

ESPI 条纹图像细化处理的研究

Research on Thinning Processing of ESPI Stripe-Image

杨 勇 孙爽滋 侯增杰

(长春理工大学计算机系 长春130022)

Abstract Technology of dispersed focus interference is a new branch of modern light measurement development. ESPI stripe image can be adopted to represent the stress fields of some industry manufacture process. Through image thinning, skeletons extracting and measuring the variance of stress field, we can monitor the industry manufacture process. Based on above-mentioned background, this article discusses the basic idea of thinning processing of ESPI stripe image and algorithms concerning noise elimination, binary processing and image thinning processing. Having been fully tested by experiments and measurements, the algorithm has proved to be fast, anti-noise-strong and effective in extracting the ideal skeletons to most images.

Keywords Image processing, ESPI, Noise elimination, Binary processing, Thinning

1 引言

散斑干涉测量技术是六十年代末发展起来的一种光学测试技术,具有非接触、测量精度高、对环境的防震要求低、可在明光下操作、能进行全场测量等特点,因而广泛地应用于光学粗糙表面的变形测量和无损检测。

在某些工业生产过程中,由于存在多种应力,使工件变形,降低了生产精度。通过对生产过程中所产生的散斑干涉条纹图像进行采集、处理,提取其骨架线,可表征生产过程中的动态位移场的变化,从而可控制生产过程,降低工件的变形程度,提高精度。

本文在对散斑干涉条纹图像特征进行分析的基础上,提出了系统的总体设计思想,通过对图像进行灰度变换、灰度均衡、去噪、二值化等一系列处理后,利用细化处理提取出其骨架线。

2 总体设计

通过对散斑干涉条纹图像及其直方图(如图1)进行分析,可得以下结论:散斑干涉条纹图像光强较小,图像较暗,对比度差;散斑图像中存在着大量的随机噪声,表现为条纹亮带中有暗点,暗带中有亮点,亮带和暗带中没有明显的边界;由于在某一小区内,灰度值变化很陡且频繁,没有前景与背景之分。

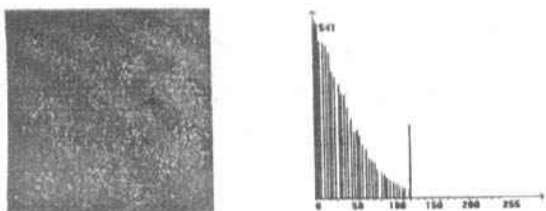


图1 ESPI 条纹图像及其直方图

由以上分析可知,ESPI 条纹图像中包含着大量随机噪声,正是由于存在这些噪声,极大地降低了条纹对比度,给计算机实现散斑图像的自动判读带来了很大的困难。因此,需要对条纹图像进行预处理,图像分割和骨架提取等操作。系统设计了如下图的处理流程。

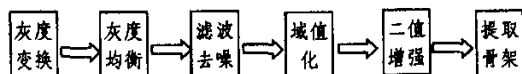


图2 ESPI 条纹图像处理流程

其中经过了灰度变换、灰度均衡、滤波去噪三步图像预处理,再经过域值化、二值增强两步域值分割处理,最后提取 ESPI 条纹图像的骨架线。滤波去噪是图像增强的关键,由于高斯平均滤波法对于滤除白噪声有较好的效果,故使用该方法去噪。为了能够自动处理图像,使用改进的最大方差阈值法,能够有效地处理该问题。域值化后的图像会存在大量的噪声孔和噪声块,并且失去了图像的连通性,为了能够提取条纹的骨架线,可采用形态学去噪方法。最后使用二步细化算法提取骨架线。

3. ESPI 条纹图像的预处理

3.1 灰度变换

散斑干涉图像的特征之一是对比度差。由数字图像处理的知识可知,增强图像的对比度可以通过调整图像的整体灰度分布来实现,而图像的灰度分布范围可以用灰度分布直方图来描述。

通过对散斑图原始图像的灰度直方图分布可知,原始散斑图像的灰度分布在灰度值较小的部分,灰度分布区间较小,没有占用整个灰度级空间(256级),因此对比度不好,可以通过灰度变换来增强图像的对比度。下式描述了灰度变换的基本原理:

$$g(x,y)=\begin{cases} \frac{255}{m_0}f(x,y) & f(x,y)<m_0 \\ 255 & f(x,y)>m_0 \end{cases}$$

其中: $f(x,y)$ 为原始图像的灰度值, $g(x,y)$ 为灰度变换后的灰度值。

灰度变换是逐点对原始图像的灰度分布进行修正, 其中 m_0 是选定的阈值。经过上式处理后, 灰度分布区间由原来的 $[0, m_0]$ 扩展到 $[0, 255]$, 对于原灰度大于 m_0 的灰度值直接赋为 255。 m_0 的选定可以由分析原图像的灰度分布图人工或自动选定。

3.2 灰度均衡

散斑干涉条纹图像经灰度变换后图像的灰度分布仍不均匀, 需要通过直方图均衡化处理来进一步增强图像的对比度。直方图均衡化处理是将图像的某些灰度级进行合并, 以使得处理后的各灰度级的频数基本相等, 从而改善图像质量。离散图像直方图均衡化的计算过程是将原始图像规格化, 即将灰度值除以 255, 使得灰度 r 满足 $0 < r < 1$, 当 $r=0$ 时对应黑色; 当 $r=1$ 时对应白色。

设一幅图像像素总数为 N , 分为 L 个灰度级。 N_k 表示第 k 级灰度即 R_k 出现的频数, 第 k 级灰度出现的频率为 $P_k(R_k) = N_k/N$, S_k 为变换后的灰度级, S_k 由下式获得:

$$S_k = T(R_k) = \sum_{j=0}^k P_k(R_j) = \sum_{j=0}^k \frac{N_j}{N}$$

由上式计算出相同的灰度级可以合并, 从而减少了灰度级的个数。经过上述图像增强处理, 原来对比度较差的散斑条纹图像处理后得到了较理想的对比度效果, 为后续的滤波去噪处理作好了准备。

3.3 滤除噪声

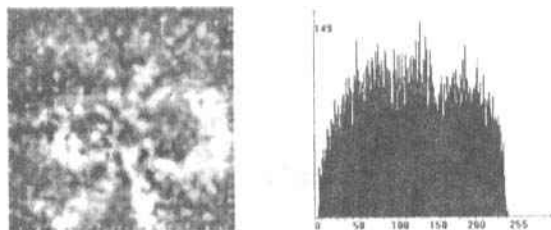


图3 高斯平均滤波处理后的图像及其灰度直方图

本节根据 ESPI 条纹图像的特性, 提出了高斯平均滤波法。其思想是: 一般情况下, 直方图的不规则可以认为是由白噪声引起的。因为高斯函数能较好地滤除白噪声, 所以先采用一个 7×7 的高斯模板对 ESPI 条纹图进行滤波。然后将 $P \times Q$ 的图像分成 $K_M \times K_N$ 个大小为 $M \times N$ 的子图像。对以 (x, y) 为左上角坐标的子图像, 根据下面的数组 $(x_0, y_0) = (1, 1)(1, 0)(0, 1)(2, 1)(1, 2)$ 确定高斯窗模板的位置, 对条纹图像进行一遍复合区域滤波, 这样的运算遍及整幅图像后, 改变 (x_0, y_0) 的值, 再计算一遍, 当取

完上式中的五个点后, 即完成了复合区域滤波。最后对图像进行两遍 3×3 的均值滤波处理, 就可以得到一幅灰度分布比较光滑的条纹图像。高斯平均滤波处理散斑图像有较好的效果, 而且其运算速度比频域滤波法要快得多。经高斯平均滤波处理后的图像及其直方图如图3所示。

4. ESPI 条纹图像的二值化处理

4.1 改进的最大方差阈值法

ESPI 条纹图像信噪比过低, 其白带中夹杂着大量的黑点, 黑带中夹杂着大量白点, 而带与带相邻处情况更加复杂。这些严重地影响了对条纹的分析处理, 故在进行阈值分割时, 如何尽最大可能去保留有用的图像信息, 滤除噪声信息是非常关键的一步工作。本文从全局出发, 使用改进最大方差阈值法, 该方法对灰度直方图有或无明显双峰的无噪灰度图像均能得到较满意的二值化结果, 是一种较有效的二值化方法。

可是该域值法抗噪性能非常差, 无法满足基于测量焊接动态位移场的散斑干涉条纹图的提取。其原因是该算法对图像的每个点进行计算, 忽略了区域信息, 本文针对这个缺点, 用区域点密度来代替独立点灰度值, 对该方法进行了改进。

4.2 二值增强处理

如上所述, 由于 ESPI 条纹图像的信噪比过低, 无法彻底滤掉全部噪声, 致使经过域值分割后的二值图像有噪声孔和噪声块存在。而图像的骨架线对噪声特别敏感, 为了更好地提取骨架线, 本文对二值图像采用了二值形态学去噪。

二值形态学中的运算对象是集合, 但实际运算中, 一般设 A 为图像集合, B 为结构元素, 数学形态学运算是用 B 对 A 进行操作。二值形态学如灰度形态学一样有四种基本运算: 膨胀、腐蚀、开启和闭合。将开启和闭合结合起来可构成形态学噪声滤除器, 在整个过程中使用先开启后闭合的操作, 可以除去比结构元素小的特定图像细节, 同时保证不产生全局的几何失真。开启运算可以把比结构元素小的突刺滤掉, 而闭合运算则切断细长搭连而起到连通作用。

5. ESPI 条纹图的骨架线提取

求图像骨架的过程通常称为对图像的“细化”的过程。条纹细化过程的定义为: 一个连续剥离形体最外层元素直到获得单位宽度的连通线(骨架)的过程。因此, 细化算法就是重复剥离二值图像的边界元素。但是剥离边界元素的时候必须保持目标的连通性。

对某一像素点及其8邻域像素可能存在的各种

情况分析,像素可被作为删除点的所有情况如图4所示。

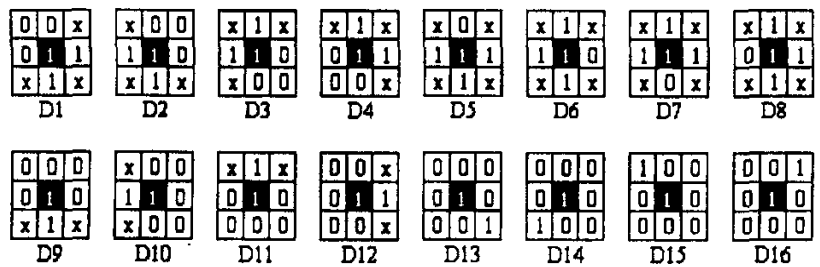


图4 像素可被删除情况

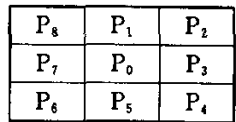


图5 P₀的8-邻接点

对上图中的各情况进行分析,可归纳出用于判断删除点的两条规则 T₁、T₂。本文采用了基于规则 T₁、T₂的二步细化算法,成功地提取了条纹的骨架线。这种算法重复执行两个步骤。第一步:扫描整幅图像,用逻辑规则 T₁处理 3×3 邻域内的像素,把要去掉的元素做上标记,但是不去掉。第二步:用另外的逻辑规则 T₂处理 N(P₀)窗口内的像素,把需要去掉的元素打上标记。扫描完整幅图像后,去掉做了标记的元素,重复一、二步的过程,直到得到单位宽度的线条为止。令 N(P₀)为 3×3 窗口内目标像素的个数;T(P₀)表示序列 P₁ P₂ P₃ P₄ P₅ P₆ P₇ P₈ P₁中 0→1 变化的次数。两次迭代中用到的逻辑规则 T₁和 T₂形式为:

$$T_1: (2 \leq N(P_0) \leq 6) \& \& (T(P_0) = 1) \& \& (P_1 \cdot P_3 \cdot P_5 = 0) \& \& (P_3 \cdot P_5 \cdot P_7 = 0)$$

$$T_2: (2 \leq N(P_0) \leq 6) \& \& (T(P_0) = 1) \& \& (P_1 \cdot P_3 \cdot P_7 = 0) \& \& (P_1 \cdot P_5 \cdot P_7 = 0)$$

其中的 P₁·P₃·P₅ 为相应像素的逻辑乘。第一个条件 (2≤N(P₀)≤6)表示中心的领域窗口内至少有2个到6个八连通相邻像素,就可以被去掉。当 N(P₀)<2 或 N(P₀)>6时,表示其为端点或内部点,不能删除;第二个条件 T(P₀)=1检查像素 P₀的周围是否只有一个连通成分;第三、四个条件 (P₁·P₃·P₅=0)和 (P₃·P₅·P₇=0),用于判断 P₀位于边界,若是则可以被删

除。
对条纹进行细化处理后就要进行条纹的修整,去除前面处理中产生的桥连、分杈等缺陷,这样就可以很好地得到条纹的骨架线(如图6)。

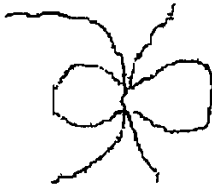


图6 细化处理后的条纹图

总结 文中所述方法已在 Windows98系统下,利用 VC 编程实现。并对工业焊接过程中所得 ESPI 条纹图像进行了处理,经过大量的实验证明,该方法具有速度快,抗噪能力强,对大多数的条纹图像都能有效地细化,可广泛应用于工业生产中。

参考文献

- 1 Muramatsu Y. Application of the Laser Speckle Method to Strain Measurement in the Welding Process. Quarterly Journal of the Japan Welding Society, 1992,10(1):125~131
- 2 Gong XL, Toyooka S. Investigation on Mechanism of Plastic Deformation by Digital Speckle Pattern Interferometry. Experimental Mechanics, 1999 (3):25~29
- 3 Kerr D, Tyer J. Use of High Resolution Real-time Image Processing Techniques in Generation and Analysis of ESPI Fringe Pattern. Optics and Lasers Engen, 1988 (8):109~118
- 4 章毓晋. 图像处理和分析. 北京:清华大学出版社,1999
- 5 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用. 北京:科学出版社,2000