

文章编号: 1001-4888(2014)06-711-08

基于时序变形预测的数字图像相关加速方法

席涛¹, 熊宸¹, 孔繁羽², 许峰¹, 缪泓^{1*}

(1. 中国科学技术大学 中科院材料力学行为和设计重点实验室, 安徽合肥 230027; 2. 四川农业大学 理学院, 四川雅安 625014)

摘要: 利用数字图像相关求解连续变形物体的位移场和应变场时,会遇到处理速度非常慢的问题,原因是相关算法计算量大且忽略了物体在时间轴上的变形规律。本文提出了一种基于变形预测的数字图像相关方法,该方法利用物体在时间轴上的变形规律,通过已经得到的变形值来预测后面时刻的变形初值。首先分析了物体在时间轴上的变形规律,然后结合实际应用对其进行修正,得到物体下一步变形的初值,最后通过 NR 方法(Newton-Raphson Method)得到物体的位移场和应变场。通过计算机模拟和金属试件拉伸实验并结合 GPU(Graphic Processing Unit)编程验证了该方法的有效性。计算机模拟和金属试件拉伸实验的计算结果表明,该方法能够在计算精度保持不变的情况下,使计算速度提高 4~7 倍。

关键词: 数字图像相关; 变形预测; 初值搜索

中图分类号: O34 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-13-146

0 引言

数字图像相关方法^[1,2](又称数字散斑相关方法)是在上世纪 80 年代初提出的,利用被测试件变形前后灰度的变化来测量其位移场和应变场的光学测量方法。

在数字图像相关的发展过程中,高精度和快速度一直是追求的目标。现在已经有许多亚像素算法,比如:灰度差值法^[3]、曲面拟合法^[4]、梯度法^[5]、梯度迭代法^[6]、牛顿拉普逊法(Newton-Raphson Method)^[7]、拟牛顿法(Quasi-Newton Method)^[8]、列文伯格-马夸尔特法(Lenvenberg-Marquardt Method)^[9]等,这些算法的计算精度从 0.005~0.1 像素不等^[10]。通常情况下,这已经能够满足实际情况对精度的要求。但是由于这些算法都是局部优化算法,因此必须提供适当的初值才能得到精确的解。而全局优化算法比如:遗传算法^[11]、粒子群算法^[12]等都需要巨大的计算量,使其很难达到快速度的要求。

在局部优化算法中,可以通过整像素搜索法^[13]、光流法^[14]等提供初值,也可以通过现在常用的种子点法^[15]来提供初值。但是这些方法要么计算量太大,要么是串行计算,很难达到快速的要求。特别是当要快速得到被测试件在一个时间段内的连续位移场和变形场时,对计算速度的要求则更高。

针对上述情况,本文提出了一种基于变形预测的方法——变形预测图像相关方法。该方法利用物体在连续变形过程中,相邻时刻的位移场和变形场的改变量相近的特征,通过上个时刻已经得到的位移场来预测试件当前位移场的初值,并通过测试点进行修正,从而得到可靠的变形初值,最后利用 NR 方法计算变形物体的位移场。该方法不仅能简单快速地找到变形初值而且适合并行运算,很大程度上提高了计算速度,为数字图像相关方法的实时性处理打下了基础。

本文首先介绍了数字图像相关方法的基本原理,接着介绍了基于变形预测的图像相关方法,并通过

* 收稿日期: 2013-09-28; 修订日期: 2014-01-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2012CB937500),国家自然科学基金项目(11372182,11472267)

通讯作者: 缪泓(1968—),男,教授,主要从事实验力学测试技术、数字图像分析等领域的研究。E-mail: miaohong@ustc.edu.cn

模拟散斑图旋转实验和实际试件拉伸实验验证了算法,最后对全文进行了总结。

1 数字图像相关方法基本原理

二维数字图像相关方法是通过匹配被测试件变形前后的灰度值而得到试件的位移场和变形场。在变形前的图像中,取以 (x, y) 为中心,大小为 $(2M+1) \times (2M+1)$ 像素的计算子区。在变形后的图像中通过一定的搜索方法,并按某一相关函数来进行相关计算,寻找与选定的图像子区相关系数为最大值或者最小值(取决于所选取的相关系数)的以 (x', y') 为中心的目标子区,以确定参考图像子区中心点的 x 和 y 方向的位移分量 u, v ^[10]。

由于变形后的图像子区不仅中心位置会发生变化,而且其形状也可能发生变化,因此,变形前后图像子区中对应点的坐标可以通过下面的一阶函数公式来描述:

$$x' = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y \quad (1)$$

$$y' = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y \quad (2)$$

其中 $(\Delta x, \Delta y)$ 是变形前模板内像素点离模板中心 (x, y) 的相对位置,相关系数一般用标准协方差互相关函数计算,公式如下:

$$c(u, v) = \frac{\sum_{x=-M}^{x=M} \sum_{y=-M}^{y=M} [f(x, y) - f_m][g(x', y') - g_m]}{\sqrt{\sum_{x=-M}^{x=M} \sum_{y=-M}^{y=M} [f(x, y) - f_m]^2 [g(x', y') - g_m]^2}} \quad (3)$$

其中 $f(x, y)$ 是变形前图中在 (x, y) 点的灰度值; $g(x', y')$ 是变形后图在 (x', y') 的灰度值; f_m, g_m 分别对应其灰度均值。

2 变形预测图像相关法的原理和步骤

2.1 原理

对于存在连续变形的被测试件,假设在时间 $T_0 \sim T_1$ 中拍摄了 $(n+1)$ 帧图 $I_0, I_1 \cdots I_n$,并设图 I_i 相对于图 I_0 的变形参数为 $\vec{m}_i = [u, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, v, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}]_i$,则根据试件变形在时间轴上的连续性,可以得到两幅图变形参数的递推公式:

$$\vec{m}'_i = \vec{m}_{i-1} + \alpha(\vec{m}_{i-1} - \vec{m}_{i-2}) \quad (4)$$

$$\vec{m}_i = \vec{m}'_i + \vec{\beta}_i \quad (5)$$

其中 $i=2, \cdots, n$, $\vec{m}_0 = [0, 0, 0, 0, 0, 0]$, $\vec{\beta}_i = [\Delta u, \Delta \frac{\partial u}{\partial x}, \Delta \frac{\partial u}{\partial y}, \Delta v, \Delta \frac{\partial v}{\partial x}, \Delta \frac{\partial v}{\partial y}]_i$ 为每次误差校正项。

公式(4)的含义是试件的图像序列 $I_0, I_1 \cdots I_n$ 在相邻时刻的变形趋势是相近的。公式(5)是针对不同的序列图,每次对变形参数分量修正,从而得到可靠的变形初值。在本文中取 $\alpha=1, \vec{\beta}_i = [\Delta u, 0, 0, \Delta v, 0, 0]_i$ 。

得到子区变形初值后,用NR方法计算物体的变形场,每幅图完成计算后,把不满足阈值条件的子区标记出来,通过可靠性导向的初值搜索方法计算其变形参数。从后面实验我们可以看到,不满足条件的子区非常少。

2.2 步骤

具体步骤如流程图1所示:

- 1) $i=1$,用NR方法计算 I_1 相对于 I_0 的变形参数 $\vec{m}_i$,其中种子点由遗传算法找出。
- 2) $i=i+1$,把 $\vec{m}_{i-1}$ 和 $\vec{m}_{i-2}$ 代入公式(4),计算第 i 幅图的变形参数 $\vec{m}'_i$ 。取 $\vec{m}_0 = [0, 0, 0, 0, 0, 0]$, $\alpha=1$ 。
- 3) 从图像 i 中找出一子区,利用公式(5)求修正量 $\vec{\beta}_i$ 的值,并用NR方法计算物体的位移场。

a)选择的子区在图像 $(i-1)$ 对应子区的相关系数必须大于给定阈值,这里取0.93;

b)对预测的 (u, v) 分量进行修正,把2)中得到的初值 $\vec{m}_i = [u, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, v, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}]_i$ 的变形范围扩展为 $[u - \Delta u_i, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, v - \Delta v_i, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}]_i \sim [u - \Delta u_i, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, v - \Delta v_i, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}]_i$,计算参数对应的相关系数,计算最大相关系数对应参数的第一分量和第三分量与 (u, v) 的差值,其为修正量 $\vec{\beta}_i$ 中 $(\Delta u, \Delta v)$ 的值。对于后面模拟散斑图旋转实验取 $\Delta u_i = \Delta u_h = 1$, $\Delta v_i = \Delta v_h = 1$;对于拉伸实验 $\Delta u_i = \Delta u_h = 2$, $\Delta v_i = \Delta v_h = 5$,其中 (u, v) 步长都为1。

c)变形初值确定以后,用NR方法求解位移场。

4)判断是否有子区相关系数小于阈值,如果有,标志为不满足条件的子区并进行第5)步,否则标志为满足条件的子区并跳到第6)步。这里阈值取为0.93。

5)对于4)中选出来的子区,用修正后的种子点法进行求解。

a)找出子区四邻域中最大相关系数,并且对其进行从大到小排列;

b)计算最大相关系数对应的不满足条件子区的变形参数,其初始变形值取最大相关系数对应的值,并对其进行标识。

c)更新不满足条件的子区,重复a)、b)过程,直到所有子区都计算完成。

6)判断 i 是否小于 n ,如果小于,重复2)~6);如果不小于,表明计算完成,退出程序。

从上面的分析可以知道,在计算每幅图变形参量过程中,主要是运用时间轴上的变形规律来提供初值。通过后面的实验可以看到,本文方法提供的初值基本上都能很好地满足NR方法对初值的要求。

3 模拟散斑图验证

为了验证算法,我们进行了模拟散斑图旋转实验和金属试件拉伸实验。对于每个实验,本文首先比较它们的计算用时,然后给出其精度分析。对于模拟散斑图,比较本文算法计算得到的位移场和理论位移场的差值。对于金属拉伸实验图,比较NR方法在遗传算法和本文预测算法提供的不同变形初值情况下,计算得到的位移场差。

在比较计算各个时刻位移场中, I_1 相对于 I_0 图的变形场用常规的NR算法计算,其中种子点用遗传算法求出。后面的 $I_2, I_3 \dots I_n$ 相对于 I_0 的变形用本文提出的时间轴种子点法求出。注意,如果 $I_2, I_3 \dots I_n$ 相对于 I_0 的变形初值不通过本文提出的方法而是通过一般的遗传算法求出,因为变形范围变大,算法的搜索空间也会相应增大,那么求种子点需要的时间会成倍增加。但是这里为了便于比较,我们不考虑因为搜索空间增大增加的计算量,即实际上得到的速度提升倍数其实要比文中得到的高。

3.1 模拟图的生成

为了验证提出的算法,先用模拟散斑图^[16]进行计算,模拟散斑图可以排除实际实验中操作引起的误差。模拟图大小为:504×501pixels,模拟图 $I_0, I_1 \dots I_9$ 分别是 I_0 绕中心旋转0°、10°...90°得到的图。其中模拟图 I_0, I_4, I_8 见图2。

3.2 用时对比

为了说明本文算法的速度优势,对比计算图像序列 $I_1, I_2 \dots I_9$ 相对于图像 I_0 的位移场所用时间。

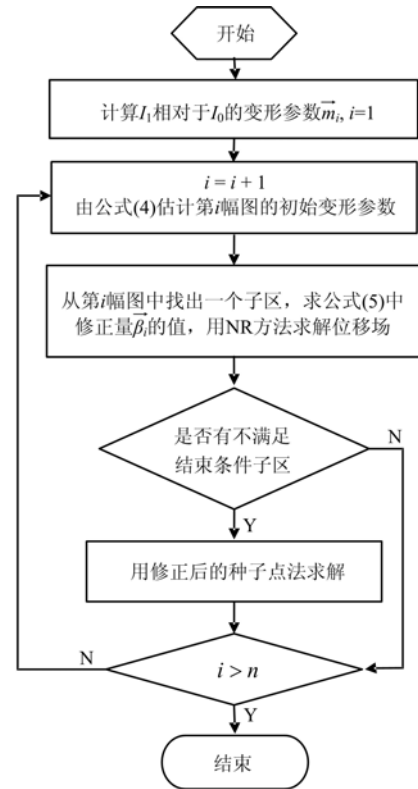


图1 变形预测图像相关法流程图

Fig. 1 The flowchart of deformation prediction DIC method

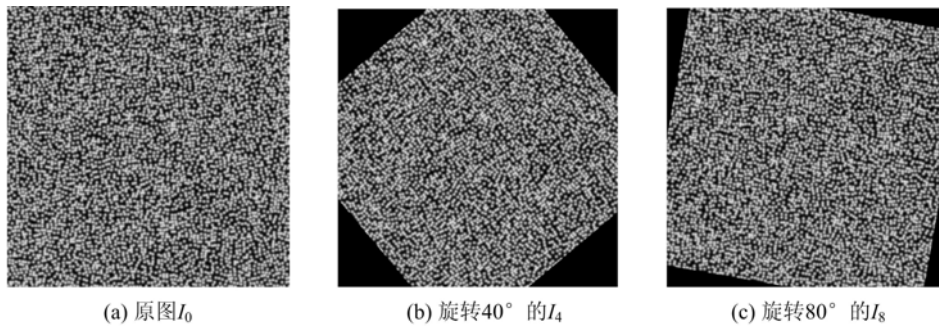


图 2 模拟的旋转散斑图

Fig. 2 The rotating image of simulated speckle pattern

其中感兴趣区域为 $(280, 280) \sim (380, 380)$, 划分网格大小为 5×5 pixels, 计算子区大小为 31×31 pixels。计算的 CPU 为 Intel Core i5 750、GPU 为 NVIDIA GeForce GTX 650 Ti, 计算时间见表 1。

表 1 模拟散斑图计算用时

Tab. 1 The computing time of simulated speckle image

旋转角度($^{\circ}$)	10	20	30	40	50
计算用时(ms)	16911	1326	1622	1669	1669
旋转角度($^{\circ}$)	60	70	80	90	
计算用时(ms)	1622	1544	1607	1716	

其中对于第一幅旋转图像(旋转 10°), 用遗传算法找种子点用时 10219ms, 在种子点找到后计算用时 6692ms。遗传算法种群大小 300, 种群范围下限为 $[-30, -0.3, -0.3, -30, -0.3, -0.3]$, 上限为 $[30, 0.3, 0.3, 30, 0.3, 0.3]$, 最大代数为 15, 交叉概率为 0.7, 每次保留精英数量为 2。从表 1 可以看到计算速度提高了 10 倍左右。

3.3 理论值的计算

在上面我们分析了变形预测图像相关法的速度优势, 下面将给出其精度方面的分析, 比较用该方法得到的位移场和理论位移场之间的差异。

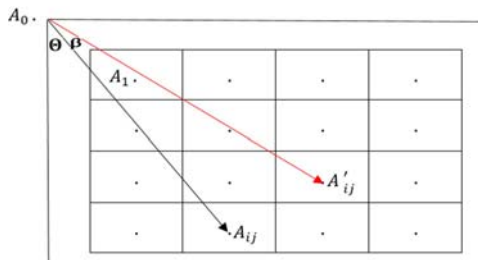


图 3 旋转图像位移场示意图

Fig. 3 The schematic diagram of the displacement field of the rotating image

如图 3 所示, A_0 为图像中心(也为旋转中心), 图像大小为 $(501, 504)$, 所以图形中心 A_0 为 $(250.5, 252)$; A_1 是计算子块的第一个子块中心, 坐标为 $(283, 283)$; A_{ij} 为子块中心, 每个子块间隔为 5, 因此其距离第一个子块的位置为 $5(i-1, j-1)$, 则 A_0 与 A_{ij} 的 (u, v) 方向值为:

$$u = 5(j-1) + (283 - 252) = 5j + 26 \quad (6)$$

$$v = 5(i-1) + (283 - 250.5) = 5j + 27.5 \quad (7)$$

距离 $\overrightarrow{A_0 A_{ij}}$ 为:

$$\overrightarrow{A_0 A_{ij}} = \sqrt{(5j + 26)^2 + (5j + 27.5)^2} \quad (8)$$

其旋转 β 角度后到 A'_{ij} , 这时坐标 (u', v') 分别为:

$$u' = \overrightarrow{A_0 A_{ij}} \sin(\theta + \beta) \quad (9)$$

$$v' = \overrightarrow{A_0 A_{ij}} \cos(\theta + \beta) \quad (10)$$

位移之差 $(\Delta u, \Delta v)$ 为:

$$\Delta u = u' - u = \overrightarrow{A_0 A_{ij}} \sin(\theta + \beta - (5j + 26)) \quad (11)$$

$$\Delta v = v' - v = \overrightarrow{A_0 A_{ij}} \cos(\theta + \beta - (5i + 27.5)) \quad (12)$$

其中

$$\tan\theta = \frac{u}{v}$$

由公式(11)、(12)可以得到感兴趣区域的位移场。

3.4 精度对比

为了说明结果精度,我们选择 $\beta=40^\circ$ 的图进行分析。图 4 是旋转角度 $\beta=40^\circ$ 时计算得到的位移场的 (u, v) 分量, u 场的范围为 $[-111.0, -27.7]$, v 场的范围为 $[-10.1, 73.2]$ 。图 5 是用变形预测图像相关法计算得到的位移场和用公式(11)、(12)计算得到的位移场的差值图,从图中可以看到 u 场误差绝对值均值小于 v 场误差绝对值均值。但 u 场、 v 场的误差大多在 0.1pixel 内,即使个别误差较大的,也不超过 0.3 个像素。而这样的计算精度已经能够很好地满足应用需求。

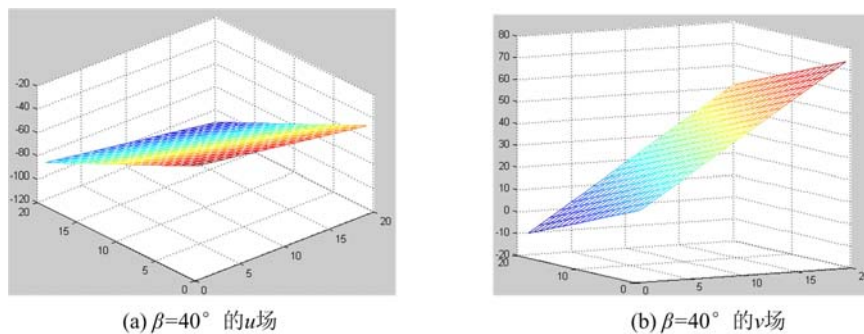


图 4 $\beta=40^\circ$ 时的位移场

Fig. 4 The displacement field while rotating angle β is 40 degree

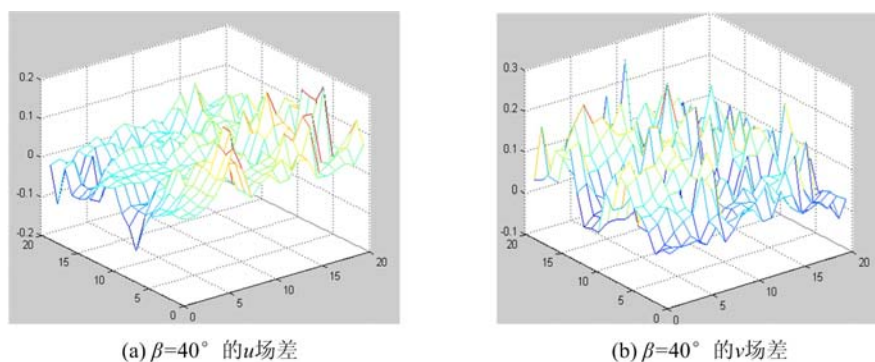


图 5 $\beta=40^\circ$ 的位移场差值图

Fig. 5 Differential chart of displacement field while rotating angle β is 40 degree

4 金属拉伸实验验证

4.1 实验概述

下面通过金属拉伸实验来验证本文提出方法的可靠性,拉伸材料是 1y12(硬铝),材料尺寸和结构如图 6 所示。

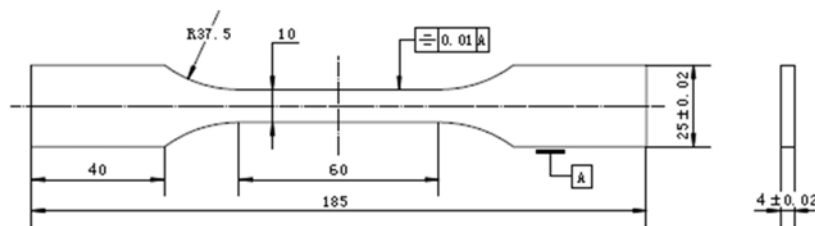


图 6 拉伸试件尺寸(单位:mm)

Fig. 6 The size of tensile specimen (mm)

试件中间经过打磨,喷上人工散斑作为标志,为了控制拉伸时断裂的位置,在中间用挫打磨一小段使其产生应力集中。拉伸装置是 MTS 公司(MTS Systems Corporation, USA)生产的 MTS809 型拉扭复合材料试验系统,拉伸速率为 0.005mm/s ,用远心镜头和 1394CCD 采集图像表面的散斑,采集图像大小为 $1280 \times 960\text{pixels}$,采集时间间隔为 3s。实际拍摄结果如图 7 所示。

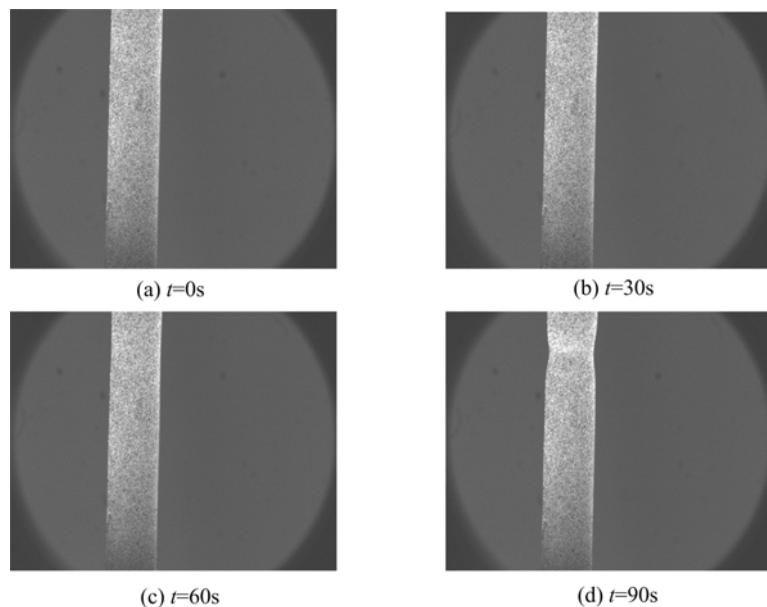


图 7 散斑图

Fig. 7 The speckle image

4.2 用时对比

为了说明变形预测图像相关法在实际应用中的速度优势,对比计算 $t=3\text{s}$ 到断裂前 $t=90\text{s}$ 之间的 14 幅图(每隔一幅图计算)相对于第一幅图变形所用时间。感兴趣区域 $(450, 60) \sim (550, 360)$,划分网格大小为 $5 \times 5\text{pixels}$,计算子区大小为 $31 \times 31\text{pixels}$ 。计算的 CPU 为 Intel Core i5 750、GPU 为 NVIDIA GeForce GTX 650 Ti,时间对比如表 2 所示。

表 2 试件拉伸实验计算用时

Tab. 2 The computing time of specimen tensile test

第 i 幅图	1	2	3	4	5	6	7
用时(ms)	28657	5647	5850	5538	6131	6802	6630
第 i 幅图	8	9	10	11	12	13	14
用时(ms)	7410	7722	6474	8829	4290	6740	4961

第一幅图遗传算法找种子点用时 4040ms,找到后进行计算用时 24617ms。遗传算法的种群大小设置为 100,种群范围下限为 $[-10, -0.1, -0.1, -10, -0.1, -0.1]$,而计算上限为 $[10, 0.1, 0.1, 10, 0.1, 0.1]$,最大代数数为 15,交叉概率为 0.7,每次保留精英数量为 2。从上面的结论可以看到速度提高了 4~7 倍。

4.3 精度对比

为了检测算法精度,我们取第 8 幅图进行分析。图 8 是其位移场的 (u, v) 分量, u 场的范围为 $[-2.3, -0.45]$, v 场的范围为 $[-36.4, -26.3]$ 。图 9 是变形预测图像相关法得到的位移场和 NR 方法得到位移场的差值图,图中 u, v 场的误差几乎都接近于 0。由此可知该方法的计算精度和 NR 方法完全一样。

从上面的两个实验可以看到,变形预测图像相关法能够在计算精度保持不变的情况下,使计算速度大幅度提高,这为用数字图像相关方法的实时处理奠定了基础。

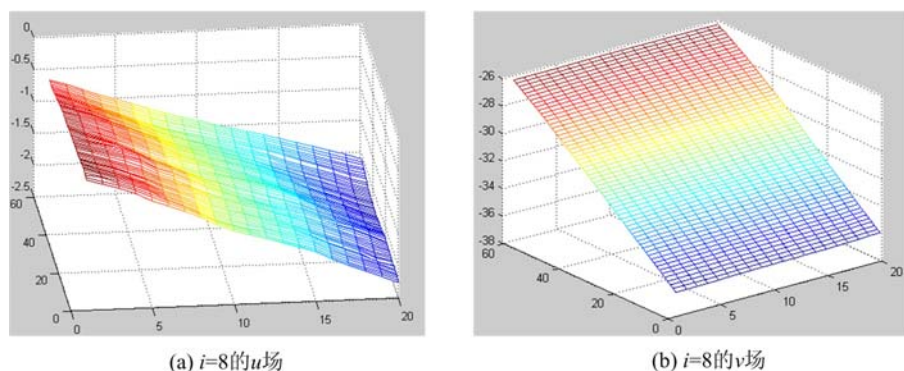


图8 试件拉伸实验的位移场

Fig. 8 The displacement field of specimen tensile test

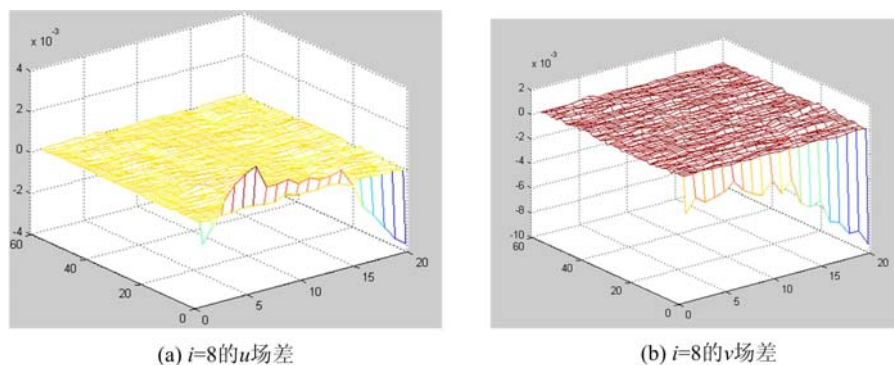


图9 试件拉伸实验精度对比

Fig. 9 Comparison of the accurate of the specimen tensile test

5 结论

本文针对获取被测试件连续位移场和变形场的情况,利用物体在时间轴上的变形规律,提出了一种基于变形预测的数字图像相关方法,该方法寻找种子点简单方便而且适合并行运算。通过模拟散斑图旋转实验和金属试件拉伸实验对该算法进行了验证,并把结果分别与理论值和NR方法得到的结果进行对比。结果表明,在精度保持不变的情况下,对于模拟散斑图计算速度能提高10倍,对于金属试件的拉伸实验计算速度能提升4~7倍。这为利用数字图像相关进行实时处理奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] Yamaguchi I. A laser-speckle strain gauge[J]. Journal of Physics (E), 1981, 14(5):1270—1273.
- [2] 王怀文, 亢一澜, 谢和平. 数字散斑相关方法与应用研究进展[J]. 力学进展, 2005, 35(2):195—203 (WANG Huai-wen, KANG Yi-lan, XIE He-ping. Advance in Digital Speckle Correlation Method and its Application [J]. Advance in Mechanics, 2005, 35(2):195—203(in Chinese))
- [3] 孟利波, 马少鹏, 金观昌. 数字散斑相关测量中亚像素位移测量方法的比较[J]. 实验力学, 2003, 18(3):343—348 (MEMG Li-bo, MA Shao-peng, JIN Guan-chang. On the Performance of the Sub Pixel Displacement Estimations used in Digital Speckle Correlation Method (DSCM) [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2003, 18(3):343—348(in Chinese))
- [4] 潘兵, 续伯钦, 陈丁等. 数字图像相关中亚像素位移测量的曲面拟合法[J]. 计量学报, 2005, 26(2):128—134 (PAN Bing, XU Bo-qin, CHEN Ding, et al. Sub Pixel Registration using Quadratic Surface Fitting in Digital Image Correlation[J]. Acta Metrologica Sinica, 2005, 26(2):128—134(in Chinese))
- [5] Davis C Q, Freeman D M. Statistics of sub pixel registration algorithms based on spatiotemporal gradients or block matching [J]. Opt Eng., 1998, 37(4):1290—1298.
- [6] Zhou P, Kenneth E Goodson. Sub pixel displacement and deformation gradient measurement using digital image/

- speckle correlation [J]. *Opt Eng.*, 2001, 40(8):1613–1620.
- [7] Bruck H A, McNeil S R, Sutton M A, et al. Digital image correlation using Newton-Raphson method of Partial differential correction [J]. *Experimental Mechanics*, 1989, 29(3):261–267.
- [8] Wang H, Kang Y. Improved digital speckle correlation method and its application in fracture analysis of metallic foil [J]. *Opt Eng.*, 2002, 41(11):2793–2798.
- [9] Marquardt D W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters [J]. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 1963, 11(2):431–441.
- [10] 潘兵, 谢惠民, 戴福隆. 数字图像相关中亚像素位移测量算法的研究[J]. *力学学报*, 2007, 39(2):245–252 (PAN Bing, XIE Hui-min, DAI Fu-long. An Investigation of Sub-Pixel Displacements Registration Algorithms in Digital Image Correlation[J]. *Acta Mechanica Sinica*, 2007, 39(2):245–252(in Chinese))
- [11] 陈华, 叶东, 陈刚 等. 遗传算法的数字图像相关搜索法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(10):1633–1637 (CHEN Hua, YE Dong, CHEN Gang, et al. Digital Image Correlation Search Method Based on Genetic Algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(10):1633–1637(in Chinese))
- [12] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]. In: *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia. 1995:1942–1948.
- [13] Sutton M A, Wolters W J, Peters W H, et al. Determination of displacements using an improved digital correlation method[J]. *Image and Vision Computing*, 1983, 1(3):133–139.
- [14] Zhou P, Goodson K E. Sub pixel displacement and deformation gradient measurement using digital image/speckle correlation (DISC) [J]. *Opt Eng.*, 2001, 40(8):1613–1620.
- [15] Bing Pan. Reliability-guided digital image correlation for image deformation measurement [J]. *Applied Optics*, 2009, 48(8):1535–1542.
- [16] Pan B. Recent Progress in Digital Image Correlation [J]. *Experimental Mechanics*, 2011, 51(7):1223–1235.

Acceleration Method of Digital Image Correlation Based on Timing Deformation Prediction

XI Tao¹, XIONG Chen¹, KONG Fan-yu², XU Feng¹, MIAO Hong¹

(1. Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design of Materials (CAS), University of Science and Technology of China, Hefei 230027, Anhui, China; 2. College of Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, Sichuan, China)

Abstract: When digital image correlation is adopted to solve the displacement and strain field of an object in continuous deformation, processing speed is very slow due to the large calculation amount of correlation algorithm and the neglect of object deformation on the timeline. In this paper, a new digital image correlation method is proposed based on deformation prediction. By using the object deformation on the timeline, this method can predict the initial values of next step deformation based on obtained deformation values. The object deformation on the timeline is analyzed firstly, then combined with practical application, the deformation is revised to obtain the initial value of object deformation in next step, finally the displacement and strain field are calculated through Newton-Raphson method (NR method). Computer simulation and metal tensile experiment were conducted to verify the validation of this method combined with GPU (Graphic Processing Unit) programming. Results show that keeping the same computation accuracy, this new method can improve processing speed 4 to 7 times.

Keywords: digital image correlation; deformation prediction; initial value searching