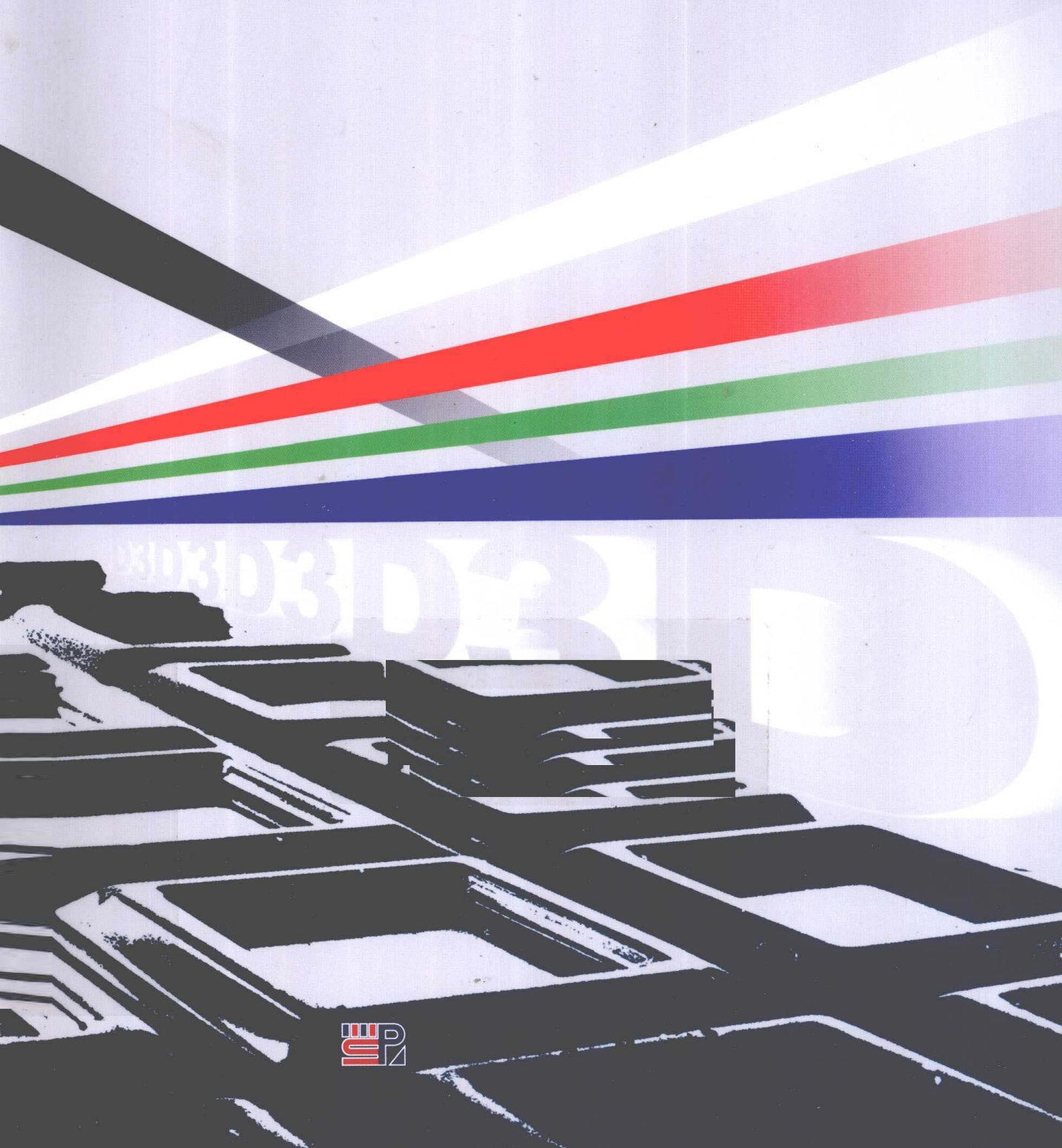


王琼华 编著

3D显示技术与器件



3D 显示技术与器件

王琼华 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了 3D 显示技术与器件。书中简要介绍了人眼立体视觉原理、2D 显示技术与器件及 3D 动画技术;重点阐述了助视 3D 显示、光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示和全息 3D 显示等各种 3D 显示器和系统的结构、原理和相关技术。针对助视/光栅 3D 显示,又详细介绍了基于立体拍摄和 2D 转 3D 技术获取视差图像的方法、多视点视频压缩与编码技术及立体观看视疲劳的产生原因和改善方法。最后列举了 3D 显示的应用实例。

本书可作为从事信息显示、广播电视、电影娱乐、广告传媒及虚拟现实等领域研究和技术开发的研究机构和企事业单位的科研和设计人员的参考书,也可作为相关专业本科生、研究生的学习用书,或高校教师的教学和科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

3D 显示技术与器件/王琼华编著. —北京:科学出版社, 2011. 4
ISBN 978-7-03-030666-1

I. ①3… II. ①王… III. ①三座标显示器-研究 IV. ①TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 052461 号

责任编辑:孙 芳 / 责任校对:李 影
责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011 年 4 月第一次印刷 印张: 18 3/4

印数: 1—3 000 字数: 358 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

客观真实世界是立体(3D)的,而显示媒体长期以来都是平面(2D)的,无论从美学的角度或是追求实用的目的,都是希望能如实地反映出真实的世界,为此,艺术家、科学家们都做了不懈的努力。

对 3D 显示技术的研究经过几起几落之后,3D 显示技术现已成为当今一个非常引人注目的科技前沿领域。早期,3D 电影问世曾使人耳目一新,沉寂了相当一段时间后,3D 浪潮再度升起。2008 年,日本有线 BS 11 频道开始播映 3D 节目;2009 年 12 月,耗资 5 亿美元的 3D 电影巨作《阿凡达》同时以多种版本,特别是 IMAX 在全球进行公映,到处是一票难求,盈利达数十亿美元;2010 年初的美国 CES 展会上,众多国际一线电视厂商纷纷推出 3D 电视新品;2010 年 4 月,天空传媒开办 3D 电视频道;2010 年 6 月,ESPN 开设新的 3D 体育频道并将在一年内进行 85 项赛事的 3D 转播等。因此,2010 年被称为“3D 新纪元”。随后,3D 电影、3D 电视、3D 游戏、3D 动漫和 3D 广告等也随之如火如荼地兴起。3D 不仅与我们的文娱生活密切相关,而且在科技、建筑、模拟训练,甚至军事战略中都具有重大意义,还将带来巨大的商业利益。因此,世界上的发达国家,如美国、韩国、日本、德国、英国、奥地利、荷兰等都纷纷斥巨资大力加强 3D 显示技术的研究,并竞相将 3D 显示技术列入国家发展计划。我国也不例外,对 3D 显示技术的研究也给予了高度重视,多所大学、科研院所及众多公司也早已涉入 3D 显示的技术研究和器件开发,并取得了可喜的成绩。因为几乎在相差不多的时间起步并加以重视,目前正处在群雄逐鹿的关键点上,所以,尚未出现绝对领先的单位和厂家。我国在总体上虽尚有差距,但在个别领域还是具有可圈可点的成绩,如果我们能及时集中财力、物力,并注重这方面人才的培养,是可以在未来的 3D 竞争中在国际舞台上占有一席之地,正如我国在移动通信的 3G 及 4G 领域中占有显著地位一样。

地处西南的四川大学是全国较早重视 3D 方面研究的院校之一,还专门成立了信息显示研究所,并已有出色的研究成果。《3D 显示技术与器件》一书作者王琼华教授是留美博士后,15 年来一直从事信息显示的科研和教学工作,并在 3D 显示领域深入开展了理论研究、器件研制和系统开发,取得了同行认可的佳绩。她长年潜心于 3D 显示的科研和教学第一线,深感在国内尚缺少能对 3D 显示技术与器件进行全面专业介绍的中文书籍,因此,萌发出要写这样一本书的念头。由于她对该领域有着深刻的见解和丰富的实践经验,因此,书中的叙述都比较客观、准确、深入浅出。本书不仅对从事 3D 显示技术的专业人员具有重要的参考意义,同

时也为热爱 3D 显示的广大读者提供了既全面又实用的启蒙好书。

我期望该书既弥补我国这方面的欠缺,也对我国 3D 显示技术与器件的发展起到积极的推动作用。

南开大学信息技术科学学院教授、中国电子学会会士

丁守谦

2011 年 2 月 25 日于天津

前 言

人类生活在一个 3D 立体世界里,但目前通常的显示器却只能实现 2D 显示。为了能更真实地还原所见世界,3D 显示已成为显示领域的新发展趋势。2009 年 12 月,美国立体电影《阿凡达》的放映掀起了 3D 显示的热潮,它让观众感受到 3D 的惊人魅力。相信在不久的将来,3D 显示产品将走进千家万户,成为我们生活中的一部分。可以说,3D 显示这项激动人心的技术具有划时代的意义,它在军事和国民经济发展中有着重要的战略意义和巨大的经济前景,故有人称它为“21 世纪最伟大的革命之一”。

虽然有关 3D 显示的研究可追溯到 19 世纪 30 年代,但由于科学技术水平的限制,20 世纪末 3D 显示才成为世界各国的研究热点。经过近十几年的发展,3D 显示技术可谓日新月异。然而,目前介绍 3D 显示技术与器件的图书却很少,有关的中文书籍更是屈指可数。本书正是基于此而编写的,书中既介绍了 3D 显示的基本常识,又涵盖了国内外现有研究理论和技术创新,其中不少就是作者本人带领的团队近年来承担“863”专题项目、国家自然科学基金项目、教育部新世纪优秀人才项目及四川省、广东省和成都市科技项目等取得的部分研究成果,可使读者对 3D 显示获得由浅入深直至前沿的认识。

本书在介绍 2D 显示技术、3D 动画显示技术及人眼立体视觉原理的基础上,以 3D 显示技术与器件为主体内容,着重阐述了助视 3D 显示、光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示和全息 3D 显示的实现原理和性能改善方法,力求尽量反映最新科研成果。考虑到助视 3D 显示和光栅 3D 显示都具有低成本、易于实现和性能良好等优点,同时,它们的技术较为成熟并已有产品得到使用,书中特别详细介绍了相关的基于立体拍摄和 2D 转 3D 技术获取视差图像的方法、多视点视频压缩与编码技术,以及立体观看视疲劳的产生原因和改善方法。当然,3D 显示实现方法远不止这些,随着人们对 3D 显示的认识和研究的不断加深,越来越多的 3D 显示方式将会产生。

作者带领的团队的部分师生参与了书稿的编写工作:王爱红参与了第 1、2、6、8、15 章,周凤和刘力为参与了第 3 章,赵悟翔、李磊和王芳宁参与了第 4、7 章,梁栋、祁林、宋呈群和吴迪参与了第 5 章,史国凯、罗江勇参与了第 9 章,彭华荣和谷俊参与了第 10 章,李小方和朱海东参与了第 11 章,邓欢、王芳宁和龚欣鑫参与了第 12 章,钟全民和罗成高参与了第 13 章,刘军、徐小清和崔建朋参与了第 14 章。

在本书编写过程中,四川大学的李大海教授、电子科技大学的杨刚副教授、西

南交通大学的彭强教授、北京科技大学的伍春洪副教授及中国图像图形学学会立体图像技术专业委员会的李昌教授和刘鉴君教授等专家提出了许多宝贵意见,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在不妥之处,殷切期望广大读者批评指正。

作 者

2011 年 1 月 18 日

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 3D 显示的概念与分类	1
1.2 3D 显示的发展历程	3
1.3 3D 显示的应用与意义	5
1.4 本书的主要内容	7
参考文献	9
第 2 章 立体视觉原理	11
2.1 人眼视觉功能	11
2.1.1 亮度分辨能力	11
2.1.2 空间分辨能力	13
2.1.3 时间分辨能力	14
2.1.4 颜色分辨能力	15
2.1.5 眼球运动	16
2.1.6 空间知觉	16
2.2 双眼视觉	16
2.2.1 双眼视野	16
2.2.2 双眼视觉功能	17
2.3 深度暗示	18
2.3.1 心理深度暗示	18
2.3.2 生理深度暗示	20
2.4 错觉图像	23
2.5 基于双目视差的 3D 显示原理	25
参考文献	26
第 3 章 2D 显示技术与器件概述	28
3.1 LCD 技术与器件	28
3.1.1 LCD 概述	28
3.1.2 三种主要的 LCD 器件	30
3.1.3 LCD 的工作模式	32

3.2 PDP 技术与器件	34
3.2.1 PDP 的结构与原理	34
3.2.2 PDP 的种类	35
3.2.3 PDP 的特点	37
3.3 OLED 技术与器件	38
3.3.1 OLED 的结构与原理	38
3.3.2 常见的 OLED 材料	40
3.3.3 OLED 的种类	41
3.4 投影显示技术与器件	42
3.4.1 LCD 投影机	42
3.4.2 LCOS 投影机	44
3.4.3 DLP 投影机	46
3.5 其他 2D 显示技术与器件	48
3.5.1 FED 器件	48
3.5.2 VFD 器件	49
3.5.3 电泳显示技术	50
3.5.4 激光显示器	51
参考文献	51
第 4 章 3D 动画技术	54
4.1 3D 动画的发展和特点	54
4.1.1 3D 动画的发展	54
4.1.2 3D 动画的特点	55
4.2 3D 几何造型基础	57
4.2.1 3D 图形系统的几何元素	57
4.2.2 形体表示的数据模型和过程模型	59
4.3 正则实体运算与 3D 物体表示方法	61
4.3.1 3D 实体的正则运算	61
4.3.2 3D 物体的表示方法	63
4.4 计算机 3D 图形处理	67
4.4.1 模型处理	67
4.4.2 光照处理	67
4.4.3 材质处理	68
4.4.4 其他处理	69
4.5 3D 建模软件 3ds Max 简介	69
参考文献	71

第 5 章 助视 3D 显示技术与器件	72
5.1 分色 3D 显示技术与器件	72
5.1.1 互补色 3D 显示的原理与器件	72
5.1.2 光谱分离 3D 彩色显示技术	73
5.2 偏振光 3D 显示技术与器件	74
5.2.1 偏振光 3D 显示的结构与原理	75
5.2.2 单投影机偏振光 3D 显示系统	76
5.2.3 直视偏振光 3D 显示器	76
5.3 快门 3D 显示技术与器件	77
5.3.1 快门 3D 显示系统的结构与原理	77
5.3.2 液晶快门眼镜及其配套的显示模式	79
5.4 头盔 3D 显示器	81
5.4.1 头盔显示器的结构与原理	81
5.4.2 头盔显示器的部件设计	82
参考文献	85
第 6 章 光栅 3D 显示器	87
6.1 光栅 3D 显示器的结构与原理	87
6.1.1 光栅 3D 显示器的基本结构与工作原理	87
6.1.2 光栅 3D 显示器的部件	89
6.1.3 多视点 3D 显示与斜置光栅	91
6.2 狭缝光栅的设计	92
6.2.1 前置狭缝光栅的设计	92
6.2.2 后置狭缝光栅的设计	93
6.3 柱透镜光栅的设计	94
6.3.1 柱透镜单元光传输特性	95
6.3.2 柱透镜光栅参数的确定	96
6.4 合成图像的生成方法	97
6.5 光栅 3D 显示器的视区与串扰	100
6.5.1 立体视区	100
6.5.2 立体图像的串扰	102
参考文献	104
第 7 章 光栅 3D 显示技术	106
7.1 莫尔条纹的消除方法	106
7.2 伪立体图像的消除方法	109
7.2.1 全黑视差图像法	109

7.2.2 偏光条栅法	110
7.2.3 头部跟踪法	112
7.3 狭缝光栅 3D 显示器的串扰减小方法	114
7.3.1 基于减小狭缝光栅透光条宽度的方法	114
7.3.2 基于阶梯狭缝光栅的方法	115
7.3.3 基于双狭缝光栅的方法	116
7.4 柱透镜光栅 3D 显示器的串扰减小方法	117
7.4.1 基于视差图像灰度调整的方法	117
7.4.2 基于子像素位置调整的方法	118
7.5 高分辨率 3D 显示的实现方法	121
7.5.1 空间复用技术	121
7.5.2 高帧频技术	122
7.5.3 双光栅技术	123
7.6 2D/3D 显示兼容的实现方法	125
7.6.1 狭缝光栅 2D/3D 显示兼容的实现方法	125
7.6.2 柱透镜光栅 2D/3D 显示兼容的实现方法	127
参考文献	129
第 8 章 视差图像获取之立体拍摄技术	132
8.1 立体相机结构	132
8.1.1 立体相机和立体拍摄概念	132
8.1.2 立体相机摆放结构	133
8.2 拍摄物空间与显示像空间的关系	135
8.2.1 拍摄物空间与显示像空间的坐标系变换	135
8.2.2 各种相机结构的拍摄物空间与显示像空间的关系	137
8.3 立体图像失真	140
8.3.1 深度非线性化	140
8.3.2 剪切失真	141
8.3.3 木偶剧效应	141
8.3.4 纸板效应	142
8.3.5 梯形失真	142
8.3.6 颜色失真	143
8.4 视差图像的视差畸变校正方法	144
8.5 视差图像的颜色校正方法	146
8.6 视差图像移位法	148
8.7 立体相机间距的选取方法	150

参考文献	151
第 9 章 视差图像获取之 2D 转 3D 技术	154
9.1 基于双目视差的深度图像提取方法	154
9.1.1 立体匹配算法	154
9.1.2 深度图像的计算	157
9.2 立体匹配算法的工作流程	158
9.2.1 匹配基元的选择	158
9.2.2 立体匹配算法约束准则	159
9.2.3 相似性测度	161
9.3 基于运动视差的深度图像提取方法	162
9.3.1 运动分析	163
9.3.2 基于运动矢量的深度描述	166
9.4 基于线性透视的深度图像提取方法	166
9.4.1 消失线与消失点的提取	167
9.4.2 梯度面构建与深度分配	167
9.5 其他深度图像提取方法	169
9.5.1 基于大气透视的方法	170
9.5.2 基于离焦的方法	170
9.5.3 基于聚焦的方法	171
9.5.4 基于单幅图像离焦的方法	172
9.6 深度图像的后续处理方法	173
9.6.1 双边滤波法	173
9.6.2 联合双边滤波法	174
9.6.3 三步联合双边滤波法	175
9.7 视差图像的生成方法	175
9.7.1 视差图像的生成原理	176
9.7.2 场景实际深度的计算	177
9.7.3 视差图像的生成方法	178
参考文献	179
第 10 章 多视点视频压缩与编码	182
10.1 多视点图像的表达法	182
10.1.1 2D 图像加深度图像表示法	182
10.1.2 对象/模型表示法	183
10.1.3 分形表示法	183
10.1.4 变换域表示法	183

10.2 多视点图像的压缩方法	184
10.2.1 预测法	184
10.2.2 预测法中影响视差求取的因素	185
10.2.3 变换域法	186
10.2.4 分形法	187
10.3 多视点图像的编码方法	188
10.3.1 编解码结构	188
10.3.2 编码方法	188
10.4 MPEG-2 和 MPEG-4 编码协议	191
10.4.1 MPEG-2 编码协议	191
10.4.2 MPEG-4 编码协议	193
10.5 H.264/MPEG-4 AVC 编码协议	194
10.6 多视点视频编码	197
10.6.1 MVC 标准	198
10.6.2 MVC 编码工具	200
参考文献	201
第 11 章 立体观看视疲劳	203
11.1 立体观看视疲劳概述	203
11.1.1 立体观看视疲劳概念	203
11.1.2 立体观看视疲劳的产生原因	204
11.1.3 立体观看视疲劳的评价方法	205
11.2 两眼集合与焦点调节	207
11.3 引起立体观看视疲劳的器件因素	208
11.3.1 助视 3D 显示器	208
11.3.2 光栅 3D 显示器	210
11.4 引起立体观看视疲劳的其他因素	210
11.4.1 水平视差和垂直视差	210
11.4.2 有缺陷的左右视差图像	212
11.4.3 观看者和观看环境	213
参考文献	214
第 12 章 集成成像 3D 显示技术与系统	216
12.1 集成成像概述	216
12.1.1 集成成像的原理	216
12.1.2 集成成像的特点	217
12.1.3 集成成像的种类	218

12.1.4 集成成像的发展史	218
12.2 显示模式和观看特性参数	219
12.2.1 显示模式	219
12.2.2 观看特性参数	221
12.3 深度反转及其解决方法	223
12.3.1 深度反转的成因	223
12.3.2 实现无深度反转的实虚模式转换法	224
12.3.3 实现无深度反转的两步拍摄法	225
12.4 消串扰和深度反转的渐变折射率透镜法	226
12.4.1 渐变折射率透镜的特性	226
12.4.2 消串扰和深度反转的原理	227
12.5 图像分辨率和观看视角的改进技术	230
12.5.1 提高图像分辨率的技术	231
12.5.2 增大观看视角的技术	232
12.6 增强图像深度的技术	233
12.6.1 复合透镜阵列法	233
12.6.2 可变焦透镜阵列法	234
12.6.3 双显示屏法	235
12.7 3D/2D 可转换集成成像显示系统	236
参考文献	239
第 13 章 体 3D 显示技术与系统	241
13.1 基于动态屏的体 3D 显示技术与系统	241
13.1.1 显示系统结构	241
13.1.2 动态屏的特性	242
13.1.3 3D 成像原理与过程	244
13.1.4 性能提升的技术问题	245
13.2 基于上转换发光的体 3D 显示技术与系统	246
13.2.1 上转换发光原理	247
13.2.2 系统结构与原理	248
13.2.3 上转换发光材料的特点	250
13.3 基于层屏的体 3D 显示技术与系统	252
13.3.1 系统结构与原理	252
13.3.2 层屏的设计与工作原理	253
13.3.3 投影机镜头的设计	253
13.3.4 图形失真及其解决方法	254

参考文献	255
第 14 章 全息 3D 显示技术	257
14.1 全息技术概述	257
14.2 全息技术理论	258
14.2.1 全息波前记录	258
14.2.2 全息波前再现	261
14.3 光学全息	263
14.3.1 同轴全息和离轴全息	264
14.3.2 菲涅耳全息和夫琅禾费全息	267
14.3.3 体积全息	269
14.4 全息 3D 显示技术	271
14.4.1 合成全息 3D 显示技术	271
14.4.2 数字全息 3D 显示技术	273
14.4.3 基于可擦写材料的全息 3D 显示技术	274
参考文献	275
第 15 章 3D 显示的应用系统	277
15.1 立体监控	277
15.2 3D 游戏	280
15.3 3D 测量	281
15.4 立体鼠标	284
参考文献	285

第 1 章 绪 论

作为信息链(获取、处理、存储、传输、显示)中重要的一环,显示是当今发展的重要信息技术之一。“更真实地还原所见世界”一直是人们追求的目标,这一目标也一直促进着显示技术的发展。自 20 世纪以来,随着显示技术的革新,从小尺寸到大尺寸、从黑白到彩色、从阴极射线管(cathode ray tube,CRT)到平板显示(flat panel display,FPD)、从模拟到数字、从标清到高清,一代又一代的显示技术使得人们的视觉体验逐渐变得更真实。然而,人们依然没有停止寻找更真实视觉体验的步伐,3D 显示(three-dimensional display,三维显示)替代 2D 显示(two-dimensional display,二维显示)或两者并存将成为未来的发展趋势。

1.1 3D 显示的概念与分类

3D 显示与立体显示没有严格的区别,本书将它们视为等同的概念。若 3D 显示与 2D 显示相对应,那么,立体显示就与平面显示相对应。本书主要采用 2D 显示和 3D 显示这两个术语。

3D 显示是指采用光学等多种技术手段来模拟实现人眼的立体视觉特性,将空间物体以 3D 信息再现出来,呈现出具有纵深感的立体图像的一种显示方式。3D 显示器/电视机是指能够显示具有完整深度信息的立体图像的显示器/电视机。由于显示器和电视机都是信息显示的终端设备,它们的显示原理与技术相似,故本书将主要提及显示器。

3D 显示器的实际显示效果一般无法在平面纸张上给出,在图 1.1 中给出了两种 3D 显示器及其显示效果示意图。其中,图 1.1(a)所示为光栅 3D 显示器,图中“飞艇”在 3D 显示时凸出显示屏外,而“陀螺”则凹进显示屏内;图 1.1(b)所示为体 3D 显示器,图中立体图像显示在真实的球形立体空间范围内,观看者在该球体四周都可观看到立体显示效果。相比于 2D 显示,3D 显示提供给观看者更加强有力的沉浸感和震撼力。随着 3D 显示的技术发展和产品商业化,人类的视觉体验将再次革新,真实世界和虚拟世界的逼真再现即将变为现实。

人们之所以能够轻易地判断出物体在空间中的位置及不同物体间的相对位置,是因为人眼具有立体视觉,这将在第 2 章中详细叙述。简言之,人们用以感知空间的主要生理机能具有焦点调节、两眼集合、双目视差及单眼移动视差等。其中,双目视差担负着立体空间知觉的核心任务。焦点调节是为了把所注视的物体清晰

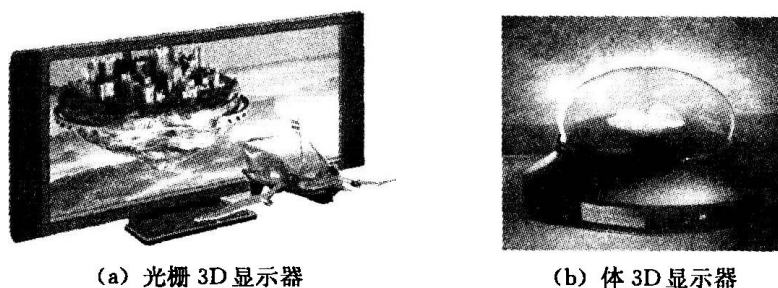


图 1.1 两种 3D 显示器及其显示效果示意图

地成像到视网膜上的眼球动作；两眼集合是当人在注视某个物体时左右眼视线往注视点上交汇而产生的眼球动作；双目视差是指由于人的左右眼从不同角度观看物体，从而成像于左右眼视网膜上的图像略有差异；单眼移动视差是指当观看者或被观看物体发生移动时人眼将看到物体的不同侧面。3D 显示就是以人眼的立体视觉特性为基础的。

随着人们对 3D 显示认识的不断加深，已提出各种技术实现了多种 3D 显示方式。目前，主流的 3D 显示主要有眼镜 3D 显示、头盔 3D 显示、光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示、全息 3D 显示等。可采用不同的分类标准将这些 3D 显示进行分类，使其系统化和规范化。通常而言，分类方法主要有两种：第一种根据观看者在观看立体图像时是否需要佩戴眼镜等助视设备将 3D 显示分为助视 3D 显示和裸视 3D 显示两大类，如图 1.2 所示；第二种根据是否存在显示机理和人眼视觉生理之间的矛盾将 3D 显示分为助视/光栅 3D 显示和真 3D(true 3D)显示两大类，如图 1.3 所示。

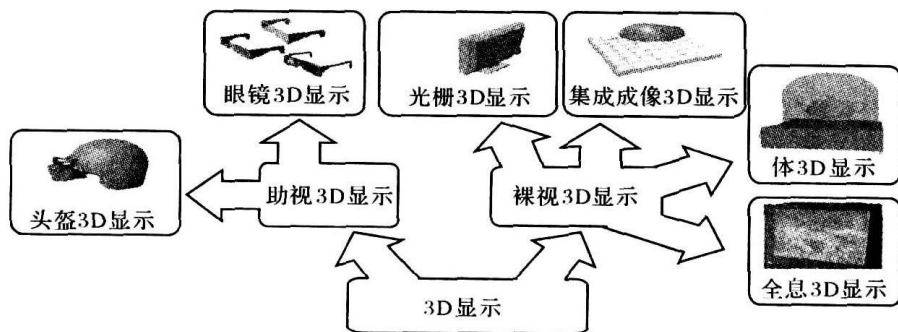


图 1.2 3D 显示的第一种分类

在第一种分类中，眼镜 3D 显示、头盔 3D 显示属于助视 3D 显示，光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示、全息 3D 显示属于裸视 3D 显示。裸视 3D 显示中的光栅 3D 显示又包括两视点和多视点 3D 显示两种，而多视点 3D 显示又称为