

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0074-03

散斑体全息存储的存储特性

黄东, 何庆声, 王津楠, 邬敏贤, 金国藩

(清华大学精密仪器系精密控制技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 近年来,体全息存储技术以其存储容量大、数据传输率高和具有相关识别等特性被广泛研究。而基于散斑参考光的体全息散斑复用技术能够比传统的复用方法提供更小的复用间隔和更高的存储密度。在本文中,我们在理论上和实验上分析了散斑复用技术的两个突出优点,为大容量高密度体全息存储打下了理论基础。

关键词 信息光学; 体全息存储; 散斑; 散斑复用; 铌酸锂

中图分类号 TN26 文献标识码 A

Storage Properties of Volume Holography with Speckle Encoded Reference wave

DONG Huang, HE Qing-sheng, WANG Jin-nan, WU Min-xian, JIN Guo-fan

(State Key Lab of PMT&I, Dept. of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Recently, volume holography technology is widely studied because of its high storage density, fast data transfer rate and the correlate character. The newly proposed speckle multiplexing scheme could provide smaller multiplexing selectivity and higher storage density compared with other conventional schemes. In this paper, two noteworthy merits of speckle multiplexing scheme are analyzed both theoretically and experimentally. This work gives a theoretical fundament for the high density volume holographic storage.

Key words information optics; volume holography storage; speckle; speckle multiplexing; Lithium Niobate

1 引言

体全息存储技术同时具有存储容量大、数据传输速率高和寻址速度快等优点^[1],而且由于它可以对二维图像直接进行并行处理,因此体全息存储器在军事目标快速识别、星载信息存储、并行计算、光通讯等领域具有十分重要的应用。目前采用波长复用、角度复用、移位复用和相位编码等技术可以将大量多重全息图存储在记录介质的某一公共体积内。然而这些技术受技术本身的限制都没有能充分利用材料的动态范围,导致单一复用技术的存储密度离体全息存储的理论密度还很远。近来,V. Markov等^[2,3]采用散斑编码参考光进行多重全息存储(以下简称“散斑存储”),利用静态散斑的三维空间移位选择性,可以充分利用块状存储介质的空间,与球面参考光和平面参考光移位复用技术相比,极大地提高

了体全息存储密度。

本文描述了散斑编码参考光进行多重全息存储时的移位复用间隔 Δ_{speckle} 这一关键性技术指标的表达式,同时讨论了散斑编码全息存储相对于目前常用的移位复用技术的技术优点,结果显示散斑存储具有极大地提高全息存储密度的潜力,所获得的实验结果也进一步验证了这一结论。

2 理论计算

在图1所示的散斑编码参考光存储方案图中,由散斑参考光 $R_w(\mathbf{r})$ 和平面物光 $S_0(\mathbf{r})=A\exp(i\mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r})$ 相干在存储介质中形成相位全息。用读出散斑光场 $R_R(\mathbf{r})$ 来再现记录的全息图,则归一化衍射光强

$$I_{DN}(\Delta)=I_D(\Delta)/I_D(\Delta=0)$$

可表示为^[2]

作者简介: 黄东(1976-),男,江苏人,清华大学精仪系在读研究生。主要研究方向为:现代光学信息处理和体全息存储技术。E-mail: heqs@mail.tsinghua.edu.cn

$$I_{DN}(\Delta_1) = \frac{I_D(\Delta_1)}{I_D(\Delta=0)} = \frac{\left| \int_0^T \exp\left(\frac{ik_0 n_0 \Delta_1^2}{2L}\right) \iint_{-\infty}^{+\infty} |K_D(q)|^2 \exp\left(-\frac{ik_0 n_0}{L} q \Delta_1\right) d^2 q dz \right|^2}{T^2 \iint_{-\infty}^{+\infty} |K_D(q)|^2 d^2 q} \quad (1)$$

其中 $K_D(\mathbf{q})$ 是随机相位板孔径函数, $k_0=2\pi/\lambda$, $\mathbf{q}=q_x\mathbf{x}+q_y\mathbf{y}$, n_0 为材料的折射率, L 为随机相位板到记录介质的距离, Z 是随机位相板到存储介质表面的距离。

为了简单起见且不失一般性, 这里仅考虑一维移动, 孔径函数是圆的情况, 这时可以得到衍射光强变为 0 时的位移量 $\Delta_{y/2}$ 的大小为: $\Delta_{y/2}=1.22 \frac{\lambda}{NA}$ 。

因此, 散斑编码参考光移位复用的间隔大小 Δ 可以表示为^[3]

$$\Delta_{\text{speckle}} = 2.44 \frac{\lambda}{NA} = 2.44 \frac{\lambda Z}{D} \quad (2)$$

其中 D 为孔径光阑的大小。

由(1)式和(2)式可以得出动态散斑编码全息存储的一些存储规律。

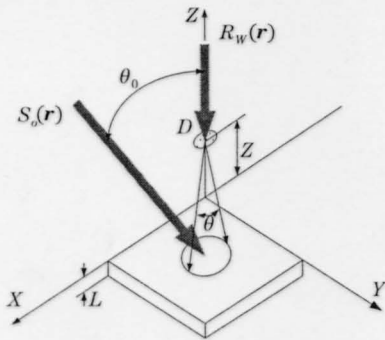


图 1 全息存储几何结构图

Fig.1 Geometry layout of the plane object wave and speckle encoded reference wave in holography

2.1 动态散斑存储的移位复用间隔小

在记录波长为 532 nm 的情况下, 散斑存储的移位复用间隔 Δ_{speckle} 在 3 μm 左右。这里给出参考光为球面波的普通移位复用技术的复用间隔 Δ_{shift} 的表达式作为比较

$$\Delta_{\text{shift}} = \frac{\lambda_0 [Z - (1 - 1/n_0)(L/2)]}{L\theta} + \frac{\lambda_0}{2NA} \quad (3)$$

例如, 当记录波长 λ_0 为 532 nm 的情况下, 记录材料厚度 $L=1$ mm, 参考光和物光之间的夹角为 $\theta=40^\circ$, 焦点距离记录材料的距离 $Z=10$ mm, $NA=0.6$ 时, 其移位复用间隔 $\Delta_{\text{shift}}=8$ μm 。

散斑编码参考光的移位复用的间隔 Δ 比球面波为参考光的移位复用间隔 Δ_{shift} 要小一些, 在离焦距离 Z 较大, 记录光夹角 θ 较小时, 散斑存储的复用

间隔将比普通移位复用技术的复用间隔小很多。

2.2 散斑存储的移位复用间隔与存储介质的厚度无关

(2)式中没有厚度 L 因子, 这说明散斑复用技术的复用间隔将与存储介质的厚度无关, 这是一个很重要的特性。因为在传统的复用方式中, 为追求比较小的复用间隔, 往往需要采用比较厚的材料。而散斑复用技术将不受该条件影响, 可以使用盘状材料, 这使得散斑存储具有了极大地提高全息存储密度的潜力。

3 实验

在实验系统中, 光源为半导体抽运固体激光器 (波长为 532 nm, 输出功率为 150 mW), 采用的存储方案类似于传统的 90° 二波耦合方案, 只是在存储晶体前面放置了一块随机相位板。记录材料为掺铁铌酸锂晶体 (0.02% Fe/mol)。

图 2 是相同存储条件下散斑移位复用与普通移位复用的复用间隔的比较图。散斑记录的实验条件是: $Z_1=200$ mm, $Z_2=75$ mm, 光阑口径 $D=17$ mm, 参考光会聚透镜的焦距为 50 mm, 随机相位板为普通毛玻璃, 记录材料为厚度是 10 mm 的铌酸锂晶体。普通移位复用的实验参数与散斑移位复用完全一样, 只是去掉了随机相位板。从图 2 的实验结果可以看出散斑复用的复用间隔很小 ($\Delta_{1/2}=2.5$ μm), 而且在通常情况下其复用间隔要比普通移位复用的间隔小。

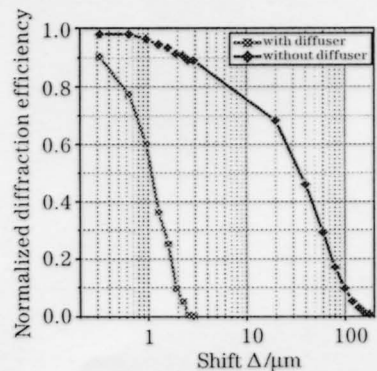


图 2 散斑复用与移位复用的复用间隔比较图

Fig.2 Compare of multiplexing selectivity of speckle multiplex and shift multiplex

图 3 是采用不同厚度记录材料条件下散斑移位复用间隔的比较图。实验结果表明在记录材料厚度

变化的情况下散斑移位复用的复用间隔不变。

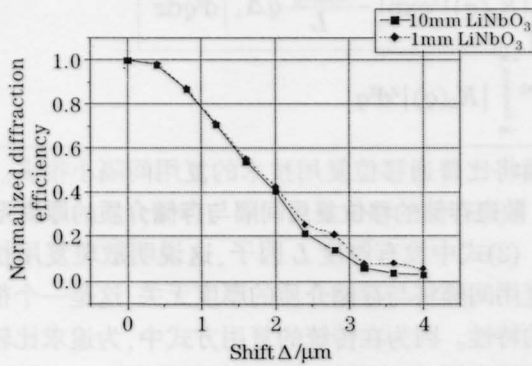


图3 不同厚度记录材料的复用间隔比较图

Fig.3 Compare of multiplexing selectivity of materials with different thickness

4 结论

本文描述了散斑存储的移位复用间隔 Δ_{speckle} 的

表达式,指出了散斑存储的两个重要特征:移位复用间隔小,复用间隔与记录材料厚度无关,并得到了实验验证。这使得散斑存储可以在较薄的记录材料上(或者厚材料的不同薄层)以较小的复用间隔记录高密度数据,使得散斑存储成为实现超高密度体全息存储的有效途径。

参考文献

- 1 J. F. Heanue, M. C. Bashaw, L. Hesselink. Volume holographic storage and retrieval of digital data [J]. *Science*, 1994, **256**:749~752
- 2 V. Markov, J. Millerd, J. Trolinger *et al.*. Multilayer volume holographic optical memory[J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(4): 265~267
- 3 V. Markov. Spatial-angular selectivity of 3-D speckle-wave holograms[J]. *J. Imaging Science and Technol.*, 1997, **41**(4): 383~388
- 4 于美文,张存林,杨永源. 全息记录材料及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社,1997. 13



Fig.1 Geometry of the plane object wave and speckle-encoded reference wave in holography

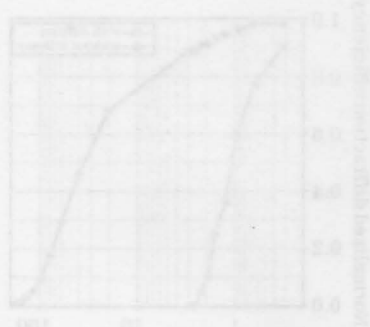


Fig.2 Comparison of multiplexing selectivity of speckle and shift multiplexing

... (faded text at the bottom of the page)

... (faded text at the bottom of the page)