

LiNbO₃:Fe 光折变晶体实时 光学相关存贮研究

陆 猗

(天津理工学院二分院, 天津 300193)

刘思敏 舒华德 孙 骞 张光寅 许京军 刘军民

(南开大学物理系, 天津 300071)

(1993年 9 月 2 日收到)

在 LiNbO₃:Fe 晶体中实现了光折变实时相关存贮。它兼备存贮器与相关器两种器件的优点, 又具有光折变器件的实时特点, 因而可从数个被存贮的信息中实时、快速地挑选出与输入信息相关的信息。从相关点的强度和位置可立即得到该信息与输入信息的相关程度和编码序数, 其原理基于光折变匹配滤波器的筛选性。因此该器件具有广阔的应用前景。

PACC: 4230; 4240

1 引 言

随着对高速度、大容量和高分辨率存、取信息日益增长的需求, 发展得较为成熟的二维存贮器目前已远远不能满足要求。光折变存贮器由于具有并行性、实时性与可恢复性等特点, 近年来已得到长足的发展。目前在一块 LiNbO₃:Fe 晶体中存贮 750 个^[1]乃至 5000 个^[2]全息图的工作已见报道, 存贮密度已达 10^8 bits/cm³。但这种存贮器的功能只局限于按一定形式的编码存、取某些信息或由部分信息再现最初存贮的全部信息(关联记忆)。

光学相关器的发展由来已久, 最初是基于指纹或特征字符识别的需要而产生的。但由于传统的全息术中存在着制备匹配滤波器的工艺复杂、定位不便等问题, 大大限制了光学相关器的进一步发展。

我们利用光折变晶体的实时性, 将其放在光学傅里叶变换系统的频谱面上代替传统的匹配滤波器, 已成功地实现了特征字符识别和并行光学相关以及卷积运算^[3]。在此基础上我们又将存贮器与相关器的原理相结合, 用角度编码方法在 LiNbO₃:Fe 光折变晶体中存贮多个空间选置的信息, 它们又同时作为光学相关器的多个空间选置的匹配滤波器。当读出光载有被存贮的其中某一信息时, 在写入该信息时相应的参考光方向上会立即得到其相关点。在与其有部分相关的被存贮信息的相应参考光方向也会出现微弱的相关点。因此从相关点的强度和空间位置即可识别出被存贮的数个信息与该信息的相关程度及其信息编码。

这一器件利用了光折变存贮器的高存贮能力及存、取的实时性,克服了传统光学相关器的非实时性及对被识别信息的数量限制,因此它具有从大量信息中实时、快速挑选及识别所需信息的特点,具有诱人的应用前景。本文对 0—9 10 个数字的多角度存贮和相关识别可望应用于银行帐号、邮政编码等数字信息的识别与分类,具有一定的实用价值。

2 基本原理

每个信息被存入光折变晶体是通过信号光与一定角度编码的参考光在晶体中相干涉,由光折变效应实时地写入体相位栅。由于晶体被放在光学傅里叶变换系统的空间频谱面上,因此每个体全息图是由该信息的空间频谱函数与参考光相干涉写入的。当读出此光栅的信号光与写入信号光的空间频谱完全一致时,每个空间频率成分由此光栅的衍射光必在参考光方向上形成自相关点(自衍射过程);而不同于写入信号光的空间频率成分读出此光栅时,由于不满足布喇格条件,因而得不到衍射光,所以由信号光与参考光写入的全息图可以作为写入信号的匹配滤波器,其数学表达式为:设输入物信息函数为 $u_1(x, y)$; 其空间频谱函数为 $u_2(f_x, f_y)$; 参考光为 $U = U_0 \exp(-i2\pi f_x d)$ 。物光与参考光在晶体内干涉写入体全息图。匹配滤波器的透射函数 $T(f_x, f_y) \propto I$

$$I = (U + u_2)^2 = |U|^2 + |u_2|^2 + Uu_2^* + U^*u_2. \quad (1)$$

当用原物光读出时

$$Tu_2 = u_2(|U|^2 + |u_2|^2) + u_2Uu_2^* + u_2U^*u_2, \quad (2)$$

故 $|U|^2 = 1$ 。对(2)式作傅里叶逆变换得到假想物函数 $u_1'(x, y)$, 即

$$\begin{aligned} u_1'(x, y) &= FT^{-1}\{Tu_2\} \\ &= u_1 + u_1 * u_1 \star u_1 + u_1^* \delta(x - d, y) \star u_1 + u_1 * \delta(x + d, y) * u_1 \\ &= u_1(x, y) + u_1 * u_1(x, y) \star u_1(x, y) + u_1(x - d, y) \star u_1 \\ &\quad + u_1(x + d, y) * u_1. \end{aligned} \quad (3)$$

各输出项应是 $u_1'(x, y)$ 的倒置, 即全部坐标反号。(3)式中前两项为输出象函数, 第三项为相关项, 第四项为卷积项, * 表示卷积运算, $\star$ 表示相关运算。

3 实验与结果

实验装置如图 1 所示。功率约为 20mW 的 He-Ne 激光束经分束器 BS 分为两束(信号光与参考光)。信号光经空间滤波器 FL、准直镜 L 后辐照位于傅里叶透镜前焦面处的物透明片 A。LiNbO₃:Fe 晶体(掺铁浓度为 0.1wt%, 厚度为 2.5mm 的 x 片或 y 片)位于 L₁ 的后焦面上。入射激光束为异常偏振光。参考光经反射镜 M 射入晶体, 并与信号光在晶体中相干写入体全息图。观察屏置于远场象面处。

3.1 多个信息的存贮

为了在一块光折变晶体中存入多个信息, 目前主要有三种存贮方式: 角度编码^[4], 空间编码^[5]及空间-角度编码^[6]。本文采用角度编码的方法。在二波混合的几何配置下, 信

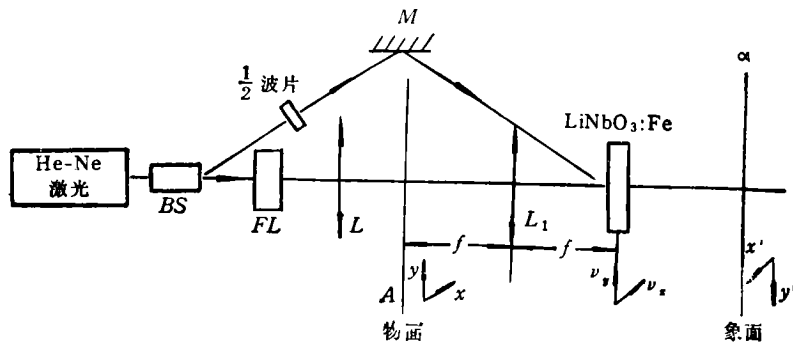


图1 实验装置图

号光方向始终不变，对应每一个输入信息采用一定方向的参考光束与其作用写入一个相应的全息图。读出时，用写入时相应方向的参考光读出，便可通过自衍射在信号光方向再现写入时的输入信息。反之，如采用信号光读出，在相应的参考光方向上可得到该信息的相关点。本实验采用后一种读出方法。

实验时通过改变反射镜 M 的位置改变参考光束的入射角。0—9 10个数字所用的参考光束在空气中的入射角范围为 16.4° — 25.4° 。为了减少交扰噪音以及后记录的全息图对前面已写入全息图的擦洗，相邻两数字之间参考光束的角度间隔 $\delta\theta_p \approx 1^\circ$ 。

3.2 曝光方式

我们对0—9 10个数字的记录采用顺次记录^[4]与增量记录^[5]相结合的曝光方式。实验时从参考光束入射角最大的数字“1”开始，用增量记录法依次循环记录“1—7”7个数字，每次曝光时间 Δt 和循环次数 c 由下式确定^[5]：

$$\Delta t = \frac{c}{2(N-1)} \ln(1+\epsilon), \quad (4)$$

$$c = \frac{-2 \ln(1-\sigma)}{\ln(1+\epsilon)} \cdot \frac{N-1}{(N-1+\tau_e/\tau_r)}, \quad (5)$$

其中 ϵ 为平衡时全息图衍射效率 η 的微小变化量， N 为记录的全息图总数， $\sigma = \frac{\Delta n(c)}{\Delta n_{sat}}$ ，

$\Delta n(c)$ 为循环 c 个周期后折射率的调制量， Δn_{sat} 为折射率调制的饱和值（ $0 < \sigma < 1$ ）。实验中 $\epsilon = 0.5$ ， $N = 7$ ， $\sigma = 0.9$ 。记录时间常数 τ_r 和擦洗时间常数 τ_e 近似相等^[4,5]， $\tau_r \approx \tau_e = \tau$ 。通过信号光强度增量 ΔI 随时间 t 变化的实验曲线测得 $\tau \approx 620s$ 。由(4)和(5)式得 $\Delta t = 21s$ ， $c = 10$ 。用此法在晶体内写入7个数字的体全息图。

由于记录时全息图(相位栅)的饱和振幅随参考光束入射角的减小而增大(见图2)，使全息图强度达到一致时的记录时间随参考光束入射角的减小而减少，故在记录参考光入射角较小的后三个数字“8,9,0”时采用顺次记录法每个数字写入一次完成。各次曝光时间约10—15s即可达到前7个数字的强度，而对它们的擦洗作用却很小。用本文的记录方法写入的10个数字的体全息图强度基本一致。由于记录每个数字的各次曝光时间均很短，全部写入过程晶体的扇形散射光^[6]影响较小。

3.3 相关识别

完成对 10 个数字的多角度存贮之后,挡住参考光束,在信号光束中物透明片 A 的位置上输入不同数字信息。当用含有某数字信息的物光读出时,在对应于写入该数字时相应的参考光方向上会出现最亮的相关点,而对应于其他数字信息的相关点位置上只有弥散斑或强度很弱的相关点,因此根据相关点的空间位置及亮度容易识别读出的数字。

为了直接显示各数字相关点 在空间的位置,按照上述方法在同样条件下记录同一数字“8”,然后挡住参考光束用“8”读出,得到图 3(a) 的照片,从左到右的 10 个相关点分别表示 10 个数字 1,2, ..., 9,0 的空间位置。

图 3(b),(c),(d) 是在写入 10 个不同数字后依次用“8”,“9”和“0”读出时分别得到的相关点照片。由照片可以看出:它们分别与图 3(a) 中相应数字的相关点位置对应,其他位置虽然不同程度地出现弥散斑或弱相关点,但由最亮的相关点在空间的编码序数可准确地识别

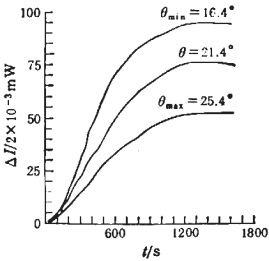


图 2 信号光强度增量 ΔI 随时间 t 变化曲线

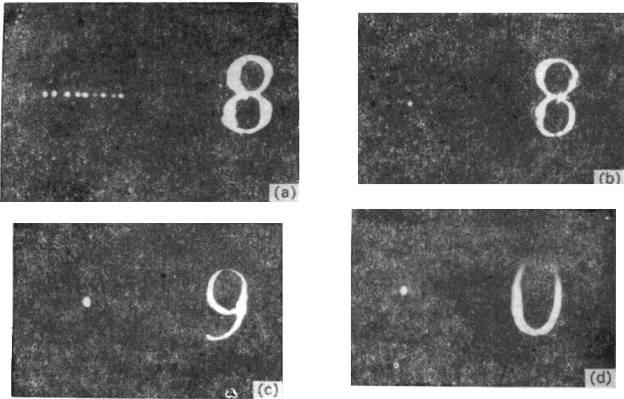


图 3 多个信息存贮与相关识别的实验图

输入的数字信息。在上述实验中笔划愈细,低频成分越少的字型,数字之间的互相关点强度愈弱(或表现为弥散斑),因此愈容易识别。

3.4 低频滤波技术——提高识别能力的措施

为了提高光折变实时光学相关存贮器对输入信息的识别能力,在物的频谱面上加低

频滤波器可以使容信息的高频分量相对增加,从而减小容信息之间的互相关点的强度,提高自相关点与互相关点的光强比。

为此我们进行一组对照实验。在参考光束入射角为 17.4° 和 19.4° 时,第一次在物的频谱面上不加低频滤波器,第二次加低频滤波器分别依次记录相同部分较多的数字“2”和“7”的体全息图,然后分别用这两个数字读出。图4 (a),(b) 是第一次实验的相关点照片,(c),(d)是第二次实验的相关点照片。虽然低频滤波的方法使自相关点的强度有所减弱,但互相关点已经弱到几乎观察不到。显然,这大大提高了相关存储器的识别能力。

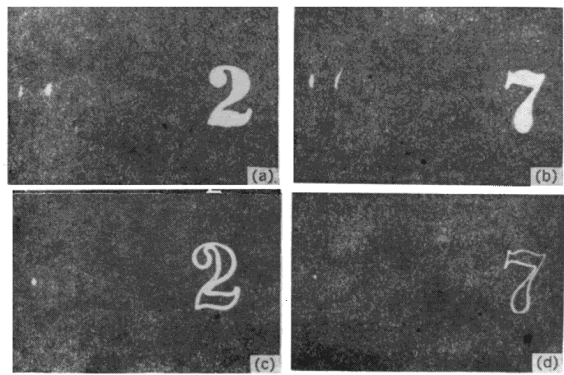


图 4 用低频滤波方法提高识别能力的实验图

4 讨 论

在光折变相关存储器中,信号光对处于光学傅里叶变换系统频谱面上的多个空间选置的匹配滤波器有灵敏的筛选性,这是我们将光折变存储器与光折变相关器二者结合为一体的基础和依据,也是它不同于传统的光学相关器的特点之一。这种筛选性的原理实

际上就是布喇格条件的选择性(见图5)。无论输入的空间信息有多少个,但在空间频谱面上只是将它们分别按照其空间频率成分以不同的空间位置及方向展开。如果信息1与信息2具有相同的空间频率成分 K_1, K_2, K_3 , 则它们分别与其相应的参考光束 K_R 和 K'_R 写入光栅 $K_{R1}, K_{R2}, K_{R3}; K'_{R1}, K'_{R2}, K'_{R3}$ 。如果读出时输入信息1与信息2相同,它们的

空间频率成分当然也相同,则在空间频

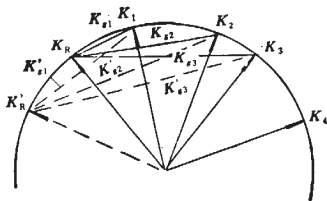


图 5 信号光对多个匹配滤波器的筛选性

谱面上通过 K_1, K_2, K_3 成分对各光栅的读出(自衍射)就会在 K_R, K'_R 方向分别得到强

度相同的相关点。如果读出时的输入信号与信息 1 和 2 不同,例如 $\mathbf{K}_R$, 则它就会在曾与 $\mathbf{K}'_R$ 成分写入全息图的参考光方向得到相关点。读出时的信息与写入时的信息越相似,相同的空间频率成分就越多,因此相关点就越强。所以从相关点强度即可判定两个空间信息的相关程度,从其相关点的位置即可知道相应信息的编码序数。

感谢南开大学物理系战元令教授、谭成章教授在实验中给予的帮助。

- [1] S. Tao *et al.*, *Opt. Lett.*, **18**(1993), 912.
- [2] F. H. Mok, *Opt. Lett.*, **18**(1993), 915.
- [3] 陆猗、刘思敏等,光电子·激光, **4**(1993), 290.
- [4] F. H. Mok, *et al.*, *Opt. Lett.*, **16**(1991), 605.
- [5] Y. Taketomi *et al.*, *Opt. Lett.*, **16**(1991), 1774.
- [6] 刘思敏等,非线性光折变光学,中国标准出版社(1992),第146页。

STUDIES OF THE REAL-TIME OPTICAL CORRELATION STORAGE IN $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ Photorefractive Crystals

Lu Yi

(The Second Branch College, Tianjin Technology Institute, Tianjin 300193)

Liu Si-min Shu Hua-de Sun Qian Zhang Guang-yin Xu Jing-jun Liu Jun-min

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 2 September 1993)

ABSTRACT

The real-time optical correlation-storage in photorefractive crystals has firstly been realized. It possesses the advantages of both storage and correlator, as well as the real-time character of photorefractive devices. It can perform a real-time and fast selection of information correlated to the input ones from a great amount of stored information.

The correlation degree of every information with the input ones and its coding number are immediately obtained from the intensity and position of the correlation points. This principle is based on the selectivity of photorefractive matched filter. Hence this device has wide prospect of application.

PACC: 4230; 4240