

文章编号: 0253-2239(2007)07-1217-7

# 基于样本块匹配的干涉图延拓方法\*

黄 菁 朱日宏 陈 磊

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

**摘要:** 在快速傅里叶变换(FFT)方法处理单幅干涉图原理的基础上,提出一种基于样本块匹配的干涉图延拓方法,利用干涉图像的可信度和等照度线特征,来确定待填充块的优先权,然后在干涉图的已知区域寻找与待填充块最相似的样本块来进行填充。充分利用了干涉图的条纹特征,结合梯度变化方向有效地合成纹理信息,具有很好的延拓效果。最后将该干涉图延拓方法与傅里叶变换,合适的滤波函数和相位解包方法结合起来形成整套单幅干涉图处理方法。采用该单幅干涉图处理方法获得的波面峰谷值与 Zygo 移相干涉仪得到的平均相差不到  $\lambda/100$ ,并且两种方法获得的波面均方根值平均相差不到  $\lambda/200$ 。

**关键词:** 光学测量;干涉图延拓;样本块匹配;快速傅里叶变换法

中图分类号: TN247 文献标识码: A

## Interferogram Spreading Method Based on Exemplar Matching

Huang Jing Zhu Rihong Chen Lei

(School of Electronic Engineering and Photoelectric Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

**Abstract:** Based on single interferogram analysis method using fast Fourier transform (FFT), an interferogram spreading method based on exemplar matching is proposed. By analyzing the confidence and isophote of interferogram, the priority that is assigned to each patch on the fill front are calculated. After the patch most similar to the patch on the fill front is found in the source region of the interferogram, the value of each pixel in the patch on the fill front is copied from its corresponding position in the most similar patch. This spreading algorithm takes full advantage of the fringe characteristics and the directions of isophotes to synthesize the structure and texture information of interferogram and achieves good spreading effect. The proposed spreading algorithm is combined with FFT, filtering and phase unwrapping together to form a single interferogram analysis method of high-accuracy. The differences between the wave surface peak-valley value obtained by the proposed single interferogram analysis method and Zygo interferometer is less than  $\lambda/100$ , and the difference between the wave surface root-mean-square value obtained by these two methods is less than  $\lambda/100$ .

**Key words:** optical measurement; interferogram spreading; exemplar matching; fast Fourier transforms

## 1 引 言

传统的干涉测试系统如移相干涉仪等以其高精度、高空间分辨力、集光机电算于一体等特点,广泛用于各种光学元件的测量。然而移相干涉测试方法<sup>[1]</sup>对测试条件要求比较严格,要求有高精度和高稳定度的移相器<sup>[2]</sup>,测试环境在整个测试过程中不能改变,一般都需要在特殊的防振台上进行。而随着光学制造业和加工业的发展,对光学元件加工的精度要求越来越高,这就要求有精度高,使用方便的干涉仪能够

在加工现场进行检测。基于快速傅里叶变换(FFT)的利用单幅干涉图进行测试的方法设计简单,对测试环境要求低,不需要特殊的载频产生装置,具有很高的精度和广阔的应用前景。该方法可以用于瞬态波前测量以及微机械的微结构动态分析<sup>[3]</sup>等。

采用快速傅里叶变换对干涉图进行处理时,要求数据长度满足 2 的幂次,而实际干涉图大多是圆形域或环形域,这就需把干涉图进行延拓来避免由于边界截断引入的吉布斯(Gibbs)效应<sup>[4]</sup>及频域

\* 江苏省现代光学技术重点实验室开放课题(T8108030)资助课题。

作者简介: 黄菁(1982-),女,江苏江阴人,博士研究生,主要从事光学测试图像处理 and 图像编码方面的研究。

E-mail: jingjing@vip.sina.com

导师简介: 朱日宏(1964-),男,江苏大丰人,教授,博士生导师,主要从事光学测试以及光学测试图像处理等方面的研究。E-mail: zhurihong@vip.sina.com

收稿日期: 2006-10-10; 收到修改稿日期: 2007-01-23

泄漏。另外,在某些情况下由于被测面被物体遮挡,使采集到的干涉图出现断裂现象,从而对重构波面信息带来影响。因此,对干涉图进行延拓是提高测试精度必须解决的问题。P. J. Bone 等<sup>[5]</sup>提出了边界对称反转外延的方法来改善干涉图边界处的幅度突变,但误差也扩散到延拓区域;C. Roddier 等<sup>[6]</sup>提出了基于二维快速傅里叶变换变换的条纹外插方法,后来 J. H. Massig 等<sup>[7]</sup>在此基础上提出了提取旁瓣进行多次迭代的方法,但该方法需要进行多次二维快速傅里叶变换迭代计算,实用性较差;陈进榜等<sup>[8]</sup>提出了以边缘极值点为对称点反转外延的方法,但延拓后的干涉图在边界处仍然有条纹错位现象;以边缘极值点为原点进行外插的方法<sup>[9,10]</sup>能显著减少边界错位影响,但精度不高;另外,还有最小

二乘迭代插值方法<sup>[11]</sup>等。

本文利用干涉图像的可信度和等照度线特征,提出一种基于样本块匹配的干涉图延拓方法。该方法充分利用干涉图的纹理特征,能够非常有效地合成纹理信息。将本文方法应用到快速傅里叶变换方法中对单幅干涉图进行处理,并与 Zygo 干涉仪移相测试结果进行比较。

## 2 快速傅里叶变换方法处理单幅干涉图的原理

在干涉场中通过倾斜参考波面而引入空间载频频率,干涉场的光强分布为

$$i(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[2\pi f'_x x + 2\pi f'_y y + \varphi(x, y)], \quad (1)$$

式中  $a(x, y)$  为背景光强,  $b(x, y)$  为干涉条纹的调制度,  $f'_x$  和  $f'_y$  分别为  $x$  和  $y$  方向的空间载频频率,  $\varphi(x, y)$  为被测波面的相位分布。(1) 式的指数形式为

$$i(x, y) = a(x, y) + c(x, y) \exp[2\pi j(f'_x x + f'_y y)] + c^*(x, y) \exp[-2\pi j(f'_x x + f'_y y)], \quad (2)$$

其中  $c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) \exp[j\varphi(x, y)]$ ,  $c^*(x, y)$  为  $c(x, y)$  的复共轭函数。对(2) 式进行快速傅里叶变换可以得到

$$I(f_x, f_y) = A(f_x, f_y) + C(f_x - f'_x, f_y - f'_y) + C^*(f_x + f'_x, f_y + f'_y), \quad (3)$$

式中  $A(f_x, f_y)$  为零级频谱分布函数,它包含了干涉图背景光强的频谱信息;  $C(f_x - f'_x, f_y - f'_y)$  为正一级频谱分布函数,  $C^*(f_x + f'_x, f_y + f'_y)$  为负一级频谱分布函数,它们包含了被测波面的频谱信息和载频信息。通过采用合适的滤波器取出正一级频谱  $C(f_x - f'_x, f_y - f'_y)$  或负一级频谱  $C^*(f_x + f'_x, f_y + f'_y)$ , 在频域上平移至原点而得到  $C(f_x, f_y)$ , 此时  $C(f_x, f_y)$  只包含了被测波面的频谱信息,再对其进行逆快速傅里叶变换 (IFFT) 得到

$$\mathcal{F}^{-1}[C(f_x, f_y)] = c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) \exp[j\varphi(x, y)], \quad (4)$$

式中  $\mathcal{F}^{-1}$  为逆快速傅里叶变换符号。从(4)式可以看出,  $c(x, y)$  表达式的虚部与实部比值的反正切值就是被测波面的相位分布函数

$$\varphi(x, y) = \arctan \frac{\text{Im}[c(x, y)]}{\text{Re}[c(x, y)]}, \quad (5)$$

式中  $\text{Re}[c(x, y)]$  和  $\text{Im}[c(x, y)]$  分别为  $c(x, y)$  的实部和虚部。

## 3 样本块匹配的干涉图延拓及其在快速傅里叶变换方法中的应用

在实际的干涉测量中,干涉图通常是圆形、环形甚至出现断裂,这些情况下的干涉图不能满足数据的长宽都是 2 的次幂,如果在作快速傅里叶变换时

只是对干涉图有效区域以外的区域补零,则会出现傅里叶谱的扩散,在边缘处造成很大的误差。为了解决这个问题,采用样本块匹配的图像修描方法根据干涉图的条纹特征来对其进行延拓,其核心思想<sup>[12]</sup>是利用图像的可信度值和等照度线对图像进行样本匹配。对一幅原始图像  $I$ , 如图 1 所示,待填充的目标区域用  $Q$  表示,它的边缘用  $\delta Q$  表示,已知像素区域称为源区域,用  $P$  表示,则  $I = P \cup Q$ 。边缘  $\delta Q$  上的每一个像素点  $u$  都对应一个以这个像素点为中心的待填充的窗口区域  $W_u$ , 如图 2 所示,这个窗口区域包含了部分的源区域和部分的区域,它的尺寸应该大于图像中最大的纹理单元。在对图像的缺失区域进行修补之前,需要输入两个参

量,第一个是需要修补的目标区域  $Q$  的边缘  $\delta Q$ ,第二个是待填充的窗口模板  $W_u$  的大小。我们选择不同的窗口模板大小对多幅干涉图进行延拓处理的实验,实验结果表明当窗口模板大小设置为  $7 \times 7$  时可以获得较好的延拓效果。在确定了参量后,块填充就由算法自动完成,主要分为三个步骤:计算当前待修补区域的边缘上所有点的优先权;对待修补区域进行纹理和结构的延拓;更新刚修补区域的可信度值。

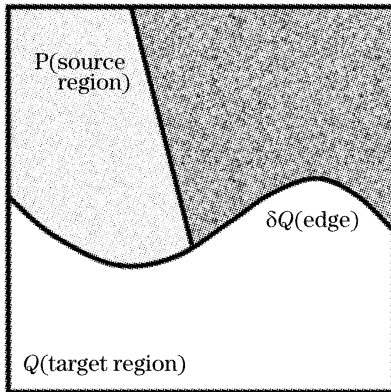


图 1 原始图像

Fig. 1 Original image

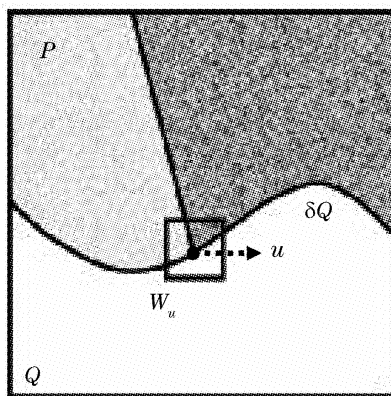


图 2 窗口模板

Fig. 2 Window template

### 3.1 计算当前待修补区域的边缘上所有点的优先权

每个像素都有一个可信度值,它反映该点灰度值的可信程度。待填充区域边缘上的每个窗口模板都有一个优先权,填充算法根据窗口模板的优先权来决定填充的优先顺序。在该方法中,窗口模板的优先权或填充的优先顺序受两方面的因素影响。一方面,窗口模板是否位于图像中具有明显边缘结构的位置上。因为在这些位置上的区域应该包含有重要的结构信息,应该首先进行填充。另一方面,窗口模板周围像素的可信度值的大小情况。如果可信度值越大,即周围可利用的已知信息越多,填充出来的新像素值越合理。

对于中心点为  $u(u \in \delta Q)$  的窗口模板  $W_u$ ,它的

优先权  $B(u)$  定义为

$$B(u) = C(u)D(u), \quad \forall u \in \delta Q \quad (6)$$

其中  $D(u)$  为窗口模板  $W_u$  的数据项,  $C(u)$  为窗口模板  $W_u$  的可信度值,它定义为

$$C(u) = \sum_{v \in W_u \cap P} C(v) / A_{W_u}, \quad (7)$$

在(7)式中,  $A_{W_u}$  为窗口模板  $W_u$  的面积大小,这里设置为 49。 $C(v)$  为像素点  $v$  的自信度,初始化为

$$C(v) = \begin{cases} 0, & \forall v \in Q \\ 1, & \forall v \in P \end{cases} \quad (8)$$

由(7)式和(8)式可知,可信度值  $C(u)$  是度量窗口模板  $W_u$  中  $u$  点周围区域的可信程度的尺度。如果窗口模板  $W_u$  中  $u$  点周围的已知像素越多,则表示位于源区域  $P$  的像素点越多,  $W_u$  的可信度值就越高,因此填充排序越优先。相反,窗口模板  $W_u$  中  $u$  点周围的已知像素越少,则表示位于目标区域  $Q$  的像素点越多,  $W_u$  的可信度值就越低,因此填充排序越靠后。对于包含拐角和卷须形状边缘的窗口模板区域,由于包含比较多的已知像素,所以能提供更可靠的信息,因而将会优先填充。一般情况下,外层的待填充区域具有较大的可信度值,被最先填充,而中心区域具有较小的可信度值,被最后填充,这样形成了由外向内的填充顺序。在目前的修描方法中,用得较多的是洋葱皮法,即由外向内逐层合成待修补区域的像素值。在本方法中采用可信度值作为填充顺序选择的一个因素,保证了自适应的由外向内进行填充的原则。

在(6)式中,  $D(u)$  表示边缘  $\delta Q$  上  $u$  点的等照度线的强度函数,定义为

$$D(u) = |\nabla I_u^\perp \cdot n_u| / \rho, \quad (9)$$

其中  $\rho$  为归一化因子,对于干涉图像,设置值为 255;  $n_u$  为  $u$  点位置上关于边缘  $\delta Q$  的单位法线。如图 3 所示,  $\nabla I_u^\perp$  为  $u$  点的单位等照度量,定义为

$$\nabla I_u^\perp = \frac{(-I_y(u), I_x(u))}{\sqrt{I_x(u)^2 + I_y(u)^2}}, \quad (10)$$

其中  $I_x(u)$  和  $I_y(u)$  分别为像素点  $u$  在  $x$  方向和  $y$  方向上的偏微分。由(9)式可知,数据项  $D(u)$  与边缘  $\delta Q$  上  $u$  点的单位等照度量以及等照度线与法向量之间的夹角有关。单位等照度量越大,等照度线与法向量之间的夹角越小,数据项越大,对应的填充排序越优先。图像线性结构部分的等照度线强度较大,其对应的数据项也较高,因此在填充过程中该部分能够优先得到填充。

优先权是图像的特征函数,反映了待修补区域的可信度和等照度线强度(数据项)的综合特征。数

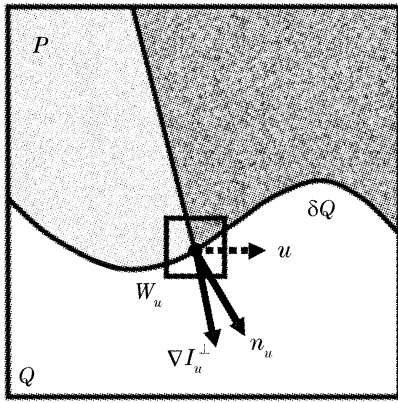


图 3  $\nabla I_u^\perp$  和  $n_u$  的示意图

Fig. 3 Schematic of  $\nabla I_u^\perp$  and  $n_u$

据项使线性结构不断向待填充区域延拓,而可信度又在一定程度上抑制了这一趋势。因此优先权是可信度和数据项平衡的结果,通过计算边缘上窗口模板的优先权,使填充过程按照确定的填充顺序有次序地进行,能够避免修补后的图像出现结构断开以及模糊等现象。

### 3.2 对待修补区域进行纹理和结构的延拓

很多图像修描方法通过扩散方法来得到待修补区域的像素值,往往使得待修补区域变得平滑,边缘和纹理结构不够清晰。而基于样本匹配的图像修描方法在源区域  $P$  中直接复制相似的像素块来填充待修补区域,因此待修补区域的边缘和纹理结构很清晰。在该方法中,当边缘  $\delta Q$  上所有点的优先权都计算出来后,找出优先权最大的点  $u$  和它对应的窗口模板  $W_u$ ,然后再从源区域  $P$  中寻找与  $W_u$  像素内容最相近的窗口模板  $W_v$ ,如图 4 所示。 $W_v$  定义为

$$W_v = \arg \min_{W_v \in P} E(W_u, W_v), \quad (11)$$

其中  $E(W_u, W_v)$  为两个窗口模板  $W_u$  和  $W_v$  均方误差,它用来度量两个窗口模板之间内容的差异。

当找出最相似的窗口模板  $W_v$  后,再从  $W_v$  中提取

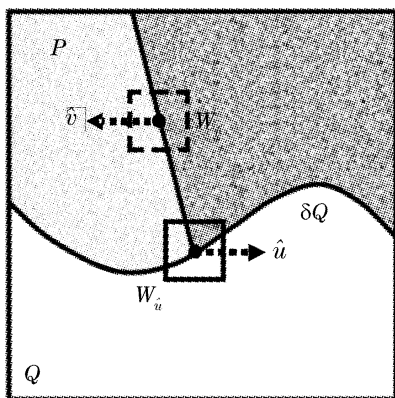


图 4 最相近的窗口模板

Fig. 4 The most similar window template

对应位置上的像素内容填充到  $W_u$  的待修补区域  $W_u \cap Q$ ,如图 5 所示。这样的处理方法能够把纹理信息和结构信息通过统一的处理步骤延拓到待修补区域,而不需要对待修补区域分别进行纹理和结构处理。

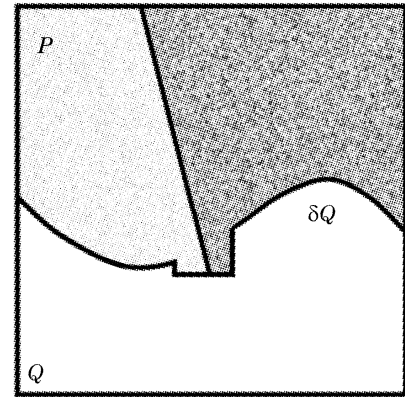


图 5 填充区域  $W_u$

Fig. 5 Filling region  $W_u$

### 3.3 更新刚修补区域的可信度值

当窗口模板  $W_u$  中的待修补区域填上新的像素之后,这部分新像素的可信度值需要进行更新,即

$$C(u) = C(u), \quad \forall u \in W_u \cap Q. \quad (12)$$

随着填充过程的进行,可信度值也逐渐降低,这些刚修补区域的可信度值将会被下一次的填充过程利用。可信度值更新过后,一次填充过程结束。这时,目标区域和源区域发生了变化,随之带来边缘也发生了改变。重复以上三个步骤进行新一轮的填充过程,直到整个目标区域填充修补完毕。

### 3.4 算法流程

基于样本块匹配的图像修描方法根据图像的特

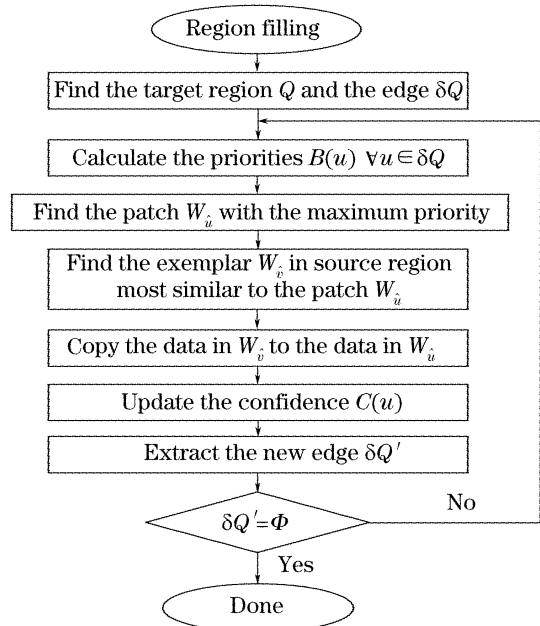


图 6 区域填充算法流程

Fig. 6 Flow chart of region filling algorithm

征,即可信度值和等照度线强度,重复等照度线推进的过程,直到图像的整个目标区域填充完毕。具体的算法流程描述如图 6 所示。

### 3.5 干涉图延拓方法在快速傅里叶变换方法中的应用

将本文方法应用到对单幅干涉图的处理中,采用的单幅干涉图处理方法包括几个步骤:

1) 采用基于样本块匹配的干涉图延拓方法对干涉图的无效区域进行延拓;

2) 对延拓后的干涉图进行二维快速傅里叶变换,得到其频谱分布;

3) 采用圆柱形函数加上余弦镶边函数提取正一级频谱信息,接着将正一级谱移至整个频谱中心,然后进行二维逆快速傅里叶变换;

4) 将得到的数据的实部和虚部的比值经过反正切变换,得到波面的包裹相位数据;

5) 采用非加权离散余弦变换(DCT)最小二乘法对相位数据进行解包,然后进行消倾斜处理,得到被测波面信息。

## 4 实验与分析

采用本文提出的干涉图延拓方法对图 7 所示的干涉图进行延拓,其中图 7(a)是带有球差的干涉图,图 7(b)是在干涉图的中央位置有个条形的遮挡物,图 7(c)是圆形条纹的干涉图,图 7(d)是干涉图被遮挡物分成了六个部分,四幅干涉图的延拓结果如图 8 所示。从图 8 可以看出,带有球差的干涉条纹、圆形干涉条纹以及出现断裂情况的干涉条纹都能够获得很好的延拓效果,延拓后的干涉图边界衔接都较好,条纹都比较光滑,视场均匀。采用该方法对干涉图进行延拓是在空域中进行处理,避免了因频域滤波而导致的灰度等级变化,因此获得的干涉图条纹模式和灰度等级一致,干涉视场较均匀。基于样本块匹配的方法进行干涉图延拓是结合全局图像的梯度变化方向进行的,干涉图正是一种全局特性十分明显的图像,因此能充分利用现有图像全局特性对局部图像进行填充与完善,可保证边界幅度与相位的连续性,而不受条纹形状、干涉图大小、载波频率等条件的限制。

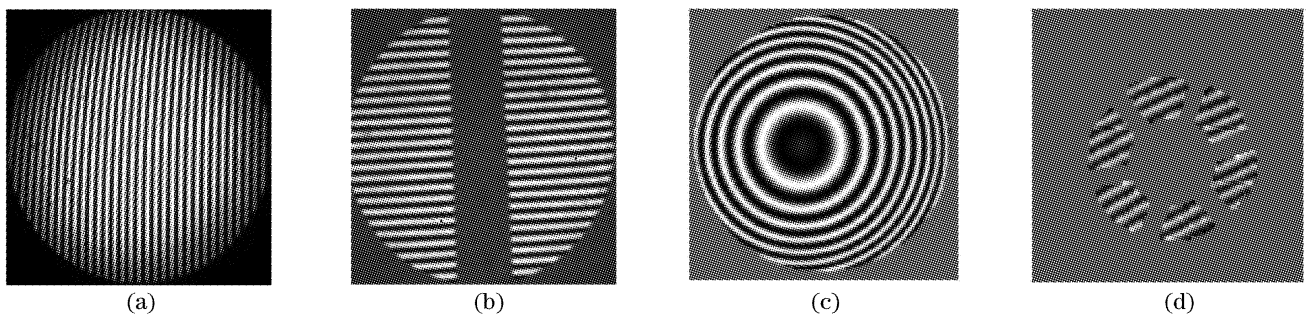


图 7 原始干涉图。(a)带有球差,(b)被条状物遮挡,(c)圆形条纹,(d)被分成六块

Fig. 7 (a) Original interferogram containing spherical aberration, (b) sheltered from a stick, (c) with circular fringe, (d) partitioned into six parts

将干涉图延拓方法应用到快速傅里叶变换方法中对单幅干涉图进行处理。用 Zygo 公司的 GPI-xp 型干涉仪在加入一定载频时分别对两个被测件在有

遮挡和无遮挡情况下进行移相测试,同时采集两个被测件在有遮挡和无遮挡情况下的单幅干涉图,然后采用单幅干涉图处理方法进行处理,并将处理结

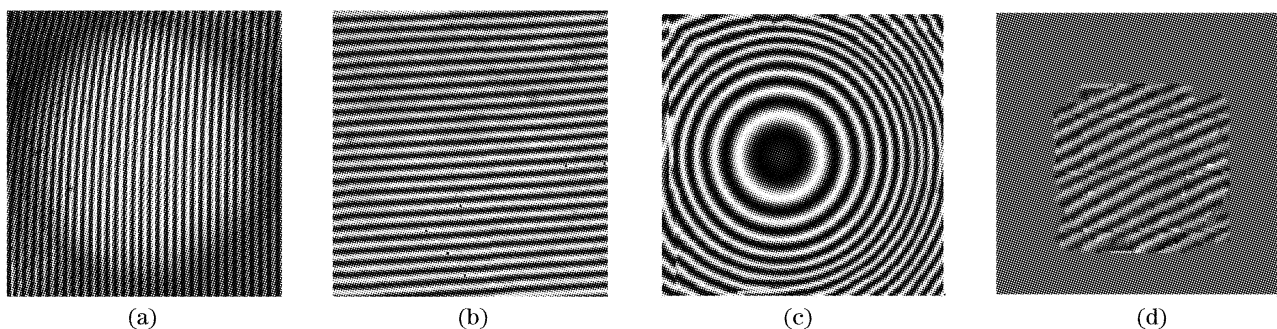


图 8 延拓干涉图。(a)带有球差,(b)被条状物遮挡,(c)圆形条纹,(d)被分成六块

Fig. 8 (a) Spread interferogram containing spherical aberration, (b) sheltered from a stick, (c) with circular fringe, (d) partitioned into six parts

果与 Zygo 干涉仪的移相测试结果进行比较。图 9 示出了第一个被测件分别在无遮挡和有遮挡情况下的干涉图以及延拓后的干涉图,图 10 示出了第二个被测件分别在无遮挡和有遮挡情况下的干涉图以及延拓后的干涉图。在两种情况下,对单幅干涉图进行处理的结果和 Zygo 干涉仪的移相测试结果进行

比较,如表 1 所示,其中  $\lambda=633\text{ nm}$ 。从表 1 可以看出,对两个被测件,用单幅干涉图处理方法得到的波面峰谷值(PV)和 Zygo 干涉仪的移相测试得到的波面峰谷值平均相差不到  $\lambda/100$ ,用单幅干涉图处理方法得到的波面均方根(RMS)值和 Zygo 干涉仪的移相测试得到波面均方根平均相差不到  $\lambda/200$ 。

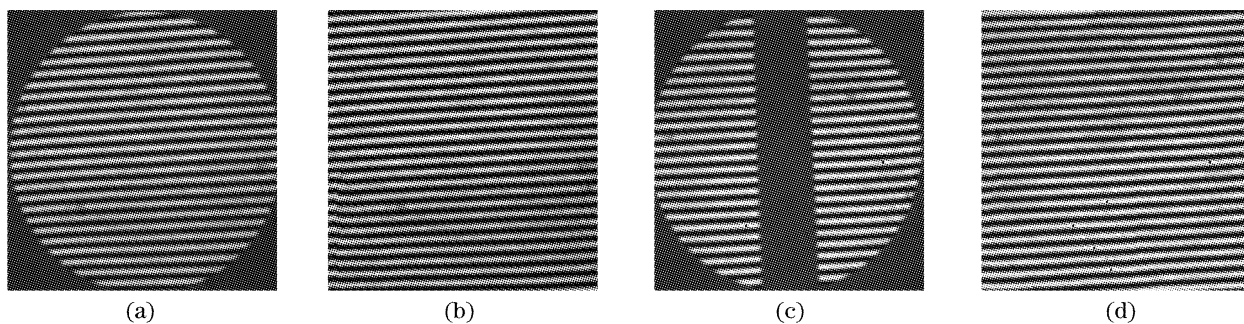


图 9 被测件 1 的干涉图。(a)无遮拦,(b)图(a)延拓后,(c)有遮挡,(d)图(c)延拓后

Fig. 9 (a) Original interferogram of lens 1, (b) spread interferogram of Fig. (a), (c) lens 1 sheltered from a stick, (d) spread interferogram of Fig. (c)

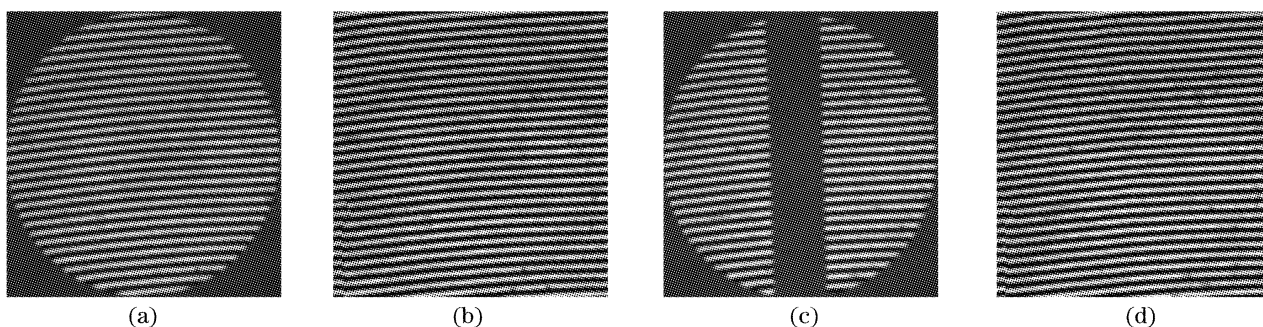


图 10 被测件 2 的干涉图。(a)无遮拦,(b)图(a)延拓后,(c)有遮挡,(d)图(c)延拓后

Fig. 10 (a) Original interferogram of lens 2, (b) spread interferogram of Fig. (a), (c) interferogram of lens 2 shelter from a stick, (d) spreaded interferogram of Fig. (c)

表 1 两种被测件的测试结果比较

Table 1 Comparison of experimental results of two lenses

Result	Method	Fig. 9(a)	Fig. 9(c)	Fig. 10(a)	Fig. 10(c)
PV / $\lambda$	Zygo interferometer	0.100	0.096	0.188	0.166
	Proposed	0.096	0.093	0.188	0.176
RMS / $\lambda$	Zygo interferometer	0.014	0.016	0.040	0.036
	Proposed	0.016	0.019	0.043	0.040

## 5 结 论

采用基于样本块匹配的方法对干涉图进行延拓,利用干涉图像的可信度和等照度线特征,采用等照度线推进的方法在干涉图的已知区域寻找与填充块最相似的样本块来进行填充。该方法充分利用了干涉图的条纹特征,结合梯度变化方向非常有效地合成纹理,延拓后的干涉图边界衔接较好、视场均匀、条纹模式和灰度等级一致。将本方法和快速傅里叶变换、滤波以及相位解包有效地结合起来,形成

了一套高精度的单幅干涉图处理方法。

## 参 考 文 献

- Chen Lei, Wang Qing, Zhu Rihong. Measurement of the homogeneity of refractive index of the germanium crystal using IR interferometer[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(3): 404~406 (in Chinese)  
陈 磊,王 青,朱日宏. 使用红外干涉仪测量锗材料折射率均匀性[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3): 404~406
- Chen Daojiong, Shan Shibao, Wei Guanghui *et al.*. Study of adaptive piezoelectric phase shifter [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(7): 1027~1031 (in Chinese)

- 陈道炯,单世宝,韦光辉等. 自适应压电式移相器的研究[J]. 光学学报, 2006, **26**(7): 1027~1031
- 3 Zhu Rihong, Wang Qing, Chen Lei *et al.*. A self-correcting method of phase shifter in phase shifting interferometry[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(7): 932~937 (in Chinese)  
朱日宏,王青,陈磊等. 移相干涉技术中移相器的自校正方法[J]. 光学学报, 1998, **18**(7): 932~937
- 4 M. Takeda. Spatial carrier heterodyne techniques for precision interferometry and profilometry; an overview[C]. *Proc. SPIE*, 1989, **1121**: 73~88
- 5 D. J. Bone, H.-A. Bachor, R. J. Sandeman. Fringe-pattern analysis using a 2-D Fourier transform[J]. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(10): 1653~1660
- 6 C. Roddier, F. Rodier. Interferogram analysis using Fourier transform techniques[J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(9): 1668~1673
- 7 J. H. Massig, J. Heppner. Fringe-pattern analysis with high accuracy by use of the Fourier-transform method; theory and experimental tests[J]. *Appl. Opt.*, 2001, **40**(13): 2081~2088
- 8 Chen Jinbang, Zhu Jiazheng, Song Dezhen *et al.*. Spatial scanning method and FFT algorithm for analyzing interferogram [J]. *Acta Armamentarii*, 1989, **10**(4): 24~31 (in Chinese)
- 陈进榜,朱家正,宋德真等. 空间扫描和傅里叶变换算法分析干涉图[J]. 兵工学报, 1989, **10**(4): 24~31
- 9 Zhang Jie, Chen Mingyi. A new algorithm of interference fringe extrapolation for Fourier transform analysis [J]. *Optical Instrument*, 1996, **18**(1): 20~26 (in Chinese)  
张捷,陈明仪. 傅里叶变换中干涉条纹的外插新算法[J]. 光学仪器, 1996, **18**(1): 20~26
- 10 Liu Tingrui, He Haitao. A modified algorithm for fringe-pattern extrapolation based on FFT analysis[J]. *J. Shanghai University (Natural Science)*, 2003, **9**(5): 456~458 (in Chinese)  
刘廷瑞,何海涛. 基于FFT干涉图处理的外插修正算法[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2003, **9**(5): 456~458
- 11 Zhang Zhaokun, Yu Yingjie, Chen Mingyi. Extrapolating for interferogram with the least-squares iteration [J]. *Chin. J. Scientific Instrument*, 2001, **22**(3): 376~377 (in Chinese)  
张兆坤,于瀛洁,陈明仪. 用最小二乘迭代法对干涉条纹图进行插值[J]. 仪器仪表学报, 2001, **22**(3): 376~377
- 12 A. Criminisi, P. Pérez, K. Toyama. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, **13**(9): 1200~1212

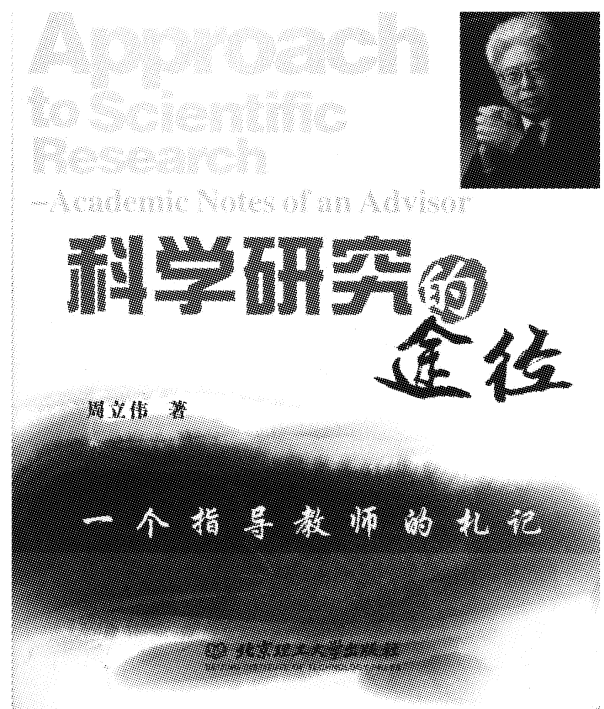
## • 新书推荐

### 《科学研究的途径》——一个指导老师的札记

本书是作者作为一个指导教师在近30年的研究生指导实践中写下的有关研究生学习和科学方法的札记。诸凡青年学人,特别是研究生在学习与科学研究过程中的科学探索,为人与治学,以及论文写作方法等,著者都以亲身的经历阐述自己的认识和体会。其中很多内容都是应青年研究生的要求撰写的,非常符合青年学人的实际需要,能帮助初涉科研的青年学人较快地熟悉科研过程及方法,及早多出成果,出好成果。本书作为有志于从事科学研究的理工科大学生、研究生、青年教师和青年科技人员的一本参考书,将对青年学人成长为学者起到辅助作用,使他们在从事科学研究时少走些弯路。同时,它也是研究生指导教师交流指导心得的一个平台。另外,本书实际上也是一本论述科学方法的科普读物。

**作者简介** 周立伟,电子光学和光电子成像专家。北京理工大学首席专家、教授、博士生导师;中国工程院院士,俄罗斯联邦工程科学院外籍院士。长期在宽束电子光学、光电子成像领域从事教学与科研工作,研究成果曾多次获部和国家科技进步奖励。

本书由北京理工大学出版社出版,16开,定价:25元。



联系人:郑京华

地址:北京理工大学出版社人文社科事业部

邮编:100081

手机:13810624594

办公电话:010-68945381

电子邮件:caizhengjinghua@126.com