

基于 DMD 和分数傅里叶的动态全息体视图显示

涂铮铮¹, 汤进¹, 史东²

(1. 安徽大学 计算智能与信号处理重点实验室, 安徽 合肥 230039;
2. 中国移动通信集团设计院有限公司 安徽分公司, 安徽 合肥 230032)

摘要: 体视全息术是一种准三维显示技术, 较之传统全息图, 体视全息图大大降低了记录物体三维信息的数据量, 使得计算机生成体视全息图成为可能, 而空间光调制器 SLM 的不断发展也推动了全息显示系统的发展。分析了数字微镜器件 DMD 对光场的调制特性, 将分数傅里叶变换算法用于体视全息图的生成, 提出一种基于 DMD 的全息显示系统, 实现了分数傅里叶变换体视全息图的动态显示。实验结果表明该系统能够较好地产生动态 3D 透视感, 为基于 DMD 的全息显示搭建了系统平台。

关键词: 体视全息术; DMD 全息显示系统; 分数傅里叶变换; 体视全息图

中图分类号: O438.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)08-0247-03

Dynamic Holographic Stereogram Display Based on DMD and Fractional Fourier Transform

TU Zheng-zheng¹, TANG Jin¹, SHI Dong²

(1. Key Lab of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China;
2. Anhui Branch of China Mobile Group Design Institute Co., Ltd, Hefei 230032, China)

Abstract: Holographic stereography is technique of quasi-3D display. Compared to traditional holography, holographic stereogram reduces total quantity of data of 3D object recorded, so it makes computer generated Holographic stereogram possible. And the development of SLM propels the upgrade of holographic display system. Analyzes the modulation properties of digital micromirror device (DMD) in angular spectrum theory, generates stereogram synthesized by fractional Fourier transform, and constructs a DMD holographic display system which can stereogram and realize dynamic display of fractional Fourier stereogram. The experimental result shows that the system can generate sense of dynamic 3D perspective, and it sets platform for the holographic display based on DMD.

Key words: holographic stereography; DMD holograph display system; fractional Fourier transform; holographic stereogram

0 引言

体视光全息技术是指将一系列用普通摄影术得到的物体的二维投影图像, 通过全息方法记录在全息干版(或其它全息记录介质)上, 再现时实现原物的准三维显示的技术^[1]。较之全息图, 体视全息图大大降低了记录的数据量。文中将分数傅里叶变换算法^[2]用于计算全息图的生成, 用 VC++ 实现图像的获取和分数傅里叶变换体视全息图的合成。并且构建了一种基于 DMD 的全息显示系统成功地实现了分数傅里叶变换体视全息图的动态显示, 为基于 DMD 的全息显示搭建了系统平台。

随着空间光调制器 DMD 的出现, 其越来越广泛地应用于全息系统中^[3-5]。美国德克萨斯仪器公司(TI)生产的新型反射式空间光调制器: 数字微镜器件(DMD), 它是一种 MEMS 器件, 由可偏转的铝镜阵列构成, 工作原理为当二进制数据写入底部 SRAM 存储单元中时, 以电寻址方式根据 SRAM 中内容确定铝镜沿对角线偏转的方向, 由此确定二进制数据值。与其它的调制器如液晶显示器(LCD)等相比, DMD 具有更高的分辨率、更宽的响应范围和更快的响应速度、信噪比和光能利用率高、工作温度范围大、偏振无关等特点。文中构建的基于 DMD 的全息显示系统与文献[3,4]有所不同, 系统中的 DMD 用做全息图载体, 用平行光照射 DMD, 可以得到 DMD 所载全息图的重构图像。

文中用此系统实现体视全息图显示的思路是: 把

收稿日期: 2008-09-02; 修回日期: 2009-01-21

基金项目: 安徽省自然科学基金重点项目(KJ2008A033)

作者简介: 涂铮铮(1982-), 女, 硕士, 研究方向为数字图像处理; 汤进, 博士, 研究方向为数字图像处理。

分数傅里叶体视全息图按照狭缝分解,以每秒 25 帧的速度按顺序显示,由于二维序列图像的采样率较高,能够较真实地呈现动态三维感。

1 DMD 全息系统及 DMD 光场调制特性

DMD 芯片为 SVGA 格式(800×600)、铝镜大小 $16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$ 、相邻镜片中心间距 $17\mu\text{m} \times 17\mu\text{m}$ 、镜片偏转角度 $\pm 10^\circ$ 。基于 DMD 投影系统的全息系统如图 1 所示。

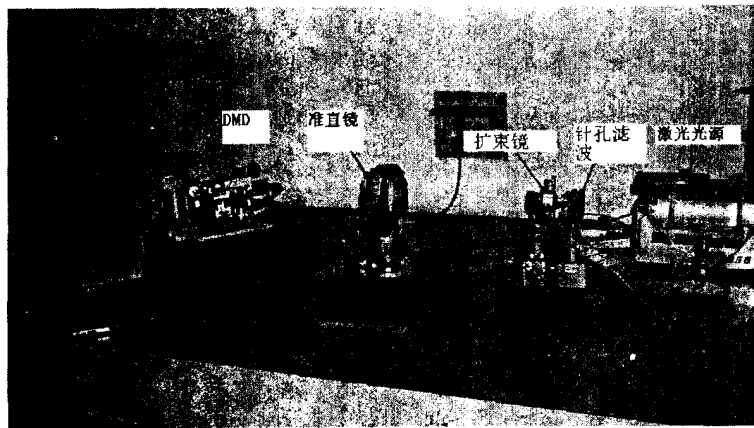


图 1 DMD 全息系统

图 1 是 DMD 全息系统的入光光路部分,DMD 通过 DVI-I/SVGA 专用数据线与主机相连,保证 DMD 与显示器同步显示,采用 15mW HeNe 激光(波长 632.8nm)作为光源,光源发出光束经过扩束镜和针孔滤波器形成扩展光束,经过准直镜(焦距为 30cm)后形成平行光照射在 DMD 芯片上,在系统出光光路方向上与 DMD 一定距离的接收屏上可以看到全息图重构图像。

当平行光照射处于开态的 DMD 时,设入射光以 θ_i 角度照射 DMD,反射光的角度为 $\theta_r = 2\gamma - \theta_i$,这里 γ 是 DMD 倾斜的角度(10°),则沿对角线方向的相邻像素之间有一个相位差值,它们的光程差不同,为 $BC - CD$,由图 2 可知, $BC = \Delta \sin(\theta_i)$, $CD = \Delta \sin(\theta_r)$,相应的相位为:

$$\phi = \frac{2\pi(BC - CD)}{\lambda} = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} [\sin(\theta_i) + \sin(2\gamma - \theta_i)] \quad (1)$$

因为 DMD 沿 45° 对角翻转,所以投影到水平和垂直方向的相邻相位差 $\theta = \frac{\sqrt{2}}{2} \phi$ 。

单位振幅单色相干平面波照射在 DMD 上时,假设 DMD 平面坐标为 x, y ,则经过 DMD 反射后的位于 DMD 平面的光场分布可以表示为下式^[6]:

$$U(x, y) = \{\text{rect}(x/a)\text{rect}(y/a)f(x, y)\} \times$$

$$\text{rect}(x/L)\text{rect}(y/V) \quad (2)$$

$$f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mb) \exp(jm\theta) \delta(y - nb) \exp(jn\theta) \quad (3)$$

式中 $\text{rect}(x/a)\text{rect}(y/a)$ 表示尺寸为 a (本系统为 $16\mu\text{m}$) 单个方形镜片反射后的场;梳状函数表示镜片的周期结构,周期为 b (本系统为 $17\mu\text{m}$); L, V 表示整个 DMD 表面的尺寸。因分数傅里叶变换与非涅耳变换只相差一个二次相位因子和缩放因子^[7],对光场进行

非涅耳分析可以表示对光场进行分数傅里叶变换后的结果。

注意到式(3)是可分离的,以一维为例:

$$U(x) = \{\text{rect}(x/a) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mb) \exp(jm\theta)\} \times \text{rect}(x/L) \quad (4)$$

用 $u = x'/d\lambda$ 进行变量代换,并且对 $U(x)$ 进行非涅耳分析可得:

$$I_x(u) =$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} U(x) \exp[j\pi/d\lambda(x' - x)^2] dx =$$

$$\exp(j\pi\lambda u^2) [a \text{sinc}(a\pi u) b \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(u - m/b - \theta)] * F\{\text{rect}(x/L) \exp[(j\pi/d\lambda)x^2]\} \quad (5)$$

式中 $*$ 表示卷积; $F\{\}$ 表示傅里叶变换,文中把这部分理解为光场非涅耳变换后的直流分量部分,因此式(5)结果就是直流分量被周期复制,包络为 sinc 函数形式。可以理解当 DMD 被平行单色相干光照射时出现的多级衍射光斑图样是由 DMD 的微镜结构决定的。

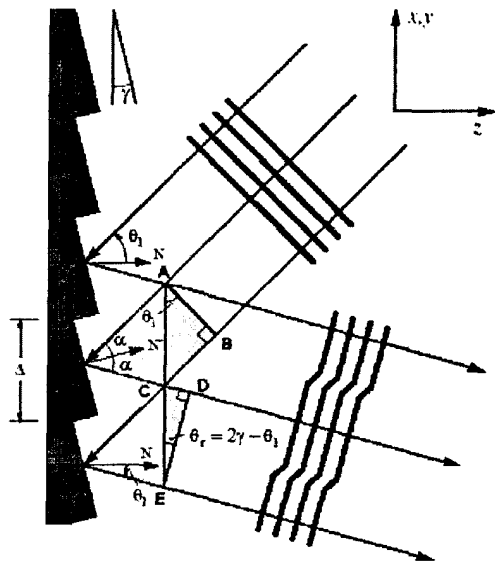


图 2 DMD 处于开态时情况

2 分数傅里叶变换全息图以及体视全息图

传统的基于菲涅耳衍射的光学体视全息图的基本要求:为保证成像质量,二维图像序列的获取几何、全息图的生成几何与体视全息图的观察几何三者之间必须是对应的。文中用计算机生成体视全息图,因此在生成体视全息图时候只需要保证二维图像序列的获取几何与体视全息图的观察几何对应就可以保证成像质量,分数傅里叶变换可以把整个光场统一起来,通过设定参数能够保证满足以上基本要求^[8,9];用分数傅里叶变换生成体视全息图优点在于:其重构图像与共轭像出现在距离全息图深度不同的面上并且相互分开,可以通过空间滤波消除它们之间的相互干扰,从而得到清晰的重构图像。

基于 VC++ 与 OpenGL 对三维物体进行空间建模,用计算机图形摄像机对此三维物体进行拍摄来获取二维序列图像,拍摄面距离经过物体中心并与拍摄面平行的平面 2m,水平方向相隔 2.3cm 获取一幅二维图像。

体视全息图原理是基于二维序列图像获取几何与体视全息图观察几何的对应关系上的,在观察体视全息图重构图像时,我们的瞳孔与在二维序列图像获取过程中的摄像机是对应的,为得到尽量逼真的体视重构图像,就要求在二维图像获取时摄像机具有一定的孔径并且聚焦在目标物体中心,起到对目标物体的空间滤波作用^[10]。由于计算机图形摄像机模型是针孔摄像机,文中获取二维序列图像的方法是:在 2.3cm 间隔内用计算机图形摄像机等间隔拍摄十幅图像,然后对这十幅图像(加权)平均来得到一幅相当于有孔径摄像机拍摄的二维序列图像。针对二序列图像编程实现了分数傅里叶全息图与分数傅里叶体视全息图的合成。图 3 是文中建模的三维物体;图 4 是文中合成的分数傅里叶体视全息图。

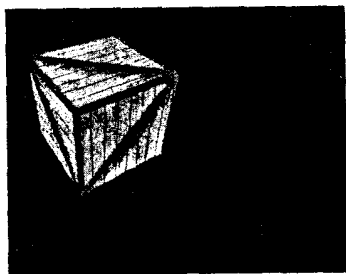


图 3 三维物体

3 分数傅里叶体视全息图显示

文中提出的 DMD 全息显示系统以 DMD 作为全息图载体,当平行光照射在 DMD 面上时,在一定的距

离处放一接收屏,可以接收到全息图的重构像。对于体视全息图而言,这种显示方法是不可能正确显示的,因为体视全息图是狭缝式的,每个狭缝记录不同的二维图像,所以把整个体视全息图用此系统重构时会出现所有二维序列图像同时得到重构的现象。

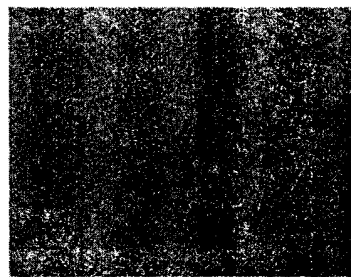


图 4 分数傅里叶体视全息图

文中采取的显示方法是将分数傅里叶体视全息图按照狭缝分解,得到与记录序列图像个数相等的狭缝全息图像,以每秒 25 帧的速度按记录顺序显示,由于二维序列图像的采样率较高,能够较真实地呈现动态连续三维感。这种做法的优点还在于:在观察传统体视全息图时,人眼与体视全息图做相对运动,运动到相邻狭缝交接处会出现单眼同时看到两幅图像的现象,出现一定的失真^[10],而基于文中系统的显示方法保证我们在观看体视全息图时眼睛注视接收屏即可,不会出现单眼同时看到两幅图像的情况,能得到连续三维感,可以有效避免上述失真现象。

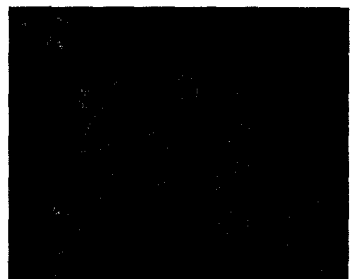


图 5 第三幅序列图像重构图像



图 6 第十幅序列图像重构图像

图 5 和图 6 为序列图像第三幅和第十幅的 DMD 系统显示结果,可以看出原三维物体不同角度的重构图像,实验结果充分证明文中提出显示方法的可行性。

(下转封三)

过长。

3) 只对每个连接的首个分组进行复制,实际只需对该分组的头部进行复制,原分组仍按照正常流程转发,因此不存在分组损失,保证了连接的完整性。

本方案的不足之处在于需要一个前期准备过程。新连接状态的建立通常要有一定的双向数据流量,这些分组无法进行 DSCP 标记。从新连接首个分组(克隆)入查询队列到查询结束,中间不可避免存在延时,同样无法对延时这段时间内的传送的分组进行 DSCP 标记。这些前期准备过程对性能的影响,主要取决于连接的建立速度和查询的响应速度。但是这些缺陷对于整体的标记速度提高来说,可以忽略不计。这也是本方案后续工作的一个研究方向。

3 结束语

针对下一代网络(NGN)开展多媒体业务的新需求,主要是在如何有效保证用户服务等级协定方面,提出了一套全新的基于连接状态的 SLA 流量标记方案,并通过编码和实验证明了该方案的可行性,最后对方案的优缺点进行了分析。文中提出的方案具有很强的实效性和应用性,能够很方便通过编程实现,因此具有一定市场价值。下一步工作的重点是如何对方案进行改进以适合更大规模的 ISP 运营环境。

(上接第 249 页)

上图右下方的光斑是原物像的重构共轭像,会清晰地显示在深度不同的平面上(深度与分数阶有关),并且与重构像空间分离;左上方的光斑由 DMD 空间结构决定的直流分量部分,所以可以用空间滤波器将上述光斑滤除,得到更加易于观察的全息图重构图像。

4 结束语

DMD 全息显示系统能够成功显示体视全息图,产生动态连续三维感,并且有效避免了传统体视全息图的失真现象。首次把分数傅里叶变换算法应用于体视全息图合成,扩大了分数傅里叶变换的应用范围,取得较好的效果,同时为基于 DMD 的全息显示搭建了系统平台。

随着空间光调制器件 DMD 的发展,分辨率越来越高,微镜面尺寸越来越小、偏转角度和速度进一步提高,对光场的调制特性将更加突出,基于 DMD 的全息显示技术将会备受关注。

参考文献:

[1] Halle M W. Holographic stereograms as discrete imaging systems[J]. SPIE Bellingham, 1994, 2176: 10-21.

参考文献:

- [1] 陈刚,周文安,宋俊德.基于 SLA 的业务建模和参数映射算法[J].北京邮电大学学报,2007,30(4):91-95.
- [2] 张若英,徐志发,鲁春丛.SLA 实现技术及其应用[J].中兴通讯技术,2006,12(1):12-16.
- [3] 杨勇,王雪晶,陈良臣.QoS 在 IP 中的研究和应用[J].计算机技术与发展,2007,17(5):33-36.
- [4] 张奕奎,邱雪松,孟洛明.基于 SLA 的业务质量评价[J].电信科学,2007,23(3):78-83.
- [5] 邱述威,张霖.IPv6 下 DiffServ 在 Linux 中的设计与实现[J].计算机技术与发展,2008,18(5):238-244.
- [6] 张奕奎,孟洛明,邱雪松.基于 SLA 的 IP DiffServ 网络的业务实现机制[J].北京邮电大学学报,2006,29(6):103-106.
- [7] 高杰,沈军.Linux 下区分服务逐跳行为的设计与实现[J].计算机工程与设计,2006,27(22):4193-4196.
- [8] 周华平.防火墙中规则的翻译及检测方法的研究[J].计算机技术与发展,2007,17(11):135-138.
- [9] 朱冲,杨俊,张向利,等.基于内核 2.6 的 Linux 包过滤型防火墙的设计与实现[J].计算机系统应用,2008(10):114-117.
- [10] 李惠娟,王汝传,任勋益.基于 Netfilter 的数据包捕获技术研究[J].计算机科学,2007,34(6):81-83.
- [11] 董昱,马鑫.基于 netlink 机制内核空间与用户空间通信的分析[J].测控技术,2007,26(9):57-60.

- [2] 史东,曹玉茹,张子云,等.分数傅里叶变换的快速算法及计算全息图的研究[J].计算机技术与发展,2006,16(4):14-17.
- [3] 杨世宁,李耀棠,王天及,等.用数字微反射镜器件合成体视全息图拍摄系统[J].光电子·激光,2001,12(7):719-721.
- [4] 王金城,郭欢庆,郎海涛,等.数字合成全系统[J].光电子·激光,2002,13(7):740-743.
- [5] Nesbitt R S, Smith S L, Molnar R A, et al. Holographic recording using a digital micromirror device[J]. Proc. SPIE, Practical Holography XIII, 1999, 3637: 12-20.
- [6] Kreis T, Aswendt P. Hologram reconstruct using a digital micromirror device[J]. Opt. Eng., 2001, 40: 926-933.
- [7] 曹玉茹,张子云,史东,等.分数傅里叶变换合成计算全息与数字重现[J].计算机工程与应用,2006,42(18):20-23.
- [8] Lohmann A W. Image rotation, Wigner rotation and the fractional Fourier transform[J]. J Opt Soc Am, 1993, 10(12): 2181-2186.
- [9] 曾阳素.分数傅里叶变换全息图与菲涅耳变换[J].邵阳学院学报:自然科学版,2004,1(1):2-5.
- [10] Halle M W. The Generalized Holographic Stereogram[D]. USA: Massachusetts Institute of Technology, 1991.