

文章编号: 0253-2239(2008)01-0050-06

数字微镜器件在视频全息中的应用

王大鹏 韦 穗

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要 为研究数字微镜器件在视频全息中的应用,探讨了基于数字微镜器件的全息编码方法。基于数字微镜器件的微观物理结构,讨论二维离散微镜像素结构、开态微镜列的闪耀光栅特性和脉宽调制的微镜偏转工作原理。将数字微镜器件分辨率、微镜尺寸、间隔、旋转角度、参考光入射角以及衍射条件等因素结合到计算全息编码中,提出干涉面抽样方法、相位补偿技术和无偏置二元全息编码方法,使产生的计算全息图适应数字微镜器件独特的空间光调制特性和计算视频全息的要求。实验表明,该方法调整了重构物光波的衍射方向,集中了衍射光在重构像中的分布,增加了成像清晰度和光能有效利用率,提高了全息编码效率。

关键词 全息术; 全息编码; 计算视频全息; 数字微镜器件

中图分类号 O438 **文献标识码** A

Characterization of a Digital Micromirror Device for Computer Generated Holographic Video

Wang Dapeng Wei Sui

(Key Laboratory of Intelligent Computing and Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei, Anhui 230039, China)

Abstract To develop computer generated holographic video (CGHV) technology utilizing the digital micromirror device (DMD), the holographic coding methods have been investigated. Basis on digital micromirror device physical microstructure, two dimensional discrete micromirror pixels, blazed diffraction gratings of rotated mirrors and its pulse width modulation working principle are discussed. The following factors have been considered, namely, digital micromirror device's resolution, mirror size, pitch, rotating angle, incident angles of reference wave and diffracting conditions, etc. In order to match the hologram to the spatial light modulating properties of digital micromirror device and fulfill the requirements of computer generated holographic video, the sampling method on interference plane, phase compensation technique and no-bias binary hologram coding method are put forward. The experimental results show that the methods have adjusted the diffractive direction of object wave, the diffraction energy concentrated on object wave, improved the quality of reconstruction, increased the utilization ratio of diffraction energy, and improved the efficiency of holographic code.

Key words holography; holographic coding; computer generated holographic video (CGHV); digital micromirror device (DMD)

1 引 言

麻省理工大学媒体实验室研制了基于衍射的视频全息显示系统,实现了特定视频帧率的实时三维全息显示,其利用的电全息术开创了计算视频全息(Computer generated holographic video, CGHV)的

先例^[1,2]。计算视频全息能够产生包含深度、遮挡等立体视觉信息的动态三维影像,在它的研究中,计算机可控的空间光调制器(Spatial light modulator, SLM)是必需的。常用的空间光调制器包括平板液晶(Liquid-crystal display, LCD)和数字微镜器件

收稿日期: 2007-04-24; 收到修改稿日期: 2007-10-08

基金项目: 国家自然科学基金(60473102)资助课题。

作者简介: 王大鹏(1978—),男,安徽太和人,博士研究生,主要从事计算全息、全息编码等方面的研究。

E-mail: wangdapeng@customs.gov.cn

导师简介: 韦 穗(1946—),女,壮族,广西桂林人,教授,博士生导师,主要从事计算机视觉和图像处理等方面的研究。

E-mail: swei@ahu.edu.cn

(Digital micromirror device, DMD)等。数字微镜器件是美国 TEXAS 仪器公司微电子机械系统技术的核心产品,具有高光通量、高衍射效率和高响应速度等优点,其作为全息衍射器件的研究正被全息学、波谱学领域的科学家关注^[3,4]。T. Kreis 等^[5]研究了其在相干平行光波和会聚光波照射下的衍射成像,但忽略了空间光调制器各像素间的相位关系,难以得到满意的重构结果。Michael L. Huebschman 等^[6]也将数字微镜器件作为承载二元全息图的空间光调制器,实现在同一张计算全息图中记录不同空间位置成像的两个物光波,然而成像衍射级多,光能未集中利用,像质待改进。还有一些有关数字微镜器件及其计算全息成像的研究^[7,8],都没有充分关注数字微镜器件的光学特性。

空间光调制器的物理结构及其相位调制性质对物光波重构有关键的影响^[9~13],目前使用的空间光调制器多存在像素结构离散、空间带宽积(Spatial Bandwidth Product, SBWP)或分辨率有限以及像素间调制干扰等问题^[14~16]。计算视频全息的研究应该是寻找合适的编码方法,以充分利用空间光调制器的特性,使制作的全息图能最大限度地记录和还原物光波,同时使全息编码速率高、全息图占用存贮空间小,以满足实时编码、快速传输、高效存储等全息视频显示的要求。文献[10]分析了数字微镜器件相位调制性质,考察了其工作原理及偏转微镜间的相位差,得出了数字微镜器件光栅的闪耀规律。

本文基于数字微镜器件的微观结构建立数学模型,以菲涅耳全息编码为例,将数字微镜器件的分辨率、微镜的尺寸、间隔、偏转方式、旋转角度、参考光入射角度和偏转微镜间相位差等因素考虑到全息图的制作环节中,使物光波被更加快速、高效和准确地编码,实现最大精确程度的全息重构。

2 基于数字微镜器件特性的全息编码

数字微镜器件是计算视频全息技术的关键组件。加载全息条纹的数字微镜器件对入射的相干光

进行振幅、相位调制,其反衍射的重构光波能提供给观察者真三维的立体视觉感受。以适当的帧率(30 frame/s以上)连续地将计算全息图输送到数字微镜器件中,可以实现三维视频显示和实时重构。三维实时重构对空间光调制器的刷新频率有较高的要求,TEXAS 仪器公司的数字微镜器件 Discovery 1100 芯片组配合其高速数据控制器(High Speed Controller)最高可以提供 9800 frame/s 的数字微镜器件阵列图像更新(数据量 7.7 GB/s),即使用 USB2.0 数据控制接口,也能够更新近 100 frame/s 全息图^[4]。数字微镜器件的性能虽然满足了计算视频全息对空间光调制器响应时间的要求,但视频全息在实时编码、高效存储、高速传输等方面有较高要求,关键在于如何根据数字微镜器件的结构和性能,设计相应的编码方法,使得制作的全息图既充分利用数字微镜器件的性能,又最大限度地记录和还原物光波,同时提高编码效率、降低全息图存储空间。为了利用数字微镜器件的空间光调制性质,本文菲涅耳全息编码方法考虑了三个方面的特性:二维离散微镜像素结构,开态微镜列的闪耀光栅特性,脉宽调制的微镜偏转工作原理。

2.1 二维离散像素结构

全息图记录了参考光和物光波的干涉条纹,在全息编码时要对干涉全息条纹离散化并记录,须对干涉平面的复振幅结果进行抽样。为了全息重构时充分利用数字微镜器件的光处理能力,使得生成计算全息图的空间带宽积与数字微镜器件的相一致,编码时干涉平面上抽样间隔应该取相邻微镜的中心间距 ω_0 。

构造如图 1 所示的菲涅耳全息记录结构,在满足菲涅耳条件

$$|z_{12}| \gg L_1 + L_2 \text{ 且 } |z_{12}|^3 \gg \frac{\pi(L_1 + L_2)^4}{4\lambda} \quad (1)$$

的前提下,干涉平面 xy 上的物光波复振幅分布可表示为

$$\begin{aligned} U(x, y) &= \frac{\exp(jkz_{12})}{j\lambda z_{12}} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} t(\alpha, \beta) \exp\left\{\frac{j\pi}{\lambda z_{12}}[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2]\right\} d\alpha d\beta = \\ &= \frac{\exp[-k\pi(x^2 + y^2)/\lambda]}{j\lambda z_{12}} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} t(\alpha, \beta) \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda z_{12}}(\alpha^2 + \beta^2)\right] \exp\left[-j2\pi\left(\frac{x}{\lambda z_{12}}\alpha + \frac{y}{\lambda z_{12}}\beta\right)\right] d\alpha d\beta = \\ &= \frac{\exp[-k\pi(x^2 + y^2)/\lambda]}{j\lambda z_{12}} \Gamma\left(\frac{x}{\lambda z_{12}}, \frac{y}{\lambda z_{12}}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $t(\alpha, \beta)$ 为物孔平面透射率函数, $\Gamma\left(\frac{x}{\lambda z_{12}}, \frac{y}{\lambda z_{12}}\right)$ 为函数 $f(\alpha, \beta) = t(\alpha, \beta) \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda z_{12}}(\alpha^2 + \beta^2)\right]$ 的傅里叶变换。

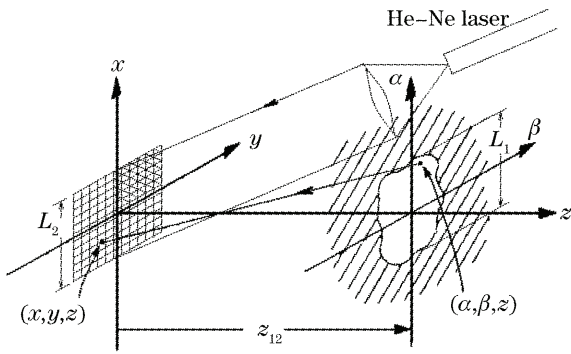


图 1 菲涅耳全息记录结构

Fig. 1 Structure of Fresnel hologram recording

根据抽样定理, $\Gamma\left(\frac{x}{\lambda z_{12}}, \frac{y}{\lambda z_{12}}\right)$ 在干涉平面上 x 、 y 方向的尼奎斯特抽样间隔分别为 $f(\alpha, \beta)$ 在 α, β 方向上物孔最大直径 L_1 的倒数, 即

$$\frac{\Delta x}{\lambda z_{12}} = \frac{\Delta y}{\lambda z_{12}} = \frac{1}{L_1} = \frac{1}{M\Delta\alpha} = \frac{1}{N\Delta\beta}, \quad (3)$$

式中 M, N 分别为物孔平面 α, β 上的抽样数, $\Delta\alpha, \Delta\beta$ 均为抽样间隔。

由数字微镜器件的中心间距决定了干涉平面

xy 的抽样间隔, 即 $\Delta x = \Delta y = w_0 = 17 \mu\text{m}$, 使用相干光波长 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, 取 $M = N = 1024, z_{12} = 4 \text{ m}$, 由(3)式可得: $L_1 = 14.89 \text{ cm}, \Delta\alpha = \Delta\beta = 1.454 \times 10^{-4} \text{ m}$ 。

由数字微镜器件中心间距确定干涉平面上的抽样间隔, 再计算物孔平面的抽样间隔和范围, 这就是本文提出的干涉面抽样方法。目的是使得生成计算全息图的像素大小、间距恰与数字微镜器件相一致, 使得全息重构时可以充分利用数字微镜器件有限的空间带宽积, 减少了物波信息的丢失。同时, 避免了物孔平面上抽样范围过小或抽样间隔过大, 改进了全息显示图像的精细程度。

在微镜的中心间距 $w_0 = 17 \mu\text{m}$ 的数字微镜器件上加载计算全息图, 用 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 相干光照射的反衍射重构结果如图 2 所示。可以看出, 由于图 2(b) 相应的物光波得到较好的恢复, 其重构像更加清晰, 但仍存在重构光分散于多级物像且亮度弱、物像与数字微镜器件光栅周期性衍射光斑重叠等问题。

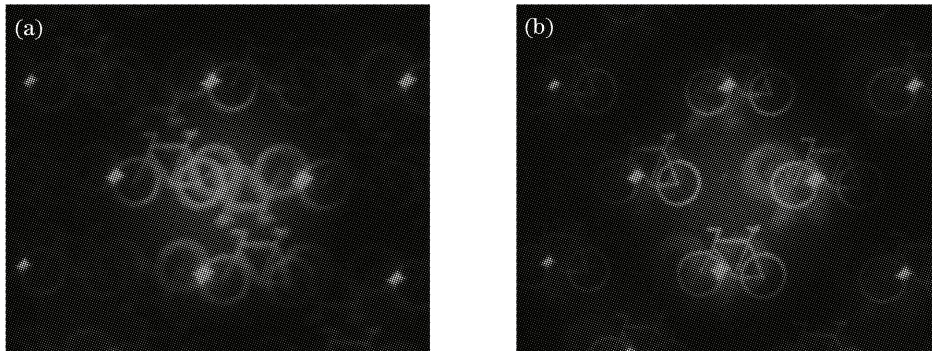


图 2 由不同的物孔平面抽样间隔生成菲涅耳全息图的重构结果。(a) $0.7 \times 10^{-4} \text{ m}$, (b) $1.454 \times 10^{-4} \text{ m}$

Fig. 2 Reconstruction images of Fresnel holograms with different sampling distances on the diffracting aperture plane.

(a) $0.7 \times 10^{-4} \text{ m}$, (b) $1.454 \times 10^{-4} \text{ m}$

2.2 开态微镜列的闪耀光栅特性

数字微镜器件加载偏转信号后, 微镜的照片如

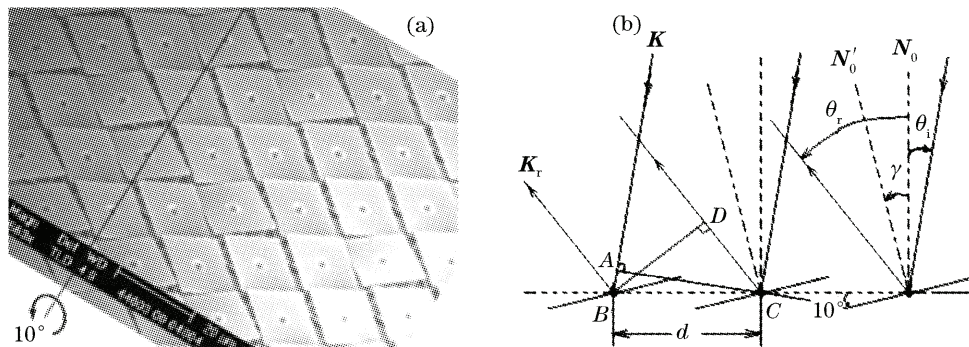


图 3 加载偏转信号的微镜。(a) 显微结构, (b) 闪耀光栅结构

Fig. 3 View of landed mirrors. (a) microstructure, (b) structure of blazed grating

图 3(a)。定义微镜旋转轴所在的斜率 1 方向为主对角线方向,斜率-1 方向为副对角线方向,图 3(b)为副对角线微镜列加载偏转信号后的闪耀光栅结构。

定义入射角 θ_i 为数字微镜器件法向量 \mathbf{N}_0 到入射光波矢量 \mathbf{K} 的夹角,反射角 θ_r 为 \mathbf{N}_0 到反射光波矢量 \mathbf{K}_r 的夹角,逆时针方向为正,偏转角 $\gamma=+10^\circ$,则

$$\theta_r = 2\gamma - \theta_i. \quad (4)$$

\mathbf{K} 与 \mathbf{K}_r 的夹角为

$$\theta = \theta_r + |\theta_i| = \theta_r - \theta_i. \quad (5)$$

在接近数字微镜器件平面的范围内,全息重构时入射光波矢量和反射光波矢量的夹角等于全息编码时参考光波矢量与物光波矢量的夹角。由数字微镜器件的中心间隔 w_0 决定了编码时夹角的最大值 θ_{\max} 应满足^[9]

$$2w_0 \sin(\theta_{\max}/2) = \lambda, \quad (6)$$

可以计算 $\theta_{\max} = 2.1329^\circ$ 。取 $\theta = 2^\circ$,由(5)式可得 $\theta_i = 9^\circ$ 。

定义相邻两开态微镜反射光波光程差为 ΔL ,即图 3(b)中 C 微镜反射光波的光程比 B 微镜的多 ΔL ,有

$$\begin{aligned} \Delta L &= \overline{CD} - \overline{AB} = \\ &= d \sin \theta_r - d \sin(-\theta_i) = \\ &= d(\sin \theta_i + \sin \theta_r) = \\ &= \sqrt{2}w_0[\sin \theta_i + \sin(2\gamma - \theta_i)], \end{aligned} \quad (7)$$

于是,反射光波相位差为

$$\delta = \frac{2\sqrt{2}\pi w_0}{\lambda}[\sin \theta_i + \sin(2\gamma - \theta_i)], \quad (8)$$

当 $\theta_i = 9^\circ$ 时, $\delta = 26.3853\pi$,这说明在全息重构时,入

射角为 9° 的相干光照射到数字微镜器件后,反射光波在副对角线方向上的相邻开态微镜间存在相位差 26.3853π 。这既有别于传统光学方法中用感光胶片记录的全息图,也不同于其他空间光调制器:如液晶承载全息图的情况。

为了减少反射光波相位差给重构带来的影响,在全息编码时提出相位补偿技术:首先,按照与数字微镜器件反射光波相位差相反的规律,对物光波在干涉平面上的菲涅耳衍射复振幅分布进行相位补偿,如图 4(a),使得主对角线方向 l_n 列像素的复振幅相位值比 l_{n+1} 列像素的复振幅相位值多加上 $\delta = 26.3853\pi$ 。然后,再将相位补偿后的物光波复振幅分布与参考光波复振幅叠加计算,生成全息图。

图 2(b)中全息重构结果有诸多缺陷,在其相应计算全息图编码方法的基础上,我们采用了相位补偿技术,其衍射重构结果如图 4(b)。可以看出,适当的相位补偿可以偏移重构物光波的衍射方向,使重构像与数字微镜器件周期性矩形衍射亮斑错开,成像更加清晰。图中的衍射亮斑是由数字微镜器件周期性的离散栅状结构导致的,亮斑的位置和形状被数字微镜器件物理参量(包括微镜尺寸、间隔、位置)和相干光波长、入射角度确定,不会随数字微镜器件上加载全息图的变化而改变。在基于数字微镜器件的全息视频重构显示中,可以在重构像衍射级周围安装遮光屏,挡住数字微镜器件周期性矩形衍射亮斑,仅使集中衍射光能的重构像级通过。错开重构像与亮斑既提高了物光波重构质量,又增加了全息衍射光能的有效利用率。

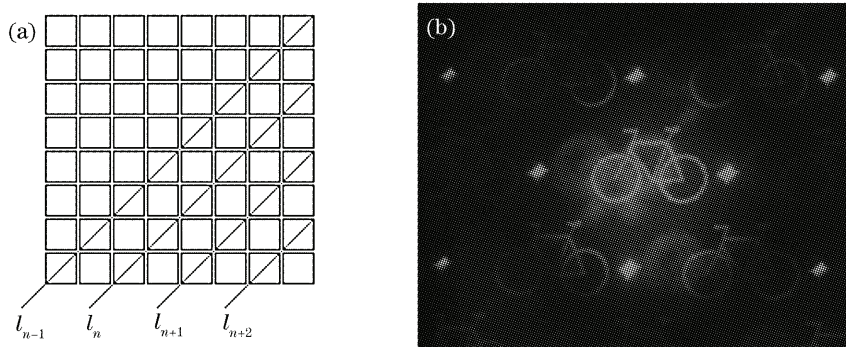


图 4 主对角线方向上像素列间的相位补偿(a),采用相位补偿后的全息重构结果(b)

Fig. 4 Phase compensation between pixel columns on main diagonal (a), holographic reconstruction images after phase compensation (b)

2.3 微镜偏转的脉宽调制原理

数字微镜器件已成功应用于全数字视频显示,可以支持 8 位红绿蓝(RGB)颜色,产生 $[0, 255]$ 的灰阶。TEXAS 仪器公司为使数字微镜器件配合旋转

色轮运作,设计了复杂的数字微镜器件灰度脉宽调制算法。如图 5 为数字微镜器件进行灰度调制的时间脉宽图,其横坐标为时间轴,单位是微秒(μs),纵坐标为从未偏转态(0)到开态(1)的位置比例

(ratio), 微镜并非以 100% 的开态脉宽调制 $R=G=B=255$, 事实上, 相应的脉宽比例只有 80% 左右。其余累计 20% 的非开态时隙是为了给 RGB 三色轮的旋转替换提供时间间隔^[7]。

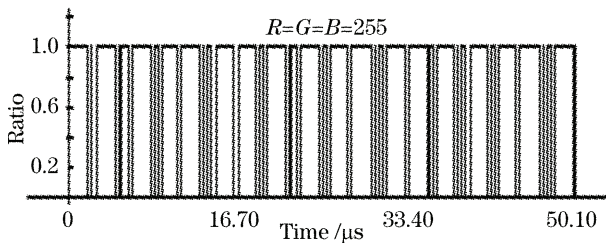


图 5 数字微镜器件在 $R=G=B=255$ 的开态脉宽调制时间

Fig. 5 Pulse width modulation showing full maximum on time ($R=G=B=255$) for digital micromirror device

微镜对反射光的灰度调制是通过其在开态与闭态之间来回快速偏转实现的, 其停留在开态的时间脉宽对应着反射光相应像素的灰度值。当数字微镜器件加载灰阶全息图时, 介于 $(0, 255)$ 间的灰阶显示导致微镜频繁地在开闭态之间切换, 给光波的反衍射带来影响, 降低了重构物光波的质量。如果加载二元全息图, 即数字微镜器件仅显示 0 和 255 两个灰阶, 可以将微镜在开闭态之间的切换次数减至最少。显然, 数字微镜器件加载二元全息图的衍射效率和重构效果优于加载灰度全息图的情形。

基于数字微镜器件这种特性, 提出了无偏置二元全息编码方法, 以满足计算视频全息对全息编码效率和生成全息图占用存储空间的要求。

在传统光学全息中, 干涉条纹光强分布函数为

$$h(x, y) = |U(x, y) + R(x, y)|^2 = |U(x, y)\exp[j\varphi(x, y)] + R\exp(j2\pi tx)|^2 = R^2 + |A(x, y)|^2 + 2R(x, y)A(x, y)\cos[2\pi tx - \varphi(x, y)], \quad (9)$$

式中 $R(x, y)$ 为参考光波在干涉平面的复振幅分布, (9) 式中的前两项只对偏置分量有贡献, 使 $h(x, y)$ 为实的非负数, 最后一项 $2R(x, y)A(x, y)\cos[2\pi tx - \varphi(x, y)]$ 才提供了物光波的全部信息。偏置分量的存在, 增加了全息图记录时的带宽要求, 同时在重构时会出现多余的衍射像。在计算全息编码时, 用其他形式的偏置分量来达到使 $h(x, y)$ 非负的目的, 可有降低带宽、减少抽样点数、便于制作及提高重构像质等优点。例如, 博奇(Burch)法和黄(Huang)氏法等^[9]。

全息函数 $h(x, y)$ 非负的目的在于对应灰度值, 若仅进行二元编码, 只需令

$$h(x, y) = R(x, y)A(x, y)\cos[2\pi tx - \varphi(x, y)], \quad (10)$$

以其正负作为二元化的标准, 省去了偏置项的计算, 称之为无偏置二元编码方法。

实验证明, 与博奇型、黄氏型以及迭代全息编码方法制作的灰度全息图相比, 无偏置的二元编码全息图更适应基于数字微镜器件的全息显示, 其物光波还原质量及重构像清晰度均有所提高。并且, 无偏置编码方法显著减少了计算复杂度, 生成的二元全息图占用存储空间少(与灰度全息图相比), 满足计算视频全息对实时编码、高速传输和大数据量存储等方面的要求, 提供了可行方案。

3 结 论

数字微镜器件是具有大光通量和高衍射效率的反射型空间光调制器, 其应用于计算视频全息的研究势必会给全息技术带来新的亮点。从数字微镜器件的微观物理结构出发, 提出干涉面抽样方法、相位补偿技术和无偏置的二元全息编码方法。实验证明, 方法提高了基于数字微镜器件全息视频的重构像质和信噪比、增加了衍射效率、节省了全息图的编码时间和传输带宽, 为数字微镜器件在计算全息视频和三维实时重构等方面的应用提供了参考。

参 考 文 献

- 1 Mark Lucente. Optimization of hologram computation for real-time display[C]. *Proc. SPIE*, 1992, **1667**: 25~33
- 2 Mark Lucente. Interactive computation of holograms using a look-up table[J]. *J. Electronic Imaging*, 1993, **2**(1): 28~34
- 3 Dana Dudley, Walter Duncan, John Slaughter. Emerging digital micromirror device (DMD) applications[C]. *Proc. SPIE*, 2003, **4985**: 14~25
- 4 Hornbeck L J. Digital light processing for high-brightness, high-resolution applications[C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3013**: 27~40
- 5 T. Kreis, P. Aswendt, R. Höfling. Hologram reconstruction using a digital micromirror device[J]. *Opt. Engng.*, 2001, **40**(6): 926~933
- 6 Michael L. Huebschman, B. Munjuluri, Harold R. Garner. Dynamic holographic 3-D image projection[J]. *Opt. Exp.*, 2003, **11**(5): 437~445
- 7 K. J. Kearney, Z. Ninkov. Characterization of a digital micromirror device for use as an optical mask in imaging and spectroscopy[C]. *Proc. SPIE*, 1998, **3292**: 81~92
- 8 Walter Duncan, Benjamin Lee, Paul Rancuret *et al.*. DLP™ switched blaze grating: the heart of optical signal processing[C]. *Proc. SPIE*, 2003, **4983**: 242~249
- 9 Robert J. Collier, Christoph B. Burckhardt, Lawrence H. Lin. *Optical Holography* [M]. Elsevier; Academic Press, 1971
- 10 Wang Dapeng, Wei sui. Phase modulation properties of the digital micromirror device[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1255~1260
- 11 王大鹏, 韦 穗. 数字微镜器件的相位调制性质[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1255~1260
- 12 Chai Xiaodong, Wei sui. Bandwidth compression of holographic grating based on discrete diffraction light [J]. *Acta Optica*

- Sinica*, 2004, **24**(3): 304~308
柴晓冬, 韦 穗. 基于离散衍射光的全息光栅的带宽压缩[J]. 光学学报, 2004, **24**(3): 304~308
- 12 Yan Aimin, Liu Liren, Liu Dean *et al.*. Diffraction characteristics of local volume holographic gratings [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1203~1208
闫爱民, 刘立人, 刘德安 等. 局域体全息光栅的衍射特性[J]. 光学学报, 2004, **24**(9): 1203~1208
- 13 Yan Aimin, Liu Liren, Liu Dean *et al.*. The diffraction properties of volume holographic gratings in photorefractive crystal in the discretional direction of optical axis[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 321~325
闫爱民, 刘立人, 刘德安 等. 光轴方向任意时光折变晶体中体全息光栅的衍射性质[J]. 光学学报, 2006, **26**(3): 321~325
- 14 Hu Zhijuan, Yan Aimin, Liu Dean *et al.*. Wave-front conversion by photorefractive local volume holographic cylindrical lenses reconstructed with different readout wavelength [J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(12): 1648~1654
胡志娟, 闫爱民, 刘德安 等. 光折变局域体全息柱透镜变波长读出下的波前转换[J]. 中国激光, 2006, **33**(12): 1648~1654
- 15 Ye Biqing, Kiyofumi Matsuda, Norihiro Fukuchi *et al.*. Vibration measurements of rough surfaces using an liquid crystal spatial light modulator [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(4): 557~561
叶必卿, 松田清史, 福智旻央 等. 在粗糙表面上用液晶空间光调制器进行振动测量[J]. 光学学报, 2006, **26**(4): 557~561
- 16 Su Jia, Zhang Yinchao, Zhao Yuefeng *et al.*. Optical design of double grating monochromator of a pure rotational Raman-lidar [J]. *Chin. J. Lasers*, 2007, **34**(1): 92~96
苏 嘉, 张寅超, 赵曰峰 等. 双光栅纯转动拉曼测温激光雷达单色仪的光学设计[J]. 中国激光, 2007, **34**(1): 92~96

欢迎成为《中国光学期刊网》企业会员

中国光学期刊网(<http://www.opticsjournal.net>)是由中科院上海光学精密机械研究所主办、国内光学期刊界共同参与建设的光学期刊网络信息发布平台。自 2004 年 5 月开通以来,得到了广大科研工作者、企事业单位人士的好评。

为进一步提高服务水平,中国光学期刊网从 2006 年起在信息服务上实行会员制度,凡光电子、激光、光通信等相关的企业均可申请成为中国光学期刊网的企业会员,中国光学期刊网将为企业会员提供优质超值的专业服务。

一、会员企业享受的服务包括:

- 1) 企业名称在中国光学期刊网首页的会员企业栏目中出现,并链接到企业自己的网址。
- 2) 会员企业可获赠光学类期刊一份,全年 12 册,在《中国激光》《光学学报》《激光与光电子学进展》《Chinese Optics Letters》中任选一种。
- 3) 可免费在本站“特别推荐”栏目发布文字信息(含广告)10 条,每篇不过 2000 字。
- 4) 如在中国光学期刊网发布广告,可享受广告报价的 80% 优惠。
- 5) 优先或免费参加光学期刊网组织的各类学术和业务活动。
- 6) 可免费阅读本网站期刊全文 300 篇次。

二、会员义务:

- 1) 注册时向中国光学期刊网递交企业真实信息。
- 2) 每年交纳会员费 2800 元,会员资格从交费之日起计算,一年有效。
- 3) 不得将中国光学期刊网提供给会员的信息转给第三方使用。
- 4) 尊重并保护本网及论文作者的知识产权。
- 5) 在本网发布信息必须遵守中华人民共和国相关法律法规。

三、成为企业会员的步骤:

- 1) 注册成为中国光学期刊网的一般用户,也可以直接填写广告投放申请表单,说明您的意向。
- 2) 来信 mail@opticsjournal.net 告知您已经注册成功。并请告知选择何种期刊及收刊地址、联系人。
- 3) 银行汇款 2800 元至下列帐户:

开户行:工商银行上海嘉定支行营业部 户 名:中国科学院上海光学精密机械研究所
帐 号:1001700809026400195

- 4) 联系人:郑继承;电话:021-69918253;Email:expert@mail.siom.ac.cn