arXiv:2304.02394v1 [cs.HC] 5 Apr 2023

扩展现实中的记忆操纵

Elise Bonnail LTCI，INFRES，巴黎电信学院，巴黎理工学院 帕莱索，法国
elise.bonnail@telecom-paris.fr

Wen-Jie Tseng LTCI，INFRES，巴黎电信学院，巴黎理工学院 帕莱索，法国
wen-jie.tseng@telecom-paris.fr

Mark McGill 格拉斯哥大学 格拉斯哥，苏格兰，英国
m
ark.mcgill@glasgow.ac.uk

Eric Lecolinet LTCI，INFRES，巴黎电信学院，巴黎理工学院 帕莱索，法国
eric.lecolinet@telecom-paris.fr

Samuel Huron 法国国家科学研究中心 i3（UMR 9217），SES，巴黎电信学院，巴黎理工学院 帕莱索，法国
samuel.huron@telecom-paris.fr

Jan Gugenheimer 达姆施塔特工业大学 德国达姆施塔特 巴黎电信学院、巴黎理工学院 LTCI、INFRES 法国帕莱索
jan.gugenheimer@tu-darmstadt.de

摘要
人类记忆存在显著局限（例如遗忘），因此人们需要借助各种记忆辅助工具（例如日历）。随着日常扩展现实（XR）日益接近大规模普及，且其经常利用感知局限（例如重定向行走），我们有必要思考 XR 如何利用记忆局限（遗忘、扭曲、持久性）来诱发记忆操纵。记忆会深刻影响我们的自我感知、社会互动和行为，因此迫切需要了解扩展现实记忆操纵（XRMMs）。我们举办了三场推测性设计工作坊（n=12），由扩展现实和记忆研究人员共同设计了 48 个扩展现实记忆操纵情景。通过主题分析，我们对扩展现实记忆操纵进行了定义，提出了一个阐述其核心组成部分的框架，并揭示了三类情景（编码时、检索前、检索时）。各类情景在所用技术（增强现实、虚拟现实）和对记忆的影响（影响记忆质量、诱发遗忘、扭曲记忆）方面各不相同。我们提出了伦理问题，并讨论了扩展现实中感知操纵和记忆操纵的机遇。

CCS 概念
• **以人为中心的计算 → 虚拟现实**；**混合／增强现实**。

关键词
扩展现实记忆操纵、感知操纵、思辨设计、扩展现实、虚拟现实、增强现实

ACM 参考格式：
Elise Bonnail、Wen-Jie Tseng、Mark McGill、Eric Lecolinet、Samuel Huron 和 Jan Gugenheimer。2023。扩展现实中的记忆操纵。载于《*2023*年*CHI*人机交互会议论文集（*CHI '23*）》，*2023*年*4*月*23*日至*28*日，德国汉堡。ACM，美国纽约州纽约，20页。https://doi.org/10.1145/3544548.3580988

允许为个人或课堂使用而免费制作本作品的全部或部分数字副本或纸质副本，前提是这些副本不用于营利或商业利益，且每份副本均须附有本声明及首页上的完整引文。本作品中归其他作者所有的部分，其版权必须得到尊重。注明出处后可以摘录。除此之外，如需复制、再版、发布到服务器或分发至列表，必须事先获得具体许可和/或支付费用。请联系 permissions@acm.org 申请许可。
CHI '23，*2023*年*4*月*23*日至*28*日，德国汉堡© 2023 版权所有归所有者/作者所有。出版权已授权给 ACM。
ACM ISBN 978-1-4503-9421-5/23/04...$15.00
https://doi.org/10.1145/3544548.3580988

1 引言
众所周知，人类记忆存在一系列局限。长期记忆可能会被遗忘（无法提取时）、遭到扭曲（与原始知觉不同时），也可能持续存在（无法忘记）[106]。由于记忆会影响我们的思想和行为，记忆局限可能对我们的生活和人际关系造成重大损害。为应对这些局限，人们不断开发新的记录媒介（文字、图片、视频）和记忆辅助工具（从便利贴到人工智能助手）。鉴于扩展现实（XR）消费技术（例如 Meta、Apple、Microsoft）近期迅速兴起，我们认为它有望成为一种无处不在的技术，能够增强并影响人类智力，尤其是记忆 [39]。其中一个例子是能够在虚拟现实（VR）中重访过去的记忆。借助过去事件的沉浸式三维重建，可营造临场感和具身化体验，从而提升情景记忆表现 [77, 118] [137] ，并提供一种更具吸引力的回忆方式。

然而，虽然记忆局限可以得到补偿，也可能被利用来操纵记忆。由于记忆容易受到暗示，修改图片可能会扭曲与之相关的记忆，并导致虚假记忆的产生 [86, 98, 134]。与普通的二维图片相比，XR 是一种更丰富的媒介，因此可能更容易促成虚假记忆的产生 [109], ，并更广泛地促进记忆操纵。此外，XR 已展现出利用人类感知局限来操纵用户的能力，我们将其称为感知操纵。许多研究聚焦于虚拟—物理感知操纵（VPPMs）[126],，这类操纵利用人类感知的局限来改变用户的身体动作（例如，重定向行走 [123], 、触觉重定向 [5]）。与感知类似，记忆也存在局限（遗忘、扭曲、持久性 [106]），这些局限可能在 XR 中被利用来诱发记忆操纵，我们将其称为扩展现实记忆操纵（XRMMs）。虽然 VPPMs 可以提升用户的扩展现实体验（例如，在物理空间有限的情况下，让用户能够在虚拟环境中行走更长时间 [123]），但这类操纵通常难以察觉，而且使用 VPPMs 的意图可能被滥用 [19, 126]。这些感知操纵会立即影响用户的身体动作，而记忆操纵可能更具侵入性，并对用户的自我感知、社会互动产生更长期的影响，

以及行为（通过自传体记忆的三种功能 [14]）。因此，我们必须了解 XR 能在多大程度上操纵我们的记忆，以及这项技术如何以独特的方式促成或加剧这些操纵。

本文旨在了解扩展现实中可能有哪些记忆操纵，以及这项技术如何助力或强化这些操纵。为广泛探索扩展现实记忆操纵的范围，我们开展了三场推测性设计工作坊，每场邀请两位扩展现实研究人员和两位对记忆有深入了解的认知心理学研究人员（n=12）。我们采用推测性设计方法构想未来场景，同时以当前对记忆过程和扩展现实能力的理解为基础。在这些工作坊中，专家们分别构想扩展现实记忆操纵的场景，共形成48个场景。这些场景围绕具体问题展开：谁会使用该应用、操纵如何实施以及为何使用、其依据是什么认知过程和扩展现实特有功能。随后，专家们选出最有前景的场景，并进一步深入讨论，从技术和认知两个角度评估这些场景未来是否可能实现，并探讨其结果（深入讨论了22个扩展现实记忆操纵场景）。三位作者对数据进行了编码，并在七次主题分析会议中（每次四小时）揭示潜在主题和所用机制。

基于这项分析，我们将扩展现实记忆操纵（XR- MMs）定义为以记忆局限为基础、旨在通过自传体记忆的自我、社会和指导功能影响记忆，并对用户产生长期影响的感知操纵。根据数据，我们发现了构成记忆操纵的五个核心要素（情境、记忆机制、实施方式、记忆功能和最终目标），并将其作为扩展现实记忆操纵的框架。此外，我们发现了三类在技术和结果方面各不相同的扩展现实记忆操纵：1）发生在编码阶段的操纵（即与对事件的原始知觉同时发生），旨在影响记忆编码的质量，并且主要依赖增强现实（*AR*）技术（例如，利用 AR 引导用户的注意力，从而强化记忆编码）；2）发生在提取阶段的操纵（即以数字方式重访过去事件时），旨在扭曲对过去事件的感知，并且主要依赖在虚拟现实（*VR*）中沉浸式重建场景（例如，修改先前事件的录像以覆盖原始记忆）；3）发生在提取前的操纵（即即将回忆起某段记忆之前），旨在诱发遗忘（例如，在 AR 中隐藏某些元素，帮助某人忘记某件事）。多数场景利用了扩展现实独有的功能，从而实现新型记忆操纵。尽管有些扩展现实记忆操纵情景并不完全依赖扩展现实来实施，而是改编自借助更传统媒介（如图片）的现有技术，我们仍讨论了扩展现实特有的功能（如让用户完全沉浸于虚拟环境中的能力）如何增强记忆操纵的效果。虽然有些场景意在产生积极影响（讨论的场景中有 13 个积极、9 个消极），但其中一些可能有意或无意地造成危害，因此需要加以应对。在讨论中，大多数专家都提出了伦理问题，并对未来的滥用表示担忧。

我们最后讨论了扩展现实记忆操纵可能带来的益处、潜在危险，以及我们的人机交互研究者群体在探索和改进扩展现实中的感知操纵方面所发挥的作用。我们认为，扩展现实记忆操纵是扩展现实中的一种新型感知操纵，其重点并非影响即时行动，而是通过自传体记忆的自我、社会和指导功能，对用户产生长期影响。

这项工作有两项主要贡献：1）定义 XR-MMs，并提出一个框架，阐述表征这些操纵的核心组成部分；2）将 XR 中的记忆操纵分为三类，并深入探讨其独特的技术特征与结果（通过 AR 影响记忆质量的编码时操纵、通过 VR 扭曲记忆的提取时操纵，以及诱发遗忘的提取前操纵）。这些研究以认知心理学和 XR 领域的最新研究为基础。

2 背景

本节将介绍必要的背景知识，包括基于认知心理学研究的人类记忆（其过程、影响和局限），以及我们对泛在扩展现实技术的设想。本节介绍的知识也曾作为我们研讨会的导论，用于弥合两个领域专家之间的知识差距。

2.1 人类记忆

记忆是指记住信息的认知过程。这是一个广义术语，因为记忆有许多不同类型，每种类型都具有特定的容量和功能。Shiffrin 和 Atkinson 提出的模型将感觉记忆和短时记忆与长时记忆区分开来 [112]。本文聚焦于长时记忆，它存储经过充分加工的信息；我们更常借助技术支持这类记忆（第 3.1 节）。长期记忆的形成分为三个阶段 [82, 112]：编码（获取感官捕捉到的新信息）、存储（随着时间推移维持和保留信息）以及提取（回忆或识别先前存储的信息）。

2.1.1 自传体记忆功能。本文特别关注自传体记忆（AM），它包括对个人经历的回忆以及关于自我的一般知识 [40],，因为自传体记忆定义并影响着个人生活的诸多方面。Bluck 和 Alea [14] 提出了自传体记忆的三项功能：1）自我功能，维持自我随时间推移的一致性（例如，个性、个人信念）；2）社交功能，帮助建立并维持与他人的联系（例如，回忆与朋友的谈话，或能够讲述一则轶事）；3）指导功能，引导现在和未来的思想与行为（例如，根据以往经验决定购买某样东西）。与其他感知操纵（例如 VPPMs [126]）对用户产生短暂且即时的影响不同，记忆操纵可能通过自传体记忆的三项功能，对用户产生持续且长远的影响（例如，影响他们的自我感知、社会互动和行为）。

记忆局限		描述	示例
遗忘: 当我们未能将 记住一条信息	**短暂性**	可访问性降低的 随时间变化的记忆	遗忘的究竟是什么 发生在 10 年前
	心不在焉	注意力不集中加工有所贡献 到薄弱记忆	遗忘位置 of 钥匙或眼镜
	阻塞	暂时无法访问 的记忆	暂时遗忘一个 word
扭曲: 当一段记忆不同于 原始知觉	**错误归因**	将一段记忆归因于 错误的来源	想象内容之间的混淆 和真实事件
	易受暗示性	可以植入新信息 到记忆中	诱发虚假记忆 通过诱导性问题
	Bias	当前知识的影响以及 关于记忆的信念	当前情绪影响 对过去的感知
持久性: 当一段记忆无法被 遗忘		无法忘记不想要的 记忆	创伤性记忆的闪回 记忆

表 1：Daniel Schacter 提出的记忆七宗罪 [106]。我们将其称为记忆局限

2.1.2 记忆局限。记忆在我们的生活中无处不在，但记忆过程的每个阶段都可能出现许多错误。Schacter 等人将记忆局限归纳为七种基本"罪"，并将其分为三类：遗忘、扭曲和持久性（表 1）。在讨论 XRMM 类别的理论依据时（第 6、7、8 节），我们会进一步解释这些记忆局限。

我们认为，这些记忆局限相当于 VPPMs 中利用的感知阈值。它们是认知系统中的局限，应用程序可以加以利用或克服，从而为用户实现预期结果。

2.2 扩展现实（XR）

我们的研究基于这样一个前提：未来的扩展现实技术将无处不在（如同如今的智能手机），用户每天都会在各种生活情境中（移动中、静止时 [48, 49]）使用它。我们设想的技术不局限于增强现实或虚拟现实，而是由一台设备（无论其形态如何）构成，能够覆盖米尔格拉姆连续体的整个范围 [84]。这样，用户既可以增强现实世界（增强现实），也可以在必要时沉浸于完全虚拟的场景中（虚拟现实）。我们将这一概念称为无处不在的扩展现实。

3 相关研究

3.1 记忆辅助工具

关于记忆的人机交互研究主要聚焦于记忆辅助工具，旨在弥补记忆失误，提升用户在需要记忆的日常任务中的表现 [58]。Charness 等人区分了两类记忆支持技术：支持记忆过程的内部记忆辅助工具，以及替代并卸载记忆过程的外部记忆辅助工具 [21]。

然而，记忆卸载也可能损害记忆，并使用户受到操纵 [38, 98]。

3.1.1 内部记忆辅助工具。内部记忆辅助工具是帮助支持记忆这一认知过程、提高其效率的技巧 [21]。位置记忆法就是一个例子，它通过在脑海中将信息与熟悉的地点联系起来，帮助记忆信息 [120]。人机交互研究探讨了如何利用视觉显示器 [30, 35, 71], 运用这一记忆技巧，以及助记法如何帮助用户记住密码等信息 [1, 15, 20, 35, 62]。研究者已将位置记忆法应用于扩展现实，构建虚拟记忆宫殿 [72, 101, 131, 138], , 因为沉浸感有助于回忆 [68]。本文将更广泛地探讨如何利用扩展现实特有的功能来影响认知过程（例如，支持或妨碍记忆）。

3.1.2 外部记忆辅助工具。外部记忆辅助工具旨在替代记忆，并将记忆这一认知过程外包出去（通过使用外部存储，减轻头脑中需要存储的记忆数量） [21]。这些工具可以替代前瞻性记忆（对待办行动的记忆），确保我们记得未来打算做的事情（例如，使用日历记住参加预约）。"智能手机"等新技术提供了有效的提醒工具（例如，Google日历 [80]） [18, 58, 59, 113]。外部记忆辅助工具也可以替代回溯性记忆（对过去事件的记忆），以增加能够回忆起的过去事件数量（例如，将照片存储在电脑中） [18, 58]。随着智能手机普及、数据存储成本降低，人们可以随时记录任何事物，这种做法称为生活日志记录 [51, 52]。这些技术支持怀旧和反思 [26, 57], , 从而提升幸福感 [16, 57]。图像中丰富的情境信息有助于回忆个人自传性记忆 [9, 110]。人们不必在平面屏幕上观看记录内容，而可以将其存储为三维场景，并通过虚拟现实头戴式显示器重新访问。这一想法已开始

由企业和艺术家探索 [87, 92]。虚拟现实可用于怀旧疗法（与他人讨论过去的经历以提升幸福感 [136]）：让患者沉浸于虚拟现实中的熟悉环境 [114, 125, 137], , 这比看照片更能吸引人回忆往事 [137]。

所有这些先前的研究都表明，技术能够影响用户的记忆，而人机交互领域目前正积极投入开发相关工具。然而，我们的工作旨在了解未来的记忆工具在扩展现实中会是什么样子，并对潜在的滥用风险与机遇进行批判性反思。

3.2 记忆卸载的风险

尽管这些记忆辅助工具有许多益处，研究人员开始质疑此类技术是否会损害记忆 [25, 38, 98, 107] [10, 31] 并带来安全与隐私问题。首先，记录工具可能会分散注意力，并影响事件的编码方式[38, 53]。此外，通过将记忆完全外化而做到事事铭记，也可能产生负面影响（例如，分手后无法释怀）；在设计此类技术时应考虑这一点 [105]。Clinch 等人指出，与记忆外化相关的两种潜在风险：抑制（自身记住的信息减少）和扭曲（记忆内容及记忆方式出现偏差）[25]。研究人员发现，将记忆卸载到外部媒介会使其暴露于操纵之中（例如，篡改图片），进而可能产生虚假记忆（即对实际上并未发生的事件记忆深刻且深信不疑）[25, 86, 98, 134]。关于记忆操纵的问题仍属新兴议题，研究也主要聚焦于图片等较传统的媒介。我们的工作探索了如何利用 XR 等新型沉浸式技术操纵用户的记忆。

3.3 感知错觉与操纵

XR 设备会产生视觉、听觉和触觉刺激，从而能够控制用户的感知。XR 建立在错觉之上[47]，并通过创建沉浸式虚拟环境，使用户产生临场感 [36, 117]。研究还表明，逼真的虚拟环境会让用户表现得更真实（例如，可信度错觉 [103, 115]），并使他们感觉虚拟化身已成为自己身体的一部分（例如，具身化错觉 [119]）。

这些错觉使得实施各种感知操纵成为可能，例如 VPPMs [126], 利用视觉主导 [95] 和对感官差异的无察觉状态 [130] 来影响身体动作。重定向行走 [97, 122, 123] 和触觉重定向 [5, 23] 技术可以通过不易察觉地操纵虚拟场景，引导用户的实际行走路线和手部动作。Mhaidli 和 Schaub 还指出了一些 XR 特有的操纵技术，这些技术可用于广告目的 [83]（例如，改变消费者看到的内容，从而影响其消费行为）。尽管这些操纵技术可能对用户有益（例如，VPPMs 可以提升 VR 体验），研究人员仍开始探讨如何恶意利用这些技术来伤害用户 [19, 83, 126], , 以及用户会如何应对此类攻击 [22]。

虽然这些感知操纵大多旨在对用户产生即时影响，但 XRMMs 通过自传体记忆功能（第 2.1.1 节）有可能产生更长期的影响。

3.4 XR记忆操纵

这些 XR 感知操纵之所以可行，是因为用户在虚拟环境中的行为与真实行为相似。研究表明，虚拟事件的编码和提取过程与真实事件的相似，因此虚拟现实是一个在受控条件下研究现实生活认知的理想工具 [63, 75, 94]。尤其是，沉浸感、具身化和临场感能够增强记忆编码和提取 [12, 34, 77, 90, 118]。

尽管虚假记忆传统上是通过叙事和图片来研究的，但 Segovia 等人发现，让学龄前儿童沉浸在虚拟体验中能够生成虚假记忆 [109]。正如 Aliman 等人指出的，结合人工智能生成深度伪造内容的能力与虚拟现实创造持久记忆的能力，可能会被用于恶意制造虚假记忆 [4]。

人机交互研究着重探讨如何弥补并克服记忆局限，以及这类技术可能带来哪些风险。然而，很少有研究探讨如何利用技术借助记忆局限来实现其他目的。此类研究的一个例子是 *Mise Unseen*，它利用视觉记忆失误和变化盲视效应，在虚拟现实中实现一种重定向技术 [79]。Friedman 等人提出了一种方法，使人们在虚拟现实中产生时间旅行的错觉，这可能会影响人们的内隐道德观以及对过去事件的评价 [45],；Cuperus 等人则表明，操纵虚拟现实中的事件回放可以改变人们对运动表现的记忆，并影响其胜任感 [29]。尽管这些先前研究都表明，扩展现实能够操纵记忆，且其潜力可能超过传统媒体，但它们只是 XRMMs 的个别案例。在本研究中，我们旨在全面、深入地理解扩展现实记忆操纵的所有可能类型，并探讨其对用户的潜在影响。

4 方法

为广泛探索潜在的 XRMMs，我们举办了三场推测性设计工作坊，邀请扩展现实和记忆研究人员共同参与。由于扩展现实尚未像智能手机那样成为普及的技术，推测性设计方法使我们能够探索 XRMMs 并反思其伦理影响，而不受扩展现实当前用途和能力的限制。在本次研讨会中，我们请专家分别构想扩展现实记忆操纵情景。这些场景以专家对扩展现实和人类记忆的了解，以及所提供的背景信息（第 2 节）为基础。在讨论阶段，我们请专家选出最有前景的场景，并讨论这些场景的可能性及其潜在结果（共讨论了 25 个场景，见表 3）。最后，我们采用主题分析，归纳其中的主题和机制。

4.1 参与者

十二位专家（年龄：$M = 28.7$，$SD = 4$ 岁）参与了我们的研讨会（表 2）。为了探索扩展现实记忆操作（XR-MMs）的场景，我们招募了两类专家：专攻扩展现实的人机交互研究者（n=6，称为扩展现实专家），以及研究人类记忆的认知心理学研究者（n=6，称为记忆专家）。我们共举办了三场研讨会，每场邀请两位记忆专家和两位扩展现实专家。这种安排使得

	ID	Age	性别	职业	从业年限
第1场	PXR1	25	女性	人机交互研究人员	1
	PXR2	28	Male	人机交互研究人员	5
	PM1	24	女性	认知工程师	3
	PM2	24	女性	认知心理学学生	4
第2场	PXR3	33	Male	人机交互设计师	10
	PXR4	33	Male	人机交互研究人员	4
	PM3	26	女性	认知心理学研究者	3
	PM4	30	Male	认知心理学研究者	8
第3场	PXR5	27	Male	人机交互研究人员	6
	PXR6	27	Male	人机交互研究人员	5
	PM5	38	Male	认知心理学研究者	2
	PM6	30	Male	认知心理学研究者	2

表 2：扩展现实与认知心理学领域专家的人口统计信息

既能让两位同一领域的专家展开讨论，也能让不同领域的专家进行交流。我们特意招募了曾使用过扩展现实的认知心理学研究者，以确保他们对扩展现实是什么、如何使用以及这些技术能带来哪些新可能性有基本了解。大多数记忆专家对自己的扩展现实知识水平评价为中等或高于中等（5 点李克特量表，M = 3.8，SD = 0.4）。各组专家对自己在专业领域的知识水平评价均为高于中等，且大多为很高（M = 4.6，SD = 0.5）。专家参加研讨会获得了 30 欧元报酬。研讨会通过 Zoom 进行，并使用 Miro 作为头脑风暴工具。最后一场研讨会期间，PM6 中途断线且无法重新连接。断线前收集的数据已纳入分析。

4.2 研讨会流程

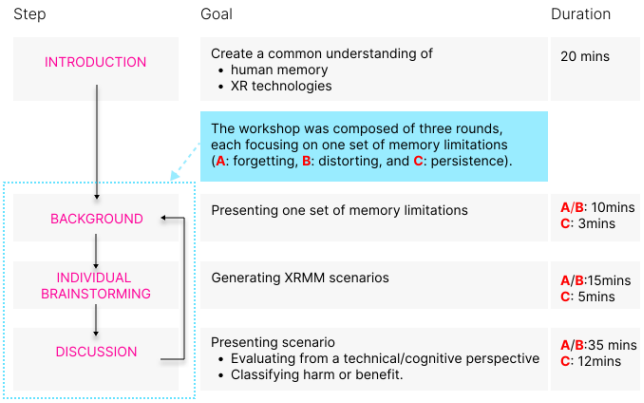

图 1：研讨会流程说明，包括各步骤、目标和时长。蓝色方框表示三个轮次。红色的 A、B、C 标记各轮次的时间。

每场研讨会持续三小时，由四位专家和一位主持人参加。流程包括开场介绍，以及三个轮次，每轮都围绕记忆局限展开介绍、个人头脑风暴和讨论（图 1）。

4.2.1 引言。 为了对不同领域形成共同理解，我们详细介绍了人类记忆（类型、过程、功能和局限性，第 2.1 节）以及 XR 技术（第 2.2 节）。我们提醒参与者，这些背景信息并不全面，并邀请他们参考自己的知识和专业经验。

每轮头脑风暴和讨论都聚焦于一类记忆局限（遗忘、扭曲和持久性，见表 1）。我们将研讨会分为三个轮次，以便同等探讨每种不同类型的记忆局限。各场研讨会的轮次顺序采用拉丁方进行平衡。

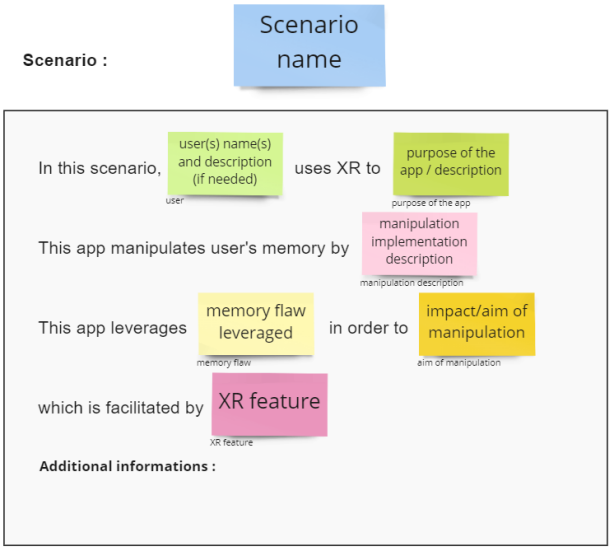

图 2：场景模板——Miro 白板截图。参与者在个人头脑风暴环节中使用此模板生成场景。

4.2.2 个人头脑风暴。 专家们通过填写模板（图 2），尽可能多地提出 XRMM 场景。该模板旨在帮助专家更详细地描述这些场景：谁会使用 XR应用，为什么？操纵的目的是什么，又将如何实施？专家们也可以不受模板限制，提出其他想法。

4.2.3 讨论。 在讨论环节，每位专家有两分钟时间深入介绍一个场景。他们被要求选择自己认为最有趣、最有价值的场景进行讨论。其他专家和主持人可以就该场景提问并补充意见。随后，每位专家对这些场景的三个方面进行评分，以引发讨论：从（1）技术视角和（2）认知视角看，实施此类 XRMMs 的可行性，以及（3）将其归类为有害或有益。该环节会录音，供后续转录。

4.3 数据收集

总体而言，参与者生成了74个场景。其中25个由参与者在研讨会上进行了展示和讨论。我们在表3中提供了这些场景的简短描述。该

编码是在这25次讨论的转录上进行的。其余49个场景作为模板存在于Miro板上，但由于时间限制，无法在研讨会上详细解释和讨论。由于这些场景往往不完整且缺乏公平呈现所需的细节，我们没有将它们用于编码会议，也没有在本文中提供它们。然而，其中一些未讨论的场景包含足够的信息，可以从中推导出高级结构。这些场景用于最后一次会议，以计算符合XRMMs定义的场景数量（第4.5节），并验证通过编码发现的类别。

4.4 主题分析

为分析数据，三位作者开展了同步协作编码会议（共 7 场，每场 4 小时，总计 28 小时）。在第一次会议上，三位编码者围绕感兴趣的问题（谁参与了操控、操控如何进行以及为何使用）创建了初始编码手册（演绎式编码）。之后，每位编码者都通读了 25 个已讨论场景的全部转录文本，但不进行编码。随后，三位编码者在 4 场会议中逐一讨论每个场景。场景的编码依据：1）初始编码手册；2）开放式编码流程（归纳式编码）。一旦出现现有编码手册未涵盖的新编码，编码者便会讨论该编码，只有在所有编码者达成完全共识后才会将其纳入。在最后两场会议中，研究者将形成的编码归纳为主题，并将其与更大的结构和概念联系起来，由此形成了我们的框架和 XRMM 类别。会议期间，研究者通过讨论每个人对各项编码和主题的看法来解决分歧，直至达成共识。

4.5 场景排除

完成最终编码后，我们得出了 XRMMs 的定义（第 5.1 节），并据此筛除了不符合该定义的场景。因此，讨论过的场景中有 3 个被移除（ S23 、 S24 、 S25，表 3 ），因为它们无意影响记忆，也并非基于记忆局限。在场景 S23 中，广告被添加到用户的视野中，以提高品牌的曝光度，但并无明确意图扭曲记忆或影响记忆过程。场景 S24 和 S25 均利用个体用户的偏好（即气味和文化元素）来提升他们对产品的喜爱，而不会影响记忆。另有 15 个未讨论的场景因相同原因不符合 XRMM 的定义，8 个场景则缺乏足够的描述，无法理解。我们最终得到 48 个 XRMM 场景（22 个已讨论，26 个未讨论）。下文所称的场景，均指 22 个已讨论的 XRMM 场景（S1 至 S22，见表 3）。

5 结果

基于我们最初关注的问题（谁参与了操纵、操纵如何发挥作用以及为何使用操纵），以及由此得出的主题和编码，我们提出了 XRMMs 的定义、其核心组成部分的框架，以及 XRMMs 的三种类别。

5.1 XRMMs 的定义

为了给 XRMMs 下定义，我们首先需要对感知操纵给出一个一般性定义，然后说明 XRMMs 与其他类型的感知操纵（例如 VPPMs）有何不同 [126]。

感知操纵的定义： 感知操-纵是基于用户认知和感知局限性的机制，旨在明确地影响用户，使其趋向于特定结果。

这一定义将 PMs 归类为一种机制（韦伯斯特词典将其定义为“实现某种结果的过程、技术或系统” [1]），并描述了感知操纵的两个核心组成部分：(a)以认知和感知局限及阈值为基础；(b) 明确意图引导至特定结果。该结果可能是改变信念、态度、意图及由此产生的行为／反应，或影响任何其他认知与情感反应。我们保留了这一开放性定义，以便能够纳入未来所有类型的感知操纵。基于我们对不同类别 XRMMs 及其核心组成部分的分析，我们制定了以下 XRMMs 定义。

扩展现实记忆操纵的定义： *XRMMs* 是基于记忆局限的感知操纵，旨在影响记忆，并通过自传体记忆的自我、社会和指导功能，对用户产生长期影响。

影响用户记忆的意图使我们能够将处于编码阶段的 XRMMs 与一般的感知操纵区分开来，并将 XRMMs 与 VPPMs 区分开来 [126]。

虚拟—物理感知操纵的定义： *VPPMs* 是基于视觉—触觉局限的感知操纵，旨在推动用户的身体动作

5.2 XRMMs 框架

我们发现，五个核心组成部分能够描述 XRMMs 的意图和结构：情境、记忆机制、实施方式、记忆功能和最终目标（图 3）。这些组成部分存在于所有生成的场景中。

5.2.1 情境。 XRMMs 在特定情境中实施。其中有一名被操纵者，即操纵的目标；一名操纵者，即操纵的发起者；以及一个*XR*应用，操纵在其中发生。

22个场景中有10个针对脆弱人群（例如遭受创伤或记忆问题困扰的人）。这类人群可以从XRMMs中受益（例如用于治疗创伤），但也可能受到伤害。

[1]韦伯斯特词典中的“机制”：https://www.merriam-webster.com/dictionary/mechanism

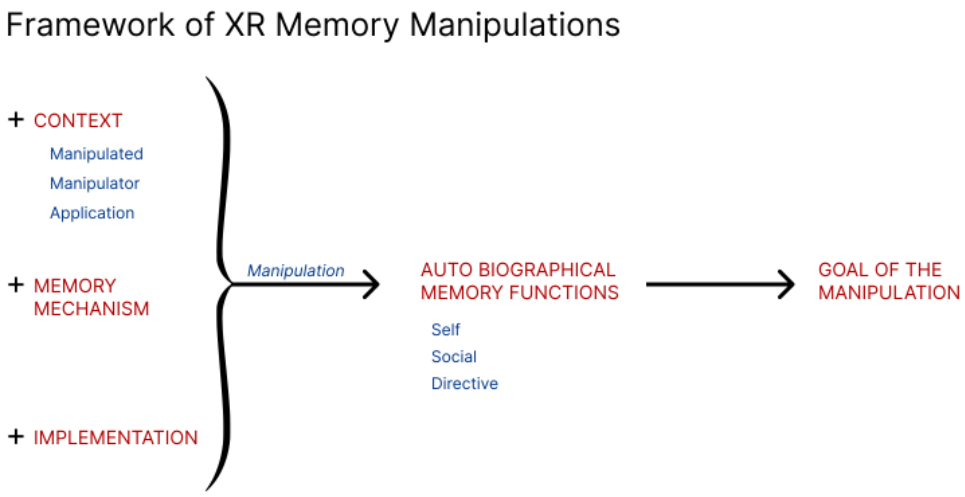

图 3：展示 XRMMs 五个核心组成部分的框架

22个场景中有6个场景里，操纵者和被操纵者是同一个人。在这种情况下，用户通过扩展现实操纵自己，并知道操纵的结果会让自己受益。当操纵者并非被操纵者时，这些场景呈现了三类操纵者：掌权者、企业和攻击者。这些行为主体总是为了自身利益而使用XRMMs。

最后，由于 XRMMs 基于 XR 技术，因此始终在 XR 应用中实施。在生成的场景中，XRMMs 在各种类型的应用中实施（例如，培训应用、社交媒体、娱乐、治疗工具等）。应用的目的不一定与操纵的目的相同。在这种情况下，用户通常不会意识到这种操纵。

5.2.2 记忆机制。XRMMs 依赖于记忆机制。在本研究中，我们关注长期记忆，并以 Daniel Schacter 提出的七种记忆局限（表 1）[106]为基础开展研讨会。这些局限既可以加以利用（利用记忆局限对其进行操纵），也可以加以防范（利用 XR 克服这些局限）。14 个场景利用了记忆局限（目的包括积极和消极两种），8 个场景则对其加以防范（仅出于积极目的）。每种记忆局限都在场景中得到了探讨。其中，3 个场景聚焦于短暂性，4 个聚焦于心不在焉，1 个聚焦于阻塞，7 个聚焦于错误归因和易受暗示性，3 个聚焦于偏见，4 个聚焦于持久性。我们发现，操纵发生在记忆过程的不同阶段（编码时、检索前、提取时），且所利用的记忆局限类型不同时，所采用的实施方式和策略也各不相同。这构成了*XRMMs* 的三类，将在第 6、7 和 8 节中介绍。

5.2.3 实施方式。我们发现，所采用的实施方式可分为两类（增强现实和虚拟现实技术）。在增强现实中，XRMMs 可以通过向现实世界添加数字元素来实施（例如，在物体周围添加边框）、通过从现实世界中移除元素（例如，隐藏物体），或通过修改元素（例如，用不同的虚拟物体替换现实物体）。在虚拟现实中，可以通过让用户沉浸在新的环境中，或让用户置身于他们曾经经历过的过去事件的三维重建中来实施操纵。重建可以准确还原，也可以经过改动。在第 6、7 和 8 节中，我们将介绍根据所涉及的记忆机制采用了哪些实施方式。

5.2.4 结果。与某种实施方式相关联的这一情境和记忆机制，能够影响与记忆编码或提取相关的认知过程，或影响对过去事件的感知。这种操控可以通过 *AM* 的三项功能影响用户（第 2.1.1 节）[14]。这些场景探讨了 XRMMs 如何影响自我感知、偏好和情绪状态（与 AM 的自我功能相关）、人际关系和共情（与社交功能相关），以及决策和行为（与指导功能相关）。

通过记忆功能（自我、社交和指导）影响用户，有助于实现一个最终目标。例如，XRMMs 可用于影响决策（通过指导功能产生影响），最终目标是让某人购买某种产品；也可用于影响自信（例如，通过自我功能产生影响），最终目标是帮助某人在某项任务中表现得更好。根据这些场景，我们确定了四类主要的最终目标：纯粹恶意目标（例如制造混乱）、赚钱（例如销售服务或产品）、改善心理状态（例如应对创伤），以及自我优化（例如在某项任务中表现得更好）。

5.3 威胁模型

基于我们框架中的“操纵者”主题，我们构建了一个威胁模型，概述了未来可能出现的滥用场景。攻击者希望通过在 XR 中操纵记忆，影响用户未来的决策、社会互动或自我感知（第 2.1.1 节）。

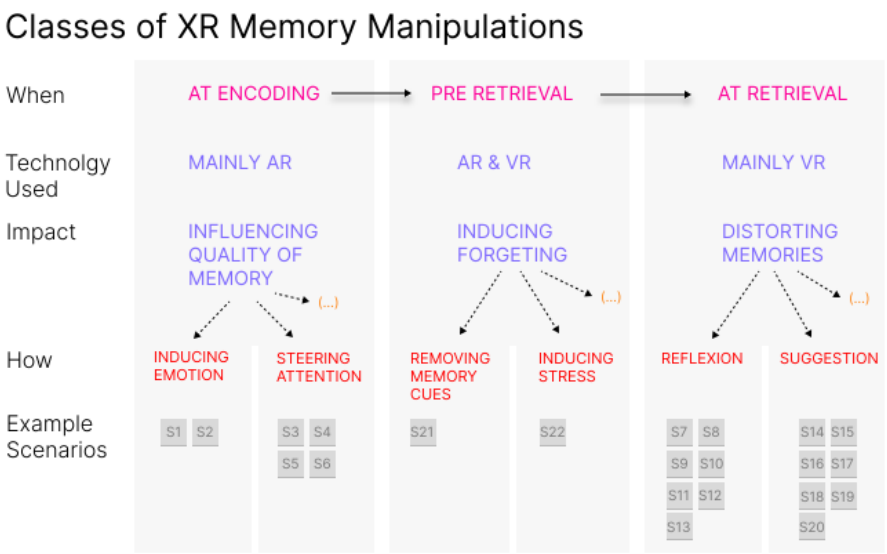

图 4：XRMMs 的三类（编码时、检索前、提取时），它们在所用的技术和影响方面有所不同对记忆的影响。每一类都给出了机制的两个示例（方式、示例场景）。

（XRMMs）。为实现这一目的，攻击者需要访问设备软件并能够控制其功能（例如，访问用户数据和设备传感器数据，以及控制设备输出）。我们概述了数据集中发现的三种实施此类威胁的途径：

非自愿操纵 通过诱骗虚拟现实用户安装恶意软件来实现（例如，类似于当前智能手机上的做法，如 Pegasus 间谍软件所采用的方式 [2]）。这可见于场景 S3、S13、S17、S19 和 S20：黑客在这些场景中获得了对用户软件的控制权。

利用权力地位 通过凭借权力和权威地位访问设备来实现（例如，作为使用虚拟现实治疗工具者的看护人，如场景 S7、S8、S10 和 S11 所示）。

经用户同意并提供激励的操纵 通过获得用户许可来实现（例如，让用户接受被操纵，以换取免费服务）。随着计算技术和社交媒体的发展，我们接受了一种新型的直接营销和广告形式：它直接针对个人消费者进行定制，并利用暗黑设计模式中所述的心理学原理。类似的商业模式也可能应用于 XR MMs（如场景 S1、S12、S15 和 S18 所示）。这带来了潜在威胁：用户可能愿意接受一种主动影响其记忆的方法，并以此作为"货币"来获取服务（类似于如今通过"付出"个人数据来使用社交媒体的做法）。

5.4 XRMMs 的类别

对每个场景进行编码后，我们注意到有一组代码聚焦于操纵发生的时刻。了解长期记忆的形成阶段（编码、存储和提取，第 2 节。1 [82, 112]），我们能够确定操纵可能发生的三个时刻：事件发生时（在编码阶段）、回忆时（在提取阶段），或在编码与提取之间（检索前）（图 4）。所有生成的 XRMMs 场景都属于这三类之一。在 6 个场景中，操纵发生在编码阶段；另外 14 个发生在提取阶段；还有 2 个发生在检索前 （表 3）。分析这些场景后，我们发现了三类主要的 XRMMs，它们在技术手段和影响方面各不相同：1）编码阶段的操纵旨在影响记忆编码的质量，主要依赖增强现实在视觉上改变（添加、移除、修改）现实的能力；2）提取阶段的操纵旨在扭曲对过去事件的感知，主要依赖在虚拟现实中对场景进行沉浸式重建；3）检索前的操纵旨在诱发遗忘，利用增强现实或虚拟现实各自的特定能力（图 4）。

下文将逐一介绍各类 XRMMs，提供研讨会期间生成的场景示例，并以认知心理学研究为依据。对于每一类，我们都会举出两种影响记忆的方式（图 4 中的"方式"）。这些只是研讨会期间探讨过的机制示例，未来研究还可以探索其他机制。为提高可读性，我们不仅会呈现各类别的研究结果，还会补充说明和解读，采用通常在单独的讨论部分中使用的写法。最后的讨论将聚焦于 XRMMs 和感知操纵这一更广泛的概念。

6 XRMMsAT 编码

记忆可以被操纵的第一个时刻是编码时，也就是事件被原始知觉到的同时。编码阶段非常重要，因为它决定了哪些内容会被储存到长时记忆中，以及储存的方式 [82]。因此，在编码阶段采取行动，就能影响记忆的质量。从

[2]Pegasus，智能手机间谍软件 https://en.wikipedia.org/wiki/Pegasus_(间谍软件)

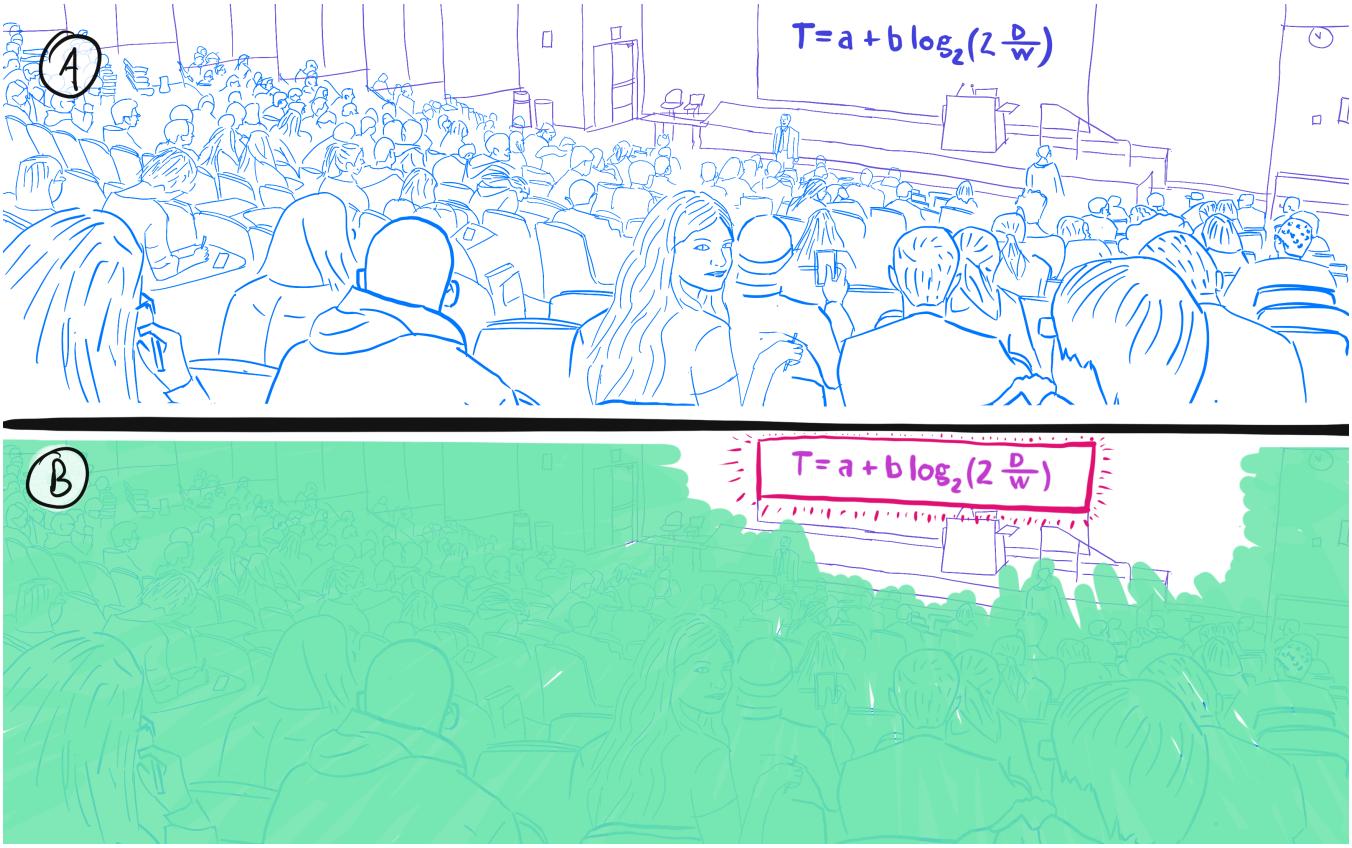

图 5：“这件事你应该记住”（S6）的示意图。Louise 使用增强现实来更好地编码重要信息。图 A展示了未改变的视野，这是一个充斥着视觉刺激的场景。图 B 展示了以绿色显示增强现实应用程序如何遮挡那些被系统视为干扰因素的元素，以及以粉色显示那些被认为值得记住的信息是如何被强调的。

在讨论的 22 种场景中，有 6 种涉及 XRMMs 在编码阶段的应用。我们发现，这类操纵可以通过诱发情绪或通过引导注意力（防止或利用心不在焉）来实现，主要借助增强现实。我们发现，编码阶段的 XRMMs 可用于帮助编码质量更高的记忆，但也可用于相反的目的：故意削弱某人的记忆。下面，我们将说明并讨论影响编码的这两种方式：诱发情绪和引导注意力。

6.1 通过诱发情绪影响编码

两个场景（S1、S2，见表 3）探讨了*XRMMs* 如何通过诱发情绪影响编码。

6.1.1 理论依据. 情绪调节认知的各个方面，尤其是记忆 [127]。已经确定，事件期间感受到的情绪会影响记忆的保持和回忆：与强烈情绪相关的经历会保留更长时间、更生动且更准确 [17, 93, 127]。虽然一些研究表明积极情绪有助于学习 [128], 消极情绪如因为压力或恐惧也可能促进或改变记忆编码的质量，具体取决于情绪的强度 [81, 133]。

6.1.2 场景。在“你会记住那个不太可能发生的危险事件”（S2）这一场景中，扩展现实用于在学习情境中诱发强烈情绪，从而使信息得到更好的编码，并在之后被记住（例如，在虚拟现实中学习驾驶时模拟事故）。另一个场景“峰终定律”（S1）利用扩展现实诱发强烈的积极情绪，这些情绪会比负面情绪更容易被记住，并改善用户的自我感知。

6.2 通过引导注意力影响编码

四个场景（S3、S4、S5、S6，如表 3 所示）探讨了如何*XRMMs* 可通过增强现实引导注意力来影响编码，防止或利用心不在焉。

6.2.1 基础。 记忆的编码具有选择性：我们不断通过感官接触大量刺激，但由于不可能储存所有这些信息，我们会在编码时进行初步筛选 [27, 32, 129]。心不在焉（表 1）是指由于编码时注意力不足而导致遗忘的情况（例如走神或分散注意力）

[6, 13, 28, 106]。这可以从人们忘记眼镜放在哪里的情况中看出，因为这类任务通常是自动完成的，没有给予足够的注意力。

6.2.2 场景。“这件事你应该记住”（S6）很好地展现了如何预防或利用心不在焉。在这个场景中，Louise 戴着增强现实眼镜，并借助它们处理一些认知任务。增强现实应用程序替她判断哪些内容值得记住，并引导她将注意力集中于这些内容，从而使其得到更好的编码。增强现实眼镜能够以视觉方式改变现实（添加、移除或修改内容），因此环境中的重要元素会被框出或突出显示，而不重要的干扰因素则会被模糊处理（图 5）。重要元素的检测与判断通过人工智能处理流程完成，依据的是众包数据。该应用程序通过帮助 Louise 专注于需要记住的重要事物，来预防心不在焉；同时也利用心不在焉，限制对被认为不值得记住的事件进行编码。研究还生成了另外两个类似场景（S4 和 S5）：其中，通过生物特征或神经信号检测注意力不集中，并借助增强现实中的视觉反馈引导注意力，或通过隐藏干扰因素来实现。

6.3 讨论

6.3.1 技术挑战。 在场景 S1 和 S2 中，要影响记忆编码的质量，取决于沉浸式环境诱发情绪的能力。由于虚拟现实能够诱发鲜明的情绪和类似真实事件的反应 [41, 78, 115, 140], ，这些操纵在技术上是可行的。通过注意力引导来影响记忆编码质量的场景，则取决于增强现实以视觉方式改变现实的能力。关于如何实时改变或弱化现实的研究已显示出良好的前景 [11, 24, 54, 85],, 因此从技术角度看，这类操纵在不久的将来是可行的。此类操纵面临的另一项技术挑战，是人工智能工具能否实时识别哪些内容构成干扰、哪些内容至关重要。不过，近年来，图像中的目标检测与识别研究已取得显著进展 [132, 139]。

6.3.2 扩展现实的作用。 在分析过程中，我们还对目前已有、且可能对记忆编码产生类似影响的技术进行了编码。我们发现，通过诱发情绪来影响记忆编码并非扩展现实独有，类似 S1 和 S2 的场景也可以通过智能手机应用实现。不过，扩展现实能够让用户完全沉浸于环境中，从而诱发鲜明而强烈的情绪 [41, 78, 115, 140], ，这可能会放大此类操纵的效果。我们还发现，现有的注意力引导技术（例如降噪耳机或智能手机上的专注模式）无法以视觉方式引导用户的注意力。扩展现实（尤其是此处的增强现实）具有以视觉方式改变用户对现实世界的感知的独特能力。利用这一能力，或许能够比目前已知的大多数技术更有效地干预编码过程。

6.3.3 目的。 生成的场景表明，在编码阶段使用 XRMMs 可能有助于增强现实用户。在四个场景（S2、S4、S5、S6）中，XRMMs 的目标是优化大脑能力并卸载认知任务。PM3 提到，这类技术既可供健康用户使用，也可以帮助患有注意力缺陷障碍（ADD）的人。

不过，另一个场景（S3）也基于同样的理念，即通过注意力影响编码，但目的恰恰相反。在这个场景中，增强现实眼镜佩戴者的视野中会加入干扰因素，以削弱其记忆编码，使其容易受到攻击。此前场景背后的意图都是积极的，而这个场景则描绘了在编码阶段恶意使用 XRMMs 的情形。

7 检索阶段的扩展现实记忆操纵

记忆可以在提取时，也就是回忆过程中被操纵。记忆存储是动态的：记忆在被提取时容易发生改变，而提取会形成新的记忆 [2, 3, 104]。因此，在回忆记忆的过程中采取行动，可能使人得以影响其感知并加以扭曲。在讨论的 14 种提取阶段XRMMs 场景中，我们发现，这些操纵可以通过利用过去事件的虚拟现实重建作为反思工具 （以利用积极性偏差并防止持久性），或利用扭曲的重建 （以利用错误归因和易受暗示性）来实现。我们发现，提取阶段 的 XRMMs 可用于出于各种积极目的影响某人对过去的感知（例如，防止其遭受痛苦），但也可能被用来使某人变得脆弱。下文将解释并讨论这两种影响对过去的感知并扭曲记忆的方式：支持反思 和诱导暗示。

7.1 通过反思影响感知

五种场景（S7、S8、S9、S10、S11、S12、S13，见表 3）探讨了 *XRMMs* 如何利用虚拟现实作为反思工具，通过防止或利用偏见与持久性来影响人们对过去事件的感知。

7.1.1 奠定基础。 反思是回顾过去经历，从中汲取教训并重新理解这些经历的过程。通过这一过程，人们可以主动回顾记忆 [66]。反思积极事件能增强享受生活的能力，并帮助人们以更积极的方式看待事物 [16], ；反思消极事件（例如，遭遇创伤事件）则有助于长期应对这些事件 [91]。反思既可以不借助技术，通过在脑海中回顾过去的个人经历来进行；也可以借助技术，通过回顾过去事件的丰富数字记录（例如文本、图像或视频）来进行 [57, 65]。

7.1.2 场景。“治疗”（S8）展现了如何利用虚拟现实来回顾过去的经历并重新理解这些经历。在这一场景中，患者沉浸于对过去某一事件的虚拟现实重现中，并与治疗师讨论该事件。这种重现有助于患者回忆起与该事件相关的记忆，并根据如今掌握、但事件发生时尚未掌握的信息分析当时的情况。“情侣游戏”（S9）和“躯体变形障碍”（S10）也分别探索了这一方向，以帮助情侣沟通以及纠正自我感知。“创伤性记忆”（S7）展示了治疗师如何利用虚拟现实作为工具，通过让患者沉浸于创伤发生时的情境中，治疗患有创伤后应激障碍（PTSD）的患者。这种称为虚拟现实暴露疗法（VRET）的方法已得到探索，并展现出良好的疗效 [33, 46, 111]。

然而，即使接触创伤性记忆可能对长期有益，短期内也可能有害。两种



图 6：“购买一位朋友”场景（S18）的示意图。吉姆将自己添加到珍妮派对的虚拟现实相册中，扭曲她的记忆，让她记得他当时也在场。图中以蓝色标示参加珍妮派对的人物，以橙色标示吉姆编辑派对虚拟现实重建图像的手，以粉色标示插入派对场景中的吉姆三维捕捉影像，以绿色标示重建图像中被篡改的部分。

场景（S12、S13）探讨了恶意行为者如何让 VR 用户接触创伤事件，以恶意目的使其遭受痛苦，或使其感到不适，从而推销一种能够防止未来再次接触此类事件的选项。

7.2 通过暗示扭曲记忆

七个场景（S14、S15、S16、S17、S18、S19、S20，见表 3）探讨了扩展现实记忆操纵如何利用对过去事件的篡改三维重建，借助错误归因和易受暗示性来扭曲记忆。

7.2.1 依据。 错误归因是指记忆存在于脑海中，却被归因于错误来源（表 1） [106, 108]。这种效应之所以会发生，是因为记忆没有标注其来源：来源是在提取过程中，根据不同线索无意识地推断出来的。如果这些线索不够准确，就无法提取到正确来源[60, 61]。错误归因的一个典型例子是，有人以为自己记得亲身经历过某个事件，但实际上他们只记得那件事的图片。易受暗示性是指，在编码与提取之间加入新信息后，记忆可能会被扭曲，例如通过诱导性问题或评论 [75, 76, 106]。这与错误归因有关，因为暗示造成的扭曲总是涉及真实事件与暗示信息之间的某种错误归因。

7.2.2 场景。 “购买一位朋友”（S18）很好地展现了如何利用错误归因和易受暗示性。在这个场景中，Jim 使用一款虚拟现实社交媒体应用，可以重温过去事件的沉浸式重建，并与其他用户分享。凭借高级账户，Jim 可以将自己植入他人的记忆中。Jim 想与 Jenny 拉近关系，但没能参加她上次的派对，于是决定通过该应用，将自己的逼真三维形象植入 Jenny 分享的记忆中（图 6）。之后，Jenny 在应用中重温这段记忆时，发现 Jim 当时也在场。由于错误归因（将重建的事件与真实事件混淆）以及

易受暗示性（将"Jim 当时在场"这一暗示信息纳入记忆），Jenny 原本的记忆可能会被扭曲："Jim 当时也在，我们一起度过了愉快的时光。"在这个场景中，社交媒体企业出售一种在提取记忆时使用 XRMMs 的服务。另外六个场景（S14、S15、S16、S17、S19、S20）也基于类似的构想：对过去事件的三维重建进行修改，可以覆盖并扭曲对原始事件的记忆。

7.3 讨论

7.3.1 技术挑战。 XRMMs 场景在提取时面临的主要技术挑战，是对事件进行三维捕捉的能力。体积捕捉技术已在开发中并取得良好效果 [42, 74], ，因此从技术角度看，这是可行的。旨在扭曲记忆的操纵方式意味着需要能够改变过去事件的三维重建（例如，在虚拟现实记忆中加入某个人，S18）。这可以通过人工方式完成，但需要投入一定的时间和精力；要实现自动化则是一项技术挑战。不过，近期图像修复方法 [88, 96] 和生成式人工智能工具（如 Stable Diffusion [121] 或 DALL.E 2 [89], ）的进展表明，近期实现这一目标是可行的。

7.3.2 扩展现实的作用。 通过反思影响对过去的感知并非扩展现实所独有，因为无须技术支持，或借助图片和视频，也能做到这一点 [57, 65]。然而，虚拟现实提供了一种更具吸引力的回忆方式 [137] ，并能提升情景记忆表现 [77, 118], ，这可能有助于实施此类操纵。通过暗示来扭曲记忆，也可以借助图片实现（例如，"购买一位朋友"场景（S18）可以通过在社交媒体分享的图片中加入人物来实现） [86, 98, 134], ；但扩展现实所带来的逼真感和具身化可能会放大错误归因效应。在现实监测框架中，Johnson 和 Raye 指出了人在提取记忆时用来区分外部（真实）事件和内部（想象）事件的线索 [60, 61]。具有丰富感官特征（如触觉、嗅觉）、语义内容（如详细的颜色、形状）和情境信息（如空间、时间信息）的记忆，更可能是对外部事件的记忆。然而，如果某个内部事件具有许多与外部事件相符的特征（例如，包含丰富的感知细节），就可能被误认为外部事件。现实监测框架可与媒介丰富度理论结合，用以解释为何有人可能认为，提升虚拟现实体验的"丰富度"（如模态数量、视觉质量），也会使人更容易混淆真实体验与虚拟体验 [43, 55, 56, 102, 109]。Segovia 等人证明，与基线条件相比，使用虚拟现实在小学生中诱发虚假记忆更为有效 [109]。尽管图片等更传统的媒介也能用于扭曲记忆，但利用虚拟现实诱发暗示可能效率更高，也会放大操纵效果。

7.3.3 目的。 这种操纵可用于多种目的。对过去事件进行沉浸式重现，可作为一种反思工具，帮助人们更好地理解过去，并以更积极的方式重新看待过去，从而避免痛苦（例如，S8）。PM1指出，此类操纵应仅由专业第三方实施（例如，治疗师），因为让用户沉浸于创伤性记忆的重现中也可能造成伤害（例如，S13、S12）。

尽管在两个场景（S14、S16）中，改变对过去事件的重建会使用户受益（例如，在 S14 中，虚拟现实用户扭曲自己的记忆，以便对自己的过去留下更好的印象并增强自信），但在另外三个场景（S15、S17、S20）中，XRMMs 被用于恶意目的（例如，通过欺骗出售商品，或让某人觉得自己无能）。在"购买一位朋友"（S18）这一场景中，最初的意图是积极的，因为操纵的目的是帮助某人结交朋友。然而，根据 PM3 的说法，这种友谊建立在诱导虚假记忆的基础上，因此"在伦理上并不理想"。此外，这种操纵可能被用来接近怀有恶意的人（例如，为了从他们那里骗取钱财）。这些场景引发了有关改变过去事件三维重建的伦理问题。

8 XRMMs 检索前

最后，记忆可以在检索前受到操纵：即在事件发生之后、被记起之前。通过讨论的两个 XRMMs 检索前场景，我们发现，这些操纵可以诱导遗忘，方式包括隐藏记忆线索（利用短暂性）或诱发压力（利用阻塞）。诱导遗忘既可出于积极目的，也可出于消极目的（例如，帮助某人忘记一段负面经历，或让他们觉得自己无能）。由于讨论的场景中只有两个描述了检索前 XRMMs，因此这一方向值得深入探索。下文将解释并讨论这两种诱导遗忘的方式：隐藏记忆线索和诱发压力。

8.1 通过隐藏记忆线索诱导遗忘

一个情景（S21，见表 3）探讨了*XRMMs* 如何通过隐藏记忆线索来诱导遗忘，并借助短暂性。

8.1.1 理论基础。 短暂性是指记忆随着时间推移而减弱或消失（表 1） [106]。几分钟前的记忆自然比几年前的记忆更清晰、更生动 [37]。通过经常提取记忆（例如，思考或谈论这些记忆），可以减缓短暂性的影响。很少或从不被回忆起的记忆会更快地被遗忘 [7, 106, 124]。

8.1.2 情景。 "AR橡皮擦"情景（S21）探讨了如何利用增强现实借助短暂性，帮助人们忘记不想要的记忆。在这个情景中，Alex 使用增强现实眼镜隐藏环境中所有与其前伴侣有关的元素，以便更快地忘记对方。这些元素可以被模糊处理（例如，模糊这对情侣初吻时所在的长椅），也可以被替换（例如，用另一张图片替换一张照片）（图 7）。隐藏与此人相关的记忆线索后，与此人有关的想法可能会减少，相关记忆也可能更快地消退。

8.2 通过诱导压力诱导遗忘

一个场景（S22，见表 3）探讨了*XRMMs* 如何通过诱发压力，利用阻塞，来诱导遗忘。

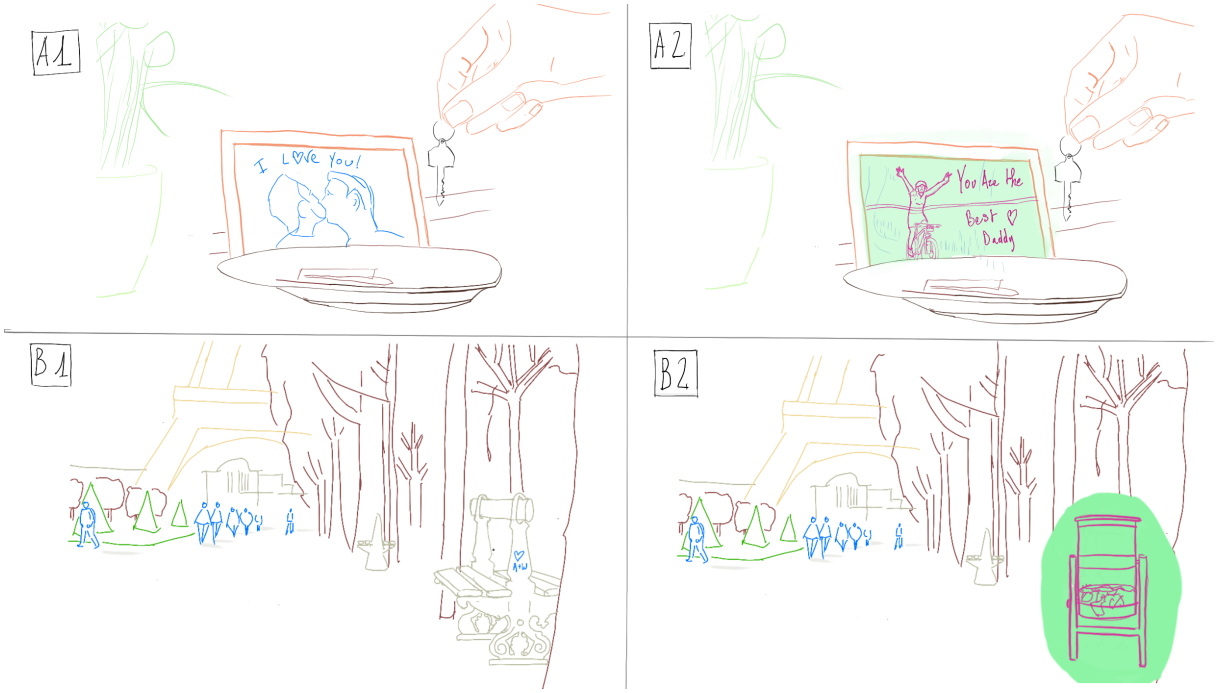

图7：“*AR*橡皮擦”情景的两幅示意图（S21）。Alex 使用增强现实隐藏与其前伴侣有关的元素，以便更快地忘记对方。图A1和图B1展示了未修改的情景。A1中是Alex和其前伴侣的照片，B1中是他们初次接吻的长椅。A2和B2展示了Alex通过增强现实眼镜所看到的画面，其中替换了可能强化不想要的记忆的元素。粉色部分是被替换的元素，绿色部分是受修改影响的视觉区域。

8.2.1 理论基础。 阻塞是指某段记忆已被编码并储存在脑海中，但在需要时却无法提取（表 1） [106]。阻塞的一个例子是“话到嘴边”的状态：我们想不起某个词，却能想起它的部分信息，比如首字母。这些提取失败可能由压力导致 [64, 135]。

8.2.2 情景。“虚假训练应用”（S22）这一情景探讨如何利用阻塞使虚拟现实用户变得脆弱。在这个情景中，Paul 使用一款虚拟现实应用来测试自己的知识（例如，一款测验应用）。该应用将用户置于压力环境中（例如，在用户周围展示一群人），以故意诱发阻塞，使他们无法通过测试并感到自己能力不足。随后，该应用会建议用户购买训练应用，以提升能力。

8.3 讨论

8.3.1 技术挑战。“AR橡皮擦”（S21）这一场景依赖于增强现实弱化现实并隐藏元素的能力。从技术角度来看，这种能力已得到探索，部分实现也切实可行 [24, 54, 85]。这种操控还需要借助人工智能工具识别并选出需要修改的元素（在此场景中，是与前伴侣有关的元素），并对其进行无缝修改。这带来了技术挑战，但关于图像中的目标检测 [139]、图像修复 [96] 和生成式人工智能 [89, 121] 的研究已展现出令人鼓舞的成果。

8.3.2 扩展现实的作用。尽管在“AR橡皮擦”（S21）这一场景中，用于诱导遗忘的技术无需增强现实也已能在现实中实现，例如将所有与某人有关的个人物品收进盒子并移出用户视线，或从照片中移除某人，但增强现实能够隐藏用户无法亲自移除的元素（例如街边的长椅），这是其独特之处，也使这种操控更加全面有效。

“虚假训练应用”（S22）情境依赖于诱发压力的能力。智能手机应用已经可以实现这一点（例如，加入游戏中常用的压力因素），但虚拟现实能够让用户完全沉浸在压力环境中，从而引发逼真的生理反应 [67, 78, 140]。虚拟现实的这一特性可能会增强阻塞效应，使这种操控更容易诱发。

8.3.3 目的。“AREraser”（S21）情境的意图是积极的，其目标是防止痛苦记忆造成的折磨。然而，这种技术值得商榷，因为干扰自然应对过程可能会产生不良影响。PXR2指出，不好的记忆“也有其存在的理由”，因此逃避它们未必是正确的解决办法。

在“虚假训练应用”（S22）这一情境中，遗忘被用于恶意目的（即通过欺骗来推销某种商品）。这引发了人们对沉浸式技术能否诱发逼真的生理反应（如压力）的伦理问题。

9 总体讨论

本研究的主要目标是探讨在扩展现实中可能出现哪些类型的记忆操纵（类别），以及技术如何在这些操纵中发挥促成或放大作用（核心组件框架）。

通过对生成场景的主题分析，我们发现**XRMMs可以用五个主要组成部分来描述**：情境、记忆机制、实施方式、记忆功能和最终目标。情境、实施方式和最终目标是大多数其他XR应用中都具备的要素，而以记忆机制为基础，并通过记忆功能影响用户，则是XRMMs的独特属性。与感知操纵类似，应用设计者需要了解人类认知的局限，才能实施操纵并实现预期目标。然而，对于记忆操纵，设计者不仅必须知道如何利用记忆局限，还必须了解如何通过自传体记忆功能（自我、社会和指导功能）影响用户，以实现预期效果。这表明，在设计和开发过程中，XRMMs需要对人类认知和感知有更深入的理解。

此外，我们发现三**类 XRMM**在所用技术（AR 与 VR）以及对记忆的影响（影响记忆质量、扭曲记忆和诱发遗忘）方面存在显著差异。编码时的 XRMM 主要依靠 AR 技术干预记忆构建。这类 XRMM 深深植根于 XR 感知用户及环境，并在物理世界上叠加显示数字信息的能力。提取时的 XRMM 主要依靠 VR 技术，以及让用户沉浸于过去事件的三维重建中的能力，从而改变用户对某段记忆的感知或扭曲该记忆。尽管使用图像等二维媒体也能实现这些操控，但 VR 是一种更丰富的媒介（与媒介丰富度理论相关 [56, 109]），而且 VR 事件的编码过程更接近真实事件的编码过程 [63, 118], ，这可能会增强这些操控的效果。检索前的 XRMM 侧重于通过隐藏记忆线索（在 AR 中）或诱发压力（在 VR 中）来促使遗忘。这类方法也适用同样的论点：与二维媒体的对应方式相比，它们可能造成更严重的影响，并为影响用户记忆提供新的机会。

与来自这两个领域（扩展现实和认知科学）的专家合作，不仅让我们揭示了这些类别和机制，也使我们的推测性设计方法建立在有关人类记忆的现有研究之上。在每场研讨会的讨论中，专家们不仅能够评价这些场景发生的可能性，还能探讨此类场景可能对个人和社会产生的潜在正面与负面影响。下文将讨论潜在的正面与负面发展方向；其中一部分源自研讨会讨论，另一部分则来自我们对自身工作的反思以及对既有文献的考察。

9.1 好的一面：更进一步增强人类智力

在研讨会中提出并讨论的22个场景里，有13个聚焦于积极应用，旨在支持神经多样性群体，或增强神经典型用户的能力。这两种方式都可视为对人的增强，尤其是对人类智力的增强 [39]。道格拉斯·恩格尔巴特提出了一个概念框架，着重于提升用户解决复杂问题的能力。他举出了一系列这类能力的例子：更迅速地理解、更深入地理解、在原本过于复杂的情境中达到有用程度的理解、找到解决方案的速度更快、方案更完善，以及找到以往似乎无解的问题的解决方案。这些能力部分涉及记忆的指引功能。通过在编码时使用 XRMMs，用户便有可能在原本过于复杂的情境中达到有用程度的理解。引导用户的注意力（例如，“这件事你应该记住” S6），或诱发情绪刺激（例如，“你会记住那个不太可能发生的危险事件” S2），能够强化对所经历事件的记忆，并因记忆的指引功能而在之后带来更好的表现。与恩格尔巴特的构想相比，这种增强方式尤其有趣之处在于，XRMMs 并非用于更好地完成任务的外部工具。XRMMs 是一种改变感知和记忆、从而改变自我的工具，可能带来正面或负面的影响。主要区别在于，移除工具后，这种增强仍会持续；而在“增强人类智力”中的例子并非如此。这也是 VPPMs 等感知操纵与 XRMMs 之间的核心区别。扩展现实为这类操纵提供了载体，因为如今它们可以应用于现实世界，而不再局限于数字信息。然而，这种对人类感知与认知系统的干预，也要以丧失感知完整性为代价。

9.2 坏的一面：更进一步丧失感知完整性

“感知完整性 ”这一概念是在联合编码会议以及对专家在研讨会自由讨论内容的分析中提出的。在讨论情景 S6（人工智能选择用户应关注什么，见图 5）时，PXR5 提到，如果“值得记住的内容由众人共同筛选”，用户就会“失去部分个体性”，这可能“损害民主，也妨碍我们独立思考”。意识到通过工具实现的暂时增强与通过扩展现实记忆操控（XR-MMs）这类方式实现的永久增强之间存在区别后，我们讨论了这样一种观点：扩展现实能够（有时甚至在不知不觉中）干扰我们对真实世界和虚拟世界的感知，从而削弱我们的能动性，以及我们对所感知事物未受技术改变这一点的信任（感知完整性）。

尤其当人类认知系统成为应用设计的一部分，且开发者能够利用已知阈值，通过改变用户的主观现实，引导他们采取行动或形成信念时，这种情况就很可能发生。与感知操纵（例如）相比，我们看到 XRMMs 的特殊危险在于

VPPMs（如重定向行走 [123]）的影响是，XRMMs 对用户的影响持续时间更长。重定向行走利用视觉系统的阈值，立即影响用户的身体动作；而 XRMMs 则利用人类认知系统中的薄弱环节，通过三种自传体记忆功能（自我、社会和指令功能，见 2.1.1 节）影响用户的自我感知、社会互动、决策和行为。

这些发现建立在先前研究者的工作之上；他们开始关注扩展现实影响和操纵用户感知的能力所带来的类似问题。Roesner 等人在 2014 [100] 和 2021 [99] 中提出了增强现实技术在安全与隐私方面可能面临的一系列挑战。他们将感知操纵这一概念称为“输出安全”，并从安全研究的角度开始提出结构性变革，以实现安全可靠的 [69] 与受保护的 [70] 增强。与我们的跨学科研究方法类似，Baldassi 等人将神经科学与计算机科学结合起来，探索“输出挑战”，并指出增强现实操纵用户感觉、感知和认知系统的能力所面临的核心挑战之一 [8]。我们的发现通过提出对感知操纵的一般性更详细定义，并区分 VPPMs 与 XRMMs，进一步拓展了这一研究方向。

区分 XR 中这两类感知操纵（VPPMs 和 XRMMs），使我们得以发现并阐明感知完整性这一概念。作为一种技术，XR 介导着我们对现实的感知。因此，它会强烈影响我们的感知完整性，也就是我们对现实的感知是否可靠、准确。迄今为止，利用 XR 操纵或损害感知完整性的方法，都是意在影响自由意志、能动性和自主性，并在此过程中影响我们的行为、行动与反应。XRMMs 和 VPPMs 是利用 XR 操纵感知完整性的两个有力实例，展现了感知完整性面临的新风险，尤其是日常消费级 AR 的出现所带来的风险。我们认为，这两类感知操纵之所以能够奏效，正是因为它们打破了感知完整性的理念。不过，也有人可能会认为，VR 和 AR 的核心本质就是操纵用户的感知（例如，以视觉方式呈现物理世界中并不存在的数字内容）。

在探讨感知操纵及其对感知完整性的影响时，我们的研究提出了许多未来研究问题，研究人员亟须在扩展现实无处不在之前予以解答。具体而言：我们应如何在维护感知完整性与利用扩展现实驱动的感知中介所带来的优势和能力之间取得平衡？我们允许在多大程度上实施感知操纵？需要采取哪些机制，才能让用户意识到潜在或正在进行的感知操纵，同时又不打断体验？扩展现实将带来哪些新型感知操纵？它们会带来哪些机遇、风险和担忧？也许最根本的问题是：谁或什么主体应当能够获取并运用这种感知操纵能力？在什么情况下，这种能力应受到法律监管？此类能力可以赋能个人，但也可能被其他主体利用，从企业到政府都有可能借此影响或引导用户的信念、态度、意图和行为。

这些问题目前也同样出现在神经技术领域（即与用户的神经系统交互，并能够监测或调节神经活动的技术）。神经权利基金会提出了五项规则（心理隐私、个人身份、自由意志、公平获取心理增强技术的机会以及免受偏见影响） [44]。虽然这些规则同样适用于感知操纵，但自由意志规则（“个人应对自己的决策拥有最终控制权，不受外部神经技术的未知操纵。”）最能说明，扩展现实中的感知操纵也面临类似问题，因此应遵循一套类似规则，在防止滥用的同时，不限制扩展现实的强大能力。Slater 等人也对虚拟环境中逼真效果的影响力提出了类似担忧 [116]。

9.3 丑陋的一面：谁应对发展轨迹负责，人机交互社区能做些什么？

我们想要探讨的一个重要问题，是感知操纵研究的责任归属及其发展轨迹。近年来，感知操纵技术频繁发表于人机交互和扩展现实领域，主要揭示了能够利用用户感知阈值的交互技术 [5, 97, 122, 123]。尽管研究人员开始探讨扩展现实和感知操纵可能带来的潜在危害 [50, 83, 126],，但这些研究主要来自安全、保障与隐私领域 [8, 69, 70, 99, 100]。扩展现实和人机交互研究人员仍主要关注感知操纵的潜在益处，并致力于理解和量化新的阈值。虚拟现实中的移动与重定向行走领域就是一个很好的例子 [97, 122, 123]。大多数论文都致力于更加精确地检测视觉旋转的感知阈值。这引出了这个问题的第二部分：谁应承担责任？人机交互研究能作出什么贡献？

本文旨在展示我们对感知操纵领域未来研究的构想。我们列举了人类认知中的一系列薄弱环节，这些环节可能被利用于扩展现实中的正面或负面应用场景。重点在于以整体视角审视此类应用可能带来的威胁。滥用场景并非事后才考虑的问题，而是这项研究不可或缺的一部分。我们不只关注 XRMMs 可能实现的正面应用（增强人类智力），而是进行更广泛的探讨，并纳入对潜在滥用场景（例如感知完整性）的反思。本文旨在阐明这四个重要领域（人机交互、扩展现实、安全和认知科学）如何协同合作，并对各自为扩展现实感知操纵这一科学领域作出的贡献进行批判性反思。

10 局限性

采用推测性设计工作坊存在一定风险：生成的场景可能更偏虚构，而非建立在我们对某一主题的现有认知之上。为了探索 XRMMs 这一构想，我们需要采用这种方法，因为 XR 消费设备的普及尚未达到能够实现这一目标的程度。

不过，为了在这两个相关领域（XR 和认知科学）中建立坚实的基础，我们邀请了各领域的专家，并围绕已知且现存的记忆局限设计了工作坊。此外，我们通过举例说明每类 XRMM 可利用的记忆机制，并以认知心理学研究为依据。这些例子并不全面，未来关于 XRMMs 的研究还可以进一步拓展。由于我们采用协作编码方法，因此无法在主题分析过程中计算编码者间信度（ICR）指标。独立编码并计算 ICR 本可以提供更客观的一致性衡量方式。不过，协作方法使我们能够通过讨论达成共识，并促使我们及早反思数据和编码手册。此外，参加工作坊的专家大多来自西欧国家（12 名参与者中有 11 名），但我们没有收集关于其文化背景的正式信息。因此，我们无法声称所生成的场景具有任何文化多样性。

11 结论

在这项工作中，我们探讨了如何利用扩展现实操纵记忆。我们开展了三场推测性设计工作坊（n=12），由扩展现实和记忆研究人员共同创作了 48 个扩展现实记忆操纵情景。通过主题分析，我们得出了扩展现实记忆操纵的定义，并将其与其他类型的感知操纵（例如 VPPMs）区分开来。此外，我们提出了一个涵盖其核心组成部分的框架，并讨论了三类扩展现实记忆操纵（编码时、检索前、提取时）。为证明这些类别的合理性，我们以当前的扩展现实和记忆研究为基础，分别阐述了每一类。本文的研究结果使我们能够对一种会对用户产生长期影响的新型感知操纵进行分类。我们讨论了此类感知操纵的益处与风险，推动我们更进一步增强人类智力，但代价是危及感知完整性。

致谢

本研究部分获得法国政府资助，该资助由法国国家研究署通过“未来投资计划”（PIA）管理，资助项目编号为 ANR-21-ESRE-0030(CONTIN- UUM)。我们感谢所有研讨会参与者的贡献，也感谢匿名审稿人提供的宝贵反馈。

参考文献

[1] Mahdi Nasrullah Al-Ameen、Matthew Wright 和 Shannon Scielzo。2015。《让随机密码更容易记忆：通过多种线索发挥用户的认知能力》。收录于第33届 ACM 人机交互年度会议论文集（CHI '15）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，2315–2324。https://doi.org/10.1145/ 2702123.2702241[2] Cristina Alberini。2011。《再巩固在长时记忆形成与存储动态过程中的作用》。《行为神经科学前沿》5（2011）。[3] Cristina M. Alberini 和 Joseph E. LeDoux。2013。《记忆再巩固》。《当代生物学》23，17（2013年9月），R746–R750。https://doi.org/10.1016/j.cub. 2013.06.046[4] Nadisha-Marie Aliman 和 Leon Kester。2020。《AIVR中的恶意设计、虚假信息与面向网络安全的沉浸式防御》。收录于2020年 IEEE 人工智能与虚拟现实国际会议（AIVR）。130–137。https://doi.org/ 10 1109 50618 2020 00031 . /AIVR . . Mahdi Azmandian、[5] Mark Hancock、Hrvoje Benko、Eyal Ofek 和 Andrew D. Wilson。2016。《触觉重定向：动态重新利用被动触觉，提升虚拟现实体验》。收录于2016年 CHI人机交互会议论文集。1968–1979。[6] Alan Baddeley、Vivien Lewis、Margery Eldridge 和 Neil Thomson。1984。《注意力与长时记忆提取》。《实验心理学杂志：总论》 113 1984 518 540 10 1037 0096 3445 113 4 518 ( ), –。[7] 2000 2000 https://doi.org/ . / - . . . Harry P. Bahrick。《知识的长时维持》。（）。[8] Stefano Baldassi、Tadayoshi Kohno、Franziska Roesner 和 Moqian Tian。2018。《增强现实、计算机安全与神经科学中的挑战和新方向——第一部分：对感觉与感知的风险》。arXiv预印本 arXiv:1806.10557（2018）。arXiv:1806.10557[9] Emma Berry、Narinder Kapur、Lyndsay Williams、Steve Hodges、Peter Watson、Gavin Smyth、James Srinivasan、Reg Smith、Barbara Wilson 和 Ken Wood。2007年8月至10月。《将可穿戴相机 SenseCam 用作图像日记，以改善一名边缘系统脑炎患者的自传体记忆：初步报告》。《神经心理康复》17，4-5（2007年8月至10月），582 601 10 1080 09602010601029780 –。https://doi.org/ . / Agon [10] Bexheti、Marc Langheinrich、Ivan Elhart 和 Nigel Davies。2019。《在记忆增强系统中安全存储和共享记忆线索：一种实用方法》。收录于2019年 IEEE普适计算与通信国际会议（PerCom。 1 10 10 1109 2019 8767389 –。[11] 2015 https://doi.org/ . /PERCOM. . Mark Billinghurst、Adrian Clark 和 Gun Lee。《增强现实综述》。《人机交互基础与趋势》8，2-3（2015年3月），73–272。https://doi.org/10.1561/1100000049[12] Olaf Blanke、Lucie Bréchet、Robin Mange、Bruno Herbelin、Baptiste Gauthier 和 Andrea Serino。2018。《编码时观看自己的身体可增强情景记忆》。https://doi.org/ 10 1101 318956 . / Philippe Blondé、Jean-Charles [13] Girardeau、Marco Sperduti 和 Pascale Piolino。2022。《走神的心灵也是健忘的心灵：走神对情景记忆编码影响的系统综述》。《神经科学与生物行为评论》132（2022年1月），774–792。https://doi.org/10.1016/j. neubiorev.2021.11.015[14] Susan Bluck、Nicole Alea、Tilmann Habermas 和 David C. Rubin。2005。《自传体记忆的三种功能：自我报告的使用方式》。《社会认知》 23, 1 2005 91 117 10 1521 23 1 91 59198 （2月），–。[15] 2014 56 https://doi.org/ . /soco. . . . Joseph Bonneau 和 Stuart Schechter。《在人的记忆中可靠存储 - 位秘密》。收录于第23届 USENIX 安全研讨会（USENIX Security 14）。607–623。[16] Fred B. Bryant、Colette M. Smart 和 Scott P. King。2005。《以过去增进现在：通过积极回忆提升幸福感》。《幸福感研究杂志》6，3（2005年9月），227–260。https://doi.org/10.1007/ s10902-005-3889-4[17] Larry Cahill 和 James L. McGaugh。1998。《情绪唤起与持久陈述性记忆的机制》。《神经科学趋势》21，7（1998年7月）， 294 299 10 1016 0166 2236 97 01214 9 –。[18] 2006 https://doi.org/ . /S - ( ) - Niamh Caprani、John Greaney 和 Nicola Porter。《面向老年人口的记忆辅助设备综述》。《PsychNology期刊》4，3（2006），205–243。[19] Peter Casey、Ibrahim Baggili 和 Ananya Yarramreddy。2021。《沉浸式虚拟现实攻击与人体摇杆》。《IEEE可信与安全计算汇刊》18，2（2021年3月），550–562。https://doi.org/10.1109/TDSC. 2019.2907942[20] Claude Castelluccia、Markus Duermuth、Maximilian Golla 和 Fatma Deniz。2017。《迈向基于隐式视觉记忆的身份验证》。收录于2017年网络与分布式系统安全研讨会论文集。互联网协会，美国加利福尼亚州圣迭戈。https://doi.org/ 10 14722 2017 23292 . /ndss. . Neil Charness、[21] Ryan Best 和 Dustin Souders。2012。《记忆功能与支持性技术》。《老年技术学：服务老龄社会的技术基础国际期刊》11，1（2012），10.4017/gt.2012.11.01.006.00。https://doi.org/10.4017/gt.2012.11.01.006.00

[22] Kaiming Cheng、Jeffery F Tian、Tadayoshi Kohno 和 Franziska Roesner。2023。《探索用户对混合现实中感知操纵攻击的反应及其心理模型》。《USENIX安全大会2023》（2023），18。[23] Lung-Pan Cheng、Eyal Ofek、Christian Holz、Hrvoje Benko 和 Andrew D. Wilson。2017。《稀疏触觉代理：在虚拟环境中使用普通被动物体提供触觉反馈》。收录于2017年 CHI人机交互会议论文集（CHI '17）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，3718–3728。https://doi.org/10.1145/3025453. 3025753[24] Yi Fei Cheng、Hang Yin、Yukang Yan、Jan Gugenheimer 和 David Lindlbauer。2022。《迈向理解减弱现实》。收录于2022年 CHI人机交互会议论文集（CHI '22）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1–16。https://doi.org/10.1145/ 3491102.3517452[25] Sarah Clinch、Cathleen Cortis Mack、Geoff Ward 和 Madeleine Steeds。2021。《技术介导的记忆损伤》。收录于《技术增强的感知与认知》，Tilman Dingler 和 Evangelos Niforatos（编）。施普林格国际出版公司，查姆，71–124。https://doi.org/10.1007/978-3-030- 30457-7 4[26] Dan Cosley、Kathy Akey、Brian Alson、Jonathan Baxter、Mark Broomfield、Soy-oung Lee 和 Chethan Sarabu。2009。《运用技术支持怀旧回忆》。收录于英国计算机学会。480–484。[27] Nelson Cowan。1988。《人类信息处理系统中记忆存储、选择性注意及其相互制约关系的演变观念》。《心理学通报》104，2（1988），163。[28] Fergus I. M. Craik、Richard Govoni、Moshe Naveh-Benjamin 和 Nicole D. Anderson。1996。《分散注意力对人类记忆编码与提取过程的影响》。《实验心理学杂志：总论》125（ 1996 159 180 10 1037 0096 3445 125 2 159），–。https://doi.org/ . / - . . . [29] Anne A. Cuperus 和 Ineke J. M. van der Ham。2016。《体育表现的虚拟现实回放：对记忆、能力感与表现的影响》。《学习与动机》56（2016年11月），48–52。https: //doi.org/ 10 1016 2016 09 005 . /j.lmot. . . Sauvik Das、David Lu、Taehoon Lee[30]、Joanne Lo 和 Jason I. Hong。2019。《记忆宫殿：探索视觉空间路径，实现牢固、易记且不频繁使用的身份验证》。收录于第32届ACM用户界面软件与技术研讨会论文集（UIST '19）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1109–1121。https://doi.org/10.1145/3332165.3347917[31] Nigel Davies、Adrian Friday、Sarah Clinch、Corina Sas、Marc Langheinrich、Geoff Ward 和 Albrecht Schmidt。2015。《普适记忆增强的安全与隐私影响》。《IEEE普适计算》14（2015年1月）， 44 53 10 1109 2015 13 –。https://doi.org/ . /MPRV. . Robert Desimone[32] 和 John Duncan。《选择性视觉注意的神经机制》。《神经科学年度评论》18，1（1995），193–222。[33] JoAnn Difede 和 Judith Cukor。2007。《 2001 年 9 月 11 日事件后用于治疗创伤后应激障碍的虚拟现实暴露疗法》。《临床精神病学杂志》68，11（2007年11月），1682–1689。https://doi.org/10. 4088 68 1102 /JCP.v n H.Q. Dinh、N. Walker、L.F. Hodges、Chang Song[34] 和 A. Kobayashi。1999。《评估多感官输入对虚拟环境中记忆与临场感的重要性》。收录于 IEEE虚拟现实会议论文集（目录号 *99 36316* 222 228 10 1109 1999 756955 CB ）。–。https://doi.org/ . /VR. . Jayesh Doolani、Matthew Wright、Rajesh Setty[35] 和 S M Taiabul Haque。2021。《LociMotion：迈向在单次会话中学习牢固的身份验证密钥》。收录于2021年 CHI人机交互会议论文集（CHI '21）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国， 1 13 10 1145 3411764 3445105 –。https://doi.org/ . / . John V. Draper、David B. Kaber[36] 和 John M. Usher。1998。《远程临场》。《人为因素》 40, 3 1998 354 375 10 1518 001872098779591386 （9月），–。https://doi.org/ . / Hermann Ebbinghaus[37]（ ）。《记忆：对实验心理学的贡献》。《神经科学年鉴》20，4（1885），155–156。https://doi.org/10. 1885 1885 5214/ans.0972.7531.200408[38] Emmaline Drew Eliseev 和 Elizabeth J. Marsh。2021。《数字时代自传体记忆的外化》。《认知科学趋势》25，12（2021年12月），–。https://doi.org/ . /j.tics. . . Douglas C Engelbart。《增强人类智力：概念框架》。加利福尼亚州门洛帕克（1962），21。 2021 1072 1081 10 1016 2021 08 005 Michael W. Eysenck 和 Mark T. Keane[39]。2020。《认知心理学：学生手册》。心理学出版社。[40] Anna Felnhofer、Oswald D. Kothgassner、Mareike Schmidt、Anna-Katharina Heinzle、Leon Beutl、Helmut Hlavacs 和 Ilse Kryspin-Exner。2015。《虚拟现实是否会引发情绪？对五种诱发情绪的虚拟公园场景进行研究》。《国际人机交互研究》82（2015年10月），[41] –。https://doi.org/ . /j.ijhcs. . . Andreas Rene Fender 和 Christian Holz。《保留因果关系的异步现实》。收录于2022年 CHI人机交互会议论文集（CHI '22）。美国计算机协会，纽约，纽约州 1962

[43] Ajoy S. Fernandes、Ranxiao Frances Wang 和 Daniel J. Simons。2015。将物理记忆为虚拟：增强现实中的来源混淆与物理交互。载于 ACM SIGGRAPH应用感知研讨会论文集 (SAP '15)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国， 127 130 10 1145 2804408 2804423 – 。https://doi.org/ 。/ 。神经权利基金会。. 使命。检索于2023年1月25日，来自 https://neurorightsfoundation.org/mission [45] Doron Friedman、Rodrigo Pizarro、Keren Or-Berkers、Solène Neyret、Xueni Pan 和 Mel Slater。2014。一种使用沉浸式虚拟现实产生时光倒流错觉的方法——一项探索性研究。心理学前沿 5 (2014)，943。[46] Maryrose Gerardi、Barbara Olasov Rothbaum、Kerry Ressler、Mary Heekin 和 Albert Rizzo。2008。使用虚拟伊拉克的虚拟现实暴露疗法：病例报告。创伤应激杂志 21，2 (2008)，209–213。https://doi.org/10. 1002 20331 /jts。Mar Gonzalez-Franco 和 Jaron Lanier[44]。2017。错觉与虚拟现实模型。心理学前沿 8 (2017)，1125。https://doi.org/10.3389/fpsyg. 2017.01125[48] Jan Gugenheimer。2016。游牧虚拟现实：探索移动虚拟现实头戴式显示器的新交互概念。载于第29届用户界面软件与技术年度研讨会论文集。9–12。[49] Jan Gugenheimer、Christian Mai、Mark McGill、Julie Williamson、Frank Steinicke 和 Ken Perlin。2019。在共享和社交空间中使用头戴式显示器的挑战。载于2019年CHI人机交互会议扩展摘要。1–8。[50] Jan Gugenheimer、Mark McGill、Samuel Huron、Christian Mai、Julie Williamson 和 Michael Nebeling。2020。探索人机交互中混合现实研究潜在的滥用伦理、社会和政治影响。载于2020年CHI人机交互会议扩展摘要 (CHI EA '20)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1–8。https: //doi.org/ 10 1145 3334480 3375180 。/ 。Cathal Gurrin、Alan F. Smeaton 和 Aiden R. Doherty[47]。2014。生活日志：个人大数据。信息检索基础与趋势® 8，1 (六月 2014 1 125 10 1561 1500000033)，– 。https://doi.org/ 。/ Morgan Harvey、Marc Langheinrich 和 Geoff Ward[51]。2016。通过生活日志记忆：人类记忆增强综述。普适与移动计算 27 (2016年4月)，14–26。https://doi.org/10.1016/j.pmcj. 2015.12.002[53] Linda A. Henkel。2014。即拍即忘记忆：拍照对博物馆游览记忆的影响。心理科学 25，2 (2014年2月)， 396 402 10 1177 0956797613504438 – 。https://doi.org/ 。/ Jan Herling 和 Wolfgang Broll[52]。. Pixmix：一种高质量减弱现实的实时方法。载于2012年IEEE混合与增强现实国际研讨会 (ISMAR)。IEEE，141–150。[55] H.G. Hoffman、K.C. Hullfish 和 S.J. Houston。1995。虚拟现实监测。载于1995年虚拟现实年度国际研讨会论文集。48–54。https: //doi.org/ 10 1109 1995 512479 。/VRAIS. 。Hunter G. Hoffman、Azucena Garcia-Palacios、Ayanna K. Thomas[54] 和 Anne Schmidt。2001。虚拟现实监测：真实、虚拟和虚假记忆的现象特征。网络心理学与行为 4，5 (2001年10月)，565–572。https://doi.org/10.1089/10949310175323515 1[57] Ellen Isaacs、Artie Konrad、Alan Walendowski、Thomas Lennig、Victoria Hollis 和 Steve Whittaker。2013。来自过去的回声：技术介导的反思如何改善幸福感。载于SIGCHI人机交互会议论文集。1071–1080。[58] Matthew Jamieson、Breda Cullen、Marilyn McGee-Lennon、Stephen Brewster 和 Jonathan J. Evans。2014。认知假肢技术对记忆障碍者的疗效：系统综述与元分析。神经心理康复 24，3-4 (2014年7月)，419–444。https://doi.org/ 10.1080/09602011.2013.825632[59] Matthew Jamieson、Brian O'Neill、Breda Cullen、Marilyn Lennon、Stephen Brewster 和 Jonathan Evans。2017。ForgetMeNot：为获得性脑损伤成人提供主动提醒输入支持。载于2017年CHI人机交互会议论文集 (CHI '17)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，6012–6023。https: //doi.org/ 10 1145 3025453 3025888 。/ 。Marcia K. Johnson、Shahin Hashtroudi[60] 和 D. Stephen Lindsay。1993。来源监测。心理学公报 114，1 (1993)，3–28。https://doi.org/10.1037/ 0033-2909.114.1.3[61] Marcia K. Johnson 和 Carol L. Raye。1981。现实监测。心理学评论 88, 1 1981 67 85 10 1037 0033 295 88 1 67 ( )，– 。https://doi.org/ 。/ - X. 。. Zeinab Joudaki、Julie Thorpe[62] 和 Miguel Vargas Martin。. 通过内隐学习强化系统分配密码短语。载于2018年ACM SIGSAC计算机与通信安全会议论文集 (CCS '18)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1533–1548。https://doi.org/10.1145/3243734.3243764 2018

[63] Joanna Kisker、Thomas Gruber 和 Benjamin Schöne。2021。虚拟现实体验促进自传体记忆提取机制：实验室与虚拟体验的电生理相关。心理学研究 85，7 (2021年10月)，2485–2501。https://doi.org/10.1007/s00426-020-01417-x [64] Cadu Klier 和 Luciano Grüdtner Buratto。2020。压力与长时记忆提取：系统综述。精神病学与心理治疗趋势 42，3 (2020 284 291 10 1590 2237 6089 2019 0077)，–。https://doi.org/ 。/ - - - Artie Konrad 、 Ellen Isaacs 和 Steve Whittaker。. 技术介导的记忆：技术是否在改变我们的记忆并干扰幸福感？ACM计算机与人类交互汇刊 23，4 (2016年8月)， 23 1 23 29 10 1145 2934667 : – : 。[65] 2016 https://doi.org/ 。/ Artie Konrad、Simon Tucker、John Crane 和 Steve Whittaker。2016。技术与反思：幸福感的情绪与记忆机制。幸福心理学 6 2016 5 10 1186 13612 016 0045 3 ( )， 。[66] https://doi.org/ 。/s - - - Michael Kotlyar、Christopher Donahue、Paul Thuras、Matt G. Kushner、Natalie O'Gorman、Erin A Smith 和 David E. Adson。2008。虚拟现实环境中呈现言语压力源的生理反应。心理生理学 45，6 (2008)，1034–1037。https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00690.x [68] Eric Krokos、Catherine Plaisant 和 Amitabh Varshney。2019。虚拟记忆宫殿：沉浸感有助于回忆。虚拟现实 23，1 (2019年3月)，1–15。https: //doi.org/ 10 1007 10055 018 0346 3 。/s - - - Kiron Lebeck、Tadayoshi Kohno 和 Franziska Roesner。2016。如何安全增强现实：挑战与方向。载于第17届移动计算系统与应用国际研讨会论文集。45–50。[70] Kiron Lebeck、Kimberly Ruth、Tadayoshi Kohno 和 Franziska Roesner。2017。保护增强现实输出。载于2017年IEEE安全与隐私研讨会 (SP)。IEEE，320–337。[71] Eric L. G. Legge、Christopher R. Madan、Enoch T. Ng 和 Jeremy B. Caplan。2012。几分钟内构建记忆宫殿：使用位置记忆法在虚拟与传统环境中实现等效记忆表现。心理学学报 141，3 (2012年11月)，380–390。https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012. 09.002[72] Eric L. G. Legge、Christopher R. Madan、Enoch T. Ng 和 Jeremy B. Caplan。2012。几分钟内构建记忆宫殿：使用位置记忆法在虚拟与传统环境中实现等效记忆表现。心理学学报 141，3 (2012年11月)，380–390。https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012. 09.002[73] Diane Lenormand 和 Pascale Piolino。2022。寻求自然主义神经影像方法：通过VR-fMRI案例探索一般可行性及其在情景记忆领域的应用。神经科学与生物行为评论 133 (2022年2月)，104499。https://doi.org/10.1016/j. neubiorev.2021.12.022[74] David Lindlbauer 和 Andy D. Wilson。2018。混合现实：在增强现实中操纵空间与时间。载于2018年CHI人机交互会议论文集 (CHI '18)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国， 1 13 10 1145 3173574 3173703 – 。[75] 2005 30 https://doi.org/ 。/ 。Elizabeth F. Loftus。. 在人类心智中植入错误信息：对记忆可塑性的 - 年调查。学习与记忆 12，4 (一月 2005 361 366 10 1101 94705)，– 。https://doi.org/ 。/lm. [76] Elizabeth F. Loftus 和 Jacqueline E. Pickrell。1995。虚假记忆的形成。精神病学年鉴 25，12 (1995年12月)，720–725。https://doi.org/10. 3928/0048-5713-19951201-07[77] Dominique Makowski、Marco Sperduti、Serge Nicolas 和 Pascale Piolino。2017。"身临其境"并记住它：临场感改善记忆编码。意识与认知 53 (2017)，194–202。[78] Marieke AG Martens、Angus Antley、Daniel Freeman、Mel Slater、Paul J Harrison 和 Elizabeth M Tunbridge。2019。感觉真实：对压力性虚拟现实环境的生理反应及其对工作记忆的影响。精神药理学杂志 33，10 (2019 年 10 月)，1264–1273。https://doi.org/ 10.1177/0269881119860156 [79] Sebastian Marwecki、Andrew D. Wilson、Eyal Ofek、Mar Gonzalez Franco 和 Christian Holz。2019。Mise-Unseen：使用眼动追踪在众目睽睽下隐藏虚拟现实场景变化。载于第32届ACM用户界面软件与技术年度研讨会论文集 (UIST '19)。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，777–789。https://doi.org/10.1145/3332165. 3347919[80] A. McDonald、C. Haslam、P. Yates、B. Gurr、G. Leeder 和 A. Sayers。2011。Google日历：一种补偿获得性脑损伤后前瞻记忆缺陷的新记忆辅助工具。神经心理康复 21，6 (十二月 2011 784 807 10 1080 09602011 2011 598405)，– 。[81] 2002 https://doi.org/ 。/ 。. James L McGaugh 和 Benno Roozendaal。. 肾上腺应激激素在大脑中形成持久记忆的作用。神经生物学当前观点 12, 2 2002 205 210 10 1016 0959 4388 02 00306 9 (四月)，– 。https://doi.org/ 。/S - ( ) - Arthur W. Melton。. 短时记忆对记忆一般理论的启示。言语学习与言语行为杂志 2，1 (七月 1963 1 21 10 1016 0022 5371 63 80063 8)，– 。https://doi.org/ 。/ [82] 1963 S - ( ) - Abraham Hani Mhaidli 和 Florian Schaub。. 通过情景构建识别XR中的操纵性广告技术。载于论文集 [83] 2021 2021 年计算机协会人机交互会议 (CHI ' 21) 美国计算机协会人机交互会议 (CHI '21)，美国，纽约州，美国，1–18。https://doi. org/ 10 1145 3411764 3445253 。/。Paul Milgram 和 Fumio Kishino。1994。《混合现实视觉显示分类》。IEICE信息与系统汇刊 E77-D 卷，第 12 期（1994 年 12 月），1321–1329。[85] Shohei Mori、Sei Ikeda 和 Hideo Saito。2017。《减弱现实综述：在视觉上隐藏、消除和看穿真实物体的技术》。IPSJ计算机视觉与应用汇刊 9，1（2017 年 6 月）， 17 10 1186 41074 017 0028 1 。https://doi.org/。/s---Robert A. Nash、[84] Kimberley A. Wade 和 D. Stephen Lindsay。2009。《数字操纵记忆：篡改视频和想象对扭曲信念与记忆的影响》。记忆与认知 37，4（2009 年 6 月），414–424。https://doi.org/ 10 3758 37 4 414 。/MC。。。BBC世界新闻。。《点击，虚拟时光机：从 2019 年观看我的人生》。取自 2023 年 1 月 25 日，https://www.bbc.co.uk/programmes/p08nwkw4 [87] 2020 [88] Alasdair Newson、Andrés Almansa、Matthieu Fradet、Yann Gousseau 和 Patrick Pérez。2013。《迈向快速、通用的视频修复》。载于第十届欧洲视觉媒体制作会议论文集（CVMP '13）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1–8。https://doi.org/10.1145/2534008.2534019[89] OpenAI。2022。《DALL·E 2》。取自 2023 年 1 月 25 日，https://openai.com/dall-e-2/[90] Sylvain Penaud、Najate Jebara、Mohamed Zaoui、Eric Orriols、Alain Berthoz 和 Pascale Piolino。2022。《自然情境中的情景记忆与自我参照：基于巴黎拉丁区虚拟漫步的新见解》。环境心理学杂志 81（2022），101801。[91] James W. Pennebaker 和 Sandra K. Beall。1986。《面对创伤事件：探讨抑制与疾病》。异常心理学杂志 95，3（1986），274。[92] PetaPixel。2018。《Facebook 可以根据你的照片和视频重建三维世界》。取自 2023 年 1 月 25 日，https://petapixel.com/2018/05/02/facebook-can-reconstruct-a-3d-world-from-your-photos-and-videos/ [93] Elizabeth A Phelps。2004。《人类情绪与记忆：杏仁核和海马复合体的相互作用》。神经生物学当前观点 14，2（2004 年 4 月 2004 198 202 10 1016 2004 03 015 ），–。https://doi.org/。/ [94] j.conb。。。Laurence Picard、Maria Abram、Eric Orriols 和 Pascale Piolino。2017。《虚拟现实作为评估儿童和青少年多面向情景记忆的生态有效工具》。国际行为发展杂志 41, 2 2017 211 219 10 1177 0165025415616198 （3 月），–。[95] 1976 https://doi.org/。/ Michael I. Posner、Mary J. Nissen 和 Raymond M. Klein。。《视觉支配：关于其起源与意义的信息加工解释》。心理学评论 83，2（1976），157。[96] Zhen Qin、Qingliang Zeng、Yixin Zong 和 Fan Xu。2021。《基于深度学习的图像修复：综述》。显示器 69（2021 年 9 月），102028。https://doi.org/ 10 1016 2021 102028 。/j. displa。。。Sharif Razzaque、David Swapp、Mel Slater、Mary Whitton 和 Anthony Steed。2002。《原地重定向行走》。第八届欧洲图形学虚拟环境研讨会（2002 年 1 月）。[98] E. F. Risko、M. O. Kelly、P. Patel 和 C. Gaspar。2019。《记忆卸载使我们容易受到记忆操纵的影响》。认知 191（2019 年 10 月），103954。https://doi.org/ 10 1016 2019 04 023 。/j.cognition。。。Franziska Roesner 和 [97] Tadayoshi Kohno。。《增强现实的安全与隐私：十年回顾》。载于 VR4Sec：首届 XR 安全与用于安全的 XR 国际研讨会。[100] Franziska Roesner、Tadayoshi Kohno 和 David Molnar。2014。《增强现实系统的安全与隐私》。ACM通讯 57，4（2014），88–96。[101] Oscar Rosello、Marc Exposito 和 Pattie Maes。2016。《NeverMind：使用增强现实进行记忆》。载于第二十九届用户界面软件与技术年度研讨会论文集（UIST '16 Adjunct）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，215–216。https://doi.org/ 10 1145 2984751 2984776 。/。[99] 2021 [102] Marius Rubo、Nadine Messerli 和 Simone Munsch。2021。《人类来源记忆系统难以区分虚拟现实与现实》。人类行为中的计算机报告 4（2021 年 8 月），100111。https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100111[103] Maria V. Sanchez-Vives 和 Mel Slater。2005。《通过虚拟现实从临场感走向意识》。自然评论神经科学 6，4（2005 年 4 月），332–339。https://doi.org/ 10 1038 1651 。/nrn Susan J. Sara。。《提取与再巩固：迈向记忆的神经生物学》。学习与记忆 7，2（2000 年 1 月），73–84。[104] 2000 https://doi.org/10.1101/lm.7.2.73[105] Corina Sas 和 Steve Whittaker。2013。《遗忘设计：分手后处置数字财物》。载于 SIGCHI人机交互会议论文集（CHI '13）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国， 1823 1832 10 1145 2470654 2466241 –。[106] 2002 https://doi.org/。/。Daniel L. Schacter。。《记忆的七宗罪：心智如何遗忘与记忆》。HMH。

[107] Daniel L. Schacter。2022。《媒体、技术与记忆的七宗罪》。Memory, Mind & Media 1 2022 1 10 1017 2021 3（），e。https://doi.org/。/mem。。[108] Daniel L. Schacter 和 Chad S. Dodson。2001。。《错误归因、虚假识别与记忆的七宗罪》。英国皇家学会哲学汇刊 B辑：生物科学 356，1413（2001 年 9 月），1385–1393。https://doi.org/ 10 1098 2001 0938。/rstb。。。[109] Kathryn Y. Segovia 和 Jeremy N. Bailenson。2009。《虚拟成真：儿童在虚拟现实中获得虚假记忆》。媒体心理学 12，4（2009 年 11 月 2009 371 393 10 1080 15213260903287267），–。https://doi.org/。/[110] Abigail J. Sellen、Andrew Fogg、Mike Aitken、Steve Hodges、Carsten Rother 和 Ken Wood。2007。《生活记录技术是否支持对过去的记忆？一项使用 Sensecam 的实验研究》。载于 SIGCHI人机交互会议论文集（CHI '07）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，81 90 10 1145 1240624 1240636–。https://doi.org/。/。[111] Andrew M. Sherrill、Alex O. Rothbaum、Lauren B. McSweeney 和 Barbara O. Rothbaum。2019。《针对创伤后应激障碍的虚拟现实暴露疗法》。精神病学年鉴 49，8（2019 年 8 月），343–347。https://doi.org/10.3928/00485713-20190716-02 [112] R. M. Shiffrin 和 R. C. Atkinson。1969。《长时记忆中的存储与提取过程》。心理学评论 76（1969），179–193。https://doi.org/10.1037/h0027277[113] Youngsoo Shin、Ruth Barankevich、Jina Lee 和 Saleh Kalantari。2021。《PENCODER：面向前瞻性记忆和老年人的设计》。载于 2021 年 CHI人机交互会议扩展摘要（CHI EA '21）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，1–7。https://doi.org/ 10 1145 3411763 3451795。/。[114] Panote Siriaraya 和 Chee Siang Ang。2014。《通过虚拟世界为痴呆症患者重现过去记忆中的生活体验》。载于 SIGCHI人机交互会议论文集（CHI '14）。美国计算机协会，纽约，纽约州，美国，3977–3986。https://doi.org/ 10 1145 2556288 2557035。/。[115] Mel Slater。。《场所幻觉与可信性能够在沉浸式虚拟环境中促成逼真行为》。英国皇家学会哲学汇刊 B辑：生物科学 364，1535（2009），3549–3557。[116] Mel Slater、Cristina Gonzalez-Liencres、Patrick Haggard、Charlotte Vinkers、Rebecca Gregory-Clarke、Steve Jelley、Zillah Watson、Graham Breen、Raz Schwarz、William Steptoe 等。2020。《虚拟现实与增强现实中逼真性的伦理》。虚拟现实前沿 1（2020），1。[117] Mel Slater 和 Sylvia Wilbur。1997。《沉浸式虚拟环境框架（FIVE）：关于临场感在虚拟环境中作用的推测》。临场感：远程操作员与虚拟环境 6，6（1997），603–616。[118] S. Adam Smith。2019。《情景记忆研究中的虚拟现实：综述》。《心理学通报与评论》26，4（2019 年 8 月），1213–1237。https://doi.org/10.3758/s13423-019-01605-w[119] Bernhard Spanlang、Jean-Marie Normand、David Borland、Konstantina Kilteni、Elias Giannopoulos、Ausiàs Pomés、Mar González-Franco、Daniel Perez-Marcos、Jorge Arroyo-Palacios、Xavi Navarro Muncunill 和 Mel Slater。2014。《如何构建具身化实验室：在虚拟现实中实现身体表征幻觉》。机器人学与人工智能前沿 1（2014）。[120] Jonathan D Spence。1984。《Matteo Ricci 的记忆宫殿》。Viking。[121] Stability.Ai。2022。《Stable Diffusion 2.0 发布》。取自 2023 年 1 月 25 日，https://stability.ai/blog/stable-diffusion-v2-release[122] Frank Steinicke、Gerd Bruder、Jason Jerald、Harald Frenz 和 Markus Lappe。2010。《重定向行走技术检测阈值的估计》。IEEE可视化与计算机图形学汇刊 16，1（2010 年 1 月），17 27 10 1109 2009 62 –。https://doi.org/。/TVCG。。[123] Qi Sun、Anjul Patney、Li-Yi Wei、Omer Shapira、Jingwan Lu、Paul Asente、Suwen Zhu、Morgan Mcguire、David Luebke 和 Arie Kaufman。2018。《迈向虚拟现实无限行走：动态扫视重定向》。ACM图形学汇刊 37, 4 2018 67 1 67 13 10 1145 3197517 3201294（7 月），：–：。https://doi.org/。/。[124] Charles P. Thompson、John J. Skowronski、Steen F. Larsen 和 Andrew L. Betz。2013。《自传体记忆：记住什么以及记住何时》。Psychology Press。[125] Yung-Chin Tsao、Chun-Chieh Shu 和 Tian-Syung Lan。2019。《融合虚拟现实与增强现实的老年人怀旧疗法系统开发》。可持续性 11，17（2019 年 1 月），4792。https://doi.org/ 10 3390 11174792。/su Wen-Jie Tseng、Elise Bonnail、Mark McGill、Mohamed Khamis、Eric Lecolinet、Samuel Huron 和 Jan Gugenheimer。2022。《虚拟现实中知觉操纵的阴暗面》。arXiv:2202.*13200 [cs]*（2022 年 2 月）。https://doi.org/ 10 1145 3491102 3517728 2202 13200 [ ]。/。[126] arXiv:。cs Chai M. Tyng、Hafeez U. Amin、Mohamad N. M. Saad 和 Aamir S. Malik。2017。《情绪对学习与记忆的影响》。心理学前沿 8（2017 年 8 月），。https://doi.org/。/fpsyg。。[127] Eunjoon "Rachel" Um、Jan L. Plass、Elizabeth O. Hayward 和 Bruce D. Homer。2012。《多媒体学习中的情感化设计》。教育心理学杂志 104，2（2012），485–498。https://doi.org/10.1037/a0026609

[129] Melina R. Uncapher 和 Michael D. Rugg。2009。为记忆而选择？选择性注意对情境信息记忆联结的影响。《神经科学杂志》29，25（2009年6月），8270–8279。https: //doi.org/ 10 1523 1043 09 2009。/JNEUROSCI。-。[130] Robert J. van Beers、Daniel M. Wolpert 和 Patrick Haggard。2002。感觉运动适应中，感受比观察更重要。《当代生物学》12，10（2002），834–837。[131] Joakim Vindenes、Angelica Ortiz de Gortari 和 Barbara Wasson。2018。记忆女神：将位置记忆法应用于沉浸式虚拟现实。载于增强现实、虚拟现实与计算机图形学（计算机科学讲义），Lucio Tommaso De Paolis 和 Patrick Bourdot（编）。施普林格国际出版公司，查姆，205–213。https://doi.org/10.1007/978-3-319- 95270-3 16[132] Oriol Vinyals、Alexander Toshev、Samy Bengio 和 Dumitru Erhan。2015。展示与讲述：一种神经图像描述生成器。载于*IEEE*计算机视觉与模式识别会议论文集。3156–3164。[133] Susanne Vogel 和 Lars Schwabe。2016。压力下的学习与记忆：对课堂的启示。《*npj*学习科学》1，1（2016年6月），1–10。https://doi.org/ 10 1038 2016 11。/npjscilearn。。[134] Kimberley A. Wade、Maryanne Garry、J. Don Read 和 D. Stephen Lindsay。2002。一张照片胜过千言万语：利用虚假照片制造虚假童年记忆。《心理学通报与评论》9，3（2002年9月），597 603 10 3758 03196318 –。https://doi.org/。/BF[135] Oliver T Wolf。。压力与记忆提取：机制及后果。《行为科学当前观点》14（2017年4月），40–46。https://doi.org/ 10 1016 2016 12 001。/j.cobeha。。。[136] Bob Woods、Laura O'Philbin、Emma M. Farrell、Aimee E. Spector 和 Mar-tin Orrell。2018。痴呆症的怀旧疗法。《考克兰系统评价数据库》3 2018 10 1002 14651858 001120 3（）。https://doi.org/。/。[137] CD.pub Jiaxin Xu 和 Baosheng Wang。2019。。基于虚拟现实的怀旧疗法在改善中国阿尔茨海默病患者自传体记忆方面的疗效。2020。339–349。https://doi.org/10.1007/978-3-030-51038-1_47[138] Yuki Yamada、Keisuke Irie、Kota Gushima、Fumiko Ishizawa、Mohammed Al Sada 和 Tatsuo Nakajima。2017。HoloMoL：利用混合现实技术增强人类记忆。载于第*21*届国际学术 *Mindtrek* 会议论文集（*AcademicMindtrek '17*）。计算机协会，纽约，纽约州，美国，235 238 10 1145 3131085 3131097 –。https://doi.org/。/。[139] Zhong-Qiu Zhao、Peng Zheng、Shou-Tao Xu 和 Xindong Wu。2019。。基于深度学习的目标检测：综述。《*IEEE*神经网络与学习系统汇刊》30，11（2019年11月），3212–3232。https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865[140] Patrick Zimmer、Benjamin Buttlar、Georg Halbeisen、Eva Walther 和 Gregor Domes。2019。虚拟压力？一种经过改进的虚拟现实特里尔社会压力测试（TSST）适配方案可引发稳定的内分泌反应。《心理神经内分泌学》101（2019年3月），186–192。https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.11.010

Id	Name	作者	描述	类别
S1	峰终定律	PXR2	在扩展现实体验期间诱导积极情绪，以增加积极记忆和整体幸福感。开发者实施这种操纵是为了让用户回到该应用。	在编码时 影响编码 通过诱导情绪
S2	你会记住 不太可能发生的事件	PM1	在学习驾驶时会模拟高风险且令人紧张的事件，因此重要的课程会被更好地记住。这种操纵是训练应用的一项功能。	
S3	使人遗忘	PXR4	攻击者在其他用户的增强现实视野中添加干扰因素，使他们注意力不集中并忘记他们刚刚做的事情，使他们容易受到其他攻击（例如，盗取钱财）。	在编码时 影响编码 通过引导注意力
S4	注意力检测器	PM3	一款增强现实应用帮助患有注意力缺陷障碍（ADD）的用户进行检测，并在检测到时通知他们他们不专心，以提高正确编码事件的机会。	
S5	编码增强器	PM4	增强现实应用通过模糊干扰因素和情境信息，帮助用户在学习情境中进行学习（声音、物体、动作.....），帮助他们集中注意力并增强编码。	
S6	这是你应该记住	PXR5	增强现实应用提出借助人工智能来支持编码，由人工智能筛选用户应该记住的内容，方法是突出重要元素并模糊干扰因素（图5）。	
S7	创伤性记忆	PM2	在治疗过程中，患有创伤后应激障碍的患者会在虚拟现实中直面自己的创伤，以减少闪回。	在提取时 影响感知 通过反思
S8	治疗	PM2	在治疗期间，患者会沉浸在虚拟现实中的一段过去事件的情境里，以帮助他们进行分析更好地了解情况并理解过去。	
S9	情侣游戏	PXR3	一款虚拟现实游戏让情侣体验彼此的记忆，以帮助他们更好地相互理解。	
S10	躯体变形障碍	PM3	在治疗过程中，患有躯体变形障碍的患者可以在虚拟现实中重温他们的记忆借助具身化来纠正他们的自我感知。	
S11	记忆训练	PM4	一款虚拟现实应用提议将用户的亲属插入虚拟现实娱乐内容中以帮助患有痴呆症的用户记住他们的亲属。	
S12	羞耻提醒	PXR4	一款增强现实应用会提醒用户回忆与地点相关的记忆。这款应用通过唤起创伤性记忆来获利，因为用户必须付费才能停止被这些记忆提醒。	
S13	Naked Man VR	PXR5	攻击者无意间让虚拟现实用户接触到创伤事件重建，以损害他们的心理状态，使他们变得脆弱。	
S14	演讲	PM1	一款 VR 演讲训练应用提议通过三维重建来重新体验先前的演讲表现。这些重建经过积极调整，以增强用户的自我感知。	在提取时 扭曲记忆 通过暗示
S15	房地产	PXR1	一家房地产公司篡改房产的虚拟现实重建内容，使潜在买家的记忆受到扭曲并变得更加正面，从而影响他们购买这些房产。	
S16	法官培训	PM1	一款法官培训虚拟现实应用建议他们参观过往审判的重建场景。这些重建场景通过改变人们的性别和种族而被篡改，以帮助法官减少偏见。	
S17	平行相册	PXR3	攻击者篡改一位老人的虚拟现实家庭相册，模糊其中的纪念物，让老人变得脆弱不堪。	
S18	购买一位朋友	PXR4	一个用于分享沉浸式记忆的虚拟现实社交媒体允许高级用户加入在其他用户的记忆中（图 6）。	
S19	燃烧的炉灶	PXR6	攻击者在增强现实用户的视野中显示其先前经历过的事件，使他们将过去的记忆与现在混淆，并变得脆弱。	
S20	What's Up Girl	PXR5	虚拟现实用于缓解过去的经历。攻击者篡改录制内容，以扭曲人们的记忆并改变他们的人际关系。	
S21	AR橡皮擦	PXR2	一款增强现实应用通过隐藏与某人相关的所有物体，试图帮助用户遗忘对方（图 7）。	检索前 诱导遗忘 通过移除线索
S22	虚假训练应用	PXR1	在VR测验应用中，用户沉浸在压力环境中，以使他们忘记这些答案让他们觉得自己能力不足，从而促使他们购买培训产品。	检索前 诱导遗忘 通过诱发压力
S23	大学辍学垃圾信息	PM5	增强现实应用在用户的视野中添加广告，以换取免费教育内容。	不被视为 XRMM
S24	嗅觉	PXR6	一款用于咨询产品的扩展现实应用添加嗅觉以触发情感并创造一个舒适的环境，以促使用户购买他们的产品。	
S25	怪奇物语的影响	PM5	一个虚拟现实娱乐应用整合了与用户青少年时期相关的文化内容（例如音乐），让人们享受这些内容。	

表 3：参与者生成并在研讨会期间讨论的扩展现实记忆操纵情景的简短描述和分类。