

【编者按】实现影视景物形象的真正全息三维显示是当今影视科技发展的前沿，世界科技发达国家都投入了科研力量从事相关研究并已获得一定成果。此项研究的意义远远超出目前“影视行业”狭义范畴，其用于科学研究和国防领域的重要意义更是显而易见。Song_tanxuan@ccw.com.cn 欢迎您加入讨论。

全息立体显示技术助推裸眼 3D 发展

文 / 孔彬 (国家广播电影电视总局广播电视规划院)

最近,3D 立体显示技术的发展十分迅速,加之各种 3D 显示屏幕不断地进入市场,从 3D 电影和 3D 电视的火热程度不难看出 3D 显示行业的巨大利润和光明的前景。

然而目前市场上的 3D 电影和 3D 电视都是基于人眼的左右眼的视差效应,用两个画面合成的伪立体效果,只具有立体的视觉效果但实际并不包含图像的深度信息。并且在观看 3D 电影和电视时,观众需要佩戴特制的眼镜,长时间容易产生视觉疲劳。因此,如何实现裸眼 3D,并且使其成为真正融合深度信息的三维立体显示技术成了一个热门的研究课题。基于全息 3D 显示技术凭借其精确的深度信息还原和逼真的立体视觉效果,从众多方法中脱颖而出。

全息式立体显示的最大优点是,显像器无需安放在桌柜上或者悬挂于墙上,视像重显的激光束被投射于观看范围之内,甚至可以射向地板,观众可以通过任何视角观看,无需佩戴立体视眼镜。这种迄今只在科幻小说中被描写过的观赏方式,将从根本上变革电影和电视节目的观赏方式。

全息技术重塑成像过程

全息技术第一步即拍摄过程是利用干涉原理记录物体光波信息:被全息技术拍摄的物体在激光辐照下形

成漫射式的物光束;另一部分激光作为参考光束射到全息底片上,和物体光束叠加产生干涉,把物体光波上各点的相位和振幅转换成在空间上变化的强度,从而利用干涉条纹间的反差和间隔将物体光波的全部信息记录下来。记录着干涉条纹的底片经过显影、定影等处理程序后,便成为一张全息图,或称全息照片。第二步,利用衍射原理再现物体光波信息,即成像过程。全息图犹如一个复杂的光栅,在相干激光照射下,一张线性记录的正弦型全息图的衍射光波一般可给出两个像,即原始像(又称初始像)和共轭像。再现的图像立体感强,具有真实的视觉效应。全息图的每一部分都记录了物体上各点的光信息,故原则上它的每一部分都能再现原物的整个图像,通过多次曝光还可以在同一张



底片上记录多个不同的图像,而且能互不干扰地分别显示出来(见图1)。

全息技术又分为纯光学全息和基于计算机的计算全息(CGH Computer generated hologram)。光学全息记录全息图的过程对环境要求十分严苛,需要保证无噪音,无振动,并且要求用相干性极好的激光光源,为了解决这个问题,人们开始发展基于计算机的计算全息术(见图2)。



图1 全息技术

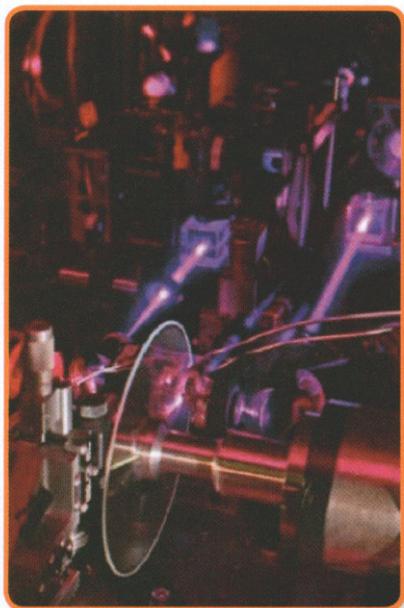


图2 光学全息技术

计算全息术是将实际物体的光波进行抽样,或者通过将光波的描述函数输入计算机,用计算机模拟实际的干涉过程,计算出干涉条纹从而得到计算全息图,再将计算全息图放到实际光路中以便得到重现的图像。由于计算全息并不一定非要有实际的物体存在,只要有物体的描述函数就行,并且整个成图的过程都是在计算机中完成,因而对环境的要求较为简单,可重复性也比较高。计算全息图也比较容易存储和复制。因此计算全息在3D显示方面的应用前景无限光明(见图3)。

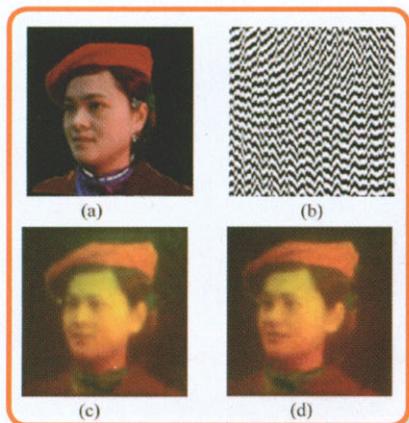


图3 计算全息技术

计算全息显示技术突破指日可待

计算全息三维投影显示能够完整记录和重建三维物体的波前,提供人眼视觉系统所需全部深度信息,在国际上是裸视真三维显示技术的研究热点。与光学全息显示相比,计算全息三维投影显示具有制作简单、效率高、成本低和便于信息的存储和传输等显著优点,不仅可以显示静态的实物,而且可以显示虚拟动态物体。但是计算全息三维投影显示通常需要借助空间光调制器(SLM)来显示三维图像,因此图像的质量受到SLM的阵列大小、像素尺寸、填充率、帧频和衍射效率等性能参数的限制。SLM按照光的读出方式不同,分为反射式和透射式;按照输入控制信号的不同,分为光寻址(OA)和电寻址(EA);按照调制类型的不同,分为振幅型和相位型。目前市场上的SLM有液晶显示(LCD),数字微镜阵列(DMD)和硅基液晶(LCOS)。其中LCOS是近年来发展非常迅速的一类器件,它采用有源点阵反射式液晶显示技术,是LCD和CMOS集成电路的有机结合,和LCD相比,LCOS具有更高的分辨率、开口率和衍射效率(见图4)。相位型SLM由于具有较高的衍射效率,最近几年得到了广泛的应用。

最早成功实现全息三维投影显示

的是美国麻省理工学院媒体实验室空间光学成像实验小组。1989年,他们开发了以扫描声光调制器为核心的第一代全息投影显示系统,其后几年先后开发了第二代和第三代全息投影显示系统,其中第三代系统可以显示尺寸为 $80\text{mm} \times 60\text{mm} \times 80\text{mm}$ 、视场角为 24° 的三维图像。但是由于声光调制器是一个一维装置,必须通过扫描镜来获取水平和垂直的图像,在使用时受到了限制。美国德克萨斯州西南大学医学中心于2003年建立了一套利用DMD芯片的全息动态投影显示系统。将计算全息图加载到DMD上,通过数字微反射镜对入射光场的调制实现变距离的三维投影,生成的实像利用凝胶媒质接收,虚像则可用眼睛直接观察。但由于DMD像素数较少,重建图像的尺寸和分辨率都较低,制约了其在全息投影显示系统中的应用(见图5)。

日本千叶大学的Shimobaba等和日本Hyogo大学的Sato等分别于2003年和2006年利用时分法实现单片LCD的真彩色全息显示。但是这种方法只能再现静态的图像,动态图像的再现则需要具有更高帧频速率的LCD。2004年,Ito等应用红绿蓝(RGB)三色LED光源合成多色光源,同样采用单片LCD实现了三维真彩色全息像显示。2009年,他们又使用RGB三片LCD实现了三维真彩色全息像显示。



图4 LCOS工程投影机

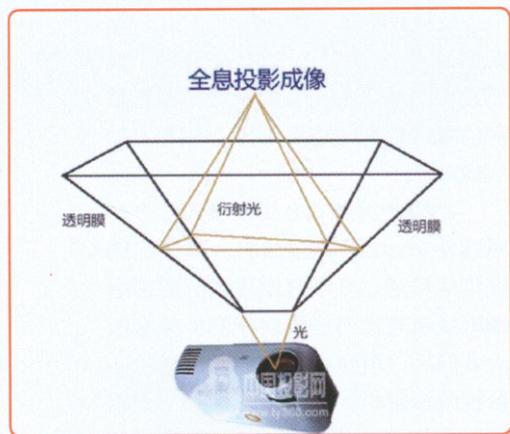


图5 全息投影成像

这种方法需要再现的三原色像非常好地重合在一起以及精细校准,对实验要求比较高。

2005年,波兰和美国的研究人员利用相位型 LCOS 实现了三维物体的全息投影显示。但是受当时 LCOS 的空间分辨率所限,重建的三维图像质量较差。英国 Qinetiq 公司和剑桥大学高级光子和电子技术中心于 2004 年利用电寻址液晶 SLM 和光寻址的双稳态液晶 SLM 研制了一台视频显示的数字全息投影显示系统,全息图衍射窗孔的面积达 $136\text{mm} \times 34\text{mm}$,像素数超过 100M,以 30Hz 帧速刷新,可以视频方式显示宽度大于 300mm 的全视差三维彩色图像。但是该系统比较复杂且造价高昂。

国内多所高校及科研单位也相继开展了全息显示方面的研发工作,取得了一定的进展。北京理工大学在三维物体建模、数字全息图设计计算、应用纯相位调制 LCOS 投影显示、消除零级衍射、解决全息三维显示体视遮挡、增大图像尺寸、实现复振幅调制和快速算法等方面进行了深入细致的研究并取得了初步成果。安徽大学开发了一套以 DMD 为核心的数字全息光学再现装置,计算生成的全息图加载至 DMD,在激光照射下产生原物的全息像。浙江师范大学在彩色全息显示、三维场景消隐等算法上取得了

一定的进展。中山大学实现了基于三维实景的三角形面片导向型全息编码算法。上海大学的课题组利用 RGB 序列全息图对真彩色显示问题进行了研究。

计算全息三维显示技术是一种非常理想的真三维裸视立体显示技术。虽然在算法及实验设备等方面都取得了很大的进展,但该技术尚未在本质上突破,仍然无法进入实际应用阶段。其主要原因是全息图的计算速度达不到实时显示的要求。从目前研究进展看,解决办法集中在开发出快速算法以及使用超级计算机。由于全息图计算的高度并行性,“GPU 计算”逐渐成为主要的计算模式。其次,受到目前计算全息三维显示器件的限制,无法获得大尺寸和大视场角的三维图像。在利用现有光电显示器件的前提下,解决办法是使用多 SLM 拼接的技术,但这种方法会增加系统的成本及复杂度。而利用时分复用的方法则要求高帧频的 SLM。此外,该技术还面临着由于相干光源、光电显示器件引起的噪声与真彩色显示等问题,这些问题还需深入研究。如果出现可以承载计算全息三维显示投射出的实像的介质或者光电显示器件得到质的飞跃,相信在不久的将来计算全息三维显示技术将会给三维显示界带来前所未有的突破。

打造观看世界的真实三维

设于洛杉矶的网站 3DTV.com 在 2011 年 12 月 17 日,依据 BBC 新近发布的题为“欧洲的立体电视研发活动”的技术白皮书,发表了评述性报道——《真实三维 (Real 3D)》。

这一项目的全名是“适合于真实世界景物的三维和四维摄像、处理及显像”,项目目标是探讨如何利用数字化全息技术,克服通常的立体视显像技术和裸眼型显像技术的一些缺点。目前在用的和新近研发的立体显像技

术还具有一些缺陷,例如观众必须佩戴立体视眼镜,一起观看的观众人数受到限制,表现的景物深度与观看者的焦距不匹配,某些深度信息被完全舍弃等等。人们普遍同意,在已知的多种技术族中,只有全息技术族能够在单次拍摄中捕捉到景物的包括相位信息的完整三维信息,因此能够克服上述缺陷;而其他技术族则只当许多条件都合适的时候才能呈现三维功能。

传统的全息技术是静态的,而使用一台数字化摄像机和一台平面型光电显像屏取代全息照相底板,就能够采集及重显全息视像。由于将数字化全息技术引入三维视像的采集和重显的效果以及由此引发的全盘影响还有待探索,数字化全息视像中的三维信息尚未被充分利用。这项研发工作的目标是消除数字化全息技术发展所面临的一些障碍,完整塑造世界第一个具有完善功能、不受限制地观看真实世界景物的三维视像采集及重显范例,研发一种能够记录三维全息视像的视像采集系统,以及基于硅基液晶 (LCOS) 技术的三维全息显像系统。这恰恰就是将缩略词“真实三维 (Real 3D)”作为项目简称的缘故。

突破棚内制作,实现全维度观看

上世纪 70 年代中期前苏联就已开始了对全息电影技术的研究。尼克菲 (苏联电影照相科学技术研究所) 的研究小组确定了下述原则:

- 1、全息电影用两种方法制作:(1)用激光;(2)用普通非相干光即“镜头-光栅”法,随后将光栅影像转换为全息影像。
- 2、使用大孔径约 200mm 的镜头进行摄影和放映;
- 3、使用特殊的银幕,依据观众的数量来增加和聚焦影像;
- 4、用约 10 微米的厚乳剂层全息胶片来存储和再现三维彩色影像。

根据上述原则，尼克菲分别拍摄和放映，并同时供多人观看的具有三维单色影像(1976年)和彩色影像(1984年)的全息短片，总时长约为5分钟。

尼克菲的全息电影系统方案能够借助一种特殊的全息银幕，使影像倍增，从而实现多区影像再现。该系统克服了全息电影制作原有的局限性，有可能实现任意座位数量的全息电影院。

尼克菲的首个全息彩色电影系统研制于1981~1985年，该系统由以下四部分组成：

1、70mm全息胶片摄影机，画幅尺寸为51mm 47mm，摄影频率为24格每秒。

2、焦距150mm、孔径22mm的镜头。

3、用于脉冲激光和连续激光摄影的激光摄影机。

4、用于全息胶片真空定位的激光摄影机。

尼克菲还研制了两种不同的放映机，放映机镜头焦距为250mm，孔径为200mm。第一台放映机使用激光器，第二台放映机使用汞镉灯。当然，使用激光器的放映机会产生更大的像深，但其结构更复杂；使用汞镉灯的放映机比较简单且比较便宜，但像深小（见图6）。

尼克菲的研究表明，全息电影的拍摄和印片可以使用灯泵浦(lamp-pumped)的最佳波长的染料激光器来完成。从而获得5~10焦的脉冲辐射能量，相干波长为10m~20m，脉冲宽度约为1毫秒。研究还表明，制造红、绿、蓝激光彩色脉冲摄影用全息胶片材料是切实可行的。

在解决了观众数量的问题之后，尼克菲转而进行全息电影系统研发的下一阶段工作——开发全长度全息故事片的拍摄和制作技术，包括如何在外景地拍摄不能用激光照明的大物体的问题。尼克菲于近几年进行的研究证实，可以先在非相干光下使用双镜

头摄影机拍摄3D电影，然后再用数字转换的方法来获得大量的中间视界角(intermediate angle-aspect)。

通过研究，多角度风景摄影的实现，意味着全息电影的制作突破了局限于棚内拍摄的限制。现在，尼克菲的技术允许在常规光线条件下拍摄任何风景，随后再将影像转换成全息影像。这样，全息电影系统的最后一个关键缺点也被克服了。

随着计算机的推广，使用容易处理和管理影像的数字技术已经成为一项基本要求。由于质量令人惊叹的全息影像仍然是用胶片来拍摄，因而在适应数字技术环境方面仍存在一定的差距。对于在影院放映的全息电影来说，这不是个问题，但对于广告、商业展示以及生成3D虚拟现实来说至关重要。

在此环境下，尼克菲实验室开发了一种新的数字影像处理技术。这种技术虽然用于影院，却没有现有影院系统的缺点。观众不用戴立体眼镜或头盔式显示器，便可以观众席内观看到3D影像，随意改变坐姿，绕过去看，观众都不会错过影像。基于尼克菲等机构以前开发的不戴眼镜的3D电视实验系统使这种技术得以实现。

由尼克菲、韩国科学与技术研究

所以及俄罗斯的几家机构研发的3D电视项目于1997年~1998年完成。他们设计制造了一个完成视频拍摄和将彩色3D活动影像投影到全息银幕上的实验系统。

拍摄使用装有8个镜头和8个传感器件(matrix)的摄像机。摄像机的视频信号通过8个通道传送给磁带录像机或者直接传送给转换器，频率放大8倍后，再经由一个通道传送给一台视频投影机。视频投影机有三个阴极射线管，适应投影使用的红、绿、蓝三个分量。在阴极射线管的荧屏前有三个投影镜头，在每个镜头前面又有一些各由8个垂直条带组成的液晶斩波器。条带以适当的顺序打开，使观众看到3D影像。全息屏幕通过对光的反射形成若干观看区，每个观看区的截面直径大约为350mm。当观众的眼睛位于该区之内时，他看到的影像呈3D状态。

当前由于尼克菲的3D数字电影系统在技术原理和关键技术方面尚属于“商业秘密”，他们不便于披露，但它们很乐于公布该系统的实际特点。该系统具有以下特点：

1、观众无需配戴立体眼镜或头盔式显示器，可以在座椅中随意改换坐姿观看3D影像和绕过3D影像观看。

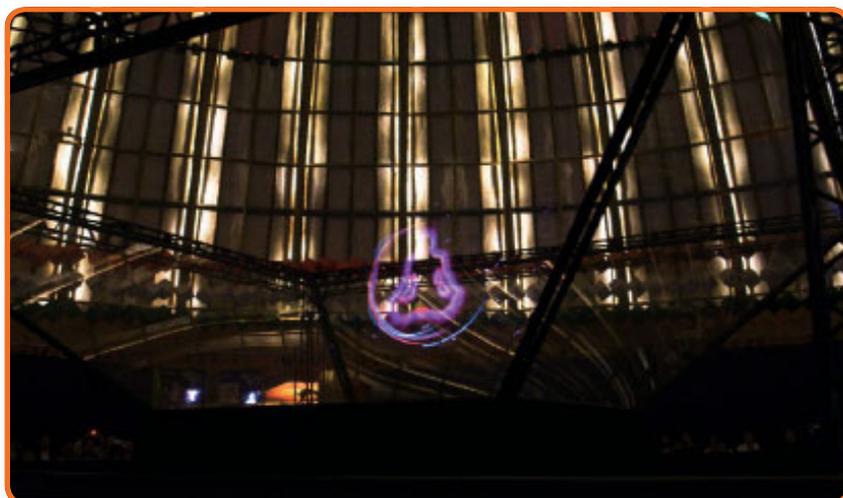


图6 全息电影

(下转48页)