

利用光栅对字符进行相加和相减

叶蓉华 何永蓉

(南京大学物理系)

提要: 利用光栅作为滤波器,在相干光处理系统中可对字符进行相加和相减。本文介绍利用正弦光栅和 Ronchi 光栅对字符进行相加和相减,对这两种情形中相加后的一级象强度进行了比较。

Optical addition and subtraction of characters by grating

Ye Ronghua He Yongrong

(Department of Physics, Nanjing University)

Abstract: The addition and subtraction of characters can be performed in a coherent optical processing system if a grating is used as a filter. In this paper, we describe the addition and subtraction of characters by a sinusoidal grating and a Ronchi grating. We compared the intensities of the first order image after addition by sinusoidal grating with that by Ronchi grating.

一、原 理

在相干光处理系统中,利用正弦光栅或 Ronchi 光栅作为空间滤波器,可对字符进行实时的相加或相减运算。

相干光处理系统如图 1 所示,其中 L_1 是准直透镜; L_2 、 L_3 是 Fourier 变换透镜; P_1 是输入平面; P_2 是空间滤波器平面,光栅就放在该平面上; P_3 是输出平面。

被相加、相减的字符放在 P_1 平面中 x_1

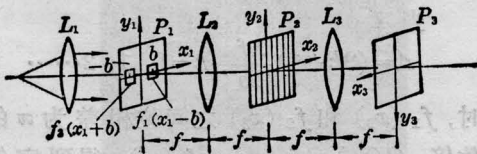


图 1

轴上,一个中心在 $x_1 = b$ 处,另一个中心在 $x_1 = -b$ 处,选择距离 b 时应注意不使两组字符有重叠部分,同时又要满足透镜进行 Fourier 变换的近似条件(b 不可过大)。

设输入平面的复数振幅透射率函数是

$$t(x_1) = f_1(x_1 - b) + f_2(x_1 + b), \quad (1)$$

f_1 、 f_2 分别代表输入平面上的两组字符。用均匀的相干平面波 λ 照明 $t(x_1)$, 根据相移定理可知,在滤波平面 P_2 前面的复数振幅分布是

$$A_{P_2}(v) = F_1(v) e^{-i2\pi vb} + F_2(v) e^{i2\pi vb}, \quad (2)$$

式中 v 是滤波平面的频率坐标,它和空间坐标 x_2 的关系是 $v = \frac{x_2}{\lambda f}$, $F_1(v)$ 、 $F_2(v)$ 分别是 $f_1(x_1)$ 、 $f_2(x_1)$ 的 Fourier 变换。将正弦光栅

收稿日期: 1980年12月1日。

放在滤波平面上, 该正弦光栅是用两个等振幅的相干平面波干涉制成, 它的复数振幅透射率函数可写为

$$t(v) = 2 + e^{i2\pi vb} + e^{-i2\pi vb}, \quad (3)$$

在光栅后面的复数振幅分布是

$$\begin{aligned} A'_{P_2}(v) &= A_{P_2}(v) \cdot t(v) \\ &= [F_1(v)e^{-i2\pi vb} + F_2(v)e^{i2\pi vb}] \\ &\quad \cdot [2 + e^{i2\pi vb} + e^{-i2\pi vb}] \\ &= F_1(v)e^{-i4\pi vb} + 2F_1(v)e^{-i2\pi vb} \\ &\quad + F_1(v) + F_2(v) \\ &\quad + 2F_2(v)e^{i2\pi vb} + F_2(v)e^{i4\pi vb}, \end{aligned} \quad (4)$$

透镜 L_3 将 $A'_{P_2}(v)$ 进行 Fourier 变换, 在其后焦点 P_3 上得到的复数振幅分布是

$$\begin{aligned} G(x_3) &= f_1(x_3 - 2b) + 2f_1(x_3 - b) \\ &\quad + f_1(x_3) + f_2(x_3) \\ &\quad + 2f_2(x_3 + b) + f_2(x_3 + 2b), \end{aligned} \quad (5)$$

可以看出, 在输出平面的中心, 得到了字符 f_1 和 f_2 的相加。由于正弦光栅是事先制作好的, 这个相加运算是实时的。

二、字符的相加、相减

移动光栅平面, 使输出平面中心处的字

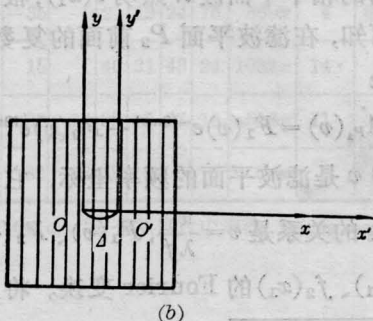
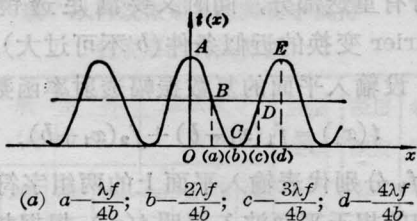


图 2

符附加适当的位相因子, 因而可以控制字符是相加还是相减。

光栅如图 2(a) 的位置放入光路中时, 其复数振幅透射率函数是

$$t(v) = 2 + e^{i2\pi \frac{x-\Delta}{\lambda f} b} + e^{-i2\pi \frac{x}{\lambda f} b}$$

将光栅沿 x 轴方向移动距离 Δ , 如图 2(b) 所示, 则其复数振幅透射率函数为

$$t(v') = 2 + e^{i2\pi \frac{x-\Delta}{\lambda f} b} + e^{-i2\pi \frac{x-\Delta}{\lambda f} b}$$

这时光栅后的振幅分布是

$$\begin{aligned} A''_{P_2}(v) &= t(v') \cdot A_{P_2}(v) \\ &= (2 + e^{i2\pi \frac{x-\Delta}{\lambda f} b} + e^{-i2\pi \frac{x-\Delta}{\lambda f} b}) \\ &\quad \cdot [F_1(v)e^{-i2\pi vb} + F_2(v)e^{i2\pi vb}] \\ &= 2[F_1(v)e^{-i2\pi vb} + F_2(v)e^{i2\pi vb}] \\ &\quad + F_2(v)e^{i(4\pi vb - 2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b)} \\ &\quad + F_1(v)e^{-i(4\pi vb - 2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b)} \\ &\quad + F_1(v)e^{-i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b} \\ &\quad + F_2(v)e^{i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b}. \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式中的最后两项对应于输出平面中心部分的图象, 将该两项进行 Fourier 变换得

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} [F_1(v)e^{-i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b} + F_2(v)e^{i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b}] \\ \cdot e^{-i2\pi vx_3} dv &= f_1(x_3)e^{-i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b} \\ &\quad + f_2(x_3)e^{i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b}, \end{aligned}$$

所以, 在输出平面中心得到的图象是

$$\begin{aligned} G(x_3) &= f_1(x_3)e^{-i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b} \\ &\quad + f_2(x_3)e^{i2\pi \frac{\Delta}{\lambda f} b} \end{aligned} \quad (7)$$

由公式 (7) 可知, 当

$$\Delta = 2k \frac{\lambda f}{4b}, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

时, $f_1(x_3)$ 和 $f_2(x_3)$ 之间位相差为 2π 的偶数倍, $G(x_3) = f_1(x_3) + f_2(x_3)$, 得到字符相加。

当

$$\Delta = (2k+1) \frac{\lambda f}{4b}, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

时, $f_1(x_3)$ 和 $f_2(x_3)$ 之间位相差为 π 的奇数倍, $G(x_3) = f_2(x_3) - f_1(x_3)$, 得到字符相减。

例如, (8) 式中令 $k=0, \Delta=0$, 代入 (7) 式得到

$$G(x_3) = f_1(x_3) + f_2(x_3),$$

(9) 式中令 $k=0, \Delta = \frac{\lambda f}{4b}$, 代入 (7) 式得到

$$\begin{aligned} G(x_3) &= f_1(x_3)e^{-i\frac{\pi}{2}} + f_2(x_3)e^{i\frac{\pi}{2}} \\ &= [f_1(x_3) + f_2(x_3)e^{i\pi}]e^{-i\frac{\pi}{2}} \\ &= i[f_2(x_3) - f_1(x_3)]. \end{aligned}$$

由图 2(a) 可知, 正弦光栅上的 A、C、E... 点位于光轴上时, 输出平面上得到字符相加; 光栅上的 B、D... 点位于光轴上时, 输出平面上就得到字符的相减。

在进行字符相加、相减时采用图 1 所示光路, 用氦-氖激光器照明, $\lambda \approx 0.633$ 微米, $L_2、L_3$ 的焦距 $f=450$ 毫米, $b=5$ 毫米。使输出图象从相加变为相减, 光栅应移动的最小距离是

$$\Delta_0 = \frac{\lambda f}{4b} = 0.015 \text{ 毫米},$$

实验结果与此符合。

在输入平面中输入两组字符“C1T”和“1T”, 它们相加的实验结果如图 3 所示, 照片的中间部分是两组字符相加。两组字符相减的实验结果如图 4 所示, 可以看出照片中间部分实现了两组字符相减。

利用 Ronchi 光栅作为空间滤波器也可以实现字符的相加和相减, 图 5 的中间部分

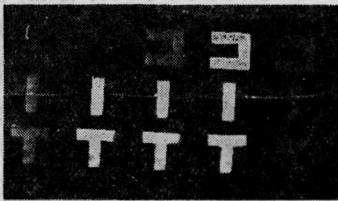


图 3

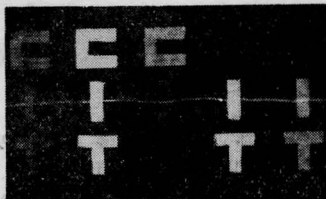


图 4

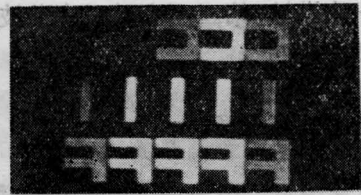


图 5

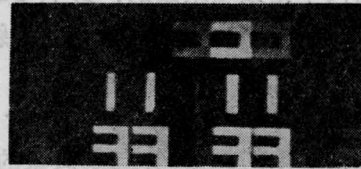


图 6

是“C1F”和“1F”相加, 图 6 的中间部分是从“C1F”中减去“1F”。实验中 Ronchi 光栅的空间频率是 10.3 条/毫米。字符相减可应用于特征识别、特征提取方面。

三、讨 论

利用正弦光栅、Ronchi 光栅作为空间滤波器都能够实现一级衍射象的相加、相减。下面对这两种情形中相加后的一级象强度进行比较。

正弦光栅作空间滤波器时, 实验中观察到相加后的一级象, 其强度比零级象弱; Ronchi 光栅作空间滤波器时, 实验中观察到相加后的一级象, 其强度比零级象强。

下面对 Ronchi 光栅的衍射强度进行计算, 图 7 中 Ronchi 光栅的复数振幅透射率为矩形函数, 可展为 Fourier 级数,

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4}{\pi} \cos \omega x - \frac{4}{3\pi} \cos 3\omega x \right. \\ &\quad \left. + \frac{4}{5\pi} \cos 5\omega x - \dots \right), \end{aligned} \quad (10)$$

上式中括号内的第一项表示直流项; 第二项

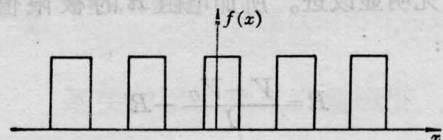


图 7

表示一次谐波;第三项表示三次谐波……,一次谐波项可写为

$$\begin{aligned} \frac{4}{\pi} \cos \omega x &= \frac{4}{\pi} \frac{e^{i\omega x} + e^{-i\omega x}}{2} \\ &= \frac{2}{\pi} e^{i\omega x} + \frac{2}{\pi} e^{-i\omega x} \end{aligned}$$

它是由两个指数项组成的,进行 Fourier 变换后,每一个指数项和一个一级衍射点相对应。

所以 Ronchi 光栅进行 Fourier 变换后,其一级衍射象的振幅 A_1 与零级象的振幅 A_0 之比是 $\frac{A_1}{A_0} = \frac{2/\pi}{1}$,利用 Ronchi 光栅作为滤波器对一级衍射象相加时,相加后的一级象和零级象之间的振幅之比是 $\frac{4}{\pi}:1$,因而光强

度之比为 $\frac{(4/\pi)^2}{1} = 1.6$,相加后的一级象比零级象强。

如果 Ronchi 光栅做在照相底片上,那么也应考虑偏置透射率 t_b ,偏置 t_b 使直流成份加强,故相加后的光强度与零级相比应比 1.6 小些。

参 考 文 献

- [1] S. H. Lee; *JOSA*, 1970, **8**, 1037.
- [2] S. H. Lee; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 7, 1703.
- [3] Vander Lugt; *Proceedings of the IEEE*, 1974, **62**, No. 10, 1300.
- [4] A. R. Shulman; *Optical Data Processing*, New York, Wiley, 1970.
- [5] S. H. Lee; *Opt. Engineering*, 1974, **13**, 196.
- [6] S. H. Lee; *Appl. Phys.*, 1976, **10**, No. 3, 203.

(上接第 15 页)

(7) 激光管内的杂质(氢、氧、氮、 CO_2 、 CO 等)对激光噪声无明显影响。

三、讨 论

激光噪声谱和侧壁辉光噪声谱一致,表明激光噪声与放电噪声之间有着紧密联系。可以认为,激光噪声是放电噪声调制激光输出的结果。

对于短激光器,可以采用以下降低放电噪声的方法:

1. 增大振荡回路阻抗

在阳极端加电阻,提高放电回路的振荡阻抗。实验表明,所加电阻为 260 千欧时可使噪声降低 12~14 分贝,再继续增大电阻值噪声无明显改进。所加电阻 R 的极限值应满足:

$$R = \frac{V - V_G}{I} - R'$$

其中 V 为激光电源的最大输出电压; V_G 为

激光器的工作电压; I 为放电电流; R' 为激光电源的限流电阻。

2. 提高噪声的临界电流使其远高于激光器的最佳工作电流,以保证激光器正常工作时不产生噪声。

① 采用旁阴极,并在可能的情况下,使阴极尽可能远离放电管,见图 7。

② 阴极结构和尺寸设计合理,在保证阴极表面被充分利用的条件下尽量增大阴极表面积,实验表明在合理工艺和阴极发射表面被充分利用的条件下,内径相同、增加阴极长度,其临界电流增大。

③ 在保证输出功率无较大损失的条件下降低管内总气压可提高临界电流,见图 6。

参 考 文 献

- [1] A. Waksberg, J. Wood; *The Review of Scientific Instruments*, 1969, **40**, No. 10, 1306.
- [2] 铃木键夫;《キセノンイナマーニ》, 1974, No. 9, 35~44.