

激光散斑图样的光流场分析研究*

万海峰

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

傅玉川 王植恒

(四川大学物理系, 成都 610064)

摘 要 提出了一种基于动态图像处理的新的电子散斑计量方法——光流场分析方法, 从新的角度出发讨论了运用图像序列分析的概念来解决散斑图样测量的可行性和简便性。并且解决了当散斑图像不满足进行光流场分析的约束条件时的测量问题, 即通过多通道的图像处理方法来改变图像连续特性, 从而扩大了测量范围。经典的散斑图样的计量都必须经过在空间频域中的处理, 而光流场分析法则将散斑图样的计算直接在空间域中进行, 为散斑计量术能够实现真正的实时测量, 从而跨入更广阔的实际应用领域提供了一条新的研究途径。

关键词 散斑计量, 图像序列分析, 光流场分析, 多通道图像处理。

散斑计量学是干涉计量学中的一个重要分支, 它在工程计量学中具有广泛的应用, 尤其是随着光电技术及计算机的发展而研制成功的电子散斑图样干涉术(ESPI), 很好地简化了散斑图样的记录过程, 把该技术用于“常规”散斑技术的双曝光记录, 就使得散斑图样的实时计量成为可能。电子散斑度量术在许多领域都已获得了应用^[1~4]。本文提出了一种基于动态图像处理的新的电子散斑计量方法——光流场分析方法, 从新的角度出发讨论了运用图像序列分析的概念来解决散斑图样测量的可行性和简便性, 运用这种方法可以快捷地计算出散斑图像的局部运动矢量。并在此基础上提出当散斑图像不满足进行光流场分析的约束条件时, 可以通过多通道的图像处理方法来改变图像连续特性, 从而扩大了测量范围。经典的散斑图样的计量都必须经过在空间频域中的处理, 而光流场分析方法则将散斑图样的计算直接在空间域中进行, 从而使测量范围较原来的双曝光法有所扩大, 还具有简便、快速、直观等优点, 为散斑计量术能够实现真正的实时测量, 从而跨入实际应用领域提供一条新的研究途径。

1 光流场分析法的理论基础

1.1 图像序列分析

在对瞬态现象分析中, 都需要用多重画面来记录整个事件。而从二维图像序列检测景物

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995 年 8 月 21 日; 收到修改稿日期: 1996 年 4 月 16 日

运动、提取运动参数、分析景物的运动规律, 或者获取立体景物的深度、遮盖和表面主方向等信息正是图像序列分析的主要研究内容。如果同一个观测器, 在相邻两时刻 t_{k-1} 和 t_k 获得的同一个三维景物图像是不同的, 则称这种位置的差为视差^[5]。它是三维景物的运动反应在二维图像上的位移向量(包括方向和大小)。视差除以时间间隔 Δt_k 称为瞬时位置速度($\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$)。在图像序列反应的景物范围中, 各物体或分部的运动是不同的, 形成众多的瞬时位置速度向量。这些不同的瞬时位置速度向量分布在图像上形成的向量场称为瞬时位置速度场, 也称为光流场。根据视差的大小和方向可以推断立体景物物体表面上各点与观测器之间的距离或深度, 从而获得距离版图, 也可以推断多个物体相互遮盖边界位置和物体表面各点的表面主方向。

由各种文献中关于散斑计量的讨论可以看出, 散斑计量的许多应用中, 如位移及应变测量、振动分析及形变测量、流体速度测量等等, 其实质都可以认为是对某种瞬态现象的测量。所以散斑计量的许多应用也可以用图像序列分析的方法, 例如位移前的散斑图样和位移后的散斑图样就可以被看成是图像序列, 如果它们的瞬时位置速度向量能够计算出来, 则位移的大小和方向也就能很方便地计算出来。当然要运用图像序列分析的方法来进行散斑计量, 还需要满足一定的约束条件。

1.2 光流场的表示方法

图像序列又称动态图像, 具有给定的或假设的相对次序, 并给出相邻图像获取的时间间隔关系。它的一般表示如(1)式所示:

$$\{f(x_i, y_i, t_0), f(x_i, y_i, t_1), \dots, f(x_i, y_i, t_{m-1})\}, \quad i, j = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (1)$$

相邻两图像获取的时间间隔定义为

$$\Delta t_k = t_k - t_{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots, m - 1 \quad (2)$$

在动态景物中, 组成景物的各个运动物体在不同的时刻其空间位置是不同的。假设 $oxyz$ 是空间物体 P 点的空间位置坐标系, 它构成物体空间。 OXY 是图像空间, 是一个平面, 也就是观测器对物体点 P 进行观测获取的图像形成的位置。 o 与 O 相距 F (观测器的焦距), oyz 与 OYZ 位于同一平面如图 1 所示。 P 点在时刻 t_{k-1} 物体空间的坐标为 $(x^{k-1}, y^{k-1}, z^{k-1})$, 时刻 t_k 的坐标为 (x^k, y^k, z^k) 。它们在图像空间的坐标分别为 (X^{k-1}, Y^{k-1}) 和 (X^k, Y^k) , 即

$$\begin{aligned} \Delta X_k &= X_k - X^{k-1} \\ \Delta Y^k &= Y^k - Y^{k-1} \end{aligned} \quad (3)$$

空间物体点 P 从 $(x^{k-1}, y^{k-1}, z^{k-1})$ 运动到 (x^k, y^k, z^k) , 反映在图像平面上, 从 (X^{k-1}, Y^{k-1}) 位置移动到 (X^k, Y^k) 。这是通过观测器观测三维景物运动记录下来并能得到的信息。

从 (X^{k-1}, Y^{k-1}) 移位到 (X^k, Y^k) , 其位移量为 $(\Delta X^k, \Delta Y^k)$, 即为视差, 视差的估计称为对应问题。

物体点 P 从 $(x^{k-1}, y^{k-1}, z^{k-1})$ 运动到 (x^k, y^k, z^k) 的时间间隔为 Δt^k 。把图像平面上物体图像相应位置的速度记为 V^k , 那么 V^k 的大小和方向分别为

$$|V^k| = [(\Delta X^k)^2 + (\Delta Y^k)^2]^{1/2} / \Delta t_k \quad (4)$$

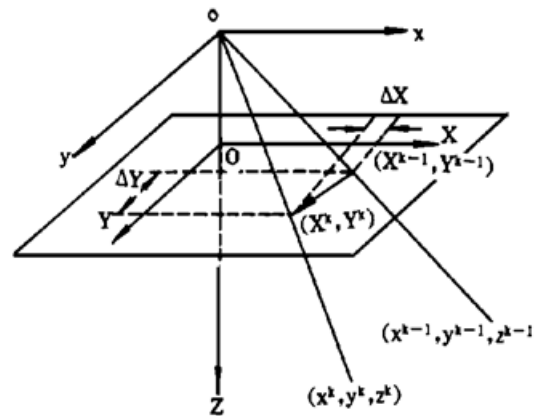


Fig. 1 The 3-D motion of the object and image plane

$$\Theta^k = \text{tg}^{-1}(\Delta X^k / \Delta Y^k) \quad (5)$$

也可以记为

$$V = (u, v)$$

u 、 v 分别表示 V 在 x 和 y 方向的分量。称 V^k 为物体点 P 的瞬时位置速度, 即光流。物体图像中诸灰度模式点(像素)运动的可视速度的分布称为瞬时位置速度场(IPVF), 也称为光流场, 它给出了运动景物在空间运动的重要信息。

1.3 运动估计和分析的时-空梯度技术

运动估计和分析的时-空梯度技术又称为基于梯度技术, 是运动估计和分析的极为重要的方法。它有多种估计方法^[6], 本文下一部分关于散斑图样的光流场分析的具体实现运用的是最小二乘方估计。

如前所述, $f(x, y, t)$ 表示图像序列在时刻 t , (x, y) 位置的灰度值。在物体发生运动以后, 在 $t + \Delta t$ 时刻, 图像上物体点从 (x, y) 位置移位到 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 。假设物体点灰度在运动前后保持不变, 即

$$f(x, y, t) = f(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (6)$$

将(6)式右边在 (x, y, t) 作泰勒展开, 得到

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial f}{\partial t} + O(\Delta t) = 0$$

令 $\Delta t \rightarrow 0$, 得到

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f}{\partial t} = f_x u + f_y v + f_t = 0 \quad (7)$$

式中

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, \quad f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, \quad f_t = \frac{\partial f}{\partial t}, \quad u = \frac{dx}{dt}, \quad v = \frac{dy}{dt}$$

(7)式也可改写为

$$f_t = - (f_x u + f_y v) \quad (8)$$

在(8)式中, f_x 、 f_y 、 f_t 可以由图像序列样本作如下估计:

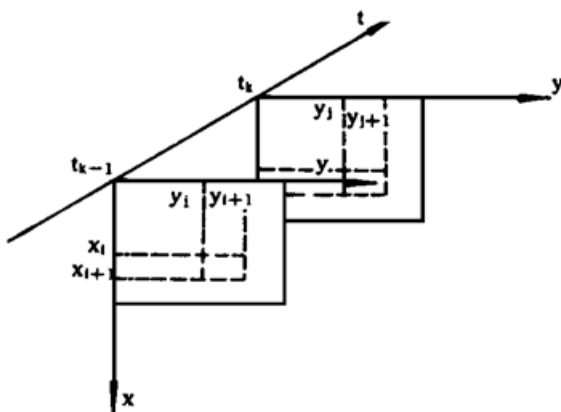


Fig. 2 Two sequential images

由相邻两图像 $\{f(x_i, y_j, t_{k-1}), i, j = 0, 1, \dots, N-1\}$ 和 $\{f(x_i, y_j, t_k), i, j = 0, 1, \dots, N-1\}$ 的四个相邻位置 (x_i, y_j) , (x_i, y_{j+1}) , (x_{i+1}, y_j) , (x_{i+1}, y_{j+1}) 关于 x 方向、 y 方向和 t 方向的一阶差分平均值来估计 f_x 、 f_y 、 f_t , 见图 2, 亦即

$$\begin{aligned} f_x^{\wedge} = & \frac{1}{4} \{ [f(x_{i+1}, y_j, t_{k-1}) - f(x_i, y_j, t_{k-1})] \\ & + [f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_{k-1}) - f(x_i, y_{j+1}, t_{k-1})] \\ & + [f(x_{i+1}, y_j, t_k) - f(x_i, y_j, t_k)] \\ & + [f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_k) - f(x_i, y_{j+1}, t_k)] \} \quad (9) \end{aligned}$$

$$f_y^{\wedge} = \frac{1}{4} \{ [f(x_i, y_{j+1}, t_{k-1}) - f(x_i, y_j, t_{k-1})]$$

$$\begin{aligned}
& + [f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_{k-1}) - f(x_{i+1}, y_j, t_{k-1})] \\
& + [f(x_i, y_{j+1}, t_k) - f(x_i, y_j, t_k)] \\
& + [f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_k) - f(x_{i+1}, y_j, t_k)] \} \tag{10}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\hat{f}_t = \frac{1}{4} \{ & [f(x_i, y_j, t_k) - f(x_i, y_j, t_{k-1})] \\
& + [f(x_{i+1}, y_j, t_k) - f(x_{i+1}, y_j, t_{k-1})] \\
& + [f(x_i, y_{j+1}, t_k) - f(x_i, y_{j+1}, t_{k-1})] \\
& + [f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_k) - f(x_{i+1}, y_{j+1}, t_{k-1})] \} \tag{11}
\end{aligned}$$

将(9)式~ (11)式代入(8)式得到

$$\hat{f}_t = - (\hat{f}_x u + \hat{f}_y v) + \epsilon \tag{12}$$

式中 ϵ 表示误差。

在两帧图像 f_{k-1} 和 f_k 中, 取具有相同 $[u, v]$ 的同一运动物体上的 n 个不同位置像素。以 $\hat{f}_x^{(k)}$ 、 $\hat{f}_y^{(k)}$ 、 $\hat{f}_t^{(k)}$ 分别表示第 k 个像素位置上 f_x 、 f_y 、 f_t 的估计 ($k = 1, 2, \dots, n$)。由(12)式可得

$$f_t = \begin{bmatrix} -\hat{f}_t^{(1)} \\ -\hat{f}_t^{(2)} \\ \vdots \\ -\hat{f}_t^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{f}_x^{(1)} & \hat{f}_y^{(1)} \\ \hat{f}_x^{(2)} & \hat{f}_y^{(2)} \\ \vdots & \vdots \\ \hat{f}_x^{(n)} & \hat{f}_y^{(n)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} = F_{xy} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

那么, $\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$ 的最小二乘方估计为^[7]

$$\begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \end{bmatrix} = (F_{xy}^T \cdot F_{xy})^{-1} F_{xy}^T f_t \tag{13}$$

求得的 \hat{u} 、 \hat{v} 分别表示在 (x_i, y_j) 位置的瞬时位置速度在 x 和 y 方向的分量。

2 散斑图样的光流场分析的初步实验

2.1 实验系统

实验系统框图如图 3 所示。

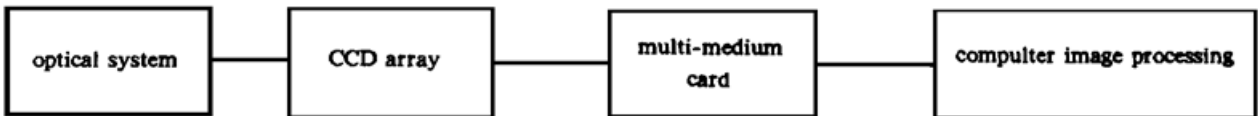


Fig. 3 The diagram of experimental setup

光学系统为典型的散斑成象系统, 如图 4 所示。散斑大小 $D_{sp} = 1.22(\lambda l/D)$, 其中 l 为像距, D 为透镜口径, 也可认为是光阑的口径。

系统中 CCD 面阵的分辨率约为 10 um/pixel 。根据 1.3 节中的算法编制相应的图像处理程序, 就能实现散斑图像的光流场分析。

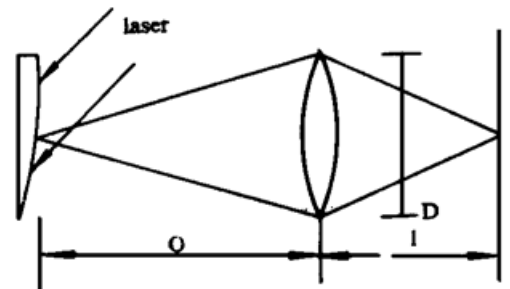


Fig. 4 The optical system

2.2 实验测量结果

利用图 3 所示的实验系统可以很方便地测量散斑图像前后的变化量, 因为计算的结果是矢量值, 所以不仅能够求得位移的大小, 而且能够得到位移的方向。下面是一组实测的实验结果。在成像系统中, 采用的透镜的焦距 $f = 15 \text{ cm}$, 在透镜前方增加了一个可调光阑, 以便根据所需测量范围调整散斑颗粒大小。在以下实验中光阑大小 $D = 0.5 \text{ cm}$, 同时调节放大倍数 $M = 5$, 此时散斑颗粒大小为

$$D_{\text{sp}} = 1.22\lambda(1 + M)f/D \approx 138 \mu\text{m}$$

图 5 中的(a)~(d) 分别是散斑图像平面移动了 $5 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ 、 $15 \mu\text{m}$ 及 $20 \mu\text{m}$ 后的光流场分析结果。图中小方块表示选择的计算区域, 计算的结果以一条从方块中心出发的线段表示, 线段的朝向为位移的方向, 其长度为位移的大小。

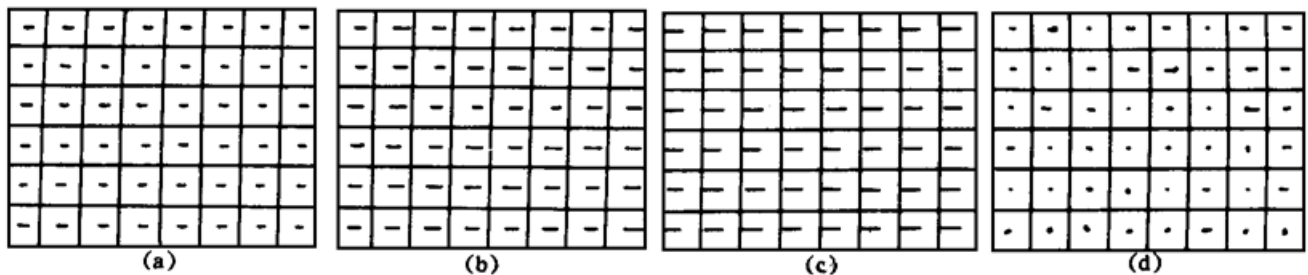


Fig. 5 (a) $u = 20.0 \mu\text{m}$; $v = -0.7 \mu\text{m}$; (b) $u = 48.4 \mu\text{m}$; $v = -4.1 \mu\text{m}$; (c) $u = 70.1 \mu\text{m}$; $v = -4.0 \mu\text{m}$; (d) $u = 0.00 \mu\text{m}$; $v = 0.00 \mu\text{m}$

因为 $M = 5$, 实际上反映在 CCD 上的位移分别为 $25 \mu\text{m}$ 、 $50 \mu\text{m}$ 、 $75 \mu\text{m}$ 和 $100 \mu\text{m}$ 。由图 5 中的(a)~(c) 可见各区域的运动朝向和大小均表现出很好的一致性, 只有图 5(d) 因为位移量接近散斑颗粒大小而出现错误, 不能得到一致的结果, 这种结果的出现说明用光流场分析法进行散斑图样的测量还需要考虑它的应用范围和约束条件。事实上, 当位移接近或超过散斑颗粒大小时会出现错误的结果, 其表现为各个计算区域结果偏差加大或完全随机, 因此当增大计算区域或对其进行平均后的结果往往趋近于零。

3 多通道处理方法的引入

3.1 光流场分析的约束条件

以上的实验结果表明, 只是简单地将光流场分析法引入散斑计量中, 会出现在某些使用范围中出错的情况, 所以, 光流场分析法是否能成为一个具有生命力的散斑计量方法, 还需要进一步的讨论, 同时也必须有进一步的改进措施。

由 1.3 节中关于光流场分析法的数学推导可以看到, 基于运动估计和分析的时-空梯度技术的光流场分析方法是建立在两个物理约束基础上的。散斑图像能否可以用光流场分析法来进行分析就在于散斑图像是否满足光流场分析的两个约束条件。这两个约束条件为:

1) 由(6)式表示的约束条件——假定图像在运动前后, 对应点的灰度保持不变。即在物体点发生运动以后, 在 $t + \Delta t$ 时刻, 图像上物体点从 (x, y) 位置移位到 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$, 而物体点灰度在运动前后保持不变。

2) 图像灰度分布在一定范围内保持连续, 该范围与物体发生位移的大小可以比拟。因为最小二乘方估计中公式的推导都是以(7)式的泰勒展开为基础的, 而要进行泰勒展开的先决条件就是要保证图像灰度分布在一定范围内保持连续。

对散斑图像来说, 如果保证在散斑图像位移前后激光光源及周围环境光不发生剧烈变化, 那么约束条件 1) 是能够得到满足的; 当散斑图像的移动位移小于散斑颗粒的大小时, 约束条件 2) 也能够得到满足, 而当散斑图像的移动位移大于散斑颗粒的大小时, 约束条件 2) 就无法得到满足了。这也就是图 5(d) 中当位移量接近散斑颗粒的大小时计算出现错误的原因。由此可见, 约束条件 2) 决定了一般情况下光流场分析法所能测量的上限, 同时也限制了用光流场分析法计算散斑图像位移的应用范围。

3.2 多通道处理方法引入的结果

通过以上关于约束条件的讨论, 可以这样来理解这一问题: 要从位移较大而散斑颗粒较小的两个运动前后的图像中求出运动矢量, 等同于在两幅充满细节的图像中寻找两个相同特征, 寻找的跨度越大, 与其他细节发生误判的机率就会越大。而在自然界中, 人和其他动物的视觉信息系统却成功的完成了这一功能, 他们可以在极短的时间内, 在极其复杂的自然背景下, 准确地完成运动检测及深度感知。通过对人类及其他动物视觉系统的研究, 人们发现视觉信息处理过程是一个多通道多尺度由粗到精的信息加工过程^[8, 9]。众多的学者从这一自然现象中得到启发。其中最著名的是 Marr 运用多通道, 成功地解决了大视差情况下的体视匹配问题(这是与光流计算相似的问题), 并且指出: “从较小的通道得到的零交叉(特征)比从较大的通道得到的要多得多, 这意味着较大的通道处理的视差(位移)范围较大, 而且不会引起假目标(错误)的增加。”

对于散斑图像来说, 大通道就是能使斑纹扩散的低通滤波器, 该滤波器频率越低则斑纹扩散越开, 其灰度连续区域也相应扩大, 而满足约束条件 2)。同时针对测量的需要, 该滤波器必须满足: 1) 不能导致图像的对比度过低; 2) 良好的位置保持性能; 3) 良好的噪声抑制性能。

条件 1) 保证在散斑图像反衬度较低的情况下也可正常处理; 条件 2) 表现在特征点(如极值点)位置的保持, 可保证在各种通道下的测量尽可能准确。本文采用奇 Gabor 函数作为滤波器。其表达式为:

$$S_0(x, y) = \left[\exp \left[- \frac{(x - x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(y - y_0)^2}{\sigma_y^2} \right] \right] \sin \{ 2\pi [f_x(x - x_0) + f_y(y - y_0)] \} \quad (14)$$

其通带宽度由 σ_x 、 σ_y 控制, 文献[10, 11] 对其特性进行了深入分析, 当 $\sigma\omega = 1$ 时满足条件 2) 和条件 3), 并接近于理想模型。同时它为带通滤波器, 由于去掉了零频, 所以不会导致反衬度下降。

图 6 为 $\sigma_x = 0.08$, $\sigma_y = 0.08$ 时的二维滤波器及其傅里叶频谱(图中均为取绝对值的结果)。

下面是通过多通道滤波处理的光流场分析的实验结果。为取得较小的散斑颗粒, 将 D 调整为 2 cm, $M = 1$, 此时 $D_{sp} = 10 \mu\text{m}$, 大约为 1~2 个象素大小。这里选择了 $\sigma = 0.04$ 、 0.08 、 0.16 、 0.32 四组通道, 对位移前后图像分别进行卷积, 然后再进行光流分析。图 7(a) 为散斑原始图像, 图 7(b)~(e) 为四个通道卷积后的结果, 可见随着通道的加大, 图中颗粒结构越来越大, 同时还可发现图像

反衬度较原始图有所提高。表 1 为对各通道滤波后, 进行光流分析的结果。其中可看出通道

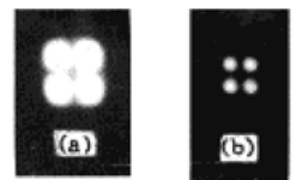


Fig. 6 2-D filter and Fourier pattern (a) 2-D Gabor filter, (b) the Fourier transform of 2-D Gabor filter

大小和测量位移大小间明显的对应关系。

Table 1. The result of optical flow analysis

channel displacement (um)	CH ₁	CH ₂	CH ₃	CH ₄
	$\sigma = 0.04$ $\omega = 2.5$	$\sigma = 0.08$ $\omega = 12.5$	$\sigma = 0.16$ $\omega = 6.25$	$\sigma = 0.04$ $\omega = 3.125$
20	$u = 24.0$ $v = 3.0$	$u = 22.5$ $v = 4.0$	$u = 19.0$ $v = 2.0$	$u = 7.5$ $v = 4.5$
40	$u = 4.0$ $v = -1.0$	$u = 5.0$ $v = -1.0$	$u = 60.8$ $v = -7.8$	$u = 48.8$ $v = -12.0$
80	$u = 0.0$ $v = 0.0$	$u = 9.6$ $v = -2.4$	$u = 76.8$ $v = -15.6$	$u = 108.3$ $v = -14.7$
160	$u = 0.0$ $v = 0.0$	$u = 0.0$ $v = 0.0$	$u = 1.2$ $v = -1.5$	$u = 146.4$ $v = -12.3$

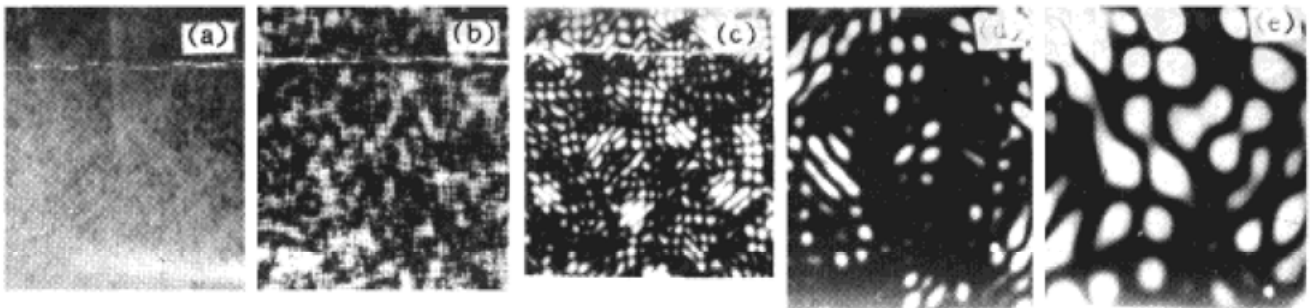


Fig. 7 The convolution results

由上表可以看到，细通道无法测量较大的位移，如第一通道只能对位移为 20 μm 的图像进行很好的检测；第三通道就能对位移为 20 μm 、40 μm 、80 μm 的图像进行检测，但却不能很好地检测 160 μm 位移的图像。虽然粗通道测量范围宽，但由于细节的丢失而精度较差，而细通道测量范围有限但精度较高。因此在实际测量中先采用大通道粗测得到 (u, v) ，然后对原始图像按 (u, v) 调整后，再用较小通道测量，如此反复调整，通道由粗及精，可获得较为精确的结果。

结 语 本文将计算机动态图像处理的方法应用到光学的散斑计量中，这种方法显然有其简便、快速和直观的优点，同时以一种全新的概念去理解散斑计量。实验结果证明，将光流场分析方法引入到散斑计量术中是行之有效的。散斑图像的光流场分析方法与传统的散斑计量方法在思想上有很大的差异，光流场方法的灵感来源于对运动视觉系统的研究。本文提出这一方法的目的并不在于想代替原有的双曝光等方法，而在于与原有方法取长补短，相得益彰，开阔解决问题的思路。同时为散斑计量术能够实现真正的实时测量，从而跨入更广阔的实际应用领域提供了一条新的研究途径。

参 考 文 献

- [1] H. Fujii, T. Asakure, Y. Shindo, Measurement of surface roughness properties by using speckle contrast. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1976, **66**(11) : 1217~ 1222

- [2] E. Archbold, A. E. Ennos, Displacement measurement from double-exposure laser photographs. *Opt. Acta.*, 1972, **19**(4) : 253~ 271
- [3] G. Cloud, Practical speckle interferometry for measuring in-plane deformation. *Appl. Opt.*, 1975, **14**(4) : 878~ 884
- [4] O. J. Lokberg, K. Hogmoen, Vibration phasemapping using electronic speckle pattern interferometry. *Appl. Opt.*, 1976, **15**(11) : 2701~ 2704
- [5] W. B. Thompson, S. T. Barnard, Lower-level estimation and interpretation of visual motion. *Computer*, 1981, **14**(8) : 20~ 28
- [6] 徐建华编著, 图像处理与分析. 北京, 科学出版社, 1992
- [7] B. K. P. Horn, B. G. Schunck, Determining Optical Flow. *Artificial Intelligence*, 1981, **17**(3) : 185~ 203
- [8] 王植恒, 万海峰, 傅玉川, 视觉系统初级信息处理的时变通带滤波模型. 生物物理学报, 1993, **9**(4) : 605~ 610
- [9] D. Marr, 视觉计算理论, 北京, 科学出版社, 1988
- [10] R. Mehrotra, K. R. Namuduri, N. Ranganathan, Gabor filter-based edge detection. *Pattern Recognition*, 1992, **25**(12) : 1479~ 1494
- [11] John Canny, A computational approach to edge detection. *IEEE Tran on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, **PAMI-8**(6) : 679~ 698

Optical Flow Analyses on Speckle Patterns

Wan Haifeng

(The South-West Institute of Physical Technology, Chengdu 610041)

Fu Yuchuan Wang Zhiheng

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

(Received 21 August 1995; revised 16 April 1996)

Abstract A new method of speckle metrology techniques called optical flow analysis is proposed based on dynamic scene analysis. From a new point of view, the probability of using the concept of image sequence processing to analyse speckle patterns is discussed in detail. It is proved that if speckle patterns do not meet the constrained conditions for optical flow analyses, a multichannel image processing method can be used to change the continued distribution of images to expand the measurement range. With classical metrology techniques, speckle patterns must be processed in spatial frequency domains. But by using optical flow analyses, speckle patterns can be directly processed in spatial domains. It provides a new way to reach the real-time measurement of speckle patterns.

Key words speckle metrology, image sequence processing, optical flow analysis, multichannel image processing.