



信息科学技术专著丛书

3D显示技术及其 优化方法

于迅博 高鑫 邢树军 桑新柱 颜纷纷 编著

3D DISPLAY TECHNOLOGY AND ITS OPTIMIZATION METHOD



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



信息科学技术专著丛书

3D 显示技术及其优化方法

于迅博 高鑫 邢树军 桑新柱 颜玢玢 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

作者在研究了大量文献和积累了丰富一线科研经历的基础上,以科学理论结合工程实践的方式,为读者全面深入地介绍了现阶段出现的3D显示技术与设备及其优化方法。本书首先简要介绍了人眼产生立体视觉的原理、助视3D显示技术和利用计算机获取立体图像的技术,而后详细阐述了光栅3D显示技术、集成成像3D显示技术和悬浮3D显示技术,以及以此为基础发展出来的前沿优化方法。

本书可作为图像处理及显示、虚拟现实、数字广播、文化娱乐、人机交互、3D视觉传达、互动媒体等领域从业人员的工作参考用书,相关专业本科生、研究生的学习用书,高校教师进行教育教学、科研工作的工具用书,希望入门并精进3D显示相关技术人士的读本。

图书在版编目(CIP)数据

3D显示技术及其优化方法 / 于迅博等编著. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2022. 6

ISBN 978-7-5635-6653-2

I. ①3… II. ①于… III. ①三坐标显示器 IV. ①TN873

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第091048号

策划编辑:姚 顺 刘纳新 责任编辑:王小莹 封面设计:七星博纳

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号

邮政编码:100876

发行部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:唐山玺诚印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:16

字 数:419千字

版 次:2022年6月第1版

印 次:2022年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-6653-2

定 价:58.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

3D 显示技术可通过模拟人眼在观看真实物理世界时的特点,利用有别于传统 2D 显示器的设备将物体所在空间的 3D 信息完整再现,实现对 3D 场景的真实重建。3D 显示技术自 20 世纪 80 年代成为热点研究领域以来,经过学者们近半个世纪的努力,已经取得了不少振奋人心的优化方案,越发成熟的 3D 显示技术使得各种依赖显示技术的产业的突破成为可能,也在一定程度上丰富了人们对未来显示模式的憧憬。在国家发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中,提出应推动三维图形生成、动态环境建模、实时动作捕捉、快速渲染处理等技术创新,发展虚拟现实整机、感知交互、内容采集制作等设备和开发工具软件、行业解决方案。同时,3D 显示作为一个包括了光学、材料科学、计算机科学、电子科学与技术、信息与通信工程等多学科的交叉研究领域,在综合国力提升和国民经济发展中都有着十分重要的战略意义和巨大的经济前景,是当今第四次工业革命时代下极具前瞻性、支柱性的科学技术。

本书从 3D 显示技术的实现原理出发,在简单讨论了现有 3D 显示技术的核心问题、制约瓶颈和潜在应用场景等方面后,着重介绍了多种提升 3D 显示技术性能的优化方法。本书内容包括作者作为项目负责人或主要研究人员参与的国家自然科学基金、国家重点研发计划课题、国家“863”计划课题、北京市科技计划重点课题等项目取得的研究成果。通过阅读本书,广大读者可对多种 3D 显示技术及其优化方法进行由浅入深的全方位学习。在内容上,本书的编写强调连续性和发展性:连续性,即充分使用已被业界证明是科学的基本理论,继承地使用受认可的专业术语和前人已有的研究成果,提高内容的广泛可读性;发展性,即在保证行文连续的基础上结合 3D 显示技术的发展近况,将领域内的先进优化方法和工程实践案例一一进行剖析。

本书编写人员的分工如下:于迅博负责全书的统稿工作和全书框架结构与写作提纲的确立,并参与全书所有章节的编写,主要负责第 1、2、4、6 章的编写;高鑫主要负责第 5、7、8 章的编写;邢树军主要负责第 3 章的编写;桑新柱、颜玢玢负责对全书内容的审核和指导。

在本书编写过程中,北京邮电大学的余重秀教授等专家提出了许多宝贵意见,李涵宇、粟曦雯对全书内容进行了校对,在此向他们表示衷心的感谢。同时,作者在编写本书时参阅了大量相关的中英文资料,在此也对这些文献的作者致以诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,且编写时间仓促,书中难免存在不妥之处,还望同行及广大读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 立体视觉原理	2
1.2.1 心理因素	2
1.2.2 生理因素	3
第 2 章 助视 3D 显示技术	6
2.1 分色 3D 显示技术	6
2.1.1 基于互补色原理的分色 3D 显示	6
2.1.2 基于光谱分离原理的分色 3D 显示	7
2.2 偏振光 3D 显示技术	8
2.2.1 投影偏振光 3D 显示器	8
2.2.2 直视偏振光 3D 显示器	9
2.3 快门 3D 显示技术	10
2.3.1 快门 3D 显示技术的工作原理	10
2.3.2 快门 3D 显示技术的显示模式	11
2.4 头盔 3D 显示技术	13
2.4.1 头盔 3D 显示技术的原理	13
2.4.2 头盔 3D 显示技术的关键技术	14
第 3 章 立体图像获取技术	15
3.1 多相机采集	15
3.2 光场相机	16
3.3 数字 3D 模型采集	17
3.3.1 基础概念和物体基本操作	18
3.3.2 灯光的添加以及设置	19
3.3.3 关于相机的设置以及视图的输出	20

第 4 章 光栅 3D 显示技术	27
4.1 光栅 3D 显示的发展历史与研究现状	27
4.1.1 发展历史	27
4.1.2 研究现状	28
4.2 光栅 3D 显示器的基础实现原理	30
4.2.1 狭缝光栅 3D 显示器	30
4.2.2 柱透镜光栅 3D 显示器	35
4.2.3 显示面板与摩尔纹	38
4.3 光栅 3D 显示器的合成图像生成方法	41
4.4 光栅 3D 显示的线数与倾斜角	48
4.5 光栅 3D 显示器的参数	52
4.5.1 光栅 3D 显示器的分辨率	52
4.5.2 光栅 3D 显示器的角分辨率	53
4.5.3 光栅 3D 显示器的显示深度	54
4.5.4 光栅 3D 显示器的观看视点数目	56
4.5.5 光栅 3D 显示器的视区与最佳观看距离	57
4.6 投影光栅 3D 显示技术	59
4.6.1 光栅背面投影 3D 显示技术	59
4.6.2 密集视点正面投影 3D 显示技术	62
本章参考文献	64
第 5 章 光栅 3D 显示的优化方法	67
5.1 消除摩尔条纹与彩虹条纹的方法	67
5.2 消除视区跳变现象的方法	69
5.2.1 视差图像填黑法	69
5.2.2 人眼跟踪法	70
5.2.3 指向背光法	71
5.2.4 数字断层法	72
5.3 减小串扰的方法	75
5.4 提升光栅 3D 显示视角的方法	77
5.4.1 基于多投影仪提升光栅 3D 显示视角的方法	77
5.4.2 基于多向时序准直背光提升光栅 3D 显示视角的方法	81
5.5 提升光栅 3D 显示分辨率的方法	91
5.5.1 基于空间复用提升光栅 3D 显示分辨率的方法	91
5.5.2 基于高帧频提升光栅 3D 显示分辨率的方法	92

5.6	提升光栅 3D 显示视点数目的方法	93
5.6.1	基于人眼跟踪法提升光栅 3D 显示视点数目的方法	93
5.6.2	基于小截距柱透镜光栅提升光栅 3D 显示视点数目的方法	103
5.7	均衡光栅 3D 显示分辨率的方法	106
	本章参考文献	111
第 6 章	集成成像 3D 显示技术	113
6.1	集成成像的发展历史与研究现状	113
6.1.1	发展历史	113
6.1.2	研究现状	114
6.2	集成成像的基础原理	115
6.2.1	集成成像显示原理与分类	115
6.2.2	基元图像阵列的生成方法	121
6.3	集成成像的光学评价方法	126
6.3.1	聚焦模式下集成成像的光学评价	126
6.3.2	成像模式下集成成像的光学评价	128
6.4	集成成像的主要参数	134
6.4.1	集成成像的显示分辨率	134
6.4.2	集成成像的体像素角分辨率	136
6.4.3	集成成像的观看视点数目	138
6.4.4	集成成像的显示深度	141
	本章参考文献	149
第 7 章	集成成像 3D 显示的优化方法	153
7.1	优化集成成像显示系统像质的方法	153
7.1.1	基于图像预处理优化集成成像显示系统像质的方法	153
7.1.2	利用深度学习优化集成成像显示系统像质的方法	163
7.2	提升集成成像显示系统分辨率的方法	168
7.2.1	基于多投影仪提升集成成像显示系统分辨率的方法	168
7.2.2	基于双显示屏提升集成成像显示系统分辨率的方法	169
7.2.3	基于时空复用透镜拼接提升集成成像显示系统分辨率的方法	169
7.3	提升集成成像显示系统角分辨率的方法	172
7.3.1	基于像素水平化调制提升集成成像显示系统角分辨率的方法	172
7.3.2	基于空间复用体像素屏提升集成成像显示系统角分辨率的方法	186
7.4	提升集成成像显示系统显示深度的方法	198
7.4.1	基于时分复用技术提升集成成像显示系统显示深度的方法	199



3D 显示技术及其优化方法

7.4.2 基于复合透镜阵列法提升集成成像显示系统显示深度的方法	202
7.4.3 基于可变焦透镜阵列法提升集成成像显示系统显示深度的方法	203
7.4.4 基于双显示屏法提升集成成像显示系统显示深度的方法	204
本章参考文献.....	204

第 8 章 悬浮 3D 显示技术

8.1 基于自由镜的悬浮 3D 显示	209
8.2 基于悬浮透镜的悬浮 3D 显示	214
8.3 基于空间数据重构算法的悬浮 3D 显示	230
本章参考文献.....	247

第 1 章

绪 论

1.1 引 言

视觉系统是人类感知外界环境的重要工具,研究表明,在人们的日常生活中有 70% 的信息是通过视觉被接收到的。显示技术作为信息技术的一个重要组成部分,涉及现代生活中的每一个环节,它对满足人们的视觉要求有着巨大的意义,因此人们对显示技术有着孜孜不倦的追求。从黑白到彩色,从静态到动态,从标清到高清,人类在显示领域的发展从未放慢脚步。可以说显示技术的发展水平标志着一个国家的科技水平,显示技术是历来各国科技发展的必经环节,它有效地带动了上下游产业,促进了整个国民经济的发展。

在真实世界中可以用三维(three-dimensional, 3D)空间坐标(x, y, z)来表示物体自身的形状、尺寸与物体相互之间的位置关系。然而,传统的平面显示设备(如投影仪、液晶显示器、等离子电视等)都只能传递二维(two-dimensional, 2D)图像,丢失了真实世界中的距离信息。人们通过 2D 显示设备观察丰富多彩的 3D 世界时,不但无法通过距离关系去判断物体在三维空间中的相对位置关系,而且人眼只能接收单个角度的空间场景信息。当人眼从不同角度观察 2D 显示设备时,看到的内容都是相同的,没有任何的视差关系,这与人们观察世界的实际感官不符。在日常生活中,人眼观察世界时,不仅会接收到物体发出的光强与色彩信息,还会通过 3D 空间的深度信息对物体的尺寸与位置关系进行判断。传统的显示技术严重地影响了人们对客观世界的感知,降低了人们对空间信息获取、处理、表达的精确度、速度与效率。随着当今科学技术的飞速发展,传统的 2D 平面显示技术已经远远无法满足目前各个行业领域对深度数据与空间立体感的需求。越来越多的应用领域(如医学成像、科学研究、外太空探索、重要远程会议和军事等)要求能够实现 3D 场景的真实重建,从而使得观看者可以更加精确地捕获相关信息,准确地进行现场判断。由于 3D 显示相对于传统的 2D 平面显示具有很多的优点,因此可以预见 3D 显示技术将成为下一代显示科技的主要发展方向,而这项技术在给人们生活带来便捷的同时,还必将给未来的生活注入更多活力。

3D 显示技术应用在电影产业上,电影《阿凡达》[如图 1-1-1(a)]与《泰坦尼克号》[如图 1-1-1(b)]都在世界范围内产生了巨大的影响,掀起了 3D 显示技术研究的热潮。与此同时,中国的 3D 电影迅猛发展,2015 年上映的《捉妖记》[如图 1-1-1(c)〕、《大圣归来》[如图 1-1-1(d)〕、《寻龙诀》[如图 1-1-1(e)〕等电影以它们精良的制作吸引了众多观众的眼

球,赢得了广泛的好评。随着科技的发展,3D 显示技术正在逐渐摆脱辅助设备的限制,以全新的姿态进入人们的生活。



图 1-1-1 3D 电影海报

1.2 立体视觉原理

产生立体视觉的基本因素包括两个方面:心理因素和生理因素。

1.2.1 心理因素

心理因素是人们在长期的生活中观察总结得来的经验,它可以“欺骗”大脑,使其产生一种“伪立体视觉”。这里的“伪立体视觉”是指它虽然具有立体感,但其本质上只是一种心理错觉,所显示的仍然只是一幅 2D 的画面,不包含深度信息,而且它与真实物体所具有的立体感仍有很大差距。心理因素主要包括线性透视关系、遮挡、阴影、纹理和先验知识 5 个部分。

1. 线性透视关系

线性透视关系是指人眼所看到景物的大小将随着距离的增大而线性减小。如图 1-2-1(a) 所示,路旁的房屋、汽车、行人会随着距离的增大而变得越来越小,同样道路也会随着距离的增大而越变越窄,最终会在远处汇聚于一点。

2. 遮挡

光是沿直线传播的,在前面的物体将会遮挡住后面的物体,因此通过物体间的遮挡关系就能够判断物体间的深度关系。在图 1-2-1(b)中,能够很明显地看出苹果 A 在苹果 B 的前方。

3. 阴影

由于光照会对人的意识产生影响,因此不同方向的光照会在物体表面产生不同方向的阴影。通常我们认为暗的部分是由于光线被遮挡,亮的部分是由于光线直接照射,对阴影形状的判断可以帮助我们推断物体的形状,如图 1-2-1(c)所示。

4. 纹理

纹理是指观看规律重复的动、静态特征分布而产生的立体视觉,如图 1-2-1(d)所示。

5. 先验知识

先验知识是指在人们对物体的空间形状以及结构等具有了充分的了解后,当再次看到该类型的物体时,即使只是看到物体的一个侧面,也能够联想到物体的整个空间形状,从而产生立体感,如图 1-2-1(e)所示。

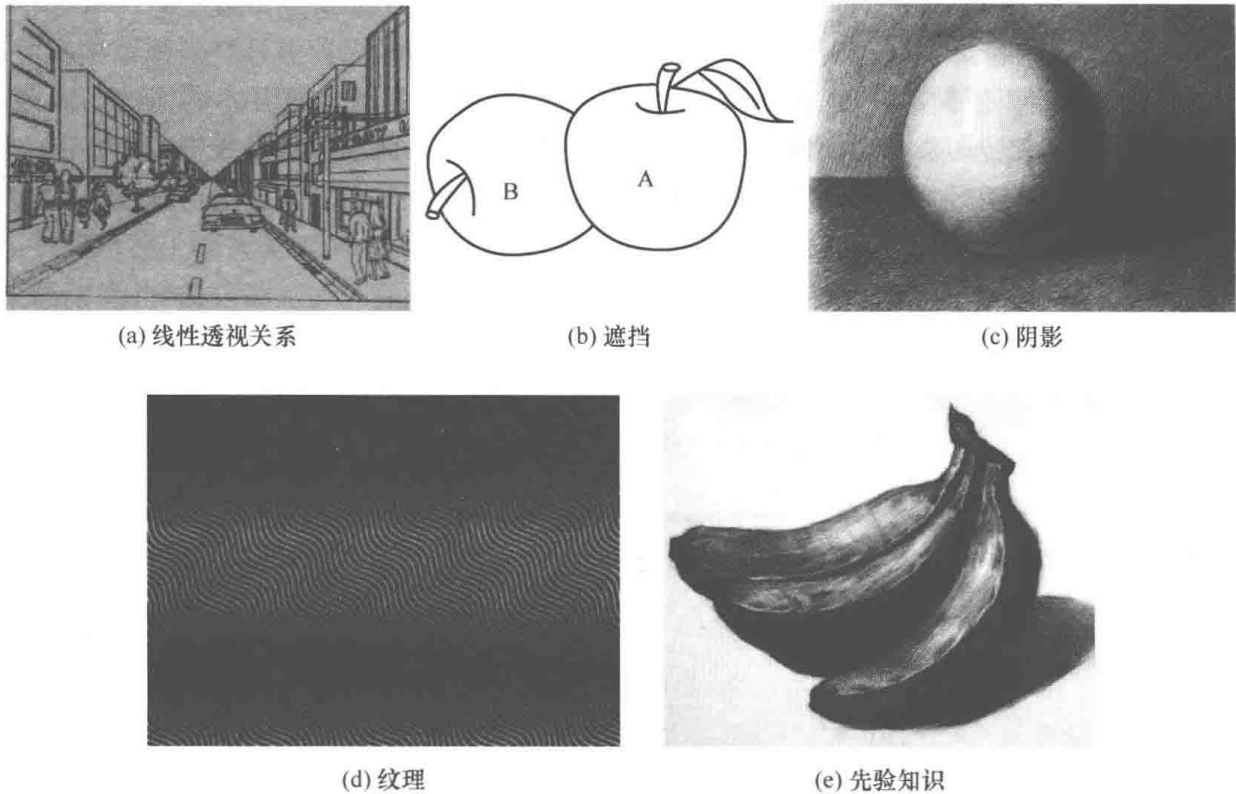


图 1-2-1 心理因素

1.2.2 生理因素

正是由于上述心理因素的存在,因此即使在 2D 显示屏上,我们也可以分辨出物体的远近深度关系。但由于缺少生理因素的存在,因此 2D 显示所产生的立体感只是一种心理上的“欺骗”,既不生动也不准确。而生理因素则可以使显示更加真实和准确,它主要包括调节、辐辏、运动视差和双目视差 4 部分,其中双目视差最为重要,是立体视觉的主要来源。

1. 调节

人的眼睛就像是一个透镜,当我们观看不同距离的物体时,人眼通过睫状肌的收缩来调节晶状体的厚度,从而改变眼睛的焦距,使不同距离的物体能够在视网膜上清晰成像,如图 1-2-2(a)所示。大脑的神经中枢就能够根据睫状肌收缩的程度来判断物体的远近。然而,实验证明,调节对立体视觉的有效作用区域只在 10 m 范围以内,对于远处物体的调节作用几乎消失。

2. 辐辏

人眼在观看物体时,需要转动眼球注视物体,两眼视线所成的夹角称为集合角,如图 1-2-2

(b)所示。从图中可以看出集合角的大小与物体的距离成反比,物体的距离越近,眼球转动幅度越大,集合角越大;反之,距离越远,眼球转动幅度越小,集合角越小。从而我们的大脑能够通过眼球转动角度的大小来判断物体的远近。与调节一样,随着距离的增大,集合角的改变将变小,辐辏对立体视觉的作用也将减小。根据实验得出,辐辏的有效作用距离在 20 m 范围以内。

3. 运动视差

我们知道,当以不同的角度去观看同一个物体时,所看到的图像是各不相同的。因此,当我们移动位置或者转动头部时所看到的画面都不相同,我们将此称为运动视差,如图 1-2-2(c)所示。当观看者移动时,近处的物体比远处的物体移动得更快。因而我们能够根据物体移动的快慢来判断物体的深度关系。

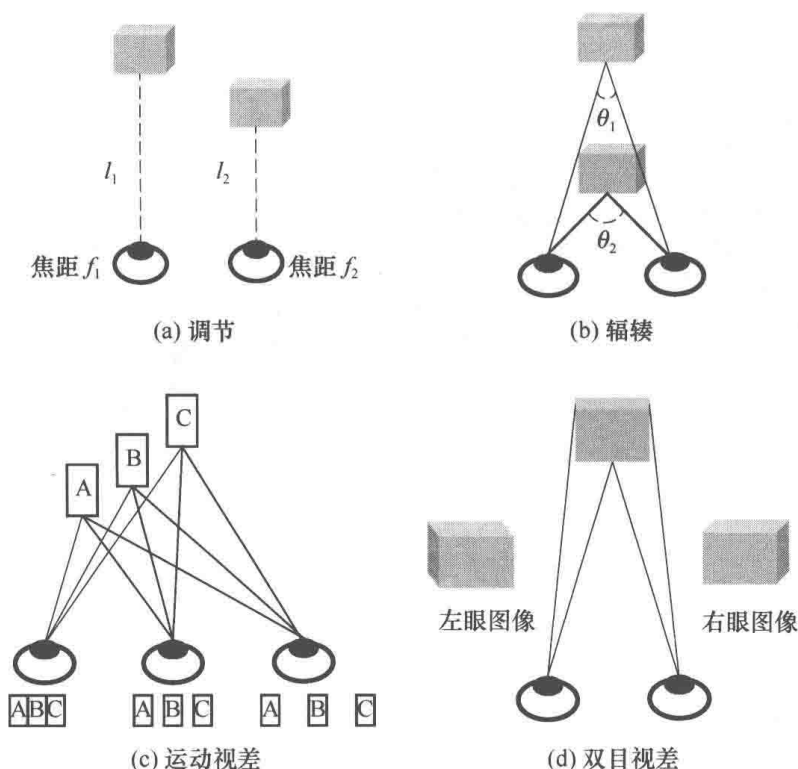


图 1-2-2 生理因素

4. 双目视差

人双眼之间的距离约为 65 mm,因而当双眼同时观察一个物体时,两只眼睛的观看角度各不相同,每只眼睛都将观察到物体的一个侧面,两只眼睛最终获取的图像各不相同,我们将这种左、右眼的视觉差异称为双目视差。我们的大脑将左、右眼在视网膜上所成的两幅视差图像进行融合后再形成一幅完整的立体图像。双目视差是产生立体视觉的最重要的生理因素,几乎在所有的 3D 显示技术中都应用到了双目视差的原理,其中常见的助视 3D 显示以及光栅 3D 显示等技术的实现原理更是主要基于双目视差,而其他诸如体三维显示、集成成像显示、光场显示等真 3D 显示技术则是由包含双目视差在内的多种心理以及生理深度暗示共同作用的结果。在 3D 显示技术中运用双目视差原理,先需要利用相机来模拟人的两只眼睛对物体不同角度图像的采集,得到所对应的左、右眼视差图像;然后利用时分或空分等方法将视差图像

显示在 2D 显示屏上;最后也是最关键的是采用相应的技术手段使所显示的左、右眼视差图像能够分别进入人的左眼或右眼,如此根据双目视差的原理,人们就能够看到立体图像。

双目视差包括水平视差和竖直射差两部分,其中水平视差是产生立体感的主要因素。水平视差又可分为零视差、正视差和负视差,并可由此来判断物体的空间深度。如图 1-2-3 所示,当人的双眼同时观察到显示屏上的 O_2 点时,经过大脑的融合作用,人们将能够看到 3D 物体 O_2 恰巧位于显示屏上,此时水平视差为零视差;当人的左眼观察到显示屏上的 B 点,而右眼观察到与其相对应的 C 点时,经过大脑的融合作用,我们将能够看到入屏的 3D 物体 O_3 ,感觉上物体是凹进屏幕内的,此时水平视差为正视差;当人的左眼观察到显示屏上的 D 点,而右眼观察到与其相对应的 A 点时,经过大脑的融合作用,相应地,我们将能够看到出屏的 3D 物体 O_1 ,感觉上物体是凸出屏幕外的,此时水平视差为负视差。如此,我们便可以通过控制显示屏上相应像素间的间距来控制显示场景的显示景深,从而让人眼能够感受到空间的不同深度,实现立体感。

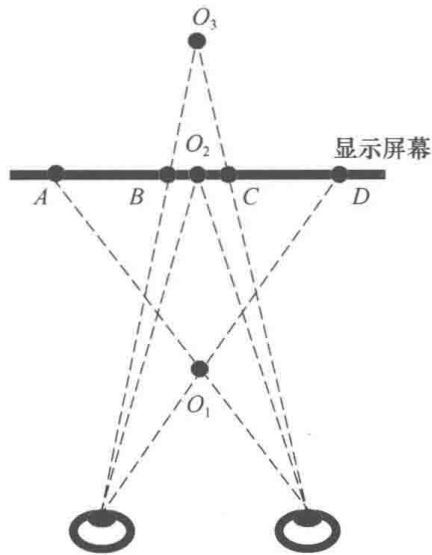


图 1-2-3 显示景深与水平视差间的关系

第 2 章

助视 3D 显示技术

助视 3D 显示技术是指在 3D 显示的观看过程中,需要借助于眼镜、头盔等辅助设备的 3D 显示技术。目前主流的助视 3D 显示技术主要有分色 3D 显示技术、偏振光 3D 显示技术、快门 3D 显示技术和头盔 3D 显示技术。助视 3D 显示技术一般都是借助于辅助设备来达到双目视差,从而实现 3D 显示。虽然佩戴辅助设备不是十分便捷,但是因为助视 3D 显示技术容易实现且观看质量良好稳定,所以助视 3D 显示技术是目前最成熟、最普及的主流 3D 显示技术。本章将具体介绍几种主流的助视 3D 显示技术。

2.1 分色 3D 显示技术

分色 3D 显示技术的关键是对颜色进行分离,利用分离的颜色分别显示左、右眼视差图像,最终借助于分色眼镜观看分色 3D 显示器,从而为观众提供双目视差,实现 3D 显示。根据颜色分离的方法不同,分色 3D 显示分为基于互补色原理的分色 3D 显示和基于光谱分离原理的分色 3D 显示两种,本节将对两种技术的工作原理和性能进行详细的阐述。

2.1.1 基于互补色原理的分色 3D 显示

如果两种色光可以混合为白光,则称这两种颜色为互补色,常见的互补色有红色和蓝色(青色)、黄色和蓝色、红色(品红色)和绿色,它们均彼此互为补色。互为补色的两种颜色没有交集,彼此互不包含,因此,会存在相互隔离的效果。

基于互补色原理的分色 3D 显示利用互补色原理,配合使用对应互补色制作的分色眼镜,可以实现双目视差,从而达到 3D 显示的效果。如图 2-1-1 所示,以利用红蓝互补色的分色 3D 显示为例进行说明。在制作图像时,我们用红光(图中虚线)来保存一幅视差图像,用蓝光(图中实线)来保存另一幅视差图像,将两幅图像融合在一起形成合成图像并显示,观众在佩戴对应的红蓝 3D 眼镜观看时,透过红色镜片的眼只能观察到红光记录下的图像,透过蓝色镜片的眼只能观察到另一幅蓝光记录的图像,这就形成了双目视差,观众因此获得了立体感。

基于互补色原理的分色 3D 显示中,常见的互补色组合有红蓝(青)、黄蓝、红(品红)绿。基于互补色原理的 3D 显示对显示设备的要求非常低,除了普通的显示器外,甚至可以通过彩色打印的方式,在照片和纸张上实现。另外,互补色 3D 眼镜的制作十分简便,图 2-1-2 所示即

一种红蓝互补色 3D 眼镜,这种 3D 眼镜只需要制作两个互为补色的镜片并将其安装在镜框上即可。因此,基于互补色原理的分色 3D 显示制作简易,成本低廉,具有突出的优点,但是,由于基于互补色原理的 3D 显示在观看时会出现颜色失真,降低观看质量,因此其发展及应用没有得到大范围普及。

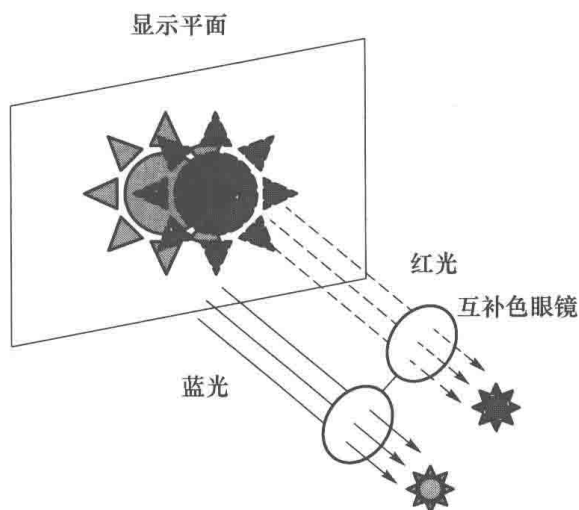


图 2-1-1 基于互补色原理的分色 3D 显示

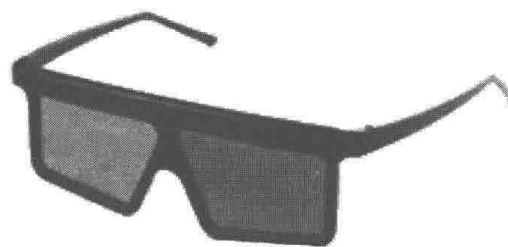


图 2-1-2 红蓝互补色 3D 眼镜

2.1.2 基于光谱分离原理的分色 3D 显示

人眼中不同颜色的光其实是大脑对不同波长的光的感知,而人眼对每种颜色的感知都有一个波长范围,我们用峰值响应波长和半峰响应宽度来表示这个范围,表 2-1-1 表示的是人眼对红、绿、蓝三基色的峰值响应波长和半峰响应宽度。在峰值响应波长上,我们对三基色光的感知最敏感,而在半峰响应宽度内,我们仍然可以分辨出三基色的光。

表 2-1-1 红、绿、蓝三基色的峰值响应波长和半峰响应宽度

三基色	峰值响应波长/nm	半峰响应宽度/nm
红	600	70
绿	550	80
蓝	450	60

基于光谱分离原理的分色 3D 显示利用光谱分离技术,在人眼可识别的范围内,分离出两组不同波长的窄带光波,分别用来显示左、右眼视差图像,观众佩戴对应的窄带滤波眼镜。在不同的滤波镜片下,观察到由不同窄带光谱显示的视差图像,从而获得双目视差,形成立体感。而由此进行的分色显示由于不再是简单意义上的分色,因此可以实现全彩色的分色 3D 显示,避免了颜色失真的问题。

基于光谱分离原理的分色 3D 显示对显示设备稍有要求。例如,常用的投影法需要两台经过滤波的投影仪分别投影两幅视差图像到屏幕上,再配合相应的窄带滤波眼镜才可以实现 3D 观看。除此之外,基于光谱分离原理的分色 3D 显示同样可以借助于基于液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)等的直视方式来实现,利用 LCD 的光谱分离显示通过具有不同光谱的发光二极管(Light-Emitting Diode, LED)背光点亮 LCD,并通过编码的方式使不同的

视差图像以不同的光谱分别显示。利用时分复用的原理刷新不同光谱的视差图像,可以保证图像的分辨率不损失。总体来说,基于光谱分离原理的分色 3D 显示中的显示设备和辅助眼镜的制作并不复杂,成本也不高,并且,基于光谱分离原理的分色 3D 显示技术是全彩色显示,不需要复杂的信号同步设备,可以实现稳定的高质量观看,因此它是一种有良好前景的 3D 显示技术。

2.2 偏振光 3D 显示技术

偏振光 3D 显示技术采用偏振光原理进行视差图像的分离,配合偏振光眼镜使双眼分别观看到以不同偏振光显示的视差图像,从而达到双目视差,实现 3D 显示。偏振光 3D 显示技术是目前影院和家庭中广泛应用的 3D 显示技术,技术已经比较成熟。本节将分别介绍以投影方式和直视方式实现的偏振光 3D 显示技术,并对它们的工作原理和性能做详细的阐述。

2.2.1 投影偏振光 3D 显示器

偏振光 3D 显示器利用偏振光的原理实现分光,并配合佩戴的偏振片眼镜达到双目视差,从而实现 3D 显示。投影偏振光 3D 显示器由两个投影仪和一个可以保持偏振性的投影屏幕组成,如图 2-2-1 所示。在两个投影仪前面放置有不同偏振态的偏振片。显示时,两个投影仪透过偏振片同时向屏幕投影出不同的视差图像,这样在保持偏振性的投影屏幕上显示的两幅视差图像的光便具有了不同的偏振态。配合佩戴的偏振光眼镜的镜片是由对应的两种偏振片制作而成的,这样在观看的时候,不同眼睛透过不同偏振镜片观看到对应的视差图像,从而实现 3D 显示。

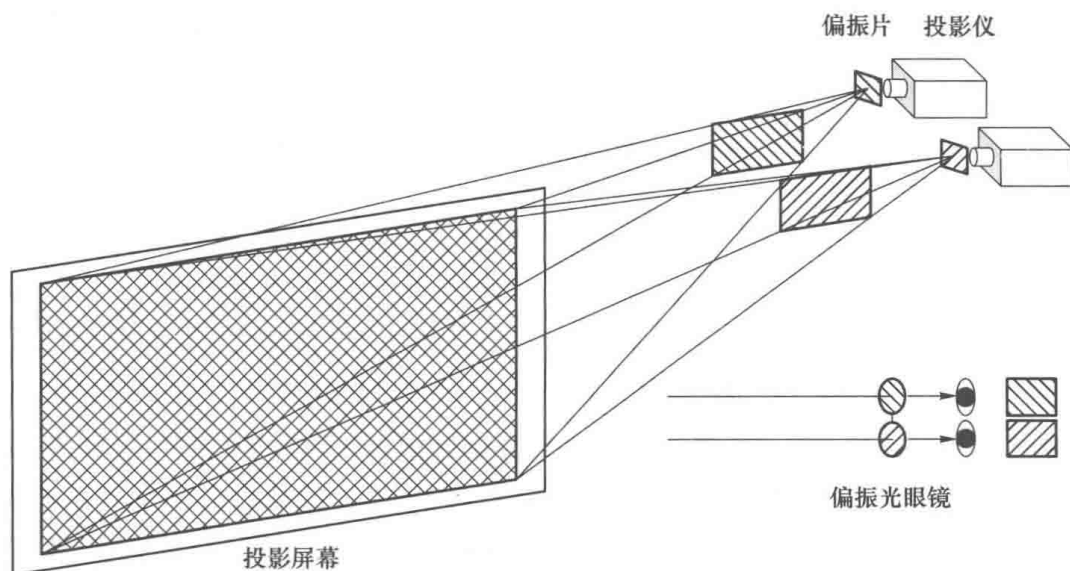


图 2-2-1 双投影仪偏振光 3D 显示器

偏振片是一种只能通过特定偏振光的光学结构。在上述过程中,如果使用线偏振片,则要求显示两幅视差图像偏振光的偏振方向是相互垂直的,这样,才能保证左、右眼可以独立地看到相应的视差图像。但是,当我们的头部发生倾斜时,左、右眼看到的图像将会发生串扰,大大影响观看质量。所以,线偏振光的显示要求较为苛刻。如果使用圆偏振片,则要求显示两幅视差图像的分别是左旋圆偏振光和右旋圆偏振光,这样的显示不要求我们的头部姿势,无论怎样摆动

头部,都能使左、右眼看到正确的视差图像,显示效果较为理想。图 2-2-2 所示为一种偏振片眼镜。

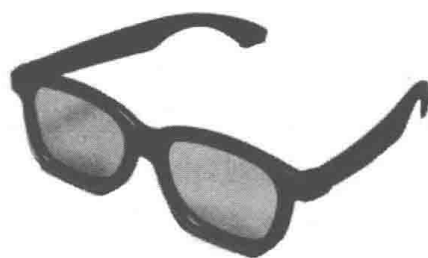


图 2-2-2 偏振片眼镜

除此之外,偏振片会对投影仪投射光的亮度造成很大的损失。因此,偏振光 3D 显示要求投影仪具有较高的亮度。另外,因为两台投影仪要将图像同时投影到一个屏幕上,所以还需要对投影图像校正,使它们可以完美重合。

单投影仪偏振光 3D 显示器可以避免双投影仪偏振光 3D 显示器中图像不重合的问题。在投影仪前放置偏振光转换器并配合高速刷新的左、右眼视差图像可以实现单投影仪偏振光 3D 显示器。偏振光转换器在通断电的状态下可以分别投射两种偏振光,因此,配合左、右眼视差图像的刷新频率,在显示一幅视差图像时偏振光转换器通电,在显示另一幅视差图像时,偏振光转换器断电,这样就可以实现两种视差图像以不同偏振光显示,达到偏振光 3D 显示的要求。由于使用的是单个投影仪,在显示时不会再存在左、右眼视差图像不重合的问题,省去了图像校正的过程,同时也节约了一个投影仪的成本,因此单投影仪偏振光 3D 显示器具有较为广阔的应用范围。

2.2.2 直视偏振光 3D 显示器

直视偏振光 3D 显示器由平面显示器和置于前端的微相位延迟面板组成,如图 2-2-3 所示,其中,平面显示器必须发出的是线偏振光。如果使用 LCD 作为平面显示器,则可以直接使用,因为 LCD 发出的光本身就是线偏振光。但如果使用等离子体显示板(Plasma Display Panel,PDP)作为平面显示器,就必须在 PDP 和微相位延迟面板之间加入偏振片,使 PDP 发出的自然光转化为线偏振光。微相位延迟面板由很多条状相位延迟膜间隔排列而成,其中相位延迟均为 $\lambda/2$ 。这样,这种偏振光 3D 显示器将会对微相位延迟面板发出偏振方向相互正交的两组线偏振光,利用这两种偏振光分别显示两幅视差图像并配合相应的偏振光 3D 眼镜,即可实现偏振光 3D 显示。这种直视偏振光 3D 显示器将原平面显示器分成两部分,这两部分分别显示左、右眼视差图像,所以观看到的 3D 图像将会损失一半的分辨率,而且微相位延迟面板的制作和耦合存在一定困难。

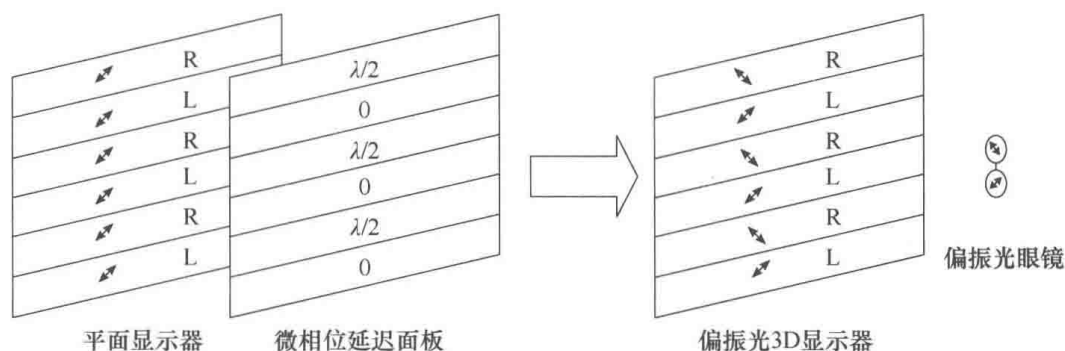


图 2-2-3 基于微相位延迟面板的直视偏振光 3D 显示器

基于偏振光转换器的直视偏振光 3D 显示器可以很好地避免上述的问题,如图 2-2-4 所示,基于偏振光转换器的直视偏振光 3D 显示器同样要求平面显示器发出的是线偏振光,不同的是以偏振光转换器来实现线偏振光的转换,这里的偏振光转换器可以使用扭曲向列液晶