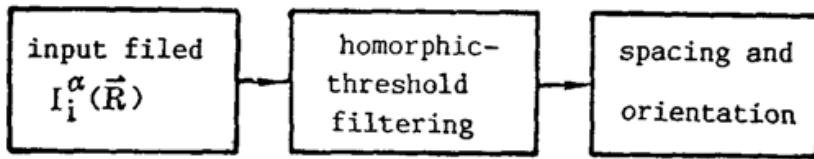


Fig. 2 The calculation program of fringe filed

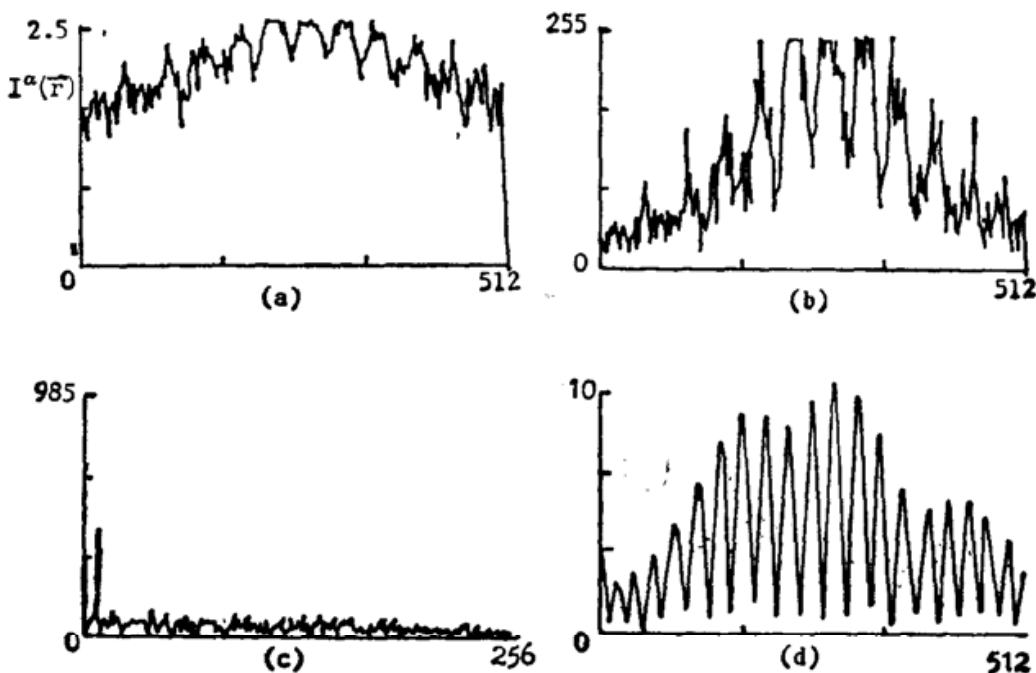


Fig. 3 The calculation results for various steps

* 假定此时条纹取向平行于 x 轴。

三、实 验

应用本文的方法和编制的相应软件进行了大量的实验,取得了比较理想的结果‘如图 3 所示。图 3(a)~(d)分别为在某一扫描方向上对应图 2 各阶级的斑纹场处理图形。其中,图 3(d)是经过倍频的。可见条纹场质量大大改善。图 3 是用本文方法对某一散斑场进行约 700 点测量的统计分布曲线。从而可以看出该方法的重复稳定性和精度。需要指出的是,文中并没有给出某一斑纹场的真正方向与间距,只是给出了它的“准间距” $d_i (i=1, 2)$ 。事实上,从图 4 可以看到,当 d_i 和 α_i 为已知时,条纹间距和方向是不难求知的。

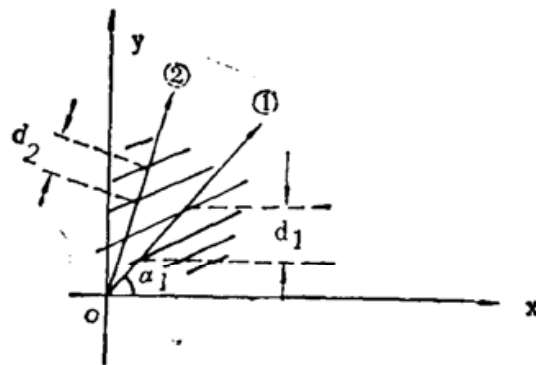


Fig. 4 The geometric figure of fringe filed

(1) First scanning direction (S_1); (2) Second scanning direction (S_2)

四、结 论

应用本文介绍的方法实现了多点快速高精度连续测量。由图 3 可知实验结果是比较理想的。在测量中系统总相对误差为 1.9%。在应用 IBM/AT 微机条件下,单点测量约为 5~6 sec(512 个象素)。由于应用可编程的 2-D 精密平台,因此整个测量系统可处于连续及手动两种状态。

参 考 文 献

- [1] G. H. Kanfmann; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 24 (Dec), 4277~4280.
- [2] D. W. Robinson; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 14 (Jul), 2169~2176.
- [3] S. A. Isacson, G. H. Kanfmann; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 2'(Jan), 189~193.
- [4] S. A. Isacson, G. H. Kanfmann; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 10 (May), 1444~1447.
- [5] G. T. Reid; *Opt. & Laser in Engng*, 1986, **7**, No. 7 (Aug), 36~38.
- [6] J. M. Huntley; *Appl. Opt.*, 1986, **25**, No. 3 (Feb), 382~387.
- [7] H. Barnils, S. A. Ledesma *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 2 (Jan), 383~389.
- [8] H. D. Navone, G. H. Kanfmann; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 1 (Jan), 153~156.

Fast and high accuracy processing technique of speckle photography fringes

LI XIDE, FANG QIANG AND TAN YUSHAN

(*Xian Jiaotong University, Mechanics Department, Xian 710049*)

(Received 26 March 1990; revised 9 July 1990)

Abstract

A fast and high accuracy technique, homomorphic-threshold filtering of speckle photography fringes is presented in this paper. It can be used to continuously process the speckle photography fringe with high-speed, pointwise and high-precision. So the speckle photography fringe spacing and orientation can be recongnized effect-ively.

Key words: speckle fringe field, homomorphic-threshold filtering.