

# 离散采集结合自适应窗截取的立体元图像生成

郭敏<sup>1</sup>, 司玉娟<sup>1,2</sup>, 王世刚<sup>1</sup>, 吕源治<sup>3</sup>, 武伟<sup>1</sup>, 赵文婷<sup>1</sup>

(1. 吉林大学通信工程学院, 长春 130012; 2. 吉林大学珠海学院电子信息系, 广东珠海 519041; 3. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光电技术研发中心, 长春 130033)

**摘要:** 为了克服离散视点采集结合窗截取的立体元图像生成方法对采集平台参数的依赖, 本文提出采用基于拍摄对象的自适应窗截取算法来获得立体元图像阵列。首先, 利用离散视点采集平台获得拍摄对象的离散视点图像阵列; 然后, 计算拍摄对象在每幅离散视点图像中的成像区域, 再根据成像区域对截取窗参数的制约关系生成截取窗, 并利用截取窗将离散视点图像阵列处理成子图像阵列; 最后, 根据立体元图像阵列与子图像阵列之间的映射关系, 将子图像阵列转换成立体元图像阵列。实验结果表明: 本文方法能够在采集平台参数未知的情况下, 获得与传统方法相同的立体元图像阵列, 大大提高了离散视点图像阵列的通用性和立体元图像阵列的生成效率。

**关键词:** 信息处理技术; 立体元图像阵列; 自适应窗截取; 离散视点图像阵列; 子图像阵列

**中图分类号:** TN911 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2016)05-1681-07

**DOI:** 10.13229/j.cnki.jdxbgxb201605044

## Elemental image generation combining discrete viewpoint pickup with adaptive window interception

GUO Min<sup>1</sup>, SI Yu-juan<sup>1,2</sup>, WANG Shi-gang<sup>1</sup>, LYU Yuan-zhi<sup>3</sup>, WU Wei<sup>1</sup>, ZHAO Wen-ting<sup>1</sup>

(1. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China; 2. Department of Electronic Information, Zhuhai College of Jilin University, Zhuhai 519041, China; 3. Photoelectric Technology Research and Development Center, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** To overcome the reliance on the pickup platform parameters of elemental image array generation method, which combines discrete viewpoint pickup with window interception, we proposed an adaptive window interception algorithm based on the object to generate an elemental image array. First, the discrete viewpoint image array is acquired using the discrete viewpoint pickup platform. Then, the imaging area of the object in every viewpoint image is calculated. Then, the interception window is generated according to the restriction on the parameters of the interception window from the imaging area, and the discrete viewpoint image array is processed into a sub-image array with the interception window. Finally, the sub-image array is transformed into the corresponding elemental

**收稿日期:** 2015-06-04.

**基金项目:** “863”国家高技术研究发展计划项目(2012AA011505); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20120061110091); 吉林大学研究生创新基金项目(2015077); 吉林省科技攻关重点项目(20150204039GX); 吉林省长春市重大科技攻关专项项目(14KG064).

**作者简介:** 郭敏(1984-), 女, 博士研究生. 研究方向: 立体图像. E-mail: guomin7852@163.com

**通信作者:** 司玉娟(1963-), 女, 教授, 博士生导师. 研究方向: 数据传输及处理. E-mail: siyj@jlu.edu.cn

image array. Experimental results show that, without the pickup platform parameters, the proposed method can generate the same elemental image array as the traditional method can, which will boost the universality of the discrete viewpoint image array and the generation efficiency of the elemental image array.

**Key words:** information processing technology; elemental image array; adaptive window interception; discrete viewpoint image array; sub-image array

## 0 引言

组合成像技术能够为观看者提供具有全彩色和全视差的立体图像,已成为新一代立体显示技术的重要组成部分之一<sup>[1-5]</sup>。目前,立体元图像阵列的生成方法主要包括计算机模拟采集法<sup>[6,7]</sup>和实景采集法<sup>[8-12]</sup>,计算机模拟采集法<sup>[6,7]</sup>主要利用基于计算机的三维动画制作软件来模拟真实相机的映射光路,从而获得虚拟物体的立体元图像阵列,但是,该方法的运算量巨大,且无法生成实际景物的立体元图像阵列,因此,实景采集法始终是组合成像技术的首选采集方法。透镜阵列采集法<sup>[8-10]</sup>是最直接、简单的实景采集法,该方法使用相机直接拍摄 3D 对象透过透镜阵列的立体元图像阵列,然而,较低的采集分辨率、狭窄的观看视角以及较小的景深等问题一直制约着透镜阵列采集法的发展。相机阵列采集法<sup>[11,12]</sup>在一定程度上弥补了透镜阵列采集法存在的不足,但随着显示分辨率的不断提高,相机阵列的规模也在不断扩大,大规模的相机阵列既昂贵又不便于调节。

针对上述问题,文献[13]提出了一种离散视点采集结合窗截取的立体元图像阵列的实景采集方法,该方法只使用一台相机便可以获得较大尺寸拍摄对象的立体元图像阵列,且生成的立体元图像阵列的显示分辨率可以根据实际需要进行自由调节,但是,该方法在生成截取窗时需要精确获得采集平台的相关参数,对于一组未知采集参数的离散视点图像,该方法无法进行处理。为此,本文在文献[13]的基础上,提出了基于拍摄对象的自适应窗截取算法,该方法能够在未获得采集平台参数的情况下,根据拍摄对象在离散视点图像阵列中的成像区域生成对应的截取窗,获得与文献[13]完全相同的立体元图像阵列,保证离散视点图像阵列即使在丢失采集平台参数的情况下也可以正常使用,提高了离散视点图像阵列的通用性以及立体元图像阵列的生成效率。

## 1 离散视点采集

本文使用与文献[13]相同的离散视点图像采集平台(如图 1 所示),主要包括:拍摄对象、相机、垂直标尺以及配有遥控器的 3D 摄影轨道。在采集过程中,将相机安装在 3D 摄影轨道上,3D 摄影轨道可以使相机沿水平方向匀速移动,实验人员通过遥控器控制轨道的启动和停止。在相机的移动过程中,使用相机的多张连拍功能拍摄 3D 对象的离散视点图像。利用垂直标尺和两个三角架,等间隔地升起或降下 3D 摄影轨道,以获得相机在不同高度下拍摄到的图像信息。如图 2 所示,拍摄结束后,将所有离散视点图像按照相机的拍摄位置由低到高、由右到左的顺序排列成一个



图 1 离散视点图像采集平台

Fig. 1 Pickup platform of the discrete viewpoint images



图 2 离散视点图像阵列

Fig. 2 Discrete viewpoint image array

离散视点图像阵列。图 2 中包含  $24 \times 24$  幅离散视点图像,图 3 给出了 9 幅放大后的图像,该 9 幅图像分别来自离散视点图像阵列中第 1、12 和 24 行中的第 1、12 和 24 列。显然,随着拍摄位置从右到左的不断变化,离散视点图像阵列呈现出了玩具卡车从可见到不可见的连续变化过程。

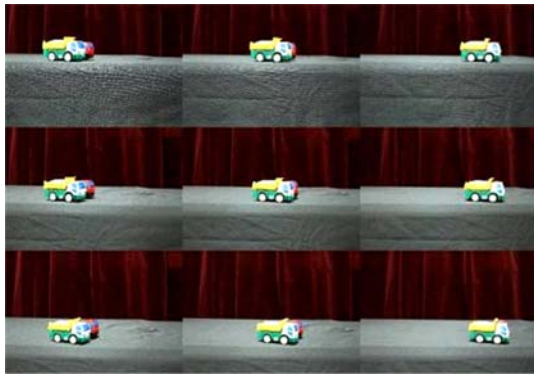


图 3 放大的离散视点图像  
Fig. 3 Magnified discrete viewpoint images

## 2 基本原理

图 4 为透镜阵列采集法的原理示意图,当实际物体发出的光线通过透镜阵列投射到电荷耦合元件(Charge-coupled device, CCD)上时,每个小透镜覆盖范围内的 CCD 区域便记录了一幅图像信息,称为立体元图像,根据立体元图像阵列与子图像阵列间的光学映射关系<sup>[14]</sup>可知,子图像为每幅立体元图像中某一相同位置的像素的集合,将所有子图像按照组成该子图像的像素点在立体元图像中的位置排列起来,即得到子图像阵列。

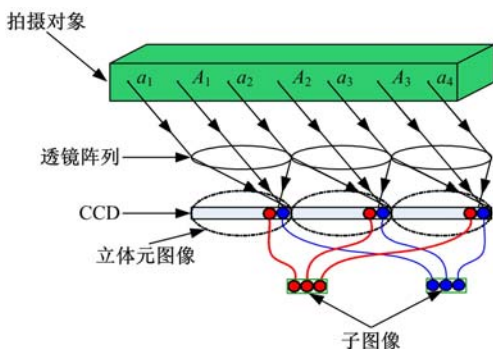


图 4 透镜阵列采集法原理示意图  
Fig. 4 Schematic diagrams of the lenslet-based pickup

在本文方法中(如图 5 所示),用相机在较远处对同一拍摄对象进行离散视点采集,从图 5 中可以看出,采集到的离散视点图像不仅包含对应的子图像,而且包含了其他像素,本文的核心思想

便是设计一个合适的截取窗,将每幅子图像从其所对应的离散视点图像中截取出来,并通过逆映射将子图像阵列转换成立体元图像阵列。

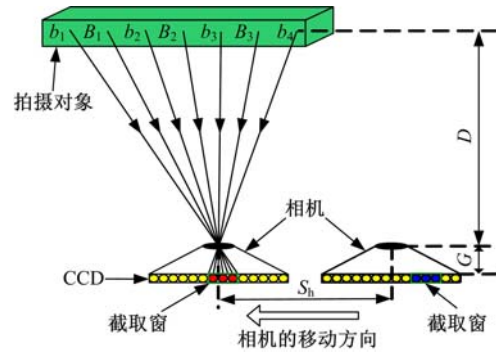


图 5 本文方法原理示意图  
Fig. 5 Schematic diagrams of the proposed method

截取窗的参数包括大小、在离散视点图像阵列的第一幅离散视点图像中的初始位置以及在相邻两幅离散视点图像中的相对位移<sup>[13]</sup>,文献[13]给出了截取窗参数、离散视点采集平台参数以及透镜阵列采集法的系统参数三者之间的关系,只要能够设定出合理的截取窗参数的约束条件,便可以生成符合透镜阵列成像关系的立体元图像阵列。

## 3 基于拍摄对象的自适应窗截取算法

图 6 为窗截取算法示意图,从图中可以看出,拍摄对象(两辆玩具卡车)是观看者关注的焦点,为此,本文提出了基于拍摄对象的自适应窗截取算法,在对截取窗的参数进行设置时,自适应地保护拍摄对象的完整性。首先,计算拍摄对象在离散视点图像阵列中成像区域的变化范围;然后,利用拍摄对象在相邻离散视点图像中成像区域的相对位移,计算截取窗在相邻离散视点图像中的相

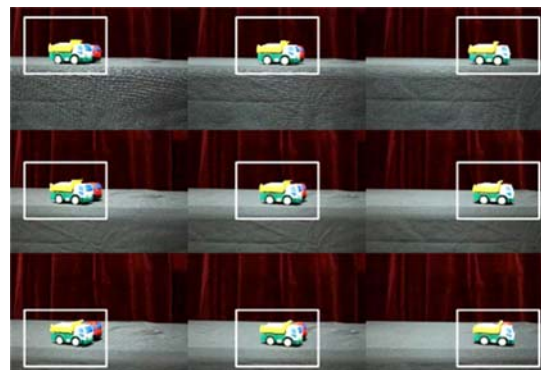


图 6 窗截取算法示意图  
Fig. 6 Schematic diagrams of the window interception

对位移,进而得到截取窗的大小和初始位置;最后,用计算得到的截取窗对每幅离散视点图像进行截取生成子图像阵列并合成立体元图像阵列。

### 3.1 计算拍摄对象的成像区域

由图 2 和图 3 可知,拍摄对象的成像区域在属于同一行的离散视点图像中具有相同的上边界和下边界,在属于同一列的离散视点图像中具有相同的左边界和右边界,且拍摄对象在离散视点图像阵列的第一行、第一列图像中的成像区域最靠近图像的左上方,在离散视点图像阵列的最后一行、最后一列图像中的成像区域最靠近图像的右下方,因此,只需计算出拍摄对象在该两幅图像中的成像区域范围便可以获得拍摄对象在离散视点图像阵列中成像区域的变化范围。

图 7 为拍摄对象在第一行、第一列离散视点图像中的成像区域范围计算流程图。首先,计算离散视点图像阵列的第一行、第一列图像与第一行、第二列图像的灰度图的差值图,由于相邻两幅离散视点图像的背景信息几乎相同,因此,差值图中非零点的区域即为拍摄对象的成像区域,为了进一步去除背景图像的干扰,本文对差值图进行滤波处理;然后,对滤波后的图像进行边缘检测,得到差值图的边缘信息,此时,边缘信息的上、下和左边界即为拍摄对象在第一行、第一列离散视点图像中成像区域的上、下和左边界,而边缘信息的右边界却是拍摄对象在第一行、第二列离散视点图像中成像区域的右边界。由于拍摄对象在第一行、第一列离散视点图像中成像区域的右边界可由差值图中边缘信息的右边界减去水平相对位移得到,因此,需要计算拍摄对象的成像区域在相邻两幅离散视点图像中的水平相对位移。

在计算拍摄对象成像区域的水平相对位移

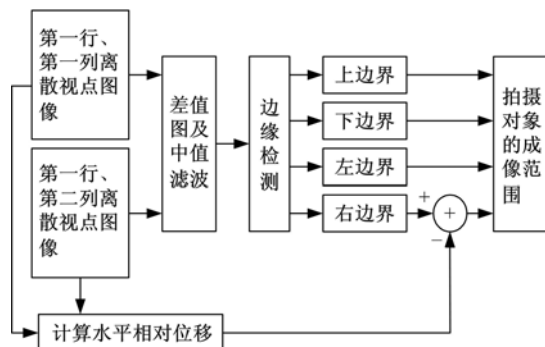


图 7 拍摄对象成像区域范围计算流程图

Fig. 7 Calculation procedure diagram of the imaging area of the object

时,首先,将第一行、第一列离散视点图像与第一行、第二列离散视点图像重叠放置并计算此时该两幅图像的峰值信噪比;然后,将第一行、第一列离散视点图像逐个像素的向右平移,计算并记录每次平移后两幅图像重叠部分的峰值信噪比,当完成一定范围的移动后,峰值信噪比最大时对应的移动距离即为拍摄对象的成像区域在相邻两幅离散视点图像中的水平相对位移。

同理,可以计算出拍摄对象在离散视点图像阵列的最后一行、最后一列图像中成像区域的范围。

### 3.2 设置截取窗参数

由图 6 可知,为了保护拍摄对象的完整性,在水平方向上,截取窗的左边界在每幅离散视点图像中的位置均位于该幅图像中拍摄对象成像区域的左侧,且截取窗的右边界在每幅离散视点图像中的位置均位于该幅图像中拍摄对象成像区域的右侧,垂直方向的约束条件与水平方向相同,具体表达式为:

$$(m-1) \times M_h \leq \min(X - I_R, I_L) \quad (1)$$

$$(n-1) \times M_v \leq \min(Y - I_B, I_T) \quad (2)$$

$$M_h \geq d_h \quad (3)$$

$$M_v \geq d_v \quad (4)$$

$$I_R \geq W \geq I_R + (m-1) \times M_h - I_L \quad (5)$$

$$I_B \geq H \geq I_B + (n-1) \times M_v - I_T \quad (6)$$

式中:  $M_h$  和  $M_v$  分别为截取窗在水平和垂直相邻两幅离散视点图像中的相对位移;  $m$  和  $n$  分别为离散视点图像阵列中所包含图像的列数和行数;  $X$  和  $Y$  分别为离散视点图像的宽度和高度;  $I_R$  和  $I_B$  分别为 3.1 节中计算得到的拍摄对象在第一行、第一列离散视点图像中成像区域的右边界和下边界;  $I_L$  和  $I_T$  分别为拍摄对象在最后一行、最后一列离散视点图像中成像区域的左边界和上边界;  $d_h$  和  $d_v$  分别为拍摄对象的成像区域在相邻两幅水平和垂直离散视点图像中的相对位移;  $W$  和  $H$  分别为截取窗的宽度和高度;  $\min(\cdot)$  表示取括号内所有数值的最小值。

#### (1) 计算截取窗的相对位移

由图 5 和文献[13]可知,截取窗在水平相邻的两幅离散视点图像中的相对位移为:

$$M_h = S_h \times \frac{G}{D} + \Delta \quad (7)$$

式中:  $S_h$  为离散视点采集过程中水平相邻的两个相机拍摄位置之间的距离;  $G$  为相机的成像距离;

$D$  为相机到拍摄对象的距离;  $\Delta$  为深度影响因子。

根据三角测量原理,拍摄对象的成像区域在相邻两幅离散视点图像中的相对位移与拍摄该两幅图像的相机间距的关系为:

$$\frac{S_h}{d_h} = \frac{D}{G} \quad (8)$$

由式(7)(8)可得  $M_h$  的表达式为:

$$M_h = d_h + \Delta \quad (9)$$

同理可得:

$$M_v = d_v + \Delta \quad (10)$$

由式(9)和式(10)可知,深度影响因子  $\Delta$  即为截取后的子图像阵列中拍摄对象在水平和垂直相邻两幅子图像中的相对位移,根据式(1)~(4)以及式(9)(10)可得  $\Delta$  的取值范围为:

$$0 < \Delta < \min(M_{\max_h} - d_h, M_{\max_v} - d_v) \quad (11)$$

式中:  $M_{\max_h}$  和  $M_{\max_v}$  分别为式(1)和式(2)中  $M_h$  和  $M_v$  的最大值。

### (2) 计算截取窗的大小及初始位置

由子图像阵列与立体元图像阵列之间的映射关系<sup>[14]</sup>可知,截取窗的尺寸决定了立体元图像的数量,而立体元图像阵列中所包含的立体元图像数量等于显示平台的显示分辨率。因此,本文所提方法可以通过改变截取窗的尺寸获得适合不同透镜阵列显示的立体元图像阵列。设用于显示的透镜阵列中包含  $C \times R$  个小透镜,在计算截取窗的大小时,只需在满足式(5)和式(6)的情况下,按照横纵比为  $C/R$  的比例关系设置截取窗的长度和宽度即可。

不失一般性,本文令截取窗的右下角在离散视点图像阵列的第一行、第一列图像中的位置为截取窗的初始位置。为了保证拍摄对象能够显示在屏幕的中心,初始位置的计算公式如下:

$$P_h = I_R + (W - W_{\min})/2 \quad (12)$$

$$P_v = I_B + (H - H_{\min})/2 \quad (13)$$

式中:  $P_h$  和  $P_v$  分别为截取窗的水平和垂直初始位置;  $W_{\min}$  和  $H_{\min}$  分别为式(5)和式(6)中截取窗宽度和高度的最小值。

### 3.3 生成子图像阵列和立体元图像阵列

对离散视点图像阵列中每幅离散视点图像进行窗截取生成子图像阵列,子图像阵列中第  $i$  行、第  $j$  列图像可以表示为:

$$SIA_{i,j}(u, v) = DVIA_{i,j}[P_h + (i - 1) \times M_h - W + u, P_v + (j - 1) \times M_v - H + v] \quad (14)$$

式中:  $SIA$  表示子图像阵列;  $DVIA$  表示离散视点

图像阵列;  $u = 1, 2, \dots, H$  为像素点在子图像中的横向位置坐标;  $v = 1, 2, \dots, W$  为像素点在子图像中的纵向位置坐标。

根据立体元图像阵列与子图像阵列之间的关系<sup>[14]</sup>生成立体元图像阵列。

## 4 实验结果

图 2 中每幅离散视点图像阵列的大小为  $2592 \times 1728$  像素,由 3.1 节计算得到拍摄对象在第一行、第一列离散视点图像和最后一行、最后一列离散视点图像中的成像区域范围如表 1 所示,拍摄对象的成像区域在水平和垂直相邻两幅离散视点图像中的相对位移分别为 41 像素和 22 像素。

表 1 拍摄对象的成像区域范围

Table 1 Imaging area of the object		像素	
离散视点图像	上边界	下边界	右边界
第一行、第一列	460	800	1303
最后一行、最后一列	950	1320	2070

由式(1)和式(2)可以计算出截取窗的最大水平和垂直相对位移分别为 56 像素和 40 像素,由式(11)可得  $\Delta$  的取值范围为  $0 \sim 15$  像素。当  $\Delta = 3$  像素时,对应的截取窗的水平和垂直相对位移分别为 44 像素和 25 像素。根据显示需要,设置每幅子图像的分辨率为  $50 \times 33$  像素,由于截取窗的面积越小,截取后的子图像中的拍摄对象越大,越能突出图像的感兴趣区域,因此,本文在式(5)和式(6)允许的范围内取截取窗的最小值,截取窗的宽度和高度分别设为 850 像素和 561 像素,当完成对离散视点图像的截取后,通过计算截取后图像中每个  $17 \times 17$  像素图像块的像素均值作为子图像中对应位置的像素值的方法实现图像缩小。为了证明本文所提算法能够生成与文献[13]完全相同的立体元图像阵列,本文设置截取窗的初始位置为(1296, 864),图 8 为  $\Delta = 3$  像素时生成的子图像阵列,从图中可以看出,生成的子图像阵列具有连续的水平视差和垂直视差。图 9 为由图 8 映射得到的立体元图像阵列<sup>[14]</sup>,该幅立体元图像阵列的分辨率为  $1200 \times 792$  像素。

本文所提算法计算得到的截取窗参数以及生成的立体元图像阵列与文献[13]中的对应数据完全相同。但是,与文献[13]相比,首先,本文的计算过程并未用到离散视点采集平台的任何参数,而是根据三角测量原理将离散视点采集平台的参

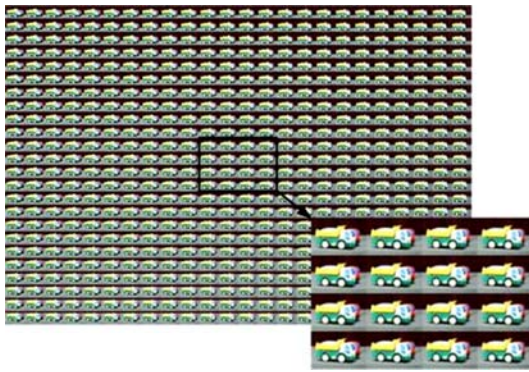


图 8  $\Delta=3$  时的离散视点图像阵列

Fig. 8 Discrete viewpoint image array when  $\Delta=3$

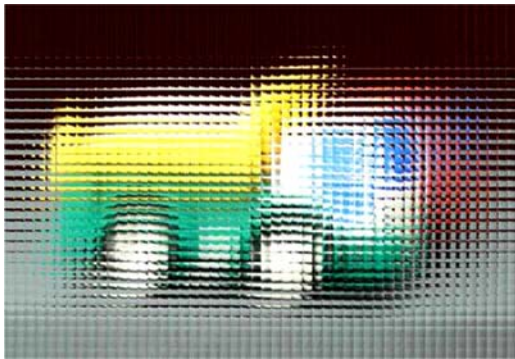


图 9  $\Delta=3$  时的立体元图像阵列

Fig. 9 Elemental image array when  $\Delta=3$

数信息通过式(8)转换成了离散视点图像阵列中拍摄对象成像区域的位置信息;其次,本文提出了基于拍摄对象完整性的截取窗参数设计原则,在文献[13]的基础上,通过式(5)、式(6)、式(12)和式(13)进一步明确截取窗参数的取值范围,使截取窗参数的设置更加合理。

与传统方法相比,本文所提方法具有以下优点:

(1)为了保证立体元图像阵列在显示平台上正常显示,立体元图像的数量和排列方式必须与显示平台所使用的透镜阵列中小透镜的数量和排列方式完全相同。若要得到能够在不同显示平台上正常显示的多个立体元图像阵列,在透镜阵列采集法<sup>[8-10]</sup>中,必须使用与所有显示端相匹配的多个透镜阵列进行多次采集,显然,这种方法使采集的工作量成倍增长,同时,采集端也不可能拥有符合每个显示端透镜阵列参数的所有透镜阵列;在相机阵列采集法<sup>[11,12]</sup>中,相机阵列中的相机必须按照每个显示端透镜阵列中小透镜的排列方式进行多次排列并采集,显然这种方法更不现实;而在本文所提方法中,根据立体元图像数量与截取

窗大小之间的关系,只需使用不同大小的截取窗对拍摄到的同一组离散视点图像阵列进行截取即可很容易地生成适合不同显示平台的立体元图像阵列。

(2)与相机阵列采集法<sup>[11,12]</sup>相比,本文所提方法可以大大降低拍摄成本和工作量。在相机阵列采集法中,每个相机采集到的图像为一幅立体元图像;而在本方法中,相机在每个拍摄位置采集到的图像对应一幅子图像。若要获得一幅显示分辨率为  $1024 \times 768$  像素,每幅立体元图像中包含  $20 \times 20$  的立体元图像阵列,传统相机阵列采集法需要拍摄  $1024 \times 768$  幅图像,而本方法只需拍摄  $20 \times 20$  幅图像即可。

(3)文献[13]所述方法中,图像采集端需要将离散视点图像阵列和对应的采集平台参数均传送到显示端,当采集平台参数丢失时,显示端即使获得了完整的离散视点图像阵列也无法生成立体元图像阵列;然而,本文所提方法能够将一次采集到的离散视点图像阵列处理成适合不同显示平台分辨率的立体元图像阵列,在实际应用中,图像采集端只需采集一个离散视点图像阵列并将其发送到显示端,显示端即可根据自身的显示平台参数生成相应的立体元图像阵列,由于立体元图像阵列的生成过程无需采集平台参数,因此,本文方法提高了离散视点图像阵列的通用性。此外,当需要批量生成立体元图像阵列时,采用文献[11]的方法,操作人员需要在调用每组离散视点图像阵列后输入其对应的采集平台参数,显然,这不仅降低了生成效率,而且还可能引入人为疲劳带来的参数输入错误;而在本文方法中,由于截取窗参数是计算机自动生成的,因此,本文所提方法提高了立体元图像阵列的生成效率。

## 5 结束语

提出了一种离散视点采集结合自适应窗截取的立体元图像阵列生成方法,该方法首先获取拍摄对象的离散视点图像阵列;然后,在保护拍摄对象完整性原则的约束下,利用计算得到的拍摄对象在离散视点图像阵列中成像区域的变化范围,计算出截取窗参数的取值范围;最后,利用生成的截取窗从离散视点图像阵列中获得子图像阵列并转换成立体元图像阵列。实验结果表明,本文所提方法能够在未获得离散视点采集平台参数的情况下生成与传统方法完全相同的立体元图像阵

列,该方法特别适用于采集与处理过程异步的“一次采集—多次处理”的广播式立体元图像阵列生成模式。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Lippmann M G. Epreuves reversible donnant la sensation du relief[J]. *Journal of Physiology*, 1908, 7 (1): 821-825.
- [ 2 ] Raul M C, Genaro S, Manuel M C, et al. Progress in 3-D multiperspective display by integral imaging [J]. *Proceedings of the IEEE Journal*, 2009, 97 (6): 1067-1077.
- [ 3 ] Son J Y, Son W H, Kim S K, et al. Three-dimensional imaging for creating real-world-like environments[J]. *Proceedings of IEEE Journal*, 2013, 101 (1): 190-205.
- [ 4 ] 焦小雪, 赵星, 杨勇, 等. 基于相机阵列的三维集成成像记录系统[J]. *光学精密工程*, 2012, 20 (8): 1653-1660.  
Jiao Xiao-xue, Zhao Xing, Yang Yong, et al. Pick-up system for three-dimensional integral imaging with camera array[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(8):1653-1660.
- [ 5 ] 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 Xiao-xue, Zhao Xing, Yang Yong, et al. Optical acquiring technique of three-dimensional integral imaging based on optimal pick-up distance[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19 (11): 2805-2811.
- [ 6 ] Milnthorpe G, McCormick M, Davies N. Computer modeling of lens arrays for integral image rendering [C] // *Proceedings of the 20th Eurographics UK Conference, Leicester: IEEE*, 2002: 136-141.
- [ 7 ] Liao H, Dohi T, Nomura K. Autostereoscopic 3D display with long visualization depth using referential viewing area-based integral photography [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011, 17(11): 1690-1701.
- [ 8 ] Yoo C H, Kang H H, Kim E S. Enhanced compression of integral images by combined use of residual images and MPEG-4 algorithm in three-dimensional integral imaging[J]. *Optics Communications*, 2011, 284(20): 4884-4893.
- [ 9 ] Hong S H, Javidi B. Improved resolution 3D object reconstruction using computational integral imaging with time multiplexing[J]. *Optics Express*, 2004, 12(19): 4579-4588.
- [10] Jang J S, Javidi B. Three-dimensional synthetic aperture integral imaging[J]. *Optics Letters*, 2002, 27(13): 1144-1146.
- [11] Wilburn B, Joshi N, Vaish V, et al. High performance imaging using large camera arrays[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2005, 24(3): 765-776.
- [12] Levoy M. Light fields and computational imaging [J]. *IEEE Computer Magazines*, 2006, 39(8): 46-55.
- [13] Guo Min, Si Yu-juan, Lyu Yuan-zhi, et al. Elemental image array generation based on discrete viewpoint pickup and window interception in integral imaging[J]. *Applied Optics*, 2015, 54(4):876-884.
- [14] Park J H, Kim J, Lee B. Three-dimensional optical correlator using a sub-image array[J]. *Optics Express*, 2005, 13(13):5116-5126.