

文章编号 1004-924X(2011)11-2805-07

## 基于最佳记录距离的三维集成成像光学获取技术

焦小雪, 赵 星\*, 杨 勇, 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:**针对三维集成成像与显示技术中光学阵列式物体三维信息获取的要求,提出了一种确定最佳记录距离的新方法来减少相邻成像单元间的干扰和三维再现过程中的串扰现象。通过分析大小不同的物体在不同记录距离处的物点成像率和像点利用率,确定了合理的记录距离。分析结果表明,对于特定的集成成像系统,该新方法确定的最佳记录距离处的物点成像率和像点利用率的乘积比传统方法均有较大提高,最大可以提高 34 倍。另外,通过光学实验实现了完整且细节丰富的三维图像再现,进一步验证了这一方法的正确性。该方法同时适用于透镜阵列和照相机阵列的三维信息获取。

**关键词:**三维成像;三维显示;集成成像;记录距离

**中图分类号:**TP391;TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111911.2805

### Optical acquiring technique of three-dimensional integral imaging based on optimal pick-up distance

JIAO Xiao-xue, ZHAO Xing, \* YANG Yong, FANG Zhi-liang, YUAN Xiao-cong

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

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

**Abstract:** By taking optical acquiring 3D objects with a lens array for an example, a method to obtain the optimal pick-up distance was proposed to reduce the elemental image overlap and the crosstalk in reconstructed three-dimensional images for 3D integral imaging and display technology. By analyzing the effective imaging rates of object points and the image point utilization of objects with various sizes at different pick-up distances, the optimal pick-up distance was achieved. Compared with conventional methods for a specific integral imaging system, the product of the effective imaging rates of object points and image point utilization has increased at the optimal pick-up distance and the maximum one can increased by 34 times. Optical experimental results show that the reconstructed images has full 3D information and wealth detail, which verifies the feasibility of the proposed method. Moreover, the method is suitable for both the lens array and the camera array to acquire 3D information.

**Key words:** 3D imaging; 3D display; integral imaging; pick-up distance

收稿日期:2011-04-22;修订日期:2011-07-02.

基金项目:国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(No. 2010CB327702)

## 1 引言

集成成像(Integral Imaging)技术是由 Lippmann 在 1908 年提出的一种不需要配戴眼镜的被动成像三维显示技术<sup>[1]</sup>。近年来,随着理论研究、光学系统的技术革新和微透镜制造工艺的进展,集成成像技术吸引了国际上三维技术领域的众多关注,并发表了大量的文献<sup>[2]</sup>,其研究范围广泛,主要集中在元素图像阵列的获取<sup>[3-6]</sup>,中继数据处理过程<sup>[7-9]</sup>,元素图像重构<sup>[10-12]</sup>以及在多媒体电视等领域的应用<sup>[13-15]</sup>方面。传统的集成成像技术包含元素图像阵列的记录和三维图像的再现两个部分<sup>[16-17]</sup>。其中,针对实际三维物体或场景大小,可以采用透镜阵列或照相机阵列获取元素图像阵列,然后应用于透镜阵列再现系统中,其中再现三维图像的质量取决于所记录的元素图像阵列的质量,而光学阵列式获取会产生相邻元素图像之间的交叠以及三维图像信息缺失,因此成为了影响元素图像阵列及再现三维图像质量的重要因素之一。

目前,人们针对透镜阵列的获取方式提出了各种方法来解决元素图像之间交叠的问题,以改善元素图像阵列的质量,达到抗串扰的目的。文献<sup>[18-20]</sup>提出对透镜阵列获取物体三维信息的光学记录系统进行改进,改善了集成成像获取三维信息时元素图像交叠的现象,但是由于视场的限定,对不同大小的物体如果记录距离设置不当,将造成三维信息的丢失,进而影响再现像的三维显示效果。此外对光学系统进行改进的方法较繁琐,系统较复杂,不利于实际应用。文献<sup>[21-22]</sup>在未增加系统复杂性的情况下通过计算单透镜的视场确定记录距离来减少元素图像之间交叠的影响问题,但由于透镜阵列不同于单透镜,透镜阵列中子透镜成像之间的互相影响使之记录物体三维信息时,在图像完整性和信息细节记录方面存在一定的缺陷。因此,设置合理的记录视场,即针对三维物体设置合理的记录距离是解决集成成像三维成像与显示技术中再现三维图像串扰问题的关键因素之一,它对于减少透镜阵列成像时邻近子透镜成像干扰的影响,提高图像的完整性以及信息细节记录程度,具有重要作用。

本文引入物点成像率和像点利用率 2 个新的

变量,提出基于二者关系确定集成成像中透镜阵列记录距离的新方法:根据几何成像理论模拟透镜阵列获取元素图像阵列的记录过程,通过对不同大小物体在不同记录距离处的物点成像率和像点利用率进行分析,确定最终合理的记录距离。而光学实验结果也验证了这一方法的正确性。该方法同时适用于透镜阵列和照相机阵列的三维信息获取,这对于三维集成成像与显示技术的应用具有重要意义。

## 2 基本方法

对于三维集成成像技术而言,采用照相机阵列和透镜阵列进行光学获取的基本原理相同,因此本文以透镜阵列为例进行原理分析和阐述。图 1 是采用透镜阵列的集成成像记录系统原理图。三维物体与透镜阵列距离为  $z$ ,透镜阵列与像面

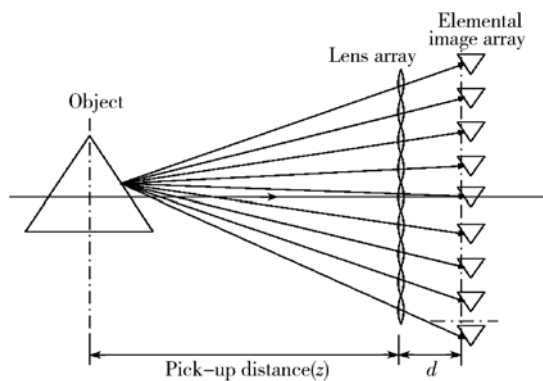


图 1 集成成像记录过程

Fig. 1 Pickup process of integral imaging

距离为  $d$ 。由于采用透镜阵列从不同视角记录三维物体的三维形貌信息,虽然物体间位置可能存在一定的遮挡关系,但在多视角记录时,物体表面的每个物点对元素图像阵列都产生贡献。因此本文构建三维物体场景的模型时,假设具有深度信息的三维物体场景沿光轴  $z$  方向由不同层面的二维物体构建而成,被遮挡的物体表面物点也视为有效物点用于透镜阵列成像,如图 2 所示。此外,受子透镜孔径和线视场的影响,邻近子透镜的成像干扰及元素图像间的信息交叠的影响将导致三维图像再现时大量串扰现象的出现,降低了再现三维图像的信噪比。因此,为减少再现图像的串扰,提高信噪比,借鉴文献<sup>[18]</sup>的方法,我们设定子透

镜的像方线视场与子透镜的大小相等,透镜阵列的像方线视场大小为所有子透镜像方线视场的线性相加,此时像面大小与透镜阵列的大小相等。

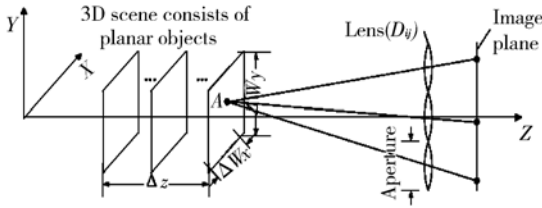


图 2 分析方法原理示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of proposed method

在此基础上,我们采用几何光学理论,分析、模拟集成成像的记录获取三维物体场景的元素图像阵列。

假设三维物体场景在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的大小分别为  $\Delta W_x$ 、 $\Delta W_y$  和  $\Delta Z$ 。基于上述物体场景模型构建方法,将该三维物体场景视为由一系列沿  $z$  方向间隔相等的二维平面组成,首先选择其中一个二维物体层面进行成像处理,假设物空间点  $A$  对应的微小面积元为  $\delta s = \delta(x, y, z)$ ,  $z$  为点  $A$  所处二维物体平面在  $z$  轴的位置坐标。经由子透镜  $D_{ij}$  成像在像面上点  $A'$  对应的微小面积元为  $\delta s' = \delta(x', y', z')$ ,  $z'$  为像平面在  $z$  轴的位置坐标。考虑到避免交叠的因素,仅有经过子透镜成像在其相应像方线视场范围内的物点才被视为有效的成像物点,此时,二维层面上经过子透镜  $D_{ij}$  成像的有效成像物点所构成的表面的面积大小为  $s_{ij}$ ,即:

$$s_{ij} = \int_{\Delta W_x} \int_{\Delta W_y} \delta(x, y, z) p(x, y) dx dy, \quad (1)$$

二维层面经由子透镜  $D_{ij}$  成像在像面上的大小为  $s'_{ij}$ ,即:

$$s'_{ij} = \int_{\Delta W_x} \int_{\Delta W_y} \delta(x', y', z') p(x, y) dx dy, \quad (2)$$

其中  $p(x, y)$  为与有效成像物点相对应的二值函数:

$$p(x, y) = \begin{cases} 1, & x, y \in \text{线视场内} \\ 0, & \text{other} \end{cases}, \quad (3)$$

因为三维物体场景模型是由一系列二维物体层面构建而成,一系列二维物体层面分别经由子透镜  $D_{ij}$  成像,则三维物体场景模型中经由子透镜  $D_{ij}$  成像的有效成像物点的表面积为  $S_{ij}$ ,即:

$$S_{ij} = \sum_{\Delta z} s_{ij}, \quad (4)$$

与之相应,该模型中有效成像物点经由子透镜  $D_{ij}$  成像后在像面上的面积为  $S'_{ij}$ ,即:

$$S'_{ij} = \sum_{\Delta z} s'_{ij}, \quad (5)$$

我们定义通过所有子透镜成像的物面大小为  $S_{ij}$  的线性叠加,这样当采用含有  $n \times m$  子透镜的透镜阵列成像时,分层三维物体场景模型中有效成像物点的总表面积为:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij}, \quad (6)$$

对于整个像面,通过所有子透镜成像的像面大小为  $S'_{ij}$  的线性叠加,也就是有效成像物点在像面上的像点总面积为:

$$S' = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S'_{ij}, \quad (7)$$

由此我们定义如下两个变量:

物体的物点成像率为:

$$\alpha = \frac{S}{S_0} \leq 1, \quad (8)$$

像面的像点利用率为:

$$\beta = \frac{S'}{S'_0} \leq 1. \quad (9)$$

其中,分层三维物体场景模型的总表面积为  $S_0$ ,记录像面大小为  $S'_0$ 。物点成像率表示实际有效成像的物点百分比,反映的是物体三维信息的记录程度,而像面的像点利用率表示像面上记录有效成像物点信息的像点百分比,反映的是像面的采样能力。物点成像率越高,物体的三维信息记录的越完整;像面的像点利用率越高,像面上图像的细节描述越丰富;因此,将物体置于某一成像距离处,使这两个变量同时为 1,获得的元素图像阵列将能完整清晰的记录物体丰富的三维细节信息,最终满足理想三维显示的需要。

但是实际上采用透镜阵列记录三维物体时,上述要求却难以满足。因为当成像距离过大时,虽然大量物点信息可以通过透镜阵列记录在像面上,但会导致像面采样不充分,造成当  $\alpha \approx 1$  的时候,  $\beta < 1$ 。而当成像距离过小时,尽管像面采样充分,但会导致物体大量信息丢失,造成当  $\beta \approx 1$  的时候,  $\alpha < 1$ 。

由此可知,这两个变量表达的意义互相制约,此消彼长,无法同时等于 1。但两个变量的单调性相反,根据极值原理,二者乘积即  $\alpha \times \beta$  存在极大值,如图 3 所示。此时,能同时取得相对较大的

$\alpha$  值与  $\beta$  值。因此, 我们可以计算实际某透镜阵列对三维物体在不同成像距离处获取元素图像阵列时的  $\alpha \times \beta$  值, 将  $\alpha \times \beta$  最大时所对应的成像距离确定为透镜阵列对该物体的最佳记录距离, 而对不同大小的物体进行计算后就可以得到该透镜阵列的最佳记录距离与物体大小间的曲线关系, 供实际应用参考。

而在实际应用中, 为了获得大场景、高分辨率的三维显示, 需要采用照相机阵列进行物体三维

信息的记录以克服透镜阵列的不足, 二者的基本原理相同, 因此上述方法同样适用照相机阵列, 用以得到大场景的元素图像阵列。

### 3 计算分析与讨论

基于上述分析方法, 我们进行了数值计算和仿真。计算过程中使用的透镜阵列和有关参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

Tab. 1 Experiment parameters

Lens number of lens array	Focal length of lens/mm	Elemental lenses/mm <sup>2</sup>	Elemental object plane area/mm <sup>2</sup>	Image plane area/mm <sup>2</sup>
5(H)×7(V)	55.97	7×4.3	35×30.1	35×30.1

首先设定基元物体大小 35 mm, 与透镜阵列和像面大小相等。物体由 5 层平面组成, 每层相距 5 mm, 第三层处于基准物平面上; 本文以显示器的像素定义三维物体的微小面积元, 每层有 14 560 个像素(130(H)×112(V)), 共有 72 800 个像素, 其中每个像素视为一个有效物点。然后以透镜阵列焦距的整数倍改变物体分层后的中心平面图像与透镜阵列的间距, 同时以基元物体的整数倍改变物体的大小, 分别统计分析得到不同大小的物体在不同记录距离处的物点成像率  $\alpha$  和像面利用率  $\beta$ , 以及二者的乘积, 结果如图 3 所示。

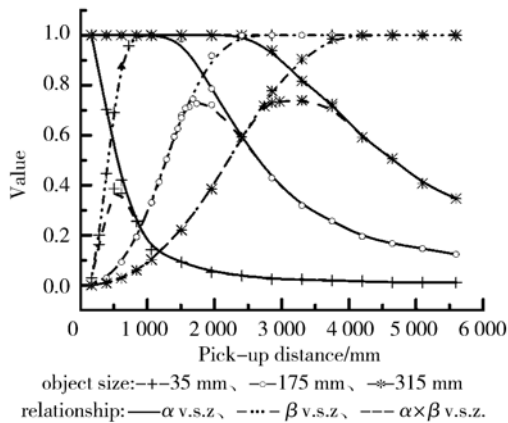


图 3 不同物体大小时物点成像率, 像点利用率和二者极值随不同记录距离的变化关系

Fig. 3  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\alpha \times \beta$  versus different pick-up distances in different sizes of 3D objects

表 2 新方法和传统方法关于不同大小物体的最佳记录距离的比较

Tab. 2 Comparison of pick-up distance between new method and original method

Object size /mm	New method		Original method	
	$(\alpha \times \beta)_{\max}$	pick-up distance/mm	$(\alpha \times \beta)_{\max}$	pick-up distance/mm
35	0.3395	391.79	0.0098	279.85
70	0.5470	671.64	0.0282	559.7
105	0.6190	1063.43	0.0602	839.55
140	0.6521	1343.28	0.1040	1119.4
175	0.6572	1679.1	0.1714	1399.25
210	0.6555	2126.86	0.2712	1679.1
245	0.6539	2518.65	0.4245	1958.95
280	0.6624	2742.53	0.6165	2238.8
315	0.6609	3078.35	0.6489	2518.65
350	0.6597	3414.17	0.5922	2798.5

从图 3 中可知当物体大小不变时, 随着记录距离的增大, 物点成像率越大; 当记录距离不变时, 随着物体尺寸的增大, 物点成像率越小。并且  $\alpha$  和  $\beta$  两个变量曲线的趋势相反, 存在一个透镜阵列对该物体的最佳记录距离使  $\alpha \times \beta$  达到极值。而出现这一现象的原因则是因为透镜阵列获取物体三维信息时, 不同的记录距离决定了不同视角方向三维信息记录的多寡。

为更好的说明问题, 我们将上述计算结果与文献[21-22]所使用的传统方法进行了比较, 结果如表 2 所示。

从表 2 的比较中发现,对于特定的集成成像系统,在本文方法确定的最佳记录距离位置进行物体三维信息的获取,较传统方法获得了更高的物点成像率和像点利用率乘积,最大可以提高 34 倍。这预示着如果再现时使用基于此方法得到的元素图像阵列,将能获得更为完整且细节丰富的三维再现像。

#### 4 实验结果

在此基础上,我们又进行了光学实验的验证。实验所用的透镜阵列大小为 35 mm×35 mm,含有 7×7 个透镜单元,焦距大小为 20 mm。实验物体是魔方,大小为 35 mm×35 mm×35 mm,如图 4(a)所示。魔方分别放在透镜阵列前 40 mm,120 mm,400 mm 距离处,其中 120 mm 为依据上述方法所确定的最佳记录距离。图 4(b),(d),(c)分别为使用单反照相机(Canon 550D)拍摄到的不同记录距离处的元素图像阵列。这些元素图像阵列没有经过任何处理和修饰,可以明显看出记录距离为 40 mm 时,不同视角元素图像所记录

的物体缺乏细节信息。而在距离为 120 mm 的最佳记录距离处,不同视角元素图像所记录的物体三维信息较为完整,相邻元素图像间的交叠对图像信噪比无明显影响。

再现实验中将上述元素图像阵列应用于同种规格透镜阵列的显示阶段,采用投影方式获得了再现三维图像的实像,实验系统如图 5 所示,1 为投影仪,作为信号输入系统将元素图像阵列投影到光学系统中;2 和 3 为中继透镜,其作用为使投影输出图像缩小到与透镜阵列相匹配的大小;4 为透镜阵列,5 为像面,6 为单反照相机(Canon 550D)。

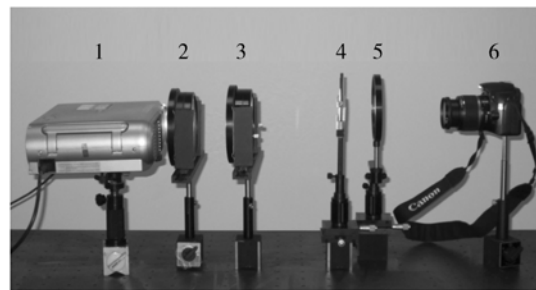


图 5 集成成像投影显示装置

Fig. 5 Display setup of projection-type integral imaging in experiment

实验所得到的再现三维图像如图 6(a),(b),(c)所示。由于再现的三维场景是由元素图像阵列经由透镜阵列在像空间叠加后所形成的三维空间光强分布,因此,使用图 5 中的像面记录三维场景时,将在像面内获得空间光强分布沿光轴方向的投影,致使三维图像的信噪比降低,图像模糊。而实验中采用颗粒度较大的毛玻璃作为记录像面也会降低图像的分辨率。此外,透镜阵列的加工误差,以及单透镜自身存在较大的轴外像差,使再现三维图像边缘产生一定的畸变。

尽管如此,从图中仍然可以看出记录距离为 40 mm 时,再现三维图像出现严重的串扰现象,图像完整度明显缺失;记录距离为 400 mm 时,再现三维图像模糊,细节信息缺失;记录距离为 120 mm 的最佳距离处的再现三维显示效果串扰明显减少,图像更完整且细节相对清晰。

上述光学实验结果表明,使用本文提出方法得到的最佳记录距离进行物体三维信息的记录,

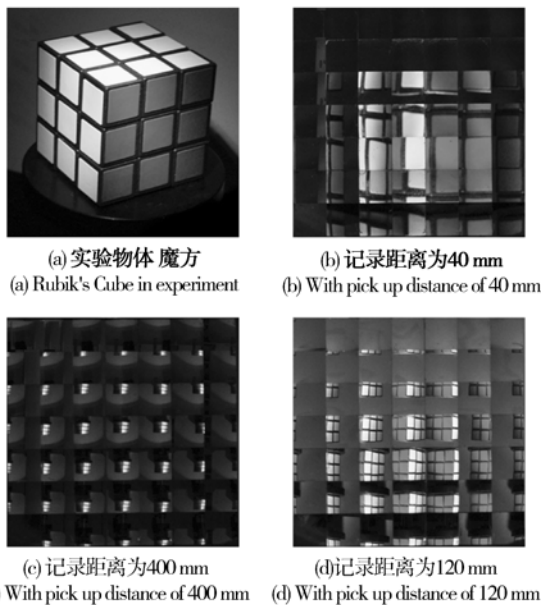


图 4 实验物体与 CCD 相机拍摄的元素图像阵列

Fig. 4 Experimental object and elemental image arrays captured by CCD

的物体三维信息不完整,放大后可发现相邻元素图像间的交叠对图像信噪比有一定影响;记录距离为 400 mm 时,不同视角元素图像阵列所记录

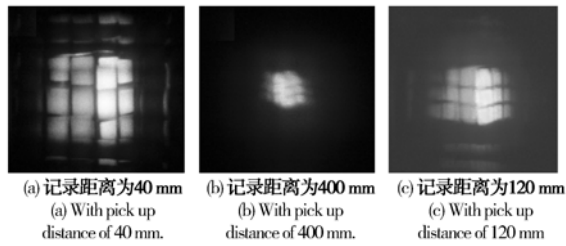


图 6 不同记录距离获得元素图像阵列的再现三维图像

Fig. 6 Reconstructed images of different elemental image arrays

有效的减少了透镜阵列成像时邻近子透镜的成像干扰对元素图像阵列的影响,能够同时实现物体三维信息记录的完整性,以及信息细节的充分采样,获得高质量的元素图像阵列,使用这样的图像阵列进行三维再现,将能获得完整且细节丰富的三维图像再现,并能减少图像串扰现象发生。

#### 参考文献:

- [1] LIPPMANN G. La photographie intergrale [J]. *C. R. Acad. Sci.*, 1908, 146: 446-451.
- [2] PARK J H, HONG K, LEE B. Recent progress in three-dimensional information processing based on integral imaging [J]. *Appl. Opt.*, 2009, 48(34): 77-94.
- [3] HAIN M, JAVIDI B. 3D integral imaging using diffractive Fresnel lens arrays [J]. *Opt. Express*, 2005, 13(1): 315-326.
- [4] 郝劲波, 忽满利, 李林森, 等. 基于微透镜阵列的实时三维物体识别 [J]. *光子学报*, 2007, 36(11): 2008-2012.  
HAO J B, HU M L, LI L S, *et al.*. Real-time three-dimensional object recognition with microlens array [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(11): 2008-2012. (in Chinese)
- [5] OH S, HONG J, PARK J H, *et al.*. Efficient algorithms to generate elemental images in integral imaging [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2004, 8(3): 115-121.
- [6] 张红鑫, 卢振武, 王瑞庭, 等. 曲面复眼成像系统的研究 [J]. *光学精密工程*, 2006, 14(3): 346-350.  
ZHANG H X, LU ZH W, WANG R T, *et al.*. Study on curved compound eye imaging system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 346-350. (in Chinese)
- [7] CHOAND M, JAVIDI B. Computational reconstruction of three-dimensional integral imaging rearrangement of elemental image pixels [J]. *J. Display technol.*, 2009, 5(2): 61-65.
- [8] 张健, 辛悦, 刘伟奇, 等. 基于微透镜阵列的三维数字成像 [J]. *光学精密工程*, 2009, 17(7): 1701-1706.  
ZHANG J, XIN Y, LIU W Q, *et al.*. Three-dimensional digital imaging based on microlens array [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(7): 1702-1706. (in Chinese)
- [9] HONG K, HONG J, JUNG J H, *et al.*. Rectification of elemental image set and extraction of lens lattice by projective image transformation in integral imaging [J]. *Opt Express*, 2010, 18(11): 12002-12016.
- [10] KIM S C, PARK S C, KIM E S. Computational integral-imaging reconstruction-based 3-D volumetric target object recognition by using a 3-D reference object [J]. *Appl. Opt.*, 2009, 48(34): 95-104.
- [11] SHIN D H, YOO H. Signal model and granular-noise analysis of computational image reconstruction for curved integral imaging systems [J]. *Ap-*

## 5 结 论

本文以透镜阵列获取物体三维信息为例,通过对不同大小物体在不同记录距离处的物点成像率和像点利用率进行分析,以二者乘积最大时对应的记录距离作为合理的记录距离。对该方法与传统方法的计算比较和实验对照验证了这一方法的正确性,对于特定的集成成像系统,与传统方法比较,该新方法确定的最佳记录距离处的物点成像率和像点利用率的乘积均有较大提高,最大可以提高 34 倍。同时表明在最佳记录距离处获得的元素图像阵列既能减少邻近子透镜成像对于元素图像阵列的干扰现象,又可获得完整且细节丰富的三维图像再现,并减少图像串扰现象发生。该方法同时适用于透镜阵列和照相机阵列的三维信息获取,对于集成成像三维成像与显示技术的应用具有重要意义。

- pl. Opt.*, 2009, 48(5): 827-833.
- [12] WEIMING L, YOUFU L. Generic camera model and its calibration for computational integral imaging and 3D reconstruction [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2011, 28(3): 318-326.
- [13] NAVARRO H, MART NEZ C R, JAVIDI B, *et al.*. 3D integral imaging display by smart pseudoscopic-to-orthoscopic conversion (SPOC) [J]. *Opt Express*, 2010, 18(25): 25573-25583.
- [14] KIM Y, HONG K, LEE B. Recent researches based on integral imaging display method [J]. *3D Research*, 2009, 1(1): 010102-1- 010102-13.
- [15] KIM S, KIM H, KANG S. Development of an ultraviolet imprinting process for integrating a microlens array onto an image sensor [J]. *Opt. Letters*, 2006, 31(18): 2710-2712.
- [16] STEM A, JAVIDI B. Three-dimensional image sensing, visualization, and processing using integral imaging [J]. *IEEE*, 2006, 94(3): 591-607.
- [17] PHAM D Q, KIM N, KWON K C, *et al.*. Depth enhancement of integral imaging by using polymer-dispersed liquid-crystal films and a dual-depth configuration [J]. *Opt Letters*, 2010, 35(18): 3135-3137.
- [18] HONG J, PARK J H, JUNG S, *et al.*. Depth-enhanced integral imaging by use of optical path control [J]. *Opt Letters*, 2004, 29(15): 1790-1792.
- [19] OKANO F, HOSHINO H, ARAI J, *et al.*. Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography [J]. *Appl. Opt.*, 1997, 36(7): 1598-1603.
- [20] PONS A, SAAVEDRA G, JAVIDI B, *et al.*. Optically-corrected elemental images for undistorted integral image display [J]. *Opt. Express*, 2006, 14(21): 9657-9663.
- [21] HOSHINO H, OKANO F, ISONO H. Analysis of resolution limitation of integral photography [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1998, 15(8): 2059-2065.
- [22] 王红霞, 伍春洪, 杨扬, 等. 计算机生成三维全景图像研究现状与发展 [J]. *计算机科学*, 2008, 35(6): 11-14.
- WANG H X, WU CH H, YANG Y, *et al.*. Research and development of computer generated integral image [J]. *Computer Science*, 2008, 35(6): 11-14. (in Chinese)

#### 作者简介:



焦小雪(1982—),女,山西晋城人,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: jiaoxiaoxue267@163.com



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



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



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

(本栏目编辑:李树军)