

## 瞬态干涉图条纹预处理方法研究

林振华 陆建 倪晓武

(南京理工大学应用物理系, 南京, 210094)

摘要: 本文就含冲击波的瞬态流场干涉图的预处理方法, 特别是细化算法进行了研究, 通过处理的瞬态流场干涉图可满足后续的计算机自动数值处理要求。

关键词: 干涉图 条纹细化

### A pre-processing method of interference fringe pattern of transient flow field

Lin Zhenhua, Lu Jian, Ni Xiaowu

(Dept. of Appl. Phys., Nanjing University of Science and Technology)

**Abstract:** With a CCD camera, the time sequence pictures of a transient flow field can be taken up. In order to analysis of the dynamic parameters of the field, it is necessary to make the pre-processing of the pictures. This paper introduces a pre-processing method including the portioning sharpening, vicinity average filtering, bit mapping, Hilditch linking. Especially, a branch eliminating is used for obtaining the continuous interference lines pattern. This method is well satisfied with the requirement of automatical data processing.

**Key words:** interferograms frame-thinning

#### 一、引言

随着计算机和数字图象处理技术的发展, 光学干涉条纹图的人工判读处理已逐渐由计算机处理取代, 而图象采集板和 CCD 硬件设备的发展又使得实时自动处理瞬态干涉图成为可能。为满足数值处理的要求和提高判读精度, 必须在提取干涉条纹的漂移量之前对原始图象进行预处理。预处理包括消除背景噪声、锐化、滤波、细化和消除短枝等步骤, 经过处理后的干涉图中暗纹宽度应为一个象素, 且条纹平滑无短枝。对静态干涉图的上述预处理算法已有文献报道<sup>[1]</sup>。如对背景噪声的处理是通过采集一幅干涉图和一幅背景图, 通过计算机图象相减以消除噪声; 而且静态干涉图条纹的边缘比较平滑, 通过给定阈值和二值化就可得到理想的无短枝的细化干涉图。但是利用脉冲激光作为光源摄取的瞬态干涉图因不能得到两幅光强分布完全相同的干涉图, 也就无法进行图象相减。而对于一些暗区亮纹的照度不及亮区暗纹照度的瞬态干涉图, 如采用全幅图象统一的阈值进行预处理就可能误消除亮区的暗纹, 以致无法进行后续数值处理。

针对瞬态干涉图预处理中存在的问题, 笔者提出了对瞬态干涉图采用分块锐化、邻域平均滤波和分区二值化, 以及 Hilditch 细化等方法, 并针对处理后的尚存的短枝进一步消除, 从而得到了可供后续数值计算使用的干涉图。

## 二、瞬态干涉图条纹细化算法

### 1. 分割图象, 逐块锐化

对图象进行分块处理是为了克服整幅图象对比度的不均匀性, 但图象的分块也应有一定条件, 首先为了使每块区域包含完整的黑白条纹信息, 因而区域的宽度应至少大于两个条纹宽度, 而并非分得越小越好; 其次, 相邻两个区域应有几个象素宽度的重叠, 以避免分区处理带来的间隙噪声。根据上述原则, 我们首先统计每一区域内的直方图, 即各灰度值所对应的象素数, 得到灰度最大值  $g_{max}$ 、最小值  $g_{min}$  和中间值  $g_{mid}$  (使灰度从  $g_{max}$  到  $g_{mid}$  的象素数为总象素数的一半), 并令

$$th_{max} = (g_{max} + g_{mid}) / 2 \tag{1}$$

$$th_{min} = (g_{min} + g_{mid}) / 2 \tag{2}$$

利用这些数据, 就可开始锐化。逐个读取各点灰度值, 对于灰度值大于  $th_{max}$  的为亮条纹点, 则置输出为 255, 而灰度值小于  $th_{min}$  的认为是暗条纹点, 置输出为 0。对于其余点, 则需要结合该点处的差分梯度值和邻域平均值来判断, 令差分算子为

$$\begin{aligned} A = & | (f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) \\ & - (f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)) | \\ & + | (f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) \\ & - (f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)) | \end{aligned} \tag{3}$$

邻域的灰度平均值为

$$B = \sum f(x+i, y+j) (i = j = -1, 0, 1) \tag{4}$$

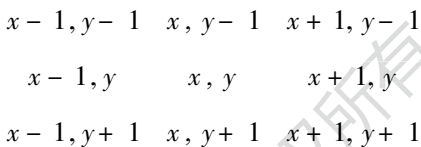


Fig. 1 The (3×3) window used in calculation

取如图 1 所示取 3×3 窗口计算 A 值, 若 A 大于某一阈值, 则认为是黑白条纹边缘点, 置输出为  $g_{min}$ , 对于小于阈值的点, 认为是非边缘点, 还要取该点邻域的灰度平均值 B, 若 B 大于  $th_{max}$ , 则认为是亮条纹点, 置输出为  $g_{max}$ , 若 B 小于  $th_{min}$  则认为是暗点, 置输出为

$g_{min}$ , 剩余的点按该点原灰度输出。经过这样处理后的图象加强了亮暗条纹的对比度, 使本来灰度值相近的部分能区别开, 而对于那些未作判断处理的点。可以通过后面对图象作邻域平均滤波时消除噪声。

### 2. 邻域平均滤波, 分区二值化

由于锐化后的图象突出了亮暗条纹, 将损失一些中间灰度级, 且产生了一些边缘噪声, 所以需用滤波消除噪声的影响, 而采用邻域平均滤波, 即将各点的灰度值用它的邻域平均值代替, 就可以起到平滑图象的作用。

滤波平滑后的图象便可进行二值化处理, 本文仍然采用分区定阈值二值化, 分区范围与锐化时一致, 阈值则采用统计直方图的方法找出。

### 3. 几种细化方法

干涉条纹经过二值化处理后, 已经成为具有一定宽度的二值条纹, 条纹的细化就是把一定宽度的条纹变换成单象素宽度的“骨架”的过程, 所提取出的骨架应具有表征原始图象的拓特性。同时, 细化后的条纹图象可以大幅度压缩, 以减少数据文件的冗余量, 从而提高处理速度,

更重要的是提高了条纹位移量的判读精度。因此,细化是预处理中关键的一步。计算机图象处理中,有许多图象细化算法,根据瞬态干涉图的特点,我们比较了下列几种算法:

(1) 中位细化法 这是对质量较好的条纹图的一种简单迅速的方法,即取暗条纹(或亮条纹)的中心点作为该条纹的细化线。由于干涉条纹灰度呈正弦波变化,因而中心点即为峰值点,因此也达到了较高的精度。

(2) Rosenfield 8(4) 连结细化<sup>[3,4]</sup> 这是一种并行算法。首先,对于任意象素 $(i, j)$ ,把象素的集合 $\{(i-p, j+q)\} (p, q \text{ 为整数})$ 称为其邻域。一般采用4邻域和8邻域。4邻域指 $(i, j)$ 上下左右四个邻域点的集合,8邻域指 $(i, j)$ 周围8个点的集合。如果某点的8邻域中至少有一点不为零,则称该点具有8连结性,若某点的四邻域中至少有一点不为零,则称该点具有4连结性。

Rosenfield 算法先确定二值图象中可去点为那些至少满足图2中一个条件的点(图中 $x$ 可为0或1,与条件无关),而不可去点为那些至少满足图3(a, b)中任意条件的点(图中的 $x, y$ 可为0或1,但至少有一个 $x$ 点和一个 $y$ 点不为0);然后根据条件逐点扫描判断是否为可去点,若是则删除,循环执行以上步骤,直到图中所有点皆为不可去点。为了避免将不可去点误删除,又将每次循环分别针对图1中的4种情况分为4个子循环,每个子循环过程对应的可删除点和不可去点如附表所示,即每个子循环只删除一部分可去点。另外,在算法实现时,当仅对具有8连结性的点扫描判断时,称为图象的8连结细化;当仅对具有4连结性的点扫描判断时,称为图象的4连结细化。

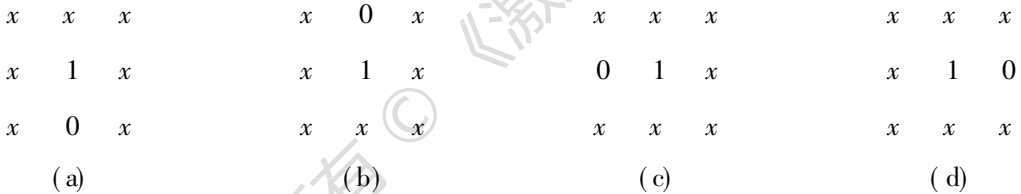
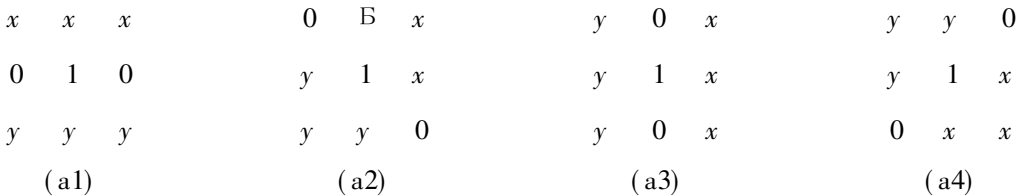


Fig. 2 Contour point definition

Table Conditions to the subcycles

| subcycle | type of contour points removed | figure 2 condition | figure 3(b) condition |
|----------|--------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 1        | lower                          | (a)                | (b1), (b2)            |
| 2        | upper                          | (b)                | (b3), (b4)            |
| 3        | left                           | (c)                | (b1), (b4)            |
| 4        | right                          | (d)                | (b2), (b3)            |



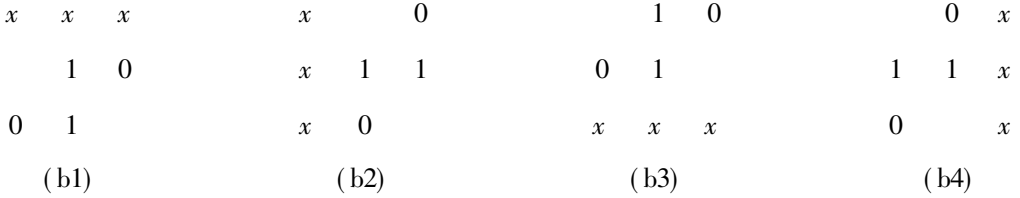


Fig. 3 Final point definition

(3) Hilditch 细化<sup>[2,4]</sup> Hilditch 细化方法是将二值图象中的点划分为几个集合: 1. 黑象素点集  $I = \{1\}$ , 2. 白象素点集  $N = \{0\}$ , 3. 可移去点集  $R = \{-1\}$  (当一个点被移去, 则置为  $-1$ ), 4. 不可移去点集  $U = \{2\}$  (当一个点为不可移去点, 则置为  $2$ ), 当然  $R$  和  $U$  都属于  $I$ . 然后逐点扫描, 通过计算点的 8 邻域的交叉数 (crossing number)  $x$  来判断。  $x$  的定义如下: 如图 4 示对  $p$  点的 8 邻域编码, 则  $x$

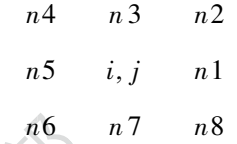


Fig. 4 Coding of the eight neighbour points

$(p) = \sum_{i=1}^4 bi$  (当  $n[2i-1] \in N$  并且,  $n[2i] \in I \cup R$  或  $n[2i+1] \in I \cup R$  时, 有  $bi = 1$ ), 当该点  $x$  值为 1 且其上方点  $(i, j-1)$  和左方点  $(i-1, j)$  均为不可去点时, 定该点为可去点, 并置为  $-1$ , 反复执行对图象的扫描判断, 将使二值图象的黑区域层层剥落, 直至剩余点均为不可移去点。

#### 4. 消除多余短枝

由于细化后的图象中的线条上常引出一些多余的短枝, 将影响条纹的判读, 因此需要执行消除短枝的算法。此时图象已经是单象素线条图, 则根据端点具有的仅与周围邻域点中的一个点相连的性质可检测出端点, 然后从该端点跟踪到最先出现的交点或分歧点, 判断它与端点间的距离是否大于预先给定的阈值  $L$ , 若小于  $L$  则消去跟踪的路径, 从而可使长度小于  $L$  的短枝全部被消去。

### 三、处理结果与比较

我们对光学介质薄膜表面产生的激光等离子体瞬态干涉图 5a 进行了预处理。该图经过锐化处理后的结果如图 5b 所示, 再经邻域平均滤波处理后见图 5c; 而再由分区二值化处理后的结果见图 5d; 在细化处理时, 我们采用了多种细化算法, 其中采用 Rosenfield 4 连结细化处理得到

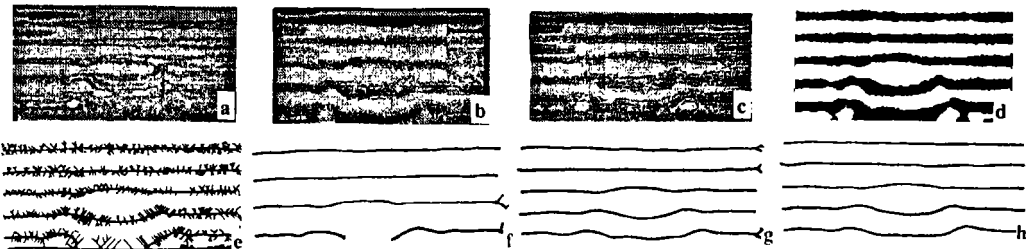


Fig. 5 The processing results of the transient interferograms

a—original transient interference pattern b—sharpened interferogram c—vicinity average filtering pattern d—portioning bit mapping pattern e—Rosenfield 4 neighbour linking pattern f—Rosenfield 8 neighbour linking pattern g—Hilditch linking pattern h—branch eliminating pattern

的干涉图如图 5e 所示, 采用 Rosenfield 8 连结细化处理得到的干涉图如图 5f 所示, 而利用 Hilditch 细化算法得到的干涉图示于图 5g。最后, 对图 5g 进行消除多余短枝后的干涉图见图 5h。

由上述处理过程与结果可以清楚地看到处理的效果。即锐化突出了条纹的边缘, 并检测出灰度差别大的位置。在这里也使用了差分算子, 但与一般意义的锐化不完全相同。邻域平均滤波可以平滑图象, 同时也消除了第一步处理中未作处理点所引起的噪声, 它比中值滤波更适用。

细化是图象预处理中最重要的步骤之一, 根据我们实践中所使用的几种算法及其处理结果可见: 中位细化法虽然算法简单, 但只适用于图象质量很好的静态干涉图; Rosenfield 细化法可处理复杂的二值图象, 但算法复杂, 循环次数多, 且对条纹边缘的平滑度要求较高, 其中的 4 连结细化法显然不适用于瞬态干涉图(见图 5e), 而 8 连结细化法虽然能用于瞬态干涉图, 但部分处理后的暗条纹仍存在双象索, 未达到处理要求(见图 5f); Hilditch 细化算法不仅计算量小, 而且对条纹边缘平滑度要求不高。因而可用于瞬态干涉图的细化, 而其存在的对条纹边缘凹凸度不敏感的缺点也不致影响处理结果和后续的数值计算。

条纹的短枝与细化的算法有关系, 但是却是瞬态干涉图特有的, 因此短枝的消去是处理瞬态图必不可少的步骤。

#### 四、结 论

由本文的分析和给出的处理结果可见: 图象分区锐化、邻域平均滤波、分区二值化、8 连结细化、消除短枝等步骤是对瞬态干涉图进行预处理行之有效的算法, 特别是采用 Hilditch 细化算法能满足瞬态干涉图预处理的要求, 不失为处理瞬态干涉图的一种好方法。

本工作得到国家教委《跨世纪优秀人才计划》专项基金资助。

#### 参 考 文 献

- 1 赞诺尼 C A. 一种新的半自动的干涉图判读技术(A. H. Guenther and D. H. Liebenberg, ed.). 光学干涉图的处理与判读. 北京: 机械工业出版社, 1986: 27
- 2 Hilditch C.J. Linear skeletons from square cupboards, Machine Intelligence IV, B. Meltzer, Edinburgh: University Press, 403
- 3 Stefanelli R, Rosenfield. Some parallel thinning algorithms for digital pictures, J Assoc Comput March, 1971; 18(2): 255
- 4 王煦法, 庄镇泉, 王东生. C 语言图象处理程序设计. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1994: 253, 266, 271

作者简介: 林振华(附照片), 男, 1972 年 5 月出生。硕士。现从事干涉图的图象处理方面工作。

陆 健, 男, 1965 年 8 月出生。副教授, 博士。从事激光与物质相互作用机理与应用研究。

倪晓武, 男, 1955 年 7 月出生。教授, 硕士。从事激光与物质相互作用机理与应用研究。

收稿日期: 1995-05-15 收到修改稿日期: 1996-03-22

