

数字文旅专业系列教材 · 教学课件

# VR/AR 沉浸式文旅场景设计

## 第 8 章 多感官体验设计

---

授课对象：安顺学院旅游管理学院 · 旅游管理专业本科生

主讲：祝刚

# 本章导览

- 8.1 多感官感知基础理论
- 8.2 视觉设计原则
- 8.3 空间音频与声景设计
- 8.4 触觉反馈与力觉交互
- 8.5 嗅觉与味觉的前沿探索
- 8.6 多感官协同设计框架
- 8.7 案例分析
- 8.8 国际比较与经验借鉴
- 8.9 实践案例深度分析
- 8.10 理论深化与前沿探讨
- 8.11 多感官设计的技术实现
- 8.12 多感官设计的评估方法
- 8.13 文化遗产的感官图谱
- 8.14 多感官体验的适应性设计

- 掌握开篇的核心概念与方法
- 掌握 8.1 多感官感知基础理论的核心概念与方法
- 掌握 8.2 视觉设计原则的核心概念与方法
- 掌握 8.3 空间音频与声景设计的核心概念与方法
- 能够结合文旅实际案例分析本章知识的应用场景

---

# 01

## 开篇

- 1. 识记：掌握多感官感知基础理论和视觉、听觉、触觉设计原则。
- 2. 理解：理解多感官协同设计的机制和重要性。
- 3. 应用：能够为沉浸式文旅场景设计多感官体验方案。
- 4. 分析：分析多感官通道之间的交互作用和对沉浸感的影响。
- 5. 评价：评估多感官设计的有效性和文化适配性。
- 6. 创造：设计一个融合视觉、听觉和触觉的沉浸式文化遗产体验方案。
- 导入案例：龙虎山虚拟空间的多感官体验
- 龙虎山景区的 VR 虚拟游览项目不仅通过视觉呈现丹霞地貌的壮美，还通过空间音频再现了泸溪河的水流声、鸟鸣声和风声，为游客创造了多感官的沉浸体验。

- 研究者在实践中发现，仅靠视觉刺激的 VR 体验容易让游客感到 " 空洞 "，而增加听觉和触觉反馈后，游客的沉浸感和情感参与度显著提升。这一案例揭示了多感官协同设计在沉浸式文旅中的关键作用。

---

# 02

## 8.1 多感官感知基础理论

## 8.1.1 多感官整合理论

- 多感官整合（Multisensory Integration）是指大脑将来自不同感官通道的信息融合为统一感知的过程。
- 研究表明，多感官刺激的效果大于各感官刺激之和——视觉 + 听觉的沉浸感不仅优于纯视觉或纯听觉，而且呈超线性增长。
- Agreval 等学者在沉浸感文献综述中指出 [3]，多感官刺激是产生深度沉浸感的必要条件。

## 8.1.2 感官主导与感官补偿

- 在人类感知中，视觉通常占据主导地位，但当视觉信息不足或有歧义时，其他感官（特别是听觉和触觉）可以提供补偿信息。
- 在 VR/AR 环境中，利用感官补偿原理可以在视觉渲染质量有限的情况下维持沉浸感——例如，通过空间音频暗示虚拟环境中存在但尚未渲染的声源。

---

# 03

## 8.2 视觉设计原则

## 8.2.1 构图与深度线索

- 在 VR/AR 环境中，视觉构图需要考虑三维空间的特点。与传统平面构图的二维框架不同，VR 构图需要处理深度线索——双目视差、运动视差、线性透视、大气透视、遮挡关系等。
- Bec 等学者在 VR/MR 第二次机会旅游的研究中强调了视觉深度线索对存在感生成的重要性 [1]。

## 8.2.2 色彩设计

- 色彩在文化遗产场景中不仅是美学问题，更涉及文化符号的准确性。不同文化对色彩的象征意义不同——在中国传统文化中，黄色象征皇权，红色象征喜庆，白色在某些语境下象征哀悼。
- VR/AR 场景的色彩设计需要尊重这些文化编码。

## 8.2.3 动态视觉设计

- VR/AR 环境中的动态元素（如飘动的旗帜、流动的水面、飞舞的花瓣）能够显著增强场景的生命感。然而，过度的动态元素可能导致视觉过载和眩晕，需要在视觉丰富性和认知负荷之间取得平衡。

---

# 04

## 8.3 空间音频与声景设计

## 8.3.1 空间音频原理

- 空间音频（Spatial Audio）通过模拟声音在三维空间中的传播特性（包括方向、距离、反射和混响），使听者能够准确判断声源的位置。
- 空间音频是 VR 沉浸感的关键贡献者——研究表明，即使视觉质量相同，添加空间音频的 VR 体验的存在感评分显著高于无音频条件。

## 8.3.2 声景设计

- 声景（Soundscape）设计关注环境中所有声音元素的整体构成。
- 在文化遗产场景中，声景设计需要考虑：历史环境的声音复原（如古代集市的喧嚣、寺庙的钟声）、自然环境声音（如风声、水声、鸟鸣）、叙事声音（如旁白、角色对话）和交互声音（如 UI 反馈音效）。

### 8.3.3 文化声学

- 文化声学（Cultural Acoustics）研究不同文化空间中的声学特性。例如，中国古建筑的声学设计（如天坛回音壁、石窟寺的声学效果）蕴含着丰富的文化意义。
- VR/AR 技术可以精确再现这些文化声学特性，为游客提供更深层次的文化理解。

---

# 05

## 8.4 触觉反馈与力觉交互

## 8.4.1 触觉反馈类型

- 触觉反馈分为力反馈（ Kinesthetic Feedback ，感知力和位置）和触感反馈（ Tactile Feedback ，感知纹理和温度）两类。VR 控制器的振动马达是最常见的触感反馈设备；
- 力反馈手套和外骨骼则能提供更精确的力觉信息。

## 8.4.2 触觉在文旅中的应用

- 在文化遗产体验中，触觉反馈可以增强 " 触摸 " 虚拟文物的真实感。当游客在 VR 中 " 拿起 " 一件虚拟瓷器时，力反馈设备可以模拟瓷器的重量和硬度；触感反馈可以模拟釉面的光滑质感。
- 这种多感官体验能够传递单纯视觉无法传达的文化信息——工艺的精湛、材质的珍贵。

---

# 06

## 8.5 嗅觉与味觉的前沿探索

## 8.5.1 嗅觉模拟技术

- 嗅觉模拟技术通过释放特定气味分子的组合来模拟不同场景的气味。在文旅场景中，嗅觉可以极大地增强文化体验——寺庙的檀香、古代集市的食物气味、花园的花香都能唤起强烈的文化记忆。
- 然而，嗅觉模拟技术目前仍处于早期阶段，设备的体积、成本和气味精度都限制了其广泛应用。

## 8.5.2 味觉模拟的挑战

- 味觉模拟是 VR/AR 中最具挑战性的感官通道。当前的技术方案主要包括味觉显示器（通过电流刺激舌面味蕾）和化学味觉模拟（释放风味物质）。
- 在文旅场景中，味觉模拟的潜在应用包括虚拟美食体验和传统饮食文化的数字化展示。

---

# 07

## 8.6 多感官协同设计框架

## 8.6.1 感官一致性原则

- 多感官协同设计的核心原则是一致性——不同感官通道传递的信息应当在语义和时序上一致。视觉显示的物体位置应与空间音频的声源位置匹配；触觉反馈的时机应与视觉接触的瞬间同步。
- 不一致的多感官信息会导致沉浸感破裂甚至眩晕。

## 8.6.2 感官层级设计

- 不同感官在体验中的作用层级不同：视觉提供主要信息，听觉提供环境氛围和空间线索，触觉提供物理交互的真实感，嗅觉和味觉提供情感唤起。设计者应当根据体验目标合理分配各感官通道的信息负荷。

## 8.6.3 个体差异适配

- 不同用户对多感官刺激的敏感度和偏好不同。例如，前庭敏感的用户更容易在 VR 中产生眩晕；听觉敏感的用户可能对某些频率的声音感到不适。
- 多感官设计应当提供可调节的感官参数，让用户根据自己的情况调整体验强度。

---

# 08

## 8.7 案例分析

## 8.7 案例分析

- 案例一：龙虎山虚拟空间多感官体验
- 凌思佳和宋军在龙虎山景区 VR 虚拟空间设计中 [7]，对各个景点进行逐一规划和个性化的虚拟空间建设，使整个景区达到虚拟与现实的完美结合。
- 案例二：VR 沉浸式体验过程模型扩展
- Blumenthal 和 Gjerald 扩展的沉浸过程模型 [6]，将多感官刺激纳入沉浸感生成的理论框架，为多感官设计提供了理论指导。
- 案例三：印尼 VR 旅游体验中的沉浸感
- Bharata 等学者在印尼 VR 旅游体验研究中 [11]，分析了沉浸感、可用性和错觉对 VR 旅游满意度的影响，为多感官体验的评估提供了实证依据。
- 国际比较与经验借鉴
- 感官文化的跨文化差异

## 8.7 案例分析

- 不同文化对感官体验的重视程度不同。西方文化更强调视觉主导，东方文化（特别是日本文化）更注重多感官的细腻平衡。在沉浸式文旅的多感官设计中，应当考虑目标受众的感官文化偏好。
- 理论深化与前沿探讨
- 多感官认知的神经机制
- 随着神经成像技术的发展，多感官整合的神经机制正在被揭示。这些发现为 VR/AR 多感官设计提供了科学基础，使设计决策不再仅凭经验直觉，而是有神经科学的依据。
- 跨感官联动设计
- 跨感官联动（Cross-modal Design）是指利用一种感官通道的信息增强另一种感官通道的感知。
- 例如，在视觉呈现食物时同时释放食物气味，可以增强视觉感知的逼真度（即使视觉渲染质量有限）。

---

# 09

## 8.8 国际比较与经验借鉴

## 8.8.1 感官文化的跨文化差异

- 不同文化对感官体验的重视程度不同。西方文化（特别是新教文化传统）更强调视觉主导——“眼见为实”的认知偏好使西方用户更依赖视觉信息。
- 东方文化中，日本文化以多感官的细腻平衡著称——茶道、花道、香道等传统文化实践都涉及多感官的精细体验。
- 中国文化传统中，“通感”（synesthesia）概念源远流长——诗画中的“声色”交织、“情景交融”都体现了多感官整合的文化传统。
- 在沉浸式文旅的多感官设计中，应当考虑目标受众的感官文化偏好。面向西方受众的设计可以更突出视觉主导，辅以其他感官增强；面向东方受众的设计可以更注重多感官的平衡和细腻。

## 8.8.2 声景设计的国际经验

- 日本在声景设计方面有独特的传统和文化积累。
- "音风景"（Soundscape）概念在日本不仅是一个学术概念，更是一种文化实践——日本环境省认定的"百大音风景"包括了全国各地的特色声景，如京都清水寺的"手拍回声"、广岛的"和平之钟"等。
- 这种声景文化为沉浸式文旅的音频设计提供了丰富灵感。
- 欧洲在空间音频技术研发方面处于领先地位。德国的 Fraunhofer IIS 研究所开发了 MPEG-H 3D Audio 标准，为 VR/AR 空间音频提供了技术基础。
- BBC 的 Audio Reality 项目探索了 AR 音频在文化遗产导览中的应用。

### 8.8.3 触觉反馈的技术路线

- 触觉反馈技术的国际发展呈现两条路线：欧美路线偏重力反馈设备的精密化——如 SenseGlove 的力反馈手套、HaptX 的微流体触觉手套等，追求高保真的触觉模拟；
- 亚洲路线偏重轻量化和低成本化——如游戏控制器的振动反馈、超声波触觉（利用超声波在空中产生触感）等，追求大规模可及性。

---

# 10

## 8.9 实践案例深度分析

## 8.9 实践案例深度分析

- 案例一：龙虎山虚拟空间多感官体验详解
- 凌思佳和宋军在龙虎山景区 VR 虚拟空间设计中 [7]，对各个景点进行逐一规划和个性化的虚拟空间建设。
- 该项目在多感官设计方面的实践包括：视觉层面——丹霞地貌的高精度三维建模，配合不同时段的光照变化模拟；听觉层面——泸溪河的水流声、丹霞地貌的风蚀声、山林中的鸟鸣等自然环境声的录制和空间化处理；
- 动觉层面——VR 中的飞行体验配合视差效果产生运动感。
- 案例二：沉浸过程模型的多感官扩展
- Blumenthal 和 Gjerald 扩展的沉浸过程模型 [6] 将多感官刺激纳入沉浸感生成的理论框架。
- 该模型识别了沉浸生成的三个阶段：感官接触（Sensory Contact）——用户首次接触多感官刺激；感官沉浸（Sensory Immersion）——用户开始被多感官环境包裹；
- 叙事沉浸（Narrative Immersion）——用户深度参与叙事内容。多感官设计在第一和第二阶段发挥关键作用。

## 8.9 实践案例深度分析

- 案例三：印尼 VR 旅游的多感官满意度
- Bharata 等学者在印尼 VR 旅游体验研究中 [11]，分析了沉浸感、可用性和错觉对 VR 旅游满意度的影响。
- 研究发现，多感官刺激的协调程度对沉浸感的影响最大——不协调的多感官信息比单感官信息更容易破坏沉浸感。

---

# 11

## 8.10 理论深化与前沿探讨

## 8.10.1 多感官认知的神经机制

- 随着神经成像技术的发展，多感官整合的神经机制正在被揭示。
- 研究发现，大脑中的上丘（Superior Colliculus）是多感官整合的关键脑区——它接收来自视觉、听觉和体感的输入，在毫秒级时间窗口内整合这些信息。
- 多感官整合的效率取决于三个因素：时间一致性（不同感官刺激的时间差  $< 200\text{ms}$ ）、空间一致性（不同感官刺激来自相同方向）和语义一致性（不同感官信息在语义上相关）。

## 8.10.2 跨感官联动设计

- 跨感官联动（Cross-modal Design）是指利用一种感官通道的信息增强另一种感官通道的感知。
- 在沉浸式文旅中，跨感官联动设计的应用包括：视觉 + 听觉联动——在视觉呈现食物时同时播放咀嚼声，增强味觉感知（即使味觉刺激不存在）；
- 视觉 + 触觉联动——在视觉接触虚拟物体的同时提供振动反馈，增强触觉感知；听觉 + 视觉联动——利用声音的方向暗示引导用户的视觉注意力。

### 8.10.3 个体感官差异的适配

- 不同用户的感官能力差异显著。约 5-10% 的人群有某种程度的色盲，约 15% 的人群有某种程度的听力损失，老年人群体的多感官处理速度显著降低。
- 沉浸式文旅的多感官设计应当考虑这些个体差异，提供可调节的感官参数：色盲友好的色彩方案、可调节的音频频率和音量、放慢的交互节奏选项等。

## 8.10.4 嗅觉模拟的技术突破

- 嗅觉模拟技术近年来取得了重要突破。日本明治大学的科研团队开发了基于气味合成器的嗅觉显示器，能够通过组合约 100 种基础气味分子模拟数千种气味。
- 法国的 Olorama Technologies 开发了与 VR 同步的气味释放系统，在电影和 VR 体验中按需释放预设气味。这些技术进步使嗅觉成为沉浸式文旅多感官设计中可行的感官通道。

## 8.10.5 多感官体验评估方法论

- 多感官体验的评估需要超越单一感官的测量方法，建立多感官整合效果的评估框架。
- 评估方法应包括：感官一致性测量（不同感官通道信息的一致程度）、感官负荷分析（各感官通道的信息负荷是否平衡）、沉浸感多维评估（区分视觉沉浸、听觉沉浸、触觉沉浸等子维度）和文化感知评估（多感官设计是否增强了文化理解和情感共鸣）。

---

# 12

## 8.11 多感官设计的技术实现

## 8.11.1 视觉系统技术栈

- VR/AR 视觉系统包括显示设备（HMD/AR 眼镜 / 移动设备屏幕）、渲染引擎（Unity3D/Unreal Engine）、色彩管理工具和后处理管线。
- 视觉系统的技术选择直接决定了用户看到的图像质量。
- 在文化遗产场景中，视觉系统的特殊要求包括：高精度的材质还原（金属、陶瓷、织物等不同材质的准确渲染）、宽动态范围的光照处理（洞窟内暗光到户外强光的过渡）和大场景的渲染优化。

## 8.11.2 音频系统技术栈

- VR/AR 音频系统包括空间音频引擎（如 Steam Audio、Oculus Audio、Resonance Audio）、3D 声源定位算法、环境声学模拟（混响、反射、
- 遮挡）和音频中间件（如 FMOD、Wwise）。
- 音频系统的设计需要考虑：声源的空间定位精度、环境声学的真实感、多声源的管理和混音、以及音频的流式加载和内存管理。

## 8.11.3 触觉系统技术栈

- 触觉系统包括力反馈设备（如力反馈手套、外骨骼）、振动反馈设备（如 VR 控制器的线性马达）和触感显示设备（如静电触觉屏幕）。
- 触觉系统的设计需要考虑：反馈的精度和带宽、设备的佩戴舒适度、延迟（触觉反馈的延迟应  $< 5\text{ms}$  以避免感知不一致）和安全性（力反馈的力度不应造成伤害）。

## 8.11.4 多感官同步技术

- 多感官同步是多感官设计的技术核心——视觉、听觉、触觉等感官通道的信息必须在时间上精确同步。
- 多感官同步的技术挑战包括：不同感官通道的处理延迟不同（视觉处理约 50ms，听觉处理约 10ms，触觉处理约 5ms）、不同设备的时钟基准不同、以及网络传输的不确定性。
- 同步策略包括：时间戳对齐（各感官通道使用统一的时间戳）、预测补偿（预测延迟并进行提前补偿）和缓冲管理（通过适当的缓冲吸收延迟抖动）。

---

# 13

## 8.12 多感官设计的评估方法

## 8.12.1 感官一致性测量

- 感官一致性是多感官设计质量的核心指标。
- 测量方法包括：时序一致性（不同感官通道信息的时间差测量）、空间一致性（不同感官通道信息的空间位置偏差测量）和语义一致性（不同感官通道信息在语义上的一致程度评估）。
- 时序一致性和空间一致性可以通过技术测量获得客观数据，语义一致性则需要通过用户主观评估。

## 8.12.2 多感官沉浸感评估

- 传统的沉浸感量表（如 IPQ）主要关注视觉和听觉通道，对触觉、嗅觉等通道的评估不足。多感官沉浸感评估需要扩展量表条目，涵盖所有感官通道的沉浸感受。
- 例如，增加 " 我能感觉到虚拟物体的质感 "（触觉沉浸）、" 我能闻到虚拟环境中的气味 "（嗅觉沉浸）等条目。

## 8.12.3 生理多模态监测

- 多感官体验的生理评估可以同时监测多个生理指标：心率变异性（HRV）反映整体唤起水平、皮肤电导反应（SCR）反映情感唤起、瞳孔直径变化反映认知负荷、面部肌电图（EMG）反映情绪表达。
- 多模态生理监测的挑战在于数据整合——如何从多个生理信号中提取有意义的综合指标。

## 8.12.4 文化感知的多感官评估

- 多感官设计对文化感知的影响是多感官评估的重要维度。
- 评估方法包括：文化知识获取的前后测比较、文化理解深度的开放性问答、文化情感共鸣的自我报告，以及行为意向变化的测量（如到访实体遗址的意愿变化）。

---

# 14

## 8.13 文化遗产的感官图谱

## 8.13.1 感官文化图谱的构建

- 不同类型的文化遗产具有不同的感官特征图谱。构建文化遗产的感官图谱有助于指导多感官设计：
- 建筑遗产的感官图谱以视觉为主（形态、比例、装饰）、听觉为辅（空间声学）、触觉补充（材质纹理）。
- 表演艺术遗产的感官图谱以听觉为主（音乐、唱腔）、视觉为辅（动作、服饰）、动觉补充（身体运动）。
- 手工艺遗产的感官图谱以触觉为主（材质、温度、纹理）、视觉为辅（形态、色彩）、嗅觉补充（材料的气味）。
- 饮食文化遗产的感官图谱涵盖味觉、嗅觉、视觉和触觉，是最复杂的多感官遗产类型。

## 8.13.2 感官设计优先级

- 基于感官图谱，设计者可以为不同类型的遗产确定感官设计的优先级。优先级最高的感官通道应当获得最多的设计资源和最高的技术质量保证。
- 这种基于遗产类型的感官优先级策略，确保了多感官设计资源的合理分配。

---

# 15

## 8.14 多感官体验的适应性设计

## 8.14.1 感官能力评估

- 用户的多感官能力差异显著——年龄、健康状况、文化背景等因素都会影响感官能力。
- 适应性设计的第一步是评估用户的感官能力，可以通过：自报告问卷（用户自行报告感官敏感度）、快速测试（如色觉测试、听力测试）和行为观察（观察用户对不同感官刺激的反应）。

## 8.14.2 感官参数可调节

- 基于感官能力评估，系统应当允许用户调节各感官通道的参数：视觉参数（亮度、对比度、色彩饱和度）、听觉参数（音量、频率均衡、动态范围）、触觉参数（振动强度、力反馈力度）和运动参数（运动速度、  
视野范围）。
- 可调节参数使不同感官能力的用户都能获得舒适的体验。

## 8.14.3 感官替代设计

- 对于感官能力受损的用户，系统应当提供感官替代方案：视觉替代（将视觉信息转化为音频或触觉信号）、听觉替代（将音频信息转化为文字或视觉提示）和触觉替代（将触觉信息转化为视觉或音频反馈）。
- 感官替代设计是无障碍设计的高级形态，确保严重感官障碍的用户也能参与沉浸式文化体验。

---

# 16

## 8.15 多感官设计的文化特异性

## 8.15.1 感官偏好的文化差异

- 不同文化对感官刺激的偏好和容忍度不同。东方文化中的审美传统强调 " 含蓄 " 和 " 留白 "—— 过度的感官刺激可能被视为 " 俗气 "。西方文化更倾向于 " 直接 " 和 " 强烈 " 的感官冲击。
- 在多感官设计中，应当考虑目标受众的文化感官偏好——面向东方受众的设计可以更注重感官的细腻平衡，面向西方受众的设计可以更强调感官冲击力。

## 8.15.2 文化色彩的感官含义

- 色彩在不同文化中的感官含义差异显著。红色在中国文化中象征喜庆和好运，在西方文化中可能象征危险或激情。白色在中国文化某些语境中象征哀悼，在西方文化中象征纯洁。
- 多感官设计中的色彩选择必须考虑文化含义——在面向特定文化受众时，应当避免使用具有负面文化含义的色彩。

### 8.15.3 文化声景的特异性

- 声景设计应当尊重文化特异性。中国古建筑的声景以自然声为主（风声、水声、鸟鸣），强调 " 天人合一 " 的和谐感。欧洲教堂的声景以管风琴和人声合唱为主，强调神圣感和庄严感。
- 伊斯兰建筑中的声景以水声和回声为特色，与建筑的几何设计形成声学呼应。多感官设计中的声景应当与文化遗产的文化特性相匹配。

---

# 17

## 8.16 多感官设计的实施挑战

## 8.16.1 技术成本与感官通道数量

- 多感官设计的技术成本随感官通道数量呈非线性增长——每增加一个感官通道，不仅需要额外的硬件设备，还需要感官同步和内容制作的工作。在实践中，设计者需要在感官丰富性和成本可行性之间取得平衡。
- 推荐的策略是：优先实现视觉 + 听觉的双通道（成本最低且效果最显著），再根据项目预算和需求逐步增加触觉、嗅觉等通道。

## 8.16.2 多感官内容的制作流程

- 多感官内容的制作需要跨专业协作——视觉设计师负责视觉内容、音频工程师负责声景设计、触觉工程师负责力反馈编程、文化顾问确保多感官内容的文化准确性。
- 标准化的制作流程应当定义各专业角色的职责接口和协作时序，确保多感官内容的一致性和同步性。

---

# 18

## 8.17 多感官体验的跨文化研究

## 8.17.1 跨文化感官偏好研究

- 不同文化背景的用户对多感官体验的偏好可能不同。
- 系统化的跨文化感官偏好研究需要：定义研究维度（各感官通道的偏好强度、感官一致性预期、感官信息处理方式）、选择代表性文化样本、采用可比的测量工具、控制混淆变量。
- 跨文化研究的结果可以指导面向不同文化受众的多感官设计。

## 8.17.2 文化感官传统的数字化

- 每种文化都有独特的感官传统——中国的茶道涉及味觉、嗅觉、触觉和视觉的精细整合；日本的禅意花园涉及视觉和听觉的极简美学；印度的传统节庆涉及强烈的色彩、声音和气味。
- VR/AR 技术可以将这些文化感官传统数字化保存和传播，但需要确保数字化过程不损害感官传统的文化完整性。

## 8.17.3 多感官设计的文化适配框架

- 多感官设计的文化适配框架应当包括：感官偏好分析（目标受众文化对各感官通道的偏好）、文化含义检查（多感官内容中的文化符号含义）、
- 感官传统尊重（不歪曲源文化的感官传统）和感官包容性（考虑不同文化背景用户的感官差异）。

---

# 19

## 8.18 多感官设计的技术前沿

## 8.18.1 超声波触觉

- 超声波触觉技术利用超声波阵列在空中产生触感，用户无需佩戴任何设备即可 " 触摸 " 虚拟物体。
- 这一技术在文旅场景中的应用前景广阔——游客可以在博物馆中 " 触摸 " 珍贵的虚拟文物，感受其纹理和温度，而不需要佩戴触觉手套。
- 超声波触觉的当前局限在于触感精度有限（只能模拟简单的感觉如压力和振动），且有效范围较小（通常在设备上方 30-50cm 范围内）。

## 8.18.2 温度模拟

- 温度模拟技术通过帕尔贴元件（Peltier Element）等设备产生冷热感觉。在文化遗产体验中，温度模拟可以增强场景的真实感——如模拟进入阴凉洞窟时的凉意、靠近虚拟篝火时的温暖。
- 温度模拟的响应速度较慢（改变温度需要数秒），限制了其在快速交互场景中的应用。

### 8.18.3 风感模拟

- 风感模拟通过风扇或气流装置产生风的感觉。在户外文化遗产的 VR 体验中，风感模拟可以显著增强环境真实感——如模拟站在山顶古建筑旁的风感、虚拟飞行时的气流冲击。
- 风感模拟的成本较低（仅需可控风扇），但精确控制风向和风速仍需要复杂的设备配置。

---

# 20

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 多感官设计的实施路线图建议分三个阶段：第一阶段（基础多感官）实现视觉 + 空间音频的双通道协同，这是成本最低且效果最显著的组合；
- 第二阶段（增强多感官）在双通道基础上增加触觉反馈，通过 VR 控制器的振动或力反馈手套提供触感信息；第三阶段（完整多感官）在上述基础上增加嗅觉、味觉和温度模拟，实现全面的多感官沉浸。
- 每个阶段都应当经过充分的用户测试和效果评估后再进入下一阶段，避免技术堆砌而忽视体验质量。
- 空间锚点与持久化场景映射
- 云端空间锚点服务
- 空间锚点（ Spatial Anchor ）是 VR/AR 场景中实现跨会话持久化和多用户共享的核心技术。
- 云端空间锚点服务（如 Azure Spatial Anchors 、 Apple ARKit Persistent Anchors ）通过将物理环境特征映射上传至云端，
- 使多个设备能够在同一物理空间中精确对齐虚拟内容 [52] 。

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 在文旅场景中，这一技术使得景区 AR 导览内容可以长期固定在特定物理位置——游客在不同时间访问同一景区时，AR 标注和虚拟重建内容始终出现在正确的物理位置上。
- 云端空间锚点的定位精度受多种因素影响：环境光照条件（白天 vs 夜晚）、季节变化导致的植被覆盖差异、以及建筑结构的改扩建 [53]。
- 在长城 AR 导览项目中，研究团队通过多季节环境特征融合技术，将锚点定位精度从  $\pm 15$  厘米提升至  $\pm 3.8$  厘米，满足了一级精度要求的文旅 AR 应用标准 [54]。
- 场景理解与语义分割
- 现代 VR/AR 系统越来越多地集成场景理解（Scene Understanding）能力，通过深度传感器和 AI 语义分割模型实时识别物理环境中的物体类别和空间关系。
- 在文旅场景中，场景理解技术使 AR 系统能够自动识别文物展柜、壁画区域、建筑结构等关键元素，并据此调整虚拟内容的叠加策略 [55]。
- 例如，当系统检测到游客正在注视一幅壁画时，可以自动在其周围浮现历史背景信息和修复过程对比。
- 语义分割模型的部署需要考虑 VR/AR 设备的计算资源限制。

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 轻量化模型架构（如 MobileNetV3-UNet）通过深度可分离卷积和通道注意力机制，在保持分割精度的同时将推理延迟控制在 15 毫秒以内 [56]。
- 模型量化技术（INT8 量化）进一步将模型体积压缩至原始 FP32 模型的 25%，使其能够在移动端 AR 设备上实时运行。
- 大尺度场景的空间管理策略
- 文旅 VR/AR 场景的空间尺度跨度极大——从博物馆展柜的厘米级到遗址公园的公里级，不同尺度场景需要不同的空间管理策略。
- 在大尺度户外场景中，浮点精度问题（Floating-Point Precision Problem）会导致远距离物体的几何抖动和纹理扭曲。
- Unity 引擎采用的双精度坐标系统（Double Precision Coordinates）和 UE5 引擎的 World Partition 技术分别从精度提升和空间分块两个方向解决这一问题 [5]
- World Partition 技术将大尺度场景自动分割为网格化的小区块（Cell），根据玩家位置动态加载和卸载区块，实现无缝大世界渲染。
- 在长城 VR 全景项目中，覆盖 25 公里长城段落的虚拟场景被分割为 312 个区块，每个区块大小为 100×100 米，运行时同时加载的区块数控制在 9-12 个，

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 在保证视觉连续性的同时将内存占用控制在 8 GB 以内 [58]。
- 物理仿真与碰撞检测
- VR/AR 文旅场景中的物理仿真增强了交互的真实感。游客在虚拟环境中拾取文物复制品时，系统需要模拟物体的重量感、惯性和碰撞行为。
- 基于物理引擎（如 PhysX、Havok）的刚体动力学模拟可以实时计算物体的运动轨迹和碰撞响应 [59]。
- 在文物 VR 体验中，物理仿真的精度需要平衡真实感和安全性——游客拾取虚拟瓷器时的碰撞反弹系数应设置略低于真实物理值，以避免过于真实的碎裂效果可能引起的心理不适。
- 布料仿真在非遗 VR 体验中具有特殊重要性。传统服饰、刺绣织物和戏剧服装的动态效果需要准确的布料物理模拟。
- 基于位置约束的布料仿真方法（PBD Cloth Simulation）在保证实时性能的同时能够模拟织物的褶皱、飘动和折叠行为 [60]。
- 在苗族银饰服饰 VR 展示中，布料仿真技术使虚拟服饰在游客 360 度观察时呈现出自然的垂坠和摆动效果，显著提升了视觉真实感评分。

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 参考文献
- [1] Bafadhal A S. Designing virtual tourism experience for an ancient temple[C]. International Conference on Economics, Business and Management, 2020: 1-10.
- [2] Dwyer T, Marriott K, Isenberg T, et al. Immersive analytics: an introduction[M]. Cham: Springer, 2018.
- [3] Agreval S, Simon A, Bech S, et al. Defining immersion: literature review and implications for research on immersive audiovisual experiences[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, 2020, 16(5): 1-22.

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- [4] Blumenthal V, Gjerald O. 'You just get sucked into it': extending the immersion process model to virtual gameplay experiences in managed visitor attractions[J]. Leisure Studies, 2022, 41(1): 1-18.
- [5] Kyrlitsias C, Christofi M, Michael-Grigoriou D, et al. A virtual tour of a hardly accessible archaeological site: the effect of immersive virtual reality on user experience, learning and attitude change[J]. Frontiers in Computer Science, 2020, 2: 23.
- [6] Eagan L M, Young J, Bering J, et al. Virtual voyages: evaluating the role of real-time and narrated virtual tours in shaping user experience and memories[J]. arXiv preprint, 2025, arXiv:

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- 2503.15098.
- [7] Flavián C, Ibáñez-Sánchez S, Orús C. Impacts of technological embodiment through virtual reality on potential guests' emotions and engagement[J]. Journal of Hospitality and Tourism Technology, 2020, 11(6): 1-20.
- [8] Lee H, Jung T, tom Dieck M C, et al. Experiencing immersive virtual reality in museums[J]. Information & Management, 2020, 57(1): 103229.
- [9] 韩雪莹, 邹广天. 摄像测量法的沉浸式追溯在互动展品体验评价中的研究 [J]. 建筑学报, 2017(5): 96-102.
- [10] Bec A, Moyle B, Schaffer V, et al. Virtual reality and mixed reality for second chance tour

## 8.20 本章补充：多感官设计的实施路线图

- rism[J]. Tourism Management, 2021, 83: 104256.
- [11] Bharata W, Wardhani D P, Ferdinand E, et al. Virtual reality experience in Indonesian tour
- ism[J]. Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship, 2023, 9(2): 334-344.
- [12] 胡芬, 张进. 虚拟旅游体验者满意感影响因素研究 [J]. 旅游学刊, 2013, 28(4): 45-52.

- 本章系统展开了 I.M.M.E.R.S.E. 框架中的 " 多感官设计 " （ M ） 维度，从多感官感知理论到视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉的设计原则，
- 从感官一致性到文化特异性和适应性设计。
- 多感官设计是沉浸感生成的 " 加速器 "—— 单一感官的刺激只能产生有限的沉浸感，而多感官的协同刺激能够产生质的飞跃。
- 多感官设计的核心理念是 " 以人为本 "—— 人类对真实世界的感知本质上是多感官的，沉浸式体验应当尽可能模拟这种多感官感知模式。
- 然而，多感官设计也面临着技术成本、内容制作复杂度和个体差异等挑战。设计者需要在感官丰富性和可行性之间取得平衡，优先实现体验价值最高的感官通道。

- 1. 简述开篇的核心内容。
- 2. 结合贵州 / 安顺文旅实际，举例说明本章知识的应用。
- 3. 小组讨论：本章内容对旅游管理专业学习的启示。

谢谢聆听 · 下章再见

安顺学院旅游管理学院 · 数字文旅专业系列教材