面向无障碍虚拟现实应用的模块化三维界面设计

本预印本尚未经过同行评审，也未进行任何投稿后的修订。本贡献的正式出版版本将由施普林格·自然计算机科学丛书出版，收录于2023年国际人机交互大会卷。https://doi.org/10.1007/978-3-031-35634-6_2

Corrie Green[1]
罗伯特戈登大学
c.green1@rgu.ac.uk

约翰博士，艾萨克斯
院长，罗伯特戈登大学
j.p.isaacs@rgu.ac.uk

2023年26th月1月

摘要

本文采用以无障碍设计为先的设计方法，阐述了如何利用人类在三维空间中的本体感觉能力，在虚拟环境中使用三维图形用户界面时实现更加自然的交互体验。所设计界面的模块化特性使用户能够自主决定将界面元素放置在三维空间中的位置，从而在玩家和虚拟空间两个层面上实现高度可定制的体验。借鉴当今实体交互界面的设计理念（例如飞机驾驶舱中的界面），本文提出了一种模块化界面，充分利用人类对三维物体交互方式的自然认知，并发挥二维交互中尚未得到利用的能力。此外，所设计的界面支持多模态输入机制，这也展示了该设计拓展至增强现实应用领域的潜力。为进一步了解所设计的三维图形用户界面的可用性及其局限性，本文开展了一项焦点小组研究。

关键词 虚拟现实 · 交互 · 无障碍性 · 三维图形用户界面

1 扩展摘要

图形用户界面（GUI）的发展已达到普及程度，使得许多用户能够使用计算机或移动设备，并理解如何在二维界面中与窗口、图标、菜单和指针进行交互。

然而，随着虚拟现实的普及，这些设计决策大多被直接照搬到 360 度、6 自由度的体验中，导致在虚拟现实中沿用与二维显示器相同的二维窗口、图标、菜单和指针。设计师通常会选择以激光形式发射射线的虚拟现实交互机制，从而像在桌面环境中使用光标一样与界面元素交互，进而缩短新界面的开发时间。

如果依赖传统的界面设计决策，我们未必能够充分利用现实世界中常见的完整 360 度六自由度环境。虽然额外的交互维度已成为可能，但在许多虚拟现实场景中，设计师仍默认采用或设想在虚拟现实体验中使用二维 WIMP 交互技术。

[1] https://orcid.org/0000-0003-0404-3668.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-35634-6_2

空间。现有的虚拟现实交互技术催生了新颖且多样化的设计方案，这些方案主要在 VR 游戏市场中得到了探索[1]。

三维界面可以利用我们的本体感觉，让我们以三维物体的形式，在静态界面的周围活动。本体感觉也称为动觉，指的是感知自身身体在空间中位置的能力，也被称为我们的“第六感”[2]。它能让用户了解身体各部位相对于周围环境的位置，以及自己可能如何与环境互动。进一步将人体充分融入其中，可以借助我们对现实世界的自然认知，增进我们对所呈现的三维数字环境的理解[3]。

由于虚拟现实（VR）有潜力比传统界面提供更强的临场感，因此，要实现更加灵活、以人为本的设计理念，还需要进一步推动界面设计的发展。一项示例研究模拟了风的效果，微风增强了用户的临场感 [4]。这表明，一些非常规的方法也能够增强临场感，而采用模块化交互界面则可以进一步减少用户受到的限制，从而带来更加自然的交互方式。受到当今实体交互界面的启发，例如飞机驾驶舱中的实体交互界面，我们开发了一种模块化三维图形用户界面，充分利用人类的本体感觉能力，而这些能力在以往的界面交互中尚未得到充分发挥。该系统兼容现有的基于射线的交互方法，从而降低了具有无障碍性方面限制的用户采用该系统的难度。该系统允许将二维 WIMP 界面设计中的许多标准实践迁移到一种全新的媒介中，即通过窗口或表单形式呈现的三维面板。与此同时，系统采用了基于手势的交互方法，使用户无需控制器即可追踪双手，并利用双手进行选择和导航。该系统采用模块化设计，允许用户在三维空间中自由移动所有 UI 组件的位置，以满足个人偏好。此外，系统还探索了基于上下文的 UI 设计，使 UI 元素仅在与当前执行的任务相关时才会出现。

在探索三维图形用户界面所带来的机遇之前，一个重要的考量是应通过何种方式展示界面本身。可用性讨论在焦点小组中进行，参与者得以与同伴分享使用所开发界面的体验，并深入交流交互中令人满意和沮丧的方面。建立一种熟悉的隐喻十分重要，因为招募参与者时重点考察了他们以往使用虚拟现实应用程序的经验，并选取了从新手到中级水平的用户参与研究。之所以选择这一人群，是因为本研究旨在了解所设计界面的可用性，并指出三维模块化图形用户界面存在的问题和使用困难。

因此，建立了一个概念模型，以理解一种新型交互媒介所涉及的问题空间。为了在适用于三维图形用户界面的应用程序中呈现该界面，我们开发了一个用于地理空间位置的新型三维可视化平台。该平台支持可视化多种形式的三维空间数据，包括点云扫描、视频播放，以及以电动汽车（EV）充电桩的纬度和经度位置表示的地理空间数据。用户可根据充电类型和可用情况查询电动汽车充电桩的位置。这样便能选择部分充电桩进行扫描，并将其与真实世界中的位置关联起来，再通过 Microsoft Azure Kinect 获取的点云扫描结果进行可视化。地图被选为主要的可视化工具，既是为了致敬地图作为“环境的图形化呈现”[5] 这一理念，也主要是因为地图对许多人而言都是一种熟悉的可视化媒介。



图1：所开发界面的屏幕截图，该界面可用于呈现地理空间位置。

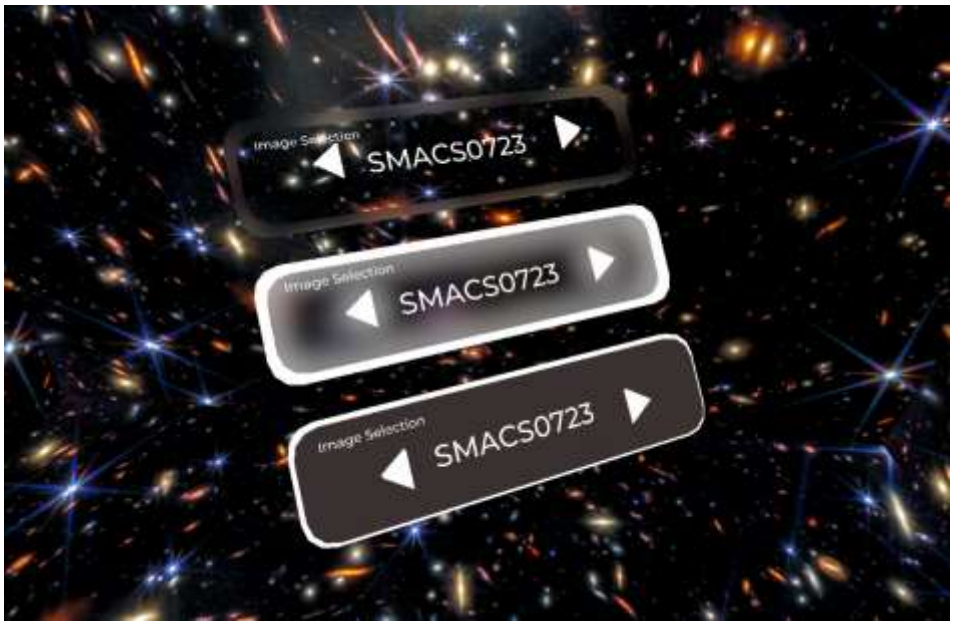


图2：面板上按钮输入的演示。白色元素可以抓取。按钮支持基于物理弹簧的交互，因此会产生运动响应。截图展示了复杂背景对象下的不透明度效果。

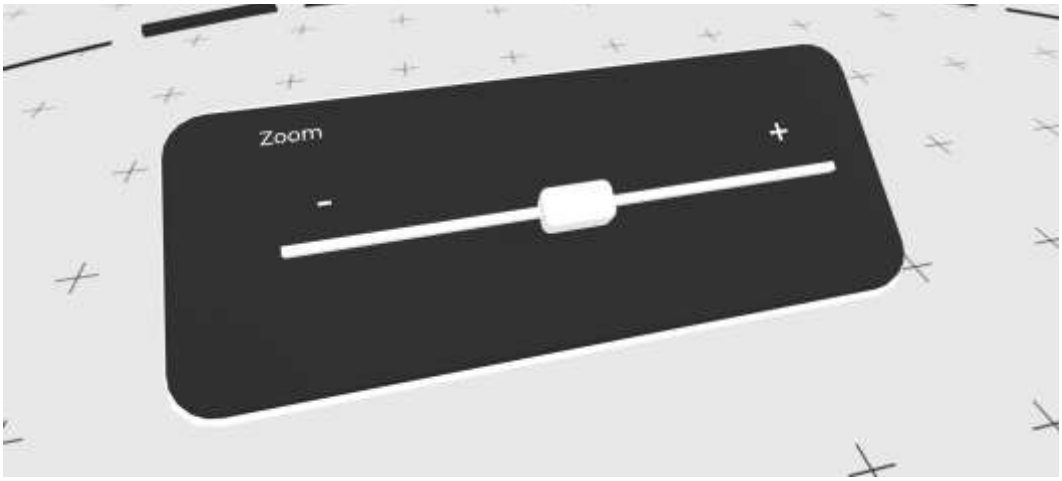


图3：支持物理弹簧关节运动的三维滑块，其锚点始终位于中心，用户向左或向右滑动即可连续增大或减小缩放比例。

最新版本的演示程序和代码仓库可在此处找到 ____

参考文献

[1] A. Steed、T. M. Takala、D. Archer、W. Lages 和 R. W. Lindeman，《来自消费级虚拟现实游戏的三维用户界面研究方向》，*IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*，第27卷，第11期，第4171–4182页，2021年6月，doi: 10.48550/arxiv.2106.12633。

[2] A. V. Zakharov 等，《沉浸式虚拟现实中的本体感觉》，本体感觉，2021年3月，doi: 10.5772/INTECHOPEN.96316。[3] W. Stuerzlinger 和 C. A. Wingrave，《三维用户界面中约束的价值》，虚拟现实：*2008*年达格施图尔研讨会，第203–223页，2011年，doi: 10.1007/978-3-211-99178-7_11/COVER。[4] S. Noël、S. Dumoulin、T. Whalen、M. Ward、J. A. Stewart 和 E. Lee，《微风增强虚拟环境中的临场感》，*2004*年第三届*IEEE*触觉、音频与视觉环境及其应用国际研讨会论文集（*HAVE 2004*），第63–68页，2004年，doi: 10.1109/HAVE.2004.1391883。[5] A. H. Robinson，《地图的本质》，第1版。芝加哥：芝加哥大学出版社，1976年。