

# 伪随机码光栅锐化光栅干涉仪条纹

刘立人 殷耀祖

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文报道了伪随机序列编码的光栅干涉仪,可以取得锐化条纹,给出了理论分析和实验结果。

关键词: 伪随机码; 光栅干涉仪。

利用 Lau 衍射效应的干涉仪称为 Lau 干涉仪<sup>[1,2]</sup>, 在几何光学范围内也称为傅里叶滤波准光学干涉仪<sup>[3,4]</sup>, 其特点是采用扩展光源照明, 采用朗奇(Ronchi)光栅产生横向剪切干涉条纹。Katyl 提出了伪随机码光栅的莫尔测量技术<sup>[5]</sup>, 使莫尔条纹锐化, 以提高测量精度。

在 Lau 干涉法或准光干涉法中, 已从理论上证明了两光栅的相关函数等效于对相位梯度的强度滤波<sup>[6]</sup>, 由于伪随机码的自相关函数为近似  $\delta$  函数<sup>[7]</sup>, 因此有可能使用伪随机码光栅来锐化条纹。本文报道了伪随机码光栅干涉仪的原理和实验。

## 一、原 理

典型光栅干涉仪系统如图 1 所示, 其中光栅  $g_1$  和  $g_2$  相互成像, 物体成像于观察屏上, 其光强分布为<sup>[3~5]</sup>

$$\left. \begin{aligned} I(-x, -y) &= S\left[ cx + R \tan \beta_a \left( -\frac{x}{N}, -\frac{y}{N} \right) \right], \\ S(x) &= g_1(x) * g_2(x) \\ O &= -\frac{\Delta^2}{Nf_2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中  $S$  为相关滤波函数,  $*$  为相关积分。 $g_1$  和  $g_2$  为相当的朗奇光栅时, 开口比为 1:1, 则

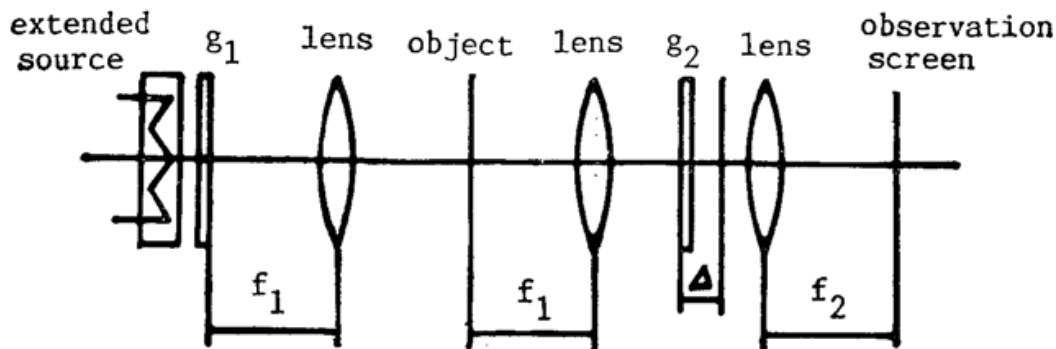


Fig. 1 Typical arrangement of grating-interferometer

$$S(x) = \sum_n A\left(\frac{x-nT}{T}\right), \tag{2}$$

$N = (f_2/f_1)$  为成像放大率,  $C$  表示等效光偏置系数, 与  $g_2$  离焦有关,  $R = f_1$  为等效滤波焦距。

物体的相位分布记作  $\phi(x, y)$ , 则一阶近似条件下有

$$\beta_x(x, y) \simeq \frac{\lambda}{2\pi} g_{\text{rad } x} \phi(x, y), \tag{3}$$

由(1)式可知, 当  $\Delta = 0$  时物体像上将产生相位梯度等位线条纹, 条纹间隔相当于折射角变化

$$\Delta\beta_x = \frac{T}{R}. \tag{4}$$

$g_2$  离焦事实上产生附加背景条件, 背景条纹间隔为

$$T' = \frac{f_2}{\Delta} T. \tag{5}$$

## 二、伪随机编码

原理上伪随机码的自相关函数为近似  $\delta$  函数, 因此  $g_1$  和  $g_2$  为相同的伪随机码光栅时, 相关滤波函数可趋近于

$$S(x) = \sum_n \delta(x - nT), \tag{6}$$

即可极大的锐化条纹。事实上使用的是有限位的码, 因此, 自相关函数与  $\delta$  函数有差别。

伪随机码序列有巴克爾(Barker)码和漂移寄存器序列两种, 现详细讨论 11 bit 巴克爾码自相关性质。11 bit 巴克爾序列为

+ + + - - - + - - + -

由于干涉仪光学方法实现负值很困难, 现改用取值为 0 和 1 的双值编码, 即光学双值的 11 bit 巴克爾序列为

1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0

其互补序列为

0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1

巴克爾序列与其互补序列的互相关函数、11 bit 巴克爾序列及其互补序列的自相关函数的归一化强度分布分别示于图 2(a)、(b)、(c)。

由此可见, 巴克爾序列自相关函数出现强度峰值, 强度对比为 5:2; 互补序列也出现强度峰值, 对比为 2:1; 而巴克爾序列与其互补序列的互相关出现零强度, 对比为 0:3, 峰值占空比为 1:11。

用于干涉仪时, 条纹对比度定义为

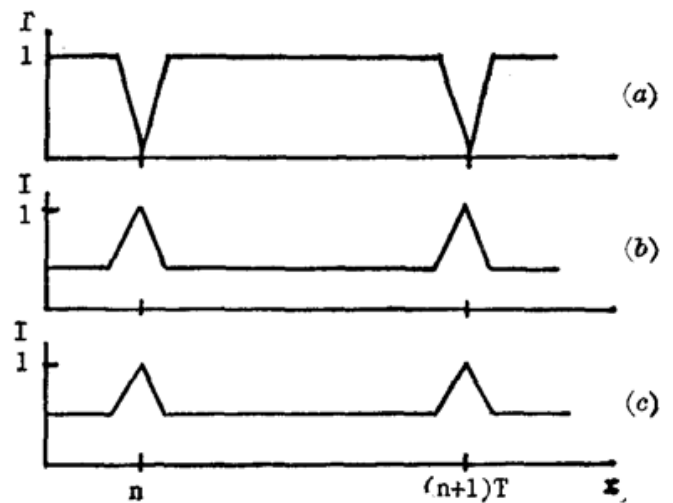


Fig. 2

- (a) mutual correlation shape of 11-bit binary Barker sequence and its complement;
- (b) autocorrelation shape of 11-bit binary Barker sequence;
- (c) autocorrelation shape of the complement of 11-bit Barker sequences



$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (7)$$

因此,一光栅是巴克码,另一光栅是其互补码时, $C$ 为1;两光栅都是巴克码时, $C$ 为3/8;两光栅都是巴克码的互补码时, $C$ 为1/3。所以采用上述第一种方案最好。

若采用其它伪随机码时,情况大致相同,不过,伪随机码的位数愈高,条纹愈锐化。

### 三、实 验

实验中的装置如图1,取 $f_1=135\text{ mm}$ , $f_2=85\text{ mm}$ , $\Delta=0$ ,用11 bit 巴克码光栅。图

3是巴克码光栅的照片,码单元宽度为0.09 mm,周期1.0 mm。

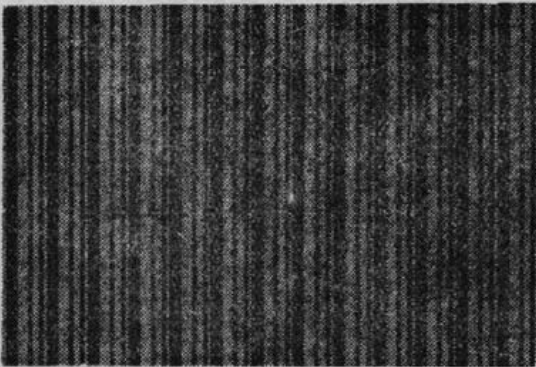


Fig. 3 The grating coded by 11-bit binary Barker sequence

实验中球面镜作被测物,若焦距为 $f_0$ ,对 $x$ 轴取向为 $\theta$ ,则出现横向剪切干涉条纹分布的方位角 $\alpha$ (相对于物面)和间隔 $D$ 为

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \theta + 90^\circ, \\ D &= \frac{Tf_0N}{f_1 \cos \theta^\circ} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

实验中 $f_0=30\text{ mm}$ , $\theta=0^\circ$ ,应当得 $\alpha=90^\circ$ , $D=1.47\text{ mm}$ ,图4(a)、(b)分别示出了两光栅场为巴克码和巴克码光栅与另一为其互补光栅组合的两种干涉图。实验数据与理论计算完全一致。前者为暗条纹,后者为亮条纹,条纹锐化十分明显。

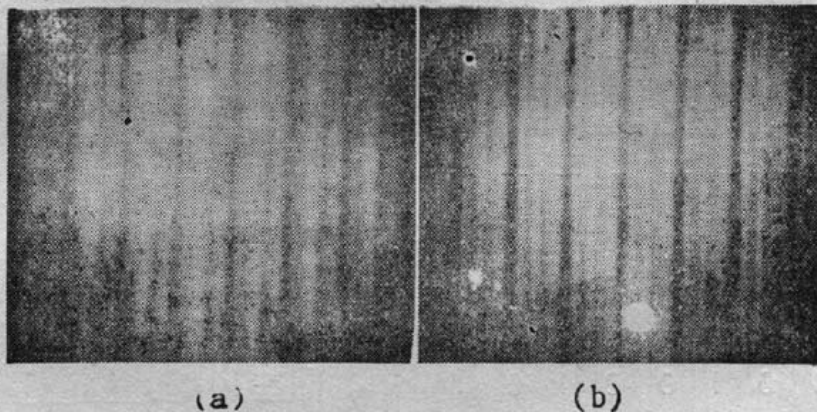


Fig. 4 Interferograms of a tested cylindrical lens:

(a) with two gratings coded by 11-bit binary Barker sequence;

(b) with 11-bit binary Barker sequence coded grating and its complementary grating

### 四、结 束 语

采用伪随机编码的光栅可以很有效地产生锐化条纹,当然也能用开口较小的光栅产生条纹锐化效应,显然这将导致观察光强的减弱。所以伪随机码光栅的特点是选择适当的码形式和码序列长度,使一个周期中的1和0的个数大致相等,这样在锐化条纹的同时并不明显减弱观察光强。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] H. Bartelt, J. Jahns; *Opt. Comm.*, 1979, **30**, No. 3 (Sep), 268~274.
- [ 2 ] S. Cartwright, A. Lightman; *Appl. Opt.*, 1986, **25**, No. 13 (Sep), 3141~3145.
- [ 3 ] L. Liu; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 15 (Aug), 2817~2826.
- [ 4 ] L. Liu; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 19 (Oct), 3024~3030.
- [ 5 ] R. Katyl; *Appl. Opt.*, 1972, **11**, No. 10 (Oct), 2278~2285.
- [ 6 ] 刘立人;《物理学报》,1986, **35**, No. 12 (Dec), 1556~1566.
- [ 7 ] 林可祥,江一飞编著;《伪随机码的原理和应用》,(人民邮电出版社,1978).

## Fringe sharpening in grating-interferometry by using pseudo-random sequence gratings

LIU LIREN AND YIN YAOZU

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 21 November 1988)

### Abstract

A technique of coding gratings in the grating-interferometer with pseudo-random sequences is described in this paper. Consequently, fringe sharpening is resulted. The theoretical analysis and experimental verifications are given.

**Key words:** pseudo-random sequence; grating-interferometry.