第5卷 第2期
1985年2月

光 学 学 报
ACTA OPTICA SINICA

Vol. 5, No. 2
February, 1985

用交叉 Ronchi 光栅作图像的微分

叶权书　高文琦
(南京大学物理系)

提　　要

本文介绍一种二元(0, 1)微分滤波器。它是由两 Ronchi 光栅交叉迭加而成，因此称之为交叉光栅。它具有制作简便，微分效果好等优点。

一、工 作 原 理

用两正弦光栅相迭加即可得一微分滤波器[1]，由于空间频率相差甚小，其频谱(衍射1级)的两个 δ 函数相距很近，，位相又相反(可调整滤波器的位置使它们反相)，图像与它们卷积的结果就得到该图像在两个 δ 函数联线上的微分。

将两个互成 θ 角的 Ronchi 光栅相重迭，同样可得到一个微分滤波器，称之为交叉光栅。设 Ronchi 光栅缝距和缝宽分别为 Δx 和 $\Delta x/2$，所得交叉光栅及其傅里叶频谱为

$$\left.\begin{aligned} f(x,\ y) &= \left[2\,\mathrm{rect}\left(\frac{x}{a}+\frac{y}{R}\right)\mathrm{rect}\left(\frac{x}{a}-\frac{y}{R}\right)\right]\circledast\circledast\left[\sum_m\sum_n \delta(x-na)\,\delta(y-mR)\right], \\ F(\xi,\ \eta) &= \frac{1}{4}\,\mathrm{sinc}\left(\frac{\xi}{2a}+\frac{\eta}{2R}\right)\mathrm{sinc}\left(\frac{\xi}{2a}-\frac{\eta}{2R}\right)\sum_m\sum_n \delta\left(\xi-\frac{m}{2a}\right)\delta\left(\eta-\frac{n}{2R}\right), \\ & \qquad\qquad (m+n=\text{偶数}) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

式中 $a=[\Delta x/2\cos(\theta/2)]$，$R=[\Delta x/2\sin(\theta/2)]$。

图1表示二维梳函数 $\sum\limits_m\sum\limits_n \delta\left(\xi-\frac{m}{2a}\right)\delta\left(\eta-\frac{n}{2R}\right)$ 在 ξ, η 平面上的分布情况(以 Δ 符号表示的点不符合 $m+n=$ 偶数条件，在频谱上不出现)。整个二维梳函数幅度还受二维 sinc 函数调制，$(\xi/2a)\pm(\eta/2R)=0$(图中交叉虚线)是此二维 sinc 函数的主脉，相交成 θ 角(即交叉光栅所夹的角)。δ_1, δ_2 两个 δ 函数组成衍射 $+1$ 级，位于主脉上，两者相距 $1/R=[2\sin(\theta/2)/\Delta x]$ 与零级(图中原点)相距 $1/2a=[\cos(\theta/2)/\Delta x]$ 幅度为零级的 sinc $(\pi/2)=(2/\pi)$ 倍。

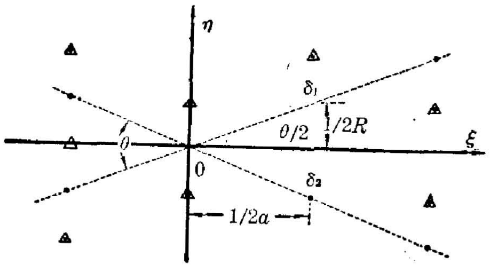


图 1

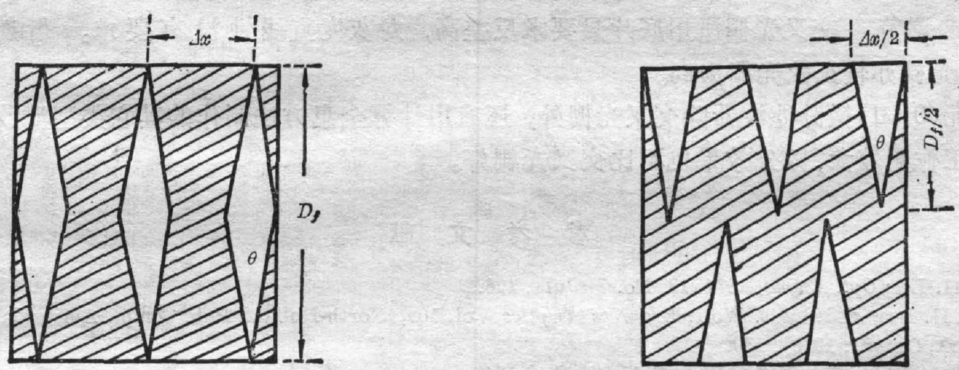
以上函数 $f(x,\ y)$, $F(\xi,\ \eta)$ 均为实偶函数，相对于原点对称。若将 $f(x,\ y)$ 上移 $R/2$(交叉光栅上移半个 Moiré 条纹的距离)，在频谱面上将产生附加的移位位相因子 $\exp[-i2\pi R\eta/2]$，由于 δ_1、δ_2 的纵坐标分别为 $1/2R$, $-1/2R$，所对应的移位位相因子分别为 $\exp(i\pi/2)$、

收稿日期：1984年2月24日；收到修改稿日期：1984年8月31日

$\exp(-i\pi/2)$，从而得到反相的结果。实验时，微调交叉光栅的高低，即可找到符合上述条件的位置。

二、制作方法及实验结果

Ronchi 光栅掩模用红膜刻成，$D_f=60\,\mathrm{cm}$ 见方，缝距 $\Delta x=1\,\mathrm{mm}$，用超微粒高反差底片精缩，使灰度等级实际上只有 0、1 两个等级。旋转 θ 角后重复拍一次，θ 精度可到 $6'$，相当于掩模一端不动，另一端移动一个缝距 Δx 所旋转的角度，即 $\theta=(\Delta x/D_f)\cong 6'$。此时交叉光栅将出现 1 个 Moiré 条纹，如图 2(a)所示。上移半个 Moiré 条纹后将如图 2(b)所示。这种微分滤波器用计算全息方法制成[2]，是上述交叉光栅的一种特例。$\theta<6'$ 时，两个 δ 函数(实际上为 sinc 函数)中心距离小于 sinc 函数主瓣半宽度，微分效果反而变差。



(a)　　(b)

图 2

实际上取 $\theta=k\cdot 6'$，k 为 Moiré 条纹数。图 3 为 $k=6$ 的交叉光栅照片，大小约 1.1 cm 见方。

图 4 为微分所得结果。中间为零级即待微分图像，原物长 1.7 cm，宽 0.8 cm。两侧为衍射 ±1 级。由于滤波器逆时针旋转了 45°，故衍射 ±1 级相对于零级也旋转了 45°，微分方向与此垂直。

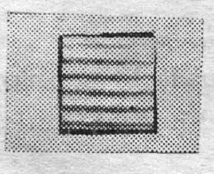


图 3

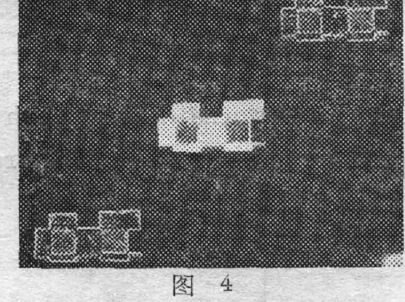


图 4

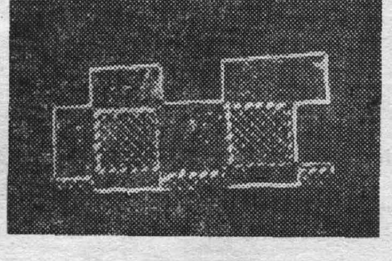


图 5

图 5 为衍射 +1 级放大像。注意待处理图像方框内整齐排列的亮点，沿对角线亮点数最多，共九点。微分后亮点数加倍，这是因为相减两图像的距离小于亮点的大小，相减后一点变为两点的原故。

三、讨　论

精缩 Ronchi 光栅的比例应注意两点：(1)应使光栅常数 Δx 足够小，使各衍射级不致互相重迭；(2)光栅总面积又应足够大，使高频不致被截断过多。本文只考虑第(1)点，如果条件具备(有更大面积的红膜刻线仪)，效果会更好。

k 值的理论下限为1，实际做不到。因为 Ronchi 光栅掩模平行度有误差(约 $2'$)，照相底片乳胶分辨率也是有限的。上述误差使 Moiré 条纹边缘不整齐。反映在频谱上是两个 δ 函数(实为 sinc 函数)宽度增大，在 $k=1$ 以前即互相重迭不能分辨。在我们的条件下，k 最小只能取得 6。

交叉光栅制作方法简单，所需仪器精度要求低。例如交叉角 $\theta=k\cdot 6'$，用透射光屏上两地脚螺丝(相距 1180 mm，螺距 2 mm)即可调节控制。制作正弦光栅则需用测微螺旋(精度 10^{-2} mm)调节。交叉光栅所用底片只要求反差高，对灰度直线性没有要求。衍射效率 Ronchi 光栅亦较正弦光栅为高。

二元(0、1)微分滤波器除交叉光栅外，还有用计算全息方法制作的其它类型滤波器[3]，但制作工作量较大，微分效果也不比交叉光栅好。

参 考 文 献

[1] S. H. Lee; *Opt. Engng*, 1974, **13**, No. 7 (Jul), 196.

[2] W. H. Lee; «Ed. by E. Wolf; *Progress in Optics*, Vol. 16», (North-Holland Pub. Comp., Amsterdam, New York, Oxford, 1978), 180.

[3] 叶权书，高文琦等；《激光》，1980, **7**, No. 9 (Sep), 34.

The image differentiation by Crossed-Ronchi-Grating

YE QUANSHU AND GAO WENQI

(*Department of Physics, Nanking University*)

(Received 24 February 1984; revised 31 August 1984)

Abstract

In this paper we describe a binary differential-filter, which is made by superposition of two Ronchi-Gratings (Crossed-Ronchi-Grating). The Crossed-Ronchi-Grating can be made easily and the experimental results are good.