国际人工现实与远程存在会议 欧洲计算机图形学协会虚拟环境
研讨会（2022） J.-M. Normand、A. Simeone 和 H.
Uchiyama（编者）

使用深度数据生成的房间缩微模型进行 AR 物体布局的方法

K. Ihara[1] 和 I. Kawaguchi[1]

[1]筑波大学，日本

arXiv:2601.03588v1 [cs.HC] 7 Jan 2026

摘要

在增强现实（*AR*）中，用户可以在真实世界的房间内任意放置虚拟物体，这称为增强现实布局。尽管已有多种 *AR* 物体操控技术，但由于难以自由改变虚拟物体的位置和尺寸，这些技术难以用于 *AR* 布局。本研究将微缩世界（*WIM*）技术引入 *AR*，以支持 *AR* 布局。*WIM* 技术是一种使用微缩模型进行操控的技术，最初作为虚拟现实（*VR*）操控技术提出。我们的系统利用增强现实设备的深度传感器实时获取房间网格，从而实时创建并更新房间的微缩模型。在我们的系统中，用户可以使用微型对象将虚拟物体移动到任意位置，并将其缩放至任意尺寸。此外，由于用户可以操控微型对象，而非真实尺寸物体，我们推测该系统能够缩短放置时间并减轻用户的工作负荷。在此前的研究中，我们制作了一个原型，并考察了在 *AR* 中操控微缩物体的特性。本研究开展了一项实验，以评估我们的系统对 *AR* 布局的支持效果。为了执行贴近实际使用情境的任务，我们使用了各种物体，并让参与者自行设计 *AR* 布局。结果表明，我们的系统显著降低了身体负荷和时间负荷。不过，总操控时间没有显著差异。

CCS 概念

•以人为中心的计算 → 混合现实 / 增强现实；用户界面管理系统；

1. 引言

目前，HoloLens 2、MagicLeap、NrealLight 等增强现实（AR）设备已投入使用，并且日益普及。在增强现实中，用户可以将虚拟对象放置在现实世界房间中的任意位置（以下简称“增强现实布局”）。增强现实布局的应用情境包括用户在桌面上排列窗口，或将便笺贴在冰箱上。然而，使用现有用户界面进行增强现实布局既耗时，又给用户带来负担。因此，已有多项研究致力于缩短操作时间，减轻用户在房间中放置虚拟对象时的工作负荷。

已有多种用于在增强现实中操控虚拟对象的技术，例如基于特征点的技术 [LAKB18，NOBW16]，以及采用房间变形的方法 [CHS18]。基于特征点的技术存在一个缺点：虚拟对象无法放置在没有特征点的区域，例如某个虚拟对象旁边或后方。采用房间变形的技术则难以在准确理解原始布局的基础上进行操作。

因此，本研究聚焦于微缩世界（WIM）技术 [SCP95]，一种用于虚拟现实（VR）的虚拟对象放置技术。WIM 技术是一种用户界面技术，它使用虚拟环境的微缩模型作为地图和交互空间。该技术允许用户通过操控微缩物体来操控虚拟物体，并可帮助用户操作虚拟物体。此外，由于 WIM 技术可以使用两种视角，即第一人称视角或鸟瞰视角，因此有助于识别虚拟对象的位置。凭借这些特性，WIM 技术已用于导航 [MSS12]，物联网操 [SKKL16]，居住或工作空间设计 [SIC*18，BKP08]，以及增强现实中的真实对象标注 [BHF02]。然而，该技术尚未用于增强现实布局。本研究通过在增强现实设备上安装深度传感器，创建房间的微缩模型，并将 WIM 技术应用于增强现实。

在我们之前的研究中 [IK22]，我们制作了一个原型，并开展了初步实验，以获取该系统的设计指南。在初步实验中，我们评估的不是微缩房间，而是与手射线操作相比，增强现实中微缩物体的可操控性。结果揭示了操控微缩物体的特征。使用微缩物体有助于检查虚拟对象的放置和移动操作。然而，在缩放操作方面没有显著差异。

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 Eurographics协会。本文为开放获取文章，依据知识共享署名许可协议发布。该协议允许在任何媒介中使用、分发和复制本文，前提是正确引用原始作品。

在本研究中，我们改进了系统，以解决之前研究中发现的操控问题。此外，我们通过改善微缩对象的外观，进一步完善了系统。

此后，为了研究我们系统在增强现实布局中的实用性，我们在模拟实际使用情况的环境中进行了实验。在本实验中，与之前的可操控性研究相反，参与者根据模拟实际使用情况的场景，自由排列多个虚拟物体。结果表明，我们的系统显著降低了身体负荷和时间负荷。不过，操控总时间没有显著差异。

2. 相关工作

本节首先介绍包括 WIM 技术在内的经典虚拟物体放置技术。随后，介绍使用深度传感器捕捉房间的相关研究，因为我们使用深度传感器来创建房间的微缩模型。最后，介绍增强现实中的虚拟物体放置技术，并说明这些技术面临的挑战以及我们工作的目的。

2.1. 经典虚拟物体放置技术

虚拟现实中最常见的虚拟物体放置技术是射线投射技术 [BH97],该技术从手部发射虚拟光线，并利用光线与物体之间的碰撞来选择和移动虚拟物体。Pourpyrev 等人的 Go-Go 操控技术 [PBWI96] 采用实际手臂伸展与虚拟手臂之间的非线性映射。这样，用户就可以选择和操控实际手臂无法触及距离之外的物体。Pierce 等人的像平面技术 [PFC*97] 将虚拟物体映射到像平面上。用户通过选择像平面中的虚拟物体来选择虚拟物体。Stoakley 等人的 WIM 技术 [SCP95] 复制用户的虚拟房间，并将其缩小为该房间的微缩模型。通过操控这一微缩模型中的微缩物体，用户可以操控房间中的虚拟物体。

其中一些技术被用于增强现实中的物体操控。例如，射线投射技术被用作 HoloLens 中的默认操控方式2 [hol]。Go-Go 操控技术用于操控真实物体 [FM17,UAE*17]。像平面技术用于增强现实中的虚拟物体放置 [LAKB18]。另一方面，WIM 技术用于导航 [MSS12], 物联网操控 [SKKL16], 生活或工作空间设计 [SIC*18,BKP08], 以及在增强现实中标注真实对象 [BHF02], 尽管它尚未被用于增强现实中的虚拟物体放置。

因此，在我们的工作中，我们采用了 WIM 技术在增强现实中进行虚拟物体放置。

2.2. 使用房间的深度数据

为了在增强现实中使用 WIM 技术进行虚拟物体放置，不同于在虚拟现实中可以轻松复制虚拟环境，我们需要真实环境的三维数据来制作房间的微缩模型。目前已有大量研究使用深度传感器采集房间的三维数据，以支持增强现实交互。例如，在 Remixed Reality [LW18], 中，他们使用多个深度传感器实时采集房间信息，使环境像虚拟现实一样可变。在 SceneCtrl [YYRW17], 中，他们使用安装在增强现实设备上的深度传感器，从而能够编辑真实环境。在 RoomAlive [JSM*14]中，他们使用深度传感器和投影仪，将真实房间转变为可交互的增强现实空间。在本文中，我们使用安装在增强现实设备上的深度传感器来创建房间的微缩模型。

2.3. 增强现实中的虚拟物体放置技术

在增强现实中放置虚拟物体有两种技术：自动放置和手动放置。自动放置技术包括基于几何 [GSOK14] 的自动化方法，以及基于房间中所放置真实物体含义的自动化技术 [CYY*21]。自动放置技术并不总是能将物品放置在用户希望的位置。因此，有必要根据具体情况选择使用自动放置技术还是手动放置技术。

手动放置技术使用房间的特征点。在 Lee 等人的 [LAKB18] 技术中，用户使用像平面技术选择远处的物体；释放虚拟对象时，虚拟对象会在保留其视觉尺寸的同时附着到现实世界中的墙壁上。Nuernberger 等人的 [NOBW16] 技术获取真实物体的表面和边缘，并将其作为约束，协助用户放置物体。然而，由于没有特征点的位置无法进行放置，因此不能在任意位置进行放置，例如放置在某个虚拟对象旁边。在 Chae 等人的技术中 [CHS18], , 虚拟墙壁叠加在现实世界中的墙壁上，用户前后移动墙壁，从而使房间中的虚拟物体前后移动。这有助于用户感知深度方向，并协助虚拟物体的放置。这种技术难以用于缩放操作。因此，在必须进行缩放操作的增强现实布局中无法采用该技术。在我们的工作中，无论是否存在特征点，都可以在房间中的任意位置放置虚拟物体，并将其缩放到任意尺寸。

3. 本研究的贡献

在本研究中，我们通过使用深度传感器创建房间的微缩模型，构建了一个能够在增强现实中运用 WIM 技术的系统。与以往研究不同，我们的系统允许用户在房间内任意位置移动虚拟物体，无论该处是否存在特征点，并可自由调整虚拟物体的大小。因此，我们的系统可用于增强现实布局。此外，鉴于 WIM 技术的特点，我们认为该系统有助于缩短操作时间、降低工作负荷，从而支持增强现实布局。

在我们之前的研究中， [IK22], 我们创建了一个原型，并开展了初步实验，以探究微型物体操控的特性。初步实验表明，使用微缩物体有助于检查虚拟物体的放置和移动操作。然而，使用微缩物体不利于缩放操作。因此，本研究旨在改进该原型，使其支持缩放

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 欧洲计算机图形学协会。

操作。此外，这项初步实验存在以下局限。由于我们的目标仅是研究微缩物体的可操控性，因此实验中只使用了球体。然而，在实际的增强现实布局中，用户会放置各种虚拟物体，包括二维窗口、三维物体和三维图标。此外，为了仅考察可操控性，我们预先设定了实验中的目标位置和尺寸。但在实际使用中，用户会自行选择物体的放置位置和尺寸。基于以上原因，初步实验所采用的情境与实际使用情境并不相似。因此，本研究将开展一项更贴近增强现实布局实际使用场景的实验，使用各种物体，并让参与者自行设计布局。

本研究做出了以下贡献：

- 我们创建了一个系统，使 WIM 技术能够应用于增强现实。
- 为了研究该系统在增强现实布局中的实用性，我们在与系统实际使用时相似的实验条件下开展了实验。

4. 系统

4.1. 系统概述

我们系统中的 Miniature 由微缩房间和微缩物体组成。微缩房间是用户真实环境的缩影，其中包含墙壁、地板和真实物体。我们的系统使用根据深度数据生成的房间网格来创建微缩房间（图1）。微缩物体是虚拟物体的缩影。在我们的系统中，当用户在房间中显示虚拟对象时，我们会在微缩房间中显示相应的微型对象。我们的系统会使微型对象与房间中的虚拟对象同步移动。因此，用户可以通过查看微型对象来确认虚拟对象在房间中的位置。此外，用户可以通过改变微型对象的位置和大小，来改变房间中虚拟对象的位置和大小。

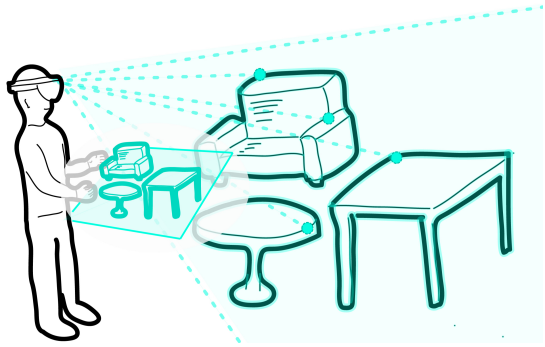


图 1：我们系统的概览。

4.2. 实现

我们使用混合现实工具包（版本 2.6.2，以下简称 MRTK）在 Unity（版本 2019.4.22f1）上开发了该系统，并将其部署于 HoloLens 2。我们的系统使用 MRTK 的空间感知系统，该系统根据深度数据生成房间网格，并实时更新。此外，我们的系统使用一个手部菜单，其中显示两个用户界面（图2）。其中一个用户界面显示一个按钮，用于在微缩物体操作和微缩房间操作之间切换操作模式。另一个用户界面显示用户可以放置的虚拟物体图像。按下图像后，相应的对象会出现在用户前方一米处。



图 2：手部菜单。

4.3. 生成微缩房间和物体

我们演示了微缩房间的生成过程。我们的系统将 MRTK 中名为“空间感知系统”的功能所提供的房间网格缩小，以创建微缩房间。该功能使用从增强现实设备上安装的深度传感器获取的深度数据来生成房间网格。此外，该功能在大多数增强现实应用中都得到广泛使用。因此，我们的系统在增强现实应用中带来的处理负载有限。此外，由于该功能可实时运行，微缩房间的网格也会实时更新。虽然系统提供的是线框网格，但我们的系统会添加表面，以帮助用户识别房间（图3）。

当用户将虚拟对象放入房间时，我们的系统会生成一个微型对象。当用户更改对象的位置和大小时，相应微型对象的位置和大小也会随之改变。

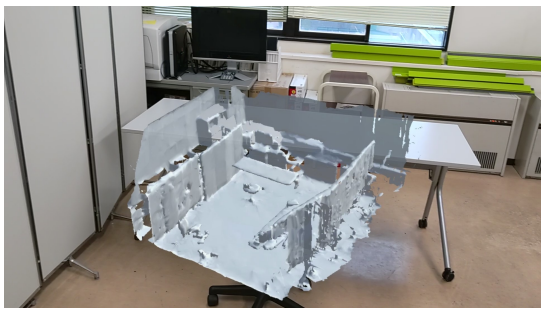


图 3：微缩房间的外观。

4.4. 操作微缩房间和物体

在我们的系统中，用户可以使用相同的操控流程来操控微缩房间和微缩物体。

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 欧洲计算机图形学协会。

微缩房间和微缩物体可以通过单手直接捏合并移动手部至目标位置来移动（图4）。此外，用户可以用双手直接捏合它们，并通过改变双手之间的距离来缩放它们（图5）。由于初步研究表明缩放操控较为困难，我们的系统使用一个包围框来框住微缩房间和微缩物体。

如果用户在微缩房间上设置了包围框时尝试操控微型对象，我们的系统会识别为用户正在操控微缩房间。因此，系统要求用户在微缩房间操作和微型物体操控之间切换。为了让用户能够切换操作模式，我们在手部菜单中显示一个虚拟按钮。用户切换到微缩房间操作模式时，微缩房间上会出现一个包围框。相反，用户切换到微缩物体操作模式时，微缩房间上的包围框会消失。

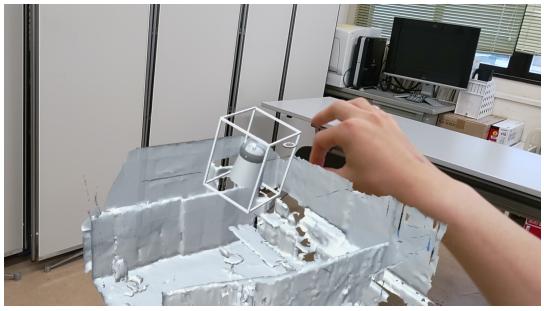


图 4： 移动微缩物体。



图 5： 缩放微缩房间（左：之前，右：之后）。

5. 评估

我们评估了系统支持增强现实布局的能力。在增强现实布局中，用户会在真实环境中放置各种虚拟物体，并根据自己的意愿决定虚拟物体的位置和大小。因此，为了开展一项贴近实际使用情况的任务，我们首先在任务中使用了各种虚拟物体，包括三维物体、二维窗口和三维图标。其次，我们没有指定虚拟物体的目标位置和大小，而是让参与者根据自己的意愿决定其位置和大小。

我们使用 Unity2019.4.22f1 和 MRTK2.6.2 为本实验开发了一个应用程序，并将其部署在 HoloLens 2 上。我们使用的房间宽、深、高分别为 3.2、4.8 和 2.5 米。

5.1. 条件

我们比较了以下两种条件。

手射线参与者仅使用手射线操控**微缩**参与者仅使用微缩操作

在手射线条件下，参与者使用从手部发出的射线选择虚拟对象。我们将其与微缩进行比较，因为这是一种通用的增强现实方法，也是 HoloLens 2 中的默认操控方法。在微缩条件下，我们要求参与者仅使用微缩操作。在微缩操作中，参与者可以改变微缩房间和微缩物体的大小与位置。图6 展示了各条件下的操控方式。



图6： 手射线（左）和微缩（右）中的操控方式。

5.2. 研究设计

我们采用了一项任务，要求参与者根据我们提供的场景摆放虚拟物体。此外，我们基于先前研究采用了两个场景 [CYY*21]。第一个是生产力场景，用户需要查阅与特定主题相关的论文。第二个是休闲场景，用户在与同伴聊天的同时收集新闻信息。每个场景均使用八个虚拟物体（图7）。生产力场景使用了网页浏览器、PDF阅读器、三维物体和图像窗口。休闲场景使用了新闻阅读器、三维图标和聊天窗口。在任务中，我们在房间里放置了两张桌子，并要求参与者根据每个场景将虚拟物体摆放在桌子周围。因此，每项任务中，参与者在每张桌子上摆放八个物体，共摆放了16个物体。

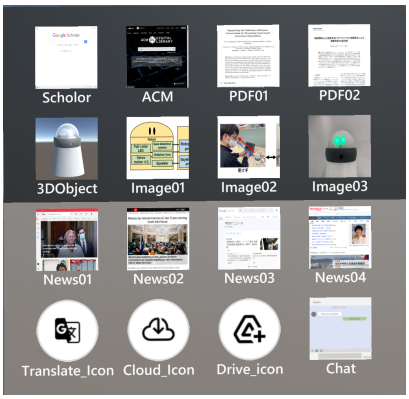


图7： 任务中使用的16个物体。上方8个用于生产力场景，下方8个用于休闲场景。

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 Eurographics协会。

5.3. 参与者

我们从本校招募了12名计算机科学专业的本科生/研究生（10名男性、2名女性：$M = 23.17$，$SD = 0.83$）。参与者通过李克特量表回答了关于自己对虚拟现实/增强现实熟悉程度的问卷，评分范围为1分（完全不熟悉）至5分（非常熟悉），平均得分为2.67（$SD = 1.37$）。

5.4. 实验流程

首先，参与者进行了训练环节，以熟悉用户界面操作以及手射线 操控和微缩房间 操控。在训练环节中，参与者从用户界面中选择一个球体，并练习移动和缩放操作，直到满意为止。其次，我们进行了任务。我们要求参与者放置虚拟物体，直到完成符合这两个场景要求的放置任务。

在我们的任务中，我们没有要求参与者采用特定的增强现实布局，而是让他们按照自己的意愿进行布局。我们认为，如果要求他们尽可能快速地完成布局，他们可能会草草了事。因此，我们要求他们持续操控虚拟物体，直到对布局满意为止。在一项任务中，我们采用了两个场景，参与者放置了 16 个物体。我们采用被试内设计，参与者在两种条件下使用相同的两个场景和相同的 16 个物体完成同一任务。我们认为，如果两项任务的桌面布置相同，参与者在第二项任务中就不会重新考虑布置。因此，每项任务都采用两种不同的桌面布置 A1 和 A2（图8）。为平衡顺序，3 名参与者按照 A1/手射线 和 A2/微缩房间的顺序完成任务；3 名参与者按照 A1/微缩房间 和 A2/手射线的顺序完成任务；3 名参与者按照 A2/手射线 和 A1/微缩房间的顺序完成任务；另有 3 名参与者按照 A2/微缩房间 和 A1/手射线的顺序完成任务。最后，任务结束后，我们进行了问卷调查。



图 8： 桌面布置，A1（左）和 A2（右）。

5.5. 测量

考虑到两种条件下的操作时间和工作负荷存在差异，我们获取了以下数据。

5.5.1. 客观测量指标

我们记录了从任务开始到完成放置 16 个对象所用的时间，并将其定义为操控总时间。此外，我们认为对象放置可分为三个部分：移动、缩放和放置确认。因此，我们记录了这三部分所用的时间。由于移动操作使用单手完成，我们测量了单手持握虚拟对象所用的时间，并将总时间作为移动操作时间。同样，由于缩放操作使用双手完成，我们测量了双手持握虚拟对象所用的时间，并将总时间作为缩放操作时间。此外，我们将剩余时间作为放置确认时间。

5.5.2. 主观测量指标

我们采用 NASA-TLX 工作负荷问卷 [HS88]来测量工作负荷，并采用系统可用性量表（SUS）[Bro95] 来测量该条件下的可用性。为测量参与者对增强现实布局的满意度，我们根据先前研究 [WNAD21]另外设计了一份问卷。新增题项为“将物体放置在所需位置很容易”（Q1）和“创建我想要的增强现实布局很容易”（Q2），并采用 7 点李克特量表（1：强烈不同意，7：强烈同意）。此外，我们还进行了开放式问卷调查。

6. 结果

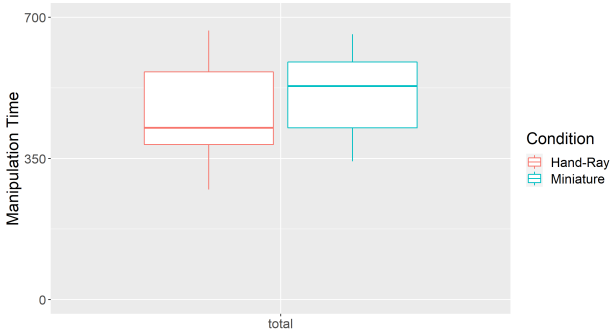
我们对实验所得结果进行了统计分析。在本实验中，可能有两个因素影响结果：条件（*HandRay* 和 *Miniature*）以及桌面布置（A1 和 A2）。尽管统计分析显示，A1 和 A2 两种桌面布置在操作时间、NASA-TLX 和系统可用性量表方面没有差异，但我们认为桌面布置不会影响操控。因此，我们仅考虑条件（手射线和 *Miniature*），进行了单因素分析。对于数据符合正态分布的情况，我们进行了 t 检验；对于数据不符合正态分布的情况，则进行了 Wilcoxon 符号秩检验。显著性水平设为 5%。在图中，当 $p <= 0.05$ 时标记 *，当 $p <= 0.01$ 时标记 **。

6.1. 操作时间

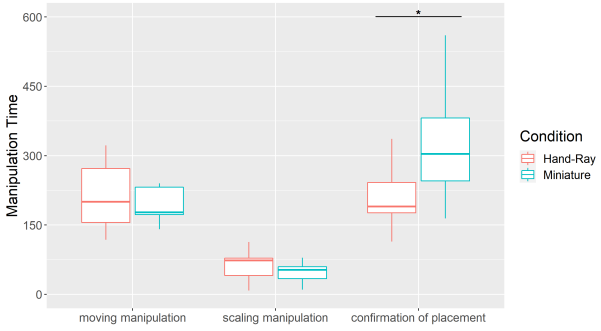
首先，我们分析了总操作时间的结果。结果见图9a。手射线的总操作时间平均值为 560 秒（手射线 （标准差 $= 347$），而标准差 $= 210$）的 *Miniature*为 593 秒。Wilcoxon符号检验显示，差异不显著（$V = 22$，$p = 0.204$）。

接下来，我们分析了各项操控的结果，包括移动操控、缩放操作和放置确认。结果如图9b所示。手射线的移动操作时间平均为225秒（SD $= 97.5$），Miniature为221秒（SD $= 86.8$）。Wilcoxon符号检验显示差异不显著（V $= 37$，p $= 0.910$）。手射线的缩放操作时间平均为60.8秒（SD $= 30.0$），Miniature为52.6秒（SD $= 28.3$）。配对t检验显示差异不显著（t(11) $= 1.05$，p $= 0.3142$）。手射线的放置确认时间平均为275秒（SD $= 244$），Miniature为320秒（SD $= 123$）。Wilcoxon符号检验显示差异显著（V $= 13$，p $= 0.0425 < 0.05$）。

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022欧洲计算机图形学协会。

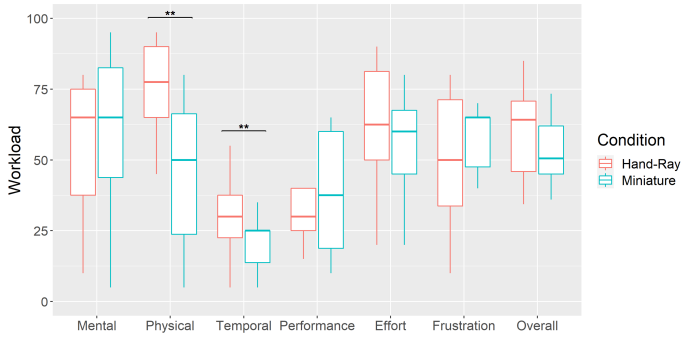


(a)总操作时间。

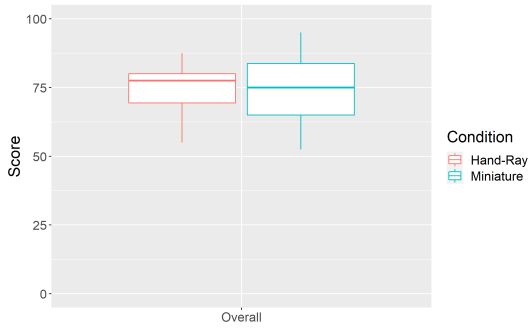


(b) 各项操作时间。

图 9：各条件下的操作时间。



(a)NASA-TLX 结果。



(b) 系统可用性量表结果。

图 10：各条件下的主观测量结果：(a) NASA-TLX，(b) 系统可用性量表。

6.2. 工作负荷

NASA-TLX工作负荷的结果如图10a所示。NASA-TLX中，分数越高表示工作负荷越高。首先，我们分析了根据各类别计算出的总分。总分平均为60.2（$SD = 16.8$），手射线为49.8（$SD = 18.2$），*Miniature*为。配对t检验显示差异不显著（$t(11) = 2.01$，$p = 0.0691$）。

接下来，我们分析了各个类别。心理需求方面，手射线的平均得分为 55.4（标准差 $= 25.3$），Miniature 的平均得分为 60.8（标准差 $= 28.4$）。Wilcoxon符号检验显示差异不显著（V $= 27.5$，p $= 0.386$）。身体负荷方面，手射线的平均得分为 75.8（标准差 $= 17.2$），Miniature 的平均得分为 45.5（标准差 $= 25.9$）。配对t检验显示差异显著（t(11) $= 3.50$，p $= 0.00513 < 0.01$）。时间负荷方面，手射线的平均得分为 30.4（标准差 $= 15.4$），Miniature 的平均得分为 22.1（标准差 $= 13.9$）。配对t检验显示差异显著（t(11) $= 3.25$，p $= 0.00771 < 0.01$）。绩效方面，手射线的平均得分为 37.9（标准差 $= 22.1$），Miniature 的平均得分为 37.1（标准差 $= 20.9$）。Wilcoxon符号检验显示差异不显著（V $= 29$，p $= 0.919$）。努力程度方面，手射线的平均得分为 62.1（标准差 $= 23.2$），Miniature 的平均得分为 53.4（标准差 $= 23.0$）。配对t检验显示差异不显著（t(11) $= 0.969$，p $= 0.354$）。挫折程度方面，手射线的平均得分为 50.4（标准差 $= 22.2$），手射线 和 52.9（标准差 $= 21.0$），对应的条件为 *Miniature*。Wilcoxon符号检验显示差异不显著（$V = 31$，$p = 0.89$）。

6.3. 可用性

总体系统可用性量表得分的结果如图所示。10b。在系统可用性量表中，得分越高表示可用性越高。系统可用性量表的平均得分为 73.3（标准差 $= 13.2$），对应手射线；对于标准差 $= 14.4$），*Miniature*的平均得分为 73.8（。Wilcoxon符号检验表明，差异不显著（$V = 31$，$p = 0.89$）。

6.4. 附加问卷

附加问卷的结果如图所示。11。对于“将物体放置在所需位置很容易”（Q1），标准差 $= 1.51$），手射线 的平均得分为 4.58（标准差 $= 1.56$），*Miniature*的平均得分为 5.08。配对t检验显示差异不显著（$t(11) = -0.920$，$p = 0.377$）。对于“创建我想要的增强现实布局很容易”（Q2），标准差 $= 1.22$），手射线 的平均得分为 4.75（标准差 $= 1.27$），*Miniature*的平均得分为 5.17。Wilcoxon符号检验显示差异不显著（$V = 15$，$p = 0.401$）。

© 2022 作者 欧洲计算机图形学协会会议论文集 © 2022 欧洲计算机图形学协会。



图 11： 各条件下的附加问卷结果 on.

7. 讨论

7.1. 身体负荷

NASA-TLX结果表明，与手射线操作相比，我们的系统对身体的要求较低。此外，开放式问卷中关于身体负荷的评论如下：“使用*Miniature*时，与手射线相比，我的手臂没有那么疲劳。我认为这是因为可以将迷你模型放在所需的位置，并在手臂不会感到疲劳的位置进行操控”（P3）。“使用*Miniature*时，我不必抬手，因此手臂没那么累”（P5）。“使用*Miniature*时，我可以轻松移动物体，因为不必大幅度地向前伸手”（P10）。由于用户可以改变迷你模型的位置，因此无需抬起手臂或向前伸展，就能操控物体。这可能是我们的系统能够降低身体负荷的因素之一。

此外，我们还收到了以下评论。“在 *Miniature* 中，我不需要大幅度移动双手，因此可以在不感到疲劳的情况下操控物体”（P6）。“在 *Miniature* 中，所有操控都可以通过手部的小幅移动完成，因此我的手臂没有感到疲劳”（P12）。我们的系统允许用户通过手部的小幅移动完成物体的移动和缩放操控。这可能是我们的系统能够降低身体负荷的另一个因素。

7.2. 时间压力

NASA-TLX 结果表明，与手射线操作相比，我们的系统带来的时间负荷较低。这说明我们的系统给参与者带来的时间压力较小。这一结果颇为有趣，因为我们系统中的放置确认时间明显长于手射线操作（图9b），总操作时间虽无显著差异，但也长于手射线操作（图9a）。在开放式问卷中，我们收到了以下反馈：“在 *Miniature* 中，由于能够鸟瞰整个房间，很容易理解虚拟物体的大小和位置”（P12）。“在 *Miniature* 中，由于能够鸟瞰整个项目，很容易把整体摆放得平衡”（P6）。“在 *Miniature* 中，我不必左右摇头来寻找放置位置”（P1）。这些反馈表明，在 *Miniature* 中，可能更容易掌握整体布局。因此，在 *Miniature* 中，参与者或许能够估计自己还需多久才能完成任务，而这可能会降低时间负荷，尽管总操作时间和放置确认时间都有所增加。

7.3. 放置确认

手射线 的放置确认时间比*Miniature*更短。此外，开放式问卷中，参与者对放置确认发表了以下意见：“即使我觉得这应该是微缩模型中的正确位置，但实际在真实环境中查看时，发现位置还是不太对”（P11）。“在*Miniature*中，把对象放到微缩模型里之后，我还得转向真实尺寸物体，检查它是否放在了正确的位置，然后再看微缩模型进行调整，接着再检查，如此反复”（P4）。“有时，微缩物体的朝向与我实际在真实环境中看到时预想的不同，要纠正它们出乎意料地费劲”（P5）。这些意见表明，在我们的系统中，用户必须交替在真实环境和微缩模型中查看虚拟物体。我们认为，这可能会增加放置确认时间。

7.4. 移动/缩放操作

与手射线操控相比，我们的系统在执行移动和缩放操作时所需的手部移动更少。不过，*Miniature* 和手射线 在这些操作的操作时间上没有差异。开放式问卷中，参与者对这些操作给出了以下反馈：“长距离移动物体时，*Miniature* 更容易，因为手部移动幅度较小。不过，精细移动物体时，使用手射线更容易”（P5）。“在*Miniature*中，很容易将物体移动到某个位置，但之后很难将它们整齐地排列好”（P4）。这些反馈表明，大幅度移动和缩放可能更适合使用*Miniature*，而精细移动和缩放可能更适合使用手射线。

8. 局限性与未来工作

8.1. 操作模式

在我们的系统中，用户通过手部菜单中的虚拟按钮，在微缩房间操控和微缩物体操作两种模式之间切换。此外，用户可以通过检查包围框是否附着在微缩房间上，来了解当前模式。针对这些操作，我们在开放式问卷中收到了以下反馈：“我觉得，如果能更轻松地切换微缩对象的操作模式，就能进一步增强操控感”（P4）。“有时我会搞不清自己当前处于哪种模式”（P7）。这些反馈表明，通过让操作模式更容易切换、当前模式更容易辨认，我们可以提升系统的可用性。例如，我们可以将切换按钮显示在微缩房间内部或附近，确保用户能够轻松切换模式。此外，我们可以根据当前模式改变微缩房间的颜色，确保用户能够轻松辨认当前模式。

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 欧洲计算机图形学协会。

8.2. 微缩模型难以看清的情况

我们在开放式问卷中收到了以下反馈："有时微缩房间被虚拟物体挡住，我看不到它"（P15）。"有时微缩房间与真实环境中的虚拟物体重叠，我搞不清发生了什么"（P7）。这些反馈表明，我们的系统存在一个问题：用户在微缩房间附近的真实环境中放置虚拟对象时，很难看清微缩房间。因此，在未来的工作中，我们将使微缩房间附近的虚拟物体呈半透明或透明，以解决这一问题。

8.3. 操控方式的组合

在这项实验中，我们没有考虑结合微缩房间和手部射线技术进行操控。不过，由于这两种操控方式互不干扰，因此可以组合使用。根据实验结果，我们可以了解如何将它们结合起来。在移动操控中，使用微缩房间进行大幅移动可能更合适，而使用手射线进行精细移动可能更合适。因此，先用微缩房间进行粗略移动，再用手射线进行详细移动，或许是恰当的。此外，由于我们的系统需要花费相当长的时间在观察微缩房间和真实环境之间切换，因此使用我们的系统进行放置确认所需的时间比手射线操作更长。不过，如果通过手射线操作来完成精细操控，就可以缩短这段时间。

以下是结合这两种操控方式的一个示例。

1. 从手部菜单中选择多个虚拟物体，并显示想要使用的物体。2. 通过操控微缩物体，对物体进行粗略操控。3. 使用手射线进行详细操控。4. 更换工作位置时，通过操控微缩物体，对物体进行粗略操控。5. 使用手射线进行详细操控。6. 重复此实验流程。

未来的工作中，我们将以这种方式创建一个结合手射线操作和微缩操作的系统，并开展评估实验。

8.4. 研究设计

在我们的评估任务中，我们要求参与者为两种场景创建增强现实布局。一种是生产力场景，参与者在其中创建用于查看文档的布局；另一种是休闲场景，参与者在其中创建用于与他人休闲的布局。任务到固定布局为止，实际使用布局（即进行文档查看、与他人休闲）不在本实验范围内。用户在固定的增强现实布局中的行为也是一个值得探讨的话题，因此，未来工作中评估这些场景下的实际使用情况或许很重要。

9. 结论

本研究介绍了一种旨在减轻用户使用增强现实布局时负担的系统。在我们的系统中，我们利用增强现实设备上搭载的深度传感器获取房间网格，并据此创建 Miniature，使 WIM 技术能够应用于增强现实。此外，我们将本系统与手射线操作进行比较，以比较操作时间和工作负荷。结果表明，本系统显著降低了身体负荷和时间负荷。开放式问卷的结果表明，Miniature 的位置和手部移动量可能会影响身体负荷。此外，能否轻松把握整体布局可能会影响时间负荷。然而，结果显示，操作时间没有显著差异。相反，本系统的放置确认时间显著长于手射线操作。一个可能的原因是，在放置过程中，用户需要交替查看真实环境和 Miniature 环境。本研究的局限之一是，我们没有考虑将 Miniature 与手部射线技术相结合的系统。因此，未来工作中，我们将考虑本研究揭示的系统优缺点，开发此类系统。

参考文献

[BH97] BOWMAN D. A., HODGES L. F.：对沉浸式虚拟环境中远程物体抓取与操控技术的评估，1997年。URL：https://doi.org/10.1145/253284.253301. 2[BHF02] BELL B., HÖLLERER T., FEINER S.：用于增强现实的情境感知辅助工具（含注释）。载于第15届年度ACM用户界面软件与技术研讨会论文集（美国纽约州纽约市，2002年），UIST '02，美国计算机协会，第213–216页。URL：https://doi.org/10.1145/571985.572017. 1, 2[BKP08] BILLINGHURST M., KATO H., POUPYREV I.：实体增强现实。ACM SIGGRAPH 亚洲会议2008年课程（2008年1月）。doi：10.1145/1508044.1508051. 1, 2[Bro95] BROOKE J.：系统可用性量表：一种快速简便的可用性量表。Usability Eval. Ind. 189（1995年11月）。5[CHS18] CHAE H. J., HWANG J.-I., SEO J.：基于墙面的空间操控技术：在增强现实中高效放置远距离物体。载于第31届年度ACM用户界面软件与技术研讨会论文集（美国纽约州纽约市，2018年），UIST '18，美国计算机协会，第45–52页。URL：https://doi.org/10.1145/3242587.3242631. 1, 2[CYY*21] CHENG Y., YAN Y., YI X., SHI Y., LINDLBAUER D.：Semanticadapt：利用虚拟与物理语义连接，以优化为基础适配混合现实布局。载于第34届年度ACM用户界面软件与技术研讨会（美国纽约州纽约市，2021年），UIST '21，美国计算机协会，第282–297页。URL：https://doi.org/10.1145/3472749.3474750. 2, 4[FM17] FEUCHTNER T., MÜLLER J.：扩展身体以实现与现实的交互。美国计算机协会，美国纽约州纽约市，2017年，第5145–5157页。URL：https://doi.org/10.1145/3025453.3025689. 2[GSOK14] GAL R., SHAPIRA L., OFEK E., KOHLI P.：Flare：用于增强现实应用的快速布局。载于2014年IEEE混合与增强现实国际研讨会（ISMAR）（2014年），第207–212页。doi：10.1109/ISMAR.2014.6948429. 2[hol] 使用双手进行指向并确认——混合现实 |microsoft

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022 Eurographics协会。

文档。
https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/point-and-commit.（访问日期：2022年11月2日）。2[HS88] HART S. G., STAVELAND L. E.：NASA-TLX（任务负荷指数）的开发：实证与理论研究结果。载于《人类心理工作负荷》，Hancock P. A., Meshkati N.（编），心理学进展第52卷。North-Holland，1988年，第139–183页。doi：https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9. 5[IK22] IHARA K., KAWAGUCHI I.：使用房间的三维微型模型在混合现实空间中放置虚拟对象。载于第6届2022年亚洲CHI研讨会论文集（美国纽约州纽约市，2022年），Asian HCI Symposium'22，美国计算机协会。URL：https://doi.org/10.1145/3516492.3558789. 1, 2[JSM*14] JONES B., SODHI R., MURDOCK M., MEHRA R., BENKO H., WILSON A., OFEK E., MACINTYRE B., RAGHUVANSHI N., SHAPIRA L.：RoomAlive：由可扩展、自适应投影仪-摄像机单元实现的奇妙体验。载于第27届年度ACM用户界面软件与技术研讨会论文集（美国纽约州纽约市，2014年），UIST '14，美国计算机协会，第637–644页。URL：https://doi-org.ezproxy.tulips.tsukuba.ac.jp/10.1145/2642918.2647383. 2[LAKB18] LEE J. H., AN S.-G., KIM Y., BAE S.-H.：投影式窗口：将空间中的窗口带到指尖。载于2018年CHI计算系统中的人为因素会议论文集（美国纽约州纽约市，2018年），美国计算机协会，第1–8页。URL：https://doi.org/10.1145/3173574.3173792. 1, 2[LW18] LINDLBAUER D., WILSON A. D.：Remixed Reality：在增强现实中操控时空。载于2018年CHI计算系统中的人为因素会议论文集（美国纽约州纽约市，2018年），CHI '18，美国计算机协会，第1–13页。URL：https://doi.org/10.1145/3173574.3173703. 2[MSS12] MULLONI A., SEICHTER H., SCHMALSTIEG D.：利用微型世界视图和稀疏定位在移动设备上进行混合现实室内导航。载于高级视觉界面国际工作会议论文集（美国纽约州纽约市，2012年），AVI '12，美国计算机协会，第212–215页。URL：https://doi.org/10.1145/2254556.2254595. 1, 2[NOBW16] NUERNBERGER B., OFEK E., BENKO H., WILSON A. D.：SnapToReality：使增强现实与现实世界对齐。载于2016年CHI计算系统中的人为因素会议论文集（美国纽约州纽约市，2016年），美国计算机协会，第1233–1244页。URL：https://doi.org/10.1145/2858036.2858250. 1, 2[PBWI96] POUPYREV I., BILLINGHURST M., WEGHORST S., ICHIKAWA T.：Go-Go交互技术：用于虚拟现实中直接操控的非线性映射。载于第9届年度ACM用户界面软件与技术研讨会论文集（美国纽约州纽约市，1996年），UIST '96，美国计算机协会，第79–80页。URL：https://doi.org/10.1145/237091.237102. 2[PFC*97] PIERCE J. S., FORSBERG A. S., CONWAY M. J., HONG S., ZELEZNIK R. C., MINE M. R.：三维沉浸式环境中的图像平面交互技术。载于1997年交互式三维图形研讨会论文集（美国纽约州纽约市，1997年），I3D '97，美国计算机协会，第39页起。URL：https://doi.org/10.1145/253284.253303. 2[SCP95] STOAKLEY R., CONWAY M. J., PAUSCH R.：微缩世界中的虚拟现实：微型交互世界。载于SIGCHI计算系统中的人为因素会议论文集（美国，1995年），CHI '95，ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.，第265–272页。URL：https://doi.org/10.1145/223904.223938. 1, 2[SIC*18] SUGIURA Y., IBAYASHI H., CHONG T., SAKAMOTO D., MIYATA N., TADA M., OKUMA T., KURATA T., SHINMURA T., MOCHIMARU M., IGARASHI T.：用于建筑尺度空间设计的非对称协作系统。载于第16届ACM SIGGRAPH虚拟现实连续体及其国际会议论文集
工业应用（美国纽约州纽约市，2018），VRCAI '18，美国计算机协会。网址：https://doi.org/10. 1145/3284398.3284416。1, 2[SKKL16] SEO D. W.、KIM H.、KIM J. S.、LEE J. Y.：基于混合现实的用户体验与情境感知智能家居评估。《工业计算机》76（2016），11–23。doi：https://doi.org/ 10.1016/j.compind.2015.11.003。1, 2[UAE*17] UEDA Y.、ASAI Y.、ENOMOTO R.、WANG K.、IWAI D.、SATO K.：通过空间增强现实实现身体赛博化，以触达不可触及的世界。载于第八届增强人类国际会议论文集（美国纽约州纽约市，2017），AH '17，美国计算机协会。网址：https://doi.org/10.1145/ 3041164.3041188。2[WNAD21] WANG Z.、NGUYEN C.、ASENTE P.、DORSEY J.：Distan-ciar：为远程环境创作特定场地增强现实体验。载于2021年CHI计算系统中的人为因素会议论文集（美国纽约州纽约市，2021），CHI '21，美国计算机协会。网址：https://doi.org/ 10.1145/3411764.3445552。5[YYRW17] YUE Y.-T.、YANG Y.-L.、REN G.、WANG W.：SceneCtrl：通过高效场景编辑增强混合现实。载于第30届ACM用户界面软件与技术年度研讨会论文集（美国纽约州纽约市，2017），UIST '17，美国计算机协会，第427–436页。网址：https://doi.org/10.1145/ 3126594.3126601。2

© 2022 作者 Eurographics会议论文集 © 2022欧洲计算机图形学协会。