

数字散斑相关技术中散斑颗粒 尺寸大小对测量精度影响的研究

吴加权, 马琨, 李燕

(昆明理工大学理学院, 云南昆明 650093)

摘要: 通过选取不同颗粒尺寸大小的散斑场针对不同距离, 不同位移情况下进行了实验研究比较, 给出了散斑颗粒尺寸大小对测量精度的影响, 并以实验结果的相对误差为依据, 为将数字散斑相关测试技术实际用于大型建筑工程安全检测时散斑场的人工制作提供一个可靠的实验参考依据。

关键词: 数字散斑; 散斑颗粒; 精度

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)05-0121-04

The Influence of the Speckle Size in the Digital Speckle Correlation Technique on Measure Precision

WU Jia-quan, MA Kun, LI Yan

(Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract Different sizes of speckles under the conditions of different distances and displacements are investigated in this paper. The influence of the speckle size on measure precision is analyzed. Based on the relative errors of the experiments results, this paper comes up with a reliable reference framework for the future application of DSCM measurement in preparing speckle field in the safety detection of large construction projects.

Key words digital speckle; speckle size; precision

0 引言

数字散斑相关方法 (Digital Speckle Correlation Method) 是在 20 世纪 80 年代由 YAMAGUCHI I W. H. PETERS 和 W. F. RANSON 等同时独立提出的用于物体面内测量的一种非接触式光学测量方法^[1]。由于数字散斑相关方法直接提取物体表面随机分布的自然或人工散斑场中的变形信息, 因此, 数字散斑测量技术已经发展成为一种灵敏度高、对测量环境要求低、数据处理自动化、适用范围广的非接触、全场测量的有效手段, 成为现代光测力学中的一个重要组成部分。应用散斑测量技术已经成功地对物体的变形、振动以及断裂等静动态力学问题和流场、热传导等问题进行了有效的测量, 甚至在以往较难处理的特殊条件 (如高温、水下、强磁场等) 下的力学测量问题也获得了较为满意的结果^[2]。

随着光电子技术、信息技术、数字图像处理技术的不断发展, 数字散斑相关方法也在向前快速发展^[3,4], 如何提高相关识别的精度是它研究的一个重要方面。国内外对提高数字散斑测试精度的研究重点更多是集中于相关搜索方法的改进^[5,6], 而对数字散斑测试技术用于实际力学测试之中, 散斑场颗粒大小的选取, 目前还没有一个系统的比较和认可。散斑颗粒尺寸太小可能会被漏识, 尺寸太大可能被误识, 从而降低测量精度。如何在不同图像采集距离下选取适当尺寸散斑颗粒来制作散斑场, 提高测量精度是一个值得研究的实际问题。本文拟就将数字散斑用于大型建筑宏观位移与变形检测时, 特别是在桥梁的安全检测

收稿日期: 2005-09-26 基金项目: 校青年启动基金 (项目编号: 2006-25)。

第一作者简介: 吴加权 (1976~), 男, 在读研究生。主要研究方向: 数字散斑测试技术。E-mail: wjrlhy@sina.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中,如何选取散斑颗粒尺寸制作人工散斑场进行大量实验研究比较,为不同距离、不同位移和不同应变情况下散斑颗粒尺寸大小的选取提供一个可靠的实验参考依据。

1 相关理论

数字散斑相关方法的基本思想是:对物体变形前后采集到的两幅图像(散斑场)进行相关处理。在一空间坐标系 XYZ 中,被测物体上一点 P 的坐标为 x, y, z , 而变形后的坐标为 x', y', z' , 其关系可以写作 $x' = x + u, y' = y + v, z' = z + w$, u, v, w 为位移分量。在实际测量中,以平面方式记录散斑场。在变形前物体表面的灰度场为 $P(x, y)$, 在变形后物体表面的灰度场为 $P(x + u, y + v)$, 现在问题变成考虑两个灰度场的相关来测量 u 和 v 。将变形测量问题转化为一个相关搜索和相关识别的数值计算过程,以实现物体变形场的测量。

常用相关公式为:

$$C(u, v, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}) = \frac{\sum [F(x, y) \cdot G(x^*, y^*)]}{[\sum (F(x, y)^2) \cdot \sum (G(x^*, y^*)^2)]^{\frac{1}{2}}} = \frac{F \cdot G}{[F^2 \cdot G^2]^{\frac{1}{2}}}$$

式中 C 为相关系数, $F(x, y)$ 是变形前图像灰度函数, $G(x^*, y^*)$ 是变形后图像灰度函数。该公式表示在变形前后的图像上,各取大小为 $m \times m$ 的子区域,计算相关系数 C ,通过试凑位移法在变形后的图像上移动子区域,使 C 取得最大值的 u, v , 便可得到物体表面的像素位移值。由于物体表面任意一点变形测量的相关搜索是基于物体上该点周围一子区域中的散斑分布来完成的,散斑场中的斑点记录了物体的变形信息。因此,散斑颗粒尺寸的大小直接影响着测量的精度,尺寸太大,子区域中不同的点可能具有相同的灰度值信息而造成误识影响到测量的精度;尺寸太小又可能不易被处理软件所识别而造成漏识,同样影响到测量的准确度以及精度。

图像数据采集

本实验数据采集系统由两部分组成:软件部分(DSCM处理系统)和硬件部分。其中硬件部分由 Water WAT-902型 CCD配 5~33 mm F16镜头和雅美森公司 MPEG-TV 炫影 200 视频图像采集卡,图像采集最大分辨率 $768 \times 576 \times 24 \text{ bit}$ 获得 768×576 像素点的真彩色图像,实际上是 256 级灰度图像,高速计算机处理系统,带千分尺精密微调架、不同型号砂纸,实验装置如图 1 所示。

为了提高实验测量的精度以及可靠性,实验采用将研究的不同型号砂纸贴于精密可调平台的同一平面内构成散斑场,自然光作为照射光源。之所以选用砂纸作为研究对象是由于在进行相关运算时,要求斑点在变形前后一一对应,否则变形前后子集就不会完全相关,砂纸反光性

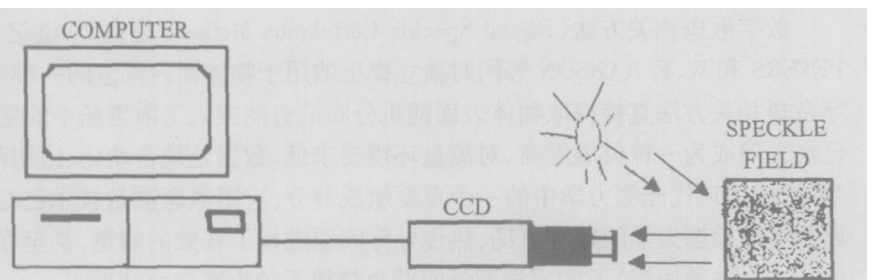


图1 DSCM实验装置图

Fig.1 DSCM image of experimental setting

较好,散斑颗粒分布均匀,肉眼观察明显,物体变形时它只随基点平动或转动,可以保证反射光强基本不变,形成高质量散斑场。在移动微调平台前采集一幅散斑场图像,移动微调架的可动平台使散斑场产生一平移,得到第二幅散斑场,以模拟物体变形场。将两幅散斑场图像输入 DSCM 处理软件进行相关运算便可得到移动的位移量。图 2 是在拍摄距离为 20 cm 自然光照下实验所采集到的一幅散斑图,图中 (a)、(b)、(c)、(d) 分别为粒径 $471 \mu\text{m}$ 、 $300 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$ 、 $125 \mu\text{m}$ 四种不同型号的砂纸。

3 实验系统精度分析

为了验证 DSCM 数字相关方法软件的正确性, 分析该方法的精度以及可行性做如下实验.

3.1 图像平移实验

用作图软件将图 2 在水平方向平移 8 个像素作为变形后的图像, 对二幅图像做相关运算, 其计算结果精确地等于给定值, 相关系数精确地为 1. 由此可见该计算软件的精度是十分高的, 所产生的误差大都由外界因素所产生.

3.2 绝对无位移实验

将图 2 先后读入 DSCM 测试软件, 设定子计算区域为 51×51 像素进行相关运算, 计算结果位移全为 0 相关系数为 1.

3.3 无位移实验

为了验证由于外界干扰, 包括光源、CCD 热噪声等所带来的影响, 对同一散斑场拍摄多幅散斑图对这些图像进行相关运算. 理论上位移及位移导数应为 0 但由于系统误差及热噪声使散斑场表面信号有所变化而使得结果不为 0 测试结果显示位移误差在 $0.001 \sim 0.01$ 像素左右, 该结果给出了测试软件的测量精度在 0.01 像素以上.

4 不同距离砂纸平移测试

在精密微调架上贴粒径为 $471 \mu\text{m}$ 、 $300 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$ 、 $125 \mu\text{m}$ 四种不同型号砂纸, 对应砂纸颗粒尺寸由大到小. 图像采集距离在 5 cm、10 cm、20 cm 下移动微调架千分尺刻度旋钮使可动平台在水平方向上作 $0.05 \sim 0.5$ mm 平移实验. 采集相应散斑图作相关运算, 图像大小为 512×512 像素, 子区域尺寸为 51×51 像素. 依据散斑场所置刻度尺读数得出散斑场与图像之间放大倍数, 将运算结果转换为长度与千分尺读数进行标定, 得出实验相对误差, 作出误差曲线图 (图 3).

5 实验数据分析

5.1 拍摄距离为 5 cm 的散斑场

在拍摄距离较近时, 从整个位移平移过程的相对误差曲线图 3(a) 中可以直观地看到由 $125 \mu\text{m}$ 砂纸构成的散斑场, 其相对误差随位移平移量增加而减小. 当位移小于 0.05 mm 时, 对应的相对实验误差较大, 其测量精度比较低. 当位移为 0.05 mm 时其相对误差为 9.8% , 绝对偏差依据放大倍数换算成长度为 0.004 mm. 当平移位移为 0.5 mm 时其相对误差为 0.46% , 经同上放大倍数的换算, 其偏差为 0.002 mm. 而对于 471

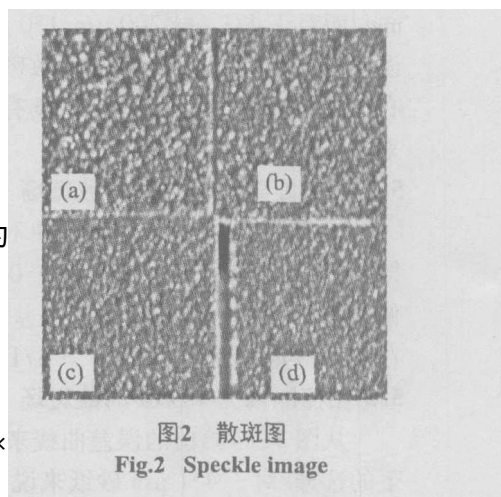
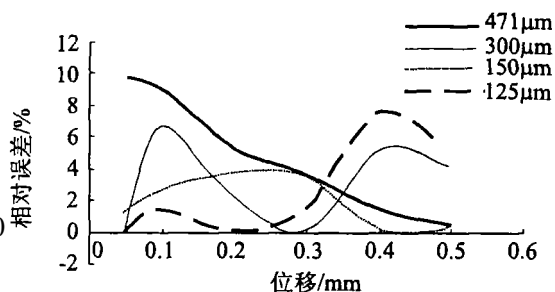
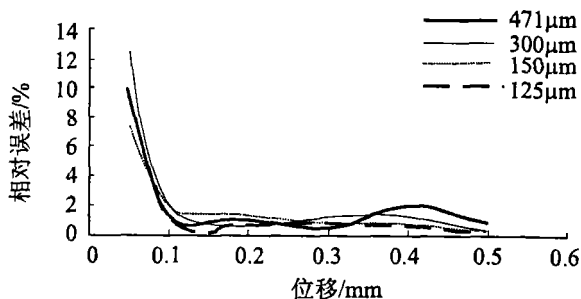


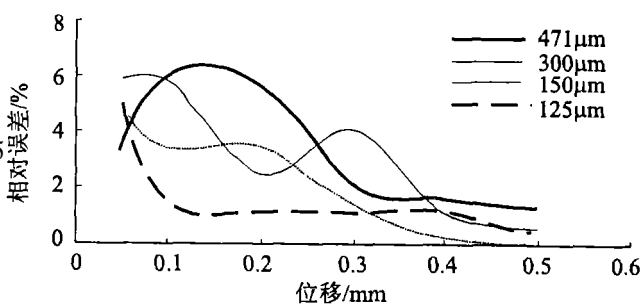
图2 散斑图
Fig.2 Speckle image



(a) 距离为5cm不同型号砂纸的相对误差曲线



(b) 距离为10cm不同型号砂纸的相对误差曲线



(c) 距离为20cm不同型号砂纸的相对误差曲线

图3 相对误差曲线

Fig.3 Relative errors curve

μm 、 $300\ \mu\text{m}$ 、 $150\ \mu\text{m}$ 较大砂纸颗粒尺寸构成的散斑场而言,从单个位移测点来看,其相对误差在有的位置小于 $125\ \mu\text{m}$ 散斑场,但从整个过平移过程来说,实验测得数据相对误差波动性较大,不具有一定的规律,其测试精度不具有可靠性.在这种情况下,我们认为实际测量时选取 $125\ \mu\text{m}$ 砂纸颗粒尺寸来制作散斑场是可取的.

5 拍摄距离为 10 cm 的散斑场

从图 3(b)中可以看到四种不同型号砂纸误差趋势基本一致,且对于每一个测点来说其误差也基本保持了一致性.特别是在位移大于 $0.1\ \text{mm}$ 时其相对误差均在 2% 以下,依据放大倍数转换为长度其基本偏差为 $0.001\ \text{mm}$ 以下,这个误差可以保证所需测量精度.其中 $471\ \mu\text{m}$ 砂纸误差曲线变动相对更为平稳,在实际检测过程中,该条件下 $471\ \mu\text{m}$ 砂纸颗粒尺寸的散斑场应是首选.

5.3 拍摄距离为 0 cm 的散斑场

从图 3(c)给出的误差曲线来看,前三种砂纸形成的散斑场其测量数据整体跳变较大,不适于该情况下的选择.对于 $471\ \mu\text{m}$ 砂纸来说,在位移大于 $0.05\ \text{mm}$ 时,其误差变化相对平稳,其最大绝对偏差保持在 $0.001\ \text{mm}$ 以下.

6 结论

通过研究,针对实际大型建筑实际检测时,从上面三种不同位移、不同图像采集距离来看,在近距离采集散斑图进行相关运算测量时,小尺寸 $125\ \mu\text{m}$ 砂纸颗粒散斑场优势明显;在较远距离时,大颗粒尺寸 $471\ \mu\text{m}$ 砂纸构成的散斑场占有较强优势.在此,建议使用 $471\ \mu\text{m}$ 砂纸颗粒尺寸形成的散斑场,并且保持图像采集距离在 $5\sim 20\ \text{cm}$ 之间.上述拍摄距离为 $10\ \text{cm}$ 的散斑场为工程实际提供了一个很好的实验参考依据.笔者曾对小于 $5\ \text{cm}$ 和大于 $20\ \text{cm}$ 的距离进行了相应的实验,其实验数据处理结果皆不理想.当位移较大时,测量误差较小,测量精度较高.当位移小于 $0.05\ \text{mm}$ 时,对应的相对实验误差较大,其测量精度较低,宜采用别的方法进行处理,可以考虑给试件加装双摄像头放大成像系统以及改进 DSCM 处理系统.这一问题我们将在另一论文中加以讨论和分析.

参考文献:

- [1] 金观昌. 计算机辅助光学测量 [M]. 北京:清华大学出版社, 1997
- [2] 王翎. 混凝土支撑梁的无损检测与补强 [J]. 无损检测, 2003 25(4): 206-208
- [3] 马琨, 张文栓, 李行一, 等. 应用 CCD 在摄像系统实际分辨率的分析. 计算机应用研究 [M]. 重庆:西南交通大学出版社, 2003 384-385
- [4] 李行一, 马琨, 肖正杰. 物体表面位移场测定的数字图像处理方法 [J]. 计算机应用研究, 2003 386-388
- [5] Peng Zhou, Kenneth E. Goodson. Subpixel displacement and deformation gradient measurement using digital image/speckle correlation (DISC) [J]. Opt Eng, 2001 40(8): 1613-1620
- [6] 芮嘉白, 金观昌, 徐秉业. 一种新的数字散斑相关方法及其应用 [J]. 力学学报, 1994, 26(5): 599-606