

# 能扫描任意函数图像的光扫描器

高文琦 叶权书  
(南京大学物理系)

## 提 要

用计算全息方法制作的光扫描器具有适用波段广、灵活性高等优点,但所能扫描的函数图像类型有限。用本文所提出的纵扫描法,则可以扫描任意函数图像,文中介绍了这种方法的要点,并附实验结果。

## 一、引 言

在激光的应用(如光切割、光存贮)中,常常需要令激光束以一定速率扫描,或沿一定曲线偏转。具有这种功能的器件称为光扫描器。与其它方法(例如声光偏转、电光偏转)相比,用全息方法制作的光扫描器有很多优点<sup>[1]</sup>。用计算全息方法又有其特殊优点。目前大功率高效率的激光(例如用于切割的CO<sub>2</sub>激光器输出的10.6 μm激光)在红外波段,由于缺乏合适的记录介质,采用普通全息方法有一定的困难<sup>[2]</sup>,而计算全息方法则不受此限制,可以用于红外、毫米波、微米波段<sup>[3]</sup>。因此自计算全息方法提出<sup>[4]</sup>以来,受到广泛的注意。

## 二、需要解决的数学问题

光扫描器所用计算全息图由一组条纹组成,条纹画法与电场等位线画法相似。以 $\phi(x, y) = n$ 表示条纹曲线的方程, $\phi(x, y)$ 称为全息函数,式中 $n$ 为参变量,条纹实际上即等 $n$ 线,相邻两条纹间的 $n$ 值相差一常数。以激光束照射全息图,图后衍射+1级扫描光点的坐标 $\xi, \eta$ 满足以下偏微分方程<sup>[4]</sup>:

$$\xi = k \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad \eta = k \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad (1)$$

式中 $k$ 为比例常数。如果全息方程 $\phi(x, y) = n$ 已知,代入上式即得扫描曲线的参数方程:

$$\xi = \xi(x, y), \quad \eta = \eta(x, y), \quad (2)$$

(2)式也可写成 $\xi = \xi(\eta)$ 或 $\eta = \eta(\xi)$ 的函数形式,称为扫描函数。从全息函数 $\phi(x, y)$ 求扫描函数是一简单又直接的微分运算。但制作计算全息图所面临的问题是:给出扫描函数 $\xi = \xi(\eta)$ 或 $\eta = \eta(\xi)$ 。求一函数 $\phi(x, y)$ 使满足扫描条件(1)式。这是联立偏微分方程组的求解问题。

## 三、常用横扫描方法的局限性

常用的方法是沿 $x$ 方向匀速带动全息图(激光束照射的部分 $y$ 为常数),使图后偏转光

束沿  $\xi$  方向扫描速率均匀不变, 这种方法称为横扫描。此时扫描光点的座标  $\xi$  与  $x$  呈线性关系,  $\eta$  则按扫描函数  $\eta(\xi)$  变化。用数学表示这种关系:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{1}{k} \xi = ax + b, \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{1}{k} \eta = \frac{1}{k} \eta(\xi), \quad (3)$$

式中  $a$ 、 $b$ 、 $k$  均为常数。以下为简单起见, 不妨令  $a=1$ ,  $b=0$ ,  $k=1$ , 这不妨碍我们讨论问题的实质。这样上式变为

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \xi = x, \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = \eta = \eta(\xi) = \eta(x), \quad (4)$$

从(4)式中前一式可见: 待求全息函数  $\phi(x, y)$  应含有  $x^2$  项, 以保证光点在横方向扫描的均匀性。从(4)式中后一式可见: 待求全息函数  $\phi(x, y)$  中应含有  $\eta(x) \cdot y$  项, 以保证光点在纵方向按所给扫描函数  $\eta(\xi)$  扫描。但  $\phi(x, y)$  含有  $\eta(x) \cdot y$  项以后,  $\frac{\partial \phi}{\partial x}$  将含有  $\eta'(x)y$  项, 当  $\eta'(x)$  不是  $x$  的一次函数时, 将破坏横方向扫描的均匀性。因此用横扫描方法所能扫描的函数  $\eta = \eta(\xi)$  类型是很有限的。

#### 四、纵扫描方法能扫描任意函数图像

如果采用我们称之为纵扫描的方法, 则可以克服以上困难。所谓纵扫描即当沿  $x$  方向匀速带动全息图时, 使图后偏转光束沿  $\eta$  方向扫描速率均匀不变。此时扫描光点的座标  $\eta$  与  $x$  呈线性关系,  $\xi$  则按扫描函数  $\xi(\eta)$  变化, 即

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{1}{k} \xi = \frac{1}{k} \xi(\eta), \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{1}{k} \eta = ax + b, \quad (5)$$

式中  $a$ 、 $b$ 、 $k$  均为常数。同样为了简单起见, 令  $k=1$ ,  $a=1$ ,  $b=0$ , 上式变为

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \xi = \xi(\eta) = \xi(x), \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = \eta = x, \quad (6)$$

解这组偏微分方程时, 可以考虑以下形式的函数:

$$\phi(x, y) = xy + F(x), \quad \phi(x, 0) = \int_0^x \xi(t) dt, \quad (7)$$

$\phi(x, 0)$  为扫描函数  $\xi(\eta)$  的积分, 这个积分运算常常可以办到。当以(7)式作为全息函数时, 扫描光点的参数方程为

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \xi = y + \xi(x), \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = \eta = x, \quad (8)$$

与(6)式比较可见: 除第一式中多一项  $y$  以外, 的确可以满足扫描条件。由于沿  $x$  方向带动全息图, 激光束照射部分  $y$  为常数, 因此用纵扫描方法所扫描出的图像, 与原来扫描函数图像相差一常数  $y$ , 我们将此项  $y$  称为偏置项。

#### 五、拖曳现象及改进的方法

由于存在偏置项, 又因激光束总有一定的宽度  $d$  (为了充分利用全息图, 激光束宽度即

全息图高度,如图 1 所示),因此激光束照射的全息图上端与下端,将分别扫描曲线  $\xi(x) + y + d$  和  $\xi(x) + y$ , (本应有  $k$  倍,为简单起见已令  $k=1$ )。而全息图的其余部分所扫描曲线则介于二者之间,形成一种拖曳现象,如图 2 所示。显然  $d$  愈大,拖曳距离  $kd$  也愈大,拖曳现象愈严重。

为了减轻拖曳现象,可减少  $d$ ,但这将减少通过全息图的光通量,再现像的强度和分辨率也将随之降低,显然这不是一种好的方法。为此可这样考虑,将全息图分成上、下两部分,全息方程分别为

$$\left. \begin{aligned} \phi_1(x, y_1) &= xy_1 + \phi(x, 0), \\ \phi_2(x, y_2) &= x(y_2 - \Delta) + \phi(x, 0), \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$\Delta$  为待定参数。它们扫描的曲线方程将分别为

$$\xi_1 = y_1 + \xi(x), \quad \xi_2 = y_2 - \Delta + \xi(x) \quad (10)$$

从上式可见,当  $y_2 - \Delta = y_1$  时,上、下两部分扫描曲线将完全重合,扫描曲线拖曳距离将减少一半,而像的强度和分辨率并不随之下降。在决定参数  $\Delta$  时,注意上、下两部分  $y$  向座标  $y_2, y_1$  之间相差全息图宽度  $d$  的一半,即  $y_2 - y_1 = d/2$ , 因此取  $\Delta = d/2$ , 就能满足  $y_2 - \Delta = y_1$  条件,这意味着只需将原全息图的上半部省掉不画,而将下半部全息图按原样延拓于上半部即可(如图 3 所示)。这与通信技术中增加剩余度以提高信号可靠性的方法相似。但是仅仅增加重复次数,并不能增加信息量,由傅里叶变换特性可以证明,全息图延拓将使再现像产生插零现象<sup>[5]</sup>,也就是再现像上出现规则分布的暗条。延拓次数愈多,插零现象愈显著。

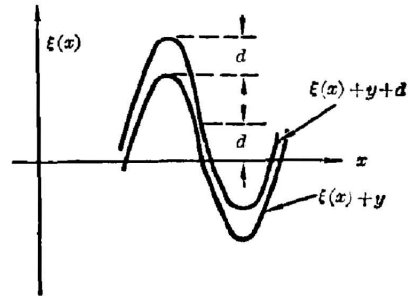


图 1

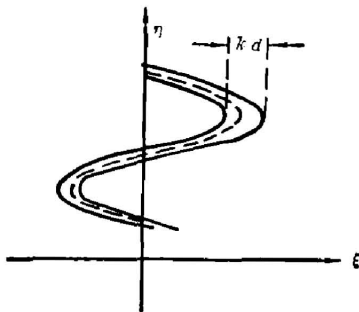
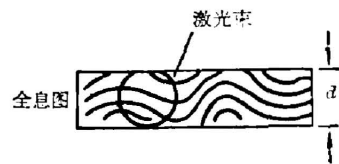


图 2

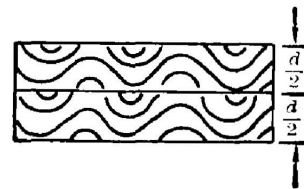


图 3

## 六、实验结果

扫描函数为

$$\xi(\eta) = \sin C\eta \quad (11)$$

全息方程为

$$\phi(x, y) = (x+2)y + 20 \text{si}(x-9.4), \quad (12)$$

式中函数  $\text{si}(x)$  为  $\sin C$  函数的积分,即

$$\text{si}(x) = \int_0^x \sin Ct dt. \quad (13)$$

全息图上条纹即等  $n$  线  $\phi(x, y) = n$ ,  $n$  取  $0, \pm 0.1, \pm 0.2, \dots$  并相间涂黑, 目的在于

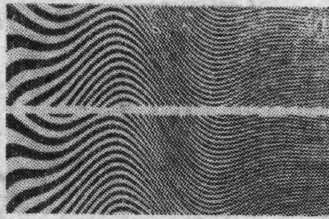


图 4

压低二级衍射, 再在  $y$  方向延拓一次。图 4 为其放大像, 实际尺寸约为  $3\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。图 5 为再现光路简图。图 6 为扫描轨迹照片(未放大, 但遮去零级)。注意图中插零及拖曳现象。(12)式中以  $(x+2)y$  项代替(7)式中的  $xy$  项是为了使再现现象不要过分靠近零级。用  $\text{si}(x-9.4)$  为全息函数的目的是使扫描出的  $\sin C$  曲线继续上移。又在  $\text{si}$  函数前乘以 20 是为了使扫描出的  $\sin C$  函数值增大 20 倍, 因  $\sin C$  函数值很小(最大值为 1), 不乘以 20, 曲线将过于平缓。

最大值为 1), 不乘以 20, 曲线将过于平缓。

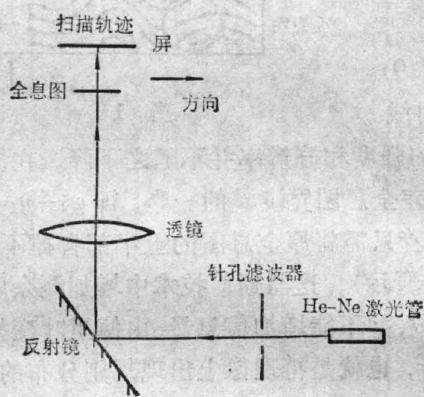


图 5

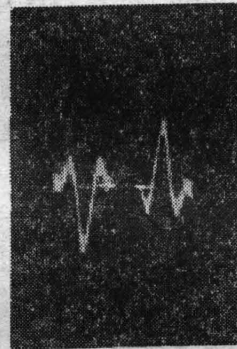


图 6

## 七、小 结

以上实验结果表明, 只要给出扫描函数  $\xi(x)$ , 总可用纵扫描方法扫出其图像。而常用横扫描方法所能扫描的函数类型是有限的。纵扫描方法所引起的拖曳现象, 是一种简单而有规则的象像, 容易设法克服或减轻。纵扫描方法的另一优点是: 可以扫描出任一以离散值形式给出的图像, 例如字母、符号等, 因而具有实际意义。

## 参 考 文 献

- [1] W. H. Lee; *Ed by E. Wolf; Progress in Optics, Vol. 16*, (North-Holland Pub. Comp., Amsterdam, New York, Oxford, 1978), 228.
- [2] W. H. Lee; *Opt. Commun.*, 1980, **34**, No. 1 (Jul), 29.
- [3] C. S. Ih *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 10 (15 May), 1582.
- [4] O. Bryndahl, W. H. Lee; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 1 (Jan), 183.
- [5] 高文琦, 叶权书; *《南京大学学报》*, 1980 物理学专刊, 57.

## Laser beam scanner for any function curve scanning

GAO WENQI AND YE QUANSHU

(Department of Physics, Nanking University)

(Received 12 December 1981)

### Abstract

A new type of laser beam scanner using computer-generated hologram is proposed. This method (authors call ordinal scanning) is able to scan any function curves, while the laser beam is deflected in a direction perpendicular to the motion of the CGH.

### 第三届全国高速摄影与光子学学术会议

中国光学学会主办的第三届全国高速摄影与光子学学术会议于1982年11月25日至30日在我国四川省乐山市召开。来自全国18个省市16个系统92个单位的240名代表出席了会议。中国光学学会副理事长、中国科学院学部委员、高速摄影与光子学专业委员会主任、中国科学院西安光机所所长龚祖同教授主持了会议并致开幕词。他认为本学科的发展情况是：“光机式高速相机已退居二线，光电式、变像管相机日渐增多，其原因是光机式相机的速度较低，不合乎目前超短时间分辨的要求。现在的趋势是向微微秒进军，向毫微微秒摸索”。“总起来看，生物学探索分子间的相互作用问题，化学处理外壳层电子之间的问题，核聚变深入到原子核之间的动态相互作用问题，各有各的贡献，其目的都是征服自然而造福于人民”。高速摄影技术则将在这些领域的应用中作出贡献。

大会报告共八篇，其中三篇是介绍第十五届国际高速摄影与光子学会议的概况。今天国际上高速摄影技术的发展动态是：应用推广；变像管相机迅速发展；实时图像处理技术不断改进；以及光源和显示手段的新发展。

95篇论文分三个会场进行宣读和讨论，其内容分别为：中、低速相机及其数据处理和应用技术；转镜、网格、变像管、X射线摄影、高速电视及它们的应用技术；激光技术、全息摄影、干涉、纹影、阴影摄影、高速莫尔条纹技术及其应用技术。

这次会议的报告内容反映了我国高速摄影与光子学的发展与国际上的总趋势是一致的，而且有我国的发展特色，速度也是快的。简单地可从下列情况看出：

**间歇式高速电影摄影机** 已从试制、应用到提出改进方案。

**16mm 棱镜补偿式相机** 研制了两种相机，其性能指标已接近同类国外产品的先进水平，而且还注意到其通用性。

**鼓轮式相机** 在卷片系统和多机联动方面均有新发展，同时研制成大幅面狭缝鼓轮高速相机和闪光灯鼓轮分幅高速相机。

**转镜式高速相机** 已注意把微型计算机技术用于控制系统，并对相机性能和参数进行大量的检测，在扫描速度和时间分辨本领上均有改进，在小型化方面采用了中规模数字集成电路、可控硅等技术。

**变像管相机** 已研制成等待型分幅变像管相机，每幅最短曝光时间为20ns，同时对亚微微秒时间分辨变像管相机，微微秒相机，X射线变像管相机等均作了大量的基础研究工作。

(下转第247页)