

身临其境 无拘无束——自由立体显示技术

严 超

从 2009 年底立体电影《阿凡达》在全球同步上映以来,人们对立体影像的热情被迅速点燃,《诸神之战》、《爱丽丝梦游仙境》等各类立体影视作品相继推出;美国男子职业篮球联赛(NBA)、南非世界杯以及多项体育赛事也纷纷采用立体转播以吸引眼球;中外各大显示器制造商如夏普、三星、索尼、维度(DTI)、海信、TCL 等更是大力推出各种可以播放立体影像的显示终端,甚至各大手机厂商也纷纷开始研制立体手机。伴随着与立体相关的显示终端制造、片源设计、信号传输等一系列产业的迅速兴起,人们不禁惊呼:属于立体显示的时代终于到来了。

其实早在 16 世纪,人们就已经开始借助彩色滤光眼镜观看立体图像,后来偏振眼镜、互补色眼镜、光电开关眼镜和立体视头盔相继亮相,由于具有一定的立体视觉稳定度,直到现在很多电影院和游乐场仍然大量使用这些工具进行立体影像的播放,目前市面上已经推出的大多数立体显示器也属于需要眼镜等工具辅助的辅助式立体显示器。但是由于这些辅助工具的使用人们观看立体影像的舒适度会有很大程度的降低,并且一些场合也不适用这些辅助工具,如:战场侦察与通信、飞行员驾驶飞机、原先已戴近视镜的观看者,等等。于是,裸眼观看立体显示成为立体显示技术发展的必然方向。自由立体显示技术、多视点立体显示技术、体立体显示技术、全息立体显示技术等多种裸视立体技术也因此被不

断催生和推动。截止到现在,全球很多高校、企业以及科研单位,如日本东京大学、早稻田大学、美国纽约大学、麻省理工学院、英国剑桥大学、德国德累斯顿大学、韩国汉城大学、台湾工业技术研究院、美国维度公司、日本夏普公司、韩国三星公司、中国 TCL 公司等纷纷展开对这些技术的研究。

上述几种裸视立体显示技术中,多视点立体显示技术为保证观看视点需同时显示四幅或更多幅从不同角度拍摄的视图,因此会对立体片源的压缩、传输、解压缩等工作带来较大压力;体立体显示技术与全息立体显示技术则相对不够成熟;目前,自由立体显示技术同一时刻只需要两幅视图且比较成熟。下面,将从原理、特点、用途以及国内外研究现状几个方面阐述这一技术。

一、被动式立体显示技术的原理

裸眼立体显示的实现主要有三种途径:图像重建、体素重建以及视差立体。由于人眼在空间中位置不同,相互间隔约 65mm 的瞳距,同一观看物体在两视网膜上所成的像会略有差异,这就是视差。视差中包含着视场内所有点的纵深信息,通过一系列后续的生理活动,这些纵深信息被恢复出来,于是人们就会感觉到观看到的物体是立体的了。图 1 是视差立体的原理图。

其中黑白相间的方格分别是屏幕上的奇偶列像素(行像素同理),同一时刻,奇偶列像素分别显示左右两幅视图,利用一定的装置使左眼只看到奇列



致谢:在撰写此文的过程中,先后收到组内不少同学的建议、批评和修改,在此一并致以最衷心的感谢,这些同学是:王玮、魏建榕、赵臻、梁源、宋坤钰、郑文智和杨光。

作者简介

黄吉平,复旦大学物理系教授。1977 年生于江苏姜堰。主要在复杂流体与经济物理领域开展研究工作。迄今已经在《物理报道》(Physics Reports)、《美国国家科学院院刊》(PNAS)、《物理评论快报》(Physical

Review Letters)等影响因子大于 3 的国际学术期刊发表论文 30 余篇。一些研究成果已被英国《新科学家》(New Scientist)、美国《科学新闻》(Science News)、美国《光子学谱》(Photonics Spectra)专题报道。Email 地址:



jphuang@fudan.edu.cn ; 课题组网页: <http://www.physics.fudan.edu.cn/tps/people/jphuang/>; 个人博客: <http://blog.sina.com.cn/jiping1977>。

像素，右眼只看到偶列像素。这样就使得左眼只看到左图像，右眼只看到右图像。经过大脑的融合之后，人们就会感觉到立体感了。如图 1，A 点的左视图 A1 和 B 点的左视图 B1 显示在显示屏上的奇列，只让人们的左眼看到；A 点的右视图 A2 和 B 点的右视图 B2 显示在显示屏上的偶列，只让人们的右眼看到。大脑经过相关的图像融合后，就会还原出两点的深度信息：图像点 A 成像于显示屏之后；图像点 B 成像于显示屏之前。

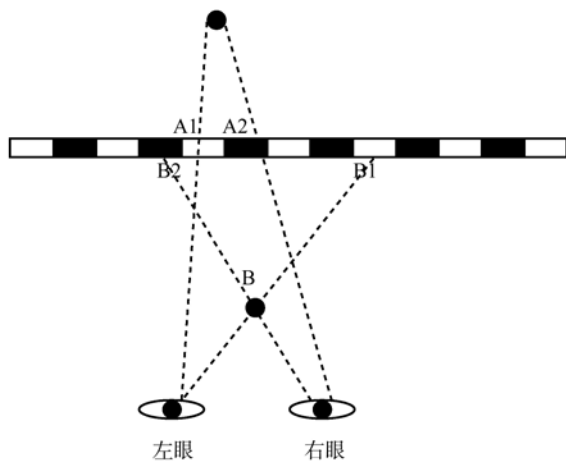


图 1 视差立体原理图

基于视差实现立体成像是立体显示领域内使用最为广泛的方法。美国维度公司的视差照明技术、日本夏普公司的视差障技术、荷兰飞利浦公司的微透镜立体显示技术、国内四川大学的多视点立体显示技术、天津大学、安徽师范大学的多视点自动立体显示技术都是基于视差实现了立体影像的显示。上述几种立体显示技术都达到了较高的水平，但是其中的大部分技术对观看位置却都有所要求，不能满足观看者自由移动的要求，于是如何实现显示屏上图像的动态定向投射成为需要解决的首要问题。动态是指对观看者的观看位置没有限制，定向是指将左右两幅视图准确地投射到观看者的对应眼睛中。也就是说不论观看者处于视场中的什么位置，也不论观看者移动与否，显示屏上的左右两帧图像都要准确、实时地投射到观看者的对应眼睛中。通过引入视场摄像系统，自由立体显示技术能够快速准确地获得每位观看者的眼睛位置，从而解决上述问题，真正实现让观看者自由自在、随心所欲的观看立体

影像。

二、自由立体显示技术的研究现状

鉴于自由立体显示技术拥有广泛的应用领域，全球的多家科研单位及企业都对自由立体显示技术或与其相近的技术展开了研究。

欧洲方面 图 2 所示是欧盟第 6 框架计划支持下的先进的自由立体显示系统技术方案，简称 ATTEST，用两年的时间完成研究任务并已结题。该项目的特点表现在两个方面：

(1) 图像编码采用图像加深度的方案：利用一对摄像机，实时计算每一个像素的深度信息，然后形成一个携带深度信息的单目彩色视频图像。这样，可以达到高效率的图像压缩效率，并能做到与已有的 MPEG-2、MPEG-4 编码技术后向兼容传输。

(2) 采用一种多用户立体显示技术：显示器将左右图像按奇偶行进行空间分割显示，利用可操控光学部件改变立体窗口的空间位置，在人眼位置跟踪装置的配合下，实现自由立体显示。该技术的特点是显示屏只需要一对立体图像，可以供多人同时观看。

以先进的三维电视技术（Advanced Three - Dimensional Television System，简称 ATTEST）为基础的多用户三维电视显示（Multi-User 3D Television Display，简称 MUTED）希望开发实用的自由立体显示系统，并计划在十年内进入市场。立体显示器支持多用户同时移动，并无需佩戴眼镜即可观看立体影像。与 ATTEST 相比，MUTED 具有以下特点：①成本相对较低；②壁挂式立体显示；③在室内大小的区域内可以观看立体图像；④兼容平面信号，可实现二维/三维转换。

图 3 所示，是 MUTED 项目的自由立体显示器的方案，采用激光全息的办法得到高分辨率的可操控光学照明单元，利用光学投影成像阵列形成立体视窗，头跟踪器探测观看者，操纵光学阵列改变立体视窗位置。立体显示装置利用行间分割的方式实现左右图像的分离，因此，单视图图像分辨率下降一半。

有理由相信，在欧盟的大力支持下，欧洲的自由立体显示技术将会在 10 年内得到重大突破，形成成熟的系列技术，广泛应用于各个领域。

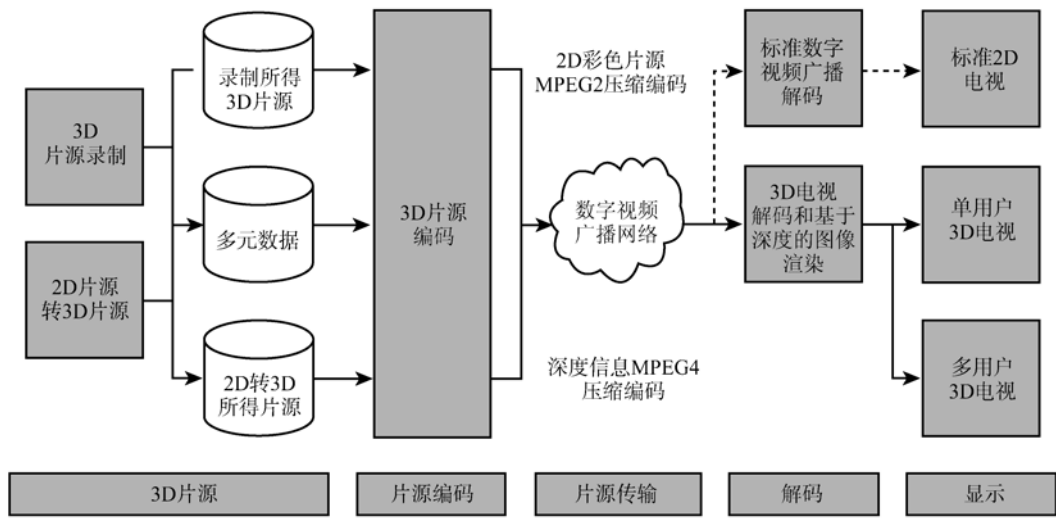


图2 欧洲 ATTEST 项目系统框架

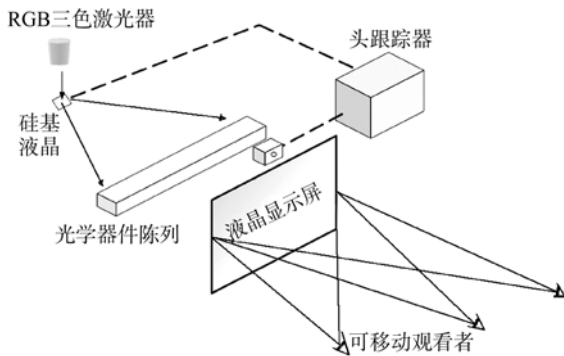


图3 欧洲 MUTED 项目系统框架

日韩方面 夏普公司采用 TN 板液晶开关来控制背光的通断，同时将显示器的关键光学部件分层并内嵌透镜，通过对透镜的精确设计可以让光线分别被用户的左眼或右眼所观察，这样用户就可以看到非常真实的立体效果。截至目前，夏普已经推出了一款基于该原理的显示器。三洋电机在画面上设计了多个条状遮光的“图像分割棒”，使用户的右眼和左眼分别只能看到指定的图像。同时，三洋电机开发出专门的“头部跟踪系统”，可以自动侦测到用户头部的的位置，并且根据反馈信息来调整“图像分割棒”，这样即使用户的头部移动到了3D可视区域之外，显示器也会自动调整“图像分割棒”的开口，让用户获得不折不扣的立体视觉。另外，三洋电机还将图像分割棒和液晶面板在纵向上分为16个区域，根据用户所处的位置来调整各个区域的图像分割棒以及液晶面板，使得前后方向的立体可视范围也得到了扩大。截至目前，三洋电机已经完成了相

关样机的研制。三星公司则借助多透镜技术来控制左右图像的射向，使右眼图像聚焦于观看者右眼，左眼图像聚焦于观看者左眼，由此产生立体视觉。三星公司多透镜的特点是产生的图像丰富真实，较适合大屏幕显示，加之运用最精密的成形手段，可使每个透镜的截面达到微米级，可支持更高的分辨率。而借助先进的数字处理技术，又可以将色度亮度干扰大为减少，有效提高立体图像的质量。但是图像清晰度非常低，效果不是很好。

中国国内 我国在立体显示产业上并不落后于日韩，在立体显示终端、立体图像处理芯片、立体动画内容制作等方面都已经拥有了一定的产业基础。与国外相比，我国的立体技术并不差，可以说与国外处于同一起跑线上。自20世纪90年代初以来，南京大学一直致力于立体图像技术包括立体显示技术的研究；自21世纪初特别是2010年以来，中国大陆不断有研究机构相继加入立体显示技术的研究队伍，例如浙江大学、合肥工业大学、四川大学、天津大学、吉林大学、安徽大学、北京理工大学，等等，重庆大学还专门成立了立体显示专业。

三、主动式立体显示技术

南京大学研制成功了一种主动式自由立体显示器，这种立体显示器主要由四部分组成：人眼位置探测系统、显示屏、背光系统以及CPU。主动式自由立体显示器的工作流程如下：首先，人眼位置探测系统获得视场内所有观测者的眼睛位置信息，然

后将这些信息传送给 CPU, CPU 根据这些信息生成应用于背光系统的一系列指令, 然后将这些指令传送给背光系统以形成定向光束, 这些光束会分别投射在显示屏的对应像素上, 并最终准确投射到观看者的对应眼睛中从而促使观看者对显示屏上所显示的画面产生立体感。

人眼位置探测系统的示意图如图 4 所示, 该系统通过一个或多个摄像头采集视场画面并传送给该模块的处理芯片, 然后处理芯片得到视场内的人眼数目和位置。当然真正的人眼位置探测系统要比示意图所描绘的复杂得多, 要考虑光照变化、观看者移动等影响因素, 从而保证观众在任何场合下观看立体影像时系统都足够得到质量得以保证的图片从而准确定位出人眼。得益于现代电路集成技术, 整个人眼位置探测系统体积可以做得很小, 可以很好地内嵌在包含平板和超薄显示屏在内的众多显示器内。

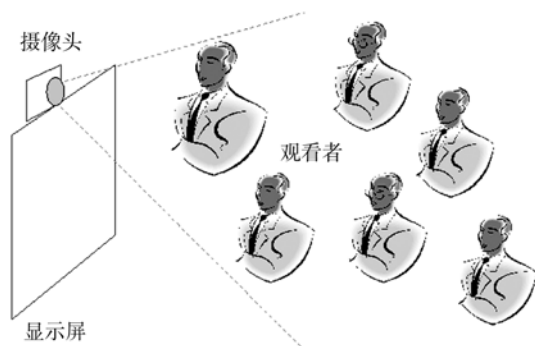


图 4 人眼位置探测示意图

人眼位置探测系统将人眼位置的数据传给 CPU 后, CPU 会计算得出应用于背光系统的相关指令, 使得背光系统发出的光线能够保证准确地投射到显示屏的对应像素上并最终准确地投射到对应的人眼中, 然后 CPU 按照一定的时序将这些指令交给下游的驱动电路来控制背光系统。

背光系统是利用一系列工艺制作成的发光阵列, 为了保证阵列发出的光能够覆盖整个视场, 发光阵列的排布形状和排列规则要严格遵守相关的工艺要求。同时, 为了保证阵列的响应精度和响应速度, 背光系统的驱动电路也需要较高的稳定性, 因此需要相关制作工艺的保证。另外, 制作平板甚至超薄的自由立体显示器需要在极窄的空间内完成背光系统以及其他光学器件的排布, 这也为背光系统的制作工艺提出了新的挑战。

背光系统发出的光要准确地投射到显示屏的对应像素, 并最终准确地投射到观看者的眼睛中, 还需要相关光学系统的帮助。光学系统是由一系列光学器件组成的。背光系统发出的光线经过这些光学器件作用后, 会形成两条长度适合的光带并投射到液晶屏的对应像素上, 这就实现了正确的光线投射到显示屏的对应像素上。同时, 发光阵列的位置又是随着观看者的移动实时的变化的, 这就又实现了正确的光线投射到观看者对应的眼睛中。

主动式自由立体显示技术作为未来立体显示的重要发展方向, 具有以下几个特点:

1. 无辅助立体: 主动式自由立体显示终端无需观看者佩戴任何辅助工具, 肉眼即可观看到清晰的立体影像, 从而不对观看者的活动有任何干扰或影响, 真正实现观看者随心所欲、“自由”的体验立体显示带来的快乐。

2. 窄带宽: 在同一时刻只需要显示一对立体图像, 在具有与未来电视图像质量相匹配的信噪比的前提下, 能够实现信道(广播、互联网络、移动网络)实时传输。这一点对于现场直播、跟踪报道等实时性很强的影像资源具有重要意义。

3. 2D/3D 兼容: 通过修改内嵌光学系统的光电特性, 自由立体显示器可以播放传统的 2D 影像, 并且这种修改只需要按键切换, 非常方便。即观看者可以选择观看立体视频图像节目或传统的平面影像节目, 并可以在两者之间随意切换。

4. 高清晰: 通过采取相应技术, 自由立体显示器可以做到原始分辨率显示图像帧, 从而克服了一般立体显示器为了实现立体播放效果而产生的图像分辨率下降问题, 从而给观众带来真实可信的视觉场景以及身临其境的心理体验。

5. 多用户观看: 由于突破了观看位置固定的限制, 主动式自由立体显示器可以显示同一对立体图像供多用户同时观看, 即观看者在显示器前的各个角度、方位、距离都可以体验到立体显示效果。

6. 光能利用率高: 通过改造背光模组, 可以实现比一般显示器高得多的光能利用率, 从而达到节能环保的目的。

四、自由立体显示技术的应用

由于具有上述特点, 自由立体显示技术在医学、军事、广告艺术、工业设计、公共安全以及立体电视等领域有着广泛的应用前景。

建筑、城市规划和地理信息系统 在建筑行业中,自由立体显示技术可以展示设计、导览、景观美化、内部装修、人性因素等方面的信息,帮助设计专家和技术人员关注具体细节,在施工前即可完成全部景观的设计。

商业、现代工业 3D 视频会议,财务统计模型、过程控制及工作流程模型、对商品的演示、商业展览、在会议室接待厅的演示、3D 网站设计、危险原料处理、小零件装配过程以及工业视察等方面都可以为自由立体显示技术提供广阔的应用空间。

数据可视化 科学研究中的数值计算结果需要以直观形象的方式表现出来,特别是三维图形图像,如蛋白质结构、DNA 及其他高分子形态特征的分子建模、立体显微镜及其显示、天气预报中的云图运动分析、风洞实验和数值模拟、空气动力学的流畅模拟、空中摄影测绘数据建模、财务模型及预

测模拟、过程控制数值模拟、CAD/CAM 设计工程中模型显示、远程机器人视觉显示等都需要自由立体显示技术来构造及重塑。

影视娱乐 针对日常生活和娱乐方面,自由立体显示器也将成为普遍使用的有广泛软硬件支持的重要应用器件。如计算机游戏、大型专门节目的游戏机、影院立体影视节目播放、家庭立体电视及立体视频 VCD 等。

医疗 在医疗卫生领域,自由立体显示技术给医生和专家直接显示测试实况和诊疗实况,在远程诊断中可以获得比平面显示更多的视觉信息,在内窥镜及图像显示、眼科疾病诊断及测试、MRLCAT 成像、手术模拟和培训、手术现场成像等方面有重要的应用前景。

军事 由于自由立体显示技术的实景显示可以真实表现出实际观看的情况,在军事领域同样具有极其重要的应用。如飞行员、坦克驾驶员、潜艇驾驶员在仿真环境中的培训、立体摄影侦察和星际遥感遥测的成像分析,都可以直接用立体显示方式代替传统的潜望镜观测方式。

另外,自由立体显示技术在教育、航空、测绘、广告宣传等方面也将有着广泛的应用。图 5 是自由立体显示器用途的一些效果说明图片。

目前我国进行立体显示技术研究的企业也已有几十家。

欧洲、日韩以及我国国内都已经针对立体显示开始制定相关标准。自由立体显示技术作为重要的研究方向和未来的发展趋势,围绕其制定相关国际国内标准已经逐渐成为业界的共识,相关工作也正在陆续展开。

立体显示已经触及到我们生活的方方面面,多彩而汹涌的立体显示潮流已经席卷而来,相信作为重要发展方向的自由立体显示技术必将迎来她蓬勃发展的春天。

(南京大学立体成像实验室 210093)



户外广告宣传



机场、车站显示终端



立体手机

图 5 自由立体显示技术用途示意图

