

跨现实生活方式：通过多平台元宇宙整合物理和虚拟生活

Yuichi Hiroi, *Cluster Metaverse Lab, Tokyo, 141-0031, Japan*

Yuji Hatada, *The University of Tokyo, Tokyo, 113-8656, Japan*

Takefumi Hiraki, *Cluster Metaverse Lab, Tokyo, 141-0031, Japan and University of Tsukuba, Ibaraki, 305-8550, Japan*

Abstract—技术进步正在重新定义物理空间和虚拟空间之间的关系。传统上，当用户参与虚拟现实（VR）时，他们完全与物理空间隔绝；同样，在进行物理活动时，他们也无法访问虚拟体验。然而，现代多平台元宇宙环境允许通过移动设备同时参与，为综合体验创造了新的机会。本研究介绍了“跨现实生活方式”的概念，以考察用户如何积极结合他们的物理和虚拟活动。我们识别了三种整合模式：1) 放大：一个空间增强另一个空间的体验；2) 互补：空间提供不同的但同样有价值的替代方案；3) 涌现：同时参与创造出全新的体验。通过分析商业平台，我们创建了一个技术框架，该框架解决了内容设计、平台基础设施和设备接口的问题。此框架指导跨现实应用程序的发展，并展示了元宇宙技术如何模糊物理与虚拟体验之间的传统界限。

物理空间与虚拟空间之间的关系正因信息技术的进步而被重新定义。自视频游戏和早期社交虚拟世界（如 Second Life）时代以来，现实空间和虚拟空间被视为互斥的：虚拟空间中的用户被切断了与物理空间信息的联系，而虚拟体验也脱离了日常生活。近年来，沉浸式虚拟现实技术的发展，提供了临场感并使化身体验成为可能，进一步增强了用户与虚拟环境互动的方式 [1]。VR 创造了一种置身于完全不同地点的感觉，实现了非凡、非日常体验的模拟。这种分离引导了两个不同方向的技术发展。数字孪生技术 [2] 将虚拟空间定位为模拟和优化真实环境的工具，确立了物理空间的首要地位。相比之下，元宇宙平台 [3] 如 VRChat¹

和 Cluster² 创建了独立于物理限制的虚拟世界，创造了新的自我表达场所 [4]。这些平台优先考虑虚拟体验，同时最小化与现实世界的联系。

然而，当前的趋势表明，现实和虚拟空间之间的二元划分正在发生变化。例如，年轻一代经常将物理活动与虚拟社交联系结合起来，比如在做家务的同时通过视频通话保持联系 [5]。真实和虚拟空间中的活动共存已随着元宇宙的发展而扩大，尤其是在平台采用跨设备访问性从移动设备（如 VR 头显和智能手机）以及物联网设备集成方面。例如，Roblox³ 作为世界上最大的非沉浸式元宇宙平台之一，在 2023 年增加了对 VR 头显的支持，而许多 VR 头显用户使用的 VRChat 在 2024 年引入了手机访问功能。随着虚拟空间中的活动越来越受欢迎并且这些空间

XXXX-XXX © 2021 IEEE

Digital Object Identifier 10.1109/XXX.0000.0000000

¹<https://hello.vrchat.com/>

²<https://cluster.mu/en>

³<https://www.roblox.com/>



图 1. 一场现场音乐活动在集群上举行，这是一个可通过智能手机访问的元宇宙平台。虽然一些用户使用的是他们的智能手机，但他们正在虚拟现实空间中跳舞并对音乐作出反应。

的多样化接入方式得到开发，同时参与现实和虚拟空间的用户出现了。如图 1 所示，用户可以在进行元宇宙事件的同时，在真实空间中做某事⁴。虽然之前的研究所关注的是两个空间之间存在的主从关系，比如现实生活中的 VR 训练 [6] 或在元宇宙平台上的用户活动 [4]，但这些新兴的同步参与模式仍被研究不足。

本文引入了“跨现实生活体验”的概念，以描述物理空间与元宇宙无缝融合所产生的新兴生活方式模式。我们将这些体验定义为一种新型活动形式，在这种活动中，两个空间互不优先，且两个领域的生命活动整合成统一的活动。这些体验涵盖了从通过虚拟现实增强现实生活能力到通过协调物理和虚拟行为之间的相互作用来打造个性化娱乐等各种内容。

我们将这些跨现实生活体验归类为三种整合模式：1) 放大，2) 补充，3) 生成。通过虚拟平台和社区的示例，我们分析了它们的独特特征。此外，通过将代表性商业元宇宙平台映射到技术要求和整合模式上，我们提出了一种设计有效跨现实体验的框架。本研究为旨在创建具有影响力和意义的跨现实应用程序的开发者和设计师提供了实用见解。

⁴ 音乐聚集群 第1卷 <https://cluster.mu/e/96cf9bff-5cd5-406b-ac50-dc51e9ef08a0>

跨现实生活体验的分类

米尔格拉姆等人提出的现实-虚拟连续统一体 [7] 将真实空间和虚拟空间视为一个光谱的两极，增强现实 (AR)，即用虚拟信息增强物理空间，以及增强虚拟性 (AV)，即将物理元素加入虚拟空间，填充了这两极之间的空白。

虽然这一框架主要关注感知体验，但我们的研究将其扩展到了日常活动中。这种扩展强调了用户在结合物理和元宇宙空间时的主动代理能力。用户根据情况和意图动态调整他们的参与程度，在这些空间之间自由移动。这一“跨现实生活体验”的概念将混合现实延伸到了日常生活中。

我们通过两个维度分析这些新兴的生活方式模式：“时间关系”，考察一个空间是否优先存在或它们同时共存，以及“价值互动模式”，探讨跨空间的活动如何产生新的价值形式。基于这两个维度，我们识别出三种整合类型：放大、互补和涌现 (图 2)。以下各节将通过相关文献来审视每一种类型。

放大型集成

放大型集成涉及通过另一个空间的干预来增强元宇宙 (M) 或现实空间 (R) 的经验价值。这种模式遵循一个清晰的时间顺序，表现为现实优先或元宇宙优先的放大。

现实优先放大 以现实为先的放大基于真实空间中的体验，其中元宇宙元素增强了固有价值。这种模式的特点在于部分参与元宇宙作为催化剂来定性提升现实生活中的体验。这种以现实为先的放大传统上是在数字孪生和虚拟现实培训背景下考虑的，Slater 和 Sanchez-Vives 提供了全面概述 [6]。

这种模式在多个领域显示出显著效果。医疗培训，特别是外科教育，利用虚拟空间来培养实际的复杂技能，同时确保安全 [8], [9], [10]。VR/AR 应用也在旅游业中得到了广泛研究 [11]。重要的是，虚拟旅行体验补充而非替代

1. Amplification

Reality-First

- Digital-twin
- VR training etc.

Metaverse-First

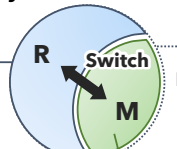
- Anime pilgrimages
- VTuber live event in real-world etc.



2. Complementary

Strengths of R

- Real object operation
- Face-to-face communication etc.



Drawbacks of R

- Physical body disorder
- Distance constraints etc.

Complement by M

3. Emergence

Perform both tasks in parallel

- M is accessed via a mobile device

Emergence qualitatively new experience

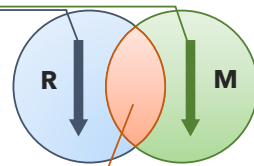


图 2. 物理现实 (R) 和元宇宙 (M) 空间融合的模式。该图说明了三种不同的模式：(1) 放大，其中一个空间通过现实优先和元宇宙优先的方法催化另一个空间的价值提升；(2) 互补，其中 M 提供替代选项以克服 R 的内在限制同时保持 R 的核心优势；(3) 涌现，其中在两个空间中的平行参与创造了超越简单组合的新体验。

实物旅行，通过 VR 旅行增加动机或通过 AR 增强实际访问。

在康复和体育等物理活动中，虚拟现实通过校准的挑战实现技能分级发展 [12]。略高于当前技能水平的虚拟环境能促进成功体验，从而提高现实生活中的表现 [13]。这些虚拟成就建立自我效能感，进而转化为更好的身体结果。

心理学和神经科学的研究人员通过使用虚拟现实作为工具揭示了真实身体所有权和感知的新见解 [14], [15], [16]。研究还表明，体验

不同种族的化身可以减少隐性偏见并培养同理心 [17], [18]。

元宇宙优先放大 元宇宙优先放大效应发生在物理活动深化虚拟空间中原本创造的价值时。经典示例包括“动漫朝圣”，粉丝们访问在动漫或游戏中出现的真实世界地点，以加深与虚构叙事的联系 [19]。同样，虚拟社区（如在线游戏群体和社交网络）的线下“聚会”通过实体互动加强了虚拟纽带 [20]。

更多当代示例包括围绕虚拟 YouTuber (VTubers) [21] 的粉丝活动，其中实体事件和商品增强了虚拟互动。元宇宙平台也通过活动利用这种模式，将用户生成内容 (UGC) 在虚拟空间中的影响与通过主播评论⁵的物理影响相结合，促进更广泛的元宇宙社区参与和创意参与。

互补型集成

互补整合通过结合物理和元宇宙选项来恢复体验的整体性。这一模式的特点是“同时可选状态”，其中两个空间作为平等的替代方案存在，允许用户根据需要选择最佳组合。

通过远程存在进行补充 远程呈现机器人在客户服务中的应用就体现了这种整合，通过减少空间和时间的限制 [22]。虚拟平台，如视频会议工具，通过提供替代的互动模式来补充面对面的交流。此外，“静默学习时段”在 Zoom 上提供了没有社交压力的环境存在感 [23]，而屏幕共享功能可以提升传统会议之外的生产力。

COVID-19 大流行加速了虚拟平台（如 Gather 和 Spatial Chat [24]）在教育 and 会议中的采用。这些轻量级的基于浏览器的二维虚拟环境，即使没有复杂的三维功能，也能通过统一的空间体验有效补充实体空间。

⁵ 集群游戏革命前夕，2024。 <https://geekaku2024.cluster.mu/>

通过化身的补集 虚拟形象使得在物理现实中不可能实现的自我表达形式成为可能。VTuber 建立了新的表达形式, 通过结合真实人物的内在自我与通过虚拟形象表达的新属性, 超越了现实的魅力 [25] 类似地, 基于 CGI 的虚拟影响者正在作为传统人类影响者的替代品在营销中崭露头角 [26], [27]

另一方面, Hatada 等人在一个咖啡馆引入了一个 avatar 系统, 在该系统中, 残疾人士使用远程呈现机器人提供客户服务 [28]。机器人的标准化外观使得员工难以表达个性, 因此该系统加入了一个可定制的虚拟 avatar 作为与客户互动的额外选项。这使员工能够无缝切换物理远程呈现机器人和虚拟 avatar, 允许他们从现实空间和虚拟空间两个方面提供服务。该系统赋予了员工更加动态且真实地参与的能力, 创造了一种更丰富、更有成就感的客户服务体验。

涌现型集成

新兴融合发生在元宇宙和物理空间中的活动同时发生并相互作用时。与互补融合不同, 互补融合通过在元宇宙和物理空间之间切换为用户提供多种选择, 新兴融合涉及两个空间的持续共存和积极结合。这种同步融合创造了一种统一的、多方面的体验, 仅靠任何一个空间都无法实现。

两项技术进步使这种整合成为可能: 社交 VR 社区的成熟和无手 VR 设备 (包括 VR 头显和智能手机) 的广泛可用性。这些发展使得普通用户在两个空间中同时参与在技术上成为可行。

具有不完整社会存在感的涌现现象 人机交互和计算机支持的协同工作社区已将“不完整”的社会存在识别为一种显著模式, 在这种模式中, 用户调节他们的数字参与程度。研究表明, 青少年积极重视这种部分社会存在, 例如在参加视频通话时多任务处理 [5]。YouTube Live 上的“与我一起学习”视频展示了用户如何创建个性化数字社交环境, 平衡参与度与可控的同伴压力 [29]。

通过将“不完整”的社会存在与移动设备上的非沉浸式元宇宙体验结合, 产生了“多任务元宇宙”体验。正如介绍部分所示, 用户在保持物理活动的同时, 在虚拟空间中放置自己的化身以达到最佳参与度。例如, 在元宇宙平台上的虚拟音乐活动中, 用户可以在学习和聆听音乐的同时, 他们的化身会自动跳舞并在活动的关键点积极反应 (图 1)。这种做法满足了那些希望灵活参与而无需持续完全沉浸的用户。

社会纽带的出现 马洛尼和弗里曼关于“VR 睡眠”的报告——个体在物理上独自睡觉, 但在虚拟环境中保持社会存在感的现象——说明了个人的物理活动与虚拟社交互动的融合如何创造了一种独特的亲密形式 [30]。他们指出, 用户常常感觉自己是在虚拟世界中与朋友一起睡觉, 这种体验模糊了物理空间和虚拟空间之间的界限, 从而产生了一种混合体验。

涌现型整合的未来 认知心理学在虚拟现实方面的进展扩展了我们对具身性的理解, 并拓宽了新兴整合的可能性。AR 角色 [31], 通过 AR 显示将虚拟角色叠加到物理身体上, 将普罗透斯效应 [32] (即观察到角色特征影响用户的行为和自我感知) 带入现实世界。这种整合在认知和行为模式方面带来了质的变化, 超越了单纯的视觉变化。

对多个虚拟身体控制的研究 [33] 表明, 可能性超越了简单的元宇宙与现实的组合 (M 和 R), 引入了在保持物理存在的情况下同时参与多个虚拟空间的可能性 (M1、M2、……以及 R)。

跨现实生活方式的技术框架

本节介绍了在元宇宙环境中实现跨现实集成的分析框架。我们首先考察关键维度的基本技术要求, 然后分析当前平台的实现, 并探讨用户生成内容和多平台功能如何促进涌现型集成。

技术要求和架构

我们建立了三个基本维度来描述元宇宙环境并组织其技术需求：

- **目录：**体验设计方法论及元宇宙空间中的交互，包括用户生成内容的创作和共享系统、沉浸式社交活动的整合以及适应用户参与水平的灵活参与模型。
- **平台：**核心技术基础设施包括多设备支持、实时通信系统、多用户可扩展性、统一的 2D/3D 空间管理以及持久数据存储。
- **设备与接口：**通过传感、动作捕捉、VR/AR 设备和物理反馈系统连接物理和虚拟空间的技术。

表 1 系统地组织了这些维度与集成类型之间的关系，通过分类前一节所示示例的技术要求。例如，放大型集成需要针对特定物理任务的高精度训练模拟，而涌现型集成则需要支持两个空间之间松散同步交互的功能，如自动化化身控制。

商业平台分析

我们将当前的元宇宙平台分为六大类，基于核心功能和技术特征，考察每一类如何支持不同形式的跨现实集成。请注意，尽管这些平台可能在多个类别中共享某些特性，但我们根据其主要用途和标志性特点进行分类。

工业元宇宙平台（例如，特定任务应用程序，*NVIDIA Omniverse*）这些平台专注于制造和建筑行业的 workplace simulation 和 digital twin creation。它们整合 CAD 数据和实时传感器信息以优化工厂布局并验证操作流程。技术要求包括精确的工业数据兼容性、安全的高性能基础设施以及通过 AR/VR 设备进行的精准控制环境。内容重点包括具备实时能力的准确物理模拟，同时平台必须提供企业级可靠性和可扩展性。这些平台主要通过传感器和执行器集成支持现实优先放大，并通过远程机器人操作实现互补集成。

2. 以流媒体为重点的平台（例如，*YouTube Live*、*Twitch*）

这些平台强调视频流和围绕内容创作者的社区建设。它们需要高质量的视频传输和观众互动功能（聊天、捐款），并由强大的基础设施支持大规模同时广播。技术考虑因素包括低延迟、高质量视频传输、实时交互处理以及大规模观众数据管理。设备要求保持适度，支持标准 PC 和移动访问。这些平台有效地将元宇宙内容放大给外部受众。尽管一些主播会播出与融合相关的主题内容，例如“一起学习”的直播，但主要的互动模式仍然是从主播到观众的一对一方式。

3. 二维远程会议工具（例如，*Zoom*、*Teams*、*Meet*）

这些通信平台满足了商务会议和在线教育的需求。它们优先保证音频和视频的稳定传输，同时提供文档共享和聊天功能。技术要求集中在低延迟、高安全性、直观的用户界面以及与标准网络摄像头和麦克风的兼容性上。企业应用特别重视安全性和稳定性。这些平台代表了互补整合领域中最成熟的部分，已经成为了实体会议的替代方案，并且对于混合工作和在线教育来说变得至关重要。

4. 二维空间视频会议平台（例如，*Gather*、*SpatialChat*）

这些平台的特点是 2D 地图上的角色移动和基于接近度的音频功能，使非正式的空间互动成为可能，例如学术会议中的海报环节和社会聚会。技术特点包括 2D 角色控制、基于距离的音量调整以及轻量级的浏览器实现。通过减少硬件要求，这些平台能够促进广泛用户参与。作为互补整合的例子，它们通过添加游戏化和角色元素来增强传统的会议系统，以促进自然互动。持续使用，例如在并行任务期间，可能导致准自发性整合。

5. 基于 3D 游戏的平台（例如 *Fortnite*、*Roblox*、*Minecraft*）

最初作为具有预定义目标的游戏平台开发，这些系统通过增强的用户生成内容能力和大规模事件功能演进到了元宇宙的功能。技术要求包括高级 3D 图形处理、支持大规模并

表 1. 跨现实集成的技术要求矩阵：技术维度与集成模式的映射。

维度	放大	互补	涌现
目录	现实第一: - 高精度训练模拟用于特定物理任务 (例如, 医疗程序、体育) - 结构化的学习内容直接映射到实际操作行动 - 感知上下文的引导系统, 可提升物理表现 元宇宙优先: - 虚拟社区或活动 (例如, VTuber 音乐会) - 用户生成内容的管理和推广	远程会议: - 会议、具有稳定用户界面的研讨会 (例如, 屏幕共享、易于使用的控件) 遥存在: - 远程机器人交互或现场监控与互动控制 角色: - 灵活的化身表示 - 隐私意识的社交互动工具 (例如, 变声器)	- 一个没有过度操控的虚拟现实系统 (例如, 自动控制化身的动作和反应) - 灵活的用户生成内容工具支持即兴跨现实活动 - 表示物理状态的 VR 图标
平台	现实优先: - 高性能物理仿真引擎 - 精准的空间追踪与映射 元宇宙优先: - 可扩展的内容分发系统 - 跨平台兼容性 (VR、PC、移动设备) - 鲁棒的 UGC 管理	- 低延迟、稳定的连接 - 可靠的多用户会话管理 - 通过通用 API 实现 2D/2.5D/3D 环境的兼容性 - 不同组大小的缩放 - 设备集成的协议	- 跨平台兼容性 - 始终保持的基础设施支持部分存在状态 - 基于参与状态的动态资源分配 - 上下文感知的状态同步
设备与接口	现实第一: - 高精度跟踪设备 - 专用的输入/输出硬件及其集成 (传感器和执行器) 元宇宙优先: - 消费级 VR/AR 设备 - 可访问的移动界面	远程会议: - 标准的视频/音频设备 远程存在: - 远程操作控制设备 - 环境感知 阿凡达: - 表情虚拟化身的动态捕捉 (用于 VTuber 或主播) - 头部/面部跟踪或唇同步以表达情感	- 轻便、舒适的长时间使用设备 - 在现实与虚拟之间切换 (例如视频透视) - 多角色或多世界参与 (例如, 在实例之间切换输入的控制器) - 集成监控系统跟踪身体状况

发连接以及跨多设备 (PC、游戏机、移动设备) 优化。

许多平台提供专有的开发环境和用户生成内容市场。

在跨现实集成方面, 这些平台通过大型虚拟活动展示了强烈的以元宇宙为中心的放大效应。游戏内的社交互动越来越多地扩展到实体活动 (线下见面会、商品销售)。尽管新兴社区的发展仍然有限, 但不断增强的用户生成内容能力可能会导致自发使用案例的出现。

6. 社交虚拟现实平台 (例如, *VRChat*, *Cluster*, *SecondLife*, *VirtualCast*, *REALITY*, *ZEPETO*) 这些平台专注于通过 3D 角色进行沟通和世界编辑, 支持音乐表演、学术会议和社区活动等各种应用。技术要求包括高质量的 3D 角色渲染、多平台支持 (VR/PC/移动设备) 以及先进的身体追踪技术如动作捕捉。它们提供了显著的用户生成内容自由度, 并鼓励用户积极创建角色和世界。这些平台展示了多样化的跨现实集成模式, 包括通过将 VR 活动扩展到实体活动来放大元宇宙的第一步、基于角色的客户服务和会议实现互补

性集成以及新兴集成为代表的独特文化现象如VR睡眠。

用户生成内容和多平台发展 分析表明,用户生成内容的自由度和多平台支持在加深跨现实体验中起着关键作用。具有更高用户生成内容自由度的平台能够促进更大的用户创造力,从而导致意想不到的新活动出现。多设备支持减少了参与障碍,从而促进了新兴社区的形成。然而,移动平台由于设备限制常常面临用户生成内容的局限性,这对跨现实体验的发展构成了挑战。未来的发展需要在不同设备上保持体验的一致性,同时允许分级部署用户生成的内容,以利用每个平台的特点。

结论

本文介绍了跨现实生活方式的概念,并提出了一种分析元宇宙环境中物理空间与虚拟空间融合的框架。分析揭示了三种不同的融合模式:放大、互补和涌现,并确定了内容、平台基础设施以及设备接口维度上的技术要求。对商业元宇宙平台的系统性分析显示了不同类型的平台如何实现这些要求并支持不同形式的融合。

未来,平台之间的界限预计将变得越来越模糊,并将出现新的混合形式,例如工业和社交功能的融合以及游戏元素与实用应用的整合。未来的研究应集中在开发评估跨现实集成的指标、调查社会和心理影响以及探索新的交互范式。我们希望本研究框架能够为未来的元宇宙服务及应用程序开发的技术规格选择和设计提供指导。

致谢

此项工作部分得到了日本科学技术厅 ASPIRE 补助金编号 JPMJAP2327 的支持。

REFERENCES

1. M. Slater, D. Banakou, A. Beacco, J. Gallego, F. Macia-Varela, and R. Oliva, "A separate reality: An update on place illusion and plausibility in virtual reality," *Front. Virtual Real.*, vol. 3, p. 914392, Jun. 2022.
2. D. M. Botín-Sanabria, A.-S. Mihaita, R. E. Peimbert-García, M. A. Ramírez-Moreno, R. A. Ramírez-Mendoza, and J. d. J. Lozoya-Santos, "Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review," *Remote Sens. (Basel)*, vol. 14, no. 6, p. 1335, Mar. 2022.
3. G. D. Ritterbusch and M. R. Teichmann, "Defining the metaverse: A systematic literature review," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 12 368–12 377, 2023.
4. G. Freeman and D. Maloney, "Body, avatar, and me: The presentation and perception of self in social virtual reality," *Proc. ACM Hum. Comput. Interact.*, vol. 4, no. CSCW3, pp. 1–27, Jan. 2021.
5. M. m. Suh, F. Bentley, and D. Lottridge, "It's kind of boring looking at just the face: How teens multitask during mobile videochat," *Proc. ACM Hum. Comput. Interact.*, vol. 2, no. CSCW, pp. 1–23, Nov. 2018.
6. M. Slater and M. V. Sanchez-Vives, "Enhancing our lives with immersive virtual reality," *Front. Robot. AI*, vol. 3, p. 236866, Dec. 2016.
7. P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum," in *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, H. Das, Ed. SPIE, Dec. 1995, pp. 282–292.
8. J. Abich, IV, J. Parker, J. S. Murphy, and M. Eudy, "A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology," *Virtual Real.*, vol. 25, no. 4, pp. 919–933, Dec. 2021.
9. L. Jensen and F. Konradsen, "A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 1515–1529, Jul. 2018.
10. B. Xie, H. Liu, R. Alghofaili, Y. Zhang, Y. Jiang, F. D.

- Lobo, C. Li, W. Li, H. Huang, M. Akdere, C. Mousas, and L.-F. Yu, "A review on virtual reality skill training applications," *Front. Virtual Real.*, vol. 2, p. 645153, Apr. 2021.
11. R. Yung and C. Khoo-Lattimore, "New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research," *Curr. Issues Tourism*, vol. 22, no. 17, pp. 2056–2081, Oct. 2019.
12. H. C. Miles, S. R. Pop, S. J. Watt, G. P. Lawrence, and N. W. John, "A review of virtual environments for training in ball sports," *Comput. Graph.*, vol. 36, no. 6, pp. 714–726, Oct. 2012.
13. M. Löchtefeld, A. Krüger, and H. Gellersen, "DeceptiBike: Assessing the perception of speed deception in a virtual reality training bike system," in *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. New York, NY, USA: ACM, Oct. 2016.
14. J. M. Loomis, J. J. Blascovich, and A. C. Beall, "Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology," *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.*, vol. 31, no. 4, pp. 557–564, Nov. 1999.
15. L. Maister, M. Slater, M. V. Sanchez-Vives, and M. Tsakiris, "Changing bodies changes minds: owning another body affects social cognition," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 6–12, Jan. 2015.
16. O. Blanke, M. Slater, and A. Serino, "Behavioral, neural, and computational principles of bodily self-consciousness," *Neuron*, vol. 88, no. 1, pp. 145–166, Oct. 2015.
17. F. Herrera, J. Bailenson, E. Weisz, E. Ogle, and J. Zaki, "Building long-term empathy: A large-scale comparison of traditional and virtual reality perspective-taking," *PLoS One*, vol. 13, no. 10, p. e0204494, Oct. 2018.
18. P. Bertrand, J. Guegan, L. Robieux, C. A. McCall, and F. Zenasni, "Learning empathy through virtual reality: Multiple strategies for training empathy-related abilities using body ownership illusions in embodied virtual reality," *Front. Robot. AI*, vol. 5, p. 26, Mar. 2018.
19. T. Okamoto, "Otaku tourism and the anime pilgrimage phenomenon in japan," *Jpn. Forum*, vol. 27, no. 1, pp. 12–36, Jan. 2015.
20. L. F. Sessions, "HOW OFFLINE GATHERINGS AFFECT ONLINE COMMUNITIES: When virtual community members 'meetup' ," *Inf. Commun. Soc.*, vol. 13, no. 3, pp. 375–395, Apr. 2010.
21. J. Liu, "Virtual presence, real connections: Exploring the role of parasocial relationships in virtual idol fan community participation," *Glob. Media China*, Dec. 2023.
22. S. Song, J. Baba, J. Nakanishi, Y. Yoshikawa, and H. Ishiguro, "Costume vs. wizard of oz vs. telepresence: How social presence forms of tele-operated robots influence customer behavior," *Human-Robot Interaction*, pp. 521–529, Mar. 2022.
23. S. Cho, J. Lee, and B. Suh, "'I want to reveal, but I also want to hide' understanding the conflict of revealing and hiding needs in virtual study rooms," *Proc. ACM Hum. Comput. Interact.*, vol. 7, no. CSCW2, pp. 1–27, Sep. 2023.
24. E. Han and J. N. Bailenson, "Lessons for/in virtual classrooms: designing a model for classrooms inside virtual reality," *Commun. Educ.*, vol. 73, no. 2, pp. 234–243, Apr. 2024.
25. Z. Lu, C. Shen, J. Li, H. Shen, and D. Wigdor, "More kawaii than a real-person live streamer: Understanding how the otaku community engages with and perceives virtual YouTubers," in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, May 2021.
26. K. J. Byun and S. J. g. Ahn, "A systematic review of virtual influencers: Similarities and differences between human and virtual influencers in interactive advertising," *J. Interact. Advert.*, vol. 23, no. 4, pp. 293–306, Oct. 2023.
27. A. Laszkiewicz and M. Kalinska-Kula, "Virtual influencers as an emerging marketing theory: A systematic literature review," *Int. J. Consum. Stud.*, vol. 47, no. 6, pp. 2479–2494, Nov. 2023.

28. Y. Hatada, G. Barbareschi, K. Takeuchi, H. Kato, K. Yoshifuji, K. Minamizawa, and T. Narumi, "People with disabilities redefining identity through robotic and virtual avatars: A case study in avatar robot cafe," in *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '24. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024.
29. Y. Lee, J. J. Y. Chung, J. Y. Song, M. Chang, and J. Kim, "Personalizing ambience and illusionary presence: How people use "study with me" videos to create effective studying environments," in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, May 2021.
30. D. Maloney and G. Freeman, "Falling asleep together: What makes activities in social virtual reality meaningful to users," in *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. New York, NY, USA: ACM, Nov. 2020.
31. A. Genay, A. Lécuyer, and M. Hachet, "Being an avatar "for real" : A survey on virtual embodiment in augmented reality," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 28, no. 12, pp. 5071–5090, Dec. 2022.
32. N. Yee and J. Bailenson, "The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior," *Human Communication Research*, vol. 33, no. 3, pp. 271–290, 2007.
33. R. Miura, S. Kasahara, M. Kitazaki, A. Verhulst, M. Inami, and M. Sugimoto, "MultiSoma: Motor and gaze analysis on distributed embodiment with synchronized behavior and perception," *Front. Comput. Sci.*, vol. 4, p. 788014, May 2022.

Yuichi Hiroi is a senior research scientist at Cluster Metaverse Lab, Japan. His current research interests include augmented reality, near-eye displays and personalized vision augmentation. He received his Ph.D. degree in engineering from Tokyo Institute of Technology. He is a Member of the IEEE Computer Society. Contact him at y.hiroi@cluster.mu.

Yuji Hatada is an Assistant Professor at the Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo. His current research interests include virtual reality, cognitive science, and narrative transformations that users experience through avatars. He received his Ph.D. degree in interdisciplinary information studies in 2023 from the University of Tokyo. Contact him at hatada@nae-lab.org.

Takefumi Hiraki is a senior research scientist at Cluster Metaverse Lab and an associate professor at the University of Tsukuba, Japan. His current research interests include augmented reality, haptic interfaces, and soft robotics. He received his Ph.D. degree in engineering from the University of Tokyo. He is a Member of the IEEE Computer Society. Contact him at t.hiraki@cluster.mu.