

# 数字相衬法成像

周志清

(中国科学院武汉物理研究所)

## 提 要

本文给出了数字相衬法成像的技术,并对激光扫描声显微镜的数据进行了处理,结果表明数字相衬法的像比普通方法的像更好。和相位板相比,数字方法简单易行,用途广泛。

关键词: 相衬法成像,相位板,后向投影法。

当观察通过相位物体的像时,通常用人们熟知的相衬法成像<sup>[1]</sup>。其原理: 相位物体可表示为

$$F(x, y) = A \exp[i\phi(x, y)] \approx A[1 + i\phi(x, y)], \quad (1)$$

式中  $A$  为幅度,通常  $\phi \ll 1$ , 所以可近似地表示为上式。其强度为

$$I(x, y) = A^2(1 + |\phi|^2) \approx A^2, \quad (2)$$

相衬法即将(1)式改变为

$$F(x, y) = A[\pm i + i\phi(x, y)], \quad (3)$$

再成像,其强度分布为  $I(x, y) = A^2[1 \pm 2\phi(x, y)]$ 。

从式(4)可看出,相位变化已转换成强度变化,且此时像比例于相位关系。相衬法是将零级衍射光相对于其他部分超前或延迟( $\pi/2$ )。通常用一个叫相位板的器件来完成。当然也可以用数字相衬法成像。

作为一个例子,对激光扫描声显微镜得到的数据进行数字相衬处理。

### 1. 普通方法成像

本实验用的物体是一块塑料板,在表面上有二道划痕,如图1所示。平面声波从有划痕

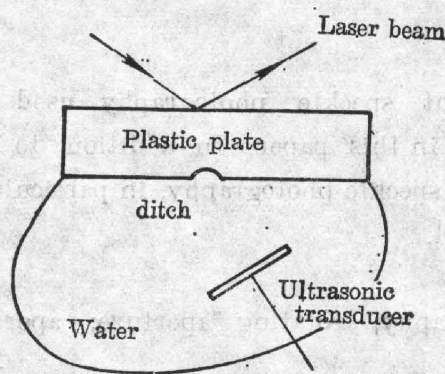


Fig. 1 The object stage schematic

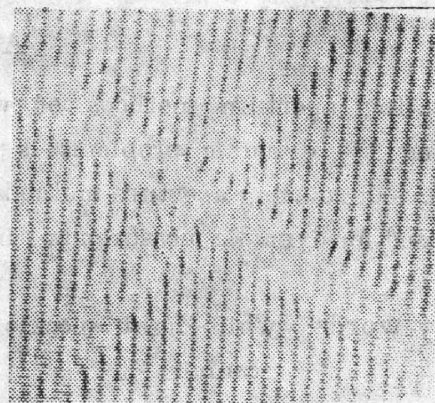


Fig. 2 The real part of raw data

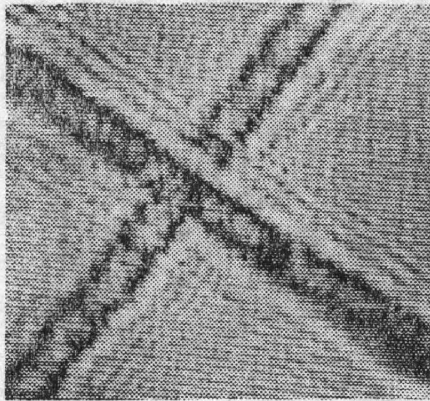


Fig. 3 Amplitude image on the scanned surface

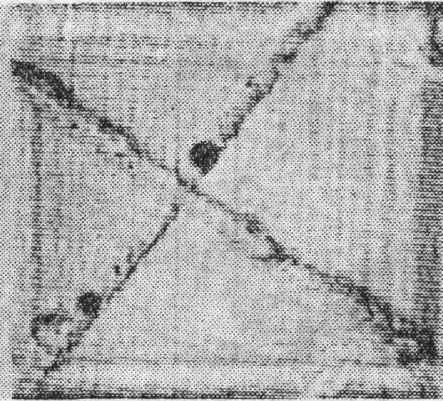


Fig. 4 Amplitude image using Back-projection method

的一面去照射,激光在另一表面扫描。这种安排和散射结构在物体内部是等同的。光扫描的面积为  $2.56 \text{ mm}^2$ , 划痕的宽度约为  $0.13 \text{ mm}$ , 塑料板的厚度为  $1.44 \text{ mm}$ 。用正交检测。图 2 为原始数据的实部。直接算出在物表面的像,如图 3 所示。因为散射结构不在扫描表面上,所以这个像和实际结构有较大差别,从图中按比例来看,宽度约为  $0.21 \text{ mm}$ , 比划痕的实际宽度要大。要得到在散射源平面上的像,可用后向投影法<sup>[4,5]</sup>成像,方法是在其傅里叶谱上加一个含深度因子的二次相位补偿。图 4 为用后向投影法得到的像,它是散射结构的真实反映。

## 2. 相衬法对其成像

相衬法的具体步骤是:

- (1) 对原始数据进行快速傅里叶变换;
- (2) 找到载波空间频率点,然后将实部的这个点和虚部的这个点之值进行互换,也可再将实部的这个点值改变符号;
- (3) 快速傅里叶逆变换 (IFFT);
- (4) 算出强度。

在本实验情况下,还要加上后向投影法,所以全过程为:原始数据→快速傅里叶变换→相位补偿→实部和虚部的载波空间频率点之值互换(或加上实部点变号)→快速傅里叶逆变换→成像。其中相位补偿是为了使像聚焦在散射结构平面上。实部和虚部载波空间频率点互换是相衬法,变号和不变号相当于延迟和超前( $\pi/2$ )。图 5 和图 6 就是按此过程得到的像。图 5 为超前( $\pi/2$ ),图 6 为延迟( $\pi/2$ )。把它们和图 4 相比,显得更清晰。

应该注意的是,虽然载波空间频率点可以从谱上找到,但最大值有时并不一定正好落在数字分立点上。所以,最好把相邻的一点也包括进去,即以那个点为中心,把四周紧邻的四个点一起包括进去而再互换。

另外,作正交检测,有了复值数据,本可以直接算得相位关系。方法是将傅里叶谱进行平移,使得载波空间频率点被移到坐标系原点上。但由于上述的原因,其最大值不一定正好在原点上,这就会引起误差,所以它不及相衬法好。另外,还有暗场法,它是令(1)式中的直

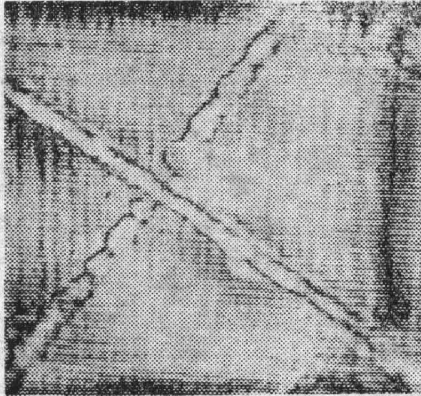


Fig. 5 Amplitude image using  
Back-projection method phase  
contrast method (advanced)

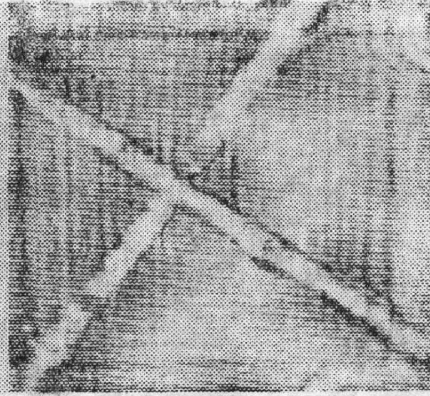


Fig. 6 Amplitude image using  
Back-projection method phase  
contrast method (retarded)

流部分为零,所以强度就是  $A^2\phi^2$ 。这也可用数字法完成,只在第二个步骤中,令载波空间频率点的值为零就行,其他步骤不变。但是一般  $\phi$  很小,平方之后就更小了。再者,此时像和相位的关系不是线性,所以也不及相衬法佳。

在用数字成像的地方,数字相衬法就可使用。不论是光波、声波还是微波等。尤其是当幅度像比较差,相位像更有利于图像识别。

本实验是在美国明尼苏达大学声成像及声信号处理理论研究中心做的,对他们提供的方便致以谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] M. Born, E. Wolf; *«Principles of Optics»*, (Pergamon press, New York, 1959), 424.
- [2] L. W. Kessler, D. E. Yuhes; *Proc. IEEE*, 1979, **67**, No. 4 (Apr), 526~536.
- [3] R. K. Mueller, R. L. Rylander; *J. O. S. A.*, 1979, **69**, No. 3 (Mar), 407~412.
- [4] A. L. Boyer *et al.*; *«Acoustical Holography»* Vol. 3 (Ed. by A. F. Metherell, Plenum press, New York, 1971), 333~348.
- [5] R. K. Mueller, W. P. Robbins *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **48**, No. 23 (9 Jun), 1577~1578.

### Digital phase contrast imaging

ZHOU ZHIQING

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 20 July 1987)

#### Abstract

The digital phase contrast method is described, and it is used to process the data acquired from Scanning Laser Acoustical Microscope. Images obtained are quite clear.

**Key words:** phase contrast imaging; phase plate; backprojection method.