

云纹数字图象处理新方法及通用软件系统

于起峯 季南

(航天技术系)

摘要 本文介绍了多种云纹数字图象处理新方法及云纹处理通用软件系统。在这些新方法中,利用云纹数字图象全场每个点的灰度信息进行处理和变换,得到全场直观、定量的应变信息。这些方法和软件系统为云纹法的广泛应用提供了有力工具。

关键词 软件;云纹,数字图象,云纹处理

分类号 O348

引言

用于测量变形体位移场的云纹法由于具有设备及使用简单、测量范围广、可用于实际现场等突出优点而广泛应用于工程和科研中。但是对云纹照片的传统处理却是一项极耗时、耗精力和易引入误差的工作,大大限制了它的使用。近年来,数字图象处理技术的迅速发展为云纹图的采集和处理提供了强有力的工具。云纹数字图象处理是一项新兴的边缘交叉学科,目前国内尚未见到完整实用的云纹数字图象处理软件系统。因此,充分利用云纹数字图象处理技术的特点,提出新的简单实用的云纹处理方法,并且尽快建立云纹数字图象处理软件系统,具有工程实用价值和科研价值。

基于上述原因,我们进行了“云纹数字图象处理新方法及通用软件系统”的课题研究,于1988年6月完成课题,并通过专家鉴定。

传统的云纹图处理方法是提取条纹中心线法。这种方法只利用了云纹条纹中心线的少量离散信息进行内插外推而得到截面的位移值。显然,该方法将中心线以外的、大量的、与中心线有同样价值的信息丢掉了。这种损失对条纹稀少的图象尤为突出,甚至使图象无法处理。利用数字图象处理技术,有可能充分利用云纹条纹中心线以外的信息。本课题的突出特点是不但提出了传统提取条纹中心线法的新处理法,而且提出了多种全新的全场灰度处理的新方法,即利用云纹图象全场每个灰度点的信息,进行全场处理。由于可利用的原始信息量大大增加,因此提高了云纹处理精度和速度,能给出全场定量结果,而且对条纹稀少的图象也能得到满意的结果,扩大了云纹图的应用测量范围。

1 云纹数字图象处理新方法

云纹条纹图是由两组密集栅线叠加产生几何干涉而形成的。云纹条纹代表变形体的

等位移线。在消除图象系统的非线性效应后,云纹数字图象的灰度与变形体的位移存在确定关系^[1]:

$$\bar{I}(x, y) = I_0(x, y) + I_1(x, y) \cos(2\pi U(x, y)/p) + I_n(x, y) \quad (1)$$

其中, $\bar{I}(x, y)$ ——图象灰度值, $I_0(x, y)$ ——图象背景灰度值, $I_1(x, y)$ ——条纹灰度变化幅值, p ——变形体垂直于基准栅方向的位移。

(1)式是云纹法中的灰度——位移定理,也是下述各种处理方法的主要依据。为了直观说明下述各种方法,以一固体推进剂材料边裂纹板的V场云纹图作为处理实例,如图1所示。云纹栅线密度是20线/mm。本实验采用GTF-181型数字图象处理系统^[2],其图象部分由 512×512 个象素点,256个灰度等级组成。

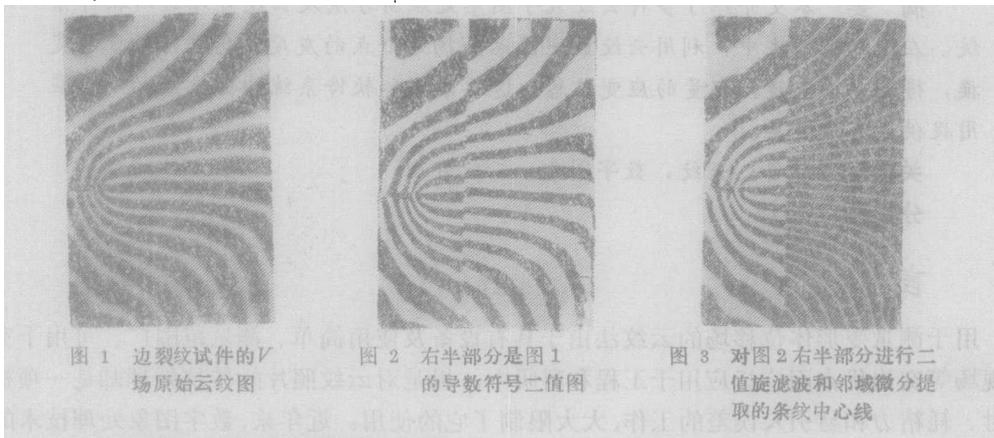


图1 边裂纹试件的V场原始云纹图

图2 右半部分是图1的导数符号二值图

图3 对图2右半部分进行二维旋滤波和邻域微分提取的条纹中心线

1 干涉条纹中心线的全场自动提取

传统的提取条纹中心线的云纹处理法是目前仍被广泛应用的一种基本方法。本课题提出了一种利用导数符号二值图自动提取全场条纹中心线的新方法^[3]。

利用干涉条纹数字图象的条纹中心线两侧灰度导数异号的特征,对条纹图作导数符号二值图。即当前点的灰度导数为正时,该点取白值,反之取黑值。对导数均为0的平台点,则取其几何中心为分界线。图2是图1的导数符号二值图。注意这时的二值条纹的边界线就是原始条纹的中心线。然后使用下面介绍的二值旋滤波,可将二值条纹内部噪声滤掉,并平滑条纹边界线,同时对已平滑的边界不再产生影响。当二值条纹图边界平滑后,使用普通的邻域微分法提取全场二值条纹的边界线。从而自动把原条纹图全场黑白条纹的中心线一次提取出来。图3的右半部分是图2经过上述处理得到的图1的条纹中心线。这种全场条纹中心线自动提取法不但自动化程度高,且提取精度高,通用性好。

2 数字干涉条纹图预处理——旋滤波法

为了保证和提高下述全场灰度处理法的处理精度,必须对云纹数字图象进行预处理,以消除各种噪声干扰。普通滤波法,如中值滤波等,存在明显的模糊效应,使云纹条纹特征发生畸变,从而影响后处理结果的精度。我们建议使用旋滤波法^[4]。该方法不但可滤掉条纹图噪声,而且对条纹图不产生模糊畸变,并且有一定回归作用。

干涉条纹数字图象的一个明显特征是:沿着条纹切线方向,相邻各点的灰度值变化

梯度最小；而沿条纹法向，灰度梯度最大。根据这一特征建立旋滤波法。以当前点为中心取一滤波线，将此滤波线旋转一周以找出条纹切线方向。然后在此方向线上对当前点做中值处理。对全场各点重复该过程就完成旋滤波。由于旋滤波是在条纹切线方向上做中值处理，它不会对条纹产生模糊效应。

将旋滤波思想推广到条纹二值图中，可建立二值旋滤波。它可平滑二值条纹的边界线并滤掉噪声。

3 数字干涉条纹图预处理——分区线性增加

为了使全场灰度处理法得以进行，还必须将条纹图的背景灰度 $I_0(x, y)$ 和条纹幅值 $I_1(x, y)$ 在全场常数化。我们建议以简单有效的分区线性增强法来达到此目的^[4]。

图 4 是干涉条纹图任意截面上进行分区线性增强变换前后的灰度分布示意图。在此任意截面上，以相邻灰度波峰和波谷的顶点为界分成若干个区间。在每一区间上分别进行线性增强变换，使黑白条纹顶点分别变成最暗和最亮点，其它灰度线性变换分布在其之间。从而得到如图 4 所示的将背景灰度和条纹幅值在全场常数化的新云纹图：

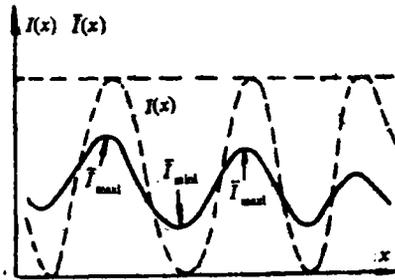


图 4 某一云纹图截面上，分段线性增强前后的灰度分布示意图

$$I(x, y) = I_0 + I_1 \cos(2\pi U(x, y)/p) \tag{2}$$

其中 $I_0 = I_1$ 。这是下述各种全场灰度处理法的基础和关键之一。

4 数字干涉条纹倍增法

对条纹较稀少的云纹图，使用提取条纹中心线法将会由于信息量过少而降低精度。我们提出几种简单实用、精度高的条纹倍增法^[4]。利用(2)式云纹图的位移与灰度关系及三角公式，可直接得到倍增的条纹图：

$$I(x, y) = 2(I(x, y) - I_0)^2 / I_0 = I_0 + I_1 \cos(4\pi U(x, y)/p) \tag{3}$$

(3)式是条纹二倍倍增的云纹图关系。图 5 右半部分是用(3)式倍增后的云纹图。同理可得到条纹三倍倍增的云纹图。

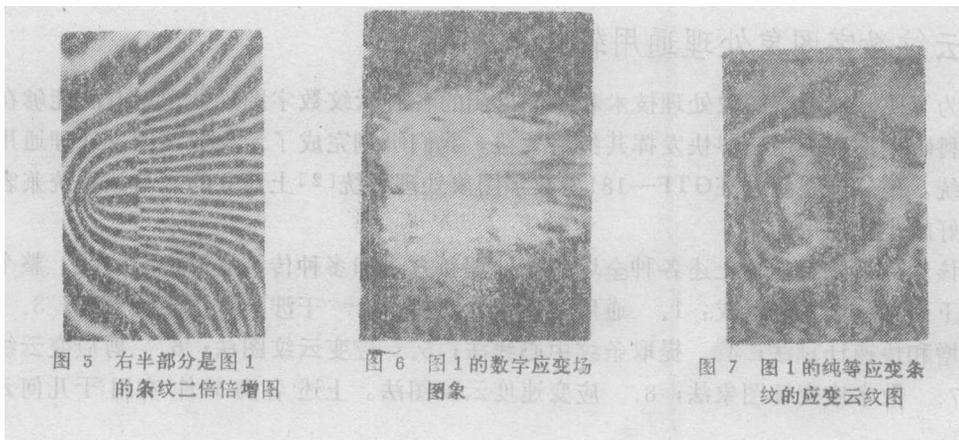


图 5 右半部分是图 1 的条纹二倍倍增图

图 6 图 1 的数字应变场图象

图 7 图 1 的纯等应变条纹的应变云纹图

5 数字应变场图象法

实际云纹处理中,人们主要关心的是应变值。我们提出一种建立数字应变场图象的新方法。应变场图象的灰度直接由所在点的应变值表示^[5]。它直观、定量地表示了全场各点的应变分布,是传统方法结果无法比拟的。对一幅经过预处理的(2)式的云纹图象进行灰度数值微分,并作下述运算,可得到每个点位移偏导数的绝对值:

$$|\partial U(x, y)/\partial x| = |\partial I(x, y)/\partial x| \cdot p/2\pi \{I_1^2 - (I(x, y) - I_0)^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

对于小变形,应变直接等于此位移偏导数。由于实际应变值远小于1,必须将此应变乘以适当的放大系数,并在图象显示器上显示,就得到对应的应变场图象。图6是图1的应变场图象。数字应变场图象法可方便地得到全场应变的直观分布和定量结果。其处理速度比常规处理方法快几百倍以上,并且满足精度要求。

将上述应变场图象法推广,可得到其它多种结果。例如,将两幅同一试件但不同时刻的应变场图象相减,可得到本构关系研究中非常有用的应变速度场图象。利用转角载波云纹和应变场图象法,对 U, V 两个场云纹图象进行运算,可得到剪应变场图象。

6 纯等应变条纹的应变云纹法

云纹图是由等位移条纹组成的,而人们更关心的是等应变条纹。我们建议对云纹图进行图象变换来建立纯等应变条纹的应变云纹图^[4]。该方法不仅给出了人们感兴趣的等应变线,而且对原始云纹图没有高密度条纹要求,所得结果不带原始云纹痕迹,并得到全场每个点的应变值,提高了应变场测量精度。

对经过预处理的(2)式云纹图进行一定的图象变换,可得到纯等应变条纹的应变云纹图:

$$I(x, y) = I_0 + I_1 \cos\{2\pi v(x, y)/\epsilon_0\} \quad (5)$$

(5)式是应变云纹图象的灰度——应变定理。根据此关系式可得到全场每个点的应变值。图7是图1的数字应变云纹图。由于(5)式与(2)式在形式上一致,只是物理含义不同,因此适用于(2)式的条纹倍增法等方法也完全适用于(5)式的应变云纹图。

利用上述方法和转角云纹载波原理,可进一步建立纯剪应变条纹的剪应变云纹图。此外利用两幅同一试件但不同时刻的应变云纹图进行合并变换,可得到应变速度云纹图^[6]。

2 云纹数字图象处理通用软件系统

为了使云纹数字图象处理技术和我们提出的各种云纹数字图象处理新方法能够在工程和科研上推广应用,尽快发挥其经济效益,我们研制完成了云纹数字图象处理通用软件系统。该软件系统是在GTF-181型数字图象处理系统^[2]上建立的,与该系统兼容,有较好的推广应用前景。

该软件系统包括了上述各种全场灰度处理新方法和多种传统提取中心线法。整个系统由下列八大类功能组成:1. 通用图象管理功能;2. 干涉条纹图象预处理;3. 条纹倍增和快速算法;4. 提取条纹中心线法;5. 应变云纹图法;6. 剪应变云纹图法;7. 数字应变场图象法;8. 应变速度云纹图法。上述各类软件实用于几何云纹

图、离面云纹图和全息云纹图等的处理。

上述新方法和软件系统已在工程上应用考核。图7不但给出了固体推进剂裂纹前损伤区的常规应变分析,且给出了损伤区的直观形状^[7]。这与国际上用声衰减等方法得到的结果一致,但本方法更经济、简便。

3 结 语

本文介绍了云纹数字图象处理通用软件系统和多种处理新方法,尤其是多种全场灰度处理的方法。这些方法也适用于其它一些光测力学数字图象的处理。这些方法得到了传统处理方法所难以得到的多种新结果,扩大了云纹法测量变形的功能和范围,提高了测量精度,同时,大大减少了云纹图象处理的工作量和处理周期。因此,本文介绍的软件系统和新方法既为云纹法在工程上更广泛地使用提供了有力工具,也为自己展现了工程应用和科研的美好前景。

参 考 文 献

- [1] Voloshin A, Burger C P. *Exp. Mech.* 26(3), 254~8
- [2] 张帆, 苏明照, 陈斌. *航空学报*, 9(3)A129~34
- [3] Yu Q F (于起峰). *Applied Optics*, 27(18), 3782~4
- [4] Yu Q F (于起峰). *Proc. of 6th Int. Cong. on Exp. Mech.*, 1 168~73
- [5] 于起峰, 龙泳波. 国防科大论文资料88—1001 (将发表在《航空学报》)
- [6] Yu Q F (于起峰), Ji N (季南). *Prof. of Int. Conf. on Constitutive Laws (Chongqing)*, 1989
- [7] 于起峰, 陆寅初, 单小强, 韩持戈. 第五届全国断裂力学大会论文集, 2:739

New Methods and Software System of Digital Moire Pattern Processing

Yu Qifeng Ji Nan

Abstract

A series of new methods and a general software system for digital moire pattern processing are presented in this paper. These new methods utilize the

grey level information over the whole field to make transformation and processing of the digital moire patterns, whereby the strain results over the whole field are obtained. These methods and software system provide a powerful tool for wider use of the moire technique.

Key words: software; moire; digital image; moire processing