

基于全景漫游技术的可视化交互设计理论与实践研究

马申彦

2017 年 2 月 24 日

目录

第一章 全景漫游技术与设计	3
1.1 全景漫游的目的	3
1.2 全景漫游的现状	3
1.3 全景漫游与设计结合的必要性	3
1.4 全景漫游中可视化交互理论研究的意义	4
第二章 全景漫游行业的市场现状	5
2.1 全景漫游技术总览	5
2.1.1 场景呈现硬件技术	5
2.1.2 场景捕获硬件技术	5
2.1.3 场景处理技术	5
2.1.4 场景还原与增强技术	6
2.2 全景漫游市场前景	6
2.3 全景漫游产业类别	6
2.4 全景漫游现有 APP 分析	7
2.4.1 Ascape	7
2.4.2 Fulldive	7
2.4.3 VR X-Racer	8
2.4.4 暴风魔镜 VR	10
2.5 全景漫游行业现状总结	10
第三章 全景漫游与人的关系	12
3.1 全景漫游的生理行为特性	12
3.1.1 全景漫游与视觉特征	12
3.1.2 全景漫游与听觉特征	14
3.2 全景漫游与肢体动作	15
3.2.1 平衡感	15
3.2.2 关节运动	16
第四章 全景漫游的交互形式	18
第五章 全景漫游的交互实现	19

目 录	2
第六章 待写部分	20
第七章 参考文献	21

第一章 全景漫游技术与设计

1.1 全景漫游的目的

古语云：眼观六路，耳听八方

这句话本意是形容人机灵活，遇事能多方观察分析。而如今科技进步迅猛、社会发展气象万千，古时人们所向往的“千里眼”和“顺风耳”早已成为了现实（卫星雷达和手机电话），信息获取效率相比于古代有了巨大的提升。人们真正地做到了“眼观六路，耳听八方”。但这些技术往往只是片面地延展了人的感官能力，只是将人与物间某些距离拉近了，少有将人作为感官系统的中心来进行考量。在现代信息通讯过程中，人被排除在计算机的屏幕之外，人和真正的信息之间有一层薄薄的但难以直接接触的玻璃阻隔。

古希腊的哲学家普罗泰戈拉说过：“人是万物的尺度，是存在的事物存在的尺度，也是不存在的事物不存在的尺度。”。借助现有科学技术，可以轻易地观摩到深入海底数公里的珊瑚礁分布、险象环生的热带雨林内生物的栖息环境、甚至是浩瀚无垠的太空中星象奇观。面对如此美景，只是观赏单一的图像帧序列来企图感受自然的奥妙总是觉得少了一份身临其境的体验。

人并不是一定要盯着一块显示屏。显然可得的想法就是利用显示屏将人的视线包裹起来，这样观察起来具有良好的主动性和体验感，同时规避了将人置于一些特殊环境所带来的附加成本或是风险因素。虽是虚拟，胜似现实，这就是“虚拟现实”的意义。而“全景漫游”则是“虚拟现实”中重要的一部分。

1.2 全景漫游的现状

全景漫游是当今互联网行业发展最为迅速的技术之一，它是虚拟现实（即 VR 技术）的基础。沉浸性和交互性是其得到众多用户青睐的最主要原因，可供用户身临其境般体验的图形化界面，以及不同于传统平面媒介的交互手段共同促进了全景漫游技术的推广。全景漫游解决了传统工业界对于空间概念呈现形式不足的痛点，通过定义场景的 360 度无缝全景图像，仿佛使人置身于制作者脑海中设计出的环境内，配合移动设备内置陀螺仪支持的重力感应功能，足不出户即可感受任何可以用图像表达的场景。80 天环游地球不再只是一个梦想，而且现今全景播放设备层出不穷，最便宜的 Google Cardboard 制作成本不足一元钱，人人 VR 的时代即将到来。

1.3 全景漫游与设计结合的必要性

设计行业向来紧跟时代发展潮流，全景漫游技术已经发展地比较成熟，因其本身具有互联网基因，故将其移植至设计产业的成本相较传统的工业技术会显著降低。传统产品原型技术将产品制作模型交付演示的时代可能即将被虚拟化技术所取代，相伴随的是设计成本的减轻以及设计迭代的加速。将全景漫游技术引入设计

行业的难点在于将全景展示的程式化模型转化为用户可探索、可理解、可学习的交互模型，现阶段的问题在于用户进入场景之后因场景与以往二维界面的割裂而导致心理产生的不适应性使其手足无措。值得研究的重点环节是降低用户的初次体验成本，加深用户记忆中对操作流程感悟的交互模型，最终达到用户无缝体验设计师所要传达的设计意图的目的。

1.4 全景漫游中可视化交互理论研究的意义

本课题旨在探索全景漫游场景中应用程序接口与用户心智模型的转化过程，通过分析场景程序执行的逻辑，用户操作的普适性规律以及人类学习行为的通常过程，将三者有机结合，以场景插件程序的形式进行封装，并提取出相应的 API 接口，以供本课题其后实例开发及其他对本课题感兴趣的开发者使用。可视化技术对于工业发展的提升是显然的，从传统的制图学到近代的计算机辅助制图，再到现今的三维模拟技术，工业界向来拥抱可视化技术的前沿。可视化交互的意义就在于将图形化表述的产品按照其功能有机地组合起来，以可体验的形式呈现给用户/开发者。不再需要对产品的每部分组成有基础的了解也可认知其完成状态，也就意味着机械产品设计的成本进一步降低，普及到每个想要创造的人身上进而使其创造出更多产品的可能性变得现实。1.4

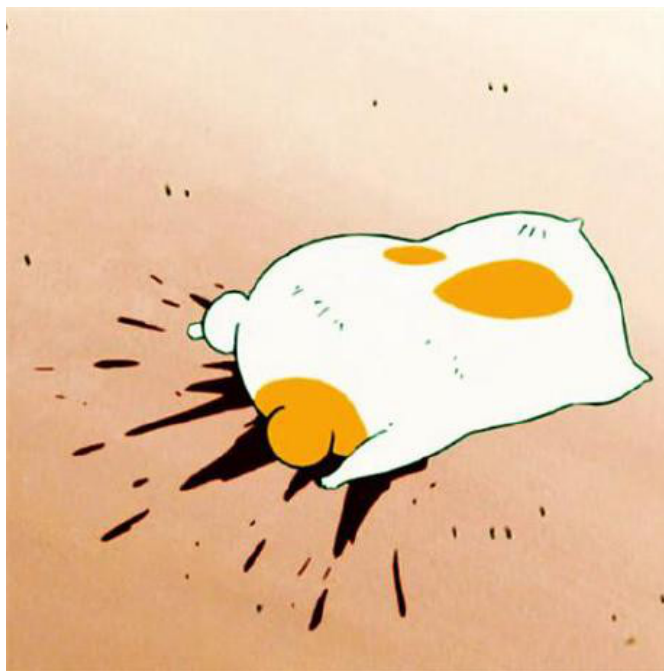


图 1.1: test

第二章 全景漫游行业的市场现状

2.1 全景漫游技术总览

全景漫游技术按载体分类可分为：

1. 场景捕获硬件技术：视频捕获设备及其保障设备，用以采集全景漫游的视频、图片、音频等素材。
2. 场景呈现硬件技术：主要包括 VR 眼镜、VR 互动手柄、VR 主机等。
3. 场景处理技术：场景规划设计、场景素材的保存与传输以及相应程序开发等。
4. 场景还原与增强技术：将场景素材与功能模块有机地整合，提供给用户身临其境般的全景漫游体验。

2.1.1 场景呈现硬件技术

相对而言，硬件技术相比于后两者进入门槛更高。目前市场上三大 VR 硬件厂商 OculusRift、HTCVive 和 PlayStationVR 几乎垄断了高端 VR 播放设备市场。之后加入 VR 市场的企业（如暴风、大朋、3Glasses、蚁视等）几乎都放低了姿态，推出了价格低廉但基本满足播放功能的入门级 VR 眼镜作为卖点。但随着 Google Cardboard 的推出，这款几乎没有成本可言的开源“硬件”迅速占领了低端 VR 硬件行业相当客观的市场份额。

2.1.2 场景捕获硬件技术

场景捕获技术的难点在于实时捕获，合成全景照片是一般手机都拥有的功能，大致原理就是捕获数张连续且相近的照片并通过算法进行合成球形场景。但实时场景捕获硬件的成本因其同步的特性更为高昂，目前市面上已有的厂商例如 Google JUMP、NOKIA OZO 等均是现有平面镜头进行堆叠排布并通过后期处理合成虚拟场景，且这种方式因需要较多的镜头来堆砌同时刻的画面所以硬件成本非常高。目前市面上尚只有堆叠摄像头这一种方式进行全景场景捕获，而光场摄影等技术仍处在技术攻关阶段，相信不久的将来有可能出现消费级的场景捕获硬件。

2.1.3 场景处理技术

场景处理是目前全景漫游软件领域需要重点攻克的最大难关，但市面上各企业已基本做到自给自足的技术支持。全景漫游所依赖的基础是图像信号的捕获、加工与储存，而这些方面已有较多成功经验。目前 Web 端视频播放协议有以下两种：Real Time Messaging Protocol（实时消息传输协议，简称 RTMP）和 HTTP Live Streaming（HTTP 渐进下载，简称 HLS）。这两者是截然不同的两种协议，而且 iPhone 等手机由于不自带支持 Flash 播放，一般考虑全端支持的流媒体播放会选用 HLS 作为传输协议，即对视频做切片，边播放边加载下一时段的切片。

2.1.4 场景还原与增强技术

场景还原与增强是与用户直接相连的部分，可以说前面的技术都是起为其保驾护航的功能。其中场景还原部分为计算机图形学的范畴，例如图像在空间上的曲率计算等，主要涉及到的技术有 OpenGL / WebGL 等，用于将二维图像还原成球状的场景。而场景增强技术则是本文所讨论的重点，其又分前处理和后处理两种，但因场景搭建的过程比较复杂，所以两种处理模式界限并不是特别清晰。

场景前处理代表：Unity3D Unity3D 是由 Unity Technologies 开发的一个让玩家轻松创建诸如三维视频游戏、建筑可视化、实时三维动画等类型互动内容的多平台的综合型游戏开发工具，是一个全面整合的专业游戏引擎。¹

场景后处理代表：Krpno Krpno 是一个小巧灵活的用来呈现各种全景图像和交互式的虚拟之旅的高性能全景查看器。可作为 Flash 和 HTML5 应用程序在 Web 上使用。并附有利用拖拽全景生成场景的 Krpno Tools 以供开发者快速生成用以展示的全景场景。本文将应用其进行部分设计案例的制作与演示。

场景后处理代表：Aframe Aframe 是一个用 Web 技术构建 VR 体验的框架。使用 HTML 语言及实体组件来构建场景，可应用于 web / mobile 和其他多种设备端。本文将应用其进行部分设计案例的制作与演示。

2.2 全景漫游市场前景

2016 年，随着三大 VR 设备开始出售，未来 2-3 年 VR 设备普及率将快速提升。到达 2020 年，虚拟现实生态圈将初步形成，内容、服务等盈利模式逐步成熟，全球 VR 市场规模将达到 404 亿美元，VR 游戏市场规模将达到 149.5 亿美元。²

虚拟现实（VR/AR）产业市场具有良好前景，2015 年中国虚拟现实行业市场规模为 15.4 亿元人民币。融资方面，国内 VR/AR 领域投资活跃度从 2015 年开始显著提升，2015 年第四季度和 2016 年第一季度的融资额均接近 10 亿元。其中显示设备融资占据首要地位，2015 年融资案例数量占比 30%，融资额占比 69%；内容制作的融资案例数量虽然占比 22%，但融资额仅占比 6%³。可见 VR 及全景漫游方向的内容制作生产领域仍处于起步阶段，与硬件厂商等差距较大，但同时其中也孕育了巨大的商机。

VR 内容开发受市场认可，线下体验馆增长迅速。由于中国 VR 市场主流设备仍以移动端 VR 眼镜为主，VR 视频内容的开发数量要远多于 VR 游戏内容。VR 平台上已有约 2700 款视频和 800 款游戏。预计 2020 年中国 VR 设备出货量 820 万台，用户量超过 2500 万人，见图2.1。

2.3 全景漫游产业类别

全景漫游产业按出发点可大体分为两类：

- 以视频、游戏为主的虚拟内容提供商／平台商
- 涉及电商、教育、医疗、建筑等传统行业的行业融合应用服务商

短期而言，市场上比较活跃的是虚拟内容提供商，但长远而言，ToB 模式更利于产生更为健壮的全景漫游服务体系，对于高质内容的生产、分发和变现的模式也偏向于有传统大规模企业的行业服务商。

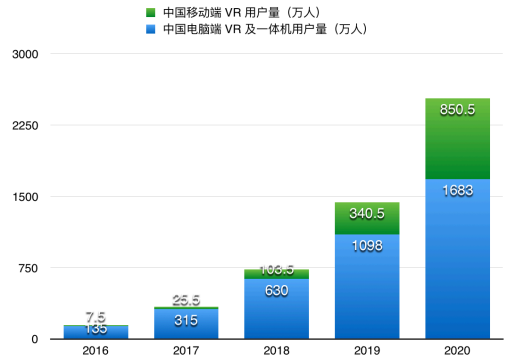


图 2.1: 2016-2020 年中国 VR 用户规模

2.4 全景漫游现有 APP 分析

2.4.1 Ascape

Ascape 这款应用通过 360° 无缝全景视频让你通过景色的立体画面切身体验视频中呈现的著名景点，探索只有当地人才知道的隐藏宝藏的经历。并且镜头会伴随着你的移动，画面的位置和显示的角度都会随之改变，见图2.2。



图 2.2: 简洁的全景视频播放

同时，这款应用在 APP 传统界面上也继承了欧美一向以来的简约风格：“探索”页面采用卡片设计模式直观展示了新奇的场景；“发现”页面通过地图和名单两种模式展示了全球各地的场景选项；“我的旅行”也通过卡片模式展示了已下载的全景场景，见图2.3。

2.4.2 Fulldive

Fulldive 是一个智能手机与虚拟场景连接的平台，进入 APP 后即进入了一个全景漫游的世界。场景内包含常用的网络视频、本地视频／图片、VR 相机、VR 浏览器等应用，同时支持从其内部市场下载更多基于其

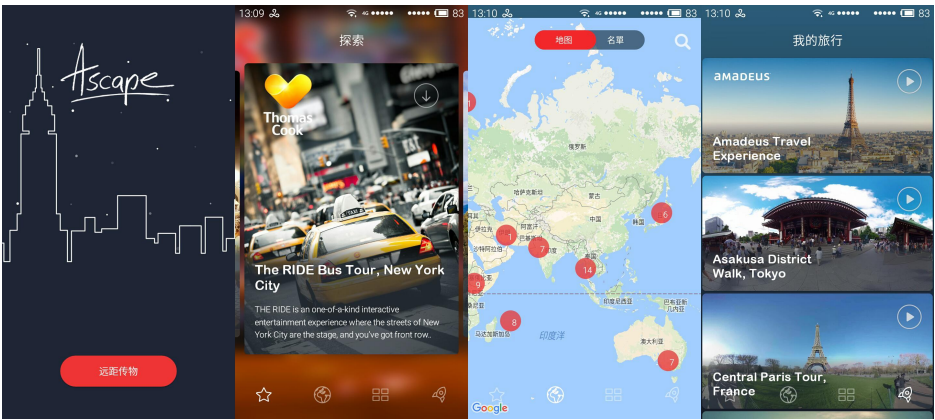


图 2.3: 简洁的全景视频播放

开发的 VR 应用，见图2.4。

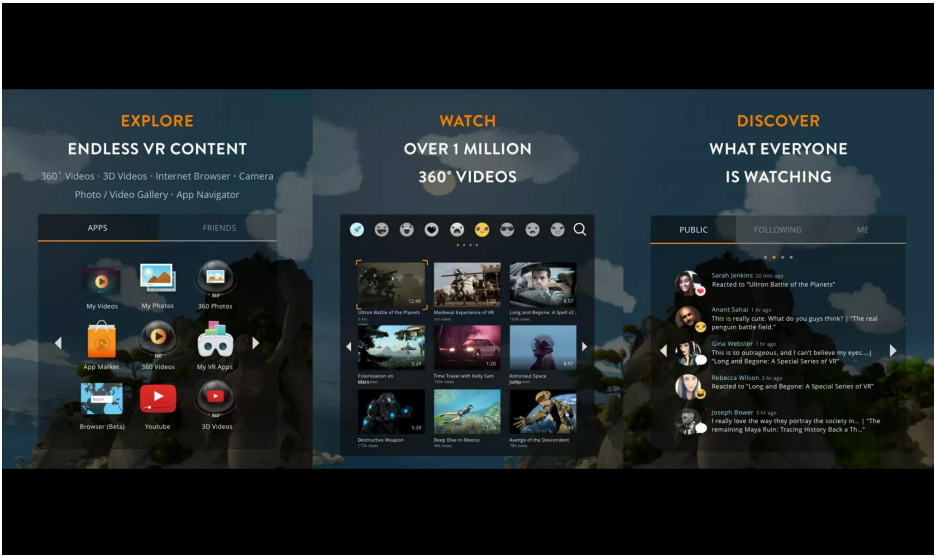


图 2.4: Fulldive 内置的应用列表

与 Ascape 不同之处在于 Fulldive 的操控完全是在虚拟全景中，所以在播放视频及操作选项时 Fulldive 有一些针对配戴 VR 眼镜者所特别提供的操作方式，见图2.5。例如，将视线聚焦在某个按钮上超过 3 秒后即视为按下了该按钮。这是一种与桌面鼠标和触屏点按都完全不同的交互形式，借鉴了鼠标的双击或是触屏的长按这两种操作，见图2.6。

当然，这种模拟点击的操作只适用于“确认／取消”这种布尔判断的操作，用户需要输入大段的文字时则需有更高效的方式。Fulldive 结合了已日益成熟的语音识别技术，图2.7为实际操作 Fulldive 搜索功能并口述“中国地质大学”后的 APP 截屏。

2.4.3 VR X-Racer

VR X-Racer 是一款简单的 VR 操控类飞行游戏，其操作方式为晃动设备（如 VR 眼镜或手机）来控制屏幕上的飞机躲避障碍物，见图2.8。这是全景漫游技术在游戏上最直接的体现：几乎没有多余的操作，在游

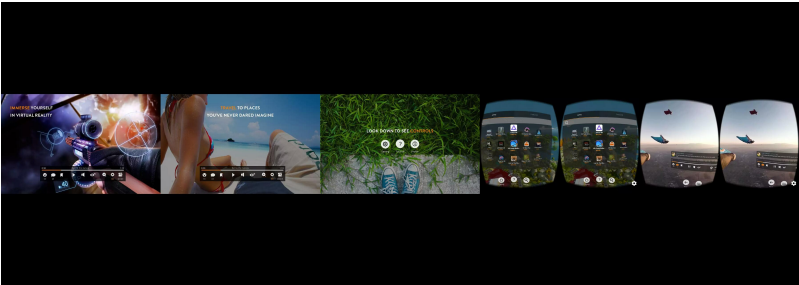


图 2.5: Fulldive 特有操作形式



图 2.6: Fulldive 视线停留模拟点击



图 2.7: Fulldive 语音识别

戏中飞机撞到障碍物坠毁后若干秒即自动重新开始游戏。但其最大的缺陷是无法长时间使用，不断晃动的全景屏幕容易使人产生眩晕、恶心等不良反应。全景漫游与 3D 影片的体验是完全不同的，全景漫游将用户完全包裹在视频所构建的封闭环境中，而 3D 眼镜只是对屏幕这种有限区域进行了折射。两者的区别在于 3D 影片由于有周围环境作为铺垫不易使人完全沉浸其中，全景漫游则是在很短的时间内（20-30 秒）就使人沉浸在虚拟世界中，直至摘掉全景设备重新适应周围环境。



图 2.8: X-racer 游戏截图

2.4.4 暴风魔镜 VR

暴风影音是国内在全景漫游生态领域探索前沿的产品之一，其高端产品售价可达数千元，甚至与国外高端 VR 设备如 Oculus 和 GearVR 等价格相齐。与其硬件设备配套的则是一款叫做“暴风魔镜 VR”的手机 APP。

国内 APP 的发展方向一直是“大而全”，这款 APP 也不例外。暴风魔镜 VR 力图包括网络/本地视频、影音播放与 VR APP 等多种应用，形成自己的 VR 平台体系。同时支持普通的 APP 界面操作模式和全景漫游的 VR 模式。

在交互形式上与上文所列举的 Fulldive 类似，均为视线聚焦停留数秒视为确认，但缺少了语音识别输入大段文字的功能（在页面模式下支持手机输入法输入），如图 2.9。总体使用可满足基本的全景漫游体验，但识别速度较慢或误识别是比较严重的问题。

值得注意的一点是，暴风魔镜 VR APP 内场景下方有一个“归位”图标，触发后将会调整屏幕主视域至正对当前屏幕的位置，可类比于传统 APP 的“回到顶部”功能。这个功能很方便地起到了定位自身的作用，让用户不必盲目转动来寻找起始时正对着的界面。

2.5 全景漫游行业现状总结

全景漫游正处在行业发展的成长期，相关技术发展迅速，但同质化较为严重。众多厂商基于经济利益考量注重硬件设备的研发和更新换代，但软件质量与硬件质量仍有一定的差距，主要体现软件交互设计的质量上。

在全景漫游的交互设计上，国内外 APP 均有较多针对与不同与传统人机界面交互的创新点，例如前文列举的“视线停留数秒确定”、“语音识别”和“底部 Docker 栏”等。但交互可操作性相比于传统人机界面还有一定的差距，例如无法很快定位到所需内容、运动过程中不易操控等问题。同时，在全景漫游的现有设计中，仍旧无法脱离面向传统人机界面的设计语境，在考虑保留用户习惯的同时难以创新出更为独特的交互模式，可以说是全景漫游交互设计亟待研究的难点。

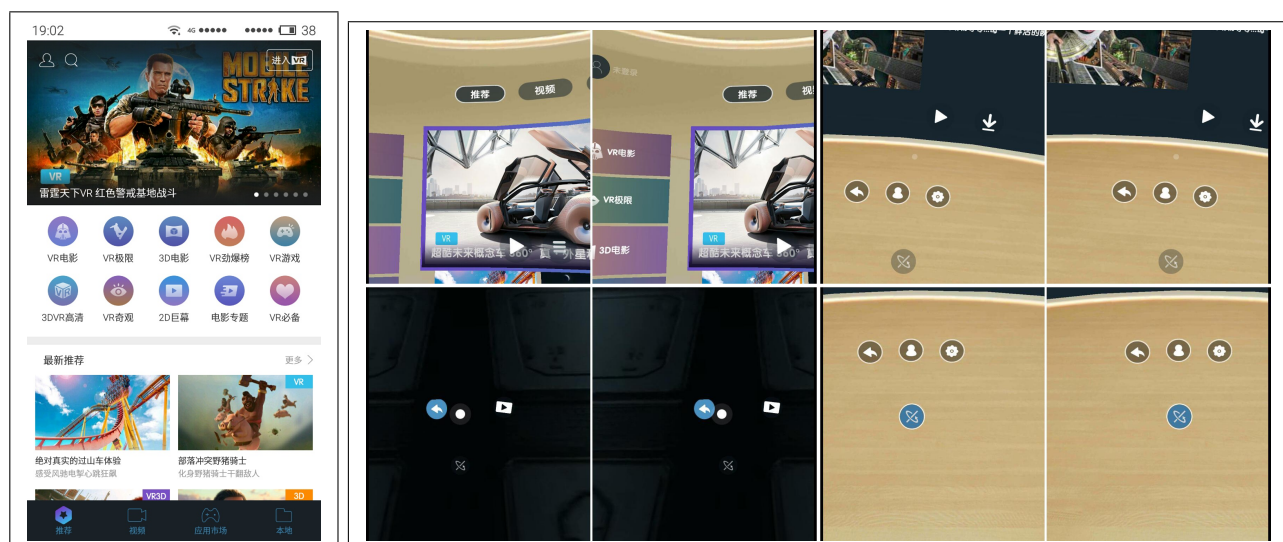


图 2.9: 暴风魔镜 VR 操作方式

全景漫游的行业发展离不开全景漫游的软硬件及生态环境的良好结合，只有如此才能留存有效用户并产生价值，故行业目前的重点就是在软硬件上均体现出应有的价值提升。其中，软件方面可在全景漫游领域的交互方向结合相关理论作出新的设计以改善用户体验。

第三章 全景漫游与人的关系

3.1 全景漫游的生理行为特性

实现全景漫游与传统人机界面最大的区别在于全景漫游时的设备（包括 VR 眼镜或专用眼罩）距离人眼只有 2 ~ 3 公分距离，设备整体对人眼呈包裹状态。使用者仅可通过听觉和其他一些不够灵敏的感觉来感受外界环境，使用环境的舒适性就变得非常重要。

全景漫游与人体关联的感觉和生理运动大致有：视觉、听觉、肢体运动等。如图3.1。

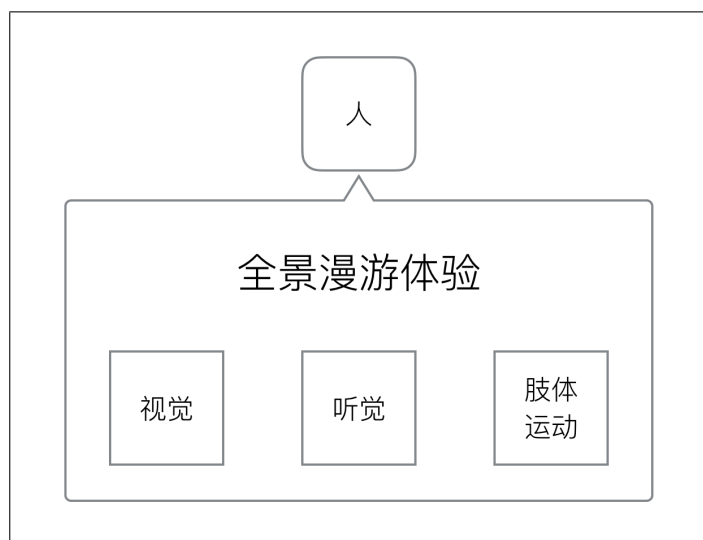


图 3.1: 全景漫游与人体知觉

3.1.1 全景漫游与视觉特征

全景漫游对人体最大的刺激来源即是视觉刺激，其特征为距离眼睛距离近，色彩、明暗、动作变化等刺激较一般显示屏幕会更为剧烈。

视角与视野

人的视角是确定被看物尺寸范围的两端点光线射入眼球的相交角度。视角的大小与观察距离及被看物体上两端点的直线距离有关，其计算公式3.1如下：

$$\alpha = 2 \arctan \frac{D}{2L} \quad (3.1)$$

其中， α 为视角，用 (') 表示，即 $(1/60)^\circ$ 单位；D 为被看物体上两端点的直线距离；L 为眼睛到被看物体的距离。如果设眼球距镜片距离为 1.5cm，而镜片上一物体显示高度为 2cm，则带入公式可得3.2

$$\alpha = 2 \arctan \frac{2cm}{2 * 1.5cm} \approx 67.38^\circ = 2 \times 38.69^\circ \tag{3.2}$$

即上下视角各约为 38.69° ，查阅数据可知人在垂直平面的视野最大视区为视平线以上 50° 和视平线以下 70° ，颜色辨别界限为视平线以上 30° ，视平线以下 40° 。

由上述计算可知，在使用全景漫游设备观看场景时，假设高为 2cm 的显示物体在人视野中上部已超出颜色辨别界限，下部也已接近颜色辨别界限。物体上部比下部更接近垂直平面内的视野极限，如图3.2。由此可知，全景漫游场景设计中应将主要元素置于屏幕中央，次要元素尽可能置于屏幕下方以便识别操作。同时，色彩丰富且饱和度高的元素也应置于视野中部，而一些操作类的元素则不应用过于丰富饱和的色彩缀饰，以免让使用者应难以分辨色彩而操作出错。

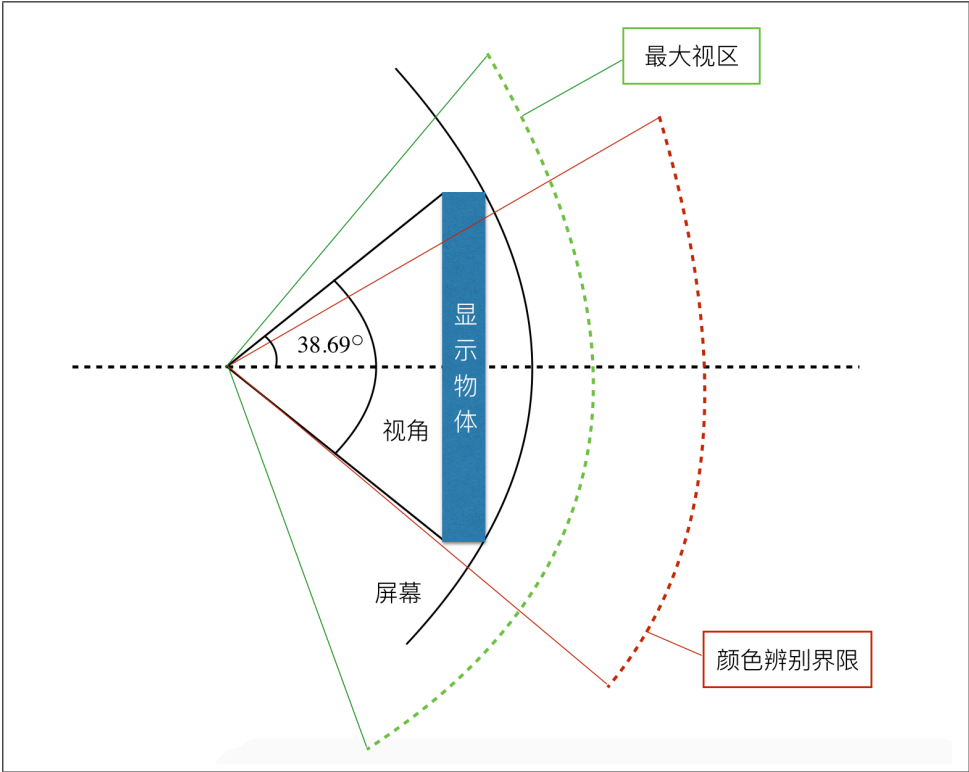


图 3.2: 全景漫游中视野的角度关系

视觉适应

配戴全景漫游设备进行观察时，屏幕距眼球距离不足 2cm，属于视距过近状态，应当避免长时间操作，否则易引起眼睛疲劳。同时由于屏幕与眼球距离过近，屏幕亮暗对眼球刺激比通常工作环境更为强烈。当屏幕上场景切换间明暗变化过快时，人眼需要一定的适应时间才能正常分辨，但由于全景漫游设备等封闭性，无法较轻易地脱离这种明暗急剧变化的环境，则眼睛无法得到充足有效的适应时间，则很容易产生视觉疲劳，影响视觉能力。

3.1.2 全景漫游与听觉特征

全景漫游的视觉是主要人体感觉，但听觉是仅此于视觉的重要感觉，尤其是在视觉被全景场景完全包裹住的情况下。

现有全景漫游设备有的自带耳机设备，也有的需要自行配备耳机。但长远来看，配备耳机可能是必然的选择。因为人耳具有“方向敏感度”（或称“双耳效应”），即：声波在进入鼓膜时，受人体的反射、折射和衍射而扭曲变形，大脑能根据经验判断出声源的方位和距离。而前文所说的“耳听八方”即说的是这种能够重建场景音效的能力。

双耳效应

为了“制造”出能够“蒙骗”大脑使其误以为使用者身处虚拟场景中的体验，大致方向是重建出空间任意一点至双耳处的滤波器函数。我们不必去关心空间中某一点的声波是如何传播到人耳中的，只需要将该点声波信号经过滤波器便可以得到它在人耳处的声波信号，如图3.3。而这个信号是可逆的，即被人耳捕捉到之后便由大脑还原成相应位置的“声信号”，从而达到“欺骗”大脑的目的。这个领域的研究对象叫做 HRTF（Head Related Transfer Function）：头相关变换函数，是一种音效定位算法。但每个人的听觉能力都是不同的，所以 HRTF 对人类整体并没有通解，而只有对于人类个体经过反复实验测试后的特解。

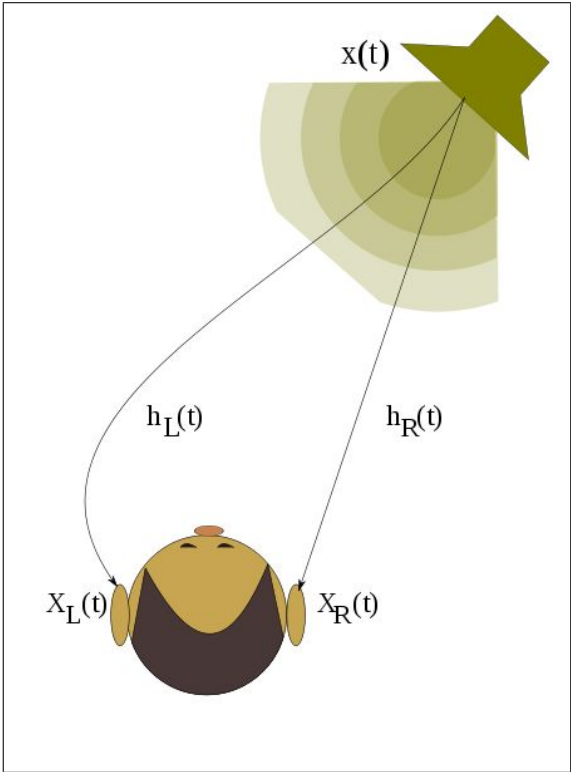


图 3.3: 头相关变换函数 HRTF

国内外已有厂商根据相关理论设计并制作出了 VR 耳机，可配合 VR 眼镜使用，也可独立使用，它会追踪使用者的姿态、位置变化等，进而计算并还原出模拟三维场景内的声音分布，让使用者仿佛置于真实的场景之中。

视觉的「补充」

虽然声音不是可视化领域的研究重点，但良好的听觉体验的确有利于信息渠道的建立。视觉与听觉互为补充、相互作用、最终是人的知觉更为敏锐而准确。可以设想以下场景：「用户配戴全景漫游头盔进行一场探险类的游戏，用户扮演的主人公正在探索未知的世界，正当主人公小心翼翼地穿过一片沼泽时，后方突然传来了一声尖叫……」如图3.4看不见的事物通过音效来表现，可以提升场景所渲染出的气氛效果。听觉与视觉不同，不受方向影响，能够用来表现一些视觉上无法做到的特殊效果。

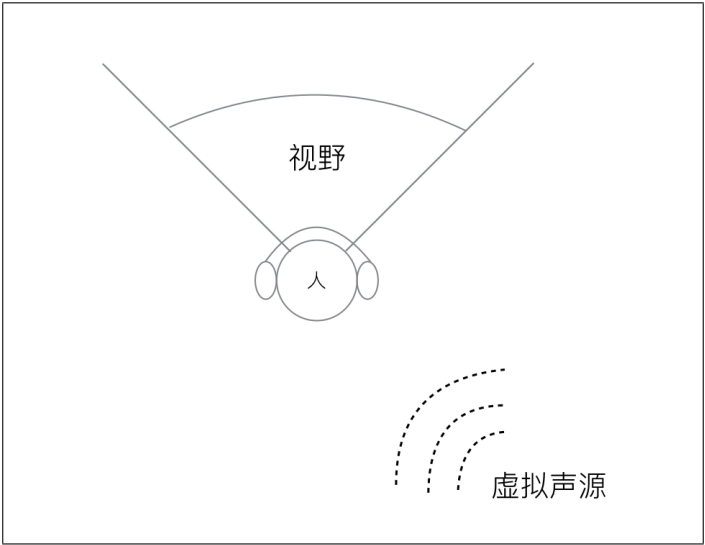


图 3.4: 用音效来表现「看不见」的事物

3.2 全景漫游与肢体动作

全景漫游，其一是“全景”，其二则是“漫游”。漫游，意为随意游玩、漫无目的地行走。全景漫游的体验重在参与感的营造，用户不仅能够“身临其境”般地体验全景场景，更可以亲身参与其中，与场景中的虚拟事物进行互动。

3.2.1 平衡感

众所周知的是，人之所以可以站立行走、骑行脚踏车或进行高空作业依赖的是人与生俱来并在后天不断磨合的平衡感。平衡感由内耳的淋巴液控制，同视觉相互配合，使人能安全地四处走动。而在全景漫游过程中，人的视觉几乎全部集中在眼前的屏幕上，即很难看到外界真实的场景，故视觉此时便难以匹配内耳中内淋巴液流动引起的细胞兴奋，对人来说就是平衡感的缺失。失去平衡感会使人晕眩，严重时会使入倾倒，有造成意外伤害的可能，故在进行全景漫游时应尽可能减少乃至避免对平衡感造成的影响。

维持平衡感有两种方式，一种是降低运动的速率（即减小在全景漫游中需要运动的强度）视为主动维持平衡感，另一种是通过某些手段来减少视觉或其他感觉中平衡感的减少，即运动补偿，可视为被动维持平衡感。

现有全景漫游设备部分带有陀螺仪、部分利用手机内置陀螺仪用以感应方位信息，可做运动补偿以模拟人在环境中的运动，但人的眼球可以根据平衡来进行前庭—眼动反射 (vestibulo-ocular reflex) 控制眼球作补

偿性运动，使之匹配头部的转向，以求维持人视野的稳定。这套机制在不戴全景漫游设备时可以正常运作，但在配戴了全景漫游设备后因眼镜视野与外界隔离，故设备与外界的运动匹配度就变得格外关键。

现有普通手机所内置的是微机电陀螺仪（MEMS），是利用物理学的科里奥利力，在内部产生微小的电容变化，通过测量电容，计算出角速度，从而判断物体转向和速度，这种芯片价格低廉，体积小巧，但缺点是因其电磁特性易受环境干扰，而且精度即使能够满足一般手机应用（如转屏、翻转等）但在更为精细的全景漫游的方位感应上还是显得力不从心。屏幕显示画面本身就有约 $1/60s$ 即 $16ms$ 左右的刷新时差，再加上陀螺仪反馈信息与实时状态也有偏差，两者累积后在使用者运动时画面很难及时更新至准确的位置上，容易造成失去平衡的感觉。甚至在人停止运动后，全景漫游设备错误地输出带有运动补偿的画面以致人眼误以为人体还在做运动，造成认知上的偏差，导致非运动状态下的感官刺激，这种刺激往往对使用者造成较长时间的影响，延续到使用完全景设备后的数分钟乃至若干小时后。

全景漫游技术的发展在维持人体平衡感方面尚有很大的发展空间，现有高端全景漫游设备即使是支持全方向漫游的平台也只允许使用者慢步使用，而运动补偿机制仍沿用着手机等终端的设计（大多数全景漫游设备并没有自己的陀螺仪，而是直接调取了与其连接的手机的重力感应接口）在需要高精度分辨的场合表现就达不到使用要求了。

3.2.2 关节运动

全景漫游人体主要运动可分解为躯干的平面运动和头部的转动，这两方面配合眼球的转动就构成了全景漫游中人个体在场景中的位移和转向，如图3.5。

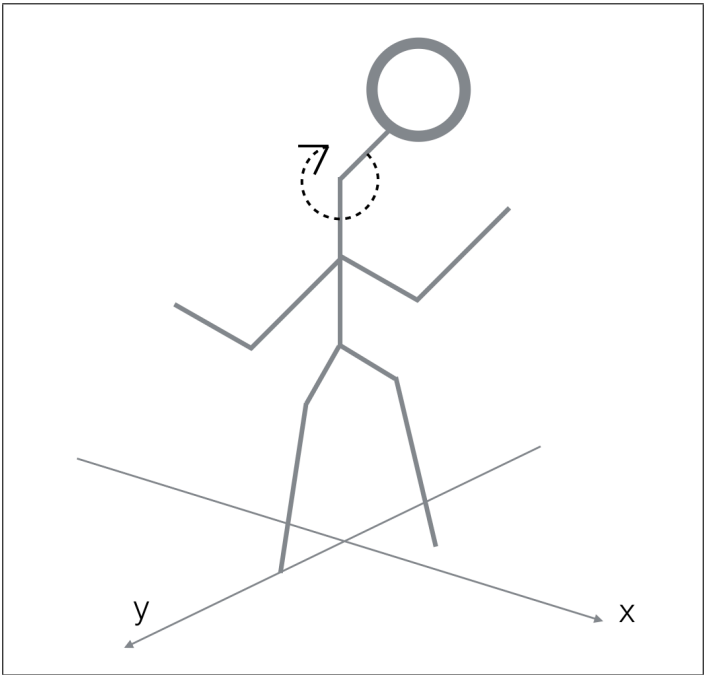


图 3.5: 躯干的平面运动与头部的转动

但躯干的平面运动一般受场地的制约，并不是绝对的自由行进，而且由于人在看不到外界环境时处于一种对外界警惕的状态，实现行走不是全景漫游最优的运动方式。头部的转动则是一种比较好的选择，首先它的运动幅度较小，易于控制，其次头部转动也是人本能的反应，符合人对场景活动的预期。

人头部转动的形式有以下几种：低头与仰头、左歪与右歪、左转与右转。低头仰头的最大范围为 75° ，另两种形式都为 110° ，但低头舒适范围为 25° ，仰头舒适范围为 12° 。由此可得，全景漫游所用观看形式仍应以正面为主，辅以左右延展开的场景以供转头观察，这样可使人在舒适范围内使用全景漫游设备。同时，除主要场景外的功能部件也因设置在上下方向，以方便使用者通过低头仰头就可捕捉到所需要的部件。

同时，因为环境等不确定因素，易使用户丢失通过视觉等多种方式建立起的方位感。为避免方位感丢失对用户造成的迷茫，随时随地可以回到初始状态的功能也需处处设计在全景漫游中。

3.2.3 手部活动

漫游只是满足人观察的需求，需要与场景互动仍需要更多样化的操作形式。手势操作自然而然成了人控制的最好选择，现有传感手套、指环甚至肌肉传感器可以作为全景漫游的输入装置。

第四章 全景漫游的交互形式

第五章 全景漫游的交互实现

第六章 待写部分

1. 以人为中心，角度，远近等
2. 上下摆动头部超过一定角度浮现 Docker 栏，例如购物车等

第七章 参考文献

¹<http://t.cn/RJDzA1F>

²<http://vreyes.baijia.baidu.com/article/595977>

³<http://www.elecfans.com/vr/444138.html>