



扩展现实与地理空间认知研究进展与展望

刘兵¹ 孟立秋¹

¹ 慕尼黑工业大学制图和可视分析系,德国 慕尼黑,80333

摘要:扩展现实包括增强现实、虚拟现实和混合现实,主要应用于地理位置相关的服务,探究用户在扩展现实中的认知规律也是几十年来持续发展的课题。随着元宇宙的发展,该课题吸引了更多国内外研究者的注意。基于国内外研究进展,总结了扩展现实和地理空间认知研究的必要性,虚拟现实、增强现实在地理空间认知研究中的应用与研究现状,以及适用的研究方法和任务设计,并提出了当下研究面临的一系列挑战,以期对相关领域的研究者提供可操作的、具体的思路,充分发挥地图学在扩展现实技术发展中的作用。

关键词:扩展现实;虚拟现实;增强现实;地理空间学习;地图学

中图分类号:P208;P28

文献标志码:A

扩展现实(extended reality, XR)包括增强现实(augmented reality, AR)、虚拟现实(virtual reality, VR)和混合现实(mixed reality, MR),是被广泛提及的元宇宙的核心技术之一^[1]。扩展现实不仅丰富了对地理空间的抽象表达形式,也为人文社会空间和信息空间的表达提供了新的可能性,是三元空间的重要基础。目前,扩展现实的基建、硬件等仍在发展阶段^[2],尚未达到满足普通消费者日常使用的水平。但基于扩展现实的学习和认知研究已有几十年的历史^[3],当前元宇宙的提出与发展又将这一课题推到前沿^[4-6]。

地理位置相关的应用是扩展现实的重要应用场景。虚拟现实技术经常用于地理空间认知研究的实验场景^[7],增强现实和混合现实技术从一开始就应用于与地理空间有关的任务^[8]。例如文献[9]将地理空间地图与地球的多个天气雷达图像叠加起来显示天气广播;广受欢迎的MR游戏应用Pokémon GO,也与地理空间有很大关系;目前增强现实和混合现实也已经应用于导航服务^[10-12]。基于扩展现实的地理空间认知^[13]和学习也是元宇宙发展的重要基础。在这一过程中,地理学和地图学的相关研究将发挥重要作用。

混合现实曾指代从完全物理环境到完全虚拟环境(现实-虚拟, reality-virtuality, RV)的整个连续体,包括增强虚拟(augmented virtuality, AV)

和AR^[14],如图1所示。目前,增强现实和混合现实都是指同时显示虚拟信息和真实世界的技术^[15]。本文将混合现实和增强现实统称为增强现实。

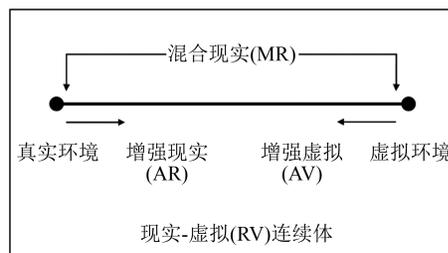


图1 现实-虚拟连续体^[14]

Fig.1 Reality-Virtuality Continuum^[14]

本文梳理了当前扩展现实(虚拟现实和增强现实)与地理空间认知研究的最新进展,总结了应用于扩展现实空间认知的研究手段和研究任务,提出了现阶段相关研究中存在的问题,能为后续相关研究提供思路,充分发挥地图学在扩展现实技术发展过程中的作用。

1 国内外研究进展

1.1 虚拟现实和地理空间认知研究

长期以来,虚拟环境作为真实地理环境的替代应用于地理空间认知研究,主要原因有:(1)真

收稿日期:2022-12-03

项目资助:国家建设高水平大学公派研究生项目(201806040219)。

第一作者:刘兵,博士,研究方向为扩展现实与地理空间认知。bing.l@tum.de

通讯作者:孟立秋,博士,教授。liqiu.meng@tum.de

实地理环境中进行大规模用户研究的困难,如往返研究区所需的交通时间、天气状况和行人、噪音等因素的影响;(2)参与者的先验知识,即对研究区的熟悉程度^[7]。为了避免这些问题,由街景^[16]、照片或三维模型^[17-18]生成的虚拟环境具有高度可控制性,早已广泛应用于地理空间认知研究^[7]。

以往研究中,虚拟环境可以显示在一个或多个平面显示器上^[19]。随着虚拟现实技术的进步,例如CAVE(cave automatic virtual environment)^[20]或头戴式设备(head-mounted device, HMD)^[18,21]在实验室环境中的普及,虚拟环境的沉浸感、可交互性不断提高。最新的对比研究显示,在头戴式虚拟现实设备中进行地理空间相关研究,受试者的表现和在真实环境中十分相似^[22]。这一发现支持研究者在条件有限的情况下,用先进的虚拟现实设备代替真实环境进行研究。使用虚拟现实,研究者可以在有限的物理空间内进行不同尺度的空间认知实验,小到莫里斯水迷宫^[23]、一个房间,大到一栋建筑^[24]、一个城市^[19]甚至城市之间,这进一步增加了在研究中使用更丰富的数据源的可能性,如眼动跟踪设备、脑电设备等。此外,虚拟现实也可更大程度地避免复杂现实世界中的物理伤害,为受试者提供更好的保护,因此被广泛地应用于空间能力的增强或削弱的研究中^[25],尤其适用于能力受限的受试者群体,如残疾人、儿童^[26]或者老人^[27]。

1.2 增强现实和地理空间认知研究

目前,增强现实设备主要有抬头显示器(head-up display, HUD)、手持式(hand-held device, HHD)和头戴式设备(head-mounted device, HMD)^[8]。导航辅助是增强现实技术在地理空间相关服务中的一个重要应用。目前市场上已经出现手持式和车载抬头显示器上的商业导航辅助工具^[28-29]。

许多研究都致力于将增强现实技术用于空间学习^[12,30-31],并已证明上述各种增强现实设备均可能对提高用户的空间学习有帮助^[12,32-33]。以往用户对于导航应用的长期依赖导致地理空间认知和地理空间能力下降,引起了研究人员^[34]、警察^[35]和公众^[36]的普遍担忧。在导航辅助工具的帮助下,用户通常是被动地跟随导航指示,而忽略了对环境的学习。但是导航辅助工具很难保证总是可用的,当其不可用时,用户只能依靠自身对环境的记忆。已有研究表明无意识的学

习是可能的^[37-38],而增强现实技术可以帮助无意识学习^[12,31]。此外,用户对于增强现实技术的好奇心也可能提高用户的学习兴趣。因此,基于增强现实的导航是有可能在实用性和地理空间学习和认知之间取得平衡的。

1.3 地理空间认知和地理空间学习

地理空间学习是地理空间认知的基础。学习是外部世界逐步内化的过程,也是人们获得知识和技能的过程^[39]。其中,探索空间和获得空间记忆对动物的生存至关重要^[39],但生活在安全、稳定的社会环境中的现代人通常会忽略这一点。然而,在实际生活中,用户有时依然需要依赖自身的空间学习和空间认知进行日常活动,比如在设备出现故障时,或者紧急情况下的疏散。因此,研究者有必要探索平衡用户自身空间学习和充分发挥扩展现实技术便捷性的可能性和实践。

空间学习指的是生物体获得其环境的心理表征的过程^[40]。人们通过地理空间学习获得地理空间知识,并储存在记忆中。了解记忆是如何发展和储存的,可以提高人们对空间学习的理解,以及如何改善它。空间记忆是工作记忆、短期空间记忆和长期空间记忆的组合,空间工作记忆和短期空间记忆使人们能够记住物体的位置、关系并帮助探索和浏览一个新的空间。而人们在日常活动中可以检索和使用的空间记忆属于长期空间记忆。

与其他学习类似,适当的学习策略可以改善空间记忆。增强空间学习的方法有引入空间锚点(spatial anchor)、空间分割(spatial chunking)等。此外,教育可以提高学习能力,受教育者的学习能力是未受教育者的两倍^[39]。探索在扩展现实中新的空间学习策略,也可以增强用户的地理空间认知。

2 扩展现实和空间认知研究方法

扩展现实技术因其直观、易用、新颖等特点吸引了研究人员和普通消费者的关注。但扩展现实技术本身可能带来一些认知问题,如视觉注意和空间意识(spatial awareness)。应用扩展现实来辅助空间学习方面存在着一些固有的挑战。例如,用户在使用增强现实时,必须在虚拟信息的可视化和真实世界之间切换注意力。为某一目的而设计的界面可能也会干扰其他信息的学习^[30]。因此,需要采用实验方法对扩展现实和地理空间认知展开深入持久的研究。

2.1 应用于扩展现实认知研究的方法

国内外已有很多针对扩展现实中认知问题的研究。除了常见的行为实验^[41]、访谈^[12]等研究方法,多种多样的传感器和设备均可与扩展现实设备结合,为从多角度、多数据源全面探究这一课题提供了可能。

生理测量方式如眼动跟踪(eye tracking)^[42]、脑电图(electroencephalogram, EEG)^[43]、功能性近红外光谱(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)^[44],可通过客观、便携、非侵入性的手段来获取人的真实反应,并进一步测量用户的情绪和行为特点、任务负担等。但在使用这些技术时,也应注意其潜在问题,如眼动数据是二维的,通常缺乏深度信息;EEG 信号对物理压力很敏感,如果与头戴式虚拟现实设备结合,信号可能会受设备重量影响而产生失真^[43]。其他生理测量,如面部肌肉激活、用户心率和皮肤阻抗等,也可通过相应设备收集,以测量用户情绪和行为。EmteqPRO 即提供了一个多模态的解决方案^[45],但该设备的重量和尺寸限制了其在移动研究中的使用。当前的扩展现实设备较少内置完善的定位功能,全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)可用来获取地理信息,提高室外研究的定位精度。触觉手套^[46]、跑步机^[47]和 Kinect 等可与扩展现实设备相结合,提供更自然的交互体验,创造更加沉浸式的扩展现实环境。

上述技术都是非自然的,设备的增加可能会吸引周围人的注意,从而提高用户的自我意识(self-awareness)。这个问题在多大程度上可能干扰用户的表现和感知,可以结合主观访谈、问卷或情感和压力生物识别技术等来了解,文献[8]较为详细地总结了各传感器的用途和潜在问题。

2.2 应用于扩展现实空间认知的研究任务

在用户的地理空间学习研究中,地标-路线-测量知识框架^[48]广泛用于指导设计适当的任务来评估空间学习。随着地理空间知识的复杂度增加,相应的研究任务也逐渐变得丰富起来。文献[7]列举了常用的研究任务,本文进一步进行了总结。

1) 地标知识

地标知识是地理空间知识的基础,常用于衡量地标知识或基本地理空间知识的任务称为地标识别。在这项任务中,受试者需要识别研究区域的地标。地标可以显示为图片,因此这项任务

也被称为场景识别^[49]或照片识别^[50]。地标也可以用文字表示,例如名称^[51],而不是图片。在比较不同导航设计的研究中,为保证任务难度相当,可以用数字或字母来标示地标^[52]。

2) 路线知识

地标排序和路线重复常被用来评估路线知识的学习^[50]。在地标排序任务中,受试者需要将地标按照一定的顺序(通常是出现的顺序,或从甲地到乙地的顺序)排列。在路线重复任务中,受试者通常首先在引导下走过一条路线,在任务中则需要独立回到起点(或反之)^[12,53]。

3) 测量知识

测量知识是更复杂的地理空间知识,其研究任务也更多样。手绘地图经常被用作空间知识的指标^[21]。在此任务中,受试者通常需要在一张白纸上画出他们记忆中的空间信息。类似的任务有地标定位/地图补全任务^[54-55],在此类任务中,受试者需在一张简单地图中根据自己的空间知识补全某些信息。

其他常用的任务有新路线规划^[53]、定向^[19]和空间关系判断^[56-57]等。新路线规划任务需要受试者判断两点之间满足特定关系的路径,如最短路径。在定向任务中,受试者需要估计某地点到当前站立点的方向,或者某两个地点的相对方向。空间关系判断,即受试者阅读(或听到)关于空间物体或关系的陈述,并判断这些陈述的正确性,也是空间知识评估的常用任务之一。在这个过程中,有必要调整任务描述,防止受试者随意猜测。

此外,研究者应有意识地区分扩展现实技术本身带来的认知问题。已验证的问题包括晕动症等,这些问题可通过主观性的量表或问卷来判断^[7]。

3 基于扩展现实的地理空间认知研究面临的挑战

扩展现实技术深受广大用户的期待,也是众多厂商研发的重点。其中,地理空间认知问题已吸引了医学^[26]、地理学^[32]、教育学^[3]等领域的研究者数十年的关注,其研究内容涉及地理空间认知的神经基础和发展、不同地理空间能力之间的关系、地理空间行为与疾病诊断等,但其发展过程面临一系列不可忽视的挑战。

首先,地理空间认知的主动性要求和商用便捷性存在矛盾。虽然已有研究表明,在扩展现实

相关的地理空间应用中,通过界面和交互设计可以提高无意识学习,但并没有证据表明无意识学习可以达到和主动学习相当的学习效果。若要达到长期较好的地理空间认知,仍然需要用户进行主动学习。这将增加用户的认知负担,降低相关应用的便捷性,从而可能降低用户对其的好感度,因此商业应用并不会将地理空间认知作为优先满足的需求。如何将研究者关注的保留地理空间认知的需求融入到商业应用中,是需要思考的问题之一。

其次,地理空间知识获取结果和地理空间学习能力存在差异。目前的研究大多通过考察用户如何获取地理空间知识来解释用户的地理空间认知结果,即用户短期使用扩展现实应用后,对当前地理空间的认知和记忆。但地理空间能力并不局限于常出现在研究中的导航或定向,它还涉及到利用地理空间属性来交流、推理和解决问题的能力,即空间素养。目前的研究很难说明用户自身的地理空间学习能力是否得到了保留,用户的空间素养是否能够提升。回答这一问题比较困难,仍需要长期的跟踪研究。

然后,扩展现实应用和建立有关伦理问题的合规措施。目前扩展现实的应用还处在探索发展阶段,已有的用户研究所覆盖的用户多对这项新技术持有较乐观、正面的态度。随着扩展现实应用的推广和应用生态的建立,社会将面临越来越多的伦理问题,如在日常的增强现实应用中,设备不可避免会采集到周围环境和行人信息,这将涉及到其他人的隐私、安全问题;在虚拟现实,也已经暴露出了虚拟环境犯罪是否应该在现实中受到惩罚等问题。在扩展现实应用生态逐步建立起来的过程中,研究者也应注重对伦理问题的讨论和研究(如借鉴已有较长发展时间的游戏场景内的行为和规则^[58]),调整预期,建立起适用于扩展现实和元宇宙的伦理规则。

最后,扩展现实技术的长期影响具有不确定性。一方面,目前的地理空间认知研究多专注于使用场景和用户差异,但也有关于硬件设备的研究表明,扩展现实设备的不同也会影响用户的地理空间认知结果。换句话说,扩展现实技术本身的发展可能可以解决现阶段遇到的地理空间认知问题。另一方面,随着技术的发展和普及,用户对扩展现实技术看法的改变,以及“扩展现实原住民”的出现,新的研究问题将会出现。例如多用户之间的互动和协作、地理相关的扩展现实

应用和其他应用之间对注意力的竞争等。扩展现实技术是否会改变用户对物理世界的认知,以及用户将如何看待物理世界和虚拟世界,还有待研究。

4 总结与展望

近年来,扩展现实技术迅速为大众熟知。虽然现阶段成熟的扩展现实应用还比较少,但扩展现实及相关的认知问题已在过去几十年中持续吸引了国内外研究者的关注。

虚拟环境被广泛应用于代替真实环境进行地理空间认知研究,最新的虚拟现实设备可提供高沉浸感、交互性的体验,用户在其中的表现与真实环境中差别不大。增强现实技术对用户有较强的吸引力,有潜力平衡研究者长期关注的保留地理空间学习与认知的需求和商业应用的便捷性需求。在实际的研究中,多种生理测量和其他类型的传感器可与扩展现实设备结合,获取更客观、准确的用户行为和认知数据。在扩展现实技术和地理空间认知研究发展的过程中,也要思考提高用户的学习、认知效果和商用便捷性之间的平衡,保留用户的长期地理空间学习能力,具有前瞻性地关注扩展现实技术对用户的长期影响。

参 考 文 献

- [1] Qian Xiaolong, Zhu Xiaoting, Huang Beibei. Innovating Lifelong Learning in Metauniverse: Characteristics, Paradigm and Practice of Lifelong Learning Based on Augmented Reality Technology[J]. *Education Review*, 2022(4): 3-12 (钱小龙, 朱潇婷, 黄蓓蓓. 在元宇宙中革新终身学习:基于扩展现实技术的终身学习特征、范式与实践[J]. *教育评论*, 2022(4): 3-12)
- [2] Fan Liya, Yu Wenjiang, Wei Qian, et al. Review on the Hot Spots of Extended Reality (XR) in 2021 [J]. *Science & Technology Review*, 2022, 40(1): 184-195 (范丽亚, 于文江, 韦骞, 等. 2021年扩展现实(XR)热点回眸[J]. *科技导报*, 2022, 40(1): 184-195)
- [3] Moore P. Learning and Teaching in Virtual Worlds: Implications of Virtual Reality for Education [J]. *Australasian Journal of Educational Technology*, 1995, 11(2): 91-102
- [4] Hutson J. Social Virtual Reality: Neurodivergence and Inclusivity in the Metaverse [J]. *Societies*, 2022, 12(4): 102

- [5] Hedrick E, Harper M, Oliver E, et al. Teaching & Learning in Virtual Reality: Metaverse Classroom Exploration[C]// Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC), Orem, USA, 2022
- [6] Dincelli E. Immersive Virtual Reality in the Age of the Metaverse: A Hybrid-Narrative Review Based on the Technology Affordance Perspective[J]. *The Journal of Strategic Information Systems*, 2022, 31(2): 101717
- [7] Liu B, Ding L F, Meng L Q. Spatial Learning with Extended Reality—A Review of User Studies[C]// The 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN), Eureka, USA, 2021
- [8] Liu B. Spatial Learning with Mixed Reality-Based Navigation [D]. Munich: Technical University of Munich, 2022
- [9] SysBunny. The Birth and Juvenility of Augmented Reality[EB/OL]. [2022-06-05]. <https://www.sysbunny.com/blog/the-birth-and-juvenility-of-augmented-reality/>
- [10] Delgado F J, Abernathy M F, White J, et al. Real-Time 3D Flight Guidance with Terrain for the X-38 [C]// Enhanced and Synthetic Vision, Orlando, FL, USA, 1999
- [11] Shneiderman B, Plaisant C. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction[M]. Boston: Pearson/Addison Wesley, 2005
- [12] Liu B, Ding L F, Meng L Q. Spatial Knowledge Acquisition with Virtual Semantic Landmarks in Mixed Reality-Based Indoor Navigation[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2021, 48(4): 305-319
- [13] Gao Jun, Cao Xuefeng. The New Development Direction of Cartography Promoted by Spatial Cognition[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2021, 50(6): 711-725 (高俊, 曹雪峰. 空间认知推动地图学学科发展的新方向[J]. *测绘学报*, 2021, 50(6): 711-725)
- [14] Milgram P, Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays[J]. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 1994, 77(12): 1321 - 1329
- [15] Çoltekin A, Lochhead I, Madden M, et al. Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9(7): 439
- [16] Carbonell-Carrera C, Saorin J L. Geospatial Google Street View with Virtual Reality: A Motivational Approach for Spatial Training Education[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(9): 261
- [17] Huang Lina, Yao Xiangyu, Tian Heng, et al. Correlation Analysis Between Spatial Cognitive Abilities and Wayfinding Performance in 3D Environments [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(5): 673-682 (黄丽娜, 姚翔宇, 田姮, 等. 空间认知能力与三维寻路绩效的相关性分析[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2022, 47(5): 673-682)
- [18] Ma Mingming, Gong Jianhua, Li Wenhong, et al. Layout Optimization of the Directional Emergency Evacuation Signs Based on Virtual Reality Eye-Tracking Experiment [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1386-1394 (马明明, 龚建华, 李文航, 等. 基于虚拟眼动实验的指向型应急疏散标识布局优化方法 [J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2020, 45(9): 1386-1394)
- [19] König S U, Clay V, Nolte D, et al. Learning of Spatial Properties of a Large-Scale Virtual City with an Interactive Map [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019, 13: 240
- [20] Credé S, et al. The Advantage of Globally Visible Landmarks for Spatial Learning [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2020, 67: 101369
- [21] Srivastava P, Rimzhim A, Vijay P, et al. Desktop VR is Better than Non-ambulatory HMD VR for Spatial Learning [J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2019, 6: 50
- [22] Dong W H, Qin T, Yang T Y, et al. Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge Acquisition: Are They the Same in Virtual Reality and in Real-World Environments? [J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2022, 112(1): 226-246
- [23] Ariel R, Moffat S D. Age-Related Similarities and Differences in Monitoring Spatial Cognition [J]. *Neuropsychology, Development, and Cognition Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 2018, 25(3): 351-377
- [24] Liang H N. Evaluating the Effects of Collaboration and Competition in Navigation Tasks and Spatial Knowledge Acquisition Within Virtual Reality Environments [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019, 95: 855-866
- [25] Farran E K, Formby S, Daniyal F, et al. Route-Learning Strategies in Typical and Atypical Development; Eye Tracking Reveals Atypical Landmark Selection in Williams Syndrome [J]. *Journal of Intellectual Disability Research: JIDR*, 2016, 60(10):

- 933-944
- [26] Nossa R, Gagliardi C, Panzeri D, et al. Could an Immersive Virtual Reality Training Improve Navigation Skills in Children with Cerebral Palsy? a Pilot Controlled Study[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2022, 11(20): 6146
- [27] Cushman L A, Stein K, Duffy C J. Detecting Navigational Deficits in Cognitive Aging and Alzheimer Disease Using Virtual Reality [J]. *Neurology*, 2008, 71(12): 888-895
- [28] Yu C P. Phiar Technologies Home [EB/OL]. [2012-11-02]. <https://www.phiar.net/>
- [29] Viewar. INDOAR[EB/OL]. [2013-09-02]. <https://www.viewar.com/products/indoar/>
- [30] Keil J, Korte A, Ratmer A, et al. Augmented Reality (AR) and Spatial Cognition: Effects of Holographic Grids on Distance Estimation and Location Memory in a 3D Indoor Scenario[J]. *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 2020, 88(2): 165-172
- [31] Liu B, Ding L F, Wang S K, et al. Misleading Effect and Spatial Learning in Head-Mounted Mixed Reality-Based Navigation [J]. *Geo - Spatial Information Science*, 2021, DOI: 10.1080/15230406.2021.1908171
- [32] Huang H S, Schmidt M, Gartner G. Spatial Knowledge Acquisition with Mobile Maps, Augmented Reality and Voice in the Context of GPS-based Pedestrian Navigation: Results from a Field Test[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2012, 39(2): 107-116
- [33] Faria N D O, Gabbard J L, Smith M. Place in the World or Place on the Screen? Investigating the Effects of Augmented Reality Head-up Display User Interfaces on Drivers' Spatial Knowledge Acquisition and Glance Behavior[C]// IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Atlanta, USA, 2020
- [34] Gramann K, Hoepner P, Karrer-Gauss K. Modified Navigation Instructions for Spatial Navigation Assistance Systems Lead to Incidental Spatial Learning[J]. *Frontiers in Psychology*, 2017, 8: 193
- [35] Hillwalking Warning over Smartphones After Cairngorms Rescue[EB/OL]. [2022-12-02]. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-north-east-orkney-shetland-19252949>
- [36] McCullough D, Collins R. "Are We Losing our Way?" Navigational Aids, Socio-Sensory Way-Finding and the Spatial Awareness of Young Adults [J]. *Area*, 2019, 51(3): 479-488
- [37] Wenzel F, Hepperle L, von Stülpnagel R. Gaze Behavior During Incidental and Intentional Navigation in an Outdoor Environment[J]. *Spatial Cognition & Computation*, 2017, 17(1): 121-142
- [38] Wunderlich A, Grieger S, Gramann K. Landmark Information Included in Turn-by-Turn Instructions Induce Incidental Acquisition of Lasting Route Knowledge[J]. *Spatial Cognition & Computation*, 2022: 1-26
- [39] Dehaene S. How We Learn: Why Brains Learn Better than any Machine for Now[M]//New York: Viking, 2020
- [40] Brodbeck D R. Spatial Learning [M]//Boston: Springer US, 2012
- [41] Mulloni A, Seichter H, Schmalstieg D. Handheld Augmented Reality Indoor Navigation with Activity-Based Instructions [C]// The 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, Stockholm, Sweden, 2011
- [42] Kapp S, Barz M, Mukhametov S, et al. ARETT: Augmented Reality Eye Tracking Toolkit for Head Mounted Displays [J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2021, 21(6): 2234
- [43] Tauscher J P, Schottky F W, Grogorick S, et al. Immersive EEG: Evaluating Electroencephalography in Virtual Reality [C]// IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Osaka, Japan, 2019
- [44] Seraglia B, Gamberini L, Priftis K, et al. An Exploratory fNIRS Study with Immersive Virtual Reality: A New Method for Technical Implementation [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2011, 5: 176
- [45] Emteq Labs. EmteqPRO[EB/OL]. [2019-11-09]. <https://www.emteqlabs.com/emteqpro>
- [46] Gebhardt P, Yu X Y, Köhn A, et al. MolecuSense: Using Force-Feedback Gloves for Creating and Interacting with Ball-and-Stick Molecules in VR [C]//The 15th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction, Chur, Switzerland, 2022
- [47] Sloat L H. Effects of Adding a Virtual Reality Environment to Different Modes of Treadmill Walking[J]. *Gait & Posture*, 2014, 39(3): 939-945
- [48] Ishikawa T. Spatial Knowledge Acquisition from Direct Experience in the Environment: Individual Differences in the Development of Metric Knowledge and the Integration of Separately Learned Places [J]. *Cognitive Psychology*, 2006, 52(2): 93-129

- [49] Lapeyre B, Hourlier S, Servantie X, et al. Using the Landmark-Route-Survey Framework to Evaluate Spatial Knowledge Obtained from Synthetic Vision Systems[J]. *Human Factors*, 2011, 53(6): 647-661
- [50] Hedge C, Weaver R, Schnall S. Spatial Learning and Wayfinding in an Immersive Environment: The Digital Full-dome [J]. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 2017, 20(5): 327-333
- [51] van Wermeskerken M, Fijan N, Eielts C, et al. Observation of Depictive Versus Tracing Gestures Selectively Aids Verbal Versus Visual-Spatial Learning in Primary School Children [J]. *Applied Cognitive Psychology*, 2016, 30(5): 806-814
- [52] Files B T, Oiknine A H, Thomas J, et al. Same Task, Different Place: Developing Novel Simulation Environments with Equivalent Task Difficulties [M]//Cham: Springer International Publishing, 2019
- [53] Min Y H, Ha M. Contribution of Colour-Zoning Differentiation to Multidimensional Spatial Knowledge Acquisition in Symmetrical Hospital Wards [J]. *Indoor and Built Environment*, 2021, 30(6): 787 - 800
- [54] Stites M C, Matzen L E, Gastelum Z N. Where are We Going and Where have We Been? Examining the Effects of Maps on Spatial Learning in an Indoor Guided Navigation Task [J]. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2020, 5(1): 13
- [55] Ruginski I T, Stefanucci J K, Creem-Regehr S H. State Anxiety Influences Sex Differences in Spatial Learning [M]//Cham: Springer International Publishing, 2018
- [56] Wang Q, Taylor H A, Brunyé T T. Action Compatibility in Spatial Knowledge Developed Through Virtual Navigation [J]. *Psychological Research*, 2020, 84(1): 177-191
- [57] Liu B, Dong W H, Zhan Z C, et al. Differences in the Gaze Behaviours of Pedestrians Navigating Between Regular and Irregular Road Patterns [J]. *ISPRS International Journal of Geo - Information*, 2020, 9(1): 45
- [58] Ying Shen, Hou Siyuan, Su Junru, et al. Characteristics of the Game Map [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1334-1343 (应申, 侯思远, 苏俊如, 等. 论游戏地图的特点 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(9): 1334-1343)

Research Progress and Prospect of Extended Reality and Geospatial Cognition

LIU Bing¹ MENG Liqiu¹

¹ Chair of Cartography and Visual Analytics, Technical University of Munich, Munich 80333, Germany

Abstract: Extended reality (XR), which covers augmented reality (AR), virtual reality (VR) and mixed reality (MR), serves geospatial applications well. Human's perception and cognition with XR has been a topic of continuous research and development for decades. With the emergence of "metaverse", this topic has attracted more and more researchers. This paper gives an overview of current progresses of XR and geospatial learning with an emphasis of its necessity. More specifically, we summarize the state of the art and trends of using VR and AR in geospatial cognition studies, the common research methods, devices, and tasks, with the aim to provide researchers with practical references. We also present a number of challenges and encourage cartography to participate in the XR development.

Key words: extended reality; virtual reality; augmented reality; geospatial learning; cartography

First author: LIU Bing, PhD, majors in extended reality and geospatial cognition. E-mail: bing.l@tum.de

Corresponding author: MENG Liqiu, PhD, professor. E-mail: liqiu.meng@tum.de

Foundation support: China Scholarship Council (201806040219).

引文格式: LIU Bing, MENG Liqiu. Research Progress and Prospect of Extended Reality and Geospatial Cognition [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2047-2053. DOI: 10.13203/j.whugis.20220759 (刘兵, 孟立秋. 扩展现实与地理空间认知研究进展与展望 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, 47(12): 2047-2053. DOI: 10.13203/j.whugis.20220759)