

表面粗糙度干涉图像处理中的阈值优选

陈晓梅

(长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要 提出用于表面粗糙度自动干涉法测量过程中的一种有效的白光干涉图像阈值分割方法. 分割后的二值图像经过干涉条纹边界线萃取后得到的被测表面轮廓波形和表面粗糙度参数的计算结果与高精度 TALYSURF 6 型表面粗糙度测量仪的测量结果十分吻合. 此种图像分割方法同样也适用于粗糙表面激光干涉图像的二值化分割.

关键词 图像分割, 表面粗糙度, 干涉测量术.

1 引 言

表面粗糙度干涉测量法是用光波波长为基准的干涉显微镜绝对测量表面粗糙度的方法. 人工测量读取条纹相当困难且误差大, 用自动图像处理系统可对干涉显微镜的干涉图像进行自动分析处理与检测, 提高了检测速度和干涉图像的判读分辨率^[1,2], 为超精加工产品和另件的检测提供了重要手段.

二值化处理是把干涉图像按一定的阈值分割成黑、白干涉条纹两个领域. 有各种阈值选择的方法^[3], 在文献^[2]中, 作者通过把整个激光干涉图像分成多个包括有亮(白)、暗(黑)两种条纹的小区域, 并用双峰(two-mode)算法成功的对激光干涉图像进行了分割. 对于白光干涉图像, 由于表面粗糙度的影响, 有时也会呈现双峰灰度分布直方图, 因此双峰二值化分割算法也适用于白光干涉图像. 此外, 作者经过试验发现最大方差(maximum variance)算法和差分直方图(difference histogram)也适合两种干涉图像的分割. 但以上几种分割方法都有它们的局限性, 不是对所有的被测表面都适用. 因此根据光学干涉理论中光强分布和干涉法测量表面粗糙度的原理, 作者提出了更加简洁、直观、合理和精确的算术平均分割算法.

2 算术平均阈值分割算法

根据等厚干涉原理, 两束相干光在干涉场上的光强分布为

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos(2\pi \Delta/\lambda) \quad (1)$$

式中 I_1 和 I_2 分别为两相干光强、 Δ 为光程差、 λ 为光波波长. 从(1)式中可看出对任一粗糙表面其单波长的激光干涉图像如图 1(a)所示, 在垂直于干涉条纹的任何一个截面上的光强分布

均为正弦波形如图 1(b)所示, 由于受到表面粗糙度的影响各个截面的正弦光强分布图形并不重合, 而是相差一定的位相, 其大小就反映了被测表面在该位置的微观不平度高度偏差, 整顿图像的灰度分布的直方图基本是均匀分布如图 1(c)所示. 而对任一粗糙表面其多波长的白光干涉图像如图 2(a)所示, 条纹的可见度随光程差 Δ 的增大而下降, 因此画面上清晰可见的条纹是有限的. 在垂直于干涉条纹的任何一个截面上的光强分布均为幅值由中间向两侧逐渐减小的波浪形如图 2(b)所示, 由于受到表面粗糙度的影响各个截面的光强分布图形也不会重合, 相差一定的位相, 位相差的大小也反映了被测表面在该位置的微观不平度高度偏差, 整顿图像的灰度分布的直方图基本是单峰分布, 如图 2(c)所示. 由于干涉法测量表面粗糙度的原理不仅仅是等厚干涉测量, 还有干涉法绝对测量表面粗糙度的测量基准问题, 这个测量基准就是任意相邻两条干涉条纹的间距是二分之一光波波长 ($\lambda/2$), 每次测量都要标定一下单位像素坐标代表多少分之一波长. 由这两种分割表面分割后得到的二值化干涉条纹, 或是任意相邻两条条纹中心线间距不等于 $\lambda/2$, 或是任意两条条纹中心线不平行. 反映在被测表面的粗糙轮廓线(即干涉条纹边界线)上的任意相邻两条粗糙轮廓的最小二乘法中线, 或是不等于 $\lambda/2$, 或是不相互平行.

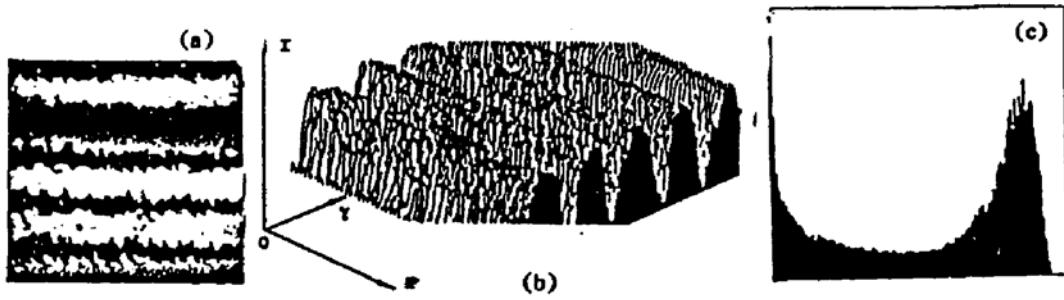


Fig. 1

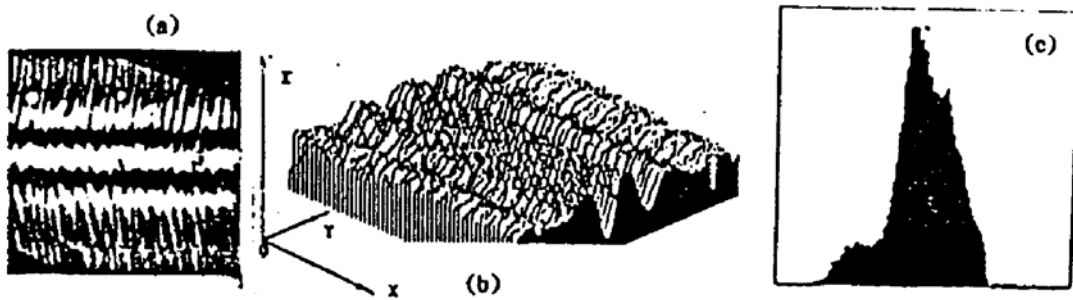


Fig. 2

对于理想的几何平面表面, 其激光干涉图像的分割平面可选在除正弦波曲面上下幅值之外其间的任何一个平面, 即分割阈值可选直方图中 G_1 和 G_2 之间的任何一个值如图 3 所示. 而对于理想的几何平面表面, 其白光干涉图像的分割平面也可选在围绕 I_0 值一定范围的任何一个平面, 但是清晰可见的二值化干涉条纹只有二、三条, 若只选择 I_0 值处的平面为分割平面, 即分割阈值选在直方图中 G_0 值如图 4 所示, 则有 $m = \lambda/\Delta\lambda$ 条清晰可见的二值化干涉条纹. 若设 I_{\max} 为光强分布的最大值、 I_{\min} 为光强分布的最小值, 则分割平面的光强值为

$$I_0 = (I_{\max} + I_{\min})/2 \quad (2)$$

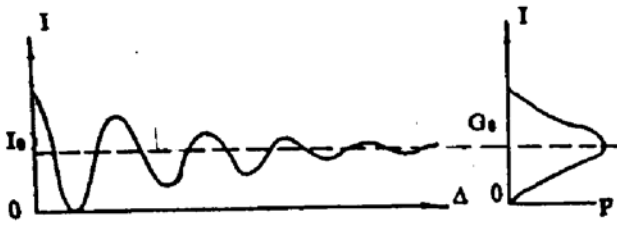


Fig. 3



Fig. 4

在灰度分布直方图中, 若设 G_{\max} 为灰度的最大值、 G_{\min} 为灰度的最小值, 则灰度分割阈值为

$$G_0 = (G_{\max} + G_{\min})/2 \quad (3)$$

称 G_0 为算术平均分割阈值. 事实上, 双峰二值化分割阈值 G_1 也相当于对应光强值为 I_1 的分割平面. 其他阈值分割算法也一样.

3 二值分割试验及表面粗糙度测试结果

选择四块典型的粗糙表面试件, 1# 为方形沟槽标准多刻样板, 2# 为三角沟槽的标准单刻样板, 3# 为一块研磨比较样板. 4# 为研磨随机轮廓样板. 几块样板用不同二值分算法进行的干涉自动测量与 TALYSURF 6 型表面粗糙度测量仪测量的对比结果如表 1 所列, 其中, R_a 为轮廓高度的算术平均偏差, R_y 为轮廓高度偏差的最大值. 这里几块试件的白光干涉图像用算术平均分割阈值 G_0 分割得到的被测表面轮廓曲线与 TALYSURF 6 型表面粗糙度测量仪记录的图形如图 5~图 8 所示.

Table 1.

Measuring Method	Terms	Measuring results of roughness specimens (μm)			
		1#	2#	3#	4#
TALYSURF 6 measuring instrument	R_a	0.086	—	0.015	0.014
	R_y	0.22	0.085	0.110	0.158
Interferometry Two-mode-segment	R_a	0.080	0.012	0.015	—
	R_y	0.434	0.087	0.312	—
Interferometry $G_0 = (G_{\max} + G_{\min})/2$	R_a	0.087	0.012	0.015	0.015
	R_y	0.490	0.089	0.272	0.101
Interferometry $G_1 = (G_{\max} + G_{\min})/2.5$	R_a	—	0.012	0.016	—
	R_y	—	0.087	0.297	—
Interferometry $G_2 = (G_{\max} + G_{\min})/1.5$	R_a	0.073	—	—	0.016
	R_y	0.348	—	—	0.256

从表 1 中几种典型粗糙表面的测试结果可看出, 用所列出的几种二值分割算法对表面粗糙度的自动干涉测量都是可行的. 而其中的算术平均分割 $G_0 = (G_{\max} + G_{\min})/2$ 最具有普遍实用性, 而且算法简单、原理合理, 用该算法分割图像再萃取出的被测粗糙表面轮廓曲线及计算

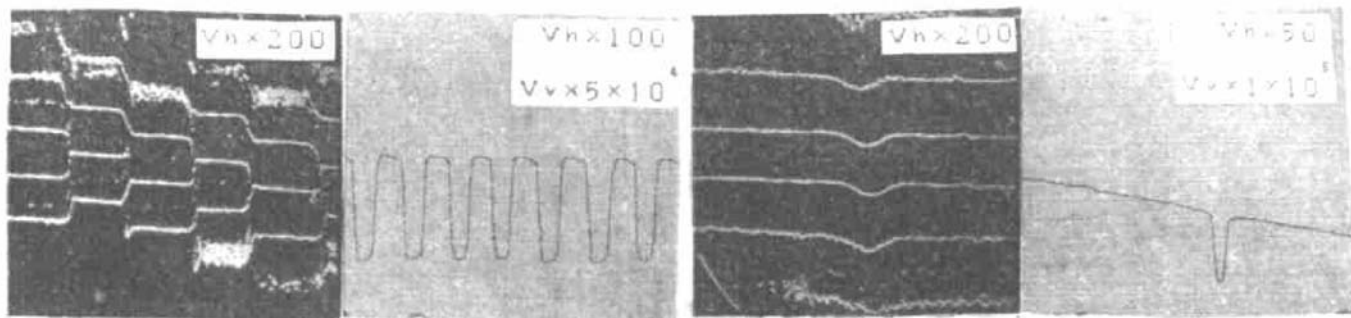


Fig. 5

Fig. 6

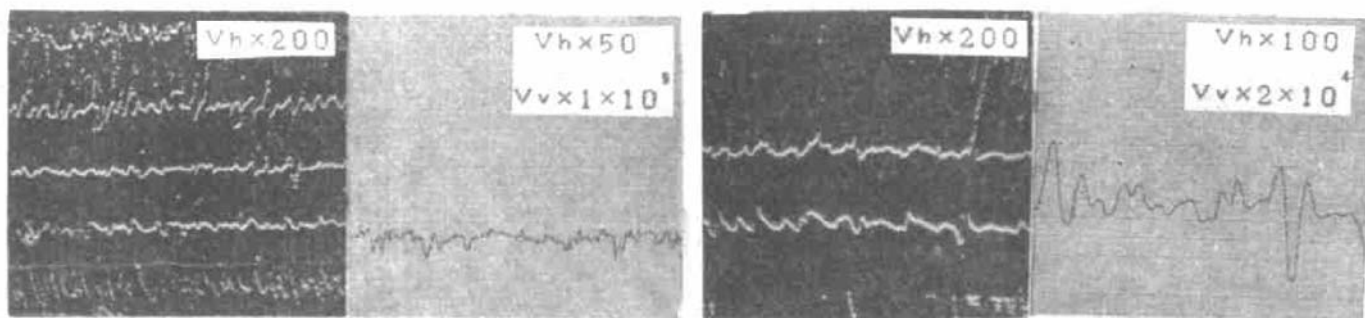


Fig. 7

Fig. 8

出的粗糙度参数值最为准确. 表 1 中算术平均分割对四块被测表面都实用, 其他几种分割或对其中的一块不实用或对其中的两块不实用.

参 考 文 献

- [1] K. N. Prettyjohns, Charge-couple device image acquisition for digital phase measurement interferometry. *Opt. Eng.*, 1984, 23(4): 371
- [2] 陈晓梅、龙祖洪, 干涉显微镜测量表面粗糙度条纹的自动处理. *光学学报*, 1993, 13(11): 1040~1044
- [3] 王积分, 张新荣, 计算机图象识别. 中国铁道出版社, 北京 1988
- [4] 梁铨延, 物理光学. 北京, 机械工业出版社, 1981

Threshold Optimization of Interference Image of Surface Roughness Measuring Interferometer

Chen Xiaomei

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095)

(Received 8 July 1993; revised 21 November 1993)

Abstract In this paper, a brief and effective method—arithmetic mean thresholding is suggested for segmenting interference image of complex light interferometer used in automatic measurement of surface roughness. The roughness profile information extracted from binary image after thresholding and calculated results of by sampling enough height deviation data from roughness profile coincide with those charted and measured by TALYSURF 6 profilometer. This thresholding method are also suitable for segmenting interference image of laser surface roughness interferometer.

Key words image segmentation, surface roughness, interferometry.