

分类号: _____

密 级: _____

中国地质大学 硕士学位论文

基于全景漫游技术的可视化交互设计理论与实践研究

学 号: 1201410655

硕 士 生: 马申彦

学科专业: 设计学

指导教师: 周晔 副教授

所在学院: 机械与电子信息学院

二〇一七年五月

学校代码: 10491

研究生学号: 1201410655

中国地质大学 硕士学位论文

基于全景漫游技术的可视化交互设计理论与实践研究

硕 士 生: 马 申 彦

学科专业: 设计学

指导教师: 周晔 副教授

二〇一七年五月

A Dissertation Submitted to China University
of Geosciences for the Master Degree of Design Specialist

**Research of Visual Interaction Design Theories
and Applications Based on Panorama Roaming
Technology**

Master Candidate : Shenyang Ma

Major : Design Specialist

Supervisor : Prof. Ye Zhou

China University of Geosciences
Wuhan 430074 P. R. China

中国地质大学（武汉）研究生学位论文原创性声明

本人郑重声明：本人所呈交的硕士学位论文《基于全景漫游技术的可视化交互设计理论与实践研究》，是本人在导师的指导下，在中国地质大学（武汉）攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果，对论文的完成提供过帮助的有关人员已在文中说明并致以谢意。

本人所呈交的硕士学位论文没有违反学术道德和学术规范，没有侵权行为，并愿意承担由此而产生的法律责任和法律后果。

学位论文作者签名：_____

日 期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

中国地质大学（武汉）学位论文使用授权书

本人授权中国地质大学（武汉）可采用影印、缩印、数字化或其它复制手段保存本学位论文；学校可向国家有关部门或机构送交本学位论文的电子版全文，编入有关数据库进行检索、下载及文献传递服务；同意在校园网内提供全文浏览和下载服务。

涉密论文解密后适用于本授权书。

学位论文作者签名：_____

日 期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

作者简介

马申彥，男，江苏无锡人，1992年4月出生，中国地质大学（武汉）机械与电子信息学院在读研究生。本科于中国地质大学（武汉）机械与电子信息学院就读工业设计系。硕士研究生在读期间，致力于产品数字化设计与Web技术的研究，曾参与若干校级科研项目，并进行了多次社会实践活动，在产品设计的可视化、设计成果多媒体展示和网页交互设计与程序实现等领域有所研究。

参与的科研项目

面向产品设计的VDP人机功效模块实验技术研究 实验数据整理与分析
基于VDP虚拟仿真软件的机电产品三维可视化设计研究 学校开放实验室项目，负责人

发表的专利

羽毛球发球器（专利号：ZL.2016305833384）
折叠式台灯（专利号：ZL.2016305833613）

参与的社会实践

2015.7 - 2015.11 广东顺德工业设计研究院（设计类实习生）
2016.3 - 2016.7 苏州蜗牛数字科技有限公司（前端开发工程师实习）
2016.10 - 2017.1 豆瓣阅读（前端开发工程师实习）

基于全景漫游技术的可视化交互设计理论与实践研究

硕士生：马申彦

指导教师：周晔副教授

摘要

全景漫游是虚拟现实技术的核心，通过模拟真实场景的全景图或视频以及不同于传统平面媒介的多通道交互手段，用户可以通过全景漫游设备或是手机屏幕等体验到身临其境般的使用体验。通过研究全景漫游相关技术，可以增强交互设计在计算机视觉及工业可视化方向上的应用价值，也帮助提升了包括旅游、通讯、建筑、资源勘探等应用领域的信息可视化程度。

本文从全景漫游发展的现状出发，列举并阐述了现有全景漫游技术的特点及需求，通过比较全景漫游多种应用的操作方式及交互流程发现其有待加强的地方。从人体生理与心理的相关特征特性出发，结合人机工程学和心理学观点深入剖析了全景漫游与人结合的难点和问题，力图以人为设计中心，加强人在全景漫游体验中的参与作用。

从图形化人机界面到信息架构再到功能模块，将全景漫游与真实世界中的游乐场场景进行类比，以交互研究的方式结合相关实例说明信息架构在人机界面的重要作用，论述了信息架构组件化和可视化的必要性。通过建立以漫游功能、导航功能、搜索功能和记忆功能为主的功能模型，列举了部分功能模块的实现要点。

在交互模型方面，以设备交互、导航交互和场景交互为切入点，以信息流的处理过程为例分析了交互操作形式的可反馈性的重要性，提出了用户在交互过程中需要进行信息修正的观点；详细阐述了信息架构的三种组织方式的应用场景，列举了自顶向下、自底向上和不可见的信息架构在模型中的具体体现：上下文感知用以建立导航间的上下文关系、增强信息用以减少用户变换注意的负担、多任务切换的合理形式以在用户记忆中留存相关信息利于语境的切换等。通过建立多层上下文语境增强语境间的联系，促进小语境间切换的适应性以及语境内部信息的流通。以场景中各种漫游路径的实现形式为基础，论述了场景中直观提供场景特殊标识存在的合理性与必要性，并给出了分层级特殊化的指示图标标识。

以实例分析的方式解释并总结了某一例全景漫游系统的交互设计及程序实现的过程，从需求分析到功能架构，以交互模型为指导原则进行可视化设计，主要从导航界面设计、漫游界面设计和功能界面设计三个方向举例交互原型设计，完成漫游系统的设计开发。同时，以 A-Frame 框架为基础，进行了简单的功能程序开发以供设计评价应用。在设计完成后，以收集用户体验数据的形式得到了用户交互操作行为的第一手资料，分析并论证了该交互设计中应用相关设计理论的可行性与成效。

本文提出了以人为中心、可视化交互为主导的全景漫游交互设计思路，从人与全景漫游的关系至全景漫游中信息架构和交互模型的分析论证中分析了全景漫游交互设计中重点功能的实现与细节的处理，为全景漫游相关设计提供了相关分析思路和实践经验。

关键词： 全景漫游、上下文感知、信息流、交互模型

Research of Visual Interaction Design Theories and Applications Based on Panorama Roaming Technology

Master Candidate: Shenyang Ma

Supervisor: Prof. Ye Zhou

ABSTRACT

Panorama roaming is the basement of virtual reality technology. Users can immerse themselves in virtual environment by using panorama roaming device or mobile screen which is based on panorama image or video simulating real environment and multi-channel interaction methods excluding traditional interface media. Through research on panorama roaming, the implementation value of interaction design in computer graphics and industrial visualization will be enhanced, as well as visualization of information in application fields including tourism, communication, architecture and resources exploration.

The thesis firstly lists and demonstrates characteristics and demands of its technology as current development of panorama roaming technology. The enhanceable details could be found by comparing several operative methods and interaction flow of panorama roaming. The difficulties and problems between panorama roaming and human beings are explained according to ergonomics and psychology, with study on related human physical and psychological characteristics. Interaction design will treat human as the middle part of roaming and enhance participation of human in roaming experience.

Methods of interaction researches connected to related application practice which are taken in flow of graphic interface, information architecture and functional module, comparison between panorama roaming and amusement park in order to demonstrate fundamental function of information architecture in human-computer interface and its necessity of modularism and visualization of information architecture. The application details of specific functional modules are listed through making functional model based on roaming function, navigation function, search function and memory function.

In the part of interaction model, the importance of feedback in interactive operations is analyzed for example of information stream process at the point of device interaction, navigation interaction and environment interaction. The view point of user information revision is raised in interaction progress. The application fields of three types of interactive operation organization, as known as top-to-bottom, bottom-to-top and invisible forms, are demonstrated with their detailed implementation: Context perception carries out context relationship between navigation layers, which enhances information to avoid rapid switching concern of user and keep memories in mind to benefit switch of context by making multi-task switch more reasonable. Multi-layer context is set up to enhance relationship between contexts which benefits both adaptation of switch in minor context and context inner information transition. The reasonability and necessity of existence of direct scene specific mark are demonstrated on base of implementation of roaming routes, and layer-specific guide icon marks are raised for example.

One case of panorama roaming system is detailed and concluded by practice analysis in interaction design and program implement. The work flows from requirement analysis to function architecture, visually developed in guide of interaction model. Interaction prototype design takes examples of navigation interface, roaming interface and function interface design contributing to development of roaming system. A-Frame which known as a web Javascript framework is applied in functional programme development with its extra components to meet the evaluation of design. User experience data is collected immediately after user interaction operation as the original profile which is used for analyzing feasibility and efficiency of related theories in interaction design.

The thesis raised one kind of human-oriented panorama roaming interaction design strategy leading by visualization interaction. Analysis on relationship between human and roaming, demonstration of information architecture and interaction model draws the picture of panorama roaming interaction design function implement and detailed process. All above could be fundamental analysis strategy and practical experience for related designs.

Keywords: **panorama roaming, context perception, information stream, interaction model**

目 录

第一章 绪论	1
§1.1 研究背景	1
§1.2 研究目的	2
§1.3 研究内容	2
§1.4 研究意义	3
第二章 全景漫游行业的市场现状	4
§2.1 全景漫游技术总览	4
2.1.1 场景呈现硬件技术	4
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	5
§2.2 全景漫游市场前景	5
§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	9
§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	11
§3.1 全景漫游与人的生理特性	11
3.1.1 全景漫游与视觉特征	12
3.1.2 全景漫游与听觉	13
3.1.3 全景漫游与其他感觉	14
§3.2 全景漫游与人的肢体动作	15
3.2.1 关节运动	15
3.2.2 手部活动	16
§3.3 全景漫游与人的心理特征	18
3.3.1 知觉	18
3.3.2 意识	19
3.3.3 认知	20
§3.4 全景漫游与人的总体关系	22
第四章 全景漫游的信息架构	23
§4.1 信息的组织形式	23
§4.2 全景漫游的信息模型	24
4.2.1 信息架构组织形式	24
4.2.2 信息架构组件	25
4.2.3 信息架构可视化	26

§4.3 全景漫游的功能模型	26
4.3.1 漫游功能	26
4.3.2 导航功能	27
4.3.3 搜索功能	28
4.3.4 记忆功能	28
§4.4 全景漫游的功能模块	28
4.4.1 导航功能模块	28
4.4.2 场景特殊模块	29
4.4.3 多输入交互模块	29
4.4.4 热点模块	30
§4.5 全景漫游的信息架构小结	30
第五章 全景漫游的交互模型	31
§5.1 设备交互	31
5.1.1 信息流与反馈等待	31
5.1.2 信息修正	32
§5.2 导航交互	33
5.2.1 上下文感知	33
5.2.2 增强信息	34
5.2.3 多任务切换	35
§5.3 场景交互	37
5.3.1 场景漫游路径	37
5.3.2 场景切换标识	38
5.3.3 直观化交互	39
§5.4 全景漫游的交互模型小结	40
第六章 全景漫游的可视化交互实践	41
§6.1 需求定义	41
6.1.1 价值需求分析	41
6.1.2 功能需求分析	43
6.1.3 数据需求分析	44
§6.2 功能架构	44
6.2.1 发现功能	45
6.2.2 场景漫游功能	45
§6.3 交互模型	45
§6.4 原型设计	46
6.4.1 常用术语	46
6.4.2 导航界面设计	46
6.4.3 漫游界面设计	49
6.4.4 功能界面设计	50
6.4.5 操作方式设计	51
§6.5 程序示例	53
6.5.1 示例代码	53
6.5.2 系统截图	54

第七章 全景漫游设计评价.....	56
§7.1 适用于全景漫游的交互指标	56
§7.2 面向用户的评价指标	57
§7.3 操作过程的量化指标	57
§7.4 交互评价示例	58
第八章 总结	60
§8.1 主要工作与创新点	60
§8.2 有待改进的地方	60
致 谢	62
参考文献	65

第一章 绪论

交互设计是一种设计并定义人造系统内多个个体间交流的内容与结构，使之互相配合，以达成某种目的的行为。交互设计早在 20 世纪 80 年代就作为一门新兴学科诞生了，但随着计算机及互联网行业的飞速发展，软件界面相比传统硬件界面交互信息层级更为复杂，交互方式更为多样化，交互设计才从网页设计和图形设计中独立开来，成为一个专门的领域。让用户更为高效、准确地进行交互操作，完成使用目的，并得到交互过程中的愉悦感，这是交互设计的根本目的。交互设计当前主要的设计领域包括网页、移动端操作系统和应用、电脑操作系统和应用和其他终端系统及应用等。

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，仿佛使人置身于真实环境内，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。

§1.1 研究背景

当前交互设计的研究重点大多数着眼于基于平面屏幕设备的交互过程，比如手机屏幕上的交互等。屏幕交互的特点是：显示屏幕形态为矩形较为规则，人与屏幕的距离较远，屏幕的可视区域不会随着视线的改变而改变等。而全景漫游所支持的设备屏幕为两个凸透镜状镜片，用户所观察到的“屏幕”边界不明显，可以通过转动头部进行改变视角视野的观察，这与一般的交互设计的设计主体有了明显的不同。并且全景漫游中信息层级被刻意弱化了，但强调了场景的完整性，这一点与传统的以页面层级对用户信息界面进行划分的交互形式也有所区别。如何利用全景漫游合理地布置交互元素，并构建合理的交互形式以期符合用户的认知模型，从而让用户在使用全景漫游时能够高效愉悦地进行体验，是全景漫游中交互设计所研究的重点。

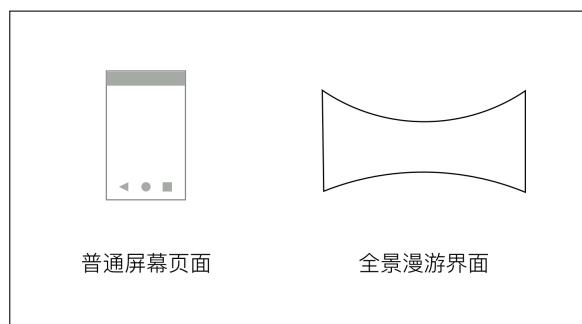


图 1-1 普通屏幕页面与全景漫游界面

交互设计领域当前已有相当多的研究成果，例如人机交互界面（即 HCI）相关学科和理论一直是国际上计算机相关学科研究的重点，辛向阳教授将人与系统交互的过程分解为了五个要素，分别为：用户、行为、目标、场景、媒介（people、actions、means、purpose、contexts）。拥有良好的科研氛围和市场实践经验，交互设计的学科体系已然较为成熟。再看到全景漫游这一方面，其计算机相关理论也较为成熟，相关的图像信号捕捉处理算法已被大范围应用与实践中，各种根据特殊用途产生的适配处理也增强了全景漫游相关应用的鲁棒性。例如，在敦煌石窟数字化工作中的洞窟全景漫游技术初步应用一文^[1]中，作者以高动态范围影像（HDR）处理为例说明了敦煌石窟数字化工作在拍摄全景图像至后期处理中遇到的难点和问题。

与技术成熟相对的是，全景漫游方面的交互研究一直停留在起步阶段。在中国知网（cnki.net）上搜索“全景漫游设计”，命中 359 条结果，搜索“全景漫游技术”，命中 712 条结果。其中，“全景漫游设计”的命中结果中有大部分为“程序设计”的相关论文，故可以得出国内相关设计研究尚未达到成熟，全景漫游相关设计理论仍有较大的发展空间。如何将全景漫游的技术应用到交互设计中，将两者有机结合，扩展交互设计的应用领域。

§1.2 研究目的

本研究试图扩展交互设计的应用领域，将全景漫游中原本简单易见的场景架构扩充为复杂的漫游系统架构，适宜用户利用全景漫游进行包括但不限于场景漫游行为的操作。从交互角度解释全景漫游中各组件的作用，利用交互设计中的信息架构模型和交互模型等思想，分析全景漫游中相应模型与传统界面的区别之处，并结合人机工程学的观点对人在漫游中的作用进行探究。研究将以理论结合实践，借鉴实际应用中已经成熟的交互方案，从用户为中心的角度出发进行整体架构及布局，并通过实际项目设计进行案例分析深入探讨理论应用于实践的形式。

§1.3 研究内容

本文采用以文献阅读法为基础，采用规范研究法为主要研究方法，通过已知现象和经验为基础，以理论推导相关实践形式的价值判断，并据此完成相关设计工作，最后以定量分析和定性分析结合的形式对全景漫游中可视化交互理论成果进行检验。

研究范围为全景漫游与人的关系（从人机工程学和认知心理学角度进行分析）、全景漫游的多通道交互形式、全景漫游的信息架构、功能模型与交互模型、全景漫游可视化交互的评价体系。

本文研究步骤如下

第一部分 通过文献阅读、资料检索及市场调查的方式对市面上已有的全景漫游产品及技术进行整理分析，概括全景漫游发展趋势及现状。

第二部分 从人出发，通过结合人机工程学及认知心理学的观点，对人进行全景漫游中所遇到的与一般界面交互不同的行为进行比较，并探究全景漫游中技术上具有可行性、并且与人的常规认知所匹配的交互形式。

第三部分 以界面所共有的信息架构为研究对象，从信息组织形式角度出发，阐述交互设计在全景漫游中所需要解决的实际问题。针对全景漫游设计其特有的交互形式，提取出交互模型以作设计参考。

第四部分 将以前文所梳理的全景漫游中可视化设计的理论知识为基础，以项目为设计对象通过需求定义、功能分析、设计模型、原型设计的方式进行设计实践。

第五部分 通过定量分析和定性分析的双重方法建立全景漫游中可视化交互设计的设计评价标准，并对前文中设计实例进行试评价。

§1.4 研究意义

交互设计起源之初仅仅考虑使用键盘和鼠标进行交互操作的形式，直至进入移动时代，人们习惯于使用手指直接触摸屏幕操作，交互的内容和形式均得到了扩充。与用户所见到的交互界面不同，设计师在进行设计时所建立的信息架构与交互模型在屏幕界面上是隐形的，故交互设计的意义在于通过隐式的模型建立出实际可行的显式的交互形式。

研究全景漫游的可视化交互的意义在于：

1. 将交互设计引入全景漫游的体验中，有助于建立科学有效的交互模型，从架构层面改善优化全景漫游的应用体验，增强用户的使用满意度
2. 全景漫游的发展长期依赖于技术的进步，而忽视了设计在其中所占的重要作用。建立基于全景漫游技术的可视化交互理论，能够将技术与设计有机地结合起来，互取所长。
3. 将全景漫游相关设计理论补充入交互设计中形成反哺，可以拓展交互设计的应用领域，利用实践增强其可信性。

第二章 全景漫游行业的市场现状

§2.1 全景漫游技术总览

全景漫游是由多种技术组合而成，其核心目的都是服务于将全景场景呈现给用户体验的过程。它是计算机仿真技术的重要方向之一，是计算机图形仿真、多媒体传感与网络通信等多种技术的综合，是一门富有挑战性的交叉技术前沿学科，具有广阔的研究领域。根据不同阶段所应用的技术类别，可以得出全景漫游的技术路径图，如图 2-1 所示，最左为真实场景，最右为用户，技术所起到的作用就是将场景与用户连接起来。

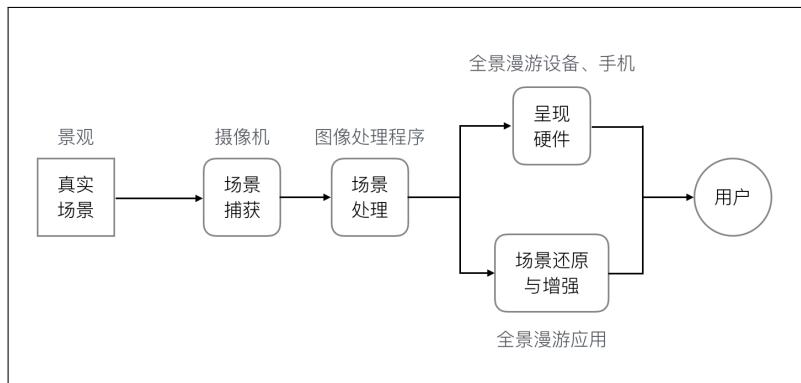


图 2-1 全景漫游的技术路径

全景漫游技术按载体分类可分为：

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。

场景呈现硬件技术 主要包括 VR 眼镜、VR 互动手柄、VR 主机等。

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。

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 Oculus Rift、HTC Vive 和 PlayStation VR 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 等均是将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，相信不远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）。这两者是孑然不同的两种协议，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，其主要功能是为还原出的场景增添互动性，以使得用户可以自如地进行漫游体验。场景处理技术以软件形式作为载体，根据运行平台不同可分为直接编译代码至设备端的三维引擎软件和利用网页技术进行场景构建并可以运行于任意浏览器的 web 框架两种，以下以三款目前较为热门的软件框架进行介绍：

三维引擎软件：Unity 3D Unity 3D 是由 Unity Technologies 开发的一个使用脚本和即时编辑工具创建例如三维视频游戏场景、建筑可视化、实时三维动画等类型互动内容的多平台综合型游戏开发工具，是一个全面整合的专业游戏引擎。^[2]

Web 全景漫游框架：Krpano Krpano 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 Krpano 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。

Web 全景漫游框架：A-Frame A-Frame 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。^[3]

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%^[4]。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 2-2。

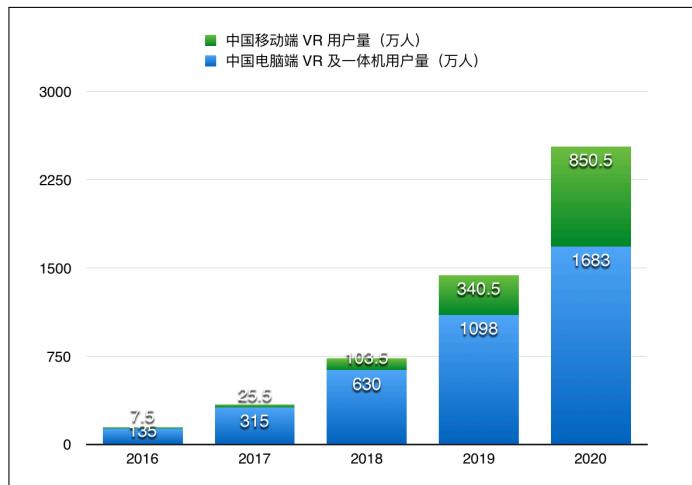


图 2-2 2016-2020 年中国 VR 用户规模

§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。

§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 2-3。



图 2-3 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 2-4。

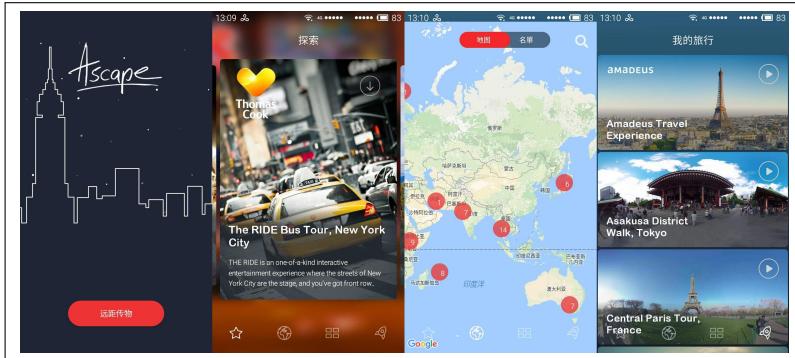


图 2-4 简洁的全景视频播放

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开发的 VR 应用，见图 2-5。

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 2-6。例如，将视

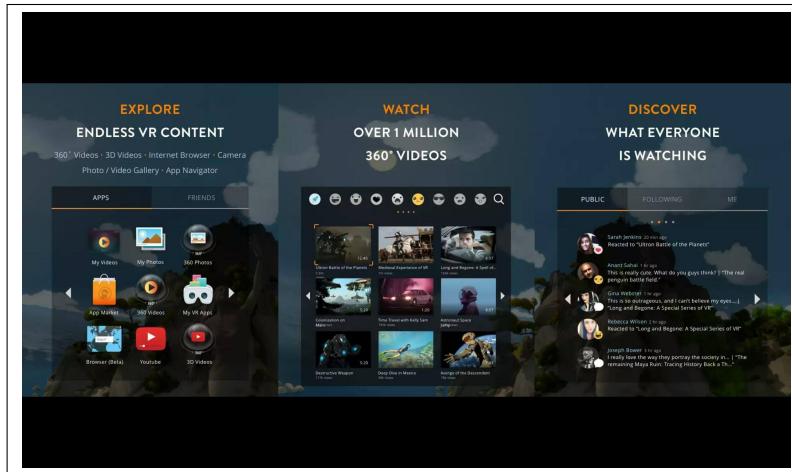


图 2-5 Fulldive 内置的应用列表

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 2-7。

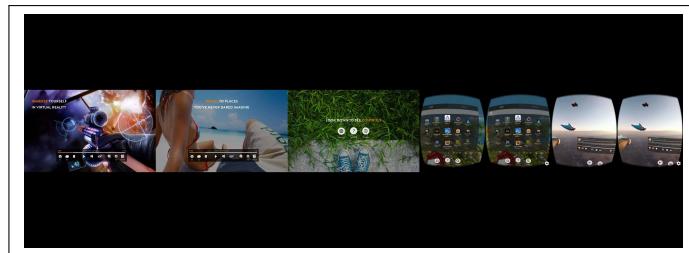


图 2-6 Fulldive 特有操作形式



图 2-7 Fulldive 视线停留模拟点击

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 2-8 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 2-9。这是全景漫游技术在游戏中最直接的体现：几乎没有多余的操作，在游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



图 2-8 Fulldive 语音识别

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 2-9 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 2-10。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。

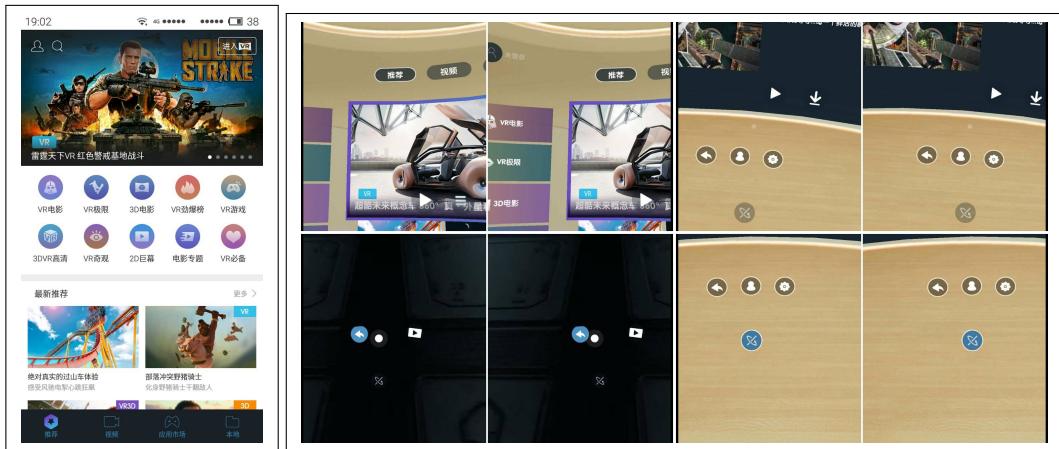


图 2-10 暴风魔镜 VR 操作方式

§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 Dock 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及场景切换时语境丢失等问题。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。

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

在研究全景漫游与交互设计的关系时，人是研究两者的纽带。交互设计中以心智模型作为交互的出发点也是考虑到人作为交互的主体，应该担负交互行为的主要内容，并考量人参与交互行为时因自身因素而产生的差异性。全景漫游脱离了一般交互界面对用户使用方式的假设范围，例如全景漫游中人的视线聚集在屏幕内，一般不用探究屏幕以外因素对人注意力的分散等。将全景漫游中人的特征从交互行为中抽离出来特殊分析，既能从根源上探究全景漫游中制约交互的因素从而改良设计中不合理的地方，也能够因地制宜发挥人在思想品质和思维记忆上的优势增加更易于接受和理解的交互形式。

全景漫游的交互过程中，人进行交互的形式主要为通过头部摆动来控制场景中视角的变换、通过手柄（部分简易设备未配备）来控制场景中主体的手部操作、通过脚步（只有极少数体验设备配备行走平台）来进行场景中的行进。本章将结合上述数种操作方式与人机工程学的观点分析全景漫游中人进行交互行为时的生理特性，并通过认知心理学的研究对象分析全景漫游中人心理因素对漫游体验的影响作用。

§3.1 全景漫游与人的生理特性

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。用户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、平衡感等。如图 3-1。

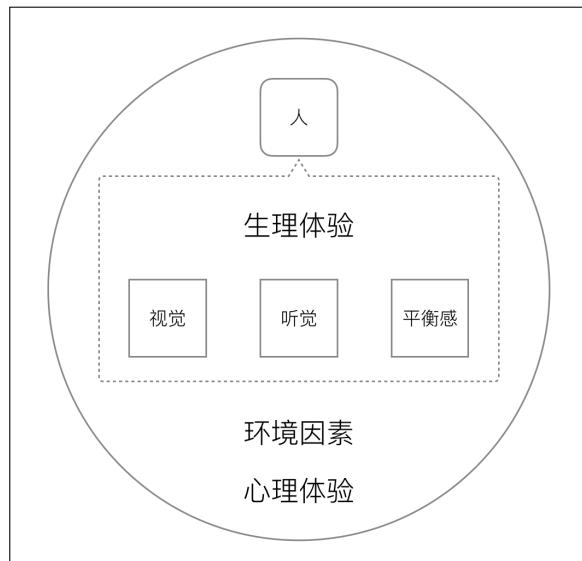


图 3-1 全景漫游与人体知觉

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。

3.1.1.1 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

$$\alpha = 2 \arctan \frac{2\text{cm}}{2 * 1.5\text{cm}} \approx 67.38^\circ = 2 \times 38.69^\circ \quad (3-2)$$

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装饰，以免让用户难以分辨色彩而操作出错。

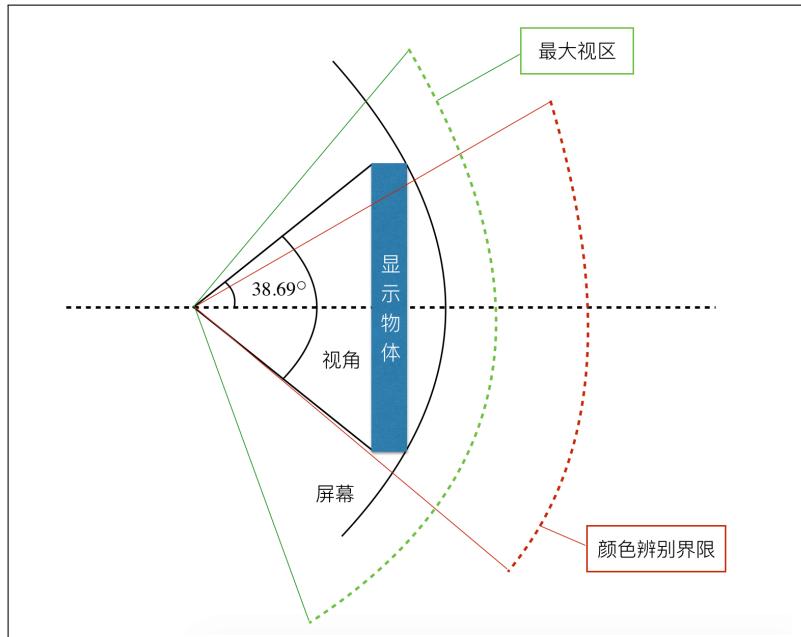


图 3-2 全景漫游中视野的角度关系

3.1.1.2 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

全景漫游的视觉是主要人体感觉，但听觉是仅次于视觉的重要感觉，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。

3.1.2.1 双耳效应

为了“制造”出能够“蒙骗”大脑使其误以为用户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^[5]。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。

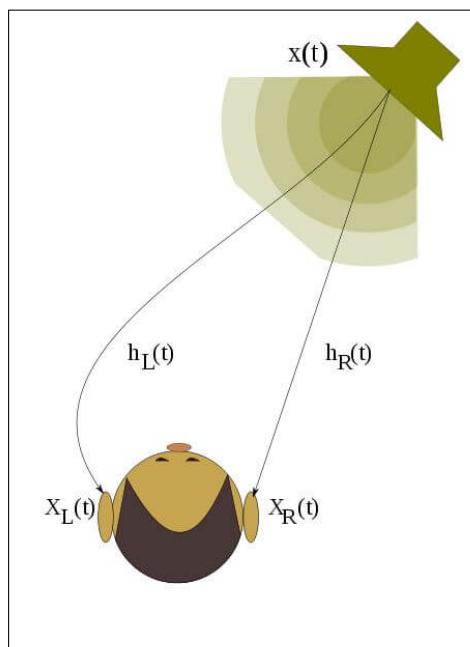


图 3-3 头相关变换函数 HRTF

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，它会追踪用户的姿态、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。

3.1.2.2 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。

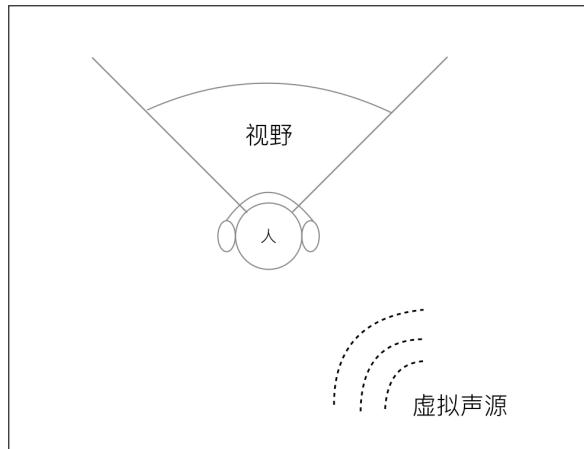


图 3-4 用音效来表现「看不见」的事物

3.1.3 全景漫游与其他感觉

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，严重时会使人倾倒，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缺失，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一眼动反射 (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，两者累积后在用户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用户慢步使用，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 全景漫游与人的肢体动作

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 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。

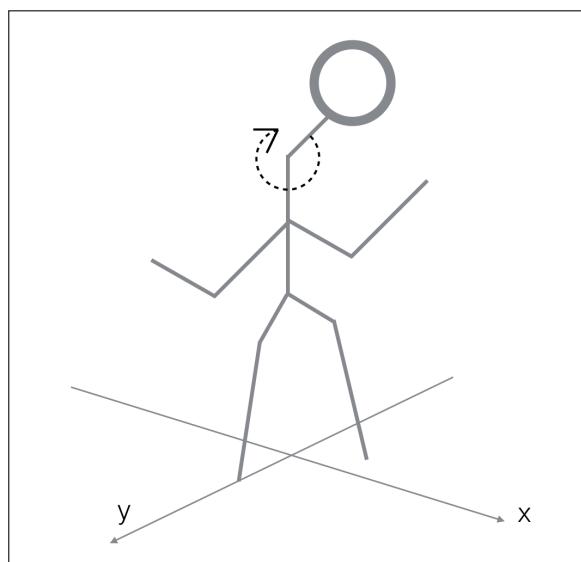


图 3-5 躯干的平面运动与头部的转动

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^[6]。同时，除主要场景外的功能部件也因设置在上下方向，以方便用户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。

3.2.2 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佳选择，现有手柄、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。值得注意的是，通过传感手套模拟场景进行虚拟现实体验有助于手部存在疾病的患者进行手部康复治疗，这或许是手部操作最有价值的应用场景之一^[7]。

3.2.2.1 手：手柄

通过手柄来体验场景可以说是最符合全景漫游现状的一种操作方式了，如图 3-6。无需过多说明，用户会自然而然将手柄与游戏中呈现的自己的“双手”在脑海中联结起来。例如，简单的射箭游戏中，使用者在若干次尝试后就能“学会”通过左手握住手柄并保持，右手握住手柄并后拉来张开场景中的“弓”，如图 3-7。手柄的优点是操作简便，其与全景漫游屏幕可类比成鼠标与计算机显示屏，但缺点是交互形式略显单一（摆动手臂，按下按钮等）。



图 3-6 用以全景漫游中操作的手柄



图 3-7 使用手柄控制全景漫游中的射箭动作

3.2.2.2 手指：传感手套

手柄无法做到的操作形式之一是捕获手指的作用，而显然可知的是，人手进行各种动作时绝大部分操作都是通过手指来完成的，将人手指的操作追踪到系统中将极大地提高全

景漫游中操作的便利性，如图。但目前手套类套件的局限性也是非常明显，比如手套相比手柄而言与手接触面积更大，在配戴时难免造成一定的不适应。而从控制计算而言，手套所需要的传感器数量将远远超过手柄，其开发相关的程序逻辑复杂性也会大大增加，故当前全景漫游配套手套尚未得到普及。

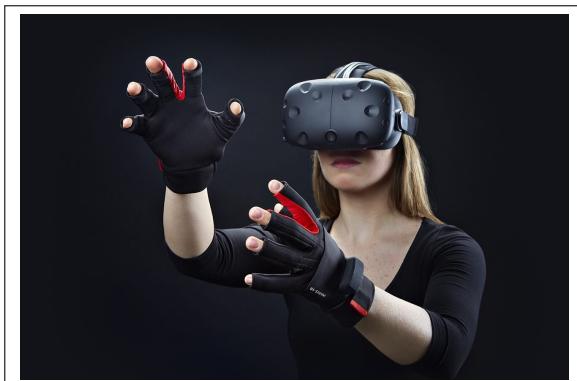


图 3-8 使用手套可在全景漫游中进行更为精细的操作

3.2.2.3 单个手指：指环

指环作为手柄和手套的中间替代品，相比后两者而言，指环更为小巧。相比于操作手柄，通过指环与场景进行交互会更为简便，不必过于考虑把持手柄所带来的累赘感，指环如配合更为敏感的传感器或可实现相比手柄更为灵敏的操作，如图 3-9。相比手套而言，指环显得不易沾染污垢、细菌等，而且由于其又可作为配饰携带，拥有者会更倾向拥有一枚可以长期配戴的指环，而不是仅在全景漫游时可用的手套。

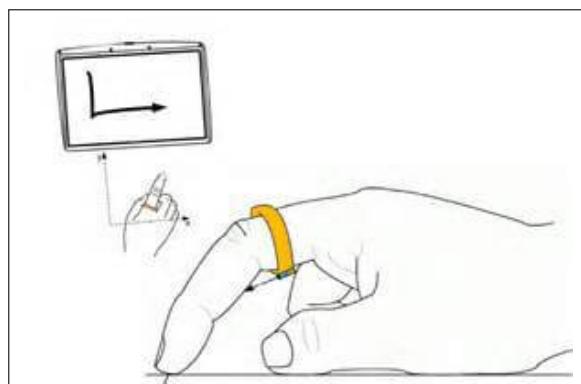


图 3-9 配戴指环通过手指进行操作

3.2.2.4 手部操控方式比较

全景漫游目前较为成熟的手部操控方式即手柄、手套和指环这三种，此外还有肌肉传感器、甚至根据脑电位进行的脑机接口接口等，但相关技术尚未成熟。手柄、手套和指环在全景漫游中应用特点各有所长，但也有一定的使用局限性，表 3-1 为它们之间就一些关键性能的定性对比，以供参考。

表 3-1 全景漫游手部操控设备比较

	手柄	手套	指环
尺寸	较大	适中	小巧
舒适度	差	较好	好
灵敏度	一般	好	较好
便携性	差	差	好
可清洁性	好	差	较差
成本	低	高	偏高

§3.3 全景漫游与人的心理特征

3.3.1 知觉

人们通过感官得到了外部世界的信息，这些信息经过头脑的加工（综合与解释），产生了对事物整体的认识，就是知觉（perception）。^[8]知觉按照是由人体感官或是人脑后天习得的事物特性可分为两类：前文所列举的视觉、听觉和平衡感觉等都属于第一类，而下文所涉及到的空间知觉和时间知觉则属于后天根据既往经验认知得到的第二类感觉，其特征是受环境影响大，易被外在因素所影响。在进行全景漫游活动中，后一类知觉更易受场景画面、环境声响甚至温度湿度等变化而发生改变。

3.3.1.1 空间知觉

空间知觉是指人对物体、环境等单体或多个在空间关系上的认知。其包含形状、大小、距离、方位等，在人辨别与周围环境的相互关系中起重要作用。

人可以分辨距离的能力主要来源于双眼视差和眼球变焦。双眼视差是指物体在人的左眼及右眼中分别投射的影像是不同的，根据成像距离的不同将使人产生与物体间的距离感，这也是包括 3D 眼镜在内的所有模拟立体成像技术的基本原理，如图 3-10。

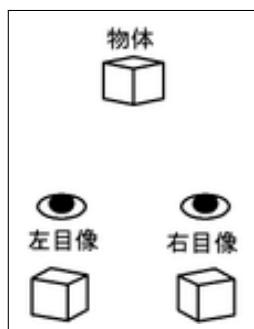


图 3-10 双眼成象

眼球变焦是指人在观察一定距离外的物体时，需要调整睫状肌带动眼中的晶状体来进行对焦。而当晶状体发生改变时，眼球中接收到的光线就是不同距离和角度的光线了，称为眼球的“适应性调节”。人眼同时需要转动一定角度以适应这种对焦引起的改变，这种调节过程称为“视觉辐辏”。上述两者一般是成双成对地出现，这是一种正常的生理反应，如图 3-11。但当配戴上全景眼镜时，人眼在注视不同物体时仍会产生上述两种反应，但因为全景图像没有景深，即所有场景内物体的焦距都是相差无几的，这时便造成了视觉辐辏和

适应性调节后无法准确对焦物体，造成了视觉冲突。这种冲突称为“视觉辐辏调节冲突”，将会在一定时间后带来晕眩不适感^[9]。

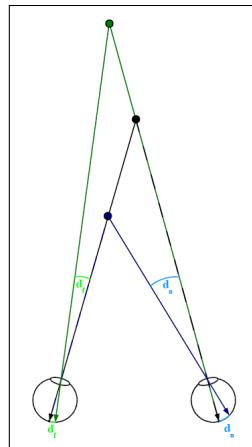


图 3-11 视觉辐辏和适应性调节

目前能够完美解决这种冲突的方式是还原出物体的真实景深信息^[10]，使得双眼在屏幕上不同焦距时可以看到成不同像的物体。但现阶段该技术仍处在研究状态，当前可以缓解这种全景图像没有景深的方式是尽量在不影响画面完整度的情况下缩小场景内物体间景深的差距，以使眼球的视觉辐辏与适应性调节产生的偏差尽可能小。

3.3.1.2 时间知觉

时间流逝的速率在正常环境下几乎是不变的，但人对时间的概念却因很多因素而发生改变。人对时间的判断依赖于人脑对事物事件的发生次序和连贯性的综合评价，也与人当前的生理状态有关。

在全景漫游中，场景中发生的所有事件都一一呈现在眼前，人脑长时间暴露在大量信息的处理过程中，会觉得时间过的很快（类似于沉迷于网络游戏的青少年永远也不觉得自己玩游戏时间过长）。而且全景场景中事物的一般运动在距人眼非常近的情况下变得非常明显，更是进一步加剧了人对时间流逝的估计^[11]。

单纯从体验角度来观察用户在使用全景漫游设备时的时间知觉意义并不明显，但结合现有关于使用全景漫游设备体验后造成不适的例子可以看出，大部分体验者在摘下眼镜后的数分钟甚至数十分钟内均有一定的不适应感，表现为对外界环境的陌生感和行为上的迟钝感。

若要在全景漫游中保持人正常的时间知觉能力，应当适当降低场景中事物的数量和并发量，以减少人脑所需处理的信息量，使人能处于一种比较平和的体验过程。这样既可以缓解人的紧张情绪以使人可以更长时间且不疲劳地进行全景漫游体验，又能让人在场景中注意到更多细节之处，提升体验质量^[12]。

3.3.2 意识

意识可以被认为是个体对客体的一系列相关的知觉，是一种心理状态，对信息的觉察和感知，甚至还具有能动性和调节作用。

3.3.2.1 选择性注意

选择性注意是指在多种刺激中选择一种进行注意，同时忽略或减少注意其他的刺激。现有研究大多是经实验分析推测选择性注意的过程，比较著名的理论有“过滤器理论”、“衰

减理论”、“后期选择理论”和“多阶段选择理论”。而上述理论都是假设注意是一个容量有限的通道，则注意的过程像是一把筛子，筛选出那些需要感觉器官反应的刺激。认知资源理论认为人的认知系统对刺激的识别需要占用人脑的认知资源，认知资源的占用率与刺激的复杂程度呈正相关关系；为了处理更多“被认为是重要的刺激”，人脑需要将有限的认知资源向更重要的刺激分配，因而忽视掉那些不是很重要的刺激。双加工理论认为人类的认知加工有两种：自动化加工和受意识控制的加工，两者并行运作，各有各自的认知过程，且可以互相转换、影响。

综合上述理论可知，人对刺激的注意程度是不一样的，人会对那些“自己觉得重要”或是“超过一般强度”的刺激进行注意^[13]。在全景漫游中，交互设计应注意刺激的强度和持续时间，不宜出现过于突然的刺激，以免令用户产生过大的注意，而忽视正常的安全防范或作出过当的反应（如全景漫游体验过山车或造成没有准备的体验者过于激烈的心跳反应甚至危害健康）。同时也不宜使人长期处在过大的刺激中，有可能提高了人注意的反应阈限以致在体验过程后产生认知失调的现象。

3.3.2.2 持续性注意与意识动摇

持续性注意是指在一段时间内保持注意某事物的现象。人为了满足生产工作学习的需要，必须有或长或短的注意持续时间。而与之对应的是注意动摇，即短时间内注意力发生目标或者强度的变化。

需要明确的是，注意动摇并不总是一种不好的现象，因为人持续聚精会神的时间越长越容易发生注意动摇，所以日常活动或是游戏中常见有特意设置分散注意力的动作以调整人的注意力。比如图 3-12 是某款手机跑酷游戏，通过设置特殊道具来吸引玩家注意力，以避免无意识的注意动摇。



图 3-12 某手机游戏截图

3.3.3 认知

人类认知是非常复杂的过程，以下只列举了具有代表性的几种心理过程。认知在日常活动中起到了重要的作用，可以说没有认知过程人就无法进行任何需要动脑才能完成的工作和任务。

3.3.3.1 记忆

记忆是指头脑中积累和保存个体经验的心理过程，运用信息加工的术语讲，就是人脑对外界输入的信息进行编码、存储和提取的过程。记忆按信息保持时间的长短可分为感觉记忆（即瞬时记忆）、短时记忆和长时记忆。在全景漫游中，这三种记忆都非常重要^[14]。

感觉记忆只有 $0.25 \sim 2$ 秒，是屏幕图像组合成人脑中运动画面的关键因素。短时记忆则是漫游过程的直接材料，比如上文提到的射箭游戏，即是利用人短时建立起来的关于“手柄 = 弓和箭”的记忆，使得用户在一次成功尝试后便可利用该记忆完成后续数十次操作以完成游戏。而短时记忆在脱离记忆场景后会进入长时记忆中，但不会一直被唤起。因此使用者在结束全景漫游后不会继续将其他手柄也认作为是游戏中的“弓和箭”进行操作，

但在下一次游戏时使用者便可不经提示就能直接上手操作手柄完成游戏中“拉开弓并射出箭”的操作，这时短时记忆就变成了长时记忆。

3.3.3.2 思维

思维是人对外通过多种方式表现出的对客观事物的认识，是认识的高级形式。如果以相同输入而言，人对信息的加工过程就体现了思维的不同。思维的形式和理论有很多，在此只列举一个与本文贴近的假设以做参考。

人脑中基本的认知单位是概念，是人对客观事物的本质特征的认识。概念又可分为自然概念和人工概念两类，如何形成人工概念的途径也有很多假说。有布鲁纳等人提出的假设检验（hypothesis test model）认为，概念形成的过程是不断提出假设、验证假设的过程。人不会无端形成一种概念，其在不被告知正确概念的时候可以通过试错的方式来检验自身的假设是否正确，如果得到正确的反馈则验证了假设，反之则促使进行更多的假设。而成功的假设可能形成记忆，将认知保留在长时记忆中以供后续使用^[15]。

较为典型的案例是，现在各种电子产品的说明书越来越薄，甚至于全部功能都留给用户自己来发掘。当用户在第一次使用触屏手机浏览图片时，发现没有熟悉的滚轮缩放图片大小的功能，会尝试性地通过各种方式来放大图片，而在某一次尝试中会发现“双指缩放”可以达到这种效果从而成功验证了假设，完成了概念的形成，如图 3-13。此后，即使是到了其他设备上，用户也能够利用这一概念顺利地完成类似操作。

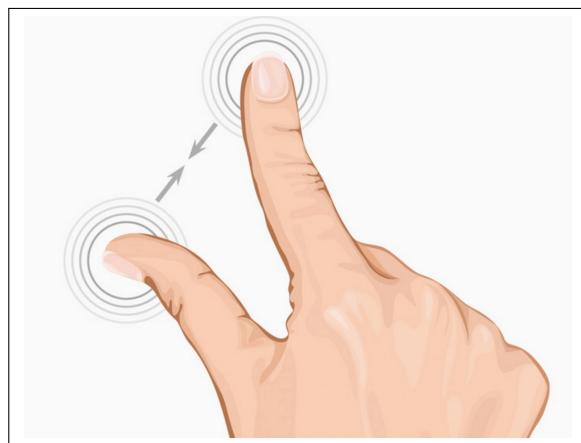


图 3-13 双指缩放

3.3.3.3 动机

动机是由目标或对象引导、激发和维持个体活动的一种内在心理过程或内部动力。动机能够激发行为，且能引导行为的发展。马斯洛的需求层次理论认为，人的生理需求处于金字塔的末端，而自我实现和尊重的需要处于金字塔的顶端。人天生是一类勇于探索的生物，从海洋到陆地，从森林到草原，从石器到电气，人类进步最大的动机就是探索未知的世界。一个人若想自我实现所能达到的最高成就，便是在人类未知的领域去迈出自己的一大步。古往今来，哥伦布、麦哲伦、阿姆斯特朗等都是代表人类迈出了探索世界的脚步，探索的精神已经深深植入人类的心底，戴上眼镜，进入全景漫游的世界，对于个体而言即是相当于自我探索的一大步，这也就是全景漫游技术所带给体验者最好的礼物。

§3.4 全景漫游与人的总体关系

据上述分析，全景漫游提供给人的是一种沉浸式的连续体验，其与人的多种生理心理特征均有所关联。从客观角度分析，人与全景漫游是通过以头部活动为主、肢体操作与活动为辅的输入形式，以视觉、听觉为主要感觉的输出形式进行互动的。从人的心理感受角度，人的意识、认知等思维活动都对全景漫游体验的产生与维持提供了支持。同时，认识到人的生理和心理过程都存在一定的能耗，全景漫游是一项对人的生理和心理适应性和耐久性都具有考验的活动，如何降低人在全景漫游体验中各种操作所带来的身心负担是全景漫游交互设计所需要配合相关技术所解决的重要问题。

长久以来，科研人员针对全景漫游体验中从技术角度通过开发新的操作方式而改善使用体验的努力一直没有停止，但就设计角度优化交互行为既而降低用户认知操作负担的工作大多停留在实践阶段，并没有充分有效的理论支持设计的改进内容。本章从全景漫游与人的联系中分析并得到了全景漫游中用户操作行为背后的生理心理因素，从本质上揭示了全景漫游体验的根源，为下文进行可视化方面的交互研究铺垫了相关基础。

第四章 全景漫游的信息架构

用户在进行全景漫游时与场景进行交互，本质上是于场景的构成信息进行交互。简单的信息不需要组织，直接呈现给用户即可展示其内容。但当信息的复杂程度超过人所能同时认知的数量时，信息量过载会造成理解效率的急剧下降。信息架构是对某一类信息进行统筹、安排、规划等处理的方法，它决定了信息以何种形式展现给使用信息的人。信息架构的形式有很多种，常见的类似于组织机构的部门职务构成，以层级作为架构的主体形式，如图 4-1。其核心思想是同一职责或功能的内容进行归并分类，也就是人们常说的分类法。信息架构的形式随着应用情景的改变而做出调整，特别是根据使用信息的用户、信息的内容和信息的载体设备而综合分析。

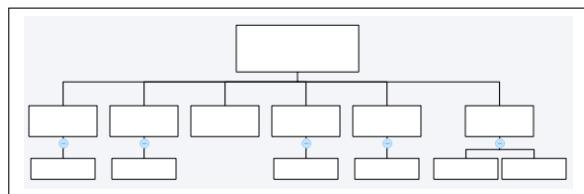


图 4-1 信息架构的常见组织形式

在全景漫游中，信息的呈现形式与数量与一般电子屏幕界面有着很大的差异，在一般人机界面上所适用的信息架构难以满足全景漫游的需要，故需要针对全景漫游所提供的使用场景，根据信息量的多寡、新旧、轻重进行划分，分主次、先后、缓急地进行有规划的呈现。

全景漫游的信息交互有可视化界面、可配戴设备的操作以及语音指令等多种实现形式，本章所涉及内容主要为可视化交互这种形式，辅以其他交互形式作为参照。以可视化交互作为信息架构的主线，从而引导用户在探索发现中认识并使用全景漫游系统。

§4.1 信息的组织形式

可视化图形化人机界面即 GUI 界面由来已久，而最早的计算机则是需要科学家通过输入带孔纸带，计算机通过读取纸带上的小孔获取输入信息来进行运算，现今计算机用户甚至连 70~80 年代常见的命令行界面都未曾见过，如图 4-2。

从命令行程序到图形化人机界面，用户获得的信息变得更多，但输入信息却减少了很多^[16]。无数复杂的程序逻辑隐藏在一次又一次的鼠标点击或是手指点按后面，用户已经不是当年那群使用纸带操作计算机的科学家了。换而言之，用户无法准确记住那么多复杂的计算机命令，更不用提理解计算机内部的程序逻辑，他们只用理解计算机可以提供给他们的功能，例如通过点击某个按钮而无须记住类似“:w”这样的程序命令即可保存文件，并善加利用即可^[17]。

而图形化人机界面毕竟信息量相比与命令行界面信息量多出好几个数量级，例如一个全屏 Shell 窗口的信息量不会超过 500 字节，但是一个屏幕却有高达 $1920 \times 1080 = 2073600$ 个像素，而且图形化人机界面的信息变化效率高，可以用来表现视频动画等信息，其信息复杂度又提高了很多。

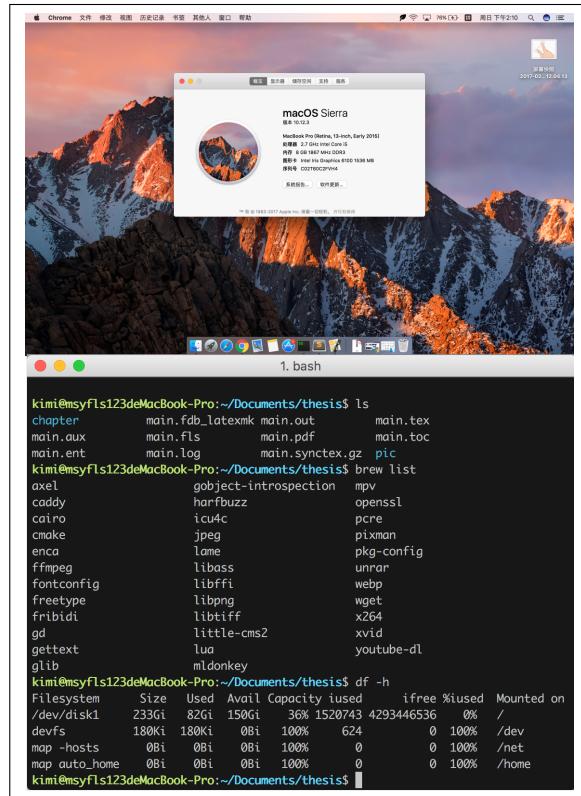


图 4-2 图形化人机界面与命令行界面

综上所述，在图形化人机界面时代随着信息爆炸而造成的信息过载（即信息的处理反馈速度低于信息生产的增长速度，而造成信息沉积）促使信息界面的设计制作者需从信息架构的角度出发，减少冗余信息，整理信息的分布情况以使用户能更直观高效地获取使用信息^[18]。

下文将从信息模型、功能模型两条主线出发，探究全景漫游中可视化交互的可行技术路线，并结合相关理论尝试总结出部分经过实践检验或因技术选择而必然选用的功能模块，以供设计参考。

§4.2 全景漫游的信息模型

全景漫游按形式可类比成游乐园，用户就像游客一样在场景中漫游，由此可以大致描绘出全景漫游的整体信息结构，如图 4-3。这种假象的设计可以将使用者置于一种需求和环境相匹配的使用情景中，使用者可以借鉴平时游玩游乐场所积累的记忆，从场景中找寻到熟悉的“场所”以完成体验的过程。这种模式能够尽可能减少乃至消除用户对踏足陌生环境的恐惧感，人的行动预期也可以被规划在场景的设计中。

4.2.1 信息架构组织形式

信息架构的组织形式多样，一般而言可分为：自顶向下、自底向上和不可见的这三种形式。当前数以亿计的网站、应用和系统的信息架构都可以用它们来概括^[19]。

自顶向下的信息架构是通常网页所采用的形式，其核心思想是用户已经有了一个需求概念和一个立足点（比如网站的首页），用户从首页出发，通过浏览展现的各种信息选择与

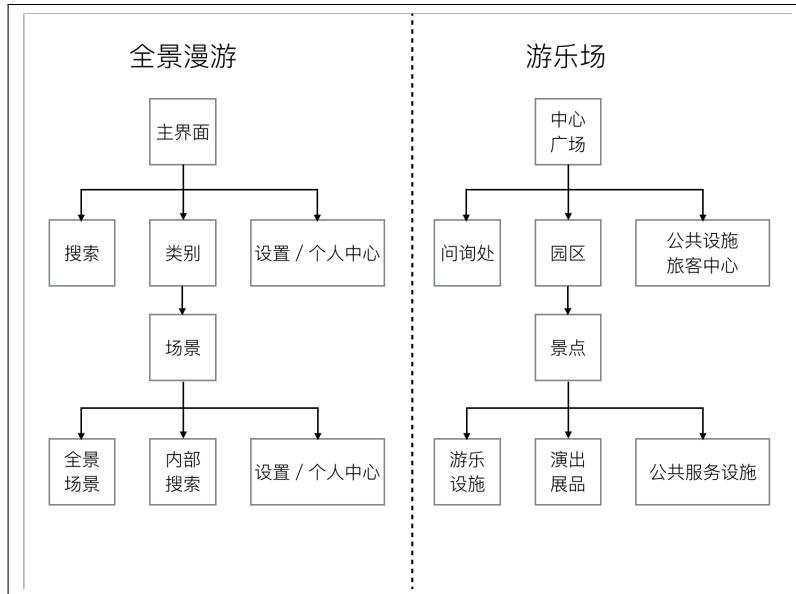


图 4-3 全景漫游与游乐场的信息（组织）结构示意

自己的需求最为匹配的那个进行浏览（通常是进入下一个页面），然后在下一页继续重复上述步骤直至找到自己所需的信息。自顶向下的信息架构非常清晰，所有类别目录都被呈现在用户面前，用户只需明确自己的需求就一定能找到“最接近”的那个页面^[20]。但缺点是层级嵌套过深时容易使用户丧失进一步浏览的冲动，而往往此时离最后的页面只差一步之遥。自顶而下的信息层级以不超过三级为宜，在全景漫游中，“主界面-类别-场景”的层级刚好是三级，所以大部分导航类的场景（页面）采用这种信息架构是可行的。

自底向上的信息架构主要应用于服务于单个目的的应用中，主要通过建立事物间的联系来帮助用户在条目间切换。维基百科就是一个很好的例子，每一个词条都有众多相关链接指向其他的百科页面，通过不同的页面联结就构成了完整的知识体系。这种联系的方式也是现代搜索引擎排序的方式，即通过互相引用的计数来判断一个信息的权重，引用计数越高说明这条信息的真实性和准确性越高。全景漫游中单个场景的设计中可应用这种自底向上信息架构，例如在某个著名景点的全景漫游中，在浏览至某壁画前时通过点击其上的热点按钮，可以弹出关于该壁画的相关信息（如图 4-4），这种信息代入方式相比传统的图文模式更容易使人沉浸于情景中，寓教于乐的效果更为理想。

不可见的信息架构则包含用户输入的部分转换成特定的结构，例如用户的搜索功能等。这种信息架构有时也会影响前两者，比如通过自定义类别或提高相对信息权重来引导用户去关注某一类内容，这一点赋予了信息架构的设计管理者在设计制作完成后不断完善丰富交互内容的能力。

4.2.2 信息架构组件

信息架构的层次间可以互动，用户一般不常接触直接的层次，而是通过与信息架构组件间的交互完成信息互动。常见的组件有浏览帮手、搜索帮手、内容与任务，以及“不可见的”组件。

浏览帮手如网站的目录、导航栏、网站向导等，相当于文章的摘要和目录等，用以引导用户理解网站的大体结构。搜索帮手则是帮助带有特定目的浏览网站的用户更直接更快地通过检索相关信息，直达自己所需信息的页面。内容和任务则是帮助带有探索目的的用户，以完成任务的形式去发现网站的功能，带有这种组件的网站一般为功能工具型网站。

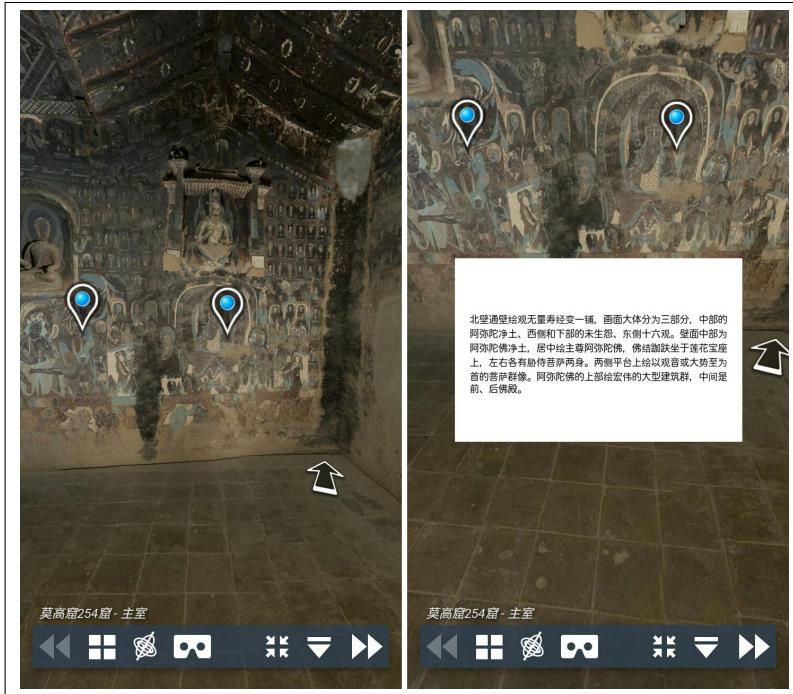


图 4-4 全景漫游与景点介绍结合

而非展示类网站。“不可见的”组件即网站背后的算法和公式等，它们指导前台组件将用户导向更为合理高效的浏览途径上去。

在场景漫游中，内容与任务在场景内起主导作用，而在场景外则是导航与搜索起到引导用户踏足更多场景等作用。

4.2.3 信息架构可视化

信息架构不是藏在界面后面的东西，相反它出现在界面的各个角落。信息是一切操作的出发点和目的地，显然可见的信息架构有助于对此感兴趣的用户去进行深入体验。常见的信息架构的可视化体现在导航栏、搜索功能等上，但其他功能也会需要信息架构的支持，所以信息架构也被用来支持其他一切有功能的架构，以一种无形的形态在其他功能模块里实现自身的可视化。

§4.3 全景漫游的功能模型

以功能目的为分类标准可讲全景漫游的功能分为：漫游功能、导航功能、搜索功能和记忆功能等。在实际应用中，功能的分块可因业务逻辑的复杂而增加或减少（如增添支付功能等）。以纯粹的体验角度而言，以上四项功能构成了用户在全景漫游中绝大部分的行为模式，故在此将它们列举出来讨论是较为合适的。

4.3.1 漫游功能

全景漫游，重在漫游。虽是全景漫游的绝对重点，但其实是设计中最不需要考虑的一点。因为对于该功能的使用，人完全是通过日常经验作出的本能反应，设计只能迎合这种需求。例如，想要让人可以观察到一个景点的全部景致就需要获取到这个地方的全景图（如

图 4-5），而不是简单地提供一张平面图片去让用户想象。而要做到良好的全景漫游体验，只是提供一张全景图片是远远不够的，需要加入众多的场景互动，例如上文的点击热点展开景点的相关信息等。这部分功能可以用另一种全景体验来形容，称为“增强现实”。所谓“虚拟现实”，就是在模拟出全景场景后，再添加“增强现实”的元素，以达到以假乱真甚至超过现实一般的体验。



图 4-5 全景图像示例

4.3.2 导航功能

在场景间切换需要导航功能，这种导航与常见网站与手机应用内的导航基本类似^[21]，但因全景漫游的场景是空间形式的，而用户在其中并不能通过观察周围环境（虚拟场景中的地理信息通常是无效的，且脱离使用者真实所处的场景）分辨场景中的朝向，所以在场景内也通常会设置类似于一般游戏中的小地图^[22]，如图 4-6。这种地图主要起到定位使用者在虚拟场景内位置的作用，原因是真实世界内使用者的位移和转向与游戏中并不完全对应，且因全景漫游体验的封闭性，人很难找到一个参考物，而地图这种形式可以方便地指明场景中角色于其他物体间的参照关系。当使用者转向时，小地图上的代表角色的图标也会随之转向，通过仔细观察并反向演算可以恢复自身的朝向感。

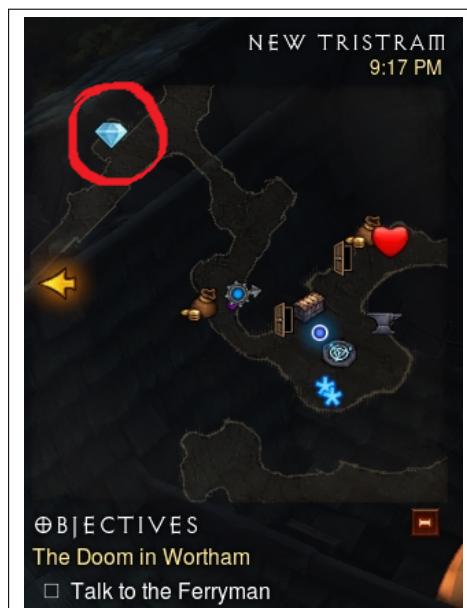


图 4-6 一般游戏中的小地图

4.3.3 搜索功能

搜索功能是非常常见的功能，在全景漫游中搜索功能与其他的基本类似，但因手部操作形式较为简单，故其输入文字信息的功能主要为语音识别来完成。同时，场景内的搜索功能可通过对物件的注视以获取悬浮提示的方式来选择搜索目标，即使用该物件作为搜索对象进行相关信息等检索。

4.3.4 记忆功能

记忆即储存相关信息，在探索行为中是非常重要的。记忆用户行为等目的不只是给予用户可查看的历史记录，更重要的是全景漫游中用户的操作目的性有时并不是那么明显，易造成误操作，通过还原场景功能可以撤销用户最近的若干次操作，同时可以保证场景漫游的流畅性。

系统记忆个人用户的身份信息也是有所必要的，因为每个人使用习惯与生理特性不同，系统应根据账号记忆不同账户用户的使用习惯及设置，从使用过程中自适应用户的操作，以减少用户进行复杂设置的需求。

§4.4 全景漫游的功能模块

为了实现上述功能，需要在场景中插入很多组件。但组件的排序因遵循一定的规律，比如按照格式塔法则，人在注意一些相邻事物时会主动将相似的事物看作一个整体（即一个模块）进行考虑。在设计时即应按照模块化的思维对设计进行分类，模块的设计对于整个交互模式是极为重要的，好的模块设计有利于用户准确分辨并使用不同模块的功能。根据上文所述全景漫游的功能，可分为以下四个功能模块：

- 导航功能模块
- 场景特殊模块
- 多输入交互模块
- 热点模块

4.4.1 导航功能模块

导航功能在场景漫游中使用频率并不高，主要是因为现今全景漫游大部分都只是小范围的活动，导航在整个场景漫游中起到的作用并不明显。但导航的不足会给用户带来迷茫和困惑，甚至令使用者不再愿意使用全景漫游。全景漫游力图给使用者每次带来的都是全新的历程，所以在探索新环境时，导航类的功能会给使用者提供一种情景和舒适感。

4.4.1.1 导航的规则

导航即是将东西整理并告知用户其所在位置的过程。导航的基本原则是在不影响清晰度和阅读效率的情形下展现尽可能多的信息层级结构，同时也需要指出用户当前所处的位置信息。导航除了基本的设计法则外，其规则基本遵循经验规则，如网站导航中经常采用的面包屑导航等。导航功能模块不是一个整体，通常情况下是由一个主要的导航界面附带多个从属的局部导航功能模块所构成。优质的导航服务不会处处显露给用户其全部内容，而只是恰好在用户需要时能够在比较近的区域内找到所需的导航元素。

4.4.1.2 导航的内容

导航模块在不同场景下应该提供不同的内容。例如，主界面下就应当提供类别切换功能，而场景界面里应提供回到主屏幕的返回功能等。具体导航内容可见表 4-1。

表 4-1 界面导航内容

界面	导航内容	全局导航
主界面	类别导航、搜索功能、本地内容、历史记录	否
类别	类别切换、场景列表	有
搜索	无	有
本地内容	类别切换、内容列表	有
历史记录	类别切换、记录列表	有
单个场景	场景内导航（小地图等）	有

4.4.2 场景特殊模块

相比于普通页面的功能模块而言，场景的特殊模块需要额外考虑自身在屏幕内的适应性。例如一个悬浮在场景内的模块，需要在与场景其他部分重叠或接触时可被分辨并识别出来。模块的设计需要考量的因素相当之多，甚至到具体实施的阶段仍会不断调整模块间的适配性。关于模块定义的具体内容会在下一章内以实例的形式进行说明，本段只对一些基本的因素作出说明。

4.4.2.1 模块的单义性

单个模块不会出现歧义，但模块数量一旦超过一定规模，歧义现象就不可避免地出现了，表现为重复定义模块的部分或全部。当模块间所表现出的功能相近时，用户便会产生疑惑感继而不敢做出操作或是进行重复操作。例如，最常见的是签到功能中日历当日选项和“一键签到”的按钮，其功能意义相近，但点日历也许会有查看当日信息的操作可能，所以应该无论用户点击其中任意一项都可完成签到。在设计中应当尽可能避免这种容易迷惑用户的选项，而根据不同功能设置多个单义的功能模块，这样即方便使用者识别，也降低了开发过程中的代码耦合度^[23]。

4.4.2.2 模块的可组合性

模块并不是独立存在的，模块间也会进行组合，表现为模块互相调用依赖等。比如，搜索模块也需要唤起语音输入模块来完成文本信息的录入，否则就失去了搜索的能力。同时，模块有时也会如队列般排列，比如重要操作都会需要二次验证，最简单的形式就是弹出一个确认框模块，只有用户选择了“确认”后才会继续完成后面的流程。

4.4.3 多输入交互模块

主要表现为语音输入模块、重力感应模块等。用户通过多种方式进行输入，设计时需要考量模块总输入的过滤筛选，并加以整合进行输出。

值得注意的是，全景漫游功能是建立在重力感应的技术基础上的，故最贴近其使用形式的交互模式可以采用摆动头部这类动作的形式。可以通过实验方式采集每种基础头部动作的三维运动加速度，经过预处理后作为头部动作的特征量，然后通过建立隐含马尔可夫模型后对实际运用过程中采集的头部动作数据进行识别，转化为基础头部动作的序列，达到头部动作实现交互操作的功能^[24]。

4.4.4 热点模块

场景中有很多非通用但也具有交互能力的模块，统一将其设计称为一个触发器，当用户选择后便给它发出一个激活信号，令其执行预定的操作。热点模块类似于生活中电器的开关，随处可见非常普通但也很重要。

§4.5 全景漫游的信息架构小结

全景漫游系统中信息架构是以真实世界的游乐场为类比对象、自顶向下为主要组织形式、其他架构为辅助的多层次、多路径的信息组织方式。用户进行漫游时以漫游功能为目标、导航功能为导向进行信息浏览，并针对用户使用习惯定义例如多输入交互模块和热点模块等特殊模块以方便交互操作。全景漫游系统中主体模块为导航模块，其不仅仅体现在导航界面的展示，更是整体应用中处处可见的导航功能背后的架构。用户通过实际交互操作的过程，其本质就是与以导航功能为核心的信息架构进行信息交互的过程，漫游功能则是距离用户最近的模块，承担了交互的界面作用。

本章从信息架构阐述了全景漫游系统的信息模型，认识到信息架构的优劣是全景漫游体验的根本因素，提出了全景漫游系统中漫游是以信息发现（即导航）为导向的信息交互的观点。既往全景漫游中应用以单个场景为主导，着重于用户“即来即用、用完即走”的漫游体验，忽视了用户的留存行为是于用户对信息可达性的高标准要求的实际体现。而上述研究中指出，用户对信息的需求对信息的组织形式有较高的要求，故符合用户心理预期的信息架构是能够从功能上满足用户对信息获取便捷性和高效性的需求，是全景漫游设计的必要内容。

第五章 全景漫游的交互模型

全景漫游中的用户交互属于典型的多通道交互，根据前文所列举的关于人的意识的相关理论可知，人在面对多通道输入的刺激时，会或主动或被动地选择一种进行注意。如果这些刺激可以达到被人记忆并在需要时主动唤起的效果，那有可能在多通道输入中自动加工处理，减少对人的脑力资源的占用^[25]。同时，经过良好规划的交互模型也能避免用户出错的概率，提高网络资源的利用率，降低后台服务器程序处理的负担。

基于上述假设，尝试通过认知理论对全景漫游中设备端交互、菜单交互和场景交互，分别构建交互模型。以期通过多种形式展现信息，达到更高效表达场景的意图，结合人与设备的关系切实提升用户操作体验。

§5.1 设备交互

交互从人发出的信息至被设备捕获转换为数字信号是一个明显的“编码 / 解码”的过程。人的动作相当于人通过分析相关信息，并试图理解机器的运作模式，认识到自己所需表达的信息，最后发出了一个按照“所认为机器能够理解的方式”进行编码的“信号”。而设备则是处在各种信息的海洋中，一刻不歇地从外界收集信息，当成功捕获到一个匹配其预设规律的“信号”时，通过确定的解码方式，还原出人最初想表达的信息。

5.1.1 信息流与反馈等待

设备无时无刻不在等待着用户的信息输入，而用户的输入是多通道的，在不同的通道上都会捕获到用户的输入流。多输入流经过处理后在主信息流上合并成一条输入流，由设备程序进行集中处理。如图 5-1。

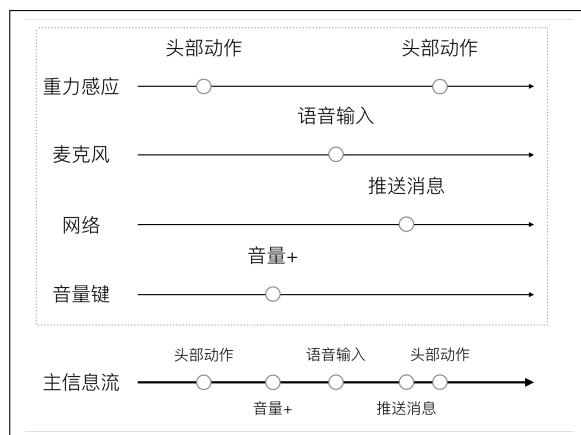


图 5-1 信息流

但常见的场景是，交互行为的发生与处理完成得到反馈并不是即时的，而要经过一定的时间，其等待时间因网络延迟或设备响应而不一^[26]。这时用户等待的过程就会形成一阵交互效果上的“盲区”，也就是常见的“设备无响应”状态，如图 5-2。“设备无响应”情

形在一般设备上出现并不会造成过大的后果，但是在全景漫游中用户的视野处在封闭的空间中，长时间得不到合理反馈易造成用户心理恐慌，是需要通过设计极力避免的情形。

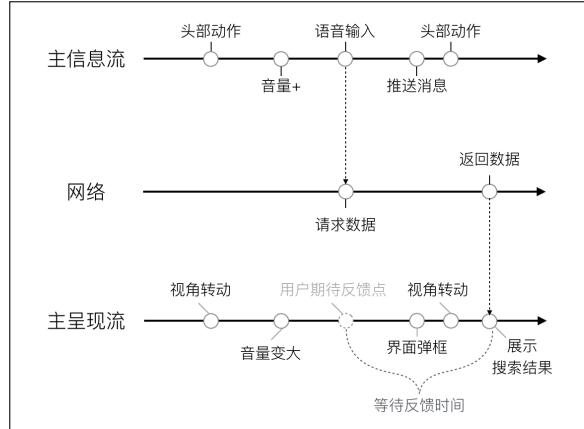


图 5-2 交互中因其他元素造成的等待

即时反馈信息是最理想的方案，但现实情况必须对此作出解释以避免用户等待无反馈而产生迷茫情绪。常见的方案是对用户的输入做出即时反馈，当反馈不能即时给到时给出等待反馈的提示^[27]。前文所提到的通过注视（Gaze）一定时间而做出确定选择的过程就是一种非即时的操作，在等待确认完成过程中通过一些标示告知用户：此处正在等待完成的行为是什么，预计完成的时间是多少等。

5.1.2 信息修正

信息流的出现帮助解决了信息加工过程中信息传达时间不一致的问题，但用户有可能得到的信息不准确或是很模糊，需要用户去判断信息是否符合预期，在无法判断信息的有效性时，如果能够提供给用户一个可以自我纠正的语境，将有利于用户自己辨别信息^[28]。

例如，在导航过程中提供给用户当前朝向与正确方向的箭头图示，用户会尝试向左或向右转向，当向左转时会发现偏离变大，而向右转时会发现偏离变小，用户自然会选择向右转以回到正确方向上去，如图 5-3。

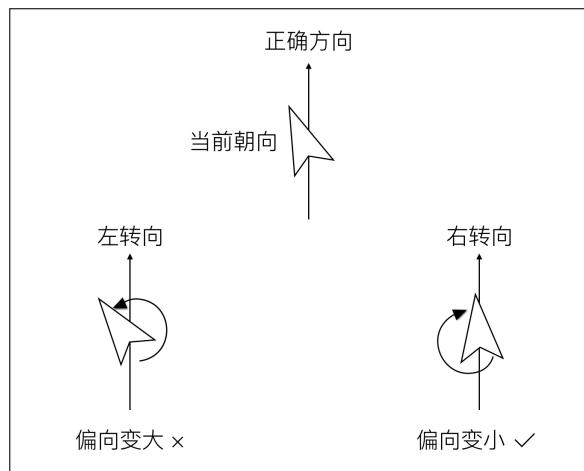


图 5-3 自我修正的交互行为

在全景漫游中与设备进行多通道交互是可行且必要的，人的感官可以从不同通道间获取信息，使人获得的信息更为全面。更为关键的是多通道信息往往能够起到互补的作用，使得信息交互的鲁棒性大大提高，也使用户对于系统和环境的适应性得到了提升^[29]。而全景漫游因与普通的设备交互有所不同，故应加强信息流的建立，避免用户无谓的等待，提高交互的流畅性。而在交互的结果上注重信息的可修正性，帮助用户通过自我反馈建立准确有效的信息流。

§5.2 导航交互

全景漫游中导航功能的重要性不言而喻，但场景中元素的可识别要求又限制了导航功能的复杂度。导航应符合用户对信息整合的需求，而又对场景内容起烘托作用。由前一章信息架构的组织形式可知，导航应包括自顶向下、自底向上、不可见联结这三种基本信息组织形式，它们分别体现为导航层级的上下文感知、单个内容增强信息展示和多任务切换。

5.2.1 上下文感知

上下文是指当前环境中区别于当前本体的因素。上下文按与用户关系可简单分为主动上下文和被动上下文两种。主动上下文指环境中可以直接改变系统行为的状态或变量。被动上下文指那些虽不能直接产生作用但可引起用户兴趣继而通过用户改变系统行为的状态或变量^[30]。上下文感知是指计算实体能够根据上下文环境的变化及时调整自身行为，使用户从信息的管理和输入中解放出来，专注于要执行任务的本身^[31]。

上下文感知的作用非常重要，没有上下文用户很难预计进行操作时即将发生的变化，容易在使用过程产生困惑。网页等在通过列表批量展示内容时都会同时展示该内容的多项信息，包括名称、录入时间、信息量等（可能因内容类型不同而信息名称有所差异）。例如商城类网页会展示商品的名称、产地、出厂时间等，这些信息就是上下文。通过阅读理解相关信息，用户可以在不打开具体页面的情况下对相应项目得到一个基本的认识^[32]。

上下文感知发生在上下文环境的改变过程中，具体表现为上下文语境的重构，即移除不再相关的组件，添加新的相关组件，同时改变组件间的联系等^[33]。

例如，在前文所提出的列表展示内容的页面中，当用户切换列表界面时，界面上标签的语义发生了变化，如图 5-4。图中上半部分为分类的菜单，下半部分为某一分类的更多页面。上半部分中三个标签分别是不同的分类，而下半部分的三个标签则是针对同意分类的三种不同筛选方式。虽然两者形式上类似，但标签的语义截然不同。

表 5-1 分类菜单和单个类别菜单的语义

栏目	分类菜单	单个类别菜单
数据集合	不同	相同
切换方式	点击标签	点击标签
标签意义	集合代称	筛选依据

在上下文语境的重构过程中，语义的变化如表 5-1。表中可知，用户在语境切换后操作方式没有变化，依旧为点击标签，但单个标签的意义和数据的集合都发生了改变。这种情况下就容易造成上下文环境的语义混淆，需要直观且清晰地提示用户场景的语境已经发生变化，并标注上可供用户理解当前上下文环境的关键信息（如当前栏目的标示等）。

如图 5-5，在 PC 端网页中，常用的标注语境的方式是一种“面包屑导航”，将从首页至当前页面所有途径的页面名称罗列出来^[34]。而在移动端设备上，因屏幕宽度上有限制，常



图 5-4 上下文语境的重构

用的做法是在顶部功能栏正中标注出当前栏目名称。而在全景漫游中，因界面不一定限制于二维空间内，故可以采用按深度排列的界面，以标示用户途径的界面。用户在切换界面时，同时可以看到曾经访问过的页面的一部分，容易理解该页面是由前一个页面中的部分扩展而来，对整体信息架构也会产生一定的了解。

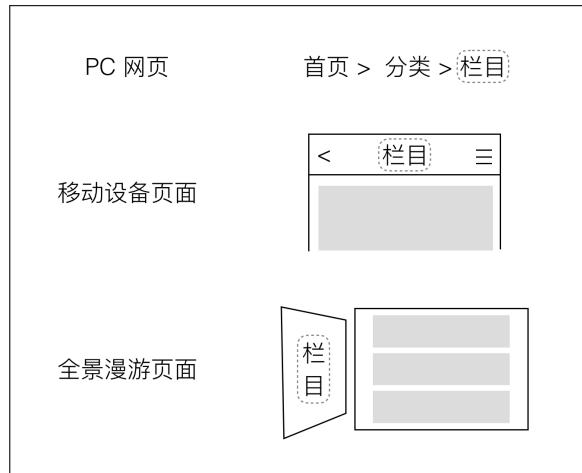


图 5-5 不同设备状态下的页面语境标示

在全景漫游的界面设计中，应当尤其注意语境的建立，以帮助用户更清晰地认知自身在导航功能中的位置，同时建立起对上下文环境的基本感知。

5.2.2 增强信息

在单个页面里尽可能多地铺陈相关信息，包括其他相关内容，减少用户反复查找的负担。信息的增加看似会对用户造成认知上的负担，但经过良好组织的信息是容易被用户快速接受的。增强信息的本质是还原给用户真实且有效的足量信息，但信息的形式应易于用户通过简单的理解即可识别。研究显示，在理解复杂概念时，人对图像（尤其是图形）信

息的理解准确度和速度相比理解文本信息均有一定程度的提高^[35]。而对同为文本信息的内容而言，受过教育的人对数字这类表义性单一的文字识别能力也高于对其他复杂语言文字的识别。故可以假设信息易识别性公式 5-1。

$$\text{Icon} > \text{Graph} > \text{Number} > \text{Character} \quad (5-1)$$

根据上述内容可知，增强信息的重点在于加强图像或数字类信息的应用。结合当前设计潮流，图像和数字的确是现代网络环境下界面设计的主要构成元素，故将其作为信息的增强和补充说明是合理的。例如，在世界自然基金会（WWF）推出的 WWF Together 主题应用中，在展示各种动植物的项目时，以数字形式展现动植物的年均生育率、平均身高、体重，以在地球模型上标示的不同颜色区域展现动物的栖息地，甚至通过 GPS 系统向用户展示当前于该动物栖息地间的距离，使用户对该类动植物的生态状况有直观的了解。这种展示方式既能充分地向用户展示相关信息，而且可以将用户代入到场景中，引起用户感同身受的心理，加强生态保护教育的记忆。

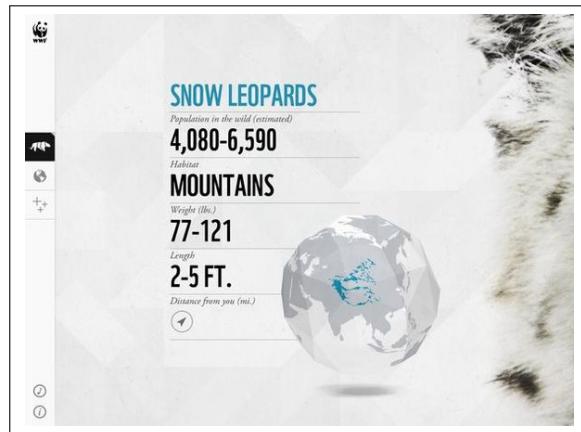


图 5-6 WWF Together 主题应用截图

将增强信息置于上下文语境内考量时，其应用符合人的心智模型对于信息架构的认知。从宏观角度看，用户进入应用场景时的心智模型与设计者设想的心智模型是有所冲突的，理想的应用场景应是用户一进入应用就能立即发现感兴趣的项目，但受限于现有技术和信息隐私的限制，用户进入场景时的心智模型是比较不符合预期的，但随着使用认知的改变而发生变化。通过信息增强令用户获得足够的有效信息，在客观上也就是使交互界面与用户的使用习惯和生活认知相契合，最终使用户心智模型与交互模型达到匹配^[36]。

5.2.3 多任务切换

在当下计算设备的计算能力飞速提升的今天，支持多进程已是一个操作系统必备的能力，用户往往会在社交应用和工具应用中来回切换，切换任务的过程存在消耗，而这其中往往消耗掉的是用户对于当前任务状态的认知^[37]。多任务切换时保留被切换应用的状态可以帮助用户留住关于该任务的部分认知，而当用户需要切换回该任务时可以通过留存的任务状态快速回到之前工作的状态。展示多任务切换的方式有很多中，相比而言最为直观的是类似 Mac OSX 的任务窗口收缩进 Dock 栏的方式。借鉴其多任务的切换方式，可以设计全景漫游中不同场景间切换的实现方式，如图 5-7 所示。

上图分为四个状态

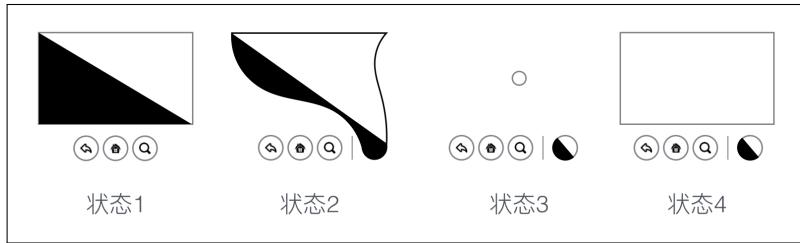


图 5-7 多任务切换的交互场景

状态 1 正在使用应用 A

状态 2 用户主动打断应用运行或是用户收到系统信息而转去应用 B，此时应用 A 以一种类似布绢收拢的形式缩小至底部全局导航栏的一侧

状态 3 应用 A 已完全最小化到导航栏内，同时应用 B 以一个小圆点进行扩展的形式开始打开

状态 4 应用 B 完全打开

此时用户能够明确地认识到应用 A 并未被关闭，同时可以通过导航栏中应用 A 的图标再次进入应用 A 并回到先前工作状态。这样就实现了用户心理上对于任务进程的闭环认识，避免用户因无法返回先前的使用状态而从头开始操作的问题。同时多任务也符合用户对于全景漫游场景应用的期望，即在一个应用中完成多种不同类型的任务，有助于提高用户的期望确认度。已有研究表明，用户的期望确认度对满意度和持续使用意愿均有显著的正向影响^[38]，故多任务切换的功能对全景漫游应用的体验起到了提升的作用。

综上所述，在进行全景漫游的导航系统交互模型设计时，因考虑不同路径不同结果取向的导航形式，并结合全景漫游在空间上的延展性，充分利用周边资源建立用户可认知的信息架构。在宏观层面上，注重上下文语境的建立，以方便用户辨别当前所处位置，在微观层面上，注重语境的内部转换和外部转换场景，使用户对于应用的整体认知保持统一（见图 5-8）。

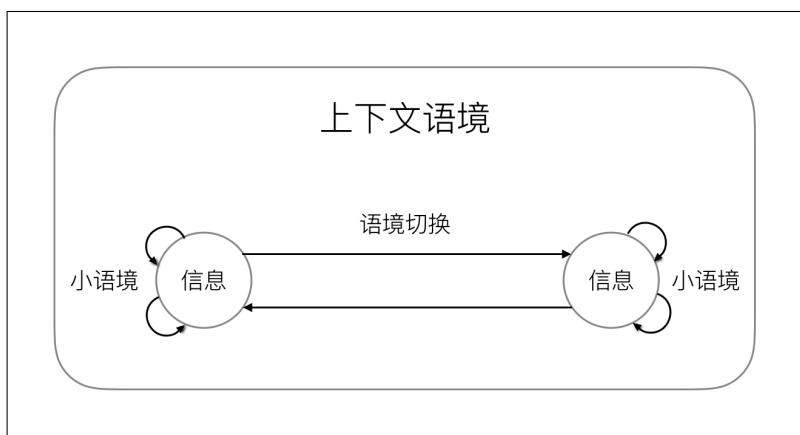


图 5-8 全景漫游的语境建立

§5.3 场景交互

场景交互是全景漫游的核心功能，其他所有功能都是为了满足这个功能而实现的辅助内容，场景交互的质量直接关系到用户对于应用的满意度和持续使用意愿等心理性质。场景交互的主要对象是场景内的路径、全景图、可交互物件等，它们都是以一定形式储存的三维坐标信息。故研究场景交互时，从数据角度切入交互的实现过程是可行且必要的。

5.3.1 场景漫游路径

场景交互的形式如果按照漫游路径是否可由用户自主选择的角度，可分为定点路径、定向路径和非定向路径等三种^[39]。

从全景图片角度考量，定点路径是指用户仅可在按固定的若干点观察全景视图，定向路径是指用户可在一条固定的路径上观察，而非定向路径则是指用户可在任意点观察全景视图。显然，人眼直接观察景物的方式是非定向路径的形式，但以当前的技术水平和成本考虑这是不太容易实现的。定向路径就是通过预先设置漫游路径，然后再播放漫游路径的方式来实现在三维场景中的受限漫游，这种技术当前在实现上是较为成熟的^[40]，其数据形式本质上就是全景视频。定点路径则简单得多，只是按定点序列采集的全景照片。这三种漫游路径，其成因如图 5-9。

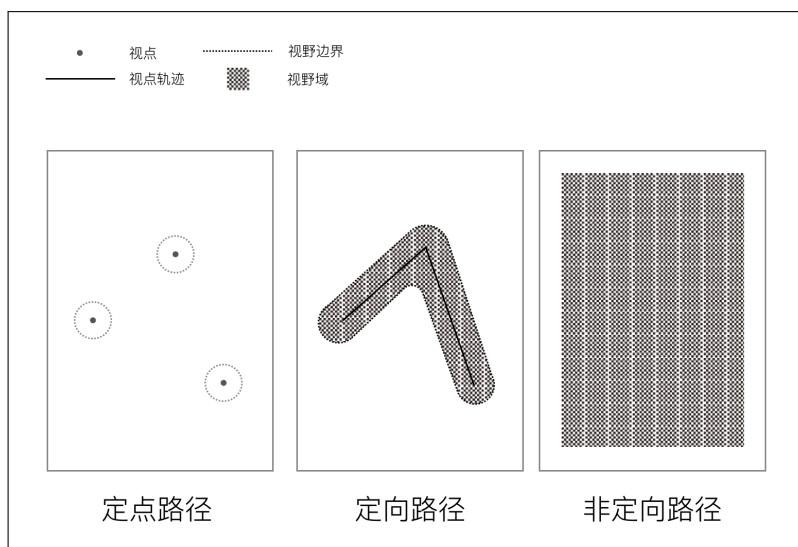


图 5-9 全景场景的漫游路径

故全景漫游的不同应用情景中，以成本角度考虑，最经济的做法是作定点路径，就是拍摄数张全景图，通过程序构建可供漫游的场景。在重要应用场合，路径较为简单（如直线行进）的情况下，可以考虑通过全景摄像机拍摄一段路径上的照片，采用定向路径漫游的形式。但可以预计到的是，从全景图片升级到全景视频，其复杂程度会呈现巨量增长。经作者估算，一般全景漫游路径选择对全景数据空间复杂度的关系如表 5-2。

其中，除了定点路径全景图和全景视频以及定向路径的全景图以外，其他三种漫游路径形式在当前技术都是难以实现的。从图片的组织形式上看，定点路径的全景视频和定向路径的全景图并没有区别，都是一系列的图像帧。从长远角度看，全景漫游的形式会趋向以全景视频或定向路径形式的漫游为主的漫游形式，但如采用定向路径的漫游形式可能因

表 5-2 全景漫游路径选择数据空间复杂度
(以单一全景图作为 1 个单位)

路径	全景图	全景视频
定点路径	1	t
定向路径	n	nt
非定向路径	n^3	n^3t

注: t 为单位时间, n 为单位路径

真实场地限制而无法获得理想的漫游体验。故当下仍以离散的定点路径全景图像为主, 场景间的切换逻辑是全景漫游交互设计过程中重要的部分^[41]。

5.3.2 场景切换标识

场景切换过程中指示场景信息的方式主要有三种: 指示箭头、小地图和场景图片序列。其中, 指示箭头就是三维场景中的一个箭头状标识, 如图 5-10。小地图和场景图片序列则是通过二维方式呈现的图形图像信息, 如图 5-11。这三种方式优缺点不一: 箭头形式可以在场景中较为方便地理解为场景的出入口, 但其无法提供更多关于场景的信息; 小地图可以很好地展现当前朝向和所在位置, 但并不如指示箭头那样在场景中直观呈现^[42]; 而场景图片序列则是能很好地展现不同场景的图像信息, 但场景间的关联性弱, 无法产生情景联结。



图 5-10 场景切换的指向箭头

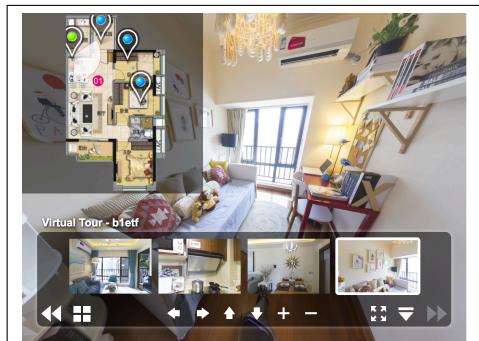


图 5-11 场景小地图和场景序列

针对上述问题, 本文尝试使用一种改良过的指向图标来指示场景的出入和场景间的关系。如图 5-12 所示, 图标的基本形态相同, 均为带尖头的圆片状, 不同的是其上面的标识随指示类型而不同。第一排为四种基本指向图标: 普通指向、返回指向、付费指向和星标指向。

基本指向图标 以箭头作为标识, 表示一般的场景切换

返回指向图标 表示返回先前来源的场景

付费指向图标 表示下一个为收费场景, 需付费后才可进入

星标指向图标 下一个场景为被推荐或用户自行标注为星标的场景

图 5-12 第二排为依据第一排图标的形式异化得到的多指示图标。不可使用的指向图标表示该场景暂时不可用, 已付费指向图标表示该场景已经付费可以正常使用, 返回星标指向图标表示返回星标场景。这种图标形式可根据功能需求自由扩充组合使用, 相比一般图标其携带信息量更大, 用户可借此方便地确认想要前往的场景。



图 5-12 新的指示图标系列

5.3.3 直观化交互

WYSIWYG，即“所见即所得”是一种常见的编辑模式，它便是一种很理想的设备交互模型，用户不必关注程序背后的逻辑，甚至不必关心自己编辑的文章真实存储的数据是何种形式，只需要看到屏幕上呈现的内容就是别人所能看到的内容。

全景漫游展示的正是这样一种过程，由不直观的概念转换为直观的概念。如图 5-13 所示，人对房屋整体概念的认识观念是从具象至抽象，只有抽象简洁的概念才能方便地存储于人脑的记忆中，但涉及到具体房屋的理解时，是从单纯的“房屋”名词，到草图的展示，再到带有色彩的照片。

近年来，有学者提出基于物理存在感的交互设计，即在交互界面上模拟真实世界的物理实体，利用人生活中通过内隐性学习获得的缄默知识（即惯例和规则），从而带来产品易用性的提升和用户好感度的增强^[43]。物理存在感是信息模式快速匹配，以求实现无需学习的直观化交互^[44]。全景漫游正是要物理存在感在计算机虚拟空间内的自然延续，延伸人类的心智世界，故将交互过程直观化为日常生活行为是可行的。

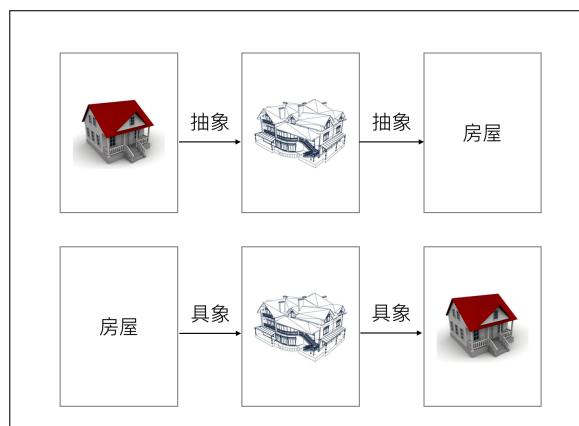


图 5-13 具象和抽象

本节主要从场景漫游路径、场景切换、直观化交互三个方面阐述了场景漫游状态下的交互模型。漫游路径的选取决定了全景漫游的连贯度；场景切换则是从设计角度弥补全景漫游的场景衔接直观性的不足，通过指示的方式提醒用户前后场景的特性和相互关系；直观化交互则是引入物理存在感的概念，将虚拟场景与真实场景结合起来，让用户可以凭借直接就能在场景里自如地漫游。根据上述分析，可以绘出全景漫游场景相关的交互模型，如图 5-14。

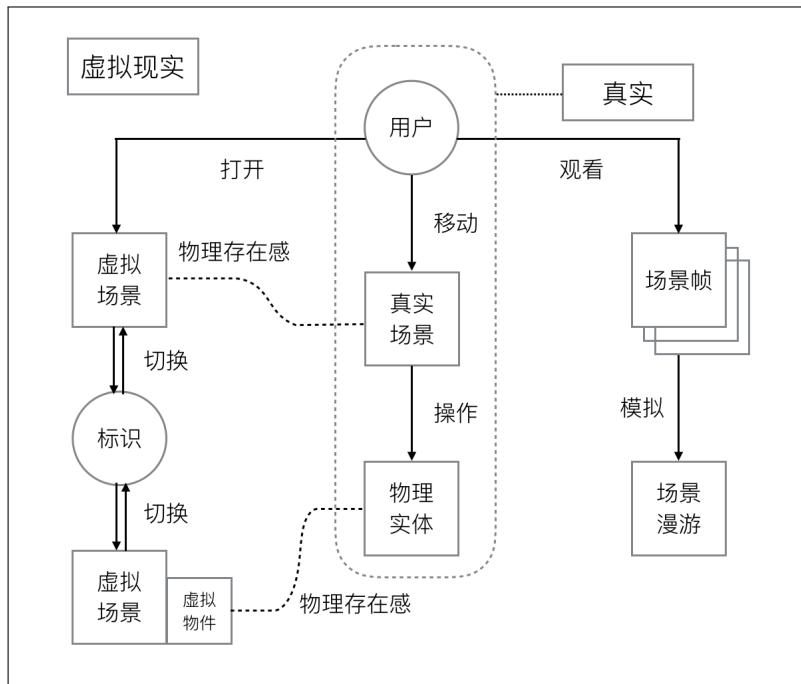


图 5-14 场景漫游的交互模型

§5.4 全景漫游的交互模型小结

全景漫游中交互是以设备交互为操作形式、导航交互为导向、场景交互为目的的多通道交互体验。根据分析可得，设备端交互需要解决的问题是用户操作与反馈间存在不一致的现象，体现为用户操作后反馈的等待时间与反馈的误差等两项，技术角度产生的无法避免的误差就需要通过设计进行弥补。用户在系统内进行导航时将会出现出现浏览语境丢失的问题，需要从上下文感知角度构建符合用户心智的模型以帮助用户建立导航的语境，通过单个页面的增强信息减少用户反复在前后界面检索信息的操作次数，在多任务切换时帮助用户记忆后台应用的位置。而在场景交互中，因全景漫游路径的选择直接关系到场景的数据空间复杂度，故先现有全景漫游的漫游路径多为定点路径和定向路径，场景中存在场景切换不连贯而造成语境割裂的情形，需要设计中建立场景间可视化的关联。

现有全景漫游的交互体验大多以单个场景为主导，所以较少涉及到全景漫游系统的导航交互方面的设计，本章从设备至场景，涵盖了缺失的导航交互模型，填补了研究领域的空白。从技术局限角度出发，分析了漫游交互中的交互语境的问题，以此为研究中心提出了符合用户心智的用以漫游上下文感知增强的场景内外交互模型。

第六章 全景漫游的可视化交互实践

上文中通过对全景漫游与人的生理心理特性相互关系进行分析，梳理了以信息架构和功能模型为主导的可视化设计思路，为实际开发全景漫游项目奠定了基础。结合上述理论支持与作者实习实践所得经验，本章就作者在某公司进行实习工作时，进行全景漫游系统应用开发的过程为可视化交互示范案例进行分析。本案例将从需求定义、功能架构、交互模型定义出发，以实例开发为主线，通过界面设计和程序逻辑部分详细说明全景漫游的可视化实现过程，将理论与实践结合，从而提升全景漫游整体的使用交互体验。

§6.1 需求定义

本例中的研究对象是一个包含商城内容、视频内容和基本交互场景的基于 web 技术的全景漫游系统。本项目在公司内部以 PC 端页面与移动端页面形式进行开发（作者参与设计与前端部分的开发，如图 6-1），是涵盖全景场景视频采集技术、全景视频储存技术等开发内容的综合型全景漫游体验商业项目的衍生子项目之一。作者结合自身实践经验，提出了在开发传统网页界面等同时，利用 web 技术直接开发基于 A-Frame 框架的全景漫游系统，将全景漫游的体验落实到用户进入应用到各个角落。该想法得到了作者实习时相关领导的认可与支持。因实习时间短暂，作者在公司完成了设计调研与传统网页界面的开发过程后结束了实习，此后独立继续开发并初步完成了全景漫游系统的原型设计与制作。

需求列表如下：

1. 满足基本全景漫游功能。因 web 环境受限，以直接在浏览器内打开所支持的操作为限，暂不考虑开发多种操作形式功能。
2. 带有商城功能，实现互动场景的付费 / 免费使用。
3. 支持全景视频的播放，基本功能类似普通播放器。
4. 带有基本的用户设置功能。

根据以上原始需求，从价值需求、功能需求、数据需求等三个角度出发进行需求分析。

6.1.1 价值需求分析

该全景漫游系统的主要用户群为使用计算机或手持移动设备进行网页浏览的青少年群体。其用户特征为对新事物充满好奇心，愿意为良好的用户体验付出金钱成本，但缺点是对事物的专注度低，易于分心。

以该群体作为主要用户对象进行价值评估，按功能和用户的对应需求结合匹配，其价值需求如表 6-1。

根据分析，目标群体所期望的是一种不带有过多使用负担、随到随用、用完可离开也可进行分享的交互体验^[45]。

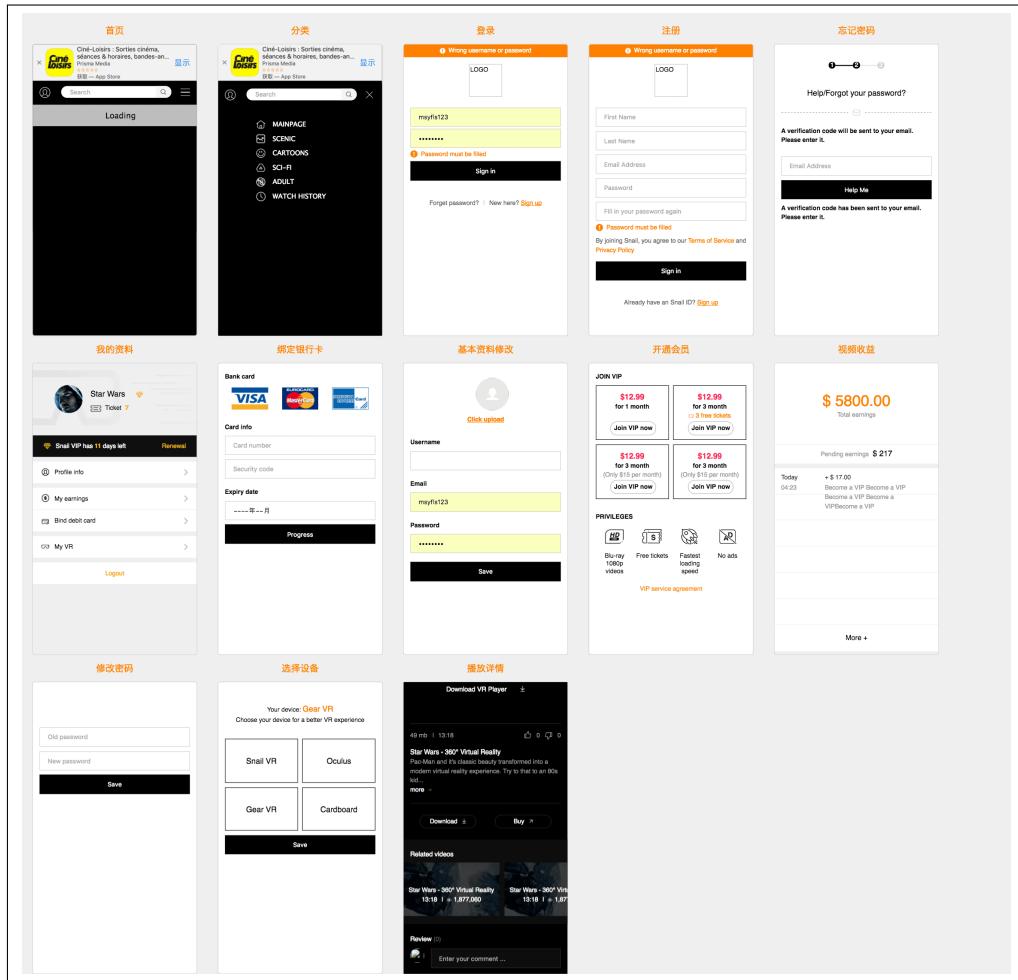


图 6-1 移动端全景漫游系统原型

表 6-1 目标群体价值分析

功能点	用户需求	价值
新鲜感	体验到与其他应用不同的内容	高
操作性	可以方便地了解并获取到所需体验的内容	中
可信度	能够理解场景传达的信息并作出肯定答复	中
丰富性	内容类别丰富、有不同难易层次可供选择	中
可搜索	可以通过文本信息检索需要的项目	低
可回溯	查看历史回放、收藏夹功能	低
社交性	体验后愿意与别人分享使用体验	高

6.1.2 功能需求分析

据上述价值需求分析可得该全景漫游系统的功能需求，系统内的各种分类或是查找功能等，目的都是通过数据整理来让用户更好地发现场景并与其进行交互，如图 6-2。经过整理分析以及结合软件开发难度等因素，可得功能需求表 6-2。

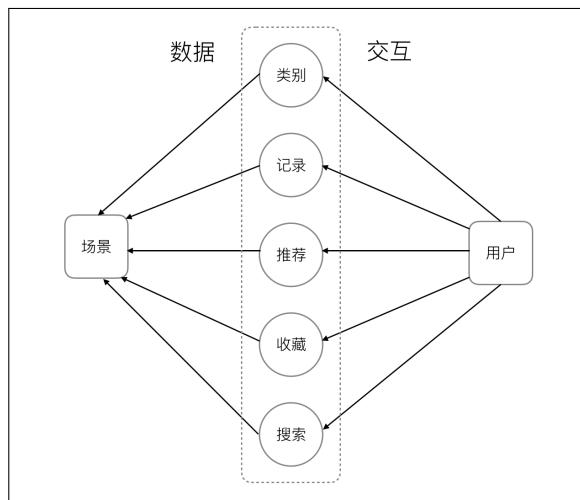


图 6-2 用户通过多种形式发现场景

表 6-2 功能需求表

类别	功能点	描述
主界面	推荐	进入推荐场景
	类别应用	按类别查看场景视频，可翻页，可进入类别界面 被固定的第三方开发的全景应用
	标签	查看场景视频 切换类别
应用界面	列表	展示第三方应用
	标签	切换类别
设置界面	通用设置	提醒、关于
	个人偏好	账户设置、收藏夹、使用记录
全局导航	返回	返回上一层
	主页	返回主界面
	搜索	唤起全局或当前类别搜索
场景	定位	回到初始角度
	标签	标记为喜爱或讨厌、帮助改进推荐质量
	分享	分享页面至社交媒体
	解锁	解锁付费内容

6.1.3 数据需求分析

根据上述功能需求可知，整个系统中最小的个体单位是场景，数据集合的建立是以场景为中心的。则该全景漫游系统的数据需求以单个场景的数据集出发，进行数据字段的定义，见表 6-3。

表 6-3 场景数据集

类别	字段	描述
基础信息	名称	场景名称
	性质	视频、游戏、应用等
	标签	场景分类（如科幻、太空等）
	介绍	场景简短介绍
自然信息	容量	场景占用空间大小，以 kb 计
	创建日期	场景创建日期
	时长	仅对视频场景有效
	地理信息	场景录入地点
人为信息	价格	免费、收费、部分收费
	分级	年龄限制、内容限制
	可用	可用或不可用

而作为交互界面，场景是用来服务于使用其的用户的，故数据需求也包含用户信息数据的模型，见表 6-4。

表 6-4 用户数据集

类别	字段	描述
基本信息	名称	账户名称
	密码	账户密码
	邮箱	账户邮箱
被动收集信息	观看记录	场景、时间、时长
	付费记录	场景、应用、视频即其价格
	操作记录	使用场景的有效信息
主动输入信息	标签	标记喜恶、收藏
	偏好设置	使用设备、情景模式等

§6.2 功能架构

据上述需求分析，该全景漫游系统等功能架构表现两种核心功能：“发现功能”和“场景漫游”。

6.2.1 发现功能

浏览功能 用户在包括主界面内的各种类别界面内浏览场景相关信息，发现自己所想要体验的场景。

搜索功能 用户需要即时搜索得到自己想要的信息。

记录功能 用户可以查看自己的浏览历史和收藏内容。

付费功能 用户需要支付一定成本来查看某些场景或场景的局部。

自定义功能 用户可以通过设置来自定义系统偏好。

6.2.2 场景漫游功能

漫游功能 用户可以通过转向、仰头低头、注视等方式漫游整个场景。

互动功能 用户可以通过转向、仰头低头、注视等方式漫与场景内特定物件进行互动。

视频功能 用户可以以全景的形式观看特殊全景视频。

标记功能 用户将场景标记自己的评价、收藏或是分享给其他人。

§6.3 交互模型

交互模型即是一系列交互方式、模式、行为的总称，它定义了交互过程中交互的主体对象和行为方式。交互模型并没有准确的定义，因为根据不同的产品而言，交互行为的目的并不相同。例如，对于网站管理员而言，编写并输入网站内容是使用网站的目的，而对于一般浏览者而言，浏览网页上提供的信息则是其在该网站上行为的目的，故从不同角色和视角看待交互模型都会是不同的。而构建交互模型的主要目的则是指导交互设计的进行，则构建一个能同时被用户接受并符合一般软件开发规律的交互模型是十分重要的。

交互模型需要符合用户心智模型并在后续可以方便进行扩充。全景漫游的场景交互模型在前一章节末尾处已经给出，此处不再赘述。在该全景漫游系统中，其系统交互模型如图 6-3。

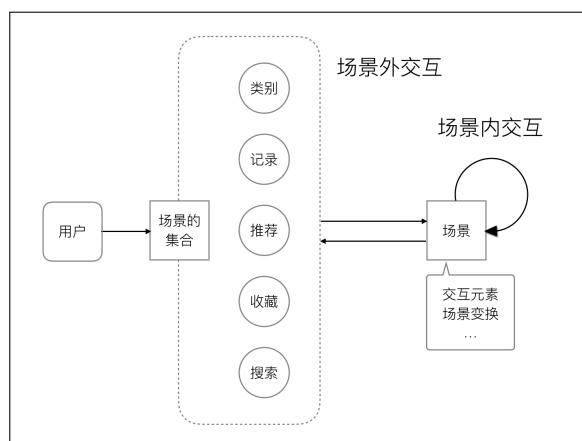


图 6-3 全景漫游系统的系统交互模型

§6.4 原型设计

基于本文提出的全景漫游可视化交互模型，结合上述需求分析与功能架构，我们设计了一个基于 Web 技术、以开源框架 A-Frame 作为载体的网页版全景漫游系统作为设计原型进行设计制作并验证理论的有效性。

本文将着重从全景漫游系统的导航界面、场景界面、一般功能界面和操作方式等四个方面阐述该设计。

6.4.1 常用术语

为方便理解，本设计中部分常见术语规定如下，具体设计中如有特殊术语或图例已在图中绘制图例，此处不再赘述。

凝视触发 通过凝视某个控件使其触发，常用于按钮、方向控件等

指向图标 全景漫游用于进行场景切换的图标标识

6.4.1.1 方位定义

全景漫游中漫游的主体是一台虚拟的摄像机，整个呈现的场景都是它所拍摄的画面。根据机械原理，一个物体具有 6 个方向的自由度。以右手坐标系为基准，三个正交轴轴分别为 xyz，则其中一个物体的自由度分别是 xyz 三个轴方向上的位移及绕这三个轴的转角，如图 6-4。当进行场景漫游时，其实就是通过调整这 6 个自由度中的一个或多个，继而改变场景画面^[46]。

其中，三个轴的转角是通过重力感应器来捕捉动作并进行调整，而三个轴上的位移则需要额外的输入形式，但考虑到物理真实的需要，一般不做 y 轴方向（即重力方向）的位移，故只需进行 xz 两轴的位移，下文提到的位置控件即是实现了在场景内水平方向的漫游功能。

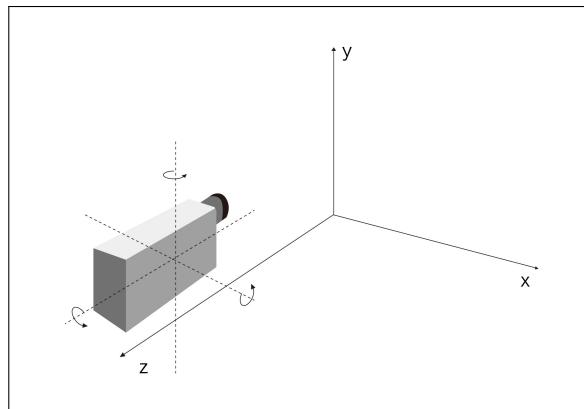


图 6-4 全景漫游的 6 个自由度

6.4.2 导航界面设计

导航功能试图在单个界面里包容更多的上下文信息以便用户准确定位自身所在，同时通过多界面并存的形式方便用户可以随时查看早前访问过的页面。根据前文人的视域的特

性，导航界面整体功能菜单向下布置，主要元素垂直方向布置，方便用户浏览。因全景漫游具有一定的空间感，将部分界面设计成多面环状排布更有利于用户查看相关信息。

导航漫游记录以3D界面形式呈现。用户可由当前界面观察到早先访问过的界面的一部分，有助于用户建立上下文感知。如图6-5。



图 6-5 3D 界面

6.4.2.1 主界面

主界面采用格式塔法则将各功能元素按区块设置。根据视觉特性，人的视觉注意是从左上至右上，再从左下至右下。中心界面左上为推荐模块，是用户进入界面后第一眼看到的场景，最容易吸引用户注意力。右上方为类别菜单，帮助用户建立漫游系统的分类体系。整个下方为二级推荐栏目，这里是系统根据用户特征及热门栏目综合计算得出的推荐项目。

左侧界面为部分置顶的类别界面，下方为标签栏，提供给用户切换分类的功能，用户可以通过浏览上部菜单了解到该类别部分场景的信息。右侧界面为历史记录或收藏夹界面。

主界面设计如图6-6。

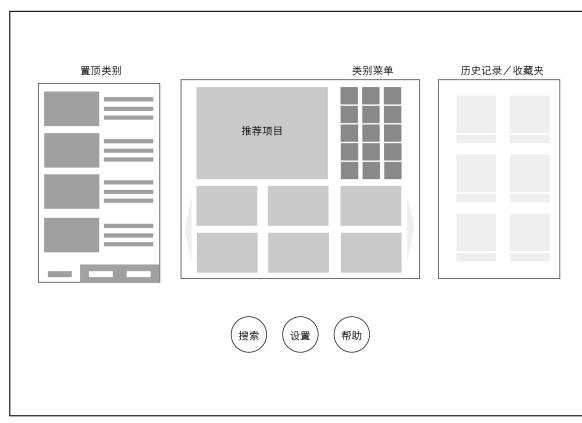


图 6-6 主界面

6.4.2.2 类别界面

类别界面则提供了更多分类以供选择，同时通过分页形式展示了全部的分类项目，考虑到用户操作次数的限制，通过筛选器查找分类里某个场景应用的功能意义较小，故在此只设计出以分类名查看场景应用的形式。分类的换页是不常用的功能，用户浏览的顺序大

多为按类别查看第一页的项目，所以把分页设置于右侧，并且分页切换是上下排布，更利于用户通过仰头低头进行切换，降低了使用负担。类别界面如图 6-7。

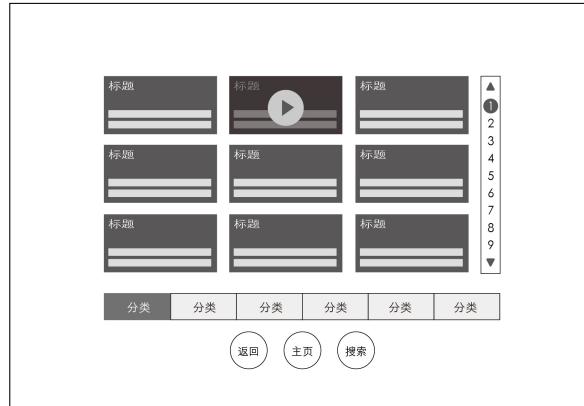


图 6-7 类别界面

考虑到存在用户偏向物理存在感强的菜单界面，故也有仿星系运动的界面如图 6-8。这种界面趣味性更强，但因其与常见二维界面差别过大，开发难度和实现上难度较大，故本文只做示例，下文仍以平面导航界面为例说明。

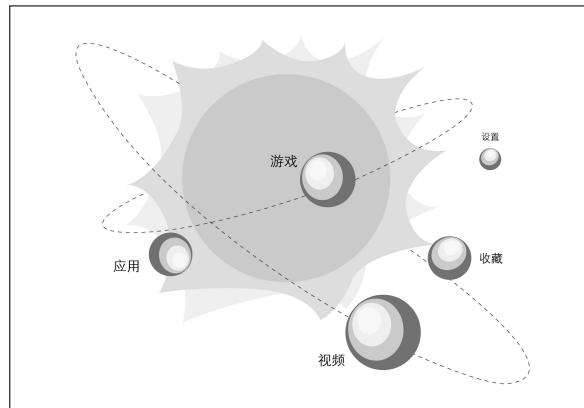


图 6-8 星系状界面

6.4.2.3 详情界面

详情界面是用户进入场景前的最后一个界面，这个界面的作用是在正式进入全景漫游应用前通过二维界面的形式，概括且有效地传递给用户场景相关的信息，帮助用户对全景场景建立模糊的信息架构。

该界面由三块相关的信息卡片构成。中心卡片为主卡片，介绍场景的基本信息，并包含“进入场景”、“收藏”和“分享”等三个功能按钮。主卡片的作用是引导用户进入场景或进行社交行为，故信息量较小。

左侧卡片为主观介绍信息，有图集、相关小知识和用户评价等三个模块，可以借助其他群体的图像文字资料让用户建立场景的第一印象。同时，用户也可在该卡片中分享自己对浏览该场景的体会。

右侧卡片为客观介绍信息，有地理信息、电话、好友标注等三个模块，帮助部分想要真正前往场景游玩的用户建立对真实场景的认识。其中，地理信息在该场景真实位置距用

户较远时（不在同一国家）以三维地球形式展示，较近时（同一国家内）时以二维地图形式呈现。在该卡片中会显示同样对这个场景感兴趣的好友，方便用户结伴而行。

单个场景详情界面如图 6-9。



图 6-9 单个场景详情界面

6.4.3 漫游界面设计

- 漫游界面带有紧急退出区域，只需视线停留 3 秒以上就可以紧急退出场景，避免眩晕加重。
- 可通过地面上的指示图标切换场景。
- 可通过场景中的热点区域查看详细信息。

设置紧急退出的区域的目的是防止用户因长时间处于紧张及刺激状态造成晕眩，此时用户精神难以集中，若继续采取普通的凝视触发按钮触发退出的操作形式，用户操作失败率会变高很多，应转换为更大面积且更容易触发的形式。此时，用户只需仰头数秒，就可退出全景漫游应用乃至直接关闭设备。如图 6-10。



图 6-10 漫游界面设计

在漫游中使用四向盘进行镜头的位移^[47]，如图 6-11。具体交互形式见下文的漫游操作方式设计。



图 6-11 漫游中进行镜头位移

当漫游场景中字场景数量多并且相互逻辑不够清晰时，可采用将场景缩略图置于视野上方悬浮的形式以作参考，如图 6-12。



图 6-12 漫游中场景缩略图

6.4.4 功能界面设计

功能界面是为了满足特定功能需要而区别于一般列表详情等的特殊界面，其设计在符合整体设计规划的同时也具有特异性，表现为侧重于满足特殊功能的特殊交互形式或控件。以下介绍语音搜索、设置及支付等三种特殊界面等原型设计。

6.4.4.1 语音搜索

语音搜索界面，左侧上方为语音控件，凝视触发后可以采集声音经识别后转换为文字，在其下文本框内可以看到识别后的文字。右侧为根据所识别等文字所推荐的选项，因语音输入识别仍存在输入效率低的问题，故推荐选项可以一定程度上提升用户一次性输入符合预期的搜索文字的成功率。语音搜索界面如图 6-13。

6.4.4.2 设置界面

设置界面提供用户对系统整体布局的调整选项。布尔选项框的操作方式于按钮类似，都为凝视触发。范围选择控件的触发方式为视线凝视后定位到指定位置，在视线经过时也会提示当前视线位置的刻度值。设置界面如图 6-14。



图 6-13 语音搜索界面

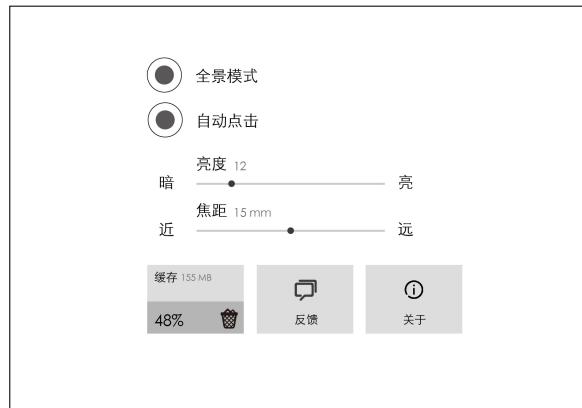


图 6-14 设置界面

6.4.4.3 支付界面

支付界面显示了购买项目、金额等基本信息，同时提供了支付方式和支付密码两项需要用户输入的控件。用户需要确认支付的内容，以及根据需要选择支付方式，并通过密码验证，最后在右侧选择“确认支付”或是“取消支付”选项。

考虑到用户在连续输入两项后易因注意分散而产生误操作的可能，将确认取消按钮置于右侧后需要用户头部偏转才可以完成全部支付流程。确认步骤需要用户将视线先向右偏转，再上下浏览选项进行思考，客观上增加了操作的局部复杂度，有助于用户调整注意力，减少错误操作的概率^[48]。

支付界面如图 6-15。

6.4.5 操作方式设计

凝视触发是普通按钮和位移控件的基本触发形式，在图 6-16 中加以说明。

前翻和后翻功能是类似书本翻页的功能，可以被用户较为轻松地理解为场景的切换功能，但场景的切换一般为通过触发场景内特定指向箭头，不宜于用户直观寻找，故设置前翻或后翻控件，当视线短时二次进入时可触发切换场景（类似于翻页）的操作，其设计借鉴于移动端场景漫游中上下拖动切换场景的操作^[49]。因全景漫游中上下空间被导航栏使用，左右摆头可能为更适合全景漫游切换场景的方式，同时考虑操作中的容错率，快速摆头至指定区域两次可视为一次完整的头部动作，从而触发切换场景的操作。操作方式示意如图 6-16。

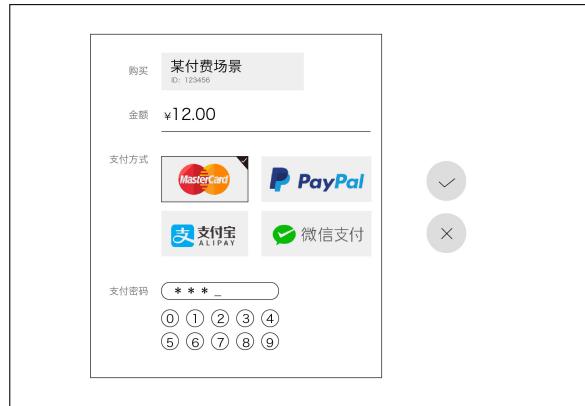


图 6-15 支付界面

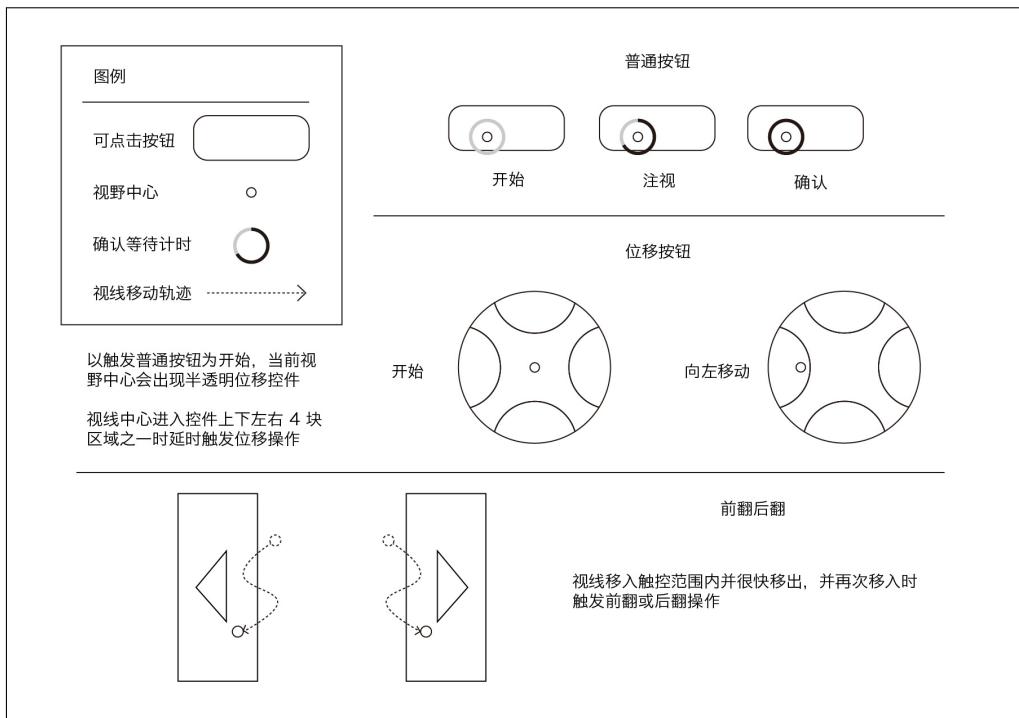


图 6-16 操作方式示意

§6.5 程序示例

本全景漫游系统采用 Mozilla 开源的 A-Frame 框架进行开发，可满足普通计算机及移动设备通过浏览器进行使用。

A-Frame 是一款由 Mozilla 开源的 Web 上用于创建实时虚拟现实体验的框架，其特点是封装性好，功能文档齐全且接受广大开发爱好者共同共享代码^[50]。其基本实现原理基于现代 HTML5 语言中的画布（Canvas）对象，通过调用底层系统实现高效率的 WebGL 绘图。画布对象的刷新率和延展性均符合全景漫游所必需的基本开发条件，且开发语言与一般网页开发技术类似，对开发团队较为友好，故选用其作为原型展示的应用平台。

开发后生成的原型文件可以通过普通网页进行访问，更可通过 Google Cardboard 配合手机实现简易的全景漫游，其开发便利且容易实现验证。借助以上技术及全景漫游可视化交互理论成果，用户可以真实感受到全景漫游技术带来的体验升级，能够以直观的交互形式与虚拟场景内的事务进行互动，切身体会科技带来的益处^[51]。

6.5.1 示例代码

实现一个简单的可用鼠标或注视（Gaze）操作的小场景。

HTML

```
1 <a-scene>
2   <a-entity
3     id="box" cursor="fuse: true; fuseTimeout: 1000"
4     geometry="primitive: box"
5     material="color: blue">
6     <a-box
7       src="img/logo.jpg"
8       position="0 3 -5"
9       rotation="45 0 45"
10      scale="2 2 2"
11      id="box1">
12      <a-animation
13        attribute="position"
14        begin="focus"
15        to="0 2.2 -5"
16        direction="normal"
17        dur="2000">
18      </a-animation>
19    </a-box>
20  </a-entity>
21
22  <a-camera>
23    <a-cursor></a-cursor>
24  </a-camera>
25
26  <a-plane
27    position="0 0 -4"
28    rotation="-90 0 0"
```

```

29      width="4"
30      height="4"
31      color="#7BC8A4">
32  </a-plane>
33  <a-sky color="#ECECEC"></a-sky>
34 </a-scene>

```

JavaScript

```

1 document.querySelector('#box')
2   .addEventListener('click', function(e) {
3     document.querySelector('#box1').emit('focus')
4   })

```

6.5.2 系统截图

全景漫游系统使用过程中的截图。



图 6-17 场景详情界面截图



图 6-18 场景分类界面截图



图 6-19 支付界面截图



图 6-20 场景漫游界面截图

第七章 全景漫游设计评价

全景漫游的应用场景不同于普通二维界面，其操作方式也于一般应用大相径庭，故设计评价体系也应针对一般应用相应调整。设计评价的基本形式可分为定性分析和定量分析两种。定性分析主要用于确定事物的不易被量化的特性，带有人较强的主观思维过程。定量分析用以确认事物间某些因素或具备性质间数量上的关系，受人主观意愿影响很小，故能够较为客观地反映事物间的相对联系。

在全景漫游可视化设计中，以上两种评价方式都是十分必要的，通过定性分析可以了解到用户自身对产品的使用感受与意愿建议，而定量分析可以将交互过程拆分成独立的操作步骤、更准确地定位设计中不合适的细节所在。本章将首先介绍交互指标的涉及范围，然后细化为面向用户的评价指标用以定性分析交互的优劣性，以操作过程的量化指标分析交互形式的合理性和效率。

§7.1 适用于全景漫游的交互指标

根据前文全景漫游与人的关系一章所提出的观点，全景漫游的交互质量与人的生理及心理特征均有所关联，交互指标的确定也因涵盖上述两者。全景漫游与人的生理特性间交互的质量可以体现为用户操作的便利性，如操作动作幅度是否过大、复杂任务操作的步骤是否过多、需要集中注意操作的时间是否过长等。全景漫游与人的心理特征间交互的质量可以体现为用户对交互过程的满意度，表现为用户是否可以直观地理解场景意图、是否能够自主完成预期任务、是否能够自行解决遇到的问题等。

全景漫游的交互指标以生理和心理简单划分罗列，如表 7-1。

表 7-1 全景漫游交互指标

类别	内容	参数
生理指标	视力、视野、色觉、听觉	视野宽度、色觉分辨力
	触觉、温度、震动	温度、震动频率、频次
	肢体活动范围	头部活动范围
	人体舒适度、疲劳度	连续工作时长
心理指标	易用性	操作时间、出错率
	愉悦性	用户满意度
	参与性	用户交互覆盖率
	接受性	用户满意率
	可靠性	用户满意度
	任务完成度	用户满意度

§7.2 面向用户的评价指标

面向用户的评价指标以定性评价为主，主要用于采集用户使用过程中的主观感受及反馈。为简化用户填表时的考量因素，以 1-5 级等级策略统计为标准进行问卷设计^[52]。其中，1 级为非常不同意，2 级为较不同意，3 级为一般同意，4 级为较同意，5 级为非常同意。调查问卷如下表 7-2。

表 7-2 用户使用问卷

类别	序号	问题
心理指标	1	我对该系统容易上手（ ）
	2	我使用后感到愉悦（ ）
	3	我有参与其中的感觉（ ）
	4	我有继续使用该系统的意愿（ ）
	5	我认为该系统是可靠耐用的（ ）
生理指标	6	我使用后感到疲劳（ ）
	7	我使用后眼睛感到不舒服（ ）
	8	我觉得头部不舒服（ ）
	9	我觉得使用后很热（ ）

§7.3 操作过程的量化指标

用户在操作全景漫游系统时也应进行记录其操作过程，得到的操作数据能够真实地体现用户在操作过程中的使用状态；对于一些不可复现或通过回忆记起的操作细节而言，通过使用记录能够更真实地反映出来。并且，在使用过程中因没有外在提示提醒，用户能够反映真实的使用习惯，也可以暴露更多的设计问题。

考虑到量化指标的特性与实际操作的可行性，量化指标的收集应注重效率，在设计验证过程中关键位置收集的若干参数好于全局收集的普遍参数。同时，在调查具有针对性的指标时也应注意指标的客观性，避免因主观原因导致的测量误差存在。

经作者整理，一些较有代表性的可测量数据如表 7-2。

表 7-3 操作过程的量化指标

序号	问题	数据
1	用户初次打开页面至进入第一个场景的时间	
2	用户在第一个场景中停留的时间	
3	用户第一次学会使用视线停留触发物件效果的时间	
4	用户触发全局导航栏内任一功能时间	
5	用户是否分享、分享到何处	
6	用户是否第二次打开应用、相隔时间	
7	用户有无打开多个应用或场景、个数	

针对上述数据，第 1 项为用户完成一个有效导航操作的所用时间，可以反映导航功能的完善程度，侧面体现应用的易用性；第 2 项用户停留时间，能够反映用户的舒适度；第 3

项学习所用的时间可以反映系统中交互操作的易学程度；第4项导航功能可以反映用户对场景的参与度；第5项分享功能能够反映用户对应用的接受度和愉悦感；第6、7项是否再次使用可以反映用户对应用的接受度。

根据全景漫游应用的类别，上述指标可相应调整或增删。基本原则是测量用户真实的使用过程数据，以求反映交互设计的完成度和功能完整性。

§7.4 交互评价示例

本评价示例以全景漫游系统至全景场景的漫游过程为用户实验过程，通过程序设计中添加统计代码的形式获得第一手用户数据，同时通过问卷形式调查用户使用体验。本例调查以自愿形式抽取了容量为20人的样本。实验设备照片如图7-1，实验过程照片如图7-2。



图 7-1 用户实验设备照片



图 7-2 用户实验过程照片

数据显示，多数用户对全景漫游的体验表示满意，但认为使用该系统存在多项生理上的不适应，该系统的可靠性和参与度仍不太高，但考虑到示例程序的简单性，参与度低是预料中的。用户操作过程基本顺利，但也有一部分用户需要经过指导后才学会使用凝视操作触发按钮等操作，可见无按键的交互形式可接受程度较低；用户在导航界面停留过程是较长的，但在场景中停留时间却没有达到1分钟的预期，可见场景内容的复杂度和深度尚未达到用户沉浸的标准。用户后续继续使用全景漫游的意愿不够强烈，大部分用户在2分钟前后就结束了全景漫游的过程，结合问卷中“感受到很热体验”的用户数量可以认识到

表 7-4 用户问卷数据

类别	序号	问题	非常 不同意 (%)	较不 同意	一般 同意	较同意	非常 同意
心理 指标	1	我对该系统容易上手	0	1	12	5	2
	2	我使用后感到愉悦	0	0	14	3	3
	3	我有参与其中的感觉	6	2	2	7	9
	4	我有继续使用该系统的意愿	0	1	11	3	5
	5	我认为该系统是可靠耐用的	5	2	8	4	1
生理 指标	6	我使用后感到疲劳	2	3	6	5	4
	7	我使用后眼睛感到不舒服	0	2	6	8	4
	8	我觉得头部不舒服	1	0	3	9	7
	9	我觉得使用后很热	0	0	7	9	4

注：表中数据单位为百分比，数据取经四舍五入至百分位。

表 7-5 用户操作实验量化数据

序号	问题	时长 / 个数
1	用户初次打开页面至进入第一个场景的时间	32.2 秒
2	用户在第一个场景中停留的时间	57.3 秒
3	用户第一次学会使用视线停留触发物件效果的时间	8.7 秒
4	用户触发全局导航栏内任一功能时间	14.1 秒
5	用户有无打开多个应用或场景、个数	1.3 个

全景漫游因其使用特殊性，易造成用户因刺激过大造成心理和生理的双重不适感受，故全景漫游设备的配戴形式仍需要改进以减轻长期使用的不适感。

总体而言，全景漫游中可视化交互设计理论的应用是符合设计预期的，用户经过一定的指导和提示后均能自主完成全景漫游的体验，这与良好的交互设计是密不可分的，同时也是因为全景漫游这种形式符合人本身的内隐性知识和日常惯例，操作方式能够很快被人理解。场景中指向标识的设置、位移控件、全局导航栏的设置等均对用户全景漫游过程产生了积极的影响，但不足的是场景应用的单一性令用户很难全面沉浸入场景，易感到疲劳，这一点或许与全景漫游没有实现视野的深度信息造成用户视觉特征信息的失调有关。

第八章 总结

§8.1 主要工作与创新点

本文在详细研究了全景漫游相关技术及市场现状的基础上，通过分析全景漫游与人的关系，针对现有全景漫游体验感和交互形式弱的问题，就以下内容进行了深入研究。

首先从全景漫游的技术特点入手，以人的视觉特征为对象分析并得出了全景漫游中视觉布局应偏下的特点。结合听觉中双耳效应的原理，论述了全景漫游中声音对视觉增强的辅助作用。全景漫游与人的肢体运动相结合分析，认识到全景漫游中漫游形式与感知设备的密切关系，并就全景漫游手部操控设备间进行了可用性方面的对比。阐述了全景漫游中“视觉辐辏”过程与适应性调节相冲突继而造成漫游中及漫游后晕眩的过程，提出减小物体间景深差距以缓解相关反应的设想。就全景漫游中意识的注意与持续集中方面进行论述，分析得出保持漫游中刺激强度和持续时间均衡以避免短时过强刺激影响使用的观点。通过双指缩放的案例说明记忆与思维在理解并记忆交互行为中的影响。

通过对可视化界面发展趋势的分析，表明了建立合理信息架构和交互模型的必要性。将全景漫游与真实世界的游乐场进行类比，阐述了熟悉的信息架构可以帮助用户更高效地交互的观点。从信息架构的三个组织方式：自顶向下、自底向上和不可见的组织形式出发，提出了信息架构组件化和可视化的观点，并借此建立全景漫游的基本功能模型：漫游、导航、搜索、记忆等。以部分特殊模块的设计为例，叙述了模块设计的规则特性，在多输入交互模块中提到了通过重力感应头部动作的形式可以进一步开发更多更适合全景漫游功能的交互形式。

针对全景漫游交互模型方面，以设备捕获的信息流为线索，举例说明了交互过程中等待反馈时间产生的原因与解决方法，并就信息修正的角度揭示了用户在交互过程中的主观能动性。通过对信息架构中三种组织形式的利用，构建了基于上下文感知、增强信息和多任务切换为基础全景漫游导航系统交互模型，提出了上下文语境中存在语境切换和小语境内部信息沟通的观点。通过阐述全景漫游中漫游路径形式的局限性，认识到场景切换中信息的表达性有待改善，提出了增强性场景切换标识的方式以实现场景中的直观化交互理念。

最后以某公司全景漫游系统开发为例，经过需求定义、功能架构定义和交互模型定义，通过定义常用术语帮助理解，并就导航界面、漫游界面和常用功能界面三个方面深入设计了全景漫游的应用原型。经过简单的程序开发，并经过分析采用了定性定量相结合的交互评价体系对用户主观评价和操作过程中的量化指标均提出了可行的评价形式，并以前文中设计的原型进行试评价，取得了一定的设计评价成果。

本文提出了以人为中心、可视化交互为主导的全景漫游交互设计思路，从人与全景漫游的关系至全景漫游中信息架构和交互模型的分析论证中分析了全景漫游交互设计中重点功能的实现与细节的处理，为全景漫游相关设计提供了相关分析思路和实践经验。

§8.2 有待改进的地方

本文就全景漫游技术相关的可视化交互理论进行了详细的研究，提出了结合信息架构与交互模型的设计思路，并以实例开发为例进行实践和评价。基于本文基础可开展以下深入工作：

1. 全景漫游中交互形式实现以现有技术为基础，但交互形似仍沿用计算机屏幕时代的交互特性，应提出更多适合可穿戴设备的多通道交互形式以增强交互的体验性。
2. 本文提出的全景漫游交互模型应用场景为平台类的全景漫游应用，对局部交互模型因应用场景限制不够深入，未来可针对特殊应用情形进行相应的扩展与补充。
3. 本文实践部分采用的实现框架为 Web 方向，因作者对该方向技术较为熟悉，未来可借助本文中相关理论就其他平台全景漫游应用作相应衍生，希冀全景漫游技术得到更多平台的更多支持！

致 谢

作者研究生就读期间得到了各位老师同学的悉心帮助与指导，谢谢你们让我成为一个更好的人！

首先，感谢我的导师周晔老师，周老师从本科起就担任我们专业相关课程的授课老师，课堂上对学子淳淳教诲、言传身教，在科研上精益求精、指导我们向学术领域高峰奋进。在毕业论文开题至写作完成期间，周老师均给予了我莫大的帮助，对论文中存在的问题详细解答，使我受益匪浅。

然后，要感谢本专业其他各位老师。蔡建平老师于本科时指导我参加某全国比赛并收获佳绩，知遇之恩没齿难忘；陈晓鹂老师与我成为了科研学习方面良好的合作伙伴，一起完成了一个又一个科研实践项目；顾湘老师对我严格认真，我于研一时参与顾老师的助教工作感到十分荣幸。还有李理老师、肖畅老师、杨展老师等在我学习期间给予的帮助与支持，谢谢你们！

最后，感谢同寝室的兄弟、专业内其他同学以及我的家人，你们是我生活上最好的伙伴和后盾。

马申彦
2017年3月20日

参考文献

- [1] 宋利良, 李大丁. 敦煌石窟数字化工作中的洞窟全景漫游技术初步应用 [J]. 敦煌研究, 2010,(06):93-97.
- [2] 百度百科. Unity 3D-百度百科. <http://t.cn/RJDzA1F>[EB]
- [3] VRZINC. 易观智库：2020 年全球 VR 市场规模将达到 404 亿美元. <http://vreyes.baijia.baidu.com/article/595977>[EB]
- [4] 赛迪智库. 未来五年虚拟现实市场规模及前景展望. <http://www.elecfans.com/vr/444138.html>[EB]
- [5] Begault D R. 3-D sound for virtual reality and multimedia[M]. Academic Press Professional, Inc. 2001.
- [6] Rothbaum B O, Hodges L F, Kooper R, et al. Virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia: A case report *[J]. Behavior Therapy, 1995, 26(3):547-554.
- [7] Boian R, Sharma A, Han C, et al. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation[J]. Stud Health Technol Inform, 2002, 85(85):64.
- [8] 彭, 聘龄. 普通心理学 [M]. 北京师范大学出版社, 2004.
- [9] 李书印, 万明习, 李新肖, 刘凯文. 虚拟环境中的视觉感知 [J]. 中国图象图形学报, 2000,(11):28-32.
- [10] 刘红民. 立体深度图像的形成和立体 3D 图像的视觉舒适增强 [D]. 西安电子科技大学, 2014.
- [11] 凤四海, 黄希庭. 时间知觉理论和实验范型 [J]. 心理科学, 2004,(05):1157-1160.
- [12] 毕翠华. 工作记忆的保持影响时间知觉的认知与神经机制 [D]. 西南大学, 2014.
- [13] 张明, 张阳. 工作记忆与选择性注意的交互关系 [J]. 心理科学进展, 2007,(01):8-15.
- [14] 刘兆敏, 郭春彦. 工作记忆和长时记忆共享信息表征的 ERP 证据 [J]. 心理学报, 2013,(03):276-284.
- [15] 焦璨, 张敏强. 迷失的边界: 心理学虚无假设检验方法探究 [J]. 中国社会科学, 2014,(02):148-163+207.
- [16] Marchionini G, Brunk B. Toward a General Relation Browser: A GUI for Information Architects[J]. Journal of Digital Information, 2003, 4:2003.
- [17] 杨明浩, 陶建华, 李昊, 巢林林. 面向自然交互的多通道人机对话系统 [J]. 计算机科学, 2014,(10):12-18+35.
- [18] Beath C, Becerra-Fernandez I, Ross J, et al. Finding value in the information explosion[J]. Mit Sloan Management Review, 2012, 53(4):18-20.
- [19] 罗森菲尔德, 莫尔维莱, 阿朗戈, 等. 信息架构: 超越 Web 设计 [M]. 电子工业出版社, 2016.
- [20] Larson K, Czerwinski M. Web page design: implications of memory, structure and scent for information retrieval[C]// Proceeding of the CHI '98 Conference on Human Factors in Computing Systems, Los Angeles, California, USA, April. DBLP, 1998:25-32.
- [21] Fleming J. Web navigation: Designing the user experience[J]. Dux.typepad.com, 1998.
- [22] Flynn B M. Languages of navigation within computer games[C]// 2003:742.
- [23] Huang C C, Kusiak A. Modularity in design of products and systems[J]. Systems Man & Cybernetics Part A Systems & Humans IEEE Transactions on, 1998, 28(28):66-77.
- [24] 孔俊其. 基于三维加速度传感器的手势识别及交互模型研究 [D]. 苏州大学, 2009.
- [25] Missinhouen J L, Tynan T G, Drzewicki R P. System and method for providing a multi-channel customer interaction center: US, US7353182[P]. 2008.
- [26] Hurst R N. Information stream syntax for indicating the presence of a splice point: WO, US6038000[P]. 2000.
- [27] Lyons P W, Beltz J P, Acampora A A. Method and apparatus for information stream frame synchronization: US, US 6061399 A[P]. 2000.
- [28] 路璐, 田丰, 戴国忠, 王宏安. 融合触、听、视觉的多通道认知和交互模型 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014,(04):654-661.
- [29] Corradi V, Fernandez A, Swanson N R. Information in the revision process of real-time datasets[C]// Federal Reserve Bank of Philadelphia, 2008:455-467.
- [30] 张磊. 上下文感知在导游系统中的应用 [A]. 中国计算机学会、中国图象图形学学会、ACM SIGCHI 中国分会、清华大学计算机科学与技术系. 第一届建立和谐人机环境联合学术会议 (HHME2005) 论文集 [C]. 中国计算机学会、中国图象图形学学会、ACM SIGCHI 中国分会、清华大学计算机科学与技术系, 2005:4.
- [31] 王守芳, 金浩, 魏鲲, 等. 上下文感知综述 [C] 建立和谐人机环境联合学术会议. 2005.
- [32] Chen G, Kotz D. A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research[M]. Dartmouth College, 1970.
- [33] 李玲玲, 高新. 基于上下文感知的移动计算应用 [J]. 软件导刊, 2011,(06):17-18.
- [34] Rosensweig E J, Kurose J. Breadcrumbs: Efficient, Best-Effort Content Location in Cache Networks[C]// INFOCOM. IEEE Xplore, 2009:2631-2635.
- [35] Yin G F, Tian G Y, Taylor D. A Web-Based Remote Cooperative Design for Spatial Cam Mechanisms[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 20(8):557-563.
- [36] 林一, 陈靖, 刘越, 王涌天. 基于心智模型的虚拟现实与增强现实混合式移动导览系统的用户体验设计 [J]. 计算机学报, 2015,(02):408-422.
- [37] Evgeniou T, Pontil M. Regularized multi-task learning[C]// Tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Seattle, Washington, USA, August. DBLP, 2004:109-117.
- [38] 代宝, 刘业政. 基于期望确认模型、社会临场感和心流体验的微信用户持续使用意愿研究 [J]. 现代情报, 2015,(03):19-23.
- [39] Vinson N G. Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments[C]// Sigchi Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 1999:278-285.
- [40] 尚建嘎, 刘修国, 郑坤. 三维场景交互漫游的研究与实现 [J]. 计算机工程, 2003,(02):61-62+251.
- [41] Richardson A E, Montello D R, Hegarty M. Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments.[J]. Memory & Cognition, 1999, 27(4):741-50.

- [42] Joyce H. D. M. Westerink, Betty G. M. M. Majoor, Mili Docampo Rama. Interacting with infotainment applications: Navigation patterns and mental models[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2000, 19(2):97-106.
- [43] 徐冰, 张翀, 余永海. 基于直觉化的物理存在感交互设计研究 [J]. 创意与设计, 2011,(02):28-31.
- [44] 王国建, 陶霖密. 支持隐式人机交互的分布式视觉系统 [J]. 中国图象图形学报, 2010,(08):1133-1138.
- [45] 陈圆. 手机应用软件界面体验设计研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2013.
- [46] Ritchey K J. Panoramic image based virtual reality/telepresence audio-visual system and method: US, US 20080024594 A1[P]. 2008.
- [47] 李海洋, 范文义, 李明泽. 二维地图与三维虚拟场景交互技术的研究与应用 [J]. 东北林业大学学报, 2008,(11):92-94.
- [48] 钱程. 微交互在B2C网站界面设计中的应用与研究 [D]. 湖北工业大学, 2016.
- [49] 赵晓倩, 王晨升, 陈亮, 王冬冬. 移动端三维界面两种交互方式的比较研究 [J]. 产业与科技论坛, 2012,(15):80-81.
- [50] Srushtika Neelakantam, Tanay Pant. Introduction to A-Frame[J]. 2017.
- [51] 张小超, 王精业. 虚拟场景漫游系统的体系结构分析 [J]. 系统仿真学报, 2005,(04):917-919.
- [52] 姜强, 赵蔚, 王朋娇. 自适应学习系统中双向适应交互评价实证研究 [J]. 现代远程教育研究, 2013,(05):106-112.