理解在扩展现实中重建有意义的空间以支持远程教学和联结时需要捕捉的情境

Hanuma Teja Maddali

马里兰大学计算机科学系，美国，hmaddali@umd.edu

Amanda Lazar

马里兰大学信息研究学院，美国，lazar@umd.edu

近期的技术进步使人机交互研究人员能够探索利用高保真度的实体活动空间重建来实现远程扩展现实协作的交互可能性。然而，这些重建往往缺少用户参与，并明显侧重于捕捉感官情境，而这种情境未必能增强非正式社交体验。本研究旨在了解有助于重建空间、从而支持非正式指导场景中扩展现实应用的社会情境。我们让 8 个由关系密切的园艺爱好者组成的代际群体，使用其花园中对个人有意义的空间重建，评估了一个扩展现实远程指导原型。研究发现结合园艺相关的各种动机，为实体物体和区域赋予了情境，并详细阐述了人们对扩展现实的感知，这些感知可能影响重建内容在远程交互中的使用。我们探讨了用户参与方面的启示：如何创建能更好地传达现实世界体验、鼓励反思、纳入隐私考量，并以扩展现实为媒介保留共享体验的重建，从而支持非正式跨代活动。

CCS 概念 • 以人为中心的计算 ~ 人机交互（HCI） • 以人为中心的计算 ~协作与社会计算

其他关键词和短语：扩展现实、三维重建、跨代研究、情境捕捉、远程教学、业余活动、园艺、元宇宙

ACM 参考格式：
Hanuma Teja Maddali 和 Amanda Lazar。2023年。《理解在扩展现实中重建有意义的空间以支持远程教学和交流时需要捕捉的情境》。有条件地接收于 CHI '23：CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集，2023年4月23日至28日，德国汉堡。ACM，纽约州纽约，26页。https://doi.org/10.1145/3544548.3581243

1 引言

扩展现实（XR）技术作为增强远程协作的媒介，受到越来越多的研究关注和商业青睐。与传统二维媒介相比，扩展现实为用户提供了更有效的方式，使其能够远程进行空间指示和演示操作 [45]。这在专业场景下开展实体任务的协作与专家指导时尤其有帮助（例如外科培训 [20,57,95], 现场维修 [100]）。扩展现实设备日益普及，也推动了人机交互领域不断涌现相关研究，致力于构建系统并为与远程亲友在非正式场景中的互动设计交互方式。这些研究可能涉及游戏 [2], 学习[82], 以及其他通用型远程临场应用 [47,48]。在扩展现实中呈现用户、其周围的物理空间和物体，是为协作或

教学而进行交互设计的重要组成部分。近期，在为扩展现实设备创建高保真三维环境 [102,103] 和虚拟形象重建 [38,101]方面取得的进展，使远程协作者能够探索远程环境，并获取更丰富的空间和语义信息。

人机交互领域已探索多种方式，将真实环境和物体表示为扩展现实中的3D模型，以改善远程指导任务中的协作 [19,79,82]。这些系统通常会根据技术限制，以及设计师对指导过程中需要支持的、特定于活动的互动方式的理解，来呈现活动空间。例如，在三维重建过程中，系统设计师可能会根据活动需求，明确优先重建某些物体（例如，在外科手术中实现高保真手部姿势重建 [13]）。另一些研究则通常采用房间／桌面尺度远程扩展现实系统，默认重建整个房间／桌面的空间及其中的物体 [48]。研究者也关注如何让重建空间具备与实体对应物相当的感官可供性 [70,71]（例如，为虚拟表面提供触觉感受 [75]）。这对于需要精确感官输入的熟练实体任务（例如，在外科手术中切割材料）可能很有用。这种由设计师主导、通过捕捉活动和感官情境来创建活动空间虚拟表征的方法，或许最适合实践标准化的专业场景。然而，与朋友或家人一起进行的非正式活动可能发生在这样的场景中：扩展现实中的空间和物体虚拟呈现需要捕捉更具个性化且有意义的情境。通过“连接式”互动（例如分享虚拟复刻体）增强小组成员之间社会联结的虚拟物体可供性，可能是借助建立共同基础来促进远程非正式协作的重点 [6,15]。但我们尚不清楚设计师如何将真实物体的社会情境转化为其虚拟表征，也不清楚这种转化会如何影响用户体验。我们的工作旨在进一步探究和理解这种社会情境，即重建空间和物体需要捕捉哪些预期的社交可供性、行为和互动，才能具有意义，例如在与远方亲友联结时。我们以关系密切的小组（例如家人、朋友）中的从业者开展爱好指导为例，将其视为扩展现实的一种非正式场景，并围绕以下研究问题展开：

- **RQ1**：哪些重要的社交与感官情境会影响非正式扩展现实用户通过虚拟呈现的真实活动空间和物体所获得

  A. 对于用户在重建空间和物体中的学习体验，哪些情境很重要？**B.** 对于重建的有意义空间和物体中

- **研究问题2**：扩展现实的哪些设计考量有助于支持非正式跨代群体与虚拟呈现互动时的价值观和目标?

我们选择园艺作为一项示例爱好；在这项爱好中，为教学或建立联系而进行的社交互动往往具有代际、社区或家庭导向[39,93]，因此为与该活动相关的物理空间和物体提供了丰富的情境。尽管人们对是否在空间中引入技术看法各异，但过去已有研究指出，能够让从业者向他人学习的社会技术方法是一项富有成果的研究方向[26,39,41,46]。我们对八组共18名跨代参与者开展了一项研究，以评估用于园艺远程指导场景的扩展现实原型。我们的原型允许参与者查看并与他们从自家花园中挑选的、有意义的真实区域和物体的预制三维模型进行互动。这使我们能够确定哪些情境对于通过扩展现实增强教学或联结互动可能很重要。

本文作出四项贡献。首先，我们探讨了在扩展现实中，真实活动空间的3D模型是否能更好地支持远程教学中的有意义反思（**RQ1A**）。我们指出了通过不同方式捕捉情境进行反思的可能性，以及利用现实世界经验理解重建空间所面临的限制。其次，我们阐释了如何捕捉社会关系和情感情境（**RQ1B**）。我们探讨了虚拟重建在保存共同记忆和作为纪念品方面，相较于实体物品的价值。第三，

我们探讨了虚拟重建的创建和社交分享过程中可能涉及的空间隐私考量（**RQ1C**）。最后，我们讨论了关于创建和分享实体物体与空间的虚拟重建所得的研究发现，如何应用于其他代际活动，并为非正式或轻松场景中的扩展现实设计提供值得探索的方向（**研究问题2**）。

2 相关工作

2.1 用于扩展现实远程指导的实体空间与物体虚拟呈现（RQ1）

以往关于扩展现实远程指导的研究涵盖了多种虚拟环境表征，包括实时或预先录制的360度摄像媒体 [32,40,77]，实时或预先渲染的三维重建 [20,48,79,82]，，以及使用虚拟代理来表示环境中的物体[17,45] 。这些研究强调的设计考量通常与用户体验和不同虚拟表征所捕捉的情境（例如视觉特征、实体可操控性）之间的关系有关。

2.1.1 虚拟呈现真实环境时优先考虑情境

此前人机交互领域关于将用户的实体位置重建为虚拟环境的研究，主要侧重于理解重建所需的感官情境。这包括捕捉并匹配感官情境，例如让虚拟物体的实体可供性（如触觉感受）与虚拟现实用户所处环境中真实物体的实体可供性相匹配 [70,71]。这有助于用户佩戴头戴式设备时安全地在环境中移动，并远程体验具有交互性且感官逼真的虚拟物体与代理。例如，可以使用振动触觉致动器来模拟岩石凹凸不平的表面 [75]）。让虚拟重建或代理的可供性与其实体对应物相匹配，是一项重要的设计考量；它有助于用户在远程环境中获得心理临场感，并在探索混合现实环境时维持与周围实体环境的感官连贯性 [73] （例如，具有相似的触觉感受 [28]）。

研究人员还提出了抽象化的虚拟代理，通过捕捉一组可供性（例如手部可操控性 [45,58]）作为情境，以便用户完成预期任务。Radu等人 [58] 提供了一个虚拟创客空间虚拟代理的示例，它们可以捕捉诸如实体对应物的传感器数据、实体交互性的模型等情境，甚至探讨如何通过这些代理远程控制实体物体。过去已有大量相关研究，商业扩展现实领域也重新燃起了兴趣，致力于创建环境或系统的三维数字孪生，使其能够充当用于评估的仿真代理，甚至成为实体对应物（例如火箭、教室、剧院）的教育工具 [1,47,64,68]。运用扩展现实进行文化遗产保护的设计工作，重点关注虚拟重建物体（例如博物馆文物的三维扫描 [56]）和历史遗址的数字孪生 [9,62,63] 所具备的教学可供性，以及它们如何引导学习者思考其意义。对于研究人员乃至普通受众而言，这些技术可以让他们通过在同一个虚拟“场所”中观看并与来自世界各地的文物互动，构建历史叙事 [84]。

面向休闲用户的虚拟现实设备，在市场上的普及程度和性能不断提升。然而，当前文献仍缺少以用户为中心的情境理解；这种理解不能局限于感官特征，而是在非正式场景中创建有意义的重建所必需的。越来越多的研究提出，在非正式场景中通过扩展现实与真实环境的虚拟表征进行互动时，除了感官情境，也应理解社会情境 [40,85,90]。Maddali 等人建议探究扩展现实环境如何通过让有意义的实体物体可在虚拟环境中共享和互动（例如，进行排列或重塑

在一起），在兴趣学习场景中促成情感性的“联结”互动 [40]。根据他们的分析，我们认为，除了教学可供性（例如，培养观察技能）和实体可供性（例如，可供抓握）之外，还应理解扩展现实中虚拟物体所具有的、能够促成联结互动的各种社交可供性。我们的研究初步展示了在非正式学习场景中，真实空间的三维模型可能具有怎样的有意义的社会情境。我们还讨论了捕捉扩展现实中这种社会情境的方法。

2.1.2 设　在识别虚拟呈现的有意义情境时，设计者主导与以用户为中心

可在共处式交互中用作实体道具的真实物体的虚拟呈现，对远程教学和协作场景十分重要[48]。我们发现，过去运用扩展现实中的实体物体虚拟代理来探索远程交互工作流程的研究[45,48,51]，通常采用设计者主导的情境理解，通过这些虚拟代理捕捉情境。在房间尺度临场感中，通常默认重建房间内的所有物体[48]。一些研究会加入预先创建的 [17] 或实时生成的 [92] 物体虚拟代理，以呈现对教学至关重要的物体。代理的呈现也可根据其对教学的重要性进行优先级排序（例如，为远程手术指导提供更高的手部解析度 [13]）。然而，这些研究并未讨论或采用任何结构化的以用户为中心的方法，来识别需要在扩展现实中呈现的物体及其周围的感官和社会情境（例如，纳入隐私偏好）。我们的研究拓展了这一领域，指出当参与者参与其中、有意选取有意义的物体和空间时，重建空间会产生哪些可供性。虽然我们确实发现有研究探讨个人隐私[47,60]，但对于创建或分享重建物体或环境时的空间隐私以及用户的顾虑，却鲜有讨论。Wang 等人指出，在用户创建并分享三维重建时刻时，承认此类顾虑十分重要[85]。我们通过研究创建和分享环境虚拟重建时与情境相关的顾虑和感知，为扩展现实隐私研究文献增添了新的内容。我们还阐述了活动的性质可能如何影响重建模型中情境的捕捉方式。

2.2 用于有意义非正式场景的代际扩展现实（研究问题2）

人机交互研究人员常将远程代际系统的设计置于社会孤立日益加剧的趋势中，并将其归因于家庭分散化和核心家庭结构等因素 [61]。对于涉及老年用户的群体，研究重点一直是将某种形式的游戏与讲故事相结合的使用场景[25,36,59]。游戏化方法有一些益处，例如可以将轻度锻炼与社交互动相结合 [33,49,91]。然而，老年人可能会对原型和类似游戏的活动有所顾虑，认为这些活动像是儿童活动，或毫无成效 [42]。我们发现，一些人机交互研究人员在为代际体验或研究流程进行原型设计时，会避免与游戏产生关联，以此考虑到这一点 [8]。当使用扩展现实的目的是进行知识交流时，例如让老年用户与年轻用户交流传统文化知识，这种考量便会显现出来 [14]。在代际故事讲述和怀旧应用中，将老年人定位为家族史的守护者、将年轻人定位为记忆触发物 [36] [7,12,36]，在以往研究中获得了用户的积极反响。不过，这些研究使用的是传统二维媒介和物体。我们的研究发现有助于理解人们对扩展现实中真实地点和物体的3D模型相关体验的相对感知。

微软等成熟的行业参与者[48] 已经展示了在工作场所以外，将真实空间的三维重建用于休闲扩展现实的愿景。Meta 尤其暗示了扩展现实远程临场的代际使用场景，例如可以“在爸爸公寓的三维模型中一起观看体育运动” [31]。然而，游戏之外面向更多元休闲用户群体的这些引人注目的应用场景，仍有待实现和推广。为了拓展到可能符合另一类兴趣的应用场景，我们选择了一项与休闲和非正式学习相关的热门活动

尤其是作为跨代情境中的兴趣活动 [40,41]。园艺参与者的年龄层跨度很大，其中老年人（65 岁及以上）是人数最多的年龄群体[93]，也是推广园艺大师计划中最活跃的志愿者群体[16]。在这项研究中，我们探讨了围绕兴趣学习的扩展现实中，代际互动对社会联结的感知，并将其视为一种具有重要意义的应用场景。我们将这些感知与人们同真实空间的三维模型互动的体验，以及这些模型应当捕捉的情境联系起来。以往研究也指出，扩展现实原型和使用场景往往受到以年轻用户和设计师为中心的方法所影响[65,66]。这可能导致某个年龄群体出现体验不对称[44]。在我们的研究中，我们指出，这一因素及其他因素可能如何影响人们对扩展现实现状及其未来代际互动可能性的看法。

3 研究描述

3.1 参与者

我们共招募了 18 名参与者（老年参与者的平均年龄为 = 69.7 岁，年轻成年参与者的平均年龄为 = 45.8 岁，青少年参与者的平均年龄为 = 14 岁）（表 1），并与六对参与者和两组三人参与者开展了八场用户研究（表 2）。这些配对和小组由老年人（65 岁及以上）以及与其相差至少一代的家庭成员、朋友或熟人组成（例如，P6 是 P5 女儿的朋友），平均年龄差为 31.5 岁。13 名参与者描述了自己与家人在花园中动手学习的回忆，比如“和姨妈一起度过夏天”（P1）、“和祖母一起”（P2）；P17 则提到了曾祖母。在四组（S1、S2、S4、S7）中，年轻参与者童年时期接触园艺时，年长的研究伙伴也在场。对 P6 而言，园艺不仅是休闲活动，也是一项必备技能，因为他“买不起（蔬菜）吃，所以我们只能种（菜园里的作物）来吃”。另有几位参与者（P5、P10、P12、P17）提到，他们在晚年通过在线资源或专业项目自学园艺，同时鼓励家中的年轻成员一起打理花园（P12）。较年轻的 P7 和年长的 P10 在研究伙伴的帮助下，逐渐培养起对户外园艺的兴趣。参与者的这一定性与定量概况，使我们得以收集丰富的数据，了解他们与原型进行代际社会体验的情况。

在所有配对或小组中，成员对自身园艺经验水平的描述都显示出显著差异。参与者包括四名新手、5名认证园艺大师、5名有经验的园丁，以及3名“专业人士”——他们是农民（P3），或农业、生物学相关领域的学者（P6、P14）。不过，即便如此，参与者之间的经验差异也应相对来看。例如，与P7相比，P8有相当丰富的农耕经验；而P15被认为比专业人士P14更有见识。年长的参与者不一定是经验更丰富的园艺爱好者。例如，P1、P5和P10要么是新手，要么经验不及各自的研究伙伴。经验水平的多样性使我们能够从教学视角收集对原型的反馈。

在其中两场（S3、S4）中，参与者身处不同的城市/州，是真正的远程参与。其他场次则通过让参与者身处不同地点（例如，一位参与者在屋内，另一位同伴在花园里）来模拟远程环境。在四场中，所有远程参与者或模拟远程参与的小组成员都熟悉研究所选的花园地点及其重建内容，因为他们经常去那里。P6提到，自己对S3的地点有大致了解，但从未进去过。在S4中，P7和P8提到，他们在研究开始前仅通过视频聊天才了解到P9的后院。只有两场涉及一位小组成员首次看到所选花园地点（S6中的P13和S7中的P15）。

表 1：参与者自我报告信息

参与者	专业程度	Age	性别	族裔	参与者之间的关系	此前的 AR/VR 使用经历
P1	有经验的园艺大师[a]	65	F	非裔美国人	P1 是 P2 的姨妈	Yes
P2		54	F	非裔美国人		None
P3	专业人士[b]	74	F	白人	P3 是 P4 的祖母	None
P4	有经验的园艺大师	15	F	白人		Yes
P5	专业人士	70	F	白人	通过 P5 结识的好友	None
P6		34	F	白人	女儿	Yes
P7	有经验的	70	F	非裔美国人	P7 是 P9 的姨妈。P8 是 P7 的丈夫。	None
P8	有经验的[a]	74	M	非裔美国人		None
P9	新手	41	F	非裔美国人		Yes
P10	新手	67	F	非裔美国人	P10 是 P11 的母亲	None
P11	园艺大师	45	M	非裔美国人		None
P12	园艺大师	67	F	非裔美国人	P12 是 P13 的婆婆。	None
P13	新手	39	F	非裔美国人		Yes
P14	专业人士	54	M	拉丁裔	P15 是 P14 和 P16 的邻居。P14 是 P16 的父亲。	Yes
P15	有经验的	69	F	白人		None
P16	新手	13	F	拉丁裔女性		None
P17	新手	54	F	白人	好友和前邻居	None
P18	有经验的	71	F	白人		None

[a] 参与者也有丰富的农耕经验。[b] 参与者也是一位园艺大师

表 2：场次信息

场次	参与者	探索的地点 花园漫步 （场次第1部分）	熟悉的场地 致所有参与者	会话类型	为扩展现实原型创建的模型 （会话第2部分）
S1	P1、P2	P2的家庭花园	Yes	模拟远程[a]	P2的后院和前院装饰区域
S2	P3、P4	家庭农场	Yes	模拟远程[a]	未种植的农田和装饰区域
S3	P5、P6	P5的家庭花园	否（P6）	远程[b]	P5的后院里带有花坛的围栏区域
S4	P7、P8、P9	P9的后院，P7和P8的家庭花园	不（P7和P8)	远程[c]	P9后院里未种植的花坛
S5	P10、P11	P11的家庭花园	Yes	模拟远程[a]	两个尚未种植的花坛和香草园
S6	P12、P13	P12的社区花园	否（P13）	模拟远程[a]	香草园、蝴蝶花园和纪念区
S7	P14、P15、P16	P14的社区花园	否（P15）	模拟远程[a]	高架种植床区域、梯田斜坡和蜂箱
S8	P17、P18	P18的家庭花园	Yes	模拟远程[a]	P17家的花园种植床、P18家的前后院，及P18家的P17的紫草

[a] 参与者交替使用手机（用于现场增强现实）和 Oculus Quest头显（用于模拟远程虚拟现实）。[b] P5 使用平板电脑（增强现实），P6 使用虚拟现实头显。[c] P7 和 P8 使用手机，P9 使用虚拟现实头显

3.2 流程

每场时长为90分钟，分为两部分，时间安排如图1所示。在第1部分，现场参与者通过视频聊天带领研究人员和远程参与者参观他们预先选定的花园区域。随后，在第2部分，参与者在专家或新手的花园中评估扩展现实远程指导原型。此外，还进行了一个简短的预研究环节，可以远程进行，也可以通过电子邮件说明进行；参与者或研究人员在参与者的指导下，收集所选花园地点的视频和照片。这些材料用于创建参与者花园中各个区域和物体的3D模型，以供研究第2部分使用。

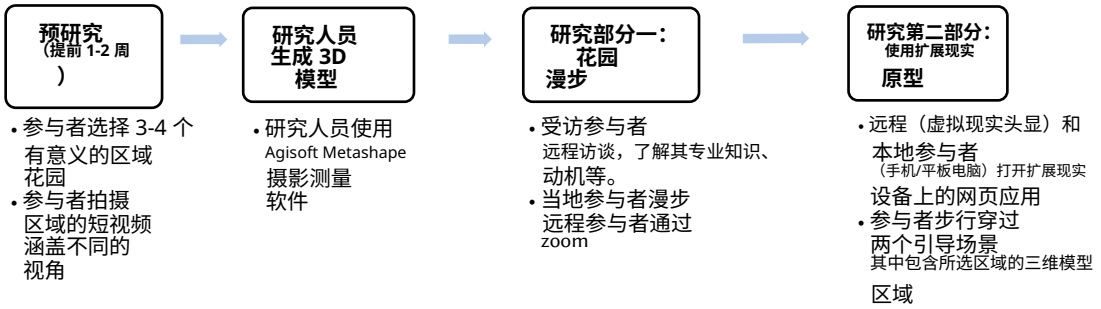


图1：各参与者场次的概览时间线。

3.2.1 预研究环节

每场研究开始前约1至2周，研究人员会请参与者在自家花园中选择3至4个小区域（约10英尺×10英尺），这些区域对他们和/或其伴侣而言可能有意义或令人感兴趣。这些区域可以是他们较为熟悉的地方，包含可用于教学的物体、植物或其他特征，也可以只是适合休憩的地方。对于每个区域，参与者先站在地块边界外，随后沿着边界缓慢绕行一周，同时将摄像头对准地块中心，最后返回起始位置，并在此过程中拍摄一段1至3分钟的视频。研究人员建议参与者在绕行时：1）保持摄像头平稳、缓慢移动，以避免运动模糊；2）尽量确保摄像头视野不被栅栏或树木等遮挡；3）不时改变摄像头与区域之间的高度和距离，以便更全面地呈现该区域/物体。研究人员向参与者提供了一段按照这些说明拍摄的示例视频，供其参考，以了解需要拍摄的视频类型。研究人员对视频进行抽帧，并使用100至300帧，通过Agisoft Metashape摄影测量软件生成每个三维重建区域/物体[104]。

3.2.2 第*1*部分：远程花园漫步环节

在研究的这一部分，研究人员首先访谈了参与者，了解他们的经验水平、对预先选定的花园区域和物体的熟悉程度，以及他们独自或与他人一起园艺的动机（如果过去有过相关经历）。随后，参与者使用传统视频聊天，仿佛彼此身处远方（在模拟远程场次中），一边探索预先选定的花园区域和物体，一边进行交流。参与者指出了这些实体花园区域中对他们个人和集体而言有意义的组成部分（图2），并让我们了解这些组成部分如何用于教学，或帮助他们感受到彼此相连。这一场次还帮助参与者建立了共同的园艺体验，便于他们在第2部分将其作为参照，比较使用扩展现实原型时的社会体验。这种方法也旨在帮助参与者思考园艺场次中的远程教学，并为他们使用传统视频通信进行互动提供一个基准。

3.2.3 第*2*部分：*XR*原型评估

完成园艺场次后，参与者评估了一个扩展现实远程指导原型。该原型依据设计考量以及从以往工作中确定的花园规划场景构建 [40]。本阶段场次的目标是了解如何将通过园艺场次确定的实践者活动空间中的物体和区域呈现出来，甚至为其增添有意义的情境，以支持扩展现实中的教学互动和社交连接互动。该原型展示了扩展现实中的虚拟物体和环境元素

，实践者可利用这些物体和元素开展教学互动或联结互动。随后将对专家—新手组进行半结构式小组访谈，以协助评估该原型。



a) P12向P13展示一些她可能喜欢用来烹饪的香草

b) P4走过一块她帮助P3的地块。

c) P5向P6展示邻居为他们的花园制作的一些艺术作品

图2：花园漫步期间讨论的有意义物体和区域示例。参与者关注的物体可能因其在喜爱的活动中的实用性、教学价值或美感等原因而具有意义。

3.3 扩展现实远程指导原型

我们的扩展现实原型是一个多用户系统，参与者可以共同与从选定花园空间中预先选定的区域和物体经摄影测量生成的3D模型进行互动，并熟悉扩展现实环境。它是一个基于 HTML 和 JavaScript 的网页应用，使用联网的 A-FRAME [105]package。联网的 A-Frame 使用 WebRTC 和 WebSocket 连接传输音视频并同步远程用户。用户只需在手机/平板电脑/虚拟现实头显的浏览器中打开原型网站链接即可，就像打开 Zoom 会议链接一样。默认情况下，A-FRAME 会在浏览器界面中创建按钮，让用户在增强现实、虚拟现实或浏览器内模式之间切换。这样一来，参与者就能使用随手可用的设备，而不必被限制为只能使用头戴式设备体验增强现实/虚拟现实。这也回应了当前新冠疫情期间与其他群体共用头戴式设备所引发的健康顾虑。在我们的场次中，花园现场的参与者使用手机/平板电脑上的增强现实模式体验原型，远程（或模拟远程）参与者则使用 Oculus 头戴式设备体验虚拟现实模式。

我们采用了过往研究中出现的两个场景 [40] 作为原型的评估场景，用以展示扩展现实中用于园艺教学和联结互动的情形。在这些场景中，现场参与者使用设备（平板电脑或手机）上的原型增强现实模式，查看花园地形的三维重建；远程参与者则使用 Oculus Quest头显的虚拟现实模式查看模型。在模拟远程环境中，参与者轮流扮演现场和远程角色。

3.3.1 场景*1*——测量坡度以可视化水流。

在此场景中，参与者使用基于 AFRAME物理库开发的雨粒子系统，在三维重建地块上模拟降雨。这一模拟将作为视觉辅助，同时呈现在现场参与者的增强现实视图和远程用户的虚拟现实视图中。借助这一视觉辅助，有经验的园丁可以指导新手根据地块上的水流规划花园（图4b）。

3.3.2 场景*2*——可视化阴影分布。

参与者通过移动球形光源来模拟太阳在花园上空的移动，并在虚拟现实中调整虚拟东西向轴，使其与实体地块对齐。有经验的园丁可以借此展示太阳移动可能如何影响地块上光的分布变化。网页应用会在新手的增强现实视图和专家的虚拟现实视图中模拟三维重建地块上的光照和阴影，作为视觉辅助（图 4d）。

这些场景旨在收集反馈，了解在扩展现实中，实体花园空间内各区域、物体和事件的虚拟表征现有或潜在的可供性。这包括探讨指导性交互方面的可供性（例如，能够主动移动虚拟太阳），以及用于建立联系的社交可供性（例如，讲述与家族史相关物体的故事）。采用网页应用方案的一个局限是，必须限制3D模型的精细度，以确保不同移动设备和头戴式设备的加载与渲染时间具有可比性。大多数模型包含1万至10万个三角形，具体数量取决于模型的尺寸或物体数量（例如，空地块或单个物体所需的三角形较少）。有一个例外：第六场使用了一个大型蝴蝶花园模型（图 3f），包含一百万个三角形。我们将其限制在场景2中使用，因为场景1中的降雨模拟需要对雨滴进行碰撞模拟，资源消耗更大；较长的渲染时间可能会对参与者体验产生负面影响。

3.4 分析

我们收集了 12 小时的 Zoom 视频会议录制，内容包括：1）在研究第 1 部分中，现场参与者带领远程搭档和远程研究人员参观实体研究地点；2）在研究第 2 部分的扩展现实原型评估期间，参与者使用 Oculus 头戴式设备或手机/平板设备。原型评估总共使用了 19 个参与者花园区域及物体的重建 3D 模型（表 2）。此外，在第 2 部分的原型评估期间，我们从扩展现实环境中录制了 6 小时的视频，展示参与者（以虚拟形象呈现）彼此互动并与这些 3D 模型互动。

我们采用定性方法，分析来自多代际群体的丰富数据集；这些群体在园艺专业知识水平、园艺目标以及对扩展现实的感知方面各不相同。我们采用主题分析（Braun 和 Clarke [11]），描述性地揭示有关情境的潜在主观观点，而这些情境对三维重建的用户体验至关重要。分析既以研究目标为指导进行演绎，也通过对数据的归纳性解释展开。我们通过编码和备忘录记录，逐步形成了与研究问题相关的子主题和总体主题。

第一作者首先将视频中的音频转录下来，以便更深入地熟悉数据。在此过程中，原型评估期间（即场次的第 2 部分）录制的屏幕视频，为参与者在“现实世界”视频中的反应和行动提供了情境。随后，第一作者对访谈转录稿进行初始编码，并通过补充的备忘录记录，找出数据中逐渐显现的子主题。前四场（S1-S4）结束后，研究人员立即对其进行转录和编码。随后，作者团队讨论并完善所得编码和子主题，依据研究问题（第 1 节）评估它们与指导性主题的相关性。之后，第一作者和一名研究团队成员转录了 S5–S8 场次的访谈，并利用这些数据进一步拓展完善后的子主题。尽管与研究问题相关的编码在前四场后基本已达到饱和，但 S5 场次中出现了有关创建和分享三维内容时隐私的新数据。在 S6–S8 场次的访谈中，研究人员还着重收集了更多与这一子主题相关的数据。



a) P2前院的装饰区域（49K个三角形）



b) P3农场的装饰区域（80K个三角形）



c) P5的后院花坛（73K个三角形）



d) P9的后院花坛（50K个三角形）



e) P11后院的草药温室（106K个三角形）



f) P12社区花园中的蝴蝶花园（1.05百万个三角形）



g) P14社区花园中的蜂箱（83K个三角形）

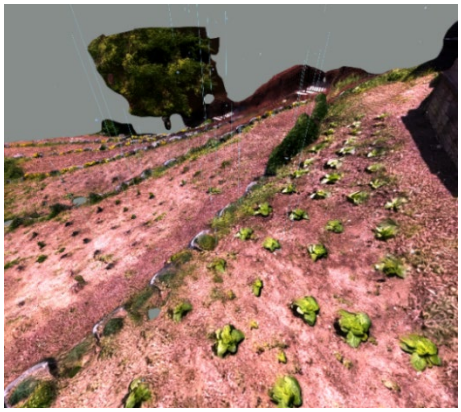


h) P17前院中的花坛（396K个三角形）

图3：根据参与者提供的视频片段生成的3D模型示例。每个视频片段展示了他们选定的、对教学有用或具有某种意义的花园区域和物体。八场研究场次各生成了3至4个模型。模型所呈现的尺度范围从较大的区域（蝴蝶花园）到较小的花坛或单个物体（草药温室）。



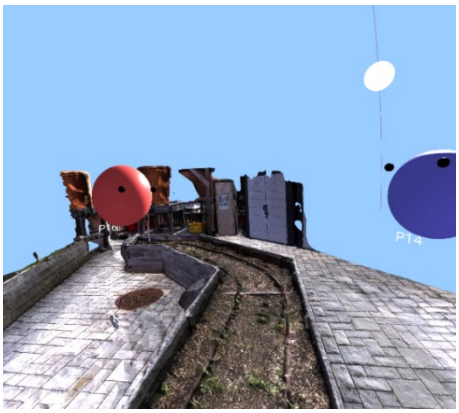
a) 第7次会议选定的梯田斜坡视频静帧



b) P16看到倾斜梯田3D模型上模拟的雨的第一人称视角



c) 高畦和灌溉系统的视频静帧为第7次会议选定



d) P15看到P14和P16的虚拟化身体验虚拟太阳场景2的第一人称视角

图4：第七次会议中参与者选定区域的示例，以及研究第2部分期间所用设备的屏幕截图。我们可以看到，为场景1（雨）和场景2（太阳）生成并使用的花园区域3D模型，以及带有点状眼睛、用于用户虚拟化身的简单球体。

对全部八个场次进行编码并撰写备忘录后，我们将浮现出的主题提交给研究团队进一步讨论，以确定研究发现部分将呈现的最终显著主题。第一个显著主题涉及在扩展现实中重建实体活动空间和物体时，需要捕捉哪些重要情境，以支持社交连接或指导性交互（RQ1）。第二个主题涉及代际群体的目标，以及影响他们与扩展现实中重建物体和区域互动的因素（研究问题2）。最后一个主题与我们的模型生成方法可能如何影响研究场次中的原型使用有关。该主题的研究发现作为一项局限呈现，它可能影响设计考量，而非回答某个具体研究问题。表3列举了主题、子主题、相关研究问题及其基础编码的示例。

表3：示例　主题、子主题、相关研究问题（关联主题）及基础编码的示例，来自数据分析 ta

主题	子主题	研究问题	编码示例
情境很重要 适用于 非正式场景	用于理解的情境 与现实世界相结合的重建 教学/学习体验	**RQ1A**	模型缺少周围环境的视觉参照，观看 极其精细的细节，以及用于教学的触摸物体能力， 描述互联系统，捕捉生活
	情境捕捉关系 与他人	**RQ1B**	代表家庭成员的物体，营造熟悉感 共同记忆、赠予家人、协作建造的空间
	创作时的隐私，以及 分享三维内容 [a]	**RQ1C**	有兴趣分享自己引以为豪的物体，以及.....的模型 私人区域与公共区域、儿童隐私顾虑
代际 感知与 扩展现实交互	基于价值观的感知	**RQ2**	不习惯使用互联网，但与使用.....产生共鸣 花园中的技术，依靠现场人员提供帮助， 年轻人可能会更适应扩展现实
	代际群体的目标	**RQ2**	传授传统做法，有助于了解食物的来源 从小开始学习会很有益， 代际间的共同学习。
	群体		
模型 对反馈的影响	对照虚拟模型进行定位		无法辨认模型是否对应真实区域；分辨率 要求取决于专业知识，地标有助于定位

[a] 该子主题在 S5 场次期间出现，因此相关编码来自后续场次（S5-S8）

4 研究发现

本节将介绍参与者对使用扩展现实原型体验花园中熟悉的真实物体和区域的三维模型的看法。我们着重探讨参与者认为这些三维模型在扩展现实中需要捕捉哪些重要情境，才能在非正式场景中辅助教学并促进连接。“情境”包括参与者希望模型能够支持的行为、互动和可供性。我们还将介绍参与者在不同场景中创建和分享这些三维模型时所关注的隐私相关细微差异。最后，我们将说明代际群体对扩展现实的感知以及所用模型，可能如何影响原型使用。

4.1 情境对用户在扩展现实中体验三维重建活动空间的重要性（RQ1）

为回答 **RQ1**，我们介绍了关于教学动机情境 （**RQ1A**）、彼此连接 （**RQ1B**），以及创建和分享此类三维内容所涉及的隐私问题 （**RQ1C**） 的研究发现。

4.1.1 学习体验所需捕捉的情境：探索花园不同尺度下的关系（***RQ1A***）在图3中，我们展示了各场次的3D模型示例。这些模型使用了参与者从实体花园空间中选取的不同类型、不同尺度的物体和区域创建而成。花园中的许多较小区域和物体，往往可以被视为更大型自然或人造系统的一部分。在社区花园和示范花园（S6、S7）中，这一点尤为明显，因为它们的设计旨在展现自身与周边当地环境的关系。例如，社区花园某一区域收集的雨水，可能会被抽送到距离较远的另一区域，以补充现有灌溉用水，如S7所示。园艺大师P11、P12和P14描述了如何利用扩展现实中的模型提供全景概览，呈现整个花园系统各部分之间的关系及其与环境的互动。同样，P2、P9、P11和P14认为，只要细节能够辨认，3D模型就更适合展示花园及其系统的整体概况，而非孤立呈现单个物体或区域。但在教授/学习需要远程用户探索细微细节的概念时，情况则有所不同。一些参与者

（P2、P5）认为，在花园漫步过程中进行视频聊天，能让他们更好地探索这些细节，因为这“迫使你将注意力集中在较小视野范围内的物体上”。其他人则强调，应创建具有良好可缩放性（P1、P12、P18）和可操控性（P13、P14）的模型。尽管受到技术限制，一个预期的发现是，人们希望能够亲自动手操控模型，尤其是在跨代情境中，因为孩子们“他们想亲自动手，就像我们做树叶拓印一样”。

参与者还讨论了在呈现环境变量对实体活动空间的影响时（我们场景中的太阳和雨）所需的其他情境。例如，在原型评估中，模型可以呈现实体对应物如何与阳光互动。参与者提到，在远程协助用户进行规划时，这可以依据现实物体在房屋中的位置、相对地理位置及其材料属性来实现。对于我们的扩展现实原型中的两种不同场景，参与者认为自己将现实世界体验转化到虚拟环境中的难易程度有所不同。对于阳光原型，一些参与者觉得自己无法转化这类体验。这是因为，在考虑现实空间中的阳光分布时，有许多隐含线索未能通过原型体验呈现出来。例如，建模区域的限制影响了 P5 和 P6 对阳光原型的使用。P5 表示，在视频采集期间，如果将预先创建的模型周围更大范围的区域纳入其中，就能更好地选择物体周边的邻域，从而判断阳光如何与她的花园互动。然而，在雨水原型中体验雨水如何流经自家花园地块的模型，对两位伴侣和大多数其他参与者而言，都更容易转化和理解。P11 觉得，在场景2中能够看到水从模型的哪里排出或流入很酷，因为“你知道，我的目标始终是尽可能节约用水。”

4.1.2 背景用于捕捉联结互动的背景：情感、人际关系与感受（***RQ1B*** *）*

实体空间中的一些物体和区域让参与者联想到他们的伴侣，以及过去和现在的他人。这些物品可能具有装饰性，例如 P3 邻居为他们的共享园艺空间绘制的画（图2c）。它们也可能是有生命且“实用”的，例如 P1 为纪念丈夫而种植的烟草地，或 P9 为纪念母亲而种植的银枫树。其中一些也是协作成果。例如，图3b）展示了我们为 S2 制作的一个花坛模型，该花坛由 P3 和 P4 预先选定。这个区域里有一些随意摆放的物体，比如 P3 和 P4 家人捡来的“装饰木块”、P3 儿子送的风铃，以及一尊火烈鸟雕像；P3 的母亲去世后，这尊雕像“搬来和我一起住”。同样，P17 的住宅花园里种满了植物（例如圣诞玫瑰），也有一些特色布置（例如蜿蜒小径），这些都是她的朋友和邻居提出的建议，或是她“散步时会看看别人家的院子，看看什么布置合适”后想到的。有些参与者希望通过花园中的物体和区域营造出吸引他人的美感。例如，P11 想为母亲（P10）在花园里营造一种“热带风情”，同时也希望院子看起来整洁体面，“这是出于对邻居的尊重，你懂的”。

在讨论如何捕捉这些物体、区域及其相关情感时，我们发现，除了重要的视觉细节和交互性之外，一些参与者还谈到了特定类型的时间性。花园中的物体也与某个特定时刻相关联，在那个时刻，它们具有更深的意义。例如，在第 1 场次中，P1 描述了一棵山茱萸树，她的外甥女 P2 为纪念母亲而种下了这棵树。P2 觉得，她更希望将这棵树开花、鸟儿也更加活跃时的样子捕捉为 3D模型。她更喜欢模型，因为这样她可以坐在树下，而照片无法做到这一点。除了在特定时刻看到真实的 3D模型之外，P1 个人还希望能够捕捉更多个性化的情境，以便在某种程度上感受到 P2 的感受，例如让 P2 亲口讲述种下这棵树的原因。类似的例子也出现在第 5 和第 7 场次中。P11 希望捕捉一座为其兄弟而设的纪念花坛开花时的模型，而 P14 则考虑将 P16 家前院里的枫树建模，这棵树上有“一张她（*P16*）拥抱它的照片”。一些参与者

描述了创建和分享他们认为会很有趣的模型。例如，P13 觉得自己更偏向视觉型，希望为自己种植的花朵创建模型，同时也能呈现它们“鲜艳”的色彩。

4.1.3 对学习和建立联系都有用的情境：捕捉“生活”与成长阶段（***RQ1A*** 和 ***RQ1B***）

参与者也对能够捕捉某个成长阶段，或呈现花园空间中“生活”的情境感兴趣。这不仅有助于指导（**RQ1A**），也有助于建立联系（**RQ1B**），而不仅仅是让人们分享对自然的欣赏，这一点并不令人意外。例如，在花园漫步过程中，参与者有时会尝试让伙伴了解某种事物生长时可能是什么样子。体验原型后，P12觉得，如果能用植物的虚拟模型展示植物从种子长成开花植株的过程，那会很棒。P18也举例说，可以在模型上观察玉兰树的不同生长阶段，并与自己的玉兰树进行比较。这与参与者希望帮助他人理解事物的兴趣相符，例如P6希望让年幼的女儿了解“食物从哪里来”。

在花园中“捕捉生活”的另一种方式，是捕捉物体与空间中的非人类生物可能发生的互动，甚至展示它们常见的行为。P15提到，可以创建某种鸟的模型，让其他人更直观地了解它的正常行为，并与实体对应物中任何异常的修剪行为进行比较。P14描述了花园里每年都会发生的一件事：“小小的鹪鹩会飞来，在这里筑巢育雏”，他希望为这件对自己意义重大的事情创建并分享自己制作的鸟屋的3D模型。P18谈到，他们可能想要创建螳螂卵孵化的三维重建。她觉得，如果通过视频让一群人共同体验这一过程，就需要调整观看角度，还得说“哦，你能再靠近一点吗？”而“如果是模型，你就可以从更多角度移动着观察。”P17在同一场景中提出了一个有趣的应用场景：创建一个足够逼真的模型，让远程用户可以实时“通过虚拟方式多看看花园里的景象”，并为现场伙伴提供摄影时的相机位置建议。捕捉生活有时也意味着为不易到达的区域创建模型，例如S7场次中的蜜蜂区域（图3g）。在其他情况下，问题可能在于行动能力受限者的可及性。例如，P15觉得，如果能为毗邻她所在社区的森林保护区创建一个可供漫步的模型，就能让人们通过自然建立联系。这将帮助“一些年迈、足不出户的人……（让他们）即使无法外出，也能有置身户外的感觉。”

4.1.4 分享三维内容时的情境：与空间和活动相关的隐私偏好（***RQ1C***）

一个有趣的发现与参与者对他们可能从自己的实体花园空间创建的三维内容（数字孪生）的隐私顾虑有关。这些顾虑在第5场自然浮现，并在后续场次中作为一个额外的研究问题（RQ1C）展开探讨。我们发现，参与者是否愿意公开或私下分享真实空间的三维表征，取决于几个因素：他们如何看待自己的产业、分享的动机，以及他们在传统社交媒体上分享照片/视频的经验。例如，P11（较年轻的专家）乐于公开分享S5模型，因为他将自己的花园空间视为社区资源，并认为这是“一种用于培训（他人）的工具”。 他热情支持从自家花园创建个性化三维内容以用于教育用途，而且过去已经创建过自家花园的三维CAD风格模型。 其他几位参与者（年长的新手P10、年长的专家P12、较年轻的专家P14、年长的专家P15）也表达了类似看法，认为可以为了教育用途而公开分享。例如，P12愿意为园艺大师示范花园中的教育空间创建模型并公开分享。

参与者在分享被视为私人空间（住宅内部、后院）的模型或自己的虚拟形象时，谨慎程度各不相同。P10和她的儿子 P11 一样，只要将其住宅地址匿名化，她就不介意公开分享此类三维内容。有些人则更为谨慎，只想分享住宅中

好看的部分，就像他们可能会在社交媒体上分享的内容。例如，P13 有兴趣创建并分享她美丽的“宠物花卉”模型。P14 觉得自己不会创建住宅花园的模型，因为“太糟糕了，我现在不想给任何人看”。但他也表示，如果“这能成为有类似后院或空间的人们的优质学习工具”，他愿意公开或私下分享。清除可识别信息（例如地理位置）后，一些参与者（如 P14）觉得，公开分享私人空间的模型比分享社区空间的模型更自在。P15 觉得，在社区花园中创建模型时，她需要征得许可，因为“我觉得这样做不妥。因为那不是我的财产，那里有公共区域，也有其他住户。”这些数据凸显了人们对于需要匿名化的信息范围可能存在不同看法。另一个例子来自 S8：P17 不使用社交媒体，而 P18 只是偶尔在 Instagram 上发花朵的照片给朋友看，不会分享太私人的内容。P18 并不介意照片中露出门牌号。对于随便一个观看者来说，“这不过是某个不知在哪儿的小镇上的一栋房子的门牌号”。而 P17 则觉得有人可以“在谷歌地球上找到对应位置”。P12 提出的另一项关键议题与自我呈现有关。我们的扩展现实原型中的虚拟化身“真的很基础”，但创建与本人相似的虚拟化身会引发隐私问题；在跨代情境中有儿童参与时，还需要提供指导。另一方面，P15（老年人）和 P16（青少年）都觉得，以真实身份被认出来也没关系。

4.2 我们代际群体中对扩展现实的感知与原型使用之间的相互作用（研究问题2）

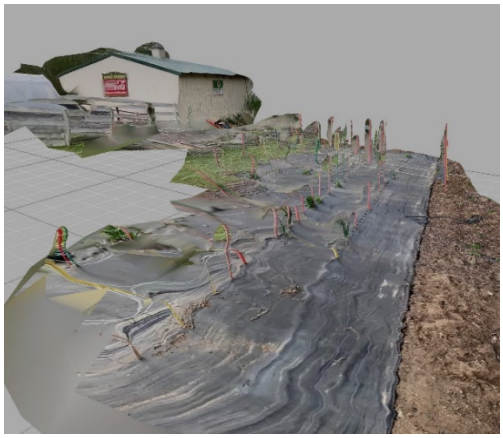
在我们的研究流程中，有一点值得强调：共同学习如何使用原型，与不同世代对扩展现实的感知之间存在相互作用。大多数参与者都听说过虚拟现实这个术语，但每场至少都有一位参与者是第一次亲身体验虚拟现实（表 1）。一方面，参与者对创建实体空间和物体的数字孪生，并将其用于教学，表达了积极看法。这不仅仅是“为了玩游戏，而是为了某种更有目的、更实用的事情，比如园艺的各种益处，例如对身体、情绪、心理、社区以及环境的益处”（P15）。参与者对这类技术如何用于分享知识很感兴趣，例如传承“旧时的做法”（P3），或向老一辈传授现代可持续发展技术（P11）。还有人对通过聆听花园空间中的家庭故事来建立联系感兴趣（P9）。然而，也必须承认，有些参与者并不认为自己会在花园里使用扩展现实设备。尽管他们喜欢将不同的物体或空间及其相关情境记录为三维模型，再通过扩展现实进行观看的想法，情况依然如此。一些参与者，例如P1（年长的新手）、P2（年轻的专家）、P3（年长的专家）和P4（有经验的青少年园丁），谈到自己住在附近时，不在花园里使用技术这一做法如何契合他们的价值观。他们觉得，这种技术可能更适用于所呈现的应用场景，即相隔两地的家人或朋友之间的联系，因为那时“无法进行面对面的互动”。P4谈到享受大自然时说：“这一代人中有很多人 *[她]* 都接触了很多技术，所以我觉得走进花园，你知道，就能让人远离 *[技术]*”。

P3（老年专家）、P7（老年专家）和P8（老年专家）认为，使用虚拟现实技术体验远程花园，可能会吸引那些“对计算机更加熟悉”（P7）或“非常喜欢技术”（P8）的人。尽管他们承认，还有其他符合这一类别的老年人，但他们也提到，“年轻一代”（P8）使用这类技术时会感到自在得多。P3甚至提到，像她的孙女P4这样的年幼儿童可能会觉得这更有趣，“正如你所看到的，*P4*在佩戴*[*头戴式设备*]*时，完全沉浸在她正在做的事情中”。然而，这些特定的老年参与者似乎愿意尝试这样的原型，是因为当时处于与熟人共同参与的跨代情境中。我们发现，对于参与者而言，如果能得到年长或年轻的研究伙伴的帮助，或者在对设备进行故障排查时与他们交流想法，可能会有所帮助，或者

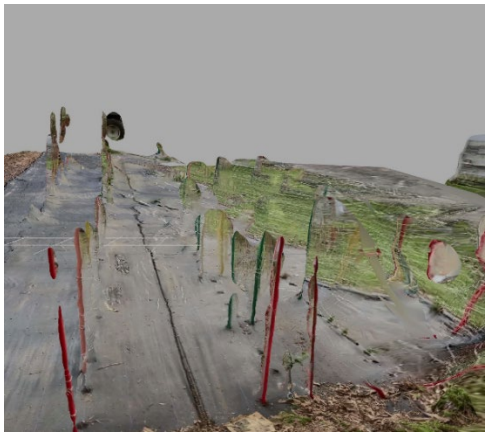
原型（例如，根据熟悉感确定花园模型的方向）。即使是P10（老年新手），她是一名学者且熟悉新技术，也提到自己很期待尝试这项技术，并且在场次开始前让P11带她熟悉Oculus Quest头显的使用方法。我们此前已经指出，参与者对花园中技术的价值有着各自的看法，以及无论年龄或技术熟悉度如何，对于一些人而言，扩展现实都可能被视为不必要。分享知识以及相互帮助使用原型的互动过程，可能使我们获得了比预期更积极的反馈，尽管参与者对将扩展现实应用于花园仍持有这些看法。

4.3 模型质量对原型反馈的影响：一项局限

用于通过摄影测量生成模型的视频采集方法，可能是影响原型使用和反馈的一个因素。如前文第3.3节所述，摄影测量过程中使用的数据量，以及呈现给参与者的模型的最终逼真度，都受到我们原型所采用的网页应用方案的限制。因此，一些参与者起初觉得这些模型很陌生。他们需要花时间辨认主要地标，并逐渐将模型视为自然场景。P3觉得，她的农场地块模型更像一处“火星景观”，而谷仓场地则成为一个独特的地标（图5a），帮助他们小组确定方位。模型的实际用途也能帮助参与者忽略模型质量问题，例如在场景2中模拟降雨。S6中的一些参与者，如P12和P13，起初虽然感到茫然，但仍对我们为他们制作的模型质量印象深刻。P12提到，人们对于出于教学目的而采集的模型应当有多么“生动逼真”，可能会有不同看法，这取决于他们的专业知识水平。



a) P3 农场地块模型的一个视角。由于有大型谷仓地标，该模型相对容易辨认。垂直木桩等物体看起来变形了。



b) 展示方向保真度问题的模型另一个视角。有些垂直木桩在此视角下看起来更好。

图5：场次 2 的一个模型，参与者认为它难以辨认且不自然，像一幅“火星景观”。图2b 展示了该区域实景的对应照片。

模型的保真度也因观看方向而异：扩展现实用户从某些观看角度看到的视觉质量较好，而从其他角度看模型则会出现失真（图5b）。这可能是因为研究人员建议参与者在某个区域或物体周围移动，以采集用于创建模型的视频，因此用户长时间关注的物体，其相应角度拍摄到的照片更多。视频中探索的观看角度也可能受到参与者可活动范围的影响，

因为花园里往往有许多物体会限制人们在既有路径之外的活动（例如灌木、岩石和泥泞地面）。摄影测量视频是在一定距离外拍摄的，以确保整个区域或物体都能入镜，但拍摄距离会因目标大小而异。这可能导致拍摄目标物体或区域周边环境的程度有所不同，而如前文第4.2.1节中P5所述，这正是逼真呈现环境效应的关键因素。总体而言，3D模型保真度较低所带来的限制和视觉伪影，可能影响了参与者对扩展现实现状的感知，以及他们与这些模型互动的方式。

5 讨论

我们的研究发现描述了参与者认为在扩展现实中与现实区域和物体的虚拟重建进行互动时，对用户体验至关重要的非正式场景情境。在本节中，我们将讨论这些发现对于创建和分享具有意义的区域与物体的3D模型有何启示。我们重点探讨它们如何融入用于教学和建立连接的3D情境采集领域。

5.1 为非正式扩展现实学习采集情境，以重建有意义的物体和空间

首先，我们将讨论教学涉及不同尺度的物体时，扩展现实用户体验可能存在的局限，以及通过3D模型采集情境的方法。我们还将指出，将现实世界体验转化为物体和空间的重建可能面临的挑战。

5.1.1 支持远程教学过程中的有意义反思（***RQ1A***）

我们的研究发现表明，所选有意义物体和空间的尺度，使围绕不同目标展开讨论成为可能。当远程学习侧重于关注细微之处时，视频似乎更合适；而当需要可视化较大的系统及其与环境的关系时，扩展现实似乎更合适。以往关于扩展现实中多尺度交互的研究也指出，在其他远程指导场景中，与视频相比，使用3D模型进行探索需要以较低的视觉质量为代价 [55,80]。因此，虽然视频或许足以捕捉较小尺度的情境，设计师仍可考虑更多地利用扩展现实，让用户能够在不同尺度下改变视角。这样可以丰富远程协作系统中的不同类型反思或教学（例如，第一人称与第三人称 [32,34,76] , 巨型—微缩 [55], 使用360度视频 [30,77,79] 或3D重建 [82]）。

用户体验在这些不同尺度和视角下的互动中，或许可以从探索不同的重建方法中获益。这有助于确定其他值得捕捉的情境，以便进行有意义的重建，从而增进用户围绕活动、实体空间及物体开展的反思和共享记忆实践。我们的研究发现，模型捕捉方法和重建文物存在一些局限。我们用于重建的数据收集方法受到一项实体条件的限制：参与者必须选择便于绕行的物体和空间。因此，物体需要具备从行走路径上可见的特征。模型确实让参与者得以反思在这一尺度下值得捕捉的某些情境，例如可社交分享特征、与雨或动物的互动。对于园艺等注重动手实践的学习活动，手持物体重建[88] 或许更适合采用第一人称视频技术。通过自然地选择并指向手掌尺度物体及其手部交互中的重要情境，这种方法可能有助于协作探索细微之处。这种方法中的互动或许能够揭示可供性（例如触觉），而现场用户可能希望模型将其作为远程用户的情境信息。

此外，对于细微之处，放大后的传统视频或许更受青睐，因此在比较远程协作中以更具互动性的方式重建精细细节丰富的物体时，它可以作为基准。

我们还看到，参与者讨论了将不同物体和区域之间的关系视为花园系统及其周围环境背景的一部分所带来的优势。让学习者能够在更广阔的景观中直观呈现某个系统组件，有助于他们反思该组件所发挥的作用。YardMap 就是一个此类项目：通过对二维街区地图进行众包标注，人们可以反思土地利用和野生动物行为[94]。扩展现实中的三维表征可以成为一种强有力的换位思考媒介，帮助人们反思人类活动对环境造成的影响[18]。研究人员可以探索个人或群体的输入如何帮助人们反思并确定重建所需的情境，从而支持不同专业水平的人进行反思。例如，可以选择一个大小合适的邻域，以评估雨等环境变量的影响。为此目的设计重建方案时，可以让用户捕捉特定物体或视点周围的情境[35]，，例如从无人机的鸟瞰视角或第三人称视角[67]，，也可以通过360度影像来捕捉。

5.1.2 更多 *i* 理解*3D*模型所需的现实世界体验隐含语境（***RQ1A*** 和 ***RQ1B*** ）

“如果说一张图片胜过千言万语，那么可以说，一个模型胜过千张图片，或百万字。 [84]”然而，这取决于是否有情境化元数据来帮助评估和复用模型。以往研究探索了在传统二维媒介中加入不同的情境信息（例如用户注释、传感器数据、音频），以支持意义建构和创造性表达中的不同互动方式 [3,23,24]。我们的研究发现了一些参与者认为在使用三维重建进行教学或建立社会联结时十分重要的情境实例。提供一种可通过具身方式探索的共享视觉情境，是扩展现实系统支持远程协作的一项优势 [10,72]。然而，我们的研究发现（第 4.1.1 节），有时，人们认为利用重建模型进行模拟是直观易懂的场景，实际上未必如此。即使我们拥有高保真度的三维环境重建，现实世界体验中的隐含或无形情境[89] 仍会丢失。我们在利用重建进行阳光可视化、观察阳光随时间变化的案例中发现了这一点。我们曾根据 Maddali 等人[40] 关于专家和新手使用 360度图像环境的应用场景研究，将其选为在扩展现实中可视化时间的一个有前景的应用场景。然而，针对这一场景的反馈表明，它需要更多隐含语境，例如围绕物体设定一个大小合理的影响邻域。

我们的研究发现还涉及一些主题，例如捕捉自然环境中所预期的“生活”和生长。这些主题被参与者转化为重建时的具体要求，即能够展示不同时间阶段的视觉效果，或呈现栖息于该空间中的物体或非人类生物所表现出的预期行为。其理念是提供一个可与实体对应物进行比较的参照，并据此评估例如生长或正常行为等特征。能够真实地虚拟呈现动物及其存在状态（例如环境的环境音）或行为（例如群聚行为），尤其是呈现来自人们无法进入的环境中的动物，可以增强环境教育中的联结互动[40,78]。然而，动物的重建尤其具有挑战性，也不太适合真实场景，因为动物并非静态且僵硬的物体 [4]。与传统视频/图像相比，这限制了此类重建用于非正式联结互动时的个性化程度。从设计角度来看，具体而言，模型的可搜索性和分享能力可能比创建高保真模型更为重要，这取决于用户的目标是学习还是联结。数字共享方式可以在界面中直接提供现有的、由专业人士构建的虚拟三维模型库，使其易于用于社交互动（例如 Google搜索中的增强现实动物[74]），甚至支持搜索（例如搜索幼年或成熟的开花植物）。

5.2 反思为扩展现实创建或分享 3D模型时涉及的隐私细微之处（RQ1C)

XR日益普及于日常使用，也为用户增添了一类需要反思个人隐私影响的设备。扩展现实设备带来了独特的挑战，因为它们本质上依赖于对周围空间进行地图绘制，以将物理环境与虚拟环境连接起来，并实现空间交互 [43]。行业倡议（例如 Niantic 的 Planet-Scale AR Alliance [106]）设想了这样一种未来：通过扩展现实设备进行“世界抓取”[29] ，能够生成重建三维空间的“实时地图”[98] ，其精细程度可达到具体物体位置的层级。这类地图绘制可以促成有用的应用，例如无障碍导航[99]。然而，它们也进一步模糊了扩展现实用户所认为的私人空间或物体，以及在扩展现实重建中哪些情境具体属于隐私的界限。

我们的研究发现呈现了休闲扩展现实用户创建或分享三维重建内容时对隐私的若干看法。捕捉和分享模型的过程可能会受到参与者对哪些空间属于私人空间或公共空间，以及他们想分享哪些情境的看法影响。Wang 等人 [85] 将舞蹈动作以三维重建片段的形式进行休闲分享，并描述了这一情境。他们还指出，正如 Li 等人关于照片分享的先前研究 [37]所示，隐私考量可能会因情境不同而发生变化。我们的研究发现证实了这一假设，并拓展了有关此类非正式空间社交性的既有民族志研究发现。我们举例说明，教育动机与公开分享个人花园空间的3D模型之间存在更强的相关性。设计师应通过设计鼓励用户界定空间、物体及任何相关重要情境的隐私边界。既有研究提出的一种方法，是帮助休闲用户反思并识别那些在重建过程中可能被忽视、但对隐私十分重要的情境 [81,87]。另一种方法是让与被视为私人物体相关的动机和偏好更清晰可见，以便为重建或分享同一物体模型的外部人士提供参考 [41]。例如，允许用户选择物体周围的一片空间，既能提供足够的情境来呈现物体与太阳的互动，又能隐藏门牌号或邻居的地块。此外，在跨代情境中，设计师在创建和分享模型时，必须兼顾保护活动空间中较脆弱成员的隐私与捕捉有意义情境 [107]。我们的研究发现举例说明，使用重建的虚拟形象进行自我呈现可能存在风险，而年轻用户或许无法意识到这一点。未来研究可以专门探究这些较脆弱的成员会如何处理情境捕捉过程，以便更好地根据他们的隐私偏好进行调整。

5.3 捕捉花园情境，以促进社会联结与代际扩展现实

我们的研究发现有助于理解如何通过情境捕捉社会关系与情感情境。我们探讨了创作和分享能够呈现共同记忆的三维内容所带来的启示。我们还讨论了花园以外的场景，在这些场景中，探索对空间和物体进行有意义的重建，有望促进跨代学习与社会互动。

5.3.1 重建在保存共同记忆方面的价值（***RQ1B***）

个人环境，例如家，常被比作一种“自我地形学”——一种对其中人们个人故事的空间与实体表征 [21,54] ，正如我们在自己的研究发现中所见。在一项文化探针研究中，Shewbridge 等人探讨了这样一种未来：3D 打印机融入家庭环境 [69], ，参与者常会挑选家中具有情感价值的独特物品，作为他们希望扫描并制作精确或相似实体复制品的对象。我们还在文献中发现，沉浸式媒体（如 360 度全景图）可用于保存与知名人士私人空间相关的记忆与情感，方法是重建他们的个人物品曾经

的摆放方式 [35]。直到最近，商业领域也开始关注如何让普通用户更轻松地利用照片和视频，创建个人环境或共同回忆的三维或四维重建 [96,108]。

社区和花园等兴趣空间，除了可被视为自我地形学，也可被研究人员视为社会地形学。在这些空间中，群体（例如家庭或从业者）会赋予物体和空间共同的意义 [41]。我们的研究发现展示了这类例子，以及参与者希望拥有可用于远程互动的虚拟呈现的一些共同动机。我们从第 4.1.2 节归纳出几项相关的设计考量：参与者希望重建能够体现代际联系的物体或空间。首先，识别能够呈现物体特定时刻的情境（例如开花时节）十分重要。其次，与虚拟呈现进行某些具身交互，可能会为用户体验带来意义：例如拥抱它。比如，坐在一棵树的虚拟复刻体下，可以借助扩展现实呈现承载怀旧之情的情境。最后，可能还需要结合其他社会数据（例如赋予某人意义的叙事 [21] ），为感官重建提供情境背景。这有助于观看者理解同一情境。

人机交互研究人员越来越关注数字技术在共享记忆实践中的作用，尤其是通过创建和分享人工制品来实现这一点。我们鼓励研究人员思考，作为日常扩展现实的一部分，虚拟重建能否以更个人化的方式，帮助留存家庭记忆与遗产；这类似于博物馆文物的重建有助于保存文化遗产的情形 [35]。值得探讨的一个问题是，在代际场景中，人们究竟会如何看待这些重建在怀旧方面的价值，或将其视为有助于促进联结互动的纪念品。许多研究对实体纪念品与数字纪念品进行了比较；有人认为，实体纪念品往往需要更多叙事来说明其意义，而数字纪念品则显得较缺乏情感表达 [53]。在扩展现实中，虚拟重建会不会更接近传统的数字制品（如二维照片或视频），因为除非将其三维打印出来或通过扩展现实设备观看，否则它们本身并不具备物质性？另一种可能是，虚拟重建也会被视为更接近实体物品，因为参与者认为，人在扩展现实中能够以具身的方式体验它们。这可能会对未来如何记录、分享记忆，以及如何将记忆用于联结互动产生有趣的启示。

5.3.2 作为跨代活动媒介的休闲扩展现实的其他物理空间（研究问题***2***）

如果我们设想未来的远程社交互动会在某种程度上与扩展现实相结合，那么理想情况下，我们希望扩展现实能让不同年龄、能力和背景的用户都感到亲切且易于使用，同时尊重他们的动机、对所选应用场景活动的价值取向以及隐私考量。第 4.2 节的研究发现呈现了人们对于代际群体是否会在花园中使用扩展现实进行远程协作的一些看法。我们发现，这些看法未必与年龄有关，可能更多地与参与者自述的技术熟悉度相关。正如以往文献 [5,22,40]，所述，花园所承载的、远离技术的自然体验所体现的价值观也影响了他们。参与者与三维重建互动的大多数积极体验，都围绕着代际间分享知识、促进反思（例如，对环境影响的反思）以及呈现共同记忆展开。这些体验并非花园空间所独有。

以往研究探讨了其他活动中的学习空间，这些活动尤以代际参与为特征。其中包括更侧重人造制品的活动空间，例如创客空间 [52] ，在这些空间中，利用技术呈现物体的虚拟表征已融入构思与制作过程 [83,86]。人机交互研究人员也开始关注植根于传统的手工艺活动（如制陶、造纸），将其视为捕捉情境、呈现隐性知识并借助扩展现实增强学习的场景 [27]。我们关于在这些活动中体验真实空间和物体的三维重建的研究发现是否适用，是一个

可能会引起设计师兴趣的问题。虽然不同活动中的业余爱好者价值观在较高层面上可能相似，但他们对技术的偏好或许有所不同 [22]。这可能是因为，相较于自然空间，技术更容易融入创客空间环境；我们的研究发现也印证了这一点。其他相关的日常活动空间还可能位于家中，例如厨房。Panicker 等人 [50] 倡导围绕进食和备餐来支持并创造共享体验，例如促进人们跨越距离一起烹饪。扩展现实产业正致力于为休闲用户发掘更多有意义且实用的日常应用场景。尽管这可能听起来有些技术解决主义者的意味，我们仍希望鼓励更多人支持探索相关应用，使其能够切实增强面向跨代受众的远程群体体验。显然，人们有兴趣探索远程扩展现实在娱乐和工作效率之外的潜在应用，但目前人们尚未认为它是一种易于使用、用途广泛的远程协作设备。

表4：显著发现与启示

研究问题	发现	启示
RQ1A	• 与.....相比，扩展现实更适合在花园中学习更大型的系统通过视频呈现细微特征。 • 难以从三维模型中理解隐含语境 • 希望捕捉类似“生活”的行为，并与现实进行比较。	• 捕捉情境，以进行视角采择和反思，并利用不同尺度的重建 • 允许用户定义有意义的邻域围绕物体，以更好地捕捉隐含语境
RQ1B	• 物体的时间或状态可能具有意义（例如，开花时） • 与模型互动的具身体验具有意义（例如，坐在模型下方） • 叙事语境有助于理解与模型的关系。	对 3D 价值的感知模糊性 表征与二维媒介的价值感知存在歧义。情境，例如具身交互是扩展现实的一大优势
RQ1C	• 教育动机与分享个人空间的三维模型呈正相关 • 对于情境（如位置）应匿名化到何种程度，观点不一匿名化。	• 设计应鼓励用户进行反思并明确界定空间和有意义情境的隐私。 • 设计动机可见性，并向外部人士展示与物体相关的偏好。
RQ2	• 对比在自然环境中使用三维模型与实地体验的不同观点。 • 认为这能吸引较年轻或更熟悉科技的用户 • 探索扩展现实构想时积极的代际互动使用原型	• 学习与远程家庭使用场景依然有意义。 • 与科技融合的活动空间（如室内空间）的体验形成了对比。

6 结论

通过一项扩展现实原型评估研究，我们邀请了由18位关系密切的园艺爱好者组成的八个代际群体参与研究，从而了解为扩展现实用户创建具有意义的实体空间和物体虚拟重建时所需的情境，以便在非正式场景中开展教学和联结互动。参与者将健康、创造性表达和跨代知识分享等动机与花园中承载共同意义的物体和区域联系起来。我们发现，这些动机意味着重建需要捕捉不同尺度下区域与物体之间的关系、人与他人关系中的情感情境，以及创建或分享3D模型时的隐私考量。我们探讨了用户参与方面的启示，以创建更能还原现实世界体验、鼓励反思、纳入隐私考量，并以扩展现实为媒介保留共享体验的重建成果，从而促进非正式跨代活动。

致谢

本项目部分经费由美国社区生活管理局、国家残疾人、独立生活与康复研究所及卫生与公众服务部提供，资助编号为90REGE0008。文中观点不一定代表联邦政府的官方政策。我们感谢马里兰大学及其推广园艺大师计划的成员参与本项目。

参考文献

[1] Karan Ahuja、Deval Shah、Sujeath Pareddy、Franceska Xhakaj、Amy Ogan、Yuvraj Agarwal 和 Chris Harrison。2021年。《课堂数字孪生与无仪器眼动追踪》。载于《2021年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI '21），计算机协会，纽约，NY，美国，1 9 10 1145 3411764 3445711 –。DOI：https://doi.org/。/。Sultan A. Alharthi、Katta [2] Spiel、William A. Hamilton、Elizabeth Bonsignore 和 Zachary O. Toups。。《协作式混合现实游戏》。载于《2018年ACM计算机支持的协同工作与社会计算会议伴随论文集》（CSCW '18），计算机协会，纽约，NY，美国，447 454 10 1145 3272973 3273013 –。DOI：https://doi.org/。/。Chris Baber 、 James Cross 、 Tariq Khaleel 和 Russell Beale。。《作为意义建构的基于位置的摄影》。载于《第 22 届英国人机交互组人与计算机年会论文集：文化、创造力、交互 —— 第1卷》（BCS-HCI '08），BCS Learning & Development Ltd.，斯温顿，英国，133–140。[4] Marc Badger、Yufu Wang、Adarsh Modh、Ammon Perkes、Nikos Kolotouros、Bernd G. Pfrommer、Marc F. Schmidt 和 Kostas Daniilidis。2020年。《三维鸟类重建：数据集、模型与单视图形状恢复》。载于《计算机视觉——ECCV 2020：第16届欧洲会议，英国格拉斯哥，2020年8月23—28日，论文集，第XVIII部分》，施普林格出版社，柏林，海德堡，1–17。DOI：https://doi.org/10 1007 978 3 030 58523 5_1 ./ - - - - Eric P.S. Baumer 和 M. Six Silberman。。《当设计（技术）并非所求》。载于《SIGCHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI ' 11 2271 2274 10 1145 1978942 1979275 ），ACM，纽约，NY，美国，– 。DOI：https://doi.org/。/。Pieter J. Beers、Henny P. A. Boshuizen、Paul A. Kirschner 和 Wim H. Gijselaers。。《共同基础、复杂问题与决策》。Group Decis Negot 15, 6 529 556 10 1007 10726 006 9030 1 （11月），– 。DOI：https://doi.org/。/s - - - Peter Bennett、Mike Fraser 和 Madeline Balaam。。《ChronoTape：用于家族史的实体时间线》。载于《第六届实体、嵌入式与具身交互国际会议论文集》（TEI '12），计算机协会，纽约，NY，美国，49 56 10 1145 2148131 2148144 – 。DOI：https://doi.org/。/。Peter Bennett、Heidi Hinder、Seana Kozar、Christopher Bowdler、Elaine Massung、Tim Cole、Helen Manchester 和 Kirsten Cater。2015年。《TopoTiles：在养老院中借助地形实体物件讲故事》。载于《第33届ACM计算机系统人为因素年会扩展摘要》（CHI EA '15），计算机协会，纽约，NY，美国，911–916。DOI：https://doi.org/10 1145 2702613 2732918 ./。George R. Bent、David Pfaff、Mackenzie Brooks、Roxanne Radpour 和 John Delaney。2022年。《复杂历史遗址及其装饰性室内空间三维重建的实用工作流程：Florence As It Was与奥桑米凯莱教堂》。遗产科学 10, 1（2022年7月），118 10 1186 40494 022 00750 1 。DOI：https://doi.org/。/s - - - Mark Billinghurst 和 Hirokazu Kato。。《协作式增强现实》。Commun. ACM 45, 7（2002年7月），64–70。DOI：https://doi.org/10 1145 514236 514265 ./。Virginia Braun 和 Victoria Clarke。。《心理学中的主题分析》。Qualitative research in psychology 3, 2（2006年），77–101。[12] Margot Brereton、Alessandro Soro、Kate Vaisutis 和 Paul Roe。2015年。《消息水壶：为成年子女与年长父母之间的远距离联结进行原型设计》。载于《第33届ACM人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI '15），ACM，纽约，NY，美国，713 716 10 1145 2702123 2702462 –。DOI：https://doi.org/。/。Rohan Chabra、Adrian Ilie、Nicholas Rewkowski、Young-Woon Cha 和 Henry Fuchs。2017年。《针对已知 3 *2017* 157 166 10 1109 2017 7892243 D动态场景捕捉优化商用深度摄像机的布置》。载于IEEE虚拟现实会议（VR），–。DOI：https://doi.org/。/VR.。Wen-Huei Chou、Yi-Chun Li、Ya-Fang Chen、Mieko Ohsuga 和 Tsuyoshi Inoue。。《利用虚拟现实促进代际交流的实证研究：以台湾传统布袋戏为例》。Sustainability 14, 6（2022年1月），3213。DOI：https://doi.org/10 3390 14063213 ./su Herbert H. Clark（编）。。《共同基础》。载于《语言使用》。剑桥大学出版社，剑桥，92–122。DOI：https://doi.org/10 1017 9780511620539 005 ./CBO。Sheri T. Dorn、Milton G. Newberry、Ellen M. Bauske 和 Svoboda V. Pennisi。2018年。《21世纪的推广园艺大师志愿者：受过教育、富足且尽职尽责》。园艺技术 28, 2（2018年4月），218–229。DOI：https://doi.org/10.21273/HORTTECH03998- 18[17] Carmine Elvezio、Mengu Sukan、Ohan Oda、Steven Feiner 和 Barbara Tversky。2017年。《利用虚拟副本在增强现实与虚拟现实中进行远程协作》。载于ACM SIGGRAPH 2017 VR Village（SIGGRAPH '17），计算机协会，纽约，NY，美国，1–2。DOI：https://doi.org/10 1145 3089269 3089281 ./。Geraldine Fauville、Anna C. M. Queiroz、Linda Hambrick、Bryan A. Brown 和 Jeremy N. Bailenson。2020年。《利用虚拟现实教授海洋酸化的参与式研究：海洋教育社群中的一项研究》。环境教育研究 0, 0（2020年），1–25。DOI：https://doi.org/10 1080 13504622 2020 1803797 ./。Lei Gao、Huidong Bai、Weiping He、Mark Billinghurst 和 Robert W. Lindeman。2018年。《移动混合现实远程协作的实时视觉呈现》。载于SIGGRAPH Asia 2018虚拟与增强现实（SA '18），计算机协会，纽约，NY，美国，1 2 10 1145 3275495 3275515 –。DOI：https://doi.org/。/。Danilo Gasques、Janet G. Johnson、Tommy Sharkey、Yuanyuan Feng、Ru Wang、Zhuoqun Robin Xu、Enrique Zavala、Yifei Zhang、Wanze Xie、Xinming Zhang、Konrad Davis、Michael Yip 和 Nadir Weibel。2021年。《ARTEMIS：用于沉浸式远程手术指导的协作式混合现实系统》。载于《2021年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》。计算机协会，纽约，NY，美国，1 14 24, 2021 10 1145 3411764 3445576 –。检索于10月，网址：https://doi.org/。/。Jennifer A. Gonzalez。。《自我地形志》。义肢化领地：政治与……（1月）。检索于2022年8月25日，网址：https://www.academia.edu/2217199/Autotopographies

[22] Elizabeth Goodman 和 Daniela Rosner。2011年。《从服装到花园：在线与“亲手”协商物质关系》。载于《SIGCHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI ’11），ACM，纽约，NY，美国，2257–2266。DOI：https://doi.org/10 1145 1978942 1979273 . / 。Maria Håkansson 和 Lalya Gaye。[23] 2008 。《将情境置于前景：为一款新型静态相机应用设计创造性参与》。载于《第7届ACM交互系统设计会议论文集》（DIS ’08），计算机协会，纽约，NY，美国，164 173 10 1145 1394445 1394463 – 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Maria Håkansson、Sara Ljungblad、Lalya Gaye 和[24] 2006 Lars Erik Holmquist。。《情境摄影研究片段》。载于《CHI ’06人机交互系统中的人为因素会议扩展摘要》（CHI EA ’06），计算机协会，纽约，NY，美国，333–338 10 1145 1125451 1125525 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Jennifer Healey、Duotun Wang、Curtis Wigington、Tong Sun 和 Huaishu[25] Peng。2021年。《促进儿童参与远程代际故事讲述的混合现实系统》。载于2021年IEEE混合与增强现实国际研讨会附属会议（ISMAR-Adjunct），274 279 10 1109 54149 2021 00063 – 。DOI：https://doi.org/ 。 /ISMAR-Adjunct 。。Sara Heitlinger、Nick Bryan-Kinns 和[26] 2013 Janis Jefferies。。《面向基层城市食物种植社区的可持续人机交互》。载于《第 25 届澳大利亚人机交互会议：增强、应用、创新与协作论文集》（ OzCHI ’13 ），计算机协会，纽约，NY，美国，255 264 10 1145 2541016 2541023 – 。DOI：https://doi.org/ 。[27] 2013 / 。Atsushi Hiyama 、 Hiroyuki Onimaru 、 Mariko Miyashita 、 Eikan Ebuchi 、 Masazumi Seki 和 Michitaka Hirose。。《用于测量和学习工匠隐性技能的增强现实系统》。载于《人机界面与信息管理：面向健康、安全、移动性与复杂环境的信息与交互》，施普林格柏林海德堡，柏林，海德堡，85–91。[28] H.G. Hoffman。1998年。《通过触觉增强亲手触摸虚拟物体，可提升虚拟环境的真实感》。载于《论文集：IEEE 1998年虚拟现实年度国际研讨会》（目录号98CB36180），59–63。DOI：https://doi.org/10 1109 1998 658423 . /VRAIS. 。Adrian Hon。。《数字视野管理与亚马逊收据失踪之谜》。检索于2022年8月30日，[29] 2020 网址：https://mssv.net/2020/08/16/digital-sight-management-and-the-mystery-of-the-missing-amazon-receipts/ [30] Kevin Huang、Jiannan Li、Mauricio Sousa 和 Tovi Grossman。2022年。《immersivePOV：使用头戴式360°运动相机拍摄教程视频》。载于《2022年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI ’22），计算机协会，纽约，NY，美国，1 13 10 1145 3491102 3517468 – 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Lisa Brown[31] 2019 Jaloza。。《Facebook Reality Labs内部：研究更新与社会联结的未来》。Tech at Meta。检索于2022年8月24日，网址：https://tech.fb.com/ar-vr/2019/09/inside-facebook-reality-labs-research-updates-and-the-future-of-social-connection/ [32] Shunichi Kasahara 和 Jun Rekimoto。2015年。《JackIn head：用于远程协作、配备全向可穿戴相机的沉浸式视觉临场系统》。载于《第21届ACM虚拟现实软件与技术研讨会论文集》（VRST ’15），计算机协会，纽约，NY，美国，217 225 10 1145 2821592 2821608 – 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。[33] 2009 Eng Tat Khoo、Tim Merritt 和 Adrian David Cheok。。《设计实体化与社交化的跨代家庭娱乐》。与计算机交互21, 1 2 2009 76 87 10 1016 2008 10 009 –（1月），– 。DOI：https://doi.org/ 。 /j.intcom. . 。Ryohei[34] 2017 Komiyama、Takashi Miyaki 和 Jun Rekimoto。。《JackIn Space：为有效的临场协作设计第一人称视角与第三人称视角间的无缝切换》。载于《第8届增强人类国际会议论文集》（AH ’17），ACM，纽约，NY，美国，14 1 14 9 10 1145 3041164 3041183 :- : 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Karol[35] 2012 Kwiatek。。《如何留存曾环绕诗人的启发性环境？沉浸式360°视频与Charles Causley诗歌的文化记忆》。载于2012年第18届虚拟系统与多媒体国际会议，243–250。DOI：https://doi.org/10 1109 2012 6365931 . /VSMM. 。Cun Li、Jun Hu、Bart Hengeveld 和 Caroline Hummels。2019年。《Story-Me：[36] 为支持老年人的代际故事讲述与保存而设计的系统》。载于《2019年交互系统设计会议伴随出版物》（DIS ’19 Companion），计算机协会，纽约，NY，美国，245 250 10 1145 3301019 3323902 – 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。[37] 2020 Yifang Li、Nishant Vishwamitra、Hongxin Hu 和 Kelly Caine。。《迈向照片内容敏感度与分享偏好的分类体系》。载于《2020年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI ’20），计算机协会，纽约，NY，美国，1 14 10 1145 3313831 3376498 – 。DOI：[38] 2018 https://doi.org/ 。 / 。Stephen Lombardi、Jason Saragih、Tomas Simon 和 Yaser Sheikh。。《用于人脸渲染的深度外观模型》。ACM Trans. Graph. 37, 4（2018 68 1 68 13 10 1145 3197517 3201401 年7月），：-: 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Peter Lyle、Jaz Hee-jeong Choi 和 Marcus[39] 2015 Foth。。《在城市中种植食物：面向城市住宅园艺者的设计构思》。载于《第7届社区与技术国际会议论文集》（C&T ’15），ACM，纽约，NY，美国，89–97。DOI：https://doi.org/10 1145 2768545 2768549 . / 。Hanuma Teja Maddali、Andrew Irlitti 和 Amanda Lazar。2022年。《探索扩展现实在花园[40] 中联结专家与新手的潜力》。载于ACM人机交互，29 10 1145 3555211 。DOI：https://doi.org/ 。 /[41] 2020 Hanuma Teja Maddali 和 Amanda Lazar。。《花园中的社交性与技能分享》。载于《2020年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集》（CHI ’20），计算机协会，纽约，NY，美国，1–13。DOI：https://doi.org/10 1145 3313831 3376246 . / 。Thomas M. Malaby。。《超越游戏》。Games and Culture 2, 2（[42] 2007 2007年），95。检索于2022年9月2日，网址：https://www.academia.edu/239795/Beyond_Play_A_New_Approach_to_Games [43] McGill 和 Mark。2021年。《IEEE扩展现实伦理全球倡议报告——扩展现实与匿名性和隐私的侵蚀》。扩展现实与匿名性和隐私的侵蚀——白皮书（2021年11月），1–24。[44] Vibhav Nanda、Hanuma Teja Maddali 和 Amanda Lazar。2022年。《扩展现实是否会在代际情境中造成体验不对称？》ACM，雅典，希腊。DOI：https://doi.org/10 1145 3517428 3550373 . / 。Ohan Oda、Carmine Elvezio、Mengu Sukan、Steven Feiner 和 Barbara Tversky。[45] 2015年。《虚拟现实与增强现实中的远程协助虚拟副本》。载于《第28届ACM用户界面软件与技术研讨会论文集》（UIST ’15），ACM，纽约，NY，美国，405 415 10 1145 2807442 2807497 – 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。William Odom。。《“伙计，我们不需要芯片告诉我们土壤[46] 2010 干了”：支持城市食物生产的交互系统设计机会》。载于《第8届ACM交互系统设计会议论文集》（DIS ’10），ACM，纽约，NY，美国，232–235 10 1145 1858171 1858211 。DOI：https://doi.org/ 。 / 。Jason Orlosky、Misha Sra、Kenan Bektaş、Huaishu Peng、Jeeeun Kim、[47] Nataliya Kos’myna、Tobias Höllerer、Anthony Steed、Kiyoshi Kiyokawa 和 Kaan Akşit。2021年。《Telelife：远程生活的未来》。《虚拟现实前沿》2，（2021年）。检索于2022年8月18日，网址：https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.763340

[48] Sergio Orts-Escolano、Christoph Rhemann、Sean Fanello、Wayne Chang、Adarsh Kowdle、Yury Degtyarev、David Kim、Philip L. Davidson、Sameh Khamis、Mingsong Dou、Vladimir Tankovich、Charles Loop、Qin Cai、Philip A. Chou、Sarah Mennicken、Julien Valentin、Vivek Pradeep、Shenlong Wang、Sing Bing Kang、Pushmeet Kohli、Yuliya Lutchyn、Cem Keskin 和 Shahram Izadi。2016年。《Holoportation：实时虚拟三维传送》。载于第29届年度用户界面软件与技术研讨会论文集（UIST ’16），ACM，纽约，美国，741–754。DOI：https://doi.org/10.1145/2984511.2984517。[49] 2016《超越娱乐：老年人及其年轻家庭成员玩电子游戏的动机与结果》。Games and Culture 11, 1–2（2016年1月），130–149。DOI：https://doi.org/10.1177/1555412015602819。[50] 2020Aswati Panicker、Kavya Basu 和 Chia-Fang Chung。《角色与情境的变化：远程代际家庭成员分享食物和进食习惯中的符号互动论》。ACM人机交互会议录 4，CSCW1（2020年5月），43:1-43:19。DOI：https://doi.org/10.1145/3392848。[51] 2016年。《Room2Room：在投影增强现实环境中实现真人大小的远程临场》。载于第19届ACM计算机支持的协同工作与社交计算会议论文集（CSCW ’16），计算机协会，纽约，美国，1716–1725。DOI：https://doi.org/10.1145/2818048.2819965。[52] 2020DOI：https://doi.org/。/。Melissa Escamilla Perez、Stephanie T. Jones、Sarah Priscilla Lee 和 Marcelo Worsley。。《与幼儿开展代际创客活动》。载于 FabLearn 2020——第9届年度创客教育会议论文集（FabLearn ’20），计算机协会，纽约，美国，68–73。DOI：https://doi.org/10.1145/3386201.3386225。[53] 2010Daniela Petrelli 和 Steve Whittaker。。《家中的家庭记忆：实体与数字纪念品的对比》。Personal Ubiquitous Comput. 14, 2（2010年）：153–169。DOI：https://doi.org/10.1007/s00779-009-0279-7。[54] 2008Jens Brockmeier。。《自我地形学：实体纪念品能告诉我们什么关于数字记忆的信息？》。载于SIGCHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI ’08），计算机协会，纽约，美国，53–62。DOI：https://doi.org/10.1145/1357054.1357065。[55] 2018Bruce H. Thomas 和 Mark Billinghurst。2019年。《巨人肩上：通过360度视频分享和实体交互实现多尺度混合现实协作》。载于2019年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI ’19），228:1–228:17。DOI：https://doi.org/10.1145/3290605.3300458。[56] 2018DOI：https://doi.org/。/。Christina Pollalis、Elizabeth Joanna Minor、Lauren Westendorf、Whitney Fahnbulleh、Isabella Virgilio、Andrew L. Kun 和 Orit Shaer。。《评估借助考古文物的实体和虚拟呈现开展的学习》。载于第十二届实体、嵌入式与具身交互国际会议论文集（TEI ’18），计算机协会，纽约，美国，626–637。DOI：https://doi.org/10.1145/3173225.3173260。/。Proximie。《技术如何促进手术中的同行协作》。取自 https://www.proximie.com/how-technology-is-boosting-peer-to-peer-collaboration-in-surgery/[57] [58] Iulian Radu、Tugce Joy 和 Bertrand Schneider。2021年。《虚拟创客空间：融合AR/VR/MR以支持实体创客活动中的远程协作》。载于2021年CHI人机交互系统中的人为因素会议扩展摘要集。计算机协会，纽约，美国，1–5。检索日期：10月31, 2021，网址：https://doi.org/10.1145/3411763.3451561。[59] 2021Glenda Revelle、Koichi Mori、Rafael Ballagas、Kyle Buza、Hiroshi Horii、Joseph Kaye、Kristin Cook、Natalie Freed、Janet Go 和 Mirjana Spasojevic。2011年。《喂，奶奶在吗？我们来读书吧！StoryVisit：家庭视频聊天与互联电子书》。载于SIGCHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI ’11），计算机协会，纽约，美国，1195–1204。DOI：https://doi.org/10.1145/1978942.1979121。[60] 2021年。《为多用户增强现实体验设计注重隐私的分享技术》。VR4Sec：第一届XR安全与安全领域XR国际研讨会（2021年1月）。检索于2022年8月18日，网址：https://par.nsf.gov/biblio/10312789-designing-privacy-informed-sharing-techniques-multi-user-ar-experiences[61] Logan Reis、Kathryn Mercer 和 Jennifer Boger。《促进代际联结与关系的技术：范围综述与新兴概念》|。DOI：10.1016/2020.101494。Elsevier增强型阅读器。[62] 2016 4DOI：https://doi.org/。/j.techsoc.。Selma Rizvic、Vensada Okanovic、Irfan Prazina 和 Aida Sadzak。。《白色堡垒的三维虚拟重建》。欧洲计算机图形学协会。DOI：https://doi.org/10.2312/20161387。/gch Selma Rizvic 和 Irfan Prazina。。《塔斯利汗虚拟重建——互动数字故事还是严肃游戏》。载于2015年第7届游戏与虚拟世界严肃应用国际会议（VS-Games），1–2。DOI：https://doi.org/10.1109/2015.7295786。[63] 2015Jim Scheibmeir。。《数字孪生的质量属性》。博士论文。科罗拉多州立大学。[64] 2021Claudia Schlegel、Alain Geering 和 Uwe Weber。2021年。《虚拟空间中的学习：一项代际试点项目》。GMS J Med Educ 38，2（2月）：Doc37。DOI：https://doi.org/10.3205/001433。[65] [66] Hansu Lee、Seungmi Choi、Suhyun Jo、Heejae Jung、Subin Park 和 Hyunggu Jung。2019年。《探索年轻人与老年人在地铁火灾情境中的虚拟现实体验：一项试点研究》。载于第25届ACM虚拟现实软件与技术研讨会（VRST ’19），1–2。DOI：https://doi.org/10.1145/3359996.3364788。[67] 2022https://doi.org/。/。Elisa Serafinelli 和 Lauren Alex O’Hagan。。《无人机视角：多模态民族志视角》。Visual Communication（5月），14703572211065092。DOI：https://doi.org/10.1177/14703572211065093。[68] Mike Shafto、M Conroy、R Doyle、E Glaessgen、C Kemp、J LeMoigne 和 L Wang。2010年。《建模、模拟、信息技术与处理路线图》。[69] Rita Shewbridge、Amy Hurst 和 Shaun K. Kane。2014年。《日常创作：探索3D打印在家庭中的未来用途》。载于2014年交互系统设计会议论文集（DIS ’14），计算机协会，纽约，美国，815–824。DOI：https://doi.org/10.1145/2598510.2598544。/。[70] 2015Adalberto L. Simeone 和 Eduardo Velloso。。《替代现实：将虚拟现实带回家》。XRDS 22，1（2015年11月），24–29。DOI：https://doi.org/10.1145/2810044。/ Mike Sinclair、Eyal Ofek、Mar Gonzalez-Franco 和 Christian Holz。2019年。《CapstanCrunch：具有用户自供力反馈的触觉虚拟现实控制器》。载于第32届ACM年度用户界面软件与技术研讨会论文集（UIST ’19），计算机协会，纽约，美国，815–829。DOI：https://doi.org/10.1145/3332165.3347891。[71] 2018Harrison Jesse Smith 和 Michael Neff。。《具身虚拟现实中的沟通行为》。载于2018年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI ’18），289:1–289:12。DOI：https://doi.org/10.1145/3173574.3173863。[72] 2016 2016Misha Sra 和 Chris Schmandt。。《将真实物体、空间、行动和互动带入社交虚拟现实》。载于IEEE第三届协作虚拟环境虚拟现实国际研讨会（3DVE），16–17。DOI：https://doi.org/10.1109/3DVE.2016.7563561。[73] 2016Scott Stein。《Google三维动物：如何通过Google搜索等方式召唤增强现实动物》。CNET。检索于2022年9月2日，网址：https://www.cnet.com/tech/services-and-software/google-3d-animals-how-to-use-cool-ar-feature-at-home-list-of-objects/[74] 3

[75] Paul Strohmeier 和 Kasper Hornbæk。2017年。《使用振动触觉致动器生成触觉纹理》。载于2017年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI '17），计算机协会，纽约，美国，4994–5005。DOI：https://doi.org/ 10 1145 3025453 3025812 。/。Hongling Sun、Yue Liu、Zhenliang Zhang、[76] Xiaoxu Liu 和 Yongtian Wang。2018年。《在协作增强环境中采用不同视角进行远程指导》。载于第六届中国CHI国际研讨会论文集（ChineseCHI '18），计算机协会，纽约，美国， 64 70 10 1145 3202667 3202676 –。DOI：https://doi.org/。/。Anthony Tang、Omid [77] 2017 360 Fakourfar、Carman Neustaedter 和 Scott Bateman。。《借助360度视频聊天进行协作：挑战与机遇》。载于2017年交互系统设计会议论文集（DIS '17），计算机协会，纽约，美国， 1327 1339 10 1145 3064663 3064707 –。DOI：https://doi.org/。/。Andre Taulien、Anika Paulsen、Tim [78] Streland、Benedikt Jessen、Stefan Wittke 和 Michael Teistler。2019年。《支持海洋栖息地学习的混合现实环境模拟：以新颖的用户体验传递教育知识的方法》。载于 Mensch und Computer 2019论文集（MuC'19），计算机协会，纽约，美国，921–925。DOI：https://doi.org/ 10 1145 3340764 3345382 。/。[79] Theophilus Teo、Louise Lawrence、Gun A. Lee、Mark Billinghurst 和 Matt Adcock。2019年。《结合360度视频与三维重建的混合现实远程协作》。载于2019年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI '19），计算机协会，纽约，美国， 1 14 10 1145 3290605 3300431 –。DOI：https://doi.org/。/。Theophilus Teo、Mitchell Nor [80] 2020 man、Gun A. Lee、Mark Billinghurst 和 Matt Adcock。。《探索在混合现实远程协作的三维重建场景中使用360度全景图的交互技术》。J Multimodal User Interfaces 14，4（2020年12月），373–385。DOI：https://doi.org/10.1007/s12193-020-00343-x [81] Arnout Terpstra、Alexander P. Schouten、Alwin de Rooij 和 Ronald E. Leenes。2019年。《通过设计改善隐私选择：面向反思的设计如何支持隐私自我管理》。First Monday（6月 2019 10 5210 24 7 9358 ）。DOI：https://doi.org/。/f [82] 2019 m.v i。Balasaravanan Thoravi Kumaravel、Fraser Anderson、George Fitzmaurice、Bjoern Hartmann 和 Tovi Grossman。。《Loki：通过双向混合现实远程临场促进实体任务的远程教学》。载于第32届ACM年度用户界面软件与技术研讨会论文集（UIST '19），计算机协会，纽约，美国，161–174。DOI：https://doi.org/ 10 1145 3332165 3347872 。/。Rundong Tian、Sarah Sterman、Ethan Chiou、Jeremy Warner 和 Eric Paulos。2018年。《[83] MatchSticks：通过即兴数字制造开展木工活动》。载于2018年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI '18），计算机协会，纽约，美国， 1 12 10 1145 3173574 3173723 –。DOI：https://doi.org/。/。Priscilla Ulguim。。《模型与元数据：在线分享 [84] 2018 3 生物考古学三维模型的伦理问题》。Arch 14，2（2018年8月），189–228。DOI：https://doi.org/10.1007/s11759-018-9346-x [85] Cheng Yao Wang、Sandhya Sriram 和 Andrea Stevenson Won。2021年。《共享现实：重建体验中的虚拟形象认同与隐私问题》。ACM人机交互会议录 5, 2 2021 337 1 337 25 10 1145 3476078 CSCW（10月），：-：。[86] 2014 DOI：https://doi.org/。/ Christian Weichel、Manfred Lau、David Kim、Nicolas Villar 和 Hans W. Gellersen。。《MixFab：用于个人制造的混合现实环境》。载于 SIGCHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI '14），计算机协会，纽约，美国， 3855 3864 10 1145 2556288 2557090 –。DOI：https://doi.org/。/。Maximiliane Windl、Niels Henze、Albrecht [87] 2022 Schmidt 和 Sebastian S. Feger。。《自动化情境隐私政策：数字消费者隐私意识生产工具的设计与评估》。载于2022年CHI人机交互系统中的人为因素会议论文集（CHI ' 22 1 18 10 1145 3491102 3517688 ），计算机协会，纽约，[88] 2022 3 2022 美国，–。DOI：https://doi.org/。/。Yufei Ye、Abhinav Gupta 和 Shubham Tulsiani。。《你手里拿着什么？手中通用物体的三维重建》。（4月）。DOI：https://doi.org/ 10 48550 2204 07153 。/arXiv.。Xenophon Zabulis、Carlo Meghini、Nikolaos Partarakis、Cynthia Beisswenger、[89] Arnaud Dubois、Maria Fasoula、Vito Nitti、Stavroula Ntoa、Ilia Adami、Antonios Chatziantoniou、Valentina Bartalesi、Daniele Metilli、Nikolaos Stivaktakis、Nikolaos Patsiouras、Paraskevi Doulgeraki、Effie Karuzaki、Evropi Stefanidi、Ammar Qammaz、Danae Kaplanidi 和 George Galanakis。2020年。《传统工艺的呈现与保护》。Sustainability 12, 2020 1461 10 3390 12041461 （2月），。DOI：https://doi.org/。/su [90] 2021 Yaying Zhang、Brennan Jones、Sean Rintel 和 Carman Neustaedter。。《XRmas：用于神奇远程圣诞节的扩展现实多机构空间》。取自 https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/xrmas-extended-reality-multi-agency-spaces-for-a-magical-remote-christmas/ [91] Z. Zhou、A.D. Cheok、S.P. Lee、L.N. Thang、C.K. Kok、W.Z. Ng、Y.K. Cher、M.L. Pung 和 Y. Li。2005年。《Age Invader：面向老年人与年轻人的自然社交—实体代际互动的人类媒体》。载于2005年主动媒体技术国际会议论文集， *2005* *2005* 203 204 10 1109 2005 1505308 。（AMT）。,–。DOI：[92] 2018 https://doi.org/。/AMT.。Jakob Zillner、Erick Mendez 和 Daniel Wagner。。《通过稠密重建实现增强现实远程协作》。载于2018年IEEE混合现实与增强现实国际研讨会附属会议（ISMAR-Adjunct），38–39。DOI：https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct. 2018 00028 。. NGA从花园到餐桌报告。美国国家园艺协会。取[93] 2014 自 https://garden.org/special/pdf/2014-NGA-Garden-to-Table.pdf [94] _ 2015。《介绍YardMap：公民科学家发挥作用》。检索于2022年12月12日，网址：https://www.youtube.com/watch?v=-MFR20oN 5w[95] 2018 。Osso VR，虚拟现实外科培训平台。取自 https://ossovr.com/ [96] 2018。Facebook照片回忆三维虚拟现实重建。检索于2022年9月6日，网址：https://www.youtube.com/watch?v=Ur1Z72_LyTM [97] 2019。XR Access研讨会报告。取自 https://docs.google.com/document/d/131eLNGES3_2M5_roJacWlLhX-nHZqghNhwUgBF5lJaE/edit [98] 2019。Facebook Reality Labs：LiveMaps / Oculus Connect 6。检索于2022年8月30日，网址：https://www.youtube.com/watch?v=JTa8zn0RNVM [99] 2019。为视力障碍人士打造的地图语音导航。Google。检索于2022年8月30日，网址：https://blog.google/products/maps/better-maps-for-people-with-vision-impairments/ [100] 2020。Remote Assist，Microsoft Dynamics 365。取自 https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/remote-assist/ [101] 2021。数字人时代：推动照片级真实感数字角色创作不断突破。NVIDIA技术博客。检索于2022年9月11日，网址：https://developer.nvidia.com/blog/an-era-of-digital-humans-pushing-the-envelope-of-photorealistic-digital-character-creation/ [102] 借助Presence Platform构建混合现实：工作与娱乐的新维度。检索于2022年9月11日，网址：https://www.oculus.com/blog/building-mixed-reality-with-presence-platform-a-new-dimension-for-work-and-fun/

[103] 推动 3D 内容理解领域的最先进技术。检索于 2022年9月11日，网址：https://ai.facebook.com/blog/pushing-state-of-the-art-in-3d-content-understanding/ [104] Agisoft Metashape：Agisoft Metashape。检索于 2022年11月29日，网址：https://www.agisoft.com/ [105] networked-aframe/networked-aframe：用于构建多用户虚拟现实体验的 Web 框架。检索于 2022年9月10日，网址：https://github.com/networked-aframe/networked-aframe [106] 推出 Niantic Planet-Scale AR Alliance：汇聚移动产业，共同迈向消费级增强现实的 5G 未来。检索于 2022年8月30日，网址：https://nianticlabs.com/news/niantic-planet-scale-ar-alliance-5g/ [107] 增强现实应用中的伦理考量 - ProQuest。检索于 2022年9月7日，网址：https://www.proquest.com/openview/563a017acbaddcfef2b659a9b6d3457f/1?cbl=1976356&pq-origsite=gscholar [108] Memento。*Memento*。检索于 2022年9月6日，网址：https://www.mementovr.com