

文章编号: 0258-7025(2001)10-0925-04

## 无透镜隐形条形码的研究

仲志强

(华东船舶工业学院基础学科系 镇江 212003)

周进 丁剑平 高文琦

(南京大学物理系 南京 210093)

**提要** 提出了一种新型光学衍射条形码(DOBC)。该条形码所包含的信息不是通过扫描器对条形码的宽度、位置直接阅读而获得,而是通过光的衍射在其第一衍射级上显示而得到。此种条形码的外形看不出其内容,故称为隐形条形码。并提出一种制作隐形条形码的方法,利用菲涅耳波带片调制,制作成具有自聚焦功能的隐形条形码。对该隐形条形码进行了测试分析,并与用其他方法制作的隐形条形码进行了比较,实验结果表明其实际应用的可行性,且效果比其他方法要好。

**关键词** 条形码,计算全息,菲涅耳波带片,CCD,二元光学

**中图分类号** O 436.1;O 438 **文献标识码** A

### Research of Lensless Hidden Bar Code

ZHONG Zhi-qiang

(Department of Basic Courses, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003)

ZHOU Jin DING Jian-ping GAO Wen-qi

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing, 210093)

**Abstract** A new type of diffractive optical bar code (DOBC), which is different from the general bar code (GBC) and the hidden bar code (HBC) formed by CGH methods or grating-modulated method, is proposed in this paper. Instead of reading bar code directly, the code information can be obtained from the first diffraction order of the bar code. The diffraction of the conventional HBC made by other techniques need to be focalized by a lens in its focal plane. By using Fresnel zone plate's focusing function, and combining the HBC with Fresnel zone plate, a new type of HBC which has self-focusing function is generated. The feasibility of the LHBC is proved by the experiments, confirming that the proposed HBC can be read more easily and has better performance than the HBC.

**Key words** bar code, computer-generated hologram, Fresnel zone plate, CCD, binary optics

## 1 引言

条形码提供了一种自动管理和识别的可靠方法,因其检测快速准确、效率高,在全世界范围内被广泛应用,条形码的研究也不断深入<sup>[1~3]</sup>。一般的条形码是由一系列黑白相间、宽窄不一的条纹按一定的秩序排列组合而成,条形码的宽窄条纹分别代表一个代码<sup>[4]</sup>,利用这些代码,可以确定该码所指的含意。其检测方法一般是使用激光扫描到条形码上面,利用接收到的反射信号进行处理、译码得到所需的信息<sup>[5]</sup>。一般的条形码面积比较大,而且用普通的复印机或打印机就

可以准确地复制。位相型隐形条形码是由很细的透明条纹组成,其量级可以小于  $10\ \mu\text{m}$ ,因此不易复制,具有防伪功能,比一般条形码安全得多。这种条形码的阅读也更容易,它运用二进制阅读衍射像(有就是1,无就是0)。根据衍射理论,条形码越小,其衍射像就越大,阅读就越容易。隐形条形码的研究早已开始,并取得一定的进展<sup>[6]</sup>。目前比较普遍的方法是采用二进制编码的十进制码(BCD码)与计算全息技术相结合的方法。常用的制作方法有李威汉法<sup>[7]</sup>、迂回位相法<sup>[8]</sup>、计算全息干涉法<sup>[9]</sup>、光栅调制法等。但这些方法制作的隐形条形码在阅读时,需用透镜把第一级衍射成像在焦平面上。我们运用BCD码与菲涅耳波带片调制结合的方法,成功地制成了具有自聚焦功能的隐形条

型码。该隐形条型码利用菲涅耳波带片的聚焦功能,使该隐形条型码自行聚焦,直接产生衍射像,从而使其阅读更方便,因而更有实际应用价值。我们称这种隐形条型码为无透镜隐形条型码(DOBC)。在实验中对无透镜隐形条型码进行了分析研究,并与其他方法制作的隐形条型码进行比较。结果表明,用菲涅耳波带片调制法比光栅调制法制作的隐形条型码效果好,检测更方便。

## 2 原 理

### 2.1 菲涅耳波带片调制理论

菲涅耳波带片是由一系列同心圆环构成的,这些同心圆的第  $n$  级半径  $R_n$  和  $n$  有如下关系

$$R_n^2 = R_1 n \lambda \quad (1)$$

其中  $\lambda$  为入射光波长。

菲涅耳波带片的作用相当于一个会聚透镜,其主焦距为

$$f_0 = R_0^2 / \lambda \quad (2)$$

圆心在原点的菲涅耳波带片透过率函数  $t(r)$  为<sup>[10]</sup>

$$t(r) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\text{sinc}(n\pi/2)}{n\pi} \exp[-jk(n/2R_1\lambda)r^2] \quad (3)$$

如用菲涅耳波带片调制一窗口  $\phi$ ,在窗口内  $t(r) = t(r)$ ,在窗口外  $t(r) = 0$ ,将带窗口的菲涅耳波带片置于  $Z = 0$  的平面内,用平行于  $Z$  轴传播的光束照明,用柱面坐标系,则在  $Z = Z_i$  平面内的衍射花样可近似为<sup>[11]</sup>

$$U(l, P_n) = \frac{1}{j\lambda P_n} \exp\left[jk\left(P_n + \frac{l^2}{2P_n}\right)\right] \times \frac{\text{sinc}(n\pi/2)}{n\pi} B[\phi(r)] \quad (4)$$

式中  $Z_i = P_n = -f_1/n$ ,  $B$  为汉克尔变换。

柱面坐标中的汉克尔变换与直角坐标中的傅里叶变换相同,如用任意函数  $\Phi(r)$  对透射率进行调制,在直角坐标中作傅里叶变换,则式(1)变为

$$U(x_i, y_i, P_n) = \frac{1}{j\lambda P_n} \exp\left\{jk\left[P_n + \frac{(x_i^2 + y_i^2)}{2P_n}\right]\right\} \frac{\text{sinc}(n\pi/2)}{n\pi} \times F[\Phi(x, y)] \quad (5)$$

其中,  $F$  代表傅里叶变换。

上式表明  $U$  与入射光场的二维傅里叶变换成正比,二者之间只有位相的差别。由于我们只关心焦面上的强度分布  $I(x_i, y_i)$ ,位相分布对强度分布没有影响。

选矩函数  $\text{rec}(ax - x_0, by - y_0)$  ( $a, b$  为长和宽)

为被调制函数,则在  $Z = f_0$  平面内,由式(5)可得

$$I(f_x, f_y) = K \times F[\text{rec}(ax - x_0, by - y_0)] = \frac{K}{ab} \times \text{sinc}^2\left(\frac{f_x}{a}\right) \times \text{sinc}^2\left(\frac{f_y}{b}\right) \quad (6)$$

(6)式中  $K$  为常数。上式即为菲涅耳波带片调制公式。从式中可以看出,衍射光场中心在  $f_x = f_y = 0$  处,与菲涅耳波带片的中心一致,衍射图样的长宽比正好与原来的矩函数成反比。当  $a$  与  $b$  的比例较大时,其形状近似为矩形。因此只要选择适当的常数  $a, b$ ,波带片的中心位置就可在频谱面上某个位置得到形状与矩形相似的衍射图。由于菲涅耳波带片具有自聚焦功能,因此其衍射不需要用透镜成像。

### 2.2 BCD 码的光学实现

在电子学和计算机学中,BCD 码是一个重要的概念,一个十进制数可由一个四位二进制数表示,十进制数字与二进制数的变换关系可由表 1 表示。

表 1 十进制数的 BCD 码表示方法

Table 1 BCD code of decimal digits

Decimal number	BCD code	Decimal number	BCD code
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

我们可以用亮斑和暗斑分别表示 1 和 0,例如一个十进制数 76,用二进制表示为 01110110,用亮斑和暗斑分别表示 1 和 0,则这个数的表示可由图 1 说明。

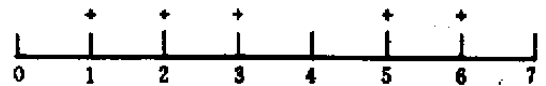


图 1 十进制数 76 的光学实现

Fig. 1 Optical realization of decimal 76

图中圆点表示亮斑,坐标表示位置。通过光电检测设备,检测图中每个数字位置,如果是亮斑则为 1,反之为 0,这样就可以很容易地读出这样表示的任何一个十进制数。

运用菲涅耳波带片调制的方法,可以制作出一个“物”,使其频谱面上出现一系列的亮斑或亮条纹,其中每四个相邻位置的亮斑和暗斑组成一个十进制数,用

这一系列的数组成一定的信息。

### 2.3 无透镜隐形条形码的实现

由上述讨论可知,菲涅耳波带片的衍射图样的中心是波带片中心,用菲涅耳波带片调制的长宽比较大的二维矩形函数,得到的衍射图样与矩形函数形状相似,且长边与原矩形函数长边垂直。因此,如果把用不同中心的菲涅耳波带片调制的二维矩形孔,按一定顺序组合起来,使各波带片的中心在一条直线上,各波带片的中心在这条直线上的位置各不相同,经衍射后,在波带片的主焦面上就可得到一系列平行条纹,用这些条纹表

11110000001001000110100010101100111100010011000011101101011

在一直线上等间距地取 60 个点,把上述数字从左至右与这 60 个点对应,凡为 1 的点,以此点为圆心绘制菲涅耳波带片,调制同样大小的矩形,并组合起来<sup>[12]</sup>,保持这些矩形孔中波带片的圆心在同一直线上,位置不变,经过二元光学技术制作,即可得到位相型的无透镜隐形条形码。

为了避免波带片背景光对聚焦光束的影响,采用了离轴的菲涅耳波带片来弥补菲涅耳波带片的缺陷<sup>[13]</sup>,即使菲涅耳波带片的中心在矩形之外,取得了预期的效果。无透镜隐形条形码实现示意图如图 2 所示。

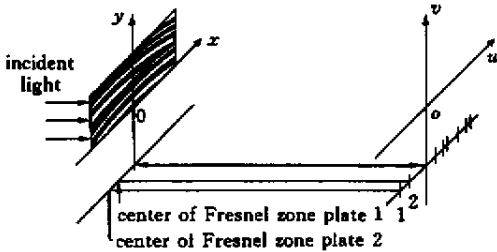


图 2 无透镜隐形条形码衍射示意图

Fig.2 Diagram of the diffraction of the lensless hidden barcode

## 3 无透镜隐形条形码的制作

无透镜隐形条形码可以制成透射型和反射型,但透射型的只适合于透明的或打孔的物体上,因此我们制作了反射型的无透镜隐形条形码。实验中我们假定条形码为 0123456789876,绘制菲涅耳波带片时取  $R_0 = 50 \text{ mm}$ ,矩形的长宽分别为  $300 \text{ mm}$  和  $20 \text{ mm}$ 。绘制好的原图大小为  $560 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ ,经约 100 倍缩微后,大小约为  $5.6 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。实验中激光波长为  $632.8 \text{ nm}$ ,因此第一主焦距为  $f_0 \approx 40 \text{ mm}$ 。实验用的是柯

示二进制的 1。

目前通用的一维条形码由 13 位十进制数组成,我们也用 13 位十进制数制作隐形条形码,转化成二进制共有 52 位。为了检测方便,我们在这 52 位二进制数的两头分别加上一 4 位二进制数作为条形码的开始和结束标记,开始标记取 1111,结束标记取 1011。这样总共有 60 位二进制数。实验中我们制作的条形码数为 0123456789876,加上开始和结束标记转化为二进制就是:

达超微粒底片,曝光时间约为  $7 \sim 9 \text{ s}$ ,制好的底片经刻蚀转化成位相型,即为透射型隐形条形码。同样把制作好的底片经光刻、离子束刻蚀制成反射型隐形条形码,具体制作工艺如图 3。

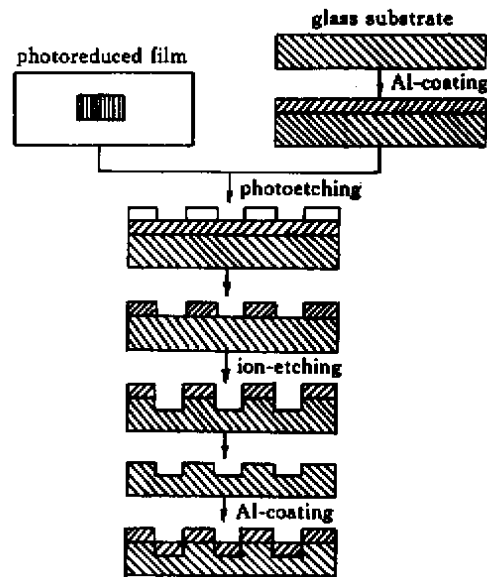


图 3 反射型无透镜隐形条形码制作工艺示意图

Fig.3 Diagram of manufacture of the lensless hidden barcode

## 4 检测与数据处理

反射型无透镜隐形条形码的检测是用单色平行光照射,经衍射得到由一系列亮条纹组成的图形,然后通过光电设备把这些亮条纹代表的二进制码转换成所代表的十进制码。反射型无透镜隐形条形码的一级衍射图如图 4。

### 4.1 数据采集

实验中采用了 CCD 采样,所用 CCD 一维有 512 单

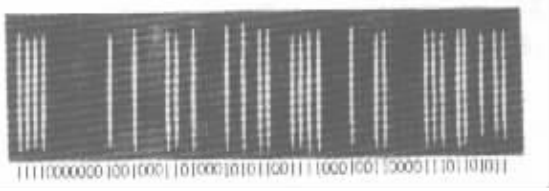


图4 无透镜隐形条型码衍射结果和相应数据

Fig.4 Result of the lensless hidden barcode diffraction and corresponding data

元, 采样得到的图像再经图像卡中的  $A/D$  转换电路转换成数字信号, 以文件形式保存在计算机硬盘中, 其中 CCD 每一个单元采样到数据以一个字节表示, 其大小代表 CCD 采样到的亮度, 值越大表示亮度越高。由于隐形条型码衍射图是一系列平行的亮条纹, 条纹的宽度基本一致, 因此采样数据时只需将 CCD 与条纹相垂直且经过条纹中部。这样采样到的数据共有 512 字节。

#### 4.2 采样数据的处理

数据采集完成后, 就可进行数据处理。采样数据时, 由于 CCD 的灵敏度极高, 因此不可避免地存在一定的背景噪声。为解决这一问题, 可采用二值化处理的方法处理数据。首先选取一个阈值对数据进行截取, 高于这个值都取 1, 对应于亮点, 低于这个值的都取 0, 对应于暗点。选取十六进制数  $6f$  作为阈值, 大于  $6f$  的取 1, 小于  $6f$  取 0, 在计算机上编程进行处理, 根据开始标记和结束标记决定中间 13 位十进制数据的顺序, 就可得到无透镜隐形条型码所代表的十进制编码。

## 5 讨论和结论

无透镜隐形条型码具有很多优点, 其中主要有:

1) 这种条型码的面积很小, 大小可为常规条型码的十几分之一, 因此可使条型码的应用领域扩大, 可用于较小的产品上。另外使用此种条型码, 可使产品外包装的宣传空间增大。

2) 无透镜隐形条型码是用波带片调制的矩形组合而成的, 因此再现的像也是条形的, 检测比较容易。由于无透镜隐形条型码再现条纹有一定的长

度, 条纹的宽度几乎相等且互相平行, 因此在用 CCD 采样数据时可以允许 CCD 有一定的偏斜角。

3) 无透镜隐形条型码采用了波带片调制, 具有自聚焦功能, 在检测时不需透镜成像, 因此检测光路比较简单, 使检测的成本大大降低。

4) 无透镜隐形条型码的编码采用了 BCD 码, 因此编码处理很简单。

致谢 对翟志勇同志在研究前期所做的光栅调制法的研究等大量的工作表示谢意。

#### 参 考 文 献

- 1 M.-H. Kiang, O. Solgaard, R. S. Muller *et al.*. Micromachined polysilicon microscanners for barcode readers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(12):1707~1709
- 2 Daniel J. Reiley. Polarization of barcode readers. *Opt. Eng.*, 1998, **37**(2):688~696
- 3 Thomas White, Winthrop Baylies, Andrml Bernal *et al.*. A proposed successor to barcode for automated reticle identification. *SPIE*, 1999, **3873**:876~885
- 4 Wang Ynjiun P., Pavlidis Theo, Swartz Jerome. Analysis of one-dimensional bar code. *SPIE*, 1991, **1384**:145~160
- 5 Eastman Jay M., Quinn Anna M.. Diffraction analysis of beams for bar code scanning. *SPIE*, 1991, **1384**:185~194
- 6 Steven J. Bever, Jan P. Allebach. Synthesis of diffractive optical bar codes. *SPIE*, 1990, **1211**:38~49
- 7 Wai-Hon Lee. Binary computer-generated hologram. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(21):3661~3669
- 8 B. R. Brown, A. W. Lohmann. Complex spatial filtering with binary masks. *Appl. Opt.*, 1966, **5**(6):967~974
- 9 A. W. Lohmann, D. P. Paris. Binary fraunhofer holograms, generated by computer. *Appl. Opt.*, 1967, **6**(10):1739~1748
- 10 E. Wolf Progress in Optics, Vol. X VI, North-holland Publishing Company, 1978. 143~152
- 11 J. W. Goodman. Introduction to Fourier Optics. Beijing: Science Press, 1976. 76~78 (in Chinese)
- 12 Gao Wenqi, Ding Jianping, Zhou Jin *et al.*. Laser display using computer-generated holograms. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1989, **16**(9):546~549 (in Chinese)
- 13 Gao Wenqi, Ye Quanshu. Application of some properties of Fourier transform in computer-generated holograms. *Journal of Nanjing University* (南京大学学报), 1980, **16**(1):1~10 (in Chinese)