

基于高折射率填充层和正交偏振片阵列的集成成像3D显示器

王琼华,唐松,罗成高,邓欢,李大海
(四川大学 电子信息学院,四川 成都 610065)

摘要:设计了一种大视角无串扰的集成成像3D显示器。在传统集成成像3D显示器的基础上添加了2组相邻图像元位置呈正交排列的偏振片阵列,以消除相邻元图像之间的串扰;在显示屏和微透镜阵列之间有高折射率填充层以增加观看视角。在该3D显示器中,紧贴于显示屏的正交偏振片阵列被用于产生线偏振光,而紧贴微透镜阵列的正交偏振片阵列用于阻挡来自相邻图像元的串扰光线,从而消除了3D图像的串扰。高折射率填充层用于使光线发生有效的偏折,从而使该3D显示器的视角增大。仿真实验验证了理论的正确性。

关键词:集成成像显示器;偏振片;视角;串扰

中图分类号:TN141

文献标志码:A

Integral Imaging 3D Display Based on Filling Layer with High Refractive Index and Orthogonally Polarized Sheets

WANG Qionghua, TANG Song, LUO Chenggao, DENG Huan, LI Dahai
(College of Electronics and Info. Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: A wide-viewing-angle integral imaging 3D display without crosstalk was proposed by using two orthogonally polarized sheets and a filling layer with high refractive index material. One of the orthogonally polarized sheets was attached to the front of the display panel to produce the orthogonally linearly polarized lights, and the other one was added to the front of the micro-lens array to block the crosstalk rays. The filling layer with high refractive index material was padded onto the display panel to enhance the viewing angle of the 3D display. The feasibility of the proposed 3D display was verified by using the simulation results.

Key words: integral imaging three-dimensional display; polarized sheet; viewing angle; crosstalk

3维(3D)显示是指采用光学等手段来模拟实现人眼的立体视觉特性,最终将空间物体的3维信息再现出来,呈现出具有纵深感的立体图像的一种显示方式,包括助视3D显示、光栅3D显示和真3D显示等。其中,真3D显示包括体3D显示、集成成像3D显示和全息3D显示等。其中的集成成像3D显示^[1-6]因具有连续观看视点、全真色彩,且不需要相干光源和特殊辅助设备等优点被认为是很有前景的3D显示,但目前它还存在诸多问题:观看视角相对较窄、图像串扰严重、分辨率低、深度范围有限等^[7-10]。在这些问题上,观看视角较窄和图像串扰是严重制约集成成像3D显示发展的2个主要因

素。

至今,许多专家和学者针对这2个问题展开了诸多研究,并取得了诸多的成果。

例如采用弯曲的微透镜阵列和负折射率材料的微透镜阵列等来增大集成成像3D显示的观看视角^[11-16],但其图像的串扰问题还是没有很好解决;在作者以前的研究中,采用了周期性的黑色掩膜来消除集成成像3D显示的串扰^[17],但其光线透过率很低,降低了显示亮度。

为此,设计了一种基于高折射率填充层和正交偏振片阵列的集成成像3D显示器,它具有大视角和无串扰等特性。

收稿日期:2014-09-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61377018;61405129);四川省科技支撑项目资助(2013TD0002;2014FZ0084)

作者简介:王琼华(1969—),女,教授,博士。研究方向:3D显示技术。

1 结构原理

图1所示为所设计的集成成像3D显示器的结构原理图,它由显示屏、正交偏振片阵列、高折射率填充层和微透镜阵列组成。显示器上图像元发出的光线通过其上方对应偏振片后成为线偏振光,当该线偏振光到达相邻的透镜元时,由于该透镜元下方偏振片的偏振方向与该线偏振光的偏振方向正交,因此不能通过该透镜元成像,从而消除3D图像的串扰。高折射率填充层位在显示屏和微透镜阵列之间,用于增大该3D显示器的视角。如图1所示,每一小片的偏振片对应于节距为 p 的一个图像元。显示屏上第一个图像元 EI_1 发出的光通过紧贴于它的第一片偏振片形成线偏振光,再经过高折射率填充层,大部分均通过与之对应的偏振片和透镜元,如图1中实线箭头所示。但剩下的部分光线传输至相邻透镜元后形成串扰光线,被正交偏振片挡住,如图1中的虚线箭头所示。这样,图像元的光线只能通过对应透镜元成像,而无法通过相邻的透镜元成像,避免了串扰图像的产生。显示屏上每一个图像元发出的光经过与此相同的过程,最终所有光线在空间中汇聚并形成3D图像。

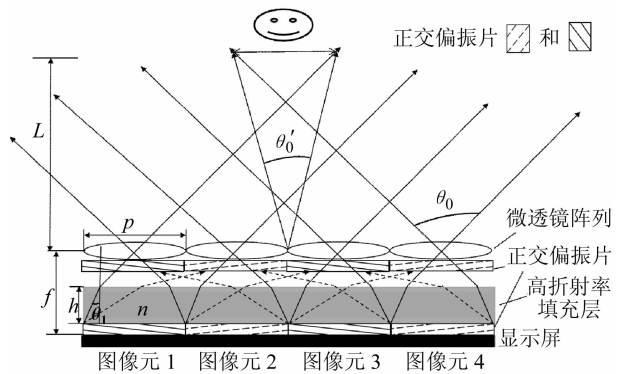


图1 集成成像3D显示器的结构原理图

Fig.1 Schematic of the integral imaging 3D display
该集成成像3D显示器的一个透镜元的视角为:

$$\theta_0 = 2\arctan[\frac{np}{2fn - (n - 1)2h}] \tag{1}$$

整个3D显示器的视角为:

$$\theta_0' = 2\arctan[\frac{np}{2fn - (n - 1)2h} - \frac{p(N - 1)}{2L}] \tag{2}$$

式中: f 为透镜元的焦距,也是显示屏到微透镜阵列之间的距离; p 为透镜元的节距; N 为透镜元在1维方向上的数量; L 为观看距离; n 为高折射率填充层

的折射率; h 为高折射率填充层的厚度,并有 $0 < h < f$ 。对于传统集成成像3D显示器,其单个透镜元的视角为:

$$\theta_i = 2\arctan[\frac{p}{2f}] \tag{3}$$

整个3D显示器的视角为:

$$\theta_i' = 2\arctan[\frac{p}{2f} - \frac{p(N - 1)}{2L}] \tag{4}$$

由式(1)和(3)可以看出,对于单个透镜元,该集成成像3D显示器明显比传统的大。实际上,评估观看视角时,一般是针对整个3D显示器,也就是式(2)和(4)确定。从这2个公式,也不难看出该集成成像3D显示器的视角比传统的大。表1列出了该集成成像3D显示器的一些参数。

表1 集成成像3D显示器的参数
Tab.1 Specifications of the integral imaging 3D display

参数	值
p/mm	1.27
f/mm	3.50
L/mm	250.00
$N \times N$	20×20
h/mm	3.00
n	1.80

将表1中参数代入式(3)和(4)可以算出传统集成成像3D显示器单个透镜元和整个3D显示器的视角分别为 20.567° 和 15.171° ,同样由式(1)和(2)得出提出方法的单个透镜元和整个集成成像3D显示器的观看视角分别为 32.669° 和 27.513° ,明显比传统集成成像3D显示器的大,且随着高折射率填充层的厚度和折射率的增大而增大。

表2给出当高折射率填充层的厚度为 $h = 3.0\text{ mm}$ 时,单个透镜元的观看视角 θ_0 和整个3D显示器的观看视角 θ_0' 随着折射率 n 增加而增大的情况。

表2 视角与高折射率填充层的折射率的关系
Tab.2 Relation between the viewing angle and the refractive index of the filling layer

n	$\theta_0/(^\circ)$	$\theta_0'/(^\circ)$
1.2	23.902	18.561
1.3	25.488	20.175
1.4	27.021	21.738
1.5	28.504	23.252
1.6	29.938	24.717
1.7	31.326	26.137
1.8	32.669	27.513

同理,表 3 给出当高折射率填充层的折射率 $n = 1.8$ 时,单个透镜元的观看视角 θ_0 和整个 3D 显示器的观看视角 θ_0' 随厚度 h 的增加而增大的情况。

表 3 视角与高折射率填充层的厚度的关系

Tab.3 Relation between the viewing angle and the height of the filling layer

h	$\theta_0/(^{\circ})$	$\theta_0'/(^{\circ})$
2.0	27.337	22.061
2.2	28.263	23.006
2.4	29.251	24.016
2.6	30.310	25.098
2.8	31.447	26.261
3.0	32.669	27.513
3.2	33.988	28.864
3.4	35.414	30.327

表 2 和 3 很清楚地表示了观看视角随着厚度 h 和折射率 n 增大而厚度增大。在该集成成像 3D 显示器中,当高折射率填充层的厚度为 $h = 3.0\text{ mm}$ 和折射率为 $n = 1.8$ 时,单个透镜元和整个 3D 显示器的观看视角分别为 $\theta_0 = 32.669^{\circ}$ 和 $\theta_0' = 27.513^{\circ}$ 。对于整个 3D 显示器,传统的观看视角为 $\theta_i' = 15.171^{\circ}$,比设计的 3D 显示器的观看视角减少了 12.342° 。设计的集成成像 3D 显示器的观看视角是传统方法的 1.8 倍,并且还消除了 3D 图像的串扰。如果高折射率填充层的折射率更大,观看视角还将进一步扩大,如表 3 所示。设计的集成成像 3D 显示器在观看视角和串扰方面具有优势外,它的图像深度和分辨率没有降低;加之高折射率填充层的透过率较高,基本上不会影响亮度。

2 仿真实验及讨论

对设计的集成成像 3D 显示器在 ASAP 仿真软件中进行了仿真实验,在该实验中,采用 20×20 的微透镜阵列。图 2 所示为 ASAP 仿真实验中的拍摄过程。在拍摄中,使用‘+’光源和‘H’光源作为简单的 3D 物体,并且‘+’光源距离微透镜阵列为 150 mm ,‘H’光源距离微透镜阵列为 100 mm ,2 个光源水平相距为 20 mm ,微透镜阵列和 CCD 之间的距离为 3.5 mm ,等于透镜元的焦距。图 3 所示为 ASAP 仿真实验中记录的微图像阵列。

图 4 所示为设计的集成成像 3D 显示器的重建显示的仿真结果,在该仿真实验中,高折射率填充层的折射率为 $n = 1.8$,高折射率填充层的厚度为 $h = 3.0\text{ mm}$ 。

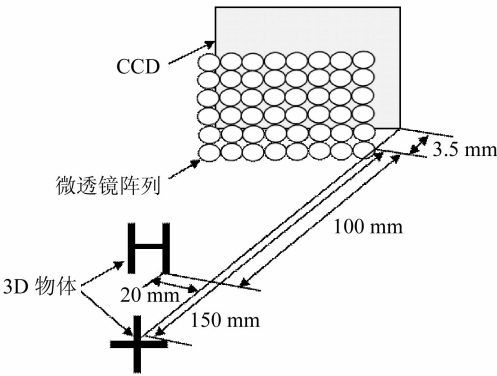


图 2 在 ASAP 仿真实验中的拍摄过程
Fig.2 Pickup process in the ASAP simulation

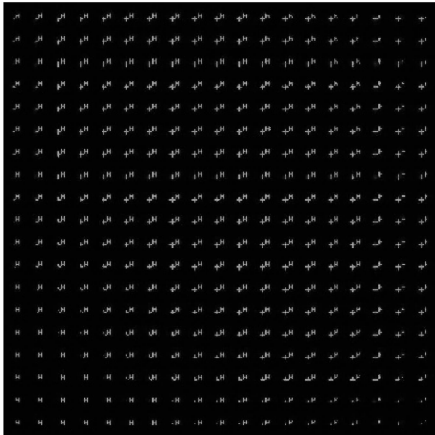


图 3 ASAP 仿真实验中记录的微图像阵列
Fig.3 Elemental image array in the ASAP simulation

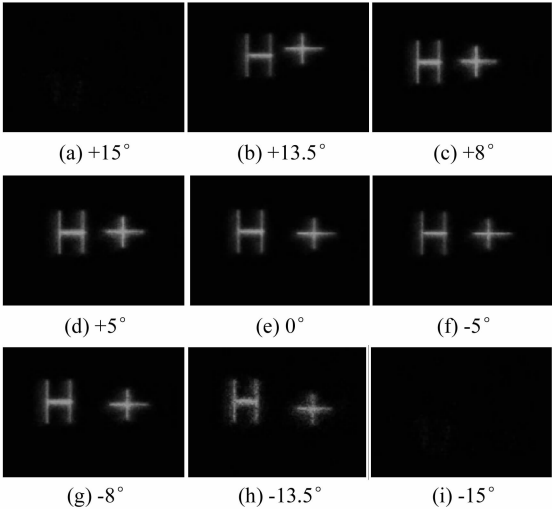


图 4 设计的集成成像 3D 显示器重建显示的 3D 图像
Fig.4 3D images reconstructed by the proposed integral imaging 3D display

从图 4 中可以看出,当观看者在 $\pm 13.5^{\circ}$ 以内时,能够比较清晰地观看到重建显示的集成成像 3D 图像。而当观看者处在 $\pm 15^{\circ}$ 时,观看不到任何的图像。这说明在大约 27° 的观看视区内能观看到没有

串扰的集成成像3D图像,并将原本超出该视区会看到的串扰图像消除了。

图5所示为传统的集成成像3D器重建显示的仿真结果。当观看者在 $\pm 5^\circ$ 以内时,能够比较清晰地观看到重建的集成成像3D图像;但是当观看者为 $\pm 8^\circ$ 时,3D图像的串扰比较严重,人们很难看到满意的结果。由此可见,设计的3D显示器的观看视角是传统方法的1.8倍,而且还消除了3D图像串扰,这与前面的理论分析相符。

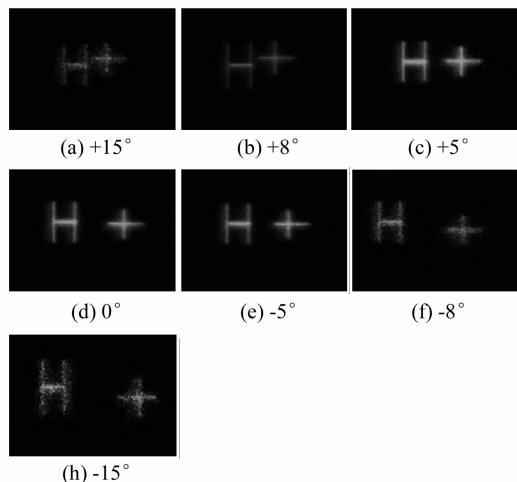


图5 传统集成成像3D显示器重建显示的3D图像

Fig.5 3D images reconstructed by the conventional integral imaging 3D display

3 结论

设计了一种采用正交偏振片阵列和高折射率填充层的集成成像3D显示器。该3D显示器不仅具有大视角,同时还消除了3D图像串扰。进行了理论分析,并用ASAP光学软件进行了仿真实验,实验与理论相符。该研究工作将为集成成像3D显示器的性能提升提供参考。

参考文献:

- [1] Lippmann G. La photographie integrale[J]. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences,1908,146:446-451.
- [2] Davies N, McCormick M, Brewin M. Design and analysis of an image transfer system using microlens arrays[J]. Optical Engineering,1994,33(11):3624-3633.
- [3] Stern A, Javidi B. Three-dimensional image sensing, visualization, and processing using integral imaging[J]. Proceedings of the IEEE,2006,94(3):591-607.
- [4] 王琼华. 3D显示技术与器件[M]. 北京:科学出版社,2011:216-235.
- [5] Xie Jing, Liu Xu, Li Haifeng. The image quality evaluation for integral imaging[J]. Journal of Zhejiang University;

- Engineering Science,2012,46(2):366-371. [解静,刘旭,李海峰.集成成像技术的像质评价分析[J].浙江大学学报:工学版,2012,46(2):366-371.]
- [6] Xia Jun, Qu Di, Zhou Xuechao, et al. Progress in integral imaging display technology[J]. Vacuum Electronics,2011(5):16-21. [夏军,曲笛,周学超,等.集成成像立体显示技术研究进展[J].真空电子技术,2011(5):16-21.]
- [7] Wei T C, Shin D H, Lee B G. Resolution-enhanced reconstruction of 3D object using depth-reversed elemental images for partially occluded object recognition[J]. Journal of the Optical Society of Korea,2009,13(1):139-145.
- [8] Huang Yusheng, Xia Jun, Yin Hanchun. Three-dimensional scene reconstruction by using lenslet array model in computational integral imaging[J]. Proceedings of SPIE,2009,7513E:7513E-1.
- [9] Zhang Lei, Yang Yang, Zhao Xing, et al. Enhancement of depth-of-field in a direct projection-type integral imaging system by a negative lens array[J]. Optics Express,2012,20(23):26021-26026.
- [10] Deng Huan, Wang Qionghua, Li Lei, et al. An integral imaging based three-dimensional display with wide viewing angle[J]. Journal of the Society for Information Display,2011,19:679-683.
- [11] Kim Y, Park J H, Lee B, et al. Wide-viewing-angle integral three-dimensional imaging system by curving a screen and a lens array[J]. Applied Optics,2005,44(4):546-552.
- [12] Kim Y, Park J H, Lee B, et al. Viewing-angle-enhanced integral imaging system using a curved lens array[J]. Optics Express,2004,12(3):421-429.
- [13] Shen Xin, Wang Xiaorui, Xu Yin, et al. Integral imaging characteristics based on the virtually curved[J]. Journal of Xidian University,2011,38(5):129-135. [申欣,王晓蕊,徐茵,等.虚拟弯曲透镜阵列的集成成像特性[J].西安电子科技大学学报,2011,38(5):129-135.]
- [14] Choi H, Mim S W, Lee B, et al. Multiple-viewing-zone integral imaging using a dynamic barrier array for three-dimensional displays[J]. Optics Express,2003,11(8):927-932.
- [15] Kim H, Hahn J, Lee B. The use of a negative index plano concave lens array for wide-viewing angle integral imaging[J]. Optics Express,2008,16(26):21865-21880.
- [16] Arai J, Okano F, Hoshino H, et al. Gradient-index lens-array method based on real-time integral photography for three-dimensional images[J]. Applied Optics,1998,37(11):2034-2045.
- [17] Luo Chenggao, Ji Chaochao, Wang Qionghua, et al. Crosstalk free integral imaging display with wide viewing angle using periodic black mask[J]. Journal of Display Technology,2012,8(11):634-638. (编辑 杨 蓓)