

基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示

范 钧, 刘泽晟, 邓 慧

(成都工业学院 电子工程学院, 四川 成都 611730)

摘 要: 为了解决视区分离的问题, 设计了一种基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器, 建立了 3D 成像模型, 详细阐述了一维集成成像双视 3D 显示的原理; 通过几何光学推导视区宽度以及观看视角的计算公式; 研制了基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示测试装置, 在左 18° 到右 18° 的范围内, 通过左偏振眼镜和右偏振眼镜在同一视区内分别观看到两个不同的 3D 图像。

关键词: 集成成像; 双视; 偏振光栅; 观看视角

中图分类号: TN141 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA202049.0116001

One-dimensional dual-view integral imaging 3D display based on polarizer parallax barrier

Fan Jun, Liu Zesheng, Deng Hui

(College of Electronics Engineering, Chengdu Technology University, Chengdu 611730, China)

Abstract: To resolve separated viewing zones, a one-dimensional dual-view integral imaging three-dimensional (3D) display based on a polarizer parallax barrier was proposed. The imaging model of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display based on the polarizer parallax barrier was established. The principle of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display was illustrated in detail. The calculation formulas of the width of the viewing zone and the viewing angle were deduced by using geometrical optics. A test equipment of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display was developed. By using left and right polarizer parallax barriers, two different 3D images were viewed from 18° to the left and the right in the same viewing zone.

Key words: integral imaging; dual view; polarizer parallax barrier; viewing angle

收稿日期: 2019-09-05; 修订日期: 2019-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(61705022, 61775151); 四川省量子工程重点项目(2019JDRC0075); 四川省科技厅应用基础项目(2019YJ0377)

作者简介: 范钧(1980-), 女, 副教授, 硕士, 主要从事三维显示方面的研究。Email: junfan@cdu.edu.cn

0 引言

2005 年,日本夏普公司首次展示双视显示^[1]。它可以在不同的观看方向上呈现不同的 2D 画面,具有良好的研究价值和广泛的应用前景。例如,在采用双视显示技术的汽车中控屏上,驾驶员可以观看实时导航信息,而副驾驶则可以观看电影;在采用双视显示技术的双人游戏机中,两个玩家只观看到自己的游戏画面,而不会互相干扰。因此,双视显示技术受到众多研究人员的关注^[2-3]。集成成像是具有全视差和连续视点的真 3D 显示技术^[4]。它具有结构简单、成本低廉以及适合多人观看等优点^[5-8]。因此,集成成像 3D 显示与双视显示结合成集成成像双视 3D 显示技术^[9]。它可以在不同的观看方向上呈现不同的真 3D 画面。国内外研究机构提出了多种集成成像双视 3D 显示技术方案^[10-14]。四川大学通过引入偏振光栅实现了宽视角集成成像双视 3D 显示,采用时空复用技术以及正交偏振阵列实现了高分辨率集成成像双视 3D 显示^[10-11]。韩国首尔大学提出并实现了基于柱透镜光栅的投影型集成成像双视 3D 显示^[12]。荷兰阿姆斯特丹自由大学将集成成像双视 3D 显示技术应用于医学领域^[13]。与二维集成成像相比,一维集成成像通过舍弃垂直视差增大水平分辨率。电子科技大学采用狭缝光栅取代微透镜阵列,通过舍弃垂直视差增大 3D 图像的垂直分辨率^[14]。

但是,上述集成成像双视 3D 显示仍然存在两个视区分离的缺点。观看者需要移动观看位置才能看到另外一个画面,在一定程度上限制了双视显示在家庭娱乐设备和医疗设备中的应用。因此,文中提出一种基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器,两组图像元交替排列,且分别与偏振光栅的两组偏振条对应对齐,通过采用两副偏振方向正交的偏振眼镜分离两个 3D 图像,通过实验验证了所提显示方法的有效性。

1 理论分析

文中提出的一维集成成像双视 3D 显示器包括显示屏,偏振光栅,柱透镜光栅和两副偏振眼镜,如图 1 所示。显示屏、偏振光栅和柱透镜光栅的中心对应对齐。偏振光栅位于显示屏和柱透镜光栅之间,且

与柱透镜光栅紧密贴合。偏振光栅由偏振方向正交的偏振条 1 和偏振条 2 交替排列组成。偏振眼镜 1 和偏振条 1 的偏振方向相同,偏振眼镜 2 和偏振条 2 的偏振方向相同。

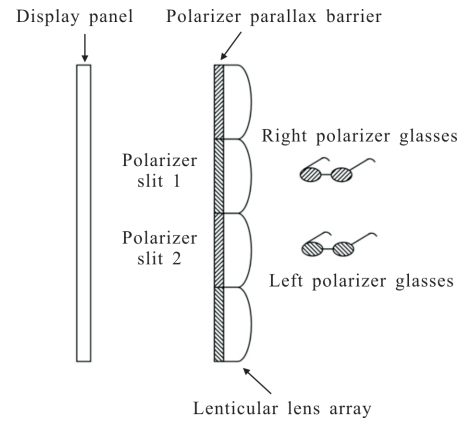


图 1 基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器结构图
Fig.1 Structure diagram of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display based on a polarizer parallax barrier

显示屏用于显示微图像阵列。微图像阵列由来自 3D 场景 1 的图像元 1 和来自 3D 场景 2 图像元 2 交替排列组成,如图 2 所示。图像元的节距与柱透镜光栅以及偏振光栅的节距相同。图像元 1 发出的光经过对应的偏振条 1 变成水平偏振光,然后被对应的柱透镜调制,在观看视区内重建出 3D 图像 1。图像元 2 发出的光经过对应的偏振条 2 变成垂直偏振光,然后被对应的柱透镜调制,在观看视区内重建出 3D 图像 2。偏振眼镜 1 的偏振方向与偏振条 2 的偏振方向正交,而偏振眼镜 2 的偏振方向与偏振条 1 的偏振方向正交。因此,在观看视区内,佩戴偏振眼镜 1 的观众只能看到 3D 图像 1,佩戴偏振眼镜 2 的观众只能看到 3D 图像 2。即,文中提出的一维集成成像双视 3D 显示器在同一视区内同时提供两个不同的 3D 图像。

微图像阵列,偏振光栅和柱透镜光栅均包含 m 个单元,图像元,偏振光栅和柱透镜光栅的节距均为 p ,显示屏与柱透镜光栅的间距为 g ,柱透镜光栅的折射率为 n ,柱透镜光栅的厚度为 t ,观看距离为 l 。由图 2 可以得到,视区的宽度 D 为:

$$D = \frac{npl - pt}{ng + t} - (m - 2)p \quad (1)$$

由于 nl 远远大于 t ,公式(1)简化为:

$$D = \frac{np}{ng+t}l - (m-2)p \quad (2)$$

由公式(2)可得,基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器的观看视角 θ 为:

$$\theta = 2\arctan \left[\frac{p}{2 \left(g + \frac{d}{n} \right)} - \frac{(m-2)p}{l} \right] \quad (3)$$

从上式可知,通过增大柱透镜光栅的折射率或者减小柱透镜光栅的厚度来增大观看视角。因此,实际使用中可采用高折射率的薄型柱透镜光栅来获得更宽的观看视角。

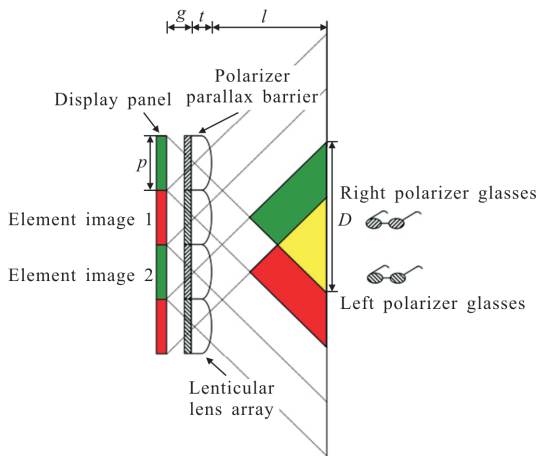


图 2 基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器的原理和参数图

Fig.2 Schematic and parameter diagram of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display based on a polarizer parallax barrier

2 实验验证

首先在 3D Studio Max 建立虚拟的 3D 场景 1 和 3D 场景 2,如图 3 所示。

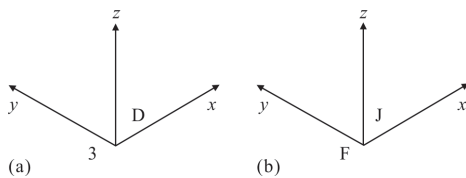


图 3 虚拟 3D 场景

Fig.3 Two virtual 3D scenes in the experiments

3D 场景 1 包括“3”和“D”,而 3D 场景 2 包括“F”和“J”。“3”和“F”的坐标均为-10、-45、0 mm,而“D”和“J”的坐标均为+10、40、0 mm。3D 场景 1 和

3D 场景 2 生成的微图像阵列 1 和微图像阵列 2,如图 4 和 5 所示。

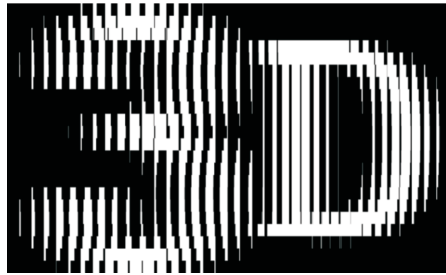


图 4 3D 场景 1 的微图像阵列

Fig.4 Elemental image array of 3D scene 1

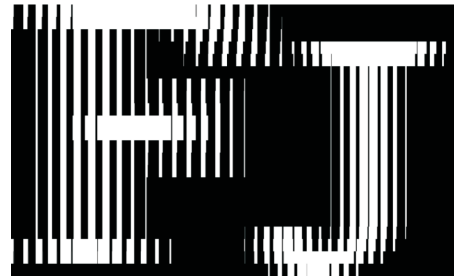


图 5 3D 场景 2 的微图像阵列

Fig.5 Elemental image array of 3D scene 2

采用 Matlab 将微图像阵列 1 和微图像阵列 2 合成得到一维集成成像双视 3D 显示的微图像阵列,如图 6 所示。

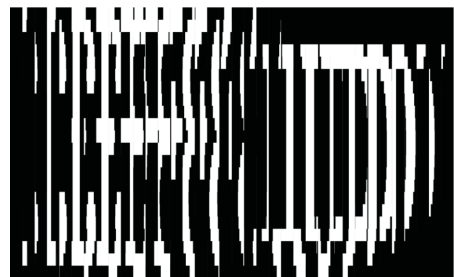


图 6 一维集成成像双视 3D 显示的微图像阵列

Fig.6 Elemental image array of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display

微图像阵列包含 36 个图像元,图像元的节距为 2.54 mm,每个图像元包含 60×1 320 个像素。即,微图像阵列的 DPI 为 600。因此,采用 Canon iR-ADV C5255 高分辨率打印机打印微图像阵列,搭建基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示实验装置验证所提理论,如图 7 所示。

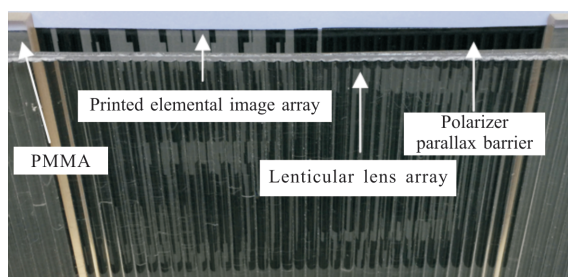


图 7 一维集成成像双视 3D 显示装置

Fig.7 Experimental equipment of the one-dimensional dual-view integral imaging 3D display

微图像阵列与柱透镜光栅的间距为 0.5 mm,柱透镜光栅的折射率为 1.49,柱透镜光栅的厚度为 3 mm。在观看距离 500 mm 处,分别通过左偏振眼镜和右偏振眼镜从不同的观看角度拍摄 3D 图像,如图 8 和 9 所示。

如图 8 所示,通过左偏振眼镜可以观看到“3”和“D”。在左 18°到右 18°的范围内,“3”和“D”的相对位置随着观看视角的变化而变化。如图 9 所示,通过右偏振眼镜可以观看到“F”和“J”。在左 18°到右 18°的范围内,“F”和“J”的相对位置也随着观看视角的变化而变化。通过左偏振眼镜和右偏振眼镜可以分别观看到 3D 图像的移动视差。上述光学实验结果证明文中提出的一维集成成像双视 3D 显示器能够在同一视区内同时显示两个不同的 3D 图像。

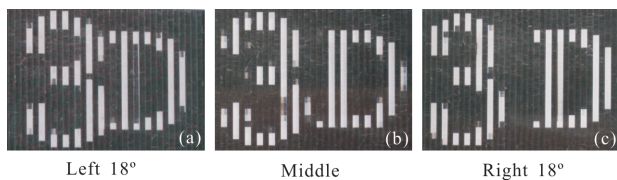


图 8 通过左偏振眼镜从不同的观看角度拍摄的图像

Fig.8 Different perspectives images through left polarizer glasses

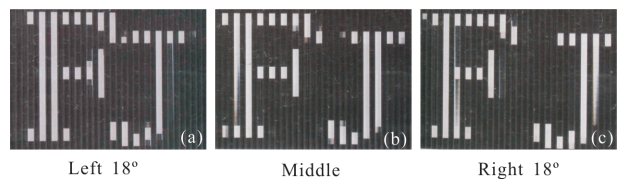


图 9 通过右偏振眼镜从不同的观看角度拍摄的图像

Fig.9 Different perspectives images through right polarizer glasses

3 结 论

文中设计了一种基于偏振光栅的一维集成成像

双视 3D 显示器,详细阐述了一维集成成像双视 3D 显示器的工作原理,推导了观看视角的计算公式,并研制了基于偏振光栅的一维集成成像双视 3D 显示器样机。通过实验验证了佩戴不同偏振眼镜的观看者可以在同一个视区内观看到不同的 3D 图像。

参考文献:

[1] Krijn M P C M, De Zwart S T, De Boer D K G, et al. 2-D/3-D displays based on switchable lenticulars [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2008, 16(8): 847-855.

[2] Chen Chaoping, Lee J H, Yoon T H, et al. Monoview/dual-view switchable liquid crystal display [J]. *Optics Letters*, 2009, 34(14): 2222-2224.

[3] Cui Jianpeng, Li Yan, Yan Jin, et al. Time-multiplexed dual-view display using a blue phase liquid crystal [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(2): 87-90.

[4] Wang Zi, Lv Guoqiang, Feng Qinbin, et al. Simple and fast calculation algorithm for computer-generated hologram based on integral imaging using look-up table [J]. *Optics Express*, 2018, 26(10): 13322-13330.

[5] Wang Tonghao, Liu Bingqi, Huang Fuyu, et al. Reasonable benefit value of the parameters of the parallel infrared binocular stereo system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(9): 0904004. (in Chinese)

汪同浩, 刘秉琦, 黄富瑜, 等. 平行式红外双目立体系统各参数合理效益取值 [J]. *红外与激光工程*, 2017, 46(9): 0904004.

[6] Zhang Wanlu, Sang Xinzhu, Gao Xin, et al. Wavefront aberration correction for integral imaging with the pre-filtering function array [J]. *Optics Express*, 2018, 26(21): 27064-27075.

[7] Huang Hekun, Hua Hong. High-performance integral-imaging-based light field augmented reality display using freeform optics [J]. *Optics Express*, 2018, 26(13): 17578-17590.

[8] Wen Jun, Yan Xingpeng, Jiang Xiaoyu, et al. Nonlinear mapping method for the generation of an elemental image array in a photorealistic pseudoscopic free 3D display [J]. *Applied Optics*, 2018, 57(22): 6375-6382.

[9] Wu Fei, Deng Huan, Luo Chenggao, et al. Dual-view integral imaging three-dimensional display [J]. *Applied Optics*, 2013, 52(20): 4911-4914.

[10] Wu Fei, Deng Huan, Luo Chenggao, et al. Dual-view

- integral imaging 3D display using polarizer parallax barriers [J]. *Applied Optics*, 2014, 53(10):2037–2039.
- [11] Wang Qionghua, Ji Chaochao, Li Lei, et al. Dual-view integral imaging 3D display by using orthogonal polarizer array and polarization switcher [J]. *Optics Express*, 2016, 24(1): 9–16.
- [12] Jeong J, Lee C K, Hong K, et al. Projection-type dual-view three-dimensional display system based on integral imaging [J]. *Applied Optics*, 2014, 53(27):G12– G18.
- [13] Mangeol P, Peterman E J G. High-resolution real-time dual-view imaging with multiple point of view microscopy [J]. *Biomedical Optics Express*, 2016, 7(9): 3631–3642.
- [14] Wu Fei, Yu Junsheng. One-dimensional dual-view integral imaging three-dimensional display based on parallax barrier [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2018, 47(2): 317–320. (in Chinese)
吴非, 于军胜. 基于狭缝光栅的一维集成成像双视 3D 显示 [J]. 电子科技大学学报, 2018, 47(2): 317–320.