

文章编号:1007-2780(2017)04-0302-06

基于液晶多层屏的 3D 显示系统和算法设计

陈晓西*,李光勇,王继岷,江山,黄张英,刘晨曦

(电子科技大学 光电信息学院,四川 成都 610054)

摘要:为了获得真 3D 的显示效果,我们采用多层屏显示具有深度信息的衰减图的方法来实现。整个显示系统包括多层液晶显示模块、多路显示驱动模块和高亮度背光模块。多层 3D 图像采集和处理过程包括:架设相机对模型进行多个角度的拍摄,对这些投影图进行几何光学处理得到包含所有光线路径的稀疏矩阵,再通过最小二乘法拟合实际光场得到相应的衰减图,最后通过软件将衰减图输送到三层液晶屏显示系统进行显示。实验表明:重构出来的图像均方差为 71.5,信噪比接近 30 dB,效果较好。最后实验结果证明我们的显示系统具有良好的 3D 效果。

关键词:多层屏;3D 显示;光场;液晶显示器

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173204.0302

Liquid crystal multi-layer 3D display system and algorithm design

CHEN Xiao-xi*, LI Guang-yong, WANG Ji-ming, JIANG Shan,
HUANG Zhang-ying, LIU Chen-xi

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China,
Chengdu 610054, China)

Abstract: In order to obtain the true 3D display, we use the multi-layer screens to display the attenuation image with depth information. The display system includes the multi-layer liquid crystal device module, multi-channel driver module and high brightness backlight. We capture the objects from different angle, calculate the sparse matrix about the light field according to the project direction, and obtain the attenuation image by the least square fitting. At last, the attenuation image is conveyed to the three-layer LCD screen of display system by software. The experimental results show that the reconstructed image's mean square error is 71.5 and the peak signal to noise ratio is close to 30 dB, the effect is better. Finally, we give the experimental results which have the good 3D effect.

Key words: multi-layer; 3D display; light field; liquid crystal device

收稿日期:2016-10-23;修订日期:2016-12-16.

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(No.ZYGX2010J063)

Supported by Fundamental Research Funds for the Central Universities(No. ZYGX2010J063)

* 通信联系人,E-mail:chenxiaoxi@uestc.edu.cn

1 引言

三维(Three-dimensional, 3D)显示技术根据其显示机理是否与人眼视觉生理存在冲突可分为有立体视疲劳的3D显示技术,主要有助视3D显示、视差3D显示技术等^[1-2];无立体视疲劳的3D显示技术即真3D显示技术,主要有体三维显示^[3]、全息三维显示^[4]、集成成像三维显示^[5]、光场三维显示技术^[6]等。光场三维显示技术是一种新型三维显示方法,光场显示试图记录和重构三维物体上每个点朝向各个方向发出的光线,与全息显示类似,因此它不仅可以直接再现三维场景的空间特性,而且能够正确表现不同物体之间的相互遮挡关系。观察者从不同角度均可观察到相应视角的画面,长时间观看不会产生不良生理反应。科研工作者给出很多方案来实现光场显示,包括使用拼接视场体视三维显示的方案^[7],这些方案都想通过空间视角拼接^[8]和时间视角拼接来实现光场3D显示,采用投影机阵列或者定向散射屏、柱面透镜阵列、复眼透镜等光学元件来实现空间视角拼接^[9],采用方向光源来实现时间视角拼接^[10]。

多层显示技术(Multi-layer display, MLD)也是一种空间平面视角光场显示技术。其基本原理是通过一个显示器内布置两个以上的显示屏幕,在不同的显示屏中显示有差异的视频图像,这些图像具有一定的深度信息,将这些图像进行一一处理后,再通过多个显示屏的合成效果,就可以达到立体显示效果。麻省理工大学媒体实验室 Raskar 等人在 2011 年对技术进行了改进,提出了基于衰减型多层结构的光场三维显示^[11-12],系统采用了多层印有图案的透明薄膜,这种方式只能显示静态物体。Raskar 等人又提出了基于偏振型 LCD 的多层显示^[11]和采用方向背光的多层 LCD 显示^[13]。2012 年 Nicola 等人提出了采用 DLP 和变焦系统实现多层显示^[14]。

本文将针对多场光场显示中的基于多层液晶屏的硬件和软件实现进行介绍。

2 多层 LCD 3D 显示系统

采用多层屏实现裸眼 3D 显示的硬件系统可

分为多层图像显示模块、多屏显示驱动模块、高亮度背光模块和电源模块 4 个模块,如图 1 所示。

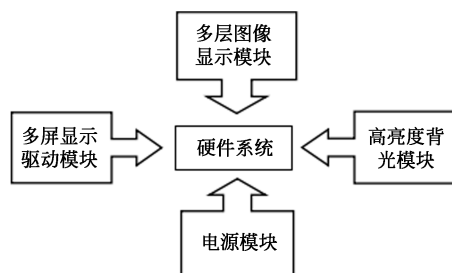


图1 多层 LCD 3D 显示系统

Fig.1 3D display system of Multi-Layer LCD

其中多层 3D 显示模块的基本原理图如图 2 所示,大致由前、中、后三层 LCD,以及一个背光源组成。系统的显示主体部分是一套三层透明液晶显示屏,三层透明液晶显示屏以一定间距垂直精确排列。各层液晶显示屏分别由一个驱动模块驱动,驱动模块将外界输入的三路视频信号显示为二维图像。由于多层显示系统显示模块的透过率极低,系统采用了自制的高亮度背光模块。

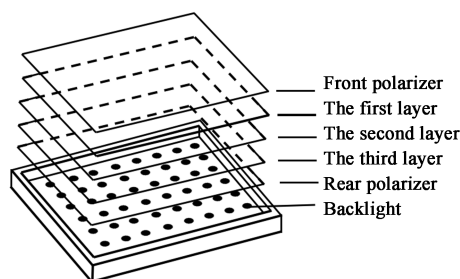


图2 多层 3D 显示模块

Fig.2 Multi-layer display module

2.1 三层 LCD 显示模块

采用多层液晶屏,由于液晶屏自身偏振片的存在,重叠的三张液晶屏是不能透光的。经过计算,即使去除了中层液晶屏的前后偏振片。这样光透过底层和顶层的偏振片正好可以正常显示。三层液晶显示屏的每张屏的透过率在 5% 左右,中层屏在去掉偏振片后透过率有小幅提升,但总体显示模块的透过率依然极低只能到 0.25%,这也是需要高功率强背光的主要原因。在多层 3D 显示系统中,我们采用了 IPS 屏幕,IPS 液晶面板的特点就是它的两极都在同一个面上,而不像其它液晶模式如 VA 等的电极是在上下两面、立体排列。多层 3D 显示系统如图

2 所示的三层结构中,整个显示模块是由偏振片、IPS 液晶盒、胶层、有机玻璃、胶层、IPS 液晶盒胶层、有机玻璃、胶层、IPS 液晶盒构成,其中每层 IPS 液晶盒是已经去除偏振片,以期只起旋光器件作用,只改变入射光偏振方向作用。整个系统中,我们只需要两片偏振片,因此,不管我们设计多少层整个系统的偏振片数量不会变化,系统的透过率不受因偏振片的增加而急剧降低。

2.2 多层显示驱动模块

多层 3D 显示系统的驱动模块分为两个部分,分别是液晶屏幕驱动和多屏信号显卡驱动。我们采用的是通用驱动集成电路,该电路由输出电压为 12 V,最大输出电流为 3 A 的电源适配器供电。集成电路上设有一个 VGA 输入接口用于视频信号输入。由于显示模块共有 3 张液晶显示屏,我们将各驱动板的电源接口并联焊接,并统一使用系统的电源模块供电。多层 3D 显示系统共有 3 个垂直排列的显示屏幕,需要同时输入 3 路视频信号,我们采用了多屏卡来实现这一功能。多屏卡可以使一套系统上安装两个或更多的显示器以扩展自己的工作桌面使得能在同一时间看到更多的信息或做更多的事情(使用多个应用程序)。鼠标可在多个屏幕之间任意漫游,可平滑地将光标由一个屏幕移到任意另一个显示器上,也可将任意应用程序,由占用一个屏幕扩展至占用两个甚至更多个屏幕,同时也可将不同应用程序在不同屏幕之间任意切换。另外可在一台计算机上同时安装多块卡,屏幕数量任意选择,屏幕方式任意排列。

2.3 高亮度背光模块

多层 3D 显示系统所采用的背光属于高亮度直下型背光。直下式背光一般用在大型 TV 上,从下到上的结构依次是金属背板、反射片、LED 光源、匀光膜、增亮膜。在多层 3D 显示器件中,我们采用了高功率背光模块。该模块的结构部分以有机玻璃为材料,在背光模块的前方设有匀光板,保证输出光源的均匀性。其后方设有散热风扇,保证该高功率器件的长时间稳定工作。与普通背光材料不同的是,我们采用了点阵式 LED 的背光模式,进行全屏点亮,使透射率更高,显示效果更好。

3 3D 多层屏显示算法

所谓投影图,就是相机在不同视角捕捉得到的物体的图像。不同视角拍摄得到图片将会拥有图像的方位信息,将这些信息加以利用,便可以近似地模拟出原物体的光场信息。对这些投影图通过算法便可以计算出三层衰减图。

3.1 投影图的获取

我们通过模拟来获取物体投影图。首先定义视场角(Field of vision, FOV)的概念,视场角就是人眼(或者相机)观察物体的最大张角。它又分水平视场角和垂直视场角。在本文中我们研究的视场角是针对物体而言的,即物体在一定范围内发出的光线的集合,如图 3 所示。

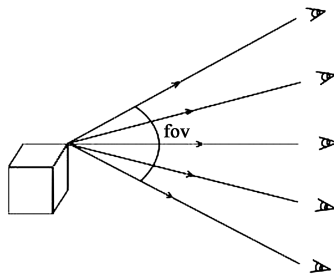


图 3 视场角示意图

Fig.3 Schematic diagram of field of view

由于物体发出的光场信息是连续的,所以我们只能通过采样的方式,获取一定数量的投影视图。具体的采样方式就是对视场角的正切值进行等分,摆放 5×5 相机阵列同焦平面的捕捉画面。物体的投影视图保留了物体各个方位的信息,将这些信息通过接下来的算法,便可以模拟出图像真实的光场信息。

3.2 衰减图计算的算法

首先,计算衰减图的原材料就是上一节所说的不同视角的投影图,不考虑光线在传播过程中的能量损失(屏与屏之间的距离非常小,能量大小几乎不变),以光线贯穿三层屏路径上的像素点线性相加来尽最大可能接近实际投影图,为这个算法的核心思想^[12]。

该算法的主要模型如图 4 所示。图中的 3 个平面分别对应 3 个衰减图形。贯穿 3 个平面的直线代表实际光场中的任意一条光线。直线与平

面法线的夹角就是相应的视角。观察点位于第一层平面的正上方,从而观察到来自3个平面发出来的光的集合。坐标系的 x, y 方向分别平行于平面的水平与竖直方向, z 方向为平面的法线方向。在后面的分析中主要以 x, y 方向的坐标为主。

先根据初始定义的视场角 fov 的大小,来决定观察点的位置。假设观察点所在平面距离焦平面的距离为 z ,则最大横向偏移或纵向偏移量为:

$$x = \pm z \tan(fov/2) \quad y = \pm z \tan(fov/2) \quad (1)$$

该最大偏移指的是观察点在一定高度(z 为定值)能够活动的 x, y 方向的范围大小。

再对其进行等间距取值,这样可以得到每个观察点的横纵坐标。 5×5 幅投影图中任意一幅上的任意一个像素点值都代表着某一束光线对应的强度,而这个光线对应的强度我们用其贯穿三个平面交点像素值线性和来表示。

我们以中间屏幕为参考面,找到对应 (m, n) 的像素点。假设屏幕间的间距为 l ,经过 (m, n) 偏向角为 θ 的光线与第一层屏和第三层屏依次相交于 $(x_A, y_A), (x_C, y_C)$,如图4所示。

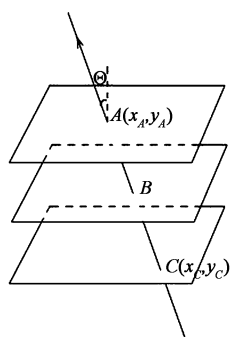


图4 光线路径图

Fig.4 Ray path diagram

A 和 C 点的坐标通过式(2)、(3)简单地求出。

$$x_A = m - l \tan(\theta), \quad y_A = n - l \tan(\theta), \quad (2)$$

$$x_C = m + l \tan(\theta), \quad y_C = n + l \tan(\theta), \quad (3)$$

假设 A, B, C 三个交点对应的像素值为 PA, PB, PC ,则模拟出来这条光线的强度,即为三者之和。若最后相应位置模拟出来的光线强度与实际光场信息相一致,则说明效果较好,相当于以下函数的极小值:

$$f = \sum_{\theta, m, n} (P(\theta, m, n) - B(\theta, m, n)), \quad (4)$$

其中: $P = PA + PB + PC$, B 为原真实光场信息,即 5×5 投影视图中视角为 θ 的图的 (m, n) 坐标的像素点值。求解的方法采用最小二乘法^[14],通过调用MATLAB中的函数lsqlin进行求解,求解模型如下:

$$\min \{ \sum_{\theta, m, n} (P(\theta, m, n) - B(\theta, m, n))^2 \}$$

$$s.t. \quad \frac{fov}{2} < \theta < \frac{fov}{2}$$

$$0 < m \leq x_{num}, m \in N$$

$$0 < n \leq y_{num}, n \in N$$

其中, x_{num} 为投影图水平像素个数, y_{num} 为投影图竖直像素个数,经过多次迭代,直到收敛。得到三层衰减屏该显示的图像内容,再根据函数返回值可以得到残差和重构出来的图像,与原图可以进行一个比对,以此来评判效果的好坏程度。

4 实验结果及分析

在3DSMAX中建立车子的模型。相机等间距排列,相机的焦平面控制在两辆车之间。

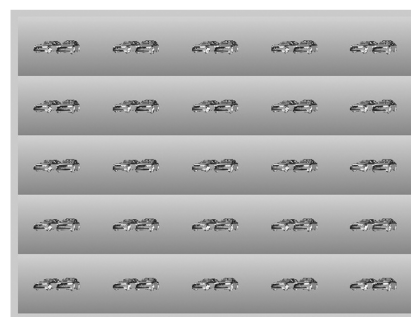


图5 5×5 投影图

Fig.5 5×5 projecting images

通过渲染得到了25幅图像,它们按照一定的顺序展示了相机拍摄的景象,如图5所示。对获取的投影图代入到之前叙述的MATLAB算法中得到如图6的三层衰减图。



图6 三层衰减图

Fig.6 Three-layer attenuation images

从衰减图可以看出物体的大致信息,离镜头较近的物体的主要信息显示在第一层屏上,而离镜头较远的物体的主要信息显示在第三层屏上,根据这些衰减图重构出了物体 5×5 范围视角的信息。取中心视图如图 7(a)所示,对比图 7(b),可知边缘存在着一些信息的失真。这种失真是在允许范围内的,原物体的深度信息是连续的,而在实验中仅仅采用有限的三层屏来企图显示所有的信息。通过最小二乘法来拟合真实空间的全部信息,然而变量的个数的限制导致了无法达到完美的效果。从原理上来说,屏幕的个数越多,效果越好。

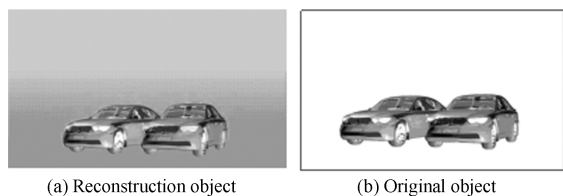


图 7 中心视图

Fig.7 Images from vertical angle of view

我们采用均方差 (MSE) 和峰值信噪比 (PSNR) 来衡量重构出来图像的失真程度:

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{0 \leq i \leq N} \sum_{0 \leq j \leq M} (f_{ij} - f'_{ij})^2,$$

$$\text{PSNR} = 10 \times \lg \frac{255 \times 255}{\text{MSE}},$$

计算出均方差为 71.4797,峰值信噪比为 29.589 0 dB。信噪比接近 30 dB,效果较好。

参考文献:

- [1] HONG J, KIM Y, CHOI H J, *et al.* Three-dimensional display technologies of recent interest: principles, status, and issues [Invited] [J]. *Applied Optics*, 2011, 50(34): H87-H115.
- [2] HOLLIMAN N S, DODGSON N A, FAVALORA G E, *et al.* Three-dimensional displays: a review and applications analysis [J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2011, 57(2): 362-371.
- [3] 林远芳,刘向东,刘旭,等.基于二维旋转屏的体三维显示系统像素属性分析[J].光子学报,2004,33(4):476-480.
LIN Y F, LIU X D, LIU X, *et al.* The Analysis of voxel attributes in three-dimensional volumetric display system based on the rotation of a two-dimensional display panel [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(4): 476-480. (in Chinese)
- [4] 陈晓西.衍射显示的研究[D].杭州:浙江大学,2008.
CHEN X X. Study on diffraction display [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese)
- [5] FRAUEL Y, JAVIDI B. Digital three-dimensional object reconstruction and correlation based on integral imaging [C]//*Proceedings of SPIE 5006, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems X*, Santa Clara, CA: SPIE, 2003: 61502M.

将三层衰减图通过软件导入到三层屏幕上,在小角度的偏移范围内拍摄了一段小视频,其中分别从上下左右四个角度截取了图像,如图 8 所示。我们可以清楚观察到 3D 效果,无论左右视角还是上下视角实际视角图都体现了其良好的立体显示效果。

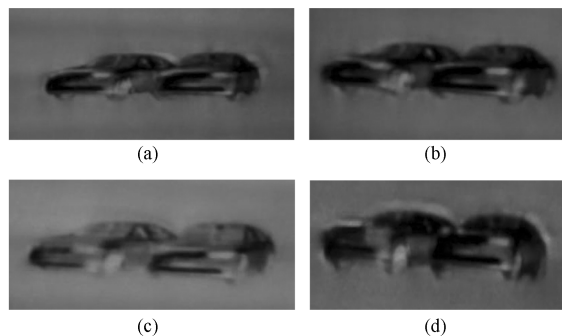


图 8 实际效果图。(a)、(b)、(c)、(d)依次为左右上下方向的视图

Fig.8 Experimental results. (a), (b), (c), (d) are respectively photographed from left, right, up and down direction of view

5 结 论

利用层析算法可以非常近似地拟合出原光场的信息。通过在多层屏仪器上的观察,也能很明显的观察到 3D 的效果。唯一的不足就是存在着微小的失真。在之后的研究中将继续优化算法并完善这一点。

- [6] 夏新星.水平光场三维显示机理及实现技术研究[D].杭州:浙江大学,2014.
XIA X X.Principle and establishment of horizontal light field three-dimensional displays [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)
- [7] 李帅,李海峰,彭祎帆,等.基于视场拼接的体视三维显示[J].液晶与显示,2010,25(4):601-604.
LI S, LI H F, PENG Y F, *et al.* Novel 3D Display based on spliced view-field [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(4): 601-604. (in Chinese)
- [8] COSSAIRT O S.A view-sequential 3D display [D]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [9] BALOGH T, KOVÁCS P T. Real-time 3D light field transmission [C]//*Proceedings of SPIE 7724, Real-Time Image and Video Processing* 2010, Brussels, Belgium: SPIE, 2010: 772406.
- [10] WETZSTEIN G, LANMAN D, HEIDRICH W, *et al.* Layered 3D: tomographic image synthesis for attenuation-based light field and high dynamic range displays [J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2011, 30(4): 95.
- [11] HOLROYD M, BARAN I, LAWRENCE J, *et al.* Computing and fabricating multilayer models [J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2011, 30(6): 187.
- [12] WETZSTEIN G, LANMAN D, HIRSCH M, *et al.* Tensor displays: compressive light field synthesis using multilayer displays with directional backlighting [J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2012, 31(4): 80.
- [13] RANIERI N, HEINZLE S, SMITHWICK Q, *et al.* Multi-layered automultiscopic displays [J]. *Computer Graphics Forum*, 2012, 31(7): 2135-2143.
- [14] 贾小勇,徐传胜,白欣.最小二乘法的创立及其思想方法[J].西北大学学报(自然科学版),2006,36(3):507-511.
JIA X Y, XU C S, BAI X. The invention and way of thinking on least squares [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2006, 36(3): 507-511. (in Chinese)

作者简介:陈晓西(1979—),女,浙江温州人,博士,副教授,主要从事液晶显示与成像方面的研究。Email: chenxiaoxi@uestc.edu.cn