

## 单摄像机无人机获取裸眼3D视频的方法

尹业超, 赵悟翔, 王琼华

引用本文:

尹业超, 赵悟翔, 王琼华. 单摄像机无人机获取裸眼3D视频的方法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(4): 315–320.

YIN Ye-chao, ZHAO Wu-xiang, WANG Qiong-hua. Naked-eye 3 D videos acquired by single-camera unmanned aerial vehicle[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(4): 315–320.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203504.0315>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 裸眼3D显示设备关键指标测试方案的研究

Key properties of autostereoscopic display

液晶与显示. 2015(5): 888–893 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153005.0888>

### 无人机视频图像运动目标检测算法综述

Review of moving target detection algorithms for UAV video images

液晶与显示. 2019, 34(1): 98–109 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0098>

### 4K裸眼立体显示系统设计

Design of 4K bare-eye stereoscopic display system

液晶与显示. 2019, 34(9): 862–870 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193409.0862>

### 基于人眼检测优化的立体人机交互技术的研究

3D human-machine interaction based on human eye detection

液晶与显示. 2018, 33(11): 958–964 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183311.0958>

### 优势眼在光栅3D显示中的影响

Influence of dominant eye in three-dimension lenticular display

液晶与显示. 2018, 33(7): 590–595 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0590>

文章编号:1007-2780(2020)04-0315-06

# 单摄像机无人机获取裸眼 3D 视频的方法

尹业超<sup>1</sup>, 赵悟翔<sup>1</sup>, 王琼华<sup>2\*</sup>

(1. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065;

2. 北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

**摘要:**针对无人机难以搭载相机阵列飞行拍摄的问题,提出了一种单摄像机无人机获取裸眼 3D 视频的方法。该方法在平行摄像机阵列法的基础上,利用单摄像机无人机在水平方向匀速飞行拍摄视频,以一定帧距提取所拍视频的相应帧,来获取具有水平视差的多段视差视频,以此制作裸眼 3D 显示器所需的立体视频片源。针对不同场景的拍摄距离,可根据该方法计算选取不同的帧距来调整视差视频的水平视差值。通过在裸眼 3D 显示器显示,对比实验结果验证了该方法的可行性。本文为普通无人机拍摄真实 3D 场景制作成裸眼 3D 显示所需的视频提供了参考。

**关键词:**3D 视频;帧距;无人机;裸眼 3D 显示;平行摄像机阵列法

**中图分类号:**TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20203504.0315

## Naked-eye 3D videos acquired by single-camera unmanned aerial vehicle

YIN Ye-chao<sup>1</sup>, ZHAO Wu-xiang<sup>1</sup>, WANG Qiong-hua<sup>2\*</sup>

(1. *School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;*

2. *School of Instrumentation and Optoelectronic Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China*)

**Abstract:** A method of naked-eye 3D video acquisition using a single-camera unmanned aerial vehicle is proposed in order to solve the problem which is difficult for an unmanned aerial vehicle to carry a camera array flight shooting. The method uses a single-camera unmanned aerial vehicle to shoot videos at constant speed in a horizontal direction based on the parallel camera array. The videos with horizontal parallax are acquired by the corresponding frames which are extracted from the shot video with a certain frame distance. The stereo video source for a naked-eye 3D display is produced. The horizontal parallax value of the videos can be adjusted by different frame distances which can be calculated by the shooting distances of different scenes according to the method. The feasibility of the proposed method is verified by the comparison of the experimental results on a naked-eye 3D display. This research provides a reference for the videos naked-eye 3D display by shooting the real 3D scene using the normal unmanned aerial vehicle.

收稿日期:2019-09-16;修订日期:2019-12-06.

基金项目:国家重点研发计划(No.2017YFB1002900)

Supported by National Key Research & Development Plan (No.2017YFB1002900)

\* 通信联系人, E-mail: qionghua@buaa.edu.cn

**Key words:** 3D video; frame distance; unmanned aerial vehicle; naked-eye 3D display; parallel camera array

## 1 引言

与二维(2D)显示相比,裸眼 3D 显示对现实世界有较直观的描述,显示的效果更加逼真<sup>[1-4]</sup>。应用无人机获取裸眼 3D 实时场景技术提供清晰的地形地貌是当前军事和民用领域研究的热点<sup>[5-11]</sup>。目前通过实景 3D 建模、虚拟 3D 建模以及其他的传统 3D 建模技术来实现高精度的重建效果需要耗费大量的人力和时间,而通过摄像机阵列拍摄视频制作成立体播放器所需的立体视频片源格式,可以大大减小这方面的消耗,实现高精度的裸眼 3D 实景重现<sup>[12-13]</sup>。平行摄像机阵列法是摄像机阵列法主要的摆放方式之一<sup>[14]</sup>。平行摄像机阵列法的各相机光轴互相平行,物平面重合,获取的视差图像没有楔形失真和垂直视差。但是摄像机阵列的相机间距会影响立体显示观看效果,间距太小立体感会较弱甚至观看不到立体效果,间距太大会产生视疲劳甚至还会超出人眼融合范围失去立体感。为了获得较好的立体显示效果,针对不同被拍摄场景的距离就需要设置不同的相机间距<sup>[15-17]</sup>。然而摄像机阵列体积较为庞大,信号流远程传输之间具有串扰,难以搭载在无人机之上,即使可以搭载摄像机阵列,无人机在空中飞行时调整相机间距也将变得较为困难,目前用于航拍的无人机主要搭载的都是单摄像机,这样就制约了航拍 3D 场景技术的发展。

针对上面提到的单摄像机普通无人机的立体拍摄问题,本文提出一种单摄像机无人机获取裸眼 3D 视频的方法,并制作出裸眼 3D 显示器的立体视频片源。该方法在解决目前单摄像机无人机难以搭载相机阵列获取裸眼 3D 视频问题的同时,避免了平行摄像机阵列法针对不同被拍摄场景调整相机间距不便的缺陷。

## 2 原理

单摄像机无人机获取裸眼 3D 视频的方法是在平行摄像机阵列法的基础上,针对不同被拍摄场景的距离选取不同的计算所得相应帧,相应帧

模拟的是平行摄像机阵列进行 3D 拍摄时的视差图像,最终将多段视差视频制作成一段多视点的裸眼 3D 立体视频片源用于裸眼 3D 显示器的播放。

当单摄像机无人机在空中水平飞行时,其原理结构如图 1 所示,其中  $D$  表示模拟的立体相机间距,  $\alpha$  表示摄像机的水平视场角,  $L$  表示摄像机与被拍摄场景的距离,  $d$  表示空间坐标中的真实视差,  $S$  表示相机世界对焦平面宽度。无人机保持匀速水平飞行,其飞行速度为  $V$ ,摄像机获取视频的帧率为  $f$ 。通过无人机在空中匀速水平飞行,其不同时刻获取的图像可以等效看作相机阵列在同一时刻获取的同一物体的视差图像。根据几何光学原理可以得到各个参数之间的关系如式(1)、式(2)所示:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{2L}, \quad (1)$$

$$d = D. \quad (2)$$

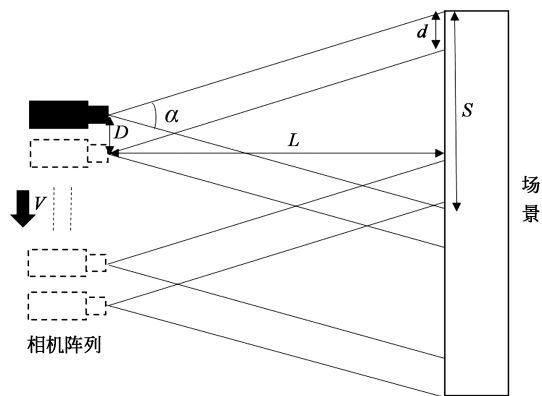


图 1 单摄像机无人机获取视差图像原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of parallax image acquisition by single-camera unmanned aerial vehicle

假设视差图像在裸眼 3D 显示器上显示时的水平宽度为  $H$ ,空间坐标中的真实视差  $d$  对应裸眼 3D 显示器的水平视差值为  $\Delta X$ ,  $H$  和  $\Delta X$  单位均为像素。则有:

$$\frac{\Delta X}{H} = \frac{d}{S}. \quad (3)$$

单摄像机拍摄视频获取视差视频的原理示意图如图 2 所示。无人机在空中水平匀速拍摄一段

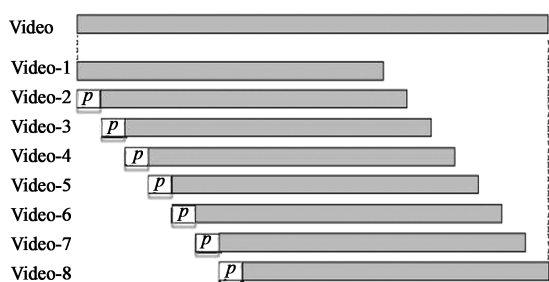


图2 拍摄视频取帧获取视差原理示意图

Fig.2 Schematic diagram of parallax acquisition by shooting video frame

视频,经过完整取帧后得到视频的所有帧。其中每相邻两个视差视频起始帧数之间的差值称为帧距,用字母  $p$  表示。为了获取多段等视差的视频图像制作裸眼3D立体视频片源,截取视频中的第1帧到第  $k$  帧为 Video-1,第  $p+1$  帧到第  $p+k$  帧为 Video-2,以此类推,第  $p \times (n-1)+1$  帧到第  $p \times (n-1)+k$  帧为 Video- $n$ 。本实验为8视点裸眼3D显示器提供裸眼3D视频,因此,  $n$  取8,并按以上提取视频帧的方法,获取8段帧距为  $p$  的  $k$  帧视频图像。模拟的相机间距如下:

$$D = \frac{V}{f} \cdot p, \quad (4)$$

由式(1)~(4)可得:

$$\Delta X = \frac{V \cdot p \cdot H}{2 \tan(\frac{\alpha}{2}) \cdot L \cdot f}, \quad (5)$$

对于参数确定的无人机和裸眼3D显示器,显然式(5)中的  $\alpha$ 、 $V$ 、 $H$ 、 $f$  是可以确定的。针对特定的  $L$ ,根据所需的  $\Delta X$  值就可以求出相应的  $p$  值。这样就得到了水平视差值  $\Delta X$  与帧距  $p$  之间的定量关系,从而对不同拍摄距离的场景通过帧距的选取获得较为理想的视差。

### 3 实验

为了证明提出的单摄像机无人机获取视差视频方法的可行性,我们制作了一台165 cm(65 in)柱透镜光栅裸眼3D显示器,其主要参数如表1所示。

此外,在本实验中采用如图3所示的大疆御 MAVIC 进行图像拍摄。其中无人机摄像机的视

表1 裸眼3D显示器的主要参数

Tab.1 Main parameters of the naked-eye 3D display

| 参数       | 数值            |
|----------|---------------|
| 显示器分辨率   | 3 840 × 2 160 |
| 视点数      | 8             |
| 像素点间距/mm | 0.37          |
| 最佳观看距离/m | 3.5           |

场角为  $78.8^\circ$ ,视场角是以成像面的对角线计算,相机成像面的长宽比为  $16:9$ ,由此计算出  $\alpha = 71^\circ$ 。已知无人机获取视频的帧率  $f = 30$  Hz,在无风无气流的理想状态下  $V = 1$  m/s,制作的裸眼3D显示器  $H = 3\ 840$ ,根据裸眼3D显示器的参数选取视差大小为单个像素即  $\Delta X = 1$ 。将式(5)代入数值则有:

$$p = \frac{L}{90\text{ m}}, \quad (6)$$

因此,根据不同拍摄距离  $L$ ,只需选取不同的帧距  $p$  即可获得合适的视差图像。



图3 无人机

Fig.3 Unmanned aerial vehicle

我们取了两个拍摄场景进行实验,分别为场景1和场景2。如图4(a)、(b)所示,场景1的拍摄距离约为  $L_1 = 300$  m,场景2的拍摄距离约为  $L_2 = 90$  m,其数据由百度地图测距得到。将  $L_1 = 300$  m、 $L_2 = 90$  m 代入式(6)可得  $p_1 = 3.3$ 、 $p_2 = 1$ ,实验过程中帧距无法取小数位,故本实验中帧距  $p_1$  取整为3,按照上述提取视频帧的方法分别对两个场景的拍摄视频进行截取,获得8段视差视频,将这8段视频制作成裸眼3D显示器的立体播放器所规定格式的立体视频片源,可得场景1和场景2的立体视频片源单帧图像分别如图5(a)、(b)所示。

在最佳观看距离3.5 m处,场景1通过裸眼3D显示器在同一时刻同一位置左右视角看到

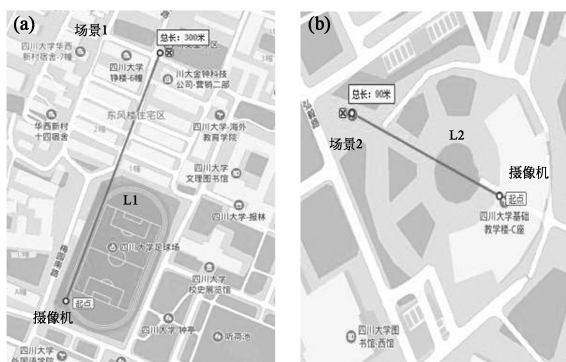


图 4 摄像机与拍摄场景测距图。(a)  $L_1 = 300 \text{ m}$ ;  
(b)  $L_2 = 90 \text{ m}$ 。

Fig.4 Ranging diagram of camera and shooting scene. (a)  $L_1 = 300 \text{ m}$ ; (b)  $L_2 = 90 \text{ m}$ .

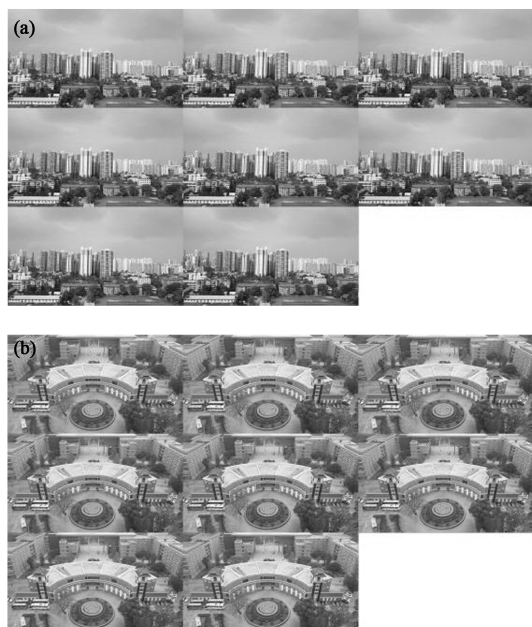


图 5 立体视频片源单帧图像。(a) 场景 1; (b) 场景 2。

Fig.5 Stereo video source single frame image. (a) Scene 1; (b) Scene 2.

的图像如图 6(a)、(b)所示,图 6(a)中两栋建筑物后场景有部分被遮挡,图 6(b)中可以清晰地看到两栋建筑物后的场景,双眼进行融合时可以看到较佳的立体显示效果;场景 2 通过裸眼 3D 显示器在同一时刻同一位置左右视角观看到的图像如图 6(c)、(d)所示,可以观看到两幅图像中树木对车辆的遮挡稀疏密度不一致,图 6(c)中最下方车辆几乎完全被遮挡,图 6(d)中可以看到最下

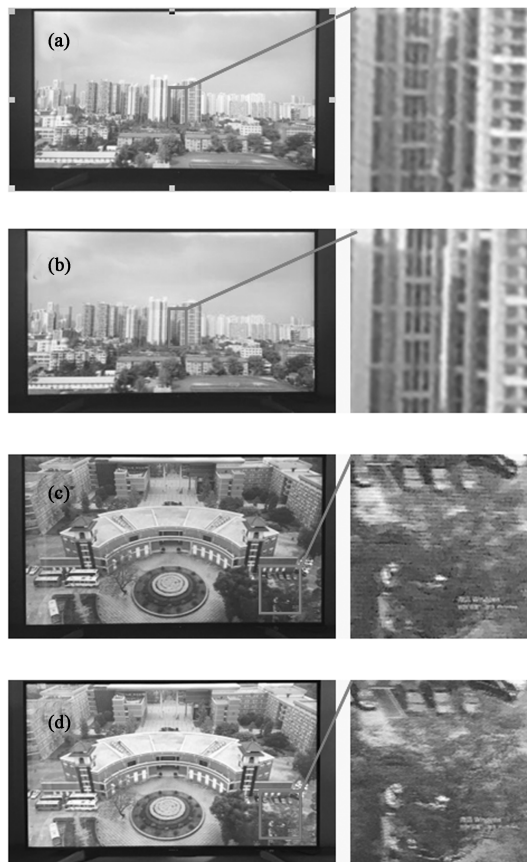


图 6 立体视频片源单帧图像显示效果。(a) 场景 1 左视图; (b) 场景 1 右视图; (c) 场景 2 左视图; (d) 场景 2 右视图。

Fig.6 Display effect of stereo video source single frame image. (a) Left view image of scene 1; (b) Right view image of scene 1; (c) Left view image of scene 2; (d) Right view image of scene 2.

方车辆的大致轮廓,同样双眼进行融合时可以看到较佳的立体显示效果。为了验证根据计算所得帧距  $p$  选取的相应帧合成的视差图像可以达到最佳的立体显示效果,针对场景 1 选取了  $p=2,3,4,5$  四种情况进行了另外一组对比实验,在裸眼 3D 显示器上的显示效果分别如图 7(a)~(d)所示。当  $p=2$  时,虽然图像较清晰,但立体显示效果较弱,基本观看不到;当  $p=3$  时,图像也较为清晰,且立体显示效果较佳;当  $p=4$  时,视差略大,观看一段时间会产生眩晕感;当  $p=5$  时,视差过大,超过人眼融合范围失去立体感。实验结果与理论分析相吻合,从而验证了该方法的可行性。

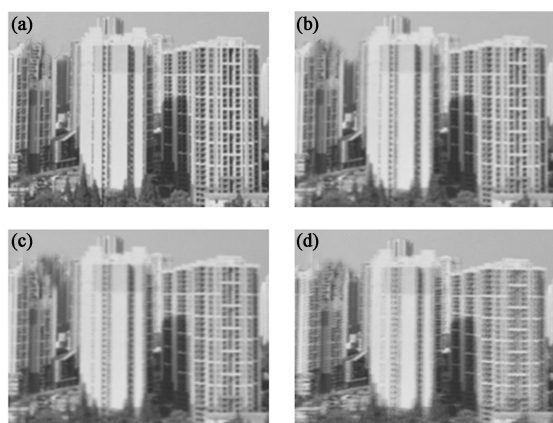


图7 不同帧距合成视差图像的显示效果。(a)  $p=2$ ; (b)  $p=3$ ; (c)  $p=4$ ; (d)  $p=5$ 。

Fig.7 Display effect at different frame distance composite parallax image. (a)  $p=2$ ; (b)  $p=3$ ; (c)  $p=4$ ; (d)  $p=5$ .

## 4 结 论

本文提出了一种单摄像机无人机获取裸眼3D视频的方法,该方法在平行摄像机阵列法的基础上,推导出拍摄距离与帧距之间的定量关系,针对两个不同场景的拍摄距离分别计算出各自的帧距值,提取各自相应帧制作成裸眼3D立体视频片源,在裸眼3D显示器播放时都能观看到清晰逼真的裸眼3D实景重现,从而验证了该方法的可行性。该方法在解决目前单摄像机无人机难以搭载相机阵列获取裸眼3D视频问题的同时,避免了平行摄像机阵列法针对不同被拍摄场景难以调整相机间距的缺陷,从而为普通无人机拍摄真实3D场景制作成裸眼3D立体视频片源提供了参考。

## 参 考 文 献:

- [1] 王琼华.3D显示技术与器件[M].北京:科学出版社,2011:132-150.  
WANG Q H. 3D display technologies and devices [M]. Beijing: Science Press 2011: 132-150. (in Chinese)
- [2] 王琼华,王爱红.三维立体显示综述[J].计算机应用,2010,30(3):579-581.  
WANG Q H, WANG A H. Survey on stereoscopic three-dimensional display [J]. *Journal of Computer Applications*, 2010, 30(3): 579-581. (in Chinese)
- [3] SMALLEY D E, NYGAARD E, SQUIRE K, *et al.* A photophoretic-trap volumetric display [J]. *Nature*, 2018, 553(7689):486-490.
- [4] MA X L, ZHAO W X, HU J Q, *et al.* Autostereoscopic 3D display with high resolution and low crosstalk using a time-multiplexed method[J]. *Optical Engineering*, 2018, 57(9), 095105.
- [5] QIN H, MENG Z, MENG W, *et al.* Autonomous Exploration and Mapping System Using Heterogeneous UAVs and UGVs in GPS-denied Environments [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2019:1-1.
- [6] KAKERU W, WEI G, KEIGO A, *et al.* High-throughput phenotyping of sorghum plant height using an unmanned aerial vehicle and its application to genomic prediction modeling [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 421.
- [7] NEX F, REMONDINO F. UAV for 3D mapping applications: a review [J]. *Applied Geomatics*, 2014, 6(1): 1-15.
- [8] ZARCO-TEJADA P J, DIAZ-VARELA R, ANGILERI V, *et al.* Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods [J]. *European Journal of Agronomy*, 2014, 55: 89-99.
- [9] 王果,谢瑞,肖海红,等.无人机倾斜摄影技术支持下的校园三维模型构建[J].河南工程学院学报(自然科学版), 2017(29):44-47.  
WANG G, XIE R, XIAO H H, *et al.* Research on the method of 3D campus modeling under the support of UAV oblique photogrammetry [J]. *Journal of Henan University of Engineering*, 2017(29): 44-47. (in Chinese)
- [10] 李滨,王宏宇,杨笑天.无人机系统在森林防火方面的应用及其发展[J].电子技术,2015(5):32-34.  
LI B, WANG H Y, YANG X T. Unmanned aerial vehicle (UAV) system in the application and development of forest fire prevention [J]. *Electronics R & D*, 2015(5): 32-34. (in Chinese)
- [11] 李劲澎,姜挺,龚志辉,等.稳健李代数旋转平均用于GPS辅助无人机影像三维重建[J].光学精密工程,2017,

- 25(6): 1607-1618.
- LI J P, JIANG T, GONG Z H, *et al.* GPS-supported 3D reconstruction of UAV images based on robust Lie-algebraic rotation averaging [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(6): 1607-1618. (in Chinese)
- [12] 谢雨桐, 苏晓煌, 郑集文, 等. 裸眼 3D 显示设备关键指标测试方案的研究 [J]. 液晶与显示, 2015, 30(5): 888-893.
- XIE Y T, SU X H, ZHENG J W, *et al.* Key properties of autostereoscopic display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(5): 888-893. (in Chinese)
- [13] 王琼华, 邓欢. 集成成像 3D 拍摄与显示方法 [J]. 液晶与显示, 2014, 29(2): 153-158.
- WANG Q H, DENG H. 3D pickup and display method of integral imaging [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 153-158. (in Chinese)
- [14] 邓欢, 王琼华, 李大海, 等. 平行摄像机阵列移位法获取视差图像的研究 [J]. 光子学报, 2009, 38(11): 2985-2988.
- DENG H, WANG Q H, LI D H, *et al.* Parallax images acquired by parallel camera array with shift [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, 38(11): 2985-2988. (in Chinese)
- [15] 王爱红, 王琼华, 李大海, 等. 立体显示中立体深度与视差图获取的关系 [J]. 光学 精密工程, 2009, 17(2): 433-438.
- WANG A H, WANG Q H, LI D H, *et al.* Relationship between stereo depth and parallax image captured in stereoscopic display [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, 17(2): 433-438. (in Chinese)
- [16] 张浩, 李大海, 王琼华, 等. 自由立体显示拍摄系统中摄像机空间自由度的确定 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(2): 287-291.
- ZHANG H, LI D H, WANG Q H, *et al.* Determination method of spatial degrees of freedom for multi-cameras in shooting system of autostereoscopic display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(2): 287-291. (in Chinese)
- [17] 沈丽丽, 张晶, 范科峰, 等. 立体显示器质量测试与性能分析研究 [J]. 光子学报, 2013, 42(2): 219-223.
- SHEN L L, ZHANG J, FAN K F, *et al.* Research on quality and measurement of stereoscopic display [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, 42(2): 219-223. (in Chinese)

#### 作者简介:



尹业超(1993—),男,湖北荆州人,硕士研究生,2016 年于武汉纺织大学获得学士学位,主要从事 3D 显示方面的研究。E-mail: yinyechao@foxmail.com



王琼华(1969—),女,四川巴中人,教授,博士生导师,博士,2001 年于电子科技大学获得博士学位,主要从事 3D 显示和液晶方面的研究。E-mail: qionghua@buaa.edu.cn