

文章编号 1004-924X(2013)01-0001-06

多级投影式集成成像三维显示的视场角拓展

张 雷, 杨 勇*, 赵 星, 方志良, 袁小聪

(南开大学 现代光学研究所 光学信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

摘要:针对集成成像三维再现像的视场角较窄, 实用化受限的问题, 提出了一种拓展集成成像视场角的新方法, 并基于多级投影技术构建了具有大视场角的三维集成成像系统。该系统利用多个投影仪并联投射不同级次的元素图像阵列并进行三维重构来获得大视场角的集成成像再现像。与传统的集成成像视场角拓展技术相比, 所提方法具有系统结构简单、无需场镜等辅助光学器件; 系统中没有机械运动, 不会产生振动和噪声; 以及可用于大尺寸集成成像显示系统的优点。光学实验结果表明, 提出的多级投影式集成成像显示系统的再现像视场角为 $\pm 35^\circ$, 是传统的集成成像系统获得的视场角的 2.92 倍, 明显拓展了视场角。

关键词: 三维成像; 三维显示; 集成成像; 视场角; 多级投影

中图分类号: TN27; O439 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132101.0001

Enhancement of viewing angle of multi-stage projection-type integral imaging 3D display

ZHANG Lei, YANG Yong*, ZHAO Xing, FANG Zhi-liang, YUAN Xiao-cong

(Key Laboratory of Optical Information Science and Technology of the Ministry of Education, Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

* Corresponding author, E-mail: yangyong@nankai.edu.cn

Abstract: As integral imaging has narrower viewing angles for three-dimensional reconstruction images, it can not be widely applied in three-dimensional display. To enhance the viewing angles of integral imaging, this paper develops a new three-dimensional integral imaging system with a larger view angle based on the multi-level projection technology. The system projects the element image array with different levels in parallel based on multi-projectors and obtains a construction image with a large viewing angle by three dimensional reconstruction. As compared with the conventional method with multi-axles, the proposed method has the advantages on its simply structure without other field lenses and stable system no vibration and noises. Furthermore, it is suitable for the large-scale integral imaging system. The optical experiment shows that the viewing angle of proposed integral imaging system with multi-projectors is $\pm 35^\circ$, which is 2.92 times that of the conventional integral imaging system and enhances the viewing angle greatly.

Key words: 3D imaging; 3D display; integral imaging; viewing angle; multi-stage projection

1 引言

1908年, Lippmann提出了一种基于集成成像的三维显示技术^[1]。与其它三维显示技术(如全息^[2-3]和视差^[4-5])相比,集成成像具有全视差、连续视场角、较小的视觉疲劳和无需辅助器件等优点^[6-9]。它利用一个透镜阵列和对应的元素图像阵列重构出三维像,其中元素图像阵列可以采用平板显示器^[6]或者投影仪来显示^[8]。由于受到透镜阵列的孔径和显示元素图像阵列的显示器件分辨率等参数的限制,集成成像三维再现像存在视场角不足的问题^[8-9],因此无法满足裸眼三维显示的需求。近年来,人们提出了许多提升集成成像三维再现像视场角的方法^[10-12]。最初,人们利用扫描的方式来提升视场角^[10],但该方法存在振动和噪声问题。采用浮雕面元素图像的显示屏^[11],或弯曲屏幕和弯曲透镜阵列也可以拓展视场角^[12],不过这几种方法的适用范围受器件加工工艺的限制。最近报道的多光轴系统^[13]扩展集成成像再现视场角技术则因系统结构复杂且受到系统中场镜的尺寸限制,而无法实现大尺寸集成成像显示视场角的扩展。

本文提出了一种拓展集成成像视场角的新方法。该方法利用多个投影仪组成了多级元素图像投射系统,然后利用不同级次的元素图像阵列集成出不同角度上的再现像,从而实现了集成成像再现像视场角的拓展。与多光轴视场角拓展方法相比,该方法无需场镜作为辅助器件,简化了系统结构并摆脱了场镜孔径的限制。与其它拓展视场角的方法相比,提出的系统中没有机械运动,因此不会产生振动和噪声。本文所提方法中采用的是商品化的投影仪,其质量和产量均可满足集成成像技术实用化的需要。

2 原理

集成成像系统可利用透镜阵列集成元素图像阵列,并获得再现的三维重构像。本文采用了无散射屏投影的集成成像方式,其三维显示原理如图1所示。元素图像由投影仪直接投影在元素图像阵列平面上,该平面上每一点发出的光线都经相应的微透镜成像在像空间,所集成的三维重构

像的中心深度平面到微透镜阵列中心的距离为 a 。

集成成像再现三维像的视场角 θ 可以表示为^[6]:

$$\theta = 2\arctan\left(\frac{p}{2g}\right), \quad (1)$$

其中: p 是与透镜阵列子透镜对应的元素图像的孔径, g 是元素图像阵列到透镜阵列的距离, a 是透镜阵列到再现中心深度平面的距离;且 a, g, f (子透镜焦距)满足透镜成像公式。

从公式(1)可以看出,集成成像再现像的视场角受再现系统的再现距离 g 和透镜阵列对应的元素图像孔径 p 的限制。如果能增加元素图像孔径 p ,则能有效地增加集成成像再现像的视场角。

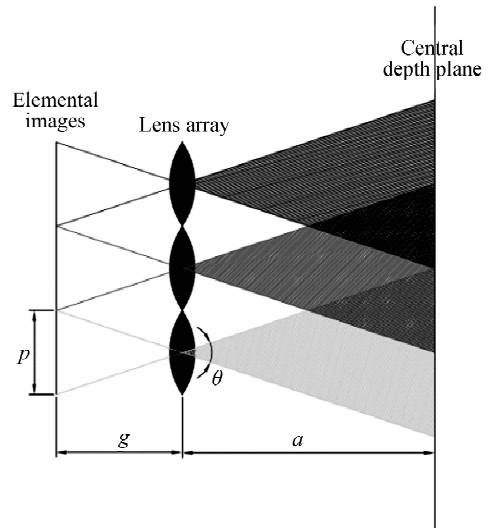


图1 集成成像再现原理示意图

Fig. 1 Principle of integral imaging display

本文提出利用多级投影仪来投射不同级次的元素图像,从而增加每个元素图像的孔径,实现集成成像再现像视场角的拓展。该方法的原理如图2所示。

图2为以3个投影仪组成的 ± 1 和0级的三级投影集成成像系统,不同级次投影仪分别将对应级次的元素图像投射到集成成像系统的同一片透镜阵列上。以透镜阵列中的任意一个子透镜为例,可以看出不同级次的元素图像对集成成像再现像视场角的贡献不同。对于0级投影仪投射的0级元素图像来说,将孔径为 p 的元素图像投射到透镜阵列中对应的子透镜上去。将由0级投影

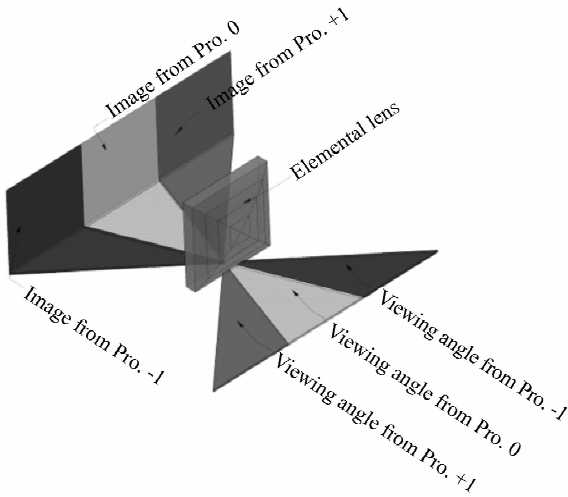


图 2 不同级次投影仪投射的不同级次的元素图相对应的视场角

Fig. 2 Viewing angles of different elemental images with different projectors

仪投出的元素图像提供的视场角定义为 0 级视场角。对于 +1 级投影仪来说,其投射的图像是 +1 级元素图像,它与 0 级元素图像相比具有一个 p 的偏移量。因此,由 +1 级投影仪投射的元素图像通过对应子透镜进行再现,其视场角定义为 +1 级视场角。同理,-1 级投影仪所获得的再现像的视场角定义为 -1 级视场角。

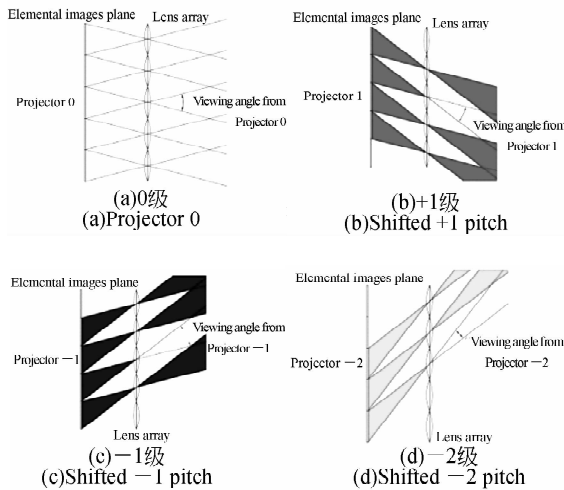


图 3 不同级次的元素图像阵列经过透镜阵列后得到的再现视场角

Fig. 3 Viewing angles of different elemental images reconstructed with multi-projectors in proposed method

如图 3 所示,第 m 级次的元素图像阵列能够将再现像的视场角扩展为 $2\arctan((2m + 1)p/2g)$ 。0 级投影仪将对应的 0 级元素图像阵列投射到透镜阵列中去,其中 0 级视场角为 $2\arctan(p/2g)$;±1 级元素图像阵列经由±1 级投影仪投射到对应的透镜阵列上后,能够将视场角从原来的 $2\arctan(p/2g)$ 增加到 $2\arctan(3p/2g)$,如图 3(b)和 3(c)所示。同理,±2 级的投影仪可以将集集成像再现三维像的视场角从 $2\arctan(3p/2g)$ 拓展到 $2\arctan(5p/2g)$,如图 3(d)所示。

如图 4 所示,对于多级投影仪组成的集集成像再现像视场角拓展系统来说,不同级次的投影仪需要将各自对应的元素图像阵列同时投射到透镜阵列上去,从而实现对再现像视场角的拓展。由于采用无散射屏的投影成像方式,消除了不同级次间元素图像阵列的互相干扰,从而使不同级次投射出来的元素图像阵列虽然相交,但不互相干扰。

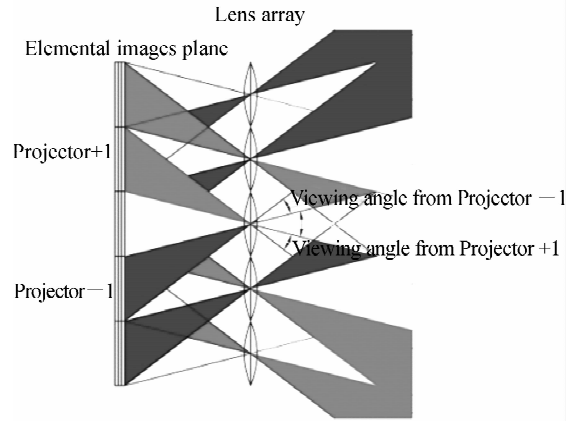


图 4 无屏多级次投影集集成像显示系统

Fig. 4 Mix viewing angles for lens array to elemental images with shifted -1, 0, and +1 pitches in multi-projector system without diffuser

不同级别的元素图像阵列和视场角的关系如图 5 所示,随着元素图像阵列个数的增加,视场角也在随之增大。理想情况下,使用足够多的投影仪去投射足够多级次的元素图像阵列,可以使得视场角增加到 180° (正、负方向上各 90°)。图 5 还分析了每增加一个级次的元素图像阵列与视场角的增加量之间的关系。分析结果显示,随着级次的增加,单个元素图像阵列的视场角的增加量越来越小,其增加效率越来越低。因此,要根据系统需求

去选择合适级次的投影集成成像系统,从而构建出符合要求的大视场角集成成像显示系统。

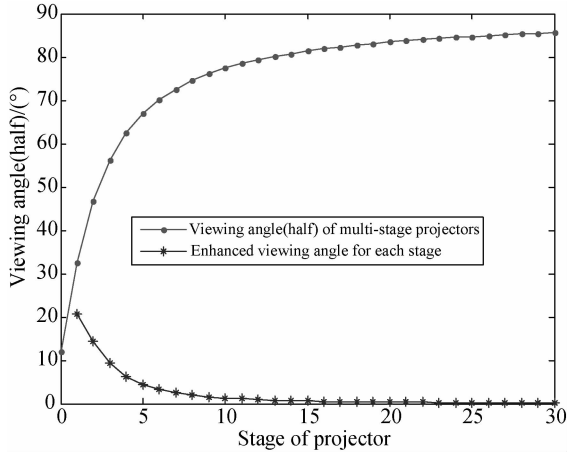


图 5 视场角和级次的关系

Fig. 5 Relationship between viewing angle and stages of projectors

3 实验结果和讨论

在上述研究的基础上,本文利用 3 台投影仪和透镜阵列组成了一套多级投影式集成成像显示系统(0 级和±1 级)。实验装置和 3 台投影仪输出的元素图像阵列如图 6 所示。实验用到的不同偏移量的元素图像阵列由计算机生成。

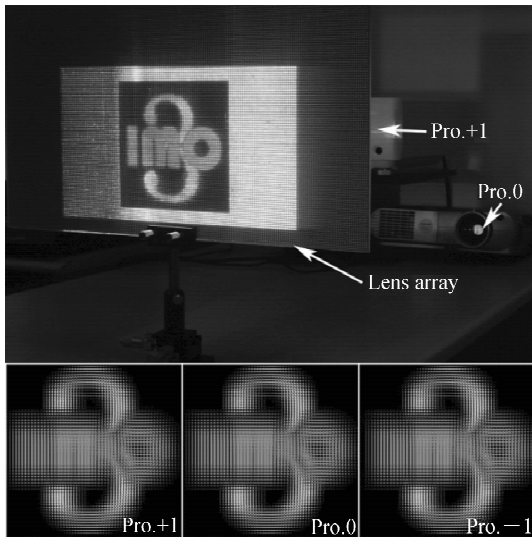


图 6 投影式集成成像显示系统

Fig. 6 Experimental setup of projector-type integral image display system

表 1 实验系统参数

Tab. 1 Experiment parameters

Specification	Characteristics
Lens shape	Square
Aperture of element lens	2.5 mm×2.5 mm
Pitch of element lens	2.5 mm×2.5 mm
Focal length	4 mm
Lens number	60 (H)×60 (V)
Pixels of element image	15 pixel(H)×15 pixel(V)
g	5.88 mm

投影式集成成像显示系统的参数如表 1 所示。由上述参数可以得到,传统单投影仪显示系统的视场角为 $2\arctan(p/2g) = \pm 12^\circ$ 。而采用本文所提方法,+1 级的投影仪能够将+1 侧的视场角从 $\pm 12^\circ$ 增加到 $2\arctan(3p/2g) = \pm 35^\circ$ 。光学实验结果如图 7 所示。

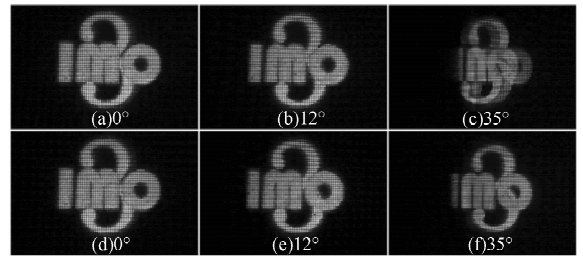


图 7 集成成像不同视角下的观测结果。其中,(a)、(b)、(c)为传统模式;(d)、(e)、(f)为本文方法

Fig. 7 Reconstructed images with different viewing angles by conventional and proposed methods where (a), (b) and (c) are by conventional method, and (d), (e), and (f) are by proposed method.

图 7(a)、(b)、(c)是传统的单投影式集成成像显示系统的实验结果。结果表明,对于传统的单投影系统来说,其计算视场角为 $\pm 12^\circ$,在观测角度为 $+12^\circ$ 时能够获得清晰无串扰的集成再现像;而在 35° 时,由于已经超出了传统单投影仪的最大视场角 12° ,因此观测到的再现像产生干扰像。采用本文所提的方法,由 0 级投影仪投出的元素图像对应于从 $-12^\circ \sim +12^\circ$ 的视场角,由 ± 1

级投影仪投出的元素图像对应于 $\pm 12^\circ \sim \pm 35^\circ$ 的视场角,因此能够在 $+35^\circ$ 的位置观测到清晰无串扰的三维再现像。与传统的单投影仪系统相比,本文所提的 ± 1 和 0 级构建的三级投影显示系统能够获得 $\pm 35^\circ$ 的再现视场角,视场角增加了1.92倍,极大地提升了集成成像的再现视场角。

4 结 论

本文提出了一种基于多级投影的集成成像再

现像视场角拓展方法,该方法通过利用多级投影仪投射不同级次的元素图像阵列,实现了再现像视场角的拓展。光学实验结果表明,利用3个投影仪组成 ± 1 和 0 级的多级投影系统,其集成成像再现像的视场角从原来的 $\pm 12^\circ$ 增加到了 $\pm 35^\circ$,是传统集成成像系统的2.92倍。若采用更多级次的投影系统,可实现更大视场角的拓展。本文所提方法具有系统结构简单和扩展效率高的优点,为集成成像三维再现像品质的提高提供了一种行之有效的解决手段。

参考文献:

- [1] LIPPMANN G. La photographie integrale [J]. *Comptes Rendus Acad. Sci.*, 1908, 146: 446-451.
- [2] 王涛,于瀛洁,郑华东. 彩色全息光电再现倍率色差消除[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(6): 1414-1420.
WANG T, YU Y J, ZHEN H D. Removal of magnification chromatism in optoelectronic full color holography [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(6): 1414-1420. (in Chinese)
- [3] 于瀛洁,倪萍,周文静. 基于全息图放大的数字全息显微结构测量[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(5): 827-831.
YU Y J, NI P, ZHOU W J. Micro-structure measurement of phase object by digital microholography based on magnified hologram [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5): 827-831. (in Chinese)
- [4] 姜伟,魏世衡. 反射型立体视觉系统的视差估计和图像复原[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(7): 1702-1707.
JIANG W, WEI SH H. Display estimation and image restoration for reflection stereo vision [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(7): 1702-1707. (in Chinese)
- [5] 孙军华,吴子彦,刘谦哲,等. 大视场双目视觉传感器的现场标定 [J]. *光学精密工程*, 2009, 17(3): 633-640.
SUN J H, WU Z Y, LIU Q ZH, *et al.*. Field calibration of stereo vision sensor with large FOV [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3): 633-640. (in Chinese)
- [6] 王琼华. 3D显示技术与器件[M]. 北京:科学出版社, 2011.
WANG Q H. *Three-dimensional Display Technology and Devices* [M]. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
- [7] 焦小雪,赵星,杨勇,等. 基于最佳记录距离的三维集成成像光学获取技术 [J]. *光学精密工程*, 2011, 19(11): 2805-2811.
JIAO X X, ZHAO X, YANG Y, *et al.*. Optical acquiring technique of three-dimensional integral imaging based on optimal pick-up distance [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(11): 2805-2811. (in Chinese)
- [8] PARK S G, SONG B S, MIN S W. Analysis of image visibility in projection-type integral imaging system without diffuser [J]. *J. Opt. Soc. Kor.* 2010, 14: 121-126.
- [9] KIM Y, PARK S G, MIN S W, *et al.*. Projection-type integral imaging system using multiple elemental image layers [J]. *Appl. Opt.*, 2011, 50: B18-B24.
- [10] LEE B, JUNG S, PARK J H. Viewing-angle-enhanced integral imaging by lens switching [J]. *Opt. Lett.*, 2002, 27: 818-820.
- [11] MIN S W, KIM J, LEE B. Wide-viewing projection-type integral imaging system with an embossed screen [J]. *Opt. Lett.*, 2004, 29: 2420-2422.
- [12] KIM Y, PARK J H, CHOI H, *et al.*. Viewing-angle-enhanced integral imaging system using a curved lens array [J]. *Opt. Express.*, 2004, 12: 421-429.
- [13] MARTINEZ-CUENCA R, NAVARRO H, SAAVEDRA G, *et al.*. Enhanced viewing-angle integral imaging by multiple-axis telecentric relay system [J]. *Opt. Express*, 2007, 15: 16255-16260.

作者简介:



张 雷(1983—),男,河北邯郸人,博士研究生,2008年于河北大学获得硕士学位,主要从事三维成像与显示技术的研究。E-mail: mooni189@163.com



杨 勇(1972—),男,天津人,博士,副教授,2001年于天津大学获得博士学位,主要从事机器视觉、三维成像与显示等方面的研究。E-mail: yangyong@nankai.edu.cn



赵 星(1980—),男,天津人,博士,副教授,2007年于南开大学获得博士学位,主要从事光学信息处理以及光学系统设计等领域的研究工作,目前从事新型三维成像与显示技术的相关研究。E-mail: zhaoxingtjnk@nankai.edu.cn



袁小聪(1963—),男,上海人,教授,博士生导师,1988年于天津大学获得硕士学位,1994年于伦敦大学(King's College)获得博士学位,现为南开大学信息科学技术学院副院长,主要从事微光学、光学显微成像与传感、光镊等方面的研究。E-mail: xcyuan@nankai.edu.cn

导师简介:



方志良(1945—),男,吉林人,教授,博士生导师,1969年于长春光机学院获得学士学位,现为南开大学现代光学研究所所长,主要从事应用光学、光学信息处理、图像处理等方面的研究。E-mail: zlfang@nankai.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)