

DOI:10.13203/j.whugis20170083



文章编号:1671-8860(2018)11-1732-07

基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究

申 申^{1,2} 龚建华^{1,3} 李文航¹ 梁剑鸣^{3,4}

1 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京,100012

2 中国科学院大学,北京,100049

3 浙江中科空间信息技术应用研发中心,浙江 嘉兴,314199

4 亚利桑那州立大学生命科学学院,美国 坦佩,85287

摘要:设计并开展了基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验,探索基于头盔式虚拟现实地理信息系统(virtual reality geographic information system, VRGIS)与基于屏幕空间的地理虚拟环境中虚拟亲历行为的空间场所认知差异特征。实验收集到虚拟现实(virtual reality, VR)组与屏幕组两组参与者的数据,包括参与者手绘认知草图、虚拟场景中活动轨迹与视线轨迹数据,并从空间场所认知效果、遗忘分数、视线轨迹等3个方面进行了对比分析。结果表明,VR组的潜在优势体现在:①空间认知3个层次(空间特征感知、空间对象认知、空间格局认知)的认知效果比屏幕组均有了显著的提升;②在遗忘分数方面,与屏幕组并没有显著差别;③观察方向的水平变化量显著大于屏幕组。此外,实验还讨论了头盔式VRGIS影响空间场所认知效果的可能内在机制以及支撑虚拟地理实验平台的可能性。

关键词:空间认知;VRGIS;头盔式虚拟现实;虚拟地理环境

中图分类号:P208

文献标志码:A

地理空间认知作为地理信息科学的核心问题之一,近年来一直处于比较活跃的研究状态。认知地图是一个对自然环境中的空间格局进行部分表征的心理结构^[1],众多学者使用认知地图对空间认知开展了研究^[2-3]。认知地图的外部化方法主要有两种——多维尺度标度法与手绘草图法^[4]。研究发现,两者均存在整体与局部变形^[5],且在变形趋势上大致相同,但手绘草图法相对于实际地图变形较小^[4],难度低、易操作,因此广泛应用于城市空间意象的研究。

近年来,基于虚拟现实技术和互联网技术的VRGIS(virtual reality geographic information system)发展迅速^[6-7],可以方便地构建赛博城市、虚拟世界等虚拟地理环境。电子地图^[8]、虚拟地理环境^[9]等新媒体形式均展现出不同的空间认知特点。万刚等^[10]进行了基于阅读行为的纸质地图、电子地图、遥感影像和虚拟地理环境的空间认知对比实验研究;Freksa等^[11]和Bülthoff等^[12]利用虚拟现实开展了不同角度的空间认知研究。

但这些研究多从理论角度进行分析,所做实验由于技术、条件限制等原因,主要存在以下不足:①很少以第一人称视角研究场所认知;②很难找到完全符合实验条件的场所认知客体对象;③很难控制空间场所认知的实验条件;④对于特殊情况下的空间场所认知实验,比如火灾、地震等应急场景,很难甚至无法进行研究。

VRGIS与头盔式显示器(head-mounted display, HMD)等交互设备相结合,其视觉效果超过了此前广泛使用的主被动立体、CAVE投影系统。实验设计者通过构建虚拟空间场所,能更好地控制实验条件,以第一人称视角开展现实中难以复现甚至无法进行的实验。本文中的虚拟亲历行为指的是在虚拟环境中的亲身游历行为,不包括全景照片、视频及增强现实环境。

基于计算机屏幕空间的地理虚拟环境属于非沉浸式虚拟环境,参与者不必戴上头盔、立体眼镜、数据手套等设备^[13],其虚拟亲历行为与基于头盔式VRGIS形式相比,两者在空间场所认知

收稿日期:2017-09-11

项目资助:国家自然科学基金(41371387)。

第一作者:申申,博士生,主要从事虚拟地理环境方面的研究。dslwz2002@163.com

通讯作者:龚建华,博士,研究员。gongjh@radi.ac.cn

效果方面会存在哪些异同特征是本文需要探讨的核心问题。本文构建了虚拟校园场景,设计了两种形式的虚拟亲历行为空间场所认知实验,利用参与者绘制的认知草图和虚拟场景中的活动轨迹与视线轨迹,从空间场所认知效果、遗忘分数和视线轨迹 3 个方面进行了对比分析,研究总结了头盔式 VRGIS 的特征和优势。

1 基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验

本文实验设计了两套内容相同、交互不同的虚拟地理环境系统(见图 1)。一套运行在普通 PC 上,使用鼠标键盘进行操作(图 1(a));另一套采用 Oculus CV 1 头盔显示器,使用目视交互技术配合手柄控制器进行漫游(图 1(b)),两者均采用第一人称视角。

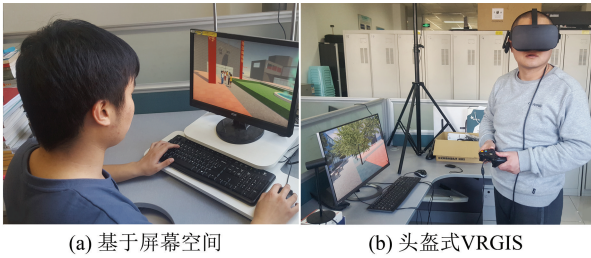


图 1 头盔式 VRGIS 与基于屏幕空间的地理虚拟环境
Fig.1 HMD VRGIS and Screen-Based Virtual Geo-environment

1.1 实验方案设计

实验一共邀请了 52 名参与者,年龄范围为 21~36 岁,均为相关专业的学生,对地图、GIS 都有所了解,避免认知能力、知识结构等方面带来的偏差。参与者被随机分配到两个组中,其中 29 名使用桌面版,称为屏幕组;另外 23 名使用虚拟现实版本,称为 VR 组。

1) 实验过程

实验要求:参与者首先不知道虚拟场景的内容,在虚拟场景中漫游 5 min,路径自由规划;结束后,根据自己的记忆(短时记忆)画出整个虚拟场景的地图,并尽可能详细地画出更多细节。然后从事与该实验无关的工作,并且相互之间不能交流实验内容,半天之后再次要求参与者凭借记忆(长时记忆)画出认知地图。

数据记录:实验系统以日志的形式记录下了参与者在虚拟场景中所处的位置以及观察视线的方向。

条件排除:通过预实验,结合虚拟场所面积和

漫游速度,把实验时间设定为 5 min,以足够保证每种观测方式的参与者都能完整地浏览一遍场景,从而排除因场景浏览完整度的不同而对评分造成影响。虚拟实验系统的渲染帧率均优化至 90 fps 以上,排除了虚拟现实系统中的延迟因素造成的眩晕影响。

2) 实验场景设计

本文实验使用 SketchUp 建立了一个虚构的校园场景,保证对所有参与者都是陌生的。虚拟场景中共设置了 8 个景观元素(包括体育馆、图书馆、报告厅、教学楼 4 个主要建筑以及雕塑、亭子、喷泉、石桌凳 4 个景观小品)以及 3 条道路,如图 2 所示。

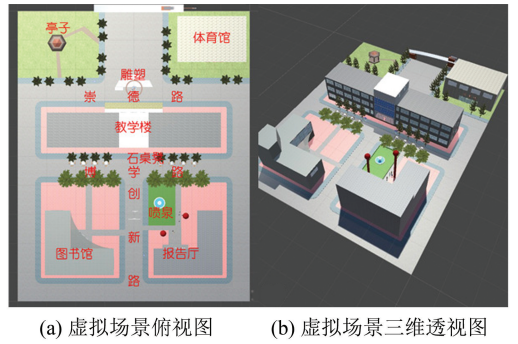


图 2 虚拟场景三维视图
Fig.2 3D View of Virtual Scene

3) 实验结果评分标准

鲁学军认为^[14],空间特征、空间对象与空间格局共同构成了空间认知的 3 个层次。本文实验从空间对象、空间格局、空间形状 3 个方面来评价参与者绘制的认知草图。空间对象特指虚拟地理空间中的静态地物。具体评分标准如表 1 所示。

表 1 认知草图评分标准

Tab.1 Cognitive Map Grading Standard

| 评分项 | 评分标准 | 建筑得分 | 道路得分 | 总分 |
|------|--------------|------|------|----|
| 空间对象 | 是否存在 | 8 | 3 | 11 |
| | 名称是否正确 | 7(*) | 3 | 10 |
| 空间格局 | 空间对象相对位置是否正确 | 8 | 3 | 11 |
| 空间形状 | 空间对象形状是否正确 | 8 | 0(*) | 8 |

注: * 表示石桌凳不要求写出名称,道路不要求形状

如表 1 所示,3 个评分项得分总和作为该参与者的总分数。长时记忆的评分方法与此相同,通过对比短时记忆与长时记忆认知地图的得分情况,可以判断头盔式 VRGIS 是否有助于长时记忆的形成。

1.2 实验结果分析

1.2.1 空间场所认知效果对比分析

根据上述评价标准,得到每个参与者在短时记忆和长时记忆两种条件下的空间对象、空间格局、空间形状、总得分4个方面的分数。建立检验假设 H_0 :VR组在上述4个方面的表现不强于屏幕组,即VR组得分均值 μ_1 不大于屏幕组得分均值 μ_2 。采用自由度为 f 的双样本异方差假设检

验(t 检验),以 $\alpha=0.05$ 的显著性水平分别计算各个方面的统计量,得到的检验统计量如表2所示。表2中, f 为自由度, t 值为 t 检验结果, p 值为计算得到的显著性检验值, $t_{0.05}$ 为 $\alpha=0.05$ 时的 t 分布分位数。比较表2中的 t 值和 $t_{0.05}$ 值,每一项均有 $t > t_{0.05}$,故拒绝原假设 H_0 。

表2 空间场所认知效果检验统计表

Tab.2 Statistical Test Scale of Spatial Cognitive Performance

| 类别 | 项目 | 均值 | | 方差 | | f | t 值 | p 值 | $t_{0.05}$ 值 |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|----------------------|--------------|
| | | VR组 | 屏幕组 | VR组 | 屏幕组 | | | | |
| 短时记忆 | 总得分 | 26.78 | 19.59 | 44.27 | 31.61 | 43 | 4.14 | 7.8×10^{-5} | 1.68 |
| | 空间对象 | 14.39 | 10.38 | 14.89 | 11.96 | 45 | 3.90 | 1.6×10^{-4} | 1.68 |
| | 空间格局 | 7.91 | 6.07 | 4.63 | 3.28 | 43 | 3.29 | 1.0×10^{-3} | 1.68 |
| | 空间形状 | 4.48 | 3.14 | 2.54 | 2.34 | 46 | 3.07 | 1.8×10^{-3} | 1.68 |
| 长时记忆 | 总得分 | 24.56 | 18.24 | 41.81 | 29.48 | 43 | 3.76 | 2.6×10^{-4} | 1.68 |
| | 空间对象 | 13.04 | 9.41 | 15.23 | 9.90 | 42 | 3.62 | 3.9×10^{-4} | 1.68 |
| | 空间格局 | 7.30 | 5.83 | 4.77 | 2.86 | 41 | 2.67 | 5.4×10^{-3} | 1.68 |
| | 空间形状 | 4.22 | 3.00 | 2.81 | 2.21 | 44 | 2.73 | 4.5×10^{-3} | 1.68 |

表2结果表明,VR组在长时记忆和短时记忆两种条件下,空间对象、空间格局、空间形状3个方面得分及其总得分均显著大于屏幕组。总体来看,空间对象的认知效果提升得最为显著,短时记忆为19.1%,长时记忆为17.3%。

1.2.2 空间场所认知遗忘分析

从认知地图的形成过程来看,用户体验、交互特点作为空间认知手段,能够刺激个体形成感觉记忆、短时记忆。经过一段时间的遗忘,长时记忆中的认知地图会出现细节缺失。

1) 遗忘分析

遗忘分数:短时和长时记忆条件下得分的差

值反映的是参与者对场景内容遗忘的程度。计算公式为:

$$S = \max(S_s - S_l, 0) \quad (1)$$

式中, S_s 、 S_l 分别是同一个参与者在短时、长时记忆条件下的得分。

利用式(1)计算出两个组别中每个参与者的遗忘分数,建立检验假设 H_0 :VR组在空间场所认知3个方面的表现不强于屏幕组,即VR组遗忘分数均值 μ_1 不大于屏幕组均值 μ_2 。采用自由度为 f 的双样本异方差假设检验(t 检验),以 $\alpha=0.05$ 的显著性水平分别计算各个方面的统计量,得到的检验统计量如表3所示。

表3 遗忘分数检验统计量

Tab.3 Statistical Test Scale of Forgetting Scores

| 项目 | 均值 | | 方差 | | f | t 值 | p 值 | $t_{0.05}$ 值 |
|------|------|------|------|------|-----|-------|-------|--------------|
| | VR组 | 屏幕组 | VR组 | 屏幕组 | | | | |
| 空间对象 | 1.43 | 1.07 | 3.98 | 1.85 | 37 | 0.75 | 0.23 | 1.69 |
| 空间格局 | 2.35 | 1.55 | 7.15 | 2.90 | 36 | 1.24 | 0.11 | 1.69 |
| 空间形状 | 0.30 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 46 | 0.19 | 0.43 | 1.68 |

比较表3中的 t 值和 $t_{0.05}$ 值,每一项均有 $t < t_{0.05}$,故不能拒绝原假设 H_0 ,表明VR组和屏幕组在空间场所认知的遗忘分数方面并没有显著差别。

2) 遗忘细节描述与探讨

统计各种细节的遗忘占比,如图3所示。从图3可以得出以下结论:

1) 两组中最易遗忘的细节是建筑景观名称错误或丢失、道路名称错误或丢失。其原因可能是因为文字属于抽象性信息,相比于图形图像,不利于记忆。

2) 屏幕组中建筑景观丢失的比例要远大于VR组。分析发现,屏幕组中建筑景观的丢失,有37.5%是主要建筑的丢失,而62.5%是景观小品的丢失;VR组中全部是景观小品的丢失。其可能的原因是VR组中的参与者较好地记住了主要的大型建筑,而虚拟场景中的景观小品是较容易遗忘的对象。该结论是否成立需要通过增加样本量来进一步验证。

1.2.3 空间认知视线轨迹可视化分析

眼动分析具有即时、客观、定性与定量结合的

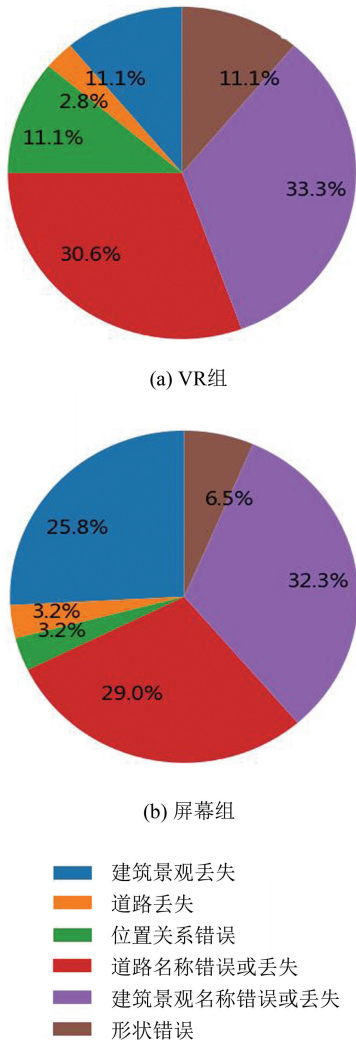


图 3 空间认知细节丢失比例分布

Fig.3 Distribution of Spatial Cognition Detail Loss Proportions

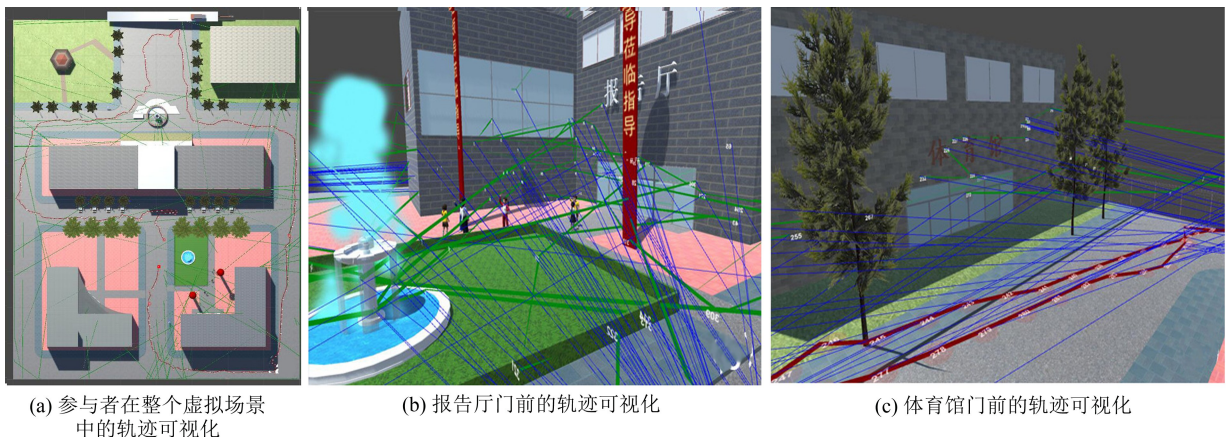


图 4 典型参与者的活动轨迹和视线轨迹可视化

Fig.4 Visualization of Typical Subject's Move Trajectory and View Trajectory

特点,眼动实验已逐渐成为地图信息加工机制研究的有效手段^[15]。在头盔式虚拟地理场景中,视线轨迹分析从二维平面地图扩展到三维空间。移动轨迹与视线轨迹是对单个用户行为模式、注视模式的客观定量描述,适合于探索实验个体的场所认知、视线搜索等规律。

本文实验中,日志记录时间间隔为 1 s,每一位参与者都至少贡献了 300 个数据点。连接这些数据点就可以得到参与者的活动轨迹与观察视线轨迹。日志以标准的文本格式存储。对参与者的活动轨迹进行可视化时,使用射线投射算法,计算出参与者在场景中每个位置点上所观察到的目标物体,同时可以得到参与者的视线轨迹。典型参与者的活动轨迹和视线轨迹的可视化结果如图 4 所示。图 4 中红色线为参与者活动轨迹,蓝色线为参与者观察方向射线,绿色线为参与者视线轨迹。

1) 分析指标

观察视线方向与移动方向之间的偏差(指标 1);考察用户在虚拟场景中前进时观察方向与移动方向的夹角。

观察视线方向变化量(指标 2);考察用户在 t 时刻的观察视线方向与 $t+1$ 时刻的观察视线方向之间的变化量。

两个指标的计算方法如图 5 所示,每个指标均以水平角和俯仰角两个参数来衡量。在图 5(a)中,视线方向向量 V_v 在 XZ 平面上的投影 V'_v 与移动方向 V_m 之间的夹角 α 为水平角,视线方向向量 V_v 与其在 XZ 平面上的投影 V'_v 之间的夹角 β 为俯仰角;在图 5(b)中, t 时刻、 $t+1$ 时刻的观察方

向向量分别为 V_t 、 V_{t+1} ,在 XZ 平面上的投影分别为 V'_t 、 V'_{t+1} , V'_t 和 V'_{t+1} 之间的夹角为水平变化角

α , V_t 与 V'_t 的夹角 β_1 和 V_{t+1} 与 V'_{t+1} 的夹角 β_2 之差的绝对值为俯仰变化角,即 $\beta = |\beta_1 - \beta_2|$ 。

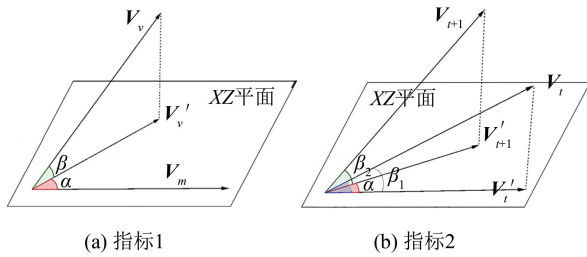


图5 两个分析指标的计算方法

Fig.5 Calculation Methods of Two Analytical Indicators

表4 视线轨迹指标检验统计量

Tab.4 Statistical Test Scale of Sight Trajectory Indexes

| 项目 | 均值 | | 方差 | | f | t 值 | p 值 | $t_{0.05}$ 值 |
|---------------|-------|-------|--------|--------|-----|-------|--------|--------------|
| | VR组 | 屏幕组 | VR组 | 屏幕组 | | | | |
| 指标1的 α | 27.27 | 35.33 | 143.73 | 344.57 | 25 | -1.59 | 0.062 | 1.71 |
| 指标1的 β | 6.30 | 8.00 | 7.89 | 11.14 | 31 | -1.69 | 0.050 | 1.70 |
| 指标2的 α | 14.60 | 8.67 | 23.49 | 26.29 | 33 | 3.79 | 0.0003 | 1.69 |
| 指标2的 β | 5.09 | 4.09 | 5.08 | 2.89 | 40 | 1.64 | 0.054 | 1.68 |

比较表4中的 $|t|$ 值和 $t_{0.05}$ 值,可知指标2的 α 角中 $|t| > t_{0.05}$,故拒绝原假设 H_0 ;而指标1的 α 角、 β 角和指标2的 β 角中 $|t| < t_{0.05}$,故不能拒绝原假设。该结果表明,VR组中观察方向的水平变化量显著大于屏幕组。

两组参与者都可以边行走边感知周围的虚拟环境,因此指标1的 α 角、 β 角并没有显著区别。VR组中观察方向的水平变化量显著大于屏幕组,说明头盔式VRGIS的交互方式更加灵活,参与者借助头盔显示器可以实现全方位自由转身,头部转动的角度、幅度、随意性都超过了传统的鼠标键盘的交互方式。VR组中观察方向的垂直变化量并没有显著大于屏幕组,可能是由于虚拟场景中并没有设计需要大幅度俯仰的元素。

2 实验结论与讨论

2.1 两种形式特征比较

相比于传统的基于屏幕空间的地学虚拟环境,头盔式VRGIS在空间场所认知方面可能具备的优势主要有以下几点:

1)使用户以沉浸式第一人称视角置身于虚拟地理环境之中,在空间认知的3个层次中,其认知效果均显著超过了前者。

2)在视觉感知方面,能够协助用户感知到虚拟场景中更多的细节,增加视觉感知信息量,形成短时记忆,但是两者在空间场所认知的遗忘分数

2) 计算过程

首先分别计算两组参与者的上述分析指标,可以得到1s间隔的指标数据。然后对参与者在虚拟场景中的完整漫游过程进行平均,可以得到每位参与者的两个指标均值。

3) 结果分析

对比VR组和屏幕组的指标数据,建立检验假设 H_0 :VR组的各个角度均值 μ_1 不大于屏幕组均值 μ_2 。采用自由度为 f 的双样本异方差假设检验(t 检验),以 $\alpha=0.05$ 的显著性水平计算得到检验统计量如表4所示。

方面并没有显著差别。

3)具有更自然、更灵活的交互方式和不受约束的头部追踪定位。交互方式的便捷使得参与者有更多时间、更多频次感知到虚拟场景中的空间对象、空间格局等信息。

2.2 空间场所认知机制讨论

本文实验和结论并未涉及到头盔式VRGIS影响空间场所认知效果的根本原因和内在机制,这里仅针对其可能性进行讨论。虚拟现实的重要特征是让人的感知、认知空间与三维信息空间合一,让人以参与者身份体验、认识三维虚拟世界。基于屏幕空间的地学虚拟环境,不能为用户提供沉浸感,人的认知空间与三维虚拟环境空间是彼此独立的;而在头盔式VRGIS虚拟环境中,两者是合一的,从而使用户在虚拟现实中的认知方式与现实世界保持一致。从心理学角度来看,认知空间与虚拟环境空间的合一性带来的是在场感。在场感影响因素众多,这也为虚拟环境技术的发展指明了方向。视觉、听觉目前被开发得最多,触觉、嗅觉、力反馈的加入能够营造更加强烈的在场感。对于在场感是如何影响空间认知效果的,有待进一步的跨学科(心理学、地理学)研究。

此外,虚拟环境与现实世界表现出更高的相似性,这是虚拟地理实验发展的一个必要条件。地理体认感知的相似性能够得到更好的表达。头盔式VRGIS具备沉浸式第一人称观察视角,更加注重虚拟环境中人的作用,适合进一步发展面

向人的地学可视化与分析框架以及多用户空间协同任务平台。这也表明头盔式 VRGIS 作为虚拟地理实验平台的有效性,能够为人类空间场所的认知过程、特点、基本方法和原则等方面的研究提供新的平台,适合研究虚拟环境中的个体、群组、群体的空间场所认知行为。

3 结 语

大众化、消费级的头盔式虚拟现实、增强现实技术与设备快速普及、广泛产业化应用给人类社会、经济与生活等带来了巨大的影响。GIS 必将与虚拟现实技术相结合,形成 VRGIS、头盔式虚拟地理环境等,并需要进行新的理论与方法探讨。

本文主要从虚拟环境的空间场所认知角度讨论基于头盔式 VRGIS 与基于屏幕空间的虚拟环境空间场所认知的异同,并尝试探索头盔式 VRGIS 所带来的新体验与新认知特征。空间认知过程与主体密切相关,受参与者年龄、心理、环境等多因素的影响。本文尝试使用参与者在虚拟场景中的活动轨迹、视线轨迹等客观行为数据进行分析,得出了定量结论,为空间场所认知实验提供了客观分析的新平台和新方法。

本文结论是基于实验得出的,由于实验样本数较小,考虑因素不够全面,是否具有普遍性意义需要进一步加以验证。

人们惯常获取空间认知的途径主要是读二维地图和亲历行为。地图呈现的是空间场所的宏观布局信息,亲历行为使参与者能够接触到更多的微观细节,两者相结合是否能够增强空间场所认知,可以作为进一步研究的方向。

参 考 文 献

[1] Bell P A, Greene T C, Fisher J D, et al. *Environmental Psychology*[M]. 5th ed. East Sussex: Psychology Press, 2009

[2] Sternberg R J, Sternberg K. *Cognitive Psychology* [M]. 6th ed. Shao Zhifang, trans. Beijing: China Light Industry Press, 2016 (Sternberg R J, Sternberg K. 认知心理学[M]. 6 版. 邵志芳, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2016)

[3] Lynch K. *The Image of the City*[M]. Xiang Bingren, trans. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990 (Lynch K. 城市意象[M]. 项秉仁, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990)

[4] Xue Lulu, Shen Si, Liu Yu, et al. The Comparison Between Two Cognitive Map Externalization

Methods: A Case Study of Beijing[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(3): 413-420 (薛露露, 申思, 刘瑜, 等. 认知地图两种外部化方法的比较: 以北京市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(3): 413-420)

[5] Shen Si, Xue Lulu, Liu Yu. Beijing Residents' Cognitive Map Distortion and Sources Analysis Based on Sketch Mapping Method[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 625-634 (申思, 薛露露, 刘瑜. 基于手绘草图的北京居民认知地图变形及因素分析[J]. 地理学报, 2008, 63(6): 625-634)

[6] Fisher P, Unwin D. *Virtual Reality in Geography* [M]. New York: Taylor & Francis, 2002

[7] Huang B, Jiang B, Li H. An Integration of GIS, Virtual Reality and the Internet for Visualization, Analysis and Exploration of Spatial Data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(5): 439-456

[8] Chen Yufen. Spatial Cognition Research on Electronic Maps[J]. *Progress in Geography*, 2001, 20(s1): 63-68 (陈毓芬. 电子地图的空间认知研究[J]. 地理科学进展, 2001, 20(s1): 63-68)

[9] Liu Fang, Wang Guangxia, Qian Haizhong, et al. The Influences of Virtual Geographic Environment on Styles of Spatial Cognition[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(4): 67-69 (刘芳, 王光霞, 钱海忠, 等. 虚拟地理环境对空间认知方式的影响[J]. 测绘科学, 2009, 34(4): 67-69)

[10] Wan Gang, Gao Jun, Liu Yingzhen. Research on Cognitive Map Formation Based on Reading Experiments[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(2): 339-346 (万刚, 高俊, 刘颖真. 基于阅读实验方法的认知地图形成研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 339-346)

[11] Freksa C, Habel C, Wender K F. *Spatial Cognition an Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*[M]. Berlin: Springer, 1998

[12] Bühlhoff H H, Campos J L, Meilinger T. Virtual Reality as a Valuable Research Tool for Investigating Different Aspects of Spatial Cognition[C]. International Conference Spatial Cognition 2008, Freiburg, Germany, 2008

[13] Gong Jianhua, Lin Hui. *Virtual Geographic Environments-Geographic Perspective of Online Virtual Reality*[M]. Beijing: High Education Press, 2001 (龚建华, 林珏. 虚拟地理环境-在线虚拟现实的地理学透视[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001)

[14] Lu Xuejun. The Research on Spatial Cognitive Mode [J]. *Geomatics World*, 2004, 2(6): 9-13 (鲁学军.

空间认知模式研究[J]. 地理信息世界, 2004, 2(6): 9-13)

[15] Zheng Shulei. Research on Personalized Map Cogni-

tion Mechanism[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2015(郑束蕾. 个性化地图的认知机理研究[D]. 郑州:信息工程大学, 2015)

A Comparative Experiment on Spatial Cognition Based on Virtual Travel Behavior

SHEN Shen^{1,2} GONG Jianhua^{1,3} LI Wenhong¹ LIANG Jianming^{3,4}

1 State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Zhejiang-CAS Application Center for Geoinformatics, Jiaxing 314199, China

4 School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe 85287, USA

Abstract: In this paper we present the design and implementation of a comparative experiment to study the differences in spatial cognition between head-mounted virtual reality geographic information systems (VRGIS) and desktop monitor-based virtual geographic environments, collect virtual travel behavior data from two groups of participants and explore the differences in spatial cognition. The collected virtual travel behavioral data include subjects' self-drawn cognitive maps, movement trajectories and viewing trajectories. Then the differences in spatial cognitive performance, forgetting scores and viewing trajectories are analyzed. The following conclusions are drawn: ①The head-mounted VRGIS group scores significantly higher than desktop monitor-based group in three levels of spatial cognition including spatial feature perception, spatial object cognition and spatial pattern cognition. ②The two groups do not show a significant difference in forgetting scores. ③The average rate of change in horizontal viewing direction is significantly greater in the head-mounted VRGIS group than in desktop monitor-based group. Furthermore, we discuss the internal limiting factors of spatial cognition associated with head-mounted VRGIS and its potentials for supporting virtual geographic experiment development.

Key words: spatial cognition; virtual reality geographic information system; head-mounted virtual reality; virtual geographic environment

First author: SHEN Shen, PhD candidate, specializes in virtual geographic environment. E-mail: dslwz2002@163.com

Corresponding author: GONG Jianhua, PhD, professor. E-mail: gongjh@radi.ac.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41371387.