

文章编号 1674-2915(2009)02-0112-07

平面三维显示技术的研究现状

孔令胜^{1,2}, 南敬实³, 荀显超⁴

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 吉林建工学院, 吉林 长春 130021;
4. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:平面三维显示技术是近年来最新出现的虚拟现实显示技术,其最大的特点是观察者无需使用任何辅助附加设备,直接用肉眼就可看到屏幕上显示的三维图像。为推进三维显示技术的发展,进一步研究了视差立体成像原理,并据此介绍几种平面三维显示方法及其工作原理,包括障栅立体显示、微柱透镜阵列立体显示、偏振片立体显示和基于微柱透镜立体显示原理的多视点系统,阐述并分析了系统的优缺点。以日本三洋公司的四视角立体显示装置、南京大学的多视点三维显示系统和 NEC 液晶科技的 HDDP 三维显示系统为例,描述了国内外该项技术近期的研究现状,分析了存在的技术难点,展望了该应用领域的发展前景。

关键词:平面三维显示技术;视差立体成像;综述

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A

Research status quo of flat 3-D display technology

KONG Ling-sheng^{1,2}, NAN Jing-shi³, XUN Xian-chao⁴

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
- 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
- 3. Jilin Institute of Architecture and Civil Engineering, Changchun 130021, China;*
- 4. Aeronautical University of Airforce, Changchun 130022, China)*

Abstract: The flat 3-D display technology is a novel virtual reality technology, in which people can see 3-D stereoscopic images from a screen directly and do not require any device to be worn. To promote the development of the flat 3D display technology, this paper introduces the imaging principle of parallax pictures and some flat 3-D display methods including barrier 3-D displays, micro-lens 3-D displays, polarizer 3-D displays, multi-view lenticular stereoscopic displays and so on. Then, it analyzes on the advantages and disadvantages about these methods. By taking the four-view autostereoscopic displays from Sanyo in Japan, multi-view 3-D displays from Nanjing University and the Horizontally Double-density Pixels (HDDPs) 3-D displays in NEC for examples, it introduces the recent research and potential development, describes technique problems, and forecasts the application prospects for the flat 3-D display technology.

Key words: flat 3-D display technology; parallax auto stereoscopic imaging; review

1 引言

三维显示技术是虚拟现实的关键技术之一,同时也是虚拟现实系统的基本要求。在信息时代,三维显示技术是一种应用广泛,并且对其它科学技术的研究有着极大促进作用的应用技术。随着三维显示在各个领域的广泛应用以及它对人们的生产和生活带来的极大便利,三维显示技术已成为当前世界上显示技术领域的一个研究热点。各国、各科研机构都投入了大量的人力和物力进行了深入探索和研究,使三维显示技术得到了日新月异的发展。美国、日本等许多发达国家对三维显示技术的研究工作开展较早,取得了许多突破性的进展并有相应的产品或原型机发布;而我国对于三维显示技术的研究和开发还处于初始阶段,对三维显示的研究只是限于在现有原理的基础上开发相应的产品。由于大多数三维显示设备价格都比较昂贵,所以开发若干结构简单、易于实现的三维显示系统并使其为大众所接受和应用是当前研究开发的最终目的。

三维显示分为全息三维显示和非全息三维显示两种。全息三维显示由于计算量过大以及当前技术的限制,适用于静态图像的摄取和显示^[1];非全息障栅三维显示由于具有易于实现的特点,为当今广泛采用的三维显示技术。本文介绍了基于障栅原理的平面三维显示技术,并对国内外研究现状及方法分别进行阐述和讨论。

2 视差立体成像原理

人眼的立体感能将视场(即眼睛所看到的景物区域)中的物体区别出远近,通常把左右两眼所获得的不同图像分别称作左图像和右图像。在显示技术中,如果同时在屏幕上显示出左图像和右图像,又利用一定的装置使得左眼只能看到左图像,右眼只能看到右图像,那么,经大脑融合就能还原成立体图像。如图1^[2],图中 A_1 、 A_2 分别是同一物点 A 在屏幕上所显示的左图像点与右图像点; B_1 、 B_2 分别是同一物点 B 在屏幕上所显示的左图像点与右图像点。如果左眼只能看到

A_1 、 B_1 ,右眼只能看到 A_2 、 B_2 ,则在人的大脑里就可以反映出 A 点和 B 点的深度信息。图像点 A 成像于屏幕之后,称之为“后方图像”;图像点 B 成像于屏幕之前,称之为“前方图像”。

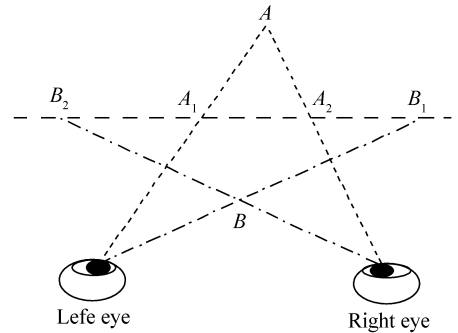


图1 视差立体成像原理图

Fig. 1 Principle of 3-D imaging

设人两眼之间的距离为 x ,人眼与屏幕的距离为 L , A_1 、 A_2 两点之间距离为 S_A , B_1 、 B_2 两点之间距离为 S_B 。则后方图像 A 点距屏幕的深度为:

$$D = \frac{S_A}{x - S_A}L, \quad (1)$$

同理,前方图像 B 点距屏幕的深度为:

$$D = \frac{S_B}{x - S_B}L, \quad (2)$$

3 三维显示技术

3.1 偏振眼镜式立体电影^[3]

如图2,荧幕左右图像交错排列,荧幕前方放置微偏振片阵列,它的作用相当于起偏器;把荧幕

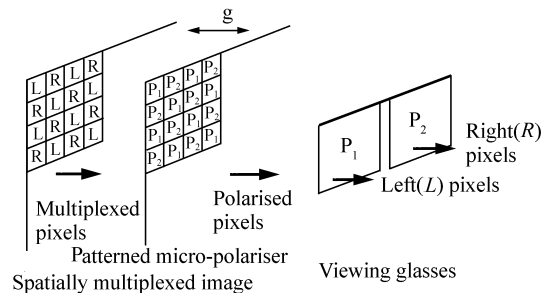


图2 偏振眼镜式立体成像原理图

Fig. 2 Stereoscopic display principle of micro-polariser with glasses

左右的图像分为与偏振方向垂直的两组像素,观众通过佩戴偏振片眼镜,左右眼分别接收左图像和右图像,以形成立体显示效果,这就是偏振眼镜式立体电影的原理。这种方法缺点在于必须佩戴偏振片眼镜,不过作为已经成熟的技术,至今仍在3D电影院广泛应用。

3.2 裸眼式立体成像系统

为了实现裸眼观看立体视频,人们提出了利用双目视差使左右眼立体图像对分别进入观察者左右眼的原理来实现裸眼观看立体视频的方法。

3.2.1 双视点双LCD系统^[4,5]

图3为夏普公司的设计之一,单光源经光束分离器分为两束,分别经过两面反射镜的反射作为两面LCD的背景光,照亮两面LCD,再次经过光束分离器分为两束光。如果两面LCD为一对左右眼立体图像对,则在图所示人眼处将会看到立体图像。此方法具有高亮度、高分辨率的优点,但是只能在特定位置才能看到立体效果。

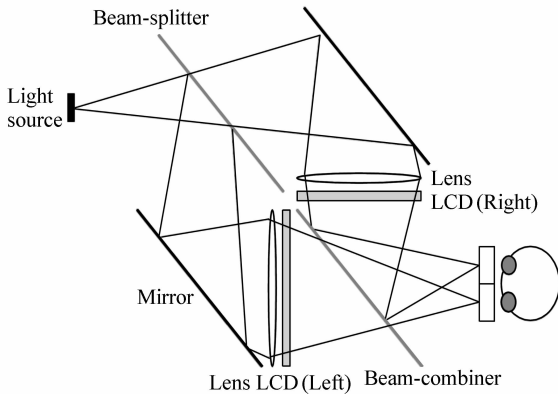


图3 双视点双LCD立体成像原理图

Fig.3 Principle of two-view twin-LCD

3.2.2 双视点单LCD系统

(1) 障栅系统

在障栅立体显示系统中,障栅可以放在观察者LCD的前方或者后方,研究表明,前置光栅可以使得观察视区获得较好的观察光强均匀度和观察有效宽度,而后置光栅能够使得左右图像对相互干扰较小^[6,7]。通常采用前置障栅来实现立体显示(见下例)^[6]。

在显示屏(如液晶显示屏)后形成离散的、极细的照明亮线,将这些亮线以一定的间距分开,这

样人的左眼通过液晶显示屏的偶像素列能看到亮线,而观察者的右眼通过显示屏的偶像素列是看不到亮线的,反之亦然。因此观察者的左眼只能看到显示屏偶像素列显示的图像,而右眼只能看到显示屏的奇像素列显示的图像,这样观察者就能接受到视差立体图像对,产生深度感知。障栅原理如图4,设*i*为LCD像素大小,*b*为障栅狭缝间的距离,*g*为障栅和LCD之间的距离,*z*为人眼和LCD的距离,*e*为模拟人眼视窗,约65 mm。左右图像序列在显示屏上交错排列,障栅的分光作用使得左右图像序列分别投射到左右眼视窗,由相似三角形得式(3)、(4):

$$\frac{b}{z-g} = \frac{2i}{z} \quad \frac{i}{g} = \frac{e}{z-g}, \quad (3)$$

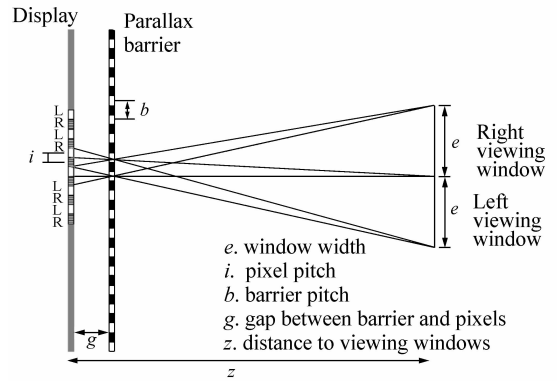


图4 前置障栅立体成像原理图

Fig.4 Principle of front parallax barrier

变形得:

$$b = 2i\left(\frac{z-g}{z}\right) \quad z = g\left(\frac{e+i}{i}\right), \quad (4)$$

障栅立体显示缺点如下:

- 1) 水平显示像素减半;
- 2) 显示亮度偏低;
- 3) 障栅和像素之间产生莫尔条纹;
- 4) 存在左右图像对观察反转的逆视区域;
- 5) 观察视点固定。

障栅由于其遮挡作用使得观察效果亮度偏低,而其前方放置的玻璃层由于反射作用也会削弱显示亮度,而障栅狭缝的衍射效应也会影响成像的质量。关于亮度问题,现今多采用强光源和障栅前玻璃层涂防反射涂层来解决。

(2) 微透镜阵列设计^[8]

微透镜阵列与障栅类似,同样具有使交错的左右视图序列分别投射到左右眼视区的功能。设 i 为像素大小, f 为微透镜焦距, l 为微透镜阵列像素大小, z 为人眼到显示屏距离, e 为模拟人眼视窗,约为 65 mm,工作原理如图 5 所示。

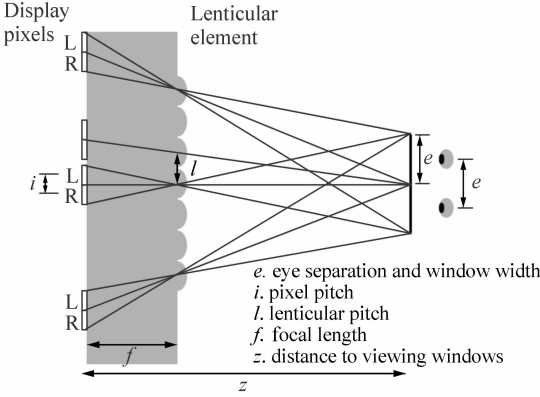


图 5 微透镜立体显示原理图

Fig. 5 Front lenticular autostereoscopic display principle

由相似三角形关系得式(5)、(6):

$$\frac{2i}{z} = \frac{l}{z-f} \quad \frac{i}{f} = \frac{e}{z-f}, \quad (5)$$

$$l = 2i\left(\frac{z-f}{z}\right) \quad z = f\left(\frac{e}{i} + 1\right), \quad (6)$$

微透镜立体显示缺点如下:

- 1) 观察视点固定;
 - 2) 水平显示像素减半;
 - 3) 存在左右图像对调的逆视区域;
 - 4) 透镜与 LCD 对焦难度较大;
- (3) 微偏振片立体显示^[9,10]。

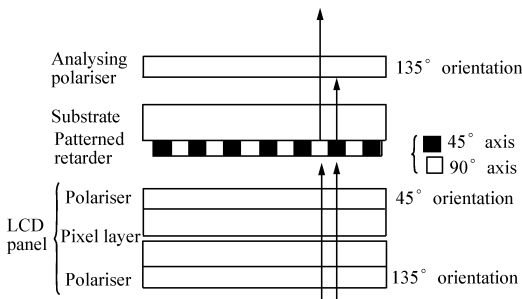


图 6 具有 2D/3D 转换的偏振片立体显示原理图

Fig. 6 Micro-polarizer display with 2D/3D switching capability

微偏振片立体显示原理与障栅原理类似,只

是遮光方法不同,其利用偏振片阵列把左右图像光分为偏振方向垂直的光,再通过偏振片阵列达到分光的作用。原理图如图 6 所示。

偏振片立体显示与障栅立体显示原理类似,在此不做叙述。除了具有障栅原理的特点外,偏振片立体显示还可以通过调节偏振片偏振方向实现 2D 和 3D 显示模式的转换,如图 7 所示,最前方偏振片的有无决定了显示模式的转换,这是其应用前景较好的优势之一。

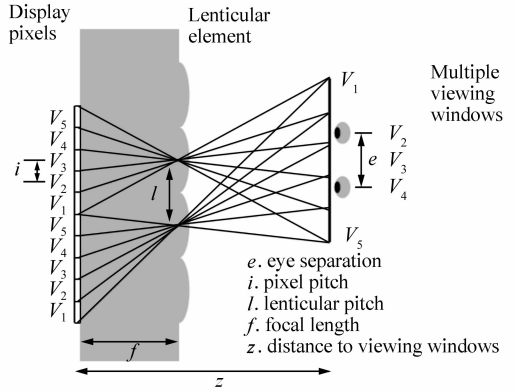


图 7 微透镜多视点立体显示原理图

Fig. 7 Principle of multi-view front lenticular autostereoscopic display

3.2.3 多视点系统

上面所叙述都是双视点系统,即只能一幅立体图像,然而要实现多人不同角度同时观看不同图像才更接近现实。

由此 PHILIPS 公司对立体显示技术的研究是基于传统的微柱透镜方法^[11~13]。该公司的自动立体液晶显示器是在液晶显示屏的前面加上一层微柱透镜,使液晶屏的像平面位于透镜的焦平面上。在每个柱透镜下面的图像的像素被分成几个子像素,这样透镜就能以不同的方向投影每个子像素,双眼从不同的角度观看显示屏,从而看到不同的子像素。但同时像素间的间隙也被放大了,因此不能简单地叠加子像素,更好的做法是使一组子像素交叉排列,这是一个创新,原理如图 7 所示。

由三角形相似得式(7):

$$l = N_v i \left(\frac{z-f}{z}\right), \quad (7)$$

其中 N_v 为观察视点数。

PHILIPS 的另一个改进是让柱透镜与像素列不是平行的,而是成一定的角度。这样做是为了使每一组子像素重复投射视区,而不是只投射一组视差图像,如图 8 所示。

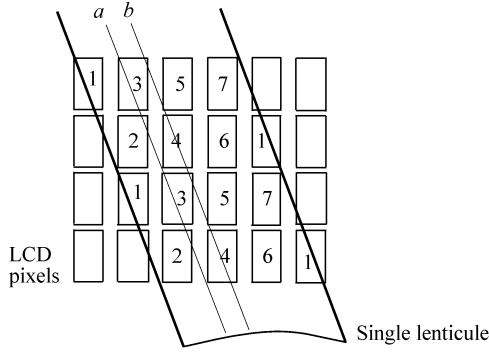


图 8 PHILIPS 公司倾斜放置的柱镜式立体显示原理图

Fig. 8 Slanted arrangement of lenticular lens and pixels of multi-view display in the PHILIPS

这项改进的优点还在于削弱了左右视区交界的黑条纹对比度,使得交界黑线不明显。此外,这种像素排列方法,使得水平和垂直方向的像素均降低,图像比例变形问题减弱。

4 近期三维显示研究现状

4.1 四视角立体显示装置

2004 年日本三洋公司提出了一种四视角立体显示装置^[14],这种方法类似于 PHILIPS 基于微透镜原理的方法,原理如图 9 所示。通过 4 台并排放置的摄像机,得到目标的 4 幅视差图,通过格

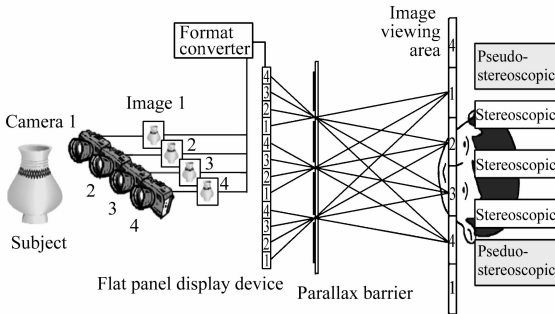


图 9 四视角立体显示原理图

Fig. 9 Principle of four-view autostereoscopic display

式转换,把 4 幅图以亚像素级别水平交错排列至平板显示设备上,如图 10 所示,由此可在 3 个视区看到目标不同视角的立体图像。

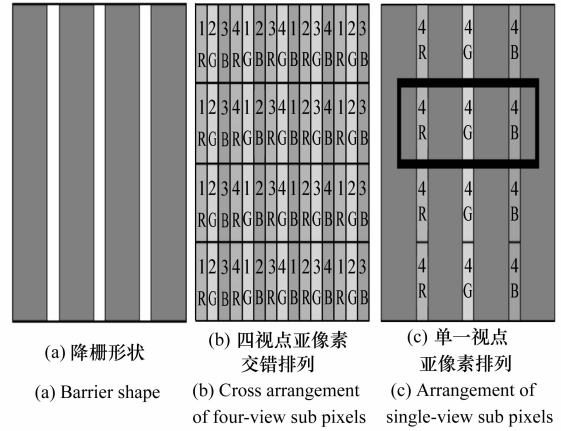


图 10 四视点示意图

Fig. 10 Four-view autostereoscopic display

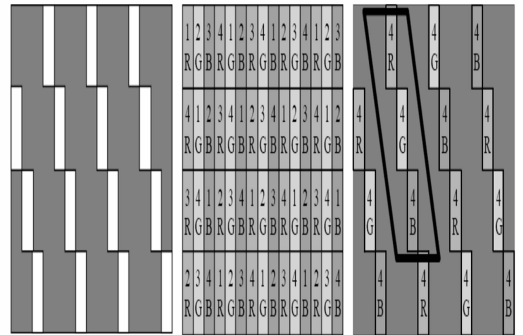


图 11 狭缝倾斜四视点示意图

Fig. 11 Four-view autostereoscopic display with slanted barrier

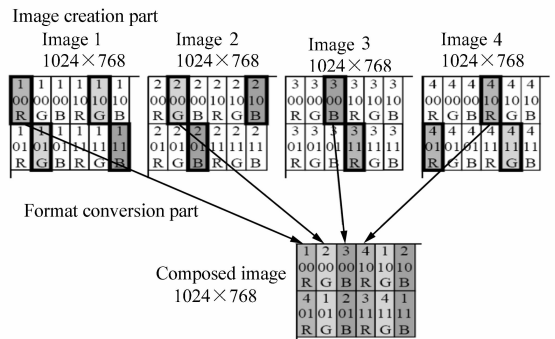


图 12 四视点合成图像示意图

Fig. 12 Four-view synthesizing image

如图10为四视点的像素排列,其中(a)为障栅形状,图(b)为显示屏上四视点亚像素交错排列方法,图(c)为单一视点亚像素排列方法。

如图11为狭缝倾斜障栅像素排列方法,它借鉴了PHILIPS公司的多视点立体显示方法,使其在障栅上得以实现,同样这种方法也具有交界条纹淡化和图像比例变形问题减弱。

如图12为四幅视差图格式转换为一幅图的具体转换方法,显示屏上四视点亚像素倾斜交错排列。

4.2 南京大学多视点三维显示

南京大学的王元庆教授2005年发表了关于多视点三维显示的研究^[2],原理如图13所示。

图13为多投影机投影的多视点大屏幕立体投影系统结构示意图,为获得较好的立体视觉效果,系统各部分结构尺寸有严格要求:

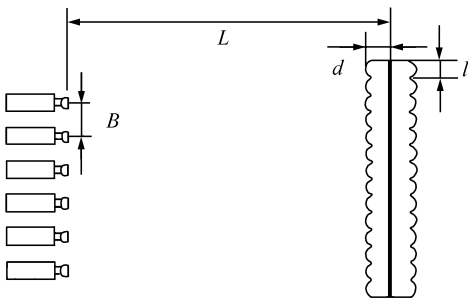


图13 多视点立体显示结构示意图

Fig.13 Multi-view 3-D projection system

1) 屏幕的光栅条纹竖直放置,投影机应该处于与屏幕平行的同一条水平线上,各投影机光轴应对准屏幕的中点,保证各投影机所投影的画面在屏幕上精确重合,且亮度分布一致。

2) 要使投影机所投影的图像在漫射屏上成清晰的像,那么如图中所示各参数关系应为:

$$\frac{n}{d} - \frac{1}{L} = \frac{n-1}{r}, \quad (8)$$

式(8)中 n 为屏幕材料的折射率, r 是指柱面镜的曲率半径。

4.3 NEC 液晶科技 HDDP 三维显示

2008年10月份,NEC液晶科技宣布,成功开发了裸眼可观看三维影像的31 cm(12.1 in)非晶硅 TFT 液晶屏^[15],像素为800 × 600(SVGA),主要用于电影和游戏等娱乐领域、数字标牌(Digital

Signage)以及工业用CAD和医疗用图像解析等的产业设备领域等。该公司于2008年9月30日~10月4日在幕张 Messe 会展中心举行的“CEATEC JAPAN 2008”上参考展出了裸眼可观看三维影像的8 cm(3.1 in)和23 cm(9 in)液晶屏。

如图14所示,液晶屏采用该公司自主开发的三维显示用像素排列“HDDP(Horizontally Double-Density Pixels)”方法,并搭配使用改变光方向的光学元件,实现了高精度的三维影像显示。该光学元件能改变光的方向,使左眼只视认左眼用数据,右眼只视认右眼用数据。HDDP方法将RGB子像素横向条纹状排列,将每个像素纵向平分为按左眼用和右眼用排列,这样,与RGB三原色纵向条纹排列的原三维显示用液晶屏相比,水平方向的精细度提高了1倍。纵向平分的像素如果分别生成左眼用和右眼用数据就显示为三维影像,如果生成相同数据则显示为平面影像。由于可通过相同解像度显示平面影像和三维影像,因此可在同一画面上同时显示平面影像和三维影像。

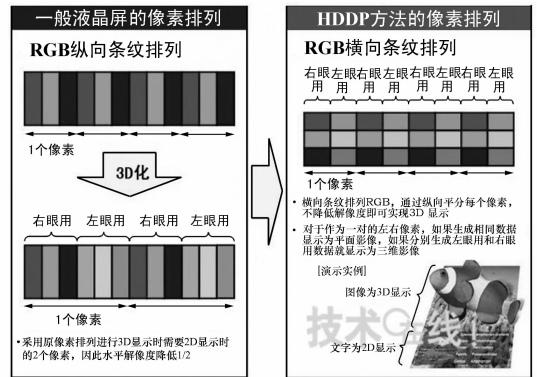


图14 HDDP方法示意图

Fig.14 HDDP method

5 结束语

显示技术是信息技术领域的支柱之一,它的发展水平反映一个国家在世界信息技术领域的战略地位。从平面到立体是显示技术发展的必然趋势,随着对立体显示技术的进一步研究,必将带动

相关技术的发展,从而形成一系列全新的产业。我国对三维显示技术研究起步较晚,真三维显示技术在我国也一直是作为显示技术的最前沿课题受到广泛重视。但当前现有的真三维显示技术仍

无法满足市场对高清晰度真三维显示的要求,因此对于平面三维显示技术的研究具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 于波,王立鼎.一种双目分时显微立体成像系统的研制[J].光学精密工程,1997,5(4):49-52.
YU B,WANG L D. Development of a binocular field sequential stereomicroscopic imaging system[J]. *Opt. Precision Eng.*,1997,5(4):49-52. (in Chinese)
- [2] 毛崇德,王元庆.多视点自由立体投影系统[J].光电工程,2006,33(4):59-62.
MAO CH D,WANG Y Q. Multi-view auto-stereoscopic projection system[J]. *Opto-Electronic Eng.*,2006,33(4):59-62. (in Chinese)
- [3] FARIS S M. Novel 3D-stereoscopic imaging technology[J]. *SPIE*,1994,2177:180-195.
- [4] EZRA D,WOODGATE G J,HARROLD J, *et al.*. New auto-stereoscopic display system[J]. *SPIE*,1995,2409:31-40.
- [5] EZRA D,WOODGATE G J,OMAR B. Autostereoscopic directional display;US. 5726800[P]. 1998-05-10.
- [6] WOODGATE G J,HARROLD J,JACOBS M, *et al.*. Flat panel autostereoscopic displays-characterization and enhancement [J]. *SPIE*,2000,3957:153-164.
- [7] MONTGOMERY D J,WOODGATE G J,EZRA D. Parallax barrier for an autostereoscopic display;GB 2352573 [P]. 2001-01.
- [8] SUSUMU I,NOBUJI T,MORITO I. Technique of stereoscopic image display;EP,0354851[P]. 1990-06.
- [9] HARROLD J,JACOBS M,WOODGATE G J, *et al.*. 3D display systems hardware research[R]. *Oxford, UK:Sharp Laboratories of Europe J*,1999.
- [10] HARROLD J,JACOBS M,WOODGATE G J, *et al.*. Performance of a convertible,2D and 3D parallax barrier autostereoscopic display. Proceedings of the SID[C]. *20th International Display Research Conference*, Palm Beach Florida USA, 2000.
- [11] van BERKEL C,PARKER D W,FRANKLIN A R. Multi-view LCD[J]. *SPIE*,1996,2653:32-39.
- [12] van BERKEL C,CLARKE J A. Characterization and optimization of 3D-LCD module design[J]. *SPIE*,1997,3012:179-186.
- [13] van BERKEL C,CLARKE J A. Autostereoscopic display apparatus;US. 6,064,424[P]. 2000-05.
- [14] WOODS A J,MERRITT J O,BENTON S A, *et al.*. Stereoscopic displays and virtual reality systems XI[J]. *SPIE*,2004, 5291:204-211.
- [15] NEC 开发出裸眼三维屏[Z]. <http://www.it.com.cn/l/dghome/0810/21/675720.htm>,2008.

作者简介:孔令胜(1983—),男,河南濮阳人,在读博士,主要从事真三维显示技术的研究。

E-mail:kongling@mail.ustc.edu.cn