

摘要

随着新一轮科技革命和产业的变革发展,融合多媒体内容、三维显示与多模态人机交互的沉浸空间已成为数字经济、元宇宙等战略概念的重要载体。沉浸式技术不仅带来全新的体验,还拓展了人类感知与认知的边界,在互动娱乐、文艺展览、教育培训、文化旅游和工业制造等领域广泛应用。多媒体内容形态的快速更替对信息传递效率和交互体验提出了新挑战,同时也为连接沉浸空间与用户信息处理的多模态人机交互技术提出了更高要求。为此,本文立足于沉浸空间中的信息处理过程,旨在利用多模态人机交互技术优化感知、决策、体感操作和行动反馈流程,提升用户体验与认知效率。本文主要内容包含以下四个方面:

第一,针对沉浸空间中平面结构目标的感知引导问题,提出了基于注视-距离协同引导的平面感知交互方法,优化了感知注意力资源分配。考虑到用户视角范围与目标尺度的影响,设计了一种基于目标尺度的观测距离计算策略,并将注视引导元素与距离引导元素有机融合,构成注视点-距离协同引导方法。通过构建三维多平面虚拟内容环境,并利用虚拟现实设备作为呈现终端,设计并开展了两轮用户实验。从内容呈现上比较了内容-文字浏览模式与光标-点击音频模式的沉浸感与用户体验,从引导方式上对比了单一维度与联合引导在眩晕感、认知负荷、注视行为和内容记忆等方面的表现,结果充分验证了该方法在提升沉浸感、提升记忆效果和优化感知注意力资源分配方面的优势。

第二,针对沉浸空间内多种三维物体目标的浏览与空间探索决策问题,提出了基于视点-路径协同引导的空间认知交互方法,优化了决策过程并提升记忆效果。该方法以用户可探索的感知范围为基础,设计了一种基于场景信息密度的推荐视点选择策略;继而根据选定的离散推荐视点,构建了分区建图与寻路优化流程,实现了从离散推荐到连续路径生成的整体过程。以高真实感三维房间场景为实验环境,首先探测用户三维对象记忆容量,再通过对比离散视点引导和视点-路径协同引导方法,验证了所提出的方法在降低决策成本、优化交互体验和提升认知效率方面的积极作用。

第三,针对沉浸空间中交互目标细节互动,和全局漫游中沉浸感与成本平衡的双重挑战,提出了面向细节感知与全局行动的体感增强交互方法,显著提升用户体验和精细操作的效率。一方面,基于虚实目标构建了触觉原型推理与操作方法,通过姿态同步、多模态大模型细节推理及全息舱终端呈现,形成了一条完整的细节感知交互链

路；实验结果显示，对比常见的手势和视觉追踪体感方法，所提出的方法显著提升了用户的主观体验、记忆效果及交互效率。另一方面，针对全局行走过程，提出了基于虚实环境的混合行走漫游方法，融合全局模拟行走、局部自然行走与视点位置引导，构建了混合行走漫游模式，有效地增强了沉浸感和用户体验。

最后，基于上述关键技术和交互方法，本文设计并实现了两套具有代表性的多模态交互系统并得到成功应用。第一套系统面向博物馆文物展示，融合体感交互接口和物理设计元素，实现了空间定位、语音讲解及细节推理等多种功能，使用户能够通过空间位置与姿态控制实现内容切换与多维交互；第二套系统则聚焦于内容创作与体验，利用注视-距离协同引导方法的实验环境，构建了支持多模态内容编辑、场景导出分发与多用户实时互动的端到端平台，展现了系统在跨终端协同与多模态交互方面的整合能力。这两套系统分别在博物馆展陈和儿童教育实验课程中获得成功应用，充分验证了本文方法的实用性和推广前景。

综上所述，本文围绕沉浸空间内的多模态人机交互展开系统研究，通过构建注视-距离协同引导方法、视点-路径协同引导方法以及面向细节感知和全局行动的体感增强交互方法，实现了感知—认知—操作—行动全流程的优化。实验结果表明，所提出的方法能够显著提升用户体验和优化认知效率。本研究不仅丰富了沉浸空间人机交互的设计模式，也为实际应用提供了切实可行的技术路径，对推动沉浸式文旅应用、元宇宙平台建设及相关领域的持续发展具有重要理论意义和实践价值。

关键词：沉浸空间，人机交互，注意力引导，体感交互，应用案例