

针孔阵列厚度对集成成像 3D 显示观看视角的影响

吴非^{1,2}, 王琼华³, 吕国皎^{1,3}, 赵百川^{1,3}, 邓欢^{3*}

(1. 成都工业学院 电子工程学院, 四川 成都 611730; 2. 电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054;

3. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:基于针孔阵列的集成成像 3D 显示具有成本低,重量小,器件厚度薄,易于实现 3D/2D 转换等优点。针孔阵列的参数设计是集成成像 3D 显示器结构设计的关键之一。3D 观看视角是集成成像 3D 显示的关键性能参数之一。本文研究针孔阵列的厚度对 3D 观看视角的影响。根据针孔阵列厚度与孔径宽度的 3 种取值关系,分别建立 3 种集成成像 3D 成像模型,然后根据几何光学分别计算不同成像模型的 3D 观看视角,并研制了集成成像 3D 显示测试装置。实验结果表明针孔阵列厚度存在最优值,且只取决于图像元节距、针孔孔径宽度以及针孔阵列与显示面板的间距。针孔阵列厚度取最优值时,显示面板上每个图像元中所有像素发出的光线都可以通过其对应的针孔,且每个图像元中像素发出的光线都不能通过其他针孔,因此 3D 观看视角最大,且没有串扰图像。针孔阵列厚度小于最优值时,显示面板上每个图像元中所有像素发出的光线都可以通过其对应的针孔,但是每个图像元中部分像素发出的光线可以通过其他针孔,因此 3D 观看视角不变,但是会产生串扰图像,且串扰与针孔阵列的厚度成反比。针孔阵列厚度大于最优值时,每个图像元中只有部分像素发出的光线可以通过其对应的针孔,虽然没有串扰图像,但是 3D 观看视角变小,且与针孔阵列厚度的厚度成反比。

关键词:集成成像;针孔阵列;厚度;观看视角

中图分类号:TN141

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2017)02-0186-04

Effect of Thickness of Pinhole Array on Viewing Angle of Integral Imaging 3D Display

WU Fei^{1,2}, WANG Qionghua³, LYU Guojiao^{1,3}, ZHAO Baichuan^{1,3}, DENG Huan^{3*}

(1. College of Electronics Eng., Chengdu Technol. Univ., Chengdu 611730, China;

2. School of Optoelectronic Info., Univ. of Electronic Sci. and Technol. of China, Chengdu 610054, China;

3. College of Electronics and Info. Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: Compared with the integral imaging (II) display based on the micro-lens array, the II display based on the pinhole array has lower cost, lower weight, and thinner thickness. Moreover, the II display based on the pinhole array is easy to realize a 3D/2D convertible display. The parameter design of pinhole array is one of the most important keys to design the II display based on the pinhole array. The 3D viewing angle is also one of the most important parameters in the II display based on the pinhole array. The effect of thickness of pinhole array on 3D viewing angle in the II display was analyzed. According to the relationships between the aperture width and the thickness of the pinhole array, three imaging models of the II display were established firstly. Then, three calculation formulas of the 3D viewing angle of the II display were obtained through geometrical optics. Lately, a testing equipment of the II display based on the pinhole array was developed. The experiment results proved the optimal thickness of the pinhole array was related to the pitch of the elemental image, the width of the pinhole and the distance between the pinhole array and the display panel. When the thickness of the pinhole array was equal to the optimal value, lights emitted from all pixels of each elemental image on the display panel were only modulated by the assigned pinhole. Thus, the maximum 3D viewing angle was obtained without crosstalk. When the thickness of the pinhole array was smaller than the optimal value, lights emitted from all pixels of each elemental image on the display panel were modulated by the assigned pinhole, and lights emitted from parts of pixels of each elemental image on the display panel were also modulated by the other pinholes. Thus, the maximum 3D viewing angle was obtained with crosstalk. When the thickness was larger than the optimal value, lights emitted from parts of pixels of each elemental image on the display panel were modulated by the assigned pinhole. Accordingly, the 3D viewing angle was decreased and inversely proportional to the thickness of the pinhole array.

Key words: integral imaging; pinhole array; thickness; viewing angle

收稿日期:2016-04-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61405129);中国博士后科学基金资助项目(2016M592650);四川省应用基础面上项目资助(2017JY0173)

作者简介:吴非(1981—),男,副教授,博士。研究方向:3D显示技术。E-mail:fwu@cdu.edu.cn

*通信联系人 E-mail:huandeng@scu.edu.cn

1908年,诺贝尔奖获得者、法国物理学家李普曼首次提出集成摄影术,采用微透镜阵列将3维(3D)场景记录到感光胶片,然后根据光路可逆原理,将感光胶片上的信息通过具有相同参数的微透镜阵列重建得到3D场景^[1]。集成成像3D显示具有无需相干光和助视设备,同时可以提供具有全视差和连续观看视点的3D图像,从而受到各国科研人员的广泛关注^[2-6]。近年来,集成成像3D显示也与双视显示结合,可以为不同观看方向上的观众提供不同的3D图像^[7-9]。与基于微透镜阵列的集成成像3D显示相比,基于针孔阵列的集成成像3D显示具有成本低、重量小和器件厚度薄等优点^[10]。此外,基于针孔阵列的集成成像3D显示易于实现3D/2D转换,实现与传统2D显示的兼容^[11]。针孔阵列的参数设计是基于针孔阵列的集成成像3D显示器结构设计的关键之一。针孔的孔径宽度与集成成像3D显示器的性能参数的数理关系及相关理论已经非常成熟^[12]。但是,以上研究没有考虑针孔阵列厚度对集成成像3D显示成像模型的影响。因此,本文分析针孔阵列厚度对集成成像3D显示器的性能参数的影响,推导针孔阵列厚度最优值,并通过实验验证理论结果。

1 理论分析

根据针孔阵列厚度和孔径宽度的不同取值,可以将集成成像3D显示成像模型分成3种情况。首先分析第1种情况,即针孔阵列厚度较小的情况。一个图像元发出的光线通过其对应的针孔形成3D图像,但是针孔具有一定的孔径宽度,所以与该图像元相邻的图像元中部分像素发出的光线也通过该针孔,而且影响了该图像元重建的3D图像,如图1所示。因此,单个图像元的实际成像区域位于两条实线之间。

l 为针孔阵列与观看者的距离, g 为针孔阵列与显示面板的间距, t 为针孔阵列的厚度, p 和 w 分别为针孔阵列的节距和孔径宽度。微图像阵列和针孔阵列均包含 $m \times n$ 个单元,其中水平方向上 m 个,垂直方向上 n 个。由图1可以得到观看视角 θ_1 ^[12]:

$$\theta_1 = 2\arctan\left[\frac{p-w}{2g} - \frac{(m-1)p}{2l}\right] \quad (1)$$

与第1种情况对应的针孔阵列的厚度 t 满足:

$$t < \frac{2wg}{p-w} \quad (2)$$

接下来分析第2种情况,当针孔阵列的厚度过

大时,与该图像元相邻的图像元发出的光线不能通过该针孔,然而该图像元中只有部分像素发出的光线可以通过其对应的针孔,如图2所示。

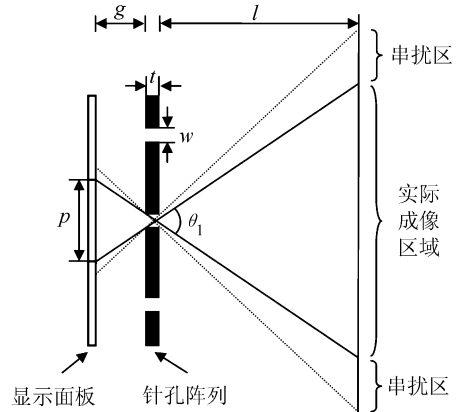


图1 针孔阵列厚度过小的集成成像3D显示光路图
Fig.1 Beam path diagram of integral imaging 3D display using thin pinhole array

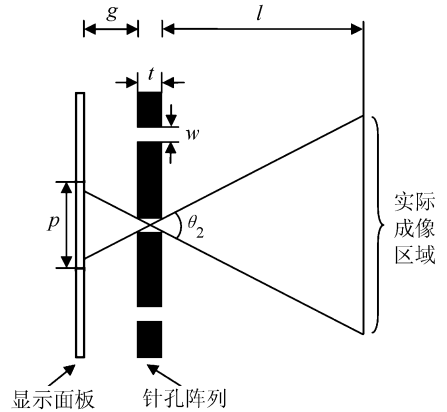


图2 针孔阵列厚度过大的集成成像3D显示光路图
Fig.2 Beam path diagram of integral imaging 3D display using thick pinhole array

由图2可以得到观看视角 θ_2 :

$$\theta_2 = 2\arctan\left[\frac{w}{t} - \frac{(m-1)p}{2l}\right] \quad (3)$$

与第2种情况对应的针孔阵列厚度 t 满足:

$$t > \frac{2wg}{p-w} \quad (4)$$

由以上分析可知,当针孔阵列的厚度取某一特定值时,每个图像元中所有像素发出的光线都可以通过其对应的针孔,且其他图像元中像素发出的光线恰好都不能通过该针孔,即第3种情况,如图3所示。

由图3可以得到观看视角 θ_3 :

$$\theta_3 = 2\arctan\left[\frac{p-w}{2g} - \frac{(m-1)p}{2l}\right] \quad (5)$$

与第3种情况对应的针孔阵列的厚度 t 满足:

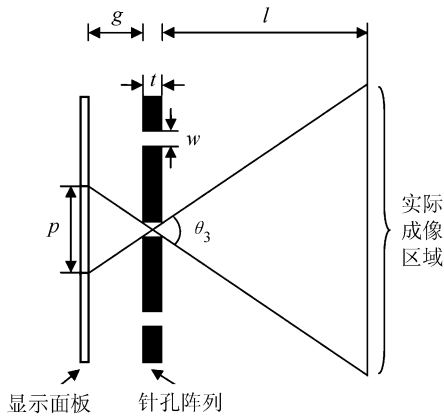


图 3 针孔阵列厚度最佳的集成成像 3D 显示光路图

Fig. 3 Beam path diagram of integral imaging 3D display using optimal pinhole array

$$t = \frac{2wg}{p-w} \quad (6)$$

根据式(1)、(3)、(4)和(5),可以得到:

$$\theta_3 = \theta_1 > \theta_2 \quad (7)$$

即当针孔阵列的厚度取最优值时,在不减小观看视角的前提下,消除了相邻图像元的串扰。

2 实验结果

建立集成成像 3D 显示测试装置验证上述理论,参数如表 1 所示。为提高 3D 图像的亮度,采用高亮度 LED 光源和 Screen Tanto 打印的高分辨率胶片替代显示面板进行实验。

表 1 集成成像 3D 显示测试装置参数

Tab. 1 Parameters of integral imaging 3D display

参数	p/mm	g/mm	w/mm	m	l/mm
值	5	4	1	48	500

3D 场景“SC”的微图像阵列由 3Ds MAX 和 Matlab 生成^[9]。该微图像阵列包含 48×27 个图像元,其中水平方向上 48 个图像元,垂直方向上 27 个图像元。字母“S”位于显示面板前 40 mm,字母“C”位于显示面板后 50 mm。根据式(6)可知,针孔阵列厚度的最优值为 2 mm。针孔阵列厚度为 1、2 和 3 mm 时,3D 场景的视图分别如图 4、5 和 6 所示。

分别从左 14° 和右 14° 两个方向观察 3D 场景“SC”,针孔阵列厚度为 1 mm 时,能够显示完整的“SC”,但是存在串扰图像,如图 4(a)和(b)所示。针孔阵列厚度为 2 mm 时,能够显示完整的“SC”,且没有串扰图像,如图 5(a)和(b)所示。针孔阵列厚度为 3 mm 时,虽然没有串扰图像,但只能显示不完整的“SC”,如图 6(a)和(b)所示。上述实验结果验证了针孔阵列厚度的最优值。

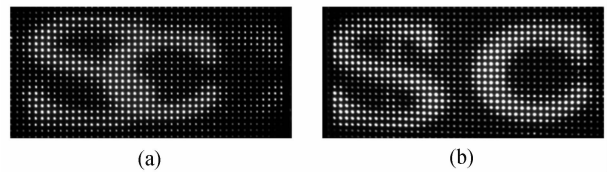


图 4 针孔阵列厚度为 1 mm 时观看到的图像

Fig. 4 Images viewed with 1 mm thickness

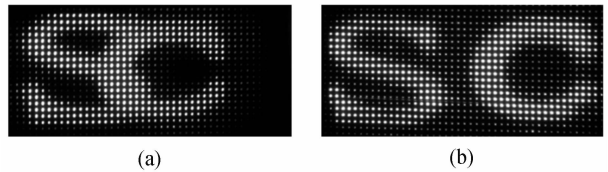


图 5 孔径宽度为 2 mm 时观看到的图像

Fig. 5 Images viewed with 2 mm thickness

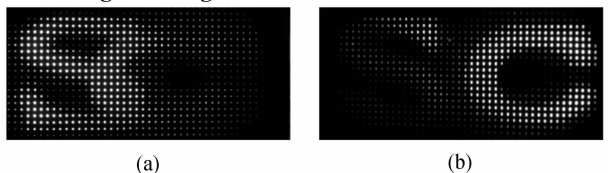


图 6 孔径宽度为 3 mm 时观看到的图像

Fig. 6 Images viewed with 3 mm thickness

3 结论

本文详细阐述了针孔阵列厚度对集成成像 3D 成像模型的影响,推导出 3 种成像模型的 3D 观看视角的计算公式,研制了集成成像 3D 显示测试装置。通过实验验证了针孔阵列厚度最优值取决于节距、孔径宽度以及针孔阵列与显示面板的间距,且与观看距离无关。针孔阵列厚度取最优值时,3D 观看视角最大,而且没有串扰图像;针孔阵列厚度小于最优值时,虽然 3D 观看视角不变,但是会产生串扰图像;针孔阵列厚度大于最优值时,3D 观看视角随着针孔阵列厚度的增加而减小。

参考文献:

- [1] Lippmann G. La photographie intégrale[J]. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1908, 146: 446 - 451.
- [2] Kwon K C, Erdenebat M U, Alam M A, et al. Integral imaging microscopy with enhanced depth-of-field using a spatial multiplexing [J]. Optics Express, 2016, 24 (3): 2072 - 2083.
- [3] Park S G, Hong J Y, Lee C K, et al. Real-mode depth-fused display with viewer tracking [J]. Optics Express, 2015, 23 (20): 26710 - 26722.
- [4] Schwarz A, Wang J G, Shemer A, et al. Lensless three-dimensional integral imaging using variable and time multi-

- plexed pinhole array [J]. *Optics Letters*, 2015, 40(8): 1814 – 1817.
- [5] Park J H, Hong K, Lee B. Recent progress in three-dimensional information processing based on integral imaging[J]. *Applied Optics*, 2010, 48(34): 77 – 94.
- [6] 王琼华. 3D显示技术与器件[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 216 – 219.
- [7] 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.
- [8] 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, 27(53): G12 – G18.
- [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] Kim Y, Kim J, Kim Y, et al. Thin-type integral imaging method with an organic light emitting diode panel[J]. *Applied Optics*, 2008, 47(27): 4927 – 4934.
- [11] Choi H, Cho S W, Kim J, et al. A thin 3D-2D convertible integral imaging system using a pinhole array on a polarizer [J]. *Optics Express*, 2006, 14(12): 5183 – 5190.
- [12] Wu Fei, Wang Qionghua, Deng Huan. Effect of aperture width on performance parameters in one-dimensional integral imaging 3D display based on parallax barrier[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2013, 45(5): 109 – 111. [吴非, 王琼华, 邓欢. 狭缝光栅 1 维集成成像 3D 显示器的狭缝孔径宽度对性能参数的影响[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2013, 45(5): 109 – 111.]

(编辑 李轶楠)

引用格式: Wu Fei, Wang Qionghua, Lyu Guojiao, et al. Effect of thickness of pinhole array on viewing angle of integral imaging 3D display[J]. *Advanced Engineering Sciences*, 2017, 49(2): 186 – 189. [吴非, 王琼华, 吕国皎, 等. 针孔阵列厚度对集成成像 3D 显示观看视角的影响[J]. *工程科学与技术*, 2017, 49(2): 186 – 189.]