

1000 幅数字图像的晶体体全息存储与恢复*

李晓春 何庆声 金国藩 邬敏贤 严瑛白 宋修宇

(清华大学精密仪器系, 100084 北京)

徐玉恒

(哈尔滨工业大学应用化学系, 哈尔滨 150001)

摘 要 利用 $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ 光折变晶体和角度多重方法, 在晶体内的一个公共体积内实现了 1000 多幅数字图像的存储与重建。由于同时采用差分编码与纠错编码, 因而系统抗噪能力强, 误码率低。整个系统由计算机控制, 自动化程度高。

关键词 全息存储器, 纠错码, 角度多重。

在体全息光学存储技术^[1]中, 待存数据按“页”方式并行读写, 与传统存储技术中按“位”操作的串行方式显著不同; 同时, 由于体全息图严格的布拉格选择性, 体全息存储还可很容易地实现大量信息的多重存储。因此, 晶体全息存储器不但存储容量巨大(理论极限为 $1/\lambda^3$, λ 为光波波长, 即约 10^{12} bits/cm³), 而且传输速率极高(可达 1 Gbyte/s)。若对读出参考光采用声光、电光等非机械式寻址方式, 全息存储器的寻址速度也将极快。另外, 更为重要的一点是, 由于晶体存储器是对二维图像直接读写, 因而它天然地具有快速的内容相关寻址功能, 该特性对基于图像运算的军事目标快速识别、医用图像处理、模板匹配等应用十分重要。这种新的存储技术的其它应用领域还包括: 并行计算、光学神经网络、光通讯中的光互联开关等。

体全息信息存储概念的提出始于本世纪 60 年代^[2], 在经过 30 多年的徘徊以后, 目前, 随着新型优良体全息记录材料(如光折变晶体、光聚合物等)的研制以及相关光电子元器件(如高密度高速率空间光调制器和 CCD 光电探测阵列)制造技术的不断进步, 实用化、商品化的大规模体全息存储系统正逐步成为现实。由于全息存储技术的上述诸多优点, 美国、日本、英国等发达国家都投入了巨大人力、财力竞相研究。1995 年在美国国家存储工业联合会(NSIC)组织下, 组成了一个包括大学、工业部门及政府机构共 12 个单位参加的联合研究体, 实施“光折变信息存储材料(PRISM)”和“体全息数据存储系统(HDSS)”两个研究项目, 共投资 7000 万美元, 从存储材料、关键器件、光学系统结构、信号处理等各方面对全息存储技术展开有分工、有组织的全方位研究, 同时组织专家对全息存储技术可能的应用领域进行需求

* 国家自然科学基金(69673033)和国防预研基金(96J20.10.1.JW0118)资助项目。

收稿日期: 1997-12-10

分析, 力争抢占这一新兴高技术的战略制高点^[1, 3]。联合采用空间与角度等几种多重方法, 目前美国已实现上万幅全息图的记录存储^[4]。

实现大容量体全息存储的首要关键是要要求记录材料有足够的动态范围, 对此本文作者以前已进行过较深入的理论研究^[5]。本文报道在体全息大容量数据存储研究中的最新实验结果。图 1 为实验装置简图。激光波长为 514.5 nm, 物光与参考光夹角近似为 90°, 物光中的空间光调制器 (SLM) 为一 Megashow MP-1830 液晶投影板, 像素数 720×480, 参考光通过透镜 L₁、反射

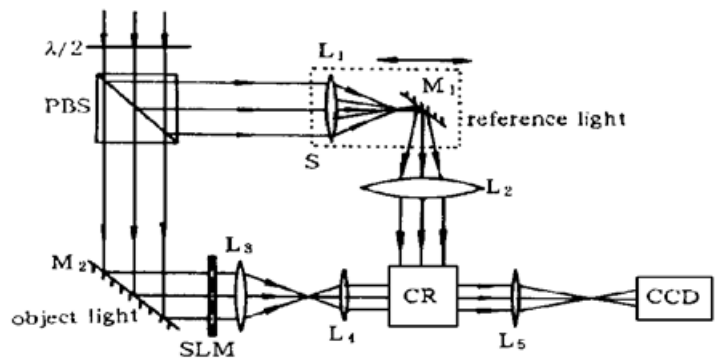


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental arrangements. PBS: polarizing beam splitter; CR: crystal; M: mirror; L: lens

(SLM) 为一 Megashow MP-1830 液晶投影板, 像素数 720×480, 参考光通过透镜 L₁、反射

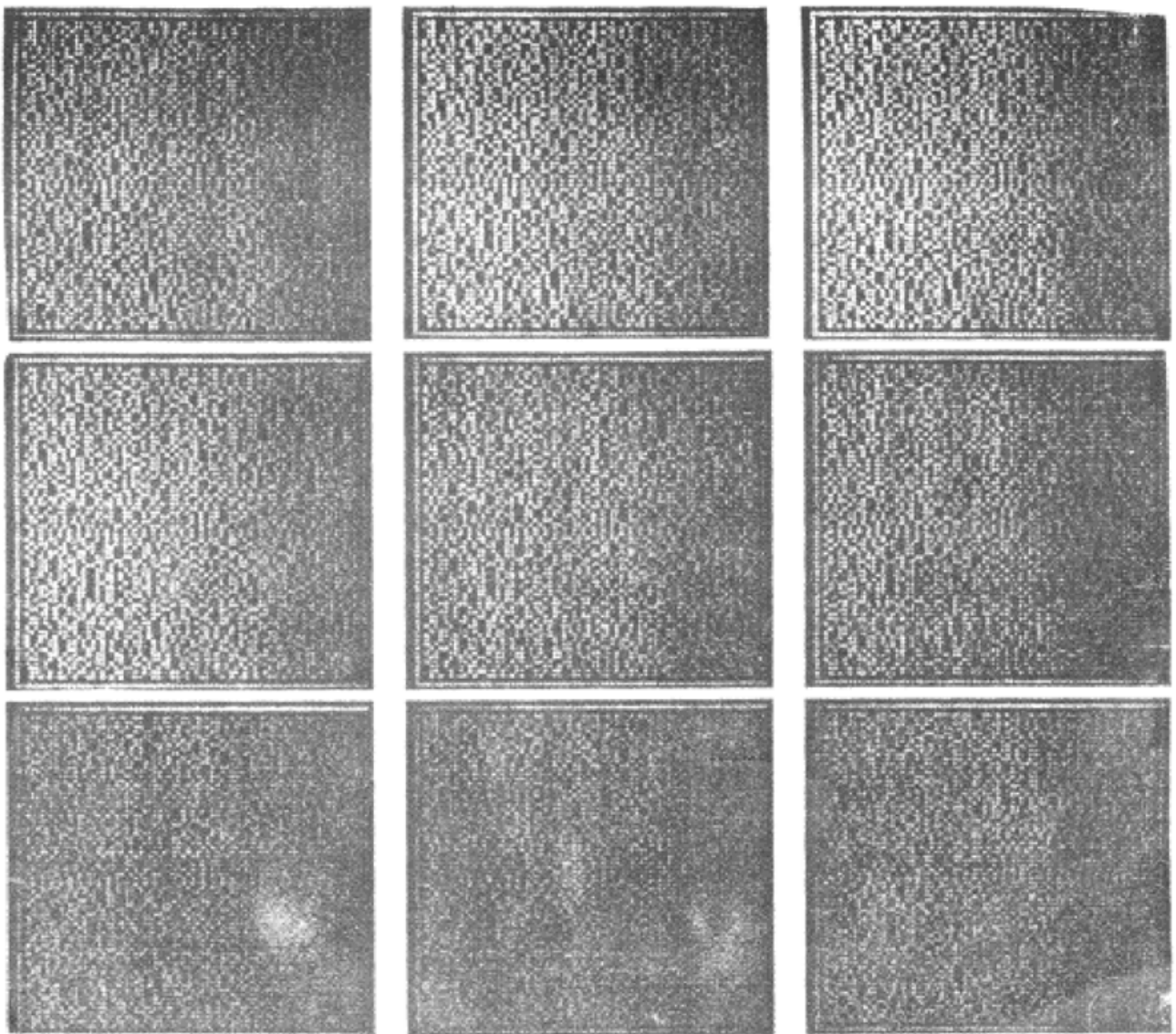


Fig. 2 Reconstructions of the first stored hologram under different storage capacities. (a) Just after its storage, (b) After 150 hs. storage, (c) After 250 hs. storage, (d) After 300 hs. storage, (e) After 400 hs. storage, (f) After 550 hs. storage, (g) After 700 hs. storage, (h) After 800 hs. storage, (i) After 1000 hs. storage. hs. stands for holograms

镜 M_1 及透镜 L_2 到达记录晶体, 其中 L_1 与 M_1 被固定在同一精密平移台 S 上, 通过计算机控制 S 左右移动, 可精密调整参考光入射角度。记录晶体为 $1.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$ 的掺铁铌酸锂晶体。参考光强度约 5 mW/cm^2 , 物光的最大光强约 2.3 mW/cm^2 。对应相邻两幅全息图的参考光在空气中的夹角约 0.01° 。

利用上述实验装置, 在晶体中的一个公共体积内已实现 1000 多幅数字图像的存储与恢复, 图像均为由计算机产生的随机数页。图 2 为记录的第一幅图像在不同存储容量时的读出效果。当存储 1000 幅以后, 记录的第一幅全息图的衍射效率约为 10^{-5} , 图 3 为第一幅存储图像的读出信号强度 I 随存储容量 C 的变化情况。

为降低误码率, 原始数据先经过 Hamming 纠错编码; 为了在数据判读时可采用自适应阈值, 在将编码信息映射为空间光调制器像素的亮暗状态时, 又采用了差分编码技术。实验表明, 经过这两重编码之后, 系统抗噪能力大大增强, 可有效地防止各种大尺度噪声及随机噪声^[6]。最后取得的误比特率约为 10^{-6} 。图 4 为读出的第一幅存储图像中的错误比特数随存储容量 C 的变化情况。

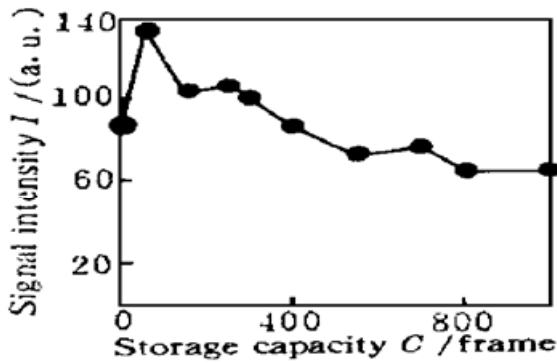


Fig. 3 The signal intensity of the reconstructed image of the first stored hologram varies with the storage capacity C

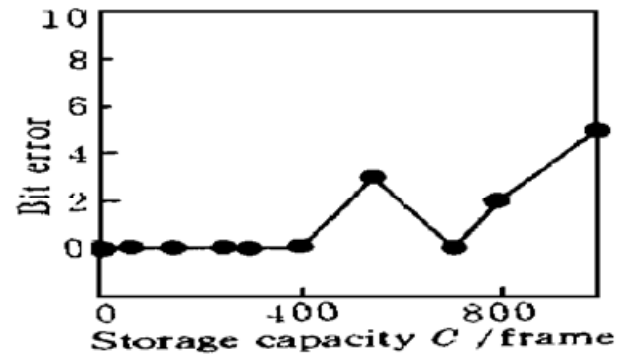


Fig. 4 Variation of the number of bit errors in the reconstructed image of the first stored hologram versus the storage capacity C

有关详细实验情况将另文发表。

参 考 文 献

- [1] 金国藩, 李晓春, 光学体全息数据存储新技术. 光子学报, 1997, **26**(Z1): 14~ 20
- [2] P. J. van Heerden, Theory of optical information storage in solids. *Appl. Opt.*, 1963, **2**(4): 393~ 400
- [3] L. Hesselink, Digital holographic data storage looks ahead. *Photonics Spectra*, 1996, **30**(3): 44~ 46
- [4] G. W. Burr, F. H. Mok, D. Psaltis, Large scale volume holographic storage in the long interaction length architecture. *Proc. SPIE*, 1994, **2297**: 402~ 414
- [5] Xiaochun Li, Minxian Wu, Yingbai Yan *et al.*, Dynamic range metric for a photorefractive crystal in a volume holographic memory. *Opt. Commun.*, 1997, **138**(3): 143~ 150
- [6] 李晓春, 邬敏贤, 成 罡等, 数字体全息数据存储中的两种信道编码方法. 光子学报, 1997, **26**(4): 330~ 335

Volume Holographic Storage and Retrieval of 1000 Digital Images in Lithium Niobate

Li Xiaochun He Qingsheng Jin Guofan Wu Minxian

Yan Yingbai Song Xiuyu

(*Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Xu Yuheng

(*Department of Applied Chemicals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

(Received 10 December 1997)

Abstract As many as 1000 digital images have been recorded in a common volume of an $\text{Fe}:\text{LiNbO}_3$ photorefractive crystal using angular multiplexing. The combination of the error-correcting encoding and the differential encoding results in a significant noise-tolerant feature and thus a lower bit-error rate is achieved. As a highly automated digital holographic memory, the overall system is under the control of a computer. Experimental results are presented.

Key words holographic memory, error-correcting encoding, angular multiplexing.

光学学报编辑部:

发表在贵刊 1998, 18(3): 291~294, 题为“热效应对光折变晶体两波耦合的特性影响的理论分析”一文中, 所用的材料实为 $\text{Ce}:\text{KNSBN}$, 由于作者的严重失误, 错写成 BaTiO_3 , 特此更正, 并致以歉意。

作者 吉选芒

1998 年 4 月 3 日