arXiv:2303.02843v2 [cs.HC] 9 Mar 2023

增强现实的黑暗面：探索增强现实中的操纵性设计

XianWang[a,b],Lik-Hang Lee[c],Carlos BermejoFernandez[a]，以及 Pan Hui[a,b,d]

[a]香港科技大学，中国香港特别行政区；[b]香港科技大学（广州），中国广州；[c]香港理工大学，中国香港特别行政区；[d]赫尔辛基大学，芬兰赫尔辛基

文章历史
编录于2023年3月10日

摘要
增强现实（AR）应用程序正日益普及，移动领域中已有 Pokémon GO 等成功案例。当前的恶意技术能够利用这些环境沉浸式与混合（物理—虚拟）的特性，诱使用户提供更多个人信息，这就是暗黑模式。暗黑模式是旨在影响个人行为决策的欺骗性技术（例如界面技巧）。然而，目前关于暗黑模式在增强现实环境中可能引发的问题的研究寥寥无几。在本研究中，我们通过构建场景来制作原型，并探讨暗黑模式未来可能采取的方式。我们在用户研究中使用虚拟现实模型，分析暗黑模式在增强现实中的影响。研究表明，暗黑模式在沉浸式场景中效果显著；而运用新颖技术（例如通过“触觉抓取”吸引参与者注意）能够影响他们的行动。最后，我们讨论了此类恶意技术的影响，以及能够缓解其影响的技术。

关键词
暗黑模式；增强现实

1. 引言

增强现实（增强现实）应用能够将虚拟世界无缝融入物理世界。我们也可以从 Pokémon GO 和 Snapchat 等智能手机应用，以及 ARKit、Google（ARCore）和 Microsoft（HoloLens）等消费市场的主要参与者身上，看到增强现实应用的流行（ Patil & Kumar, 2019; Research, 2020）。此外，这些应用的普遍性和沉浸感为交互技术及增强现实应用的使用开辟了新的空间。例如，用户不再受限于电脑，可以在物理世界中自由移动，同时与虚拟世界或增强视图互动（Nijholt, 2021）。这些环境也给用户的隐私和安保带来了新的挑战（Guzman, Seneviratne, & Thilakarathna, 2021; Hu, Iosifescu,& LiKamWa, 2021;Roesner,Kohno,& Molnar,2014）。

增强现实技术能够将虚拟物体与物理世界融合，从而改变用户对现实的感知（ Chatzopoulos, Bermejo, Huang, &

联系人：Pan Hui，电子邮箱：panhui@ust.hk

Hui, 2017）。尽管这类应用在商业市场上日益普及，但增强现实领域仍缺少设计指南。增强现实应用设计面临若干变化：（i）最佳实践迅速演变；（ii）制定指南时面临的范围界定挑战；（iii）在实践中学习（Azuma, 1997; Drascic & Milgram, 1996; Milgram & Kishino, 1994; Speicher 等，2018）。仍处于发展初期的增强现实技术（例如空中交互、跟踪能力）可能会妨碍通用设计指南的制定。根据 Michael Nebeling（密歇根，2021）的说法，我们可以指出四种试图制定此类设计指南的不同来源：（i）供应商，平台驱动；（ii）设计师，以用户为导向；（iii）从业者，基于经验；（iv）研究人员，基于实证。人机交互领域一直在研究用户体验对社会的影响（Ardito, Buono, Caivano, Costabile, & Lanzilotti, 2014; Mannonen, Aikala, Koskinen, & Savioja, 2014; Rajeshkumar, Omar, & Mahmud, 2013），以及从设计师和从业者的视角开展的研究（L´arusd´ottir, Cajander, & Gulliksen, 2012; Tromp, Hekkert, & Verbeek, 2011），以便为用户体验设计提供更负责任的指南和机制。此外，当前的人机交互研究（Di Geronimo, Braz, Fregnan, Palomba, & Bacchelli, 2020; Machuletz & B¨ohme, 2020; Mathur 等，2019; Mhaidli & Schaub, 2021; Utz, Degeling, Fahl, Schaub, & Holz, 2019）着重探讨此类界面设计对用户体验（UX）的影响，以及特定设计“伎俩”（暗黑模式（Brignull, 2019））如何影响用户决策，使其采取设计师所期望的行为。遵循 Gray、Kou、Battles、Hoggatt 和 Toombs（2018）的研究，我们将暗黑模式定义为“有利于系统而非用户的用户界面设计”。

尽管以往研究评估过增强现实安全与隐私（Hu 等，2021；McPherson、Jana 和 Shmatikov，2015；Roesner 等，2014），但用户界面对用户行为的影响却鲜少受到关注。本研究旨在首次概述增强现实生态系统中可能存在的暗黑模式设计。在增强现实成为主流技术之前，解决用户在增强现实应用中可能面临的风险至关重要。

在增强现实场景中，暗黑模式设计的可能形式更加多样。由于虚拟物体呈现在物理世界中的特性，这些设计可能使用户面临人身风险（Azuma，1997；Jung 等，2018）。目前，许多增强现实应用仍使用移动操作系统和智能手机作为交互设备（Chatzopoulos 等，2017）；这也使其他非增强现实移动应用中常见的传统暗黑模式设计得以沿用，例如使用繁琐菜单来关闭默认设置，或在二维菜单界面中提供误导性信息（B¨osch、Erb、Kargl、Kopp 和 Pfattheicher，2016；Di Geronimo 等，2020；Gray、Chivukula 和 Lee，2020；Gray 等，2018）。

使用场景：“当应用程序将重要内容（例如菜单偏好设置）隐藏在用户身后或其他物理物体之后，以保留默认值时，我们就能观察到暗黑模式。”在这项工作中，我们关注需要可视化的界面设计。不过，更重要的是，增强现实应用中的暗黑模式也可能采用其他交互方式，例如通过触觉反馈来引导用户选择某个选项，或通过音频反馈在用户决策过程中打断或分散其注意力。

贡献。 本文通过探索此类技术在增强现实环境中的应用可能性，继续开展对暗黑模式的研究。首先，我们采用场景构建（Mhaidli & Schaub, 2021）方法，说明暗黑模式在增强现实生态系统中可能促成的技术、用途及风险。这使我们能够在增强现实等新技术中设计和开发暗黑模式原型，

这一方法也见于其他研究（Betten, Rerimassie, Broerse, Stemerding, & Kupper, 2018年；Mathur, Kshirsagar, & Mayer, 2021年），用于预测未来技术的影响。我们使用上述方法，分析并描述了在增强现实场景中应用暗黑模式的若干新颖方式。其次，在开展场景构建并基于既有研究（Greenberg, Boring, Vermeulen, & Dostal, 2014年；Mhaidli & Schaub, 2021；Tseng et al., 2022）的基础上，我们使用虚拟现实作为模拟环境（Prange, Shams, Piening, Abdelrahman, & Alt, 2021），设计了一个应用程序，用于模拟公共环境（例如街道）中的增强现实场景。我们出于以下原因使用虚拟现实模拟环境：

(1) **增强现实技术的局限性**。 目前，增强现实技术仍处于起步阶段。因此，要实现原型的效果，需要投入大量资金和时间（Rymarczyk 等，2020）。相比之下，所提出的虚拟现实环境使我们能够克服技术问题，例如锚点跟踪和定位精度问题——虚拟物体无法保持在同一位置）（Yigitbas、Sauer 和 Engels，2021）。（2）**以往研究示例**。 此外，先前的一项研究（Prange 等，2021）也采用虚拟现实模拟模型来评估其增强现实场景。（3）**安保与政策**。 在我们的设置中，我们设计了一个街景虚拟环境，模拟参与者在现实世界中进行测试时可能遇到安全问题的真实街道（例如，因测试增强现实应用而未留意周围情况便穿越马路），这不仅会危及受试者，也会影响旁观者；换言之，我们不能打扰旁观者，给城市环境造成麻烦。还需注意的是，在增强现实中加入操纵性设计会违反大学的 IRB 法规，并使参与者面临风险。（4）**控制环境变量**。 虚拟现实模拟模型场景使我们能够为所有参与者提供一致的设置（例如，光照条件）。这一模拟模型有望作为现实的数字孪生（Barricelli 和 Fogli，2022），即一个安全且沉浸式的环境，用于评估所提出的操纵性设计。

这些发现凸显了在增强现实环境中制定指南并完善机制的重要性，因为暗黑模式会显著影响用户行为。

2. 相关研究

我们从两个方面梳理相关研究：增强现实用户体验设计，介绍增强现实生态系统中的指南、框架和技术；以及暗黑模式，分析不同的分类体系，以及这些技术在数字世界中的应用方式。

2.1. 增强现实用户体验设计伦理

增强现实涵盖了试图利用虚拟图形（例如物体、界面）增强物理环境的技术。显示增强视图最常见的方法是使用智能手机、智能眼镜或头戴式设备（Roesner 等，2014）。增强现实应用应具备情境感知能力，并适应其使用环境（Ganapathy，2013）。例如，移动增强现实应用应采用适合移动环境的外形规格（Ganapathy，2013）。在这项工作中，我们重点关注头戴式增强现实设备，例如增强现实眼镜和头戴式设备。目前，

主流设备有两种形式：1）设备生成的图像通过光学透视显示器与现实世界叠加（例如，微软 HoloLens [1], MagicLeap[2]）；2）通过虚拟现实设备的前置摄像头捕捉周围环境，再将合成图像显示在屏幕上，以无缝呈现增强视图，即视频透视显示器（例如，Meta Quest [3],Pico [4]）。

增强现实技术在用户隐私方面带来了重要风险。持续监控摄像头传感器可能会捕捉有关用户周围环境的信息，例如他们的房间（Roesner 等，2014）。因此，思考用户体验设计的伦理层面至关重要。暗黑模式和操纵用户的设计技术可能会对用户隐私构成潜在风险（Gray 等，2018；Roesner 等，2014）。在人机交互（HCI）领域，增强现实界面等新型用户界面范式的伦理设计备受关注（Grimpe、Hartswood 和 Jirotka，2014）。Mhaidli 等人（Mhaidli & Schaub, 2021）分析了扩展现实（XR，即增强现实、虚拟现实和混合现实）中操纵性广告的可能性（Stanney 等，2021）。他们展示了若干场景：广告以误导性的体验针对用户，从而影响他们的决定（例如，在消费者中制造人为的情绪）。我们的工作重点指出了此类基于增强现实的界面目前存在的问题，并评估暗黑模式在这些沉浸式场景中的影响。

此外，若干学者指出增强现实技术可能给消费者带来的风险，例如恶心、晕动症和安全问题（Jung 等，2018；Pierdicca 等，2020；Roesner 等，2014）。例如，当用户朝着虚拟物体行走时，增强现实应用可能会使他们摔倒，因为他们没有注意周围环境（Jung 等，2018）。正如我们在 Google ARCore[5] 和 Apple ARKit[6], 等多个平台上所见，这些平台在设计指南和其他伦理考量中都考虑到了此类风险。例如，虚拟物体的大小应当适当，避免迫使用户向后走才能看清物体全貌，见图1。

多项研究强调了用户体验设计对于提供符合伦理的应用程序的重要性（Gray 等，2018；Karr，2018；Latham，2018）。尽管任何设计都可能对用户产生影响（Oinas-Kukkonen 与 Harjumaa，2009；Rajeshku- mar 等，2013），但应限制滥用“恶意”技术，例如暗黑模式（Gray 等，2018）。暗黑模式是滥用界面设计的一个例子，它会影响用户福祉及其行为（例如，在在线网站上人为营造机票短缺的稀缺感）。

面向扩展现实的触觉技术。 触觉刺激一直是移动设备（智能手机、可穿戴设备）中常见的方式，可为移动应用提供通知渠道（Luk et al., 2006; Mehta, Bandara, Price, & Nuseibeh, 2016; Schaub, Balebako, Durity,& Cranor, 2015）。我们可以看到，触觉反馈广泛应用于游戏中：当虚拟玩家与另一个虚拟物体发生碰撞时（例如游戏中的汽车碰撞），控制器会提供触觉感受（Tamborini & Skalski, 2006）。触觉技术也是其他扩展现实场景中常见的技术，例如虚拟现实游戏（Bermejo, Lee, Chojecki,

[1] https://www.microsoft.com/en-us/hololens
[2] https://www.magicleap.com/en-us/
[3] https://www.meta.com/quest/products/quest-2/
[4] https://www.picoxr.com/global/products/pico4
[5] https://developers.google.com/ar/design
[6] https :// developer .apple .com / design / human -interface -guidelines / ios / system -capabilities / augmented-reality/



图1：截取自 Google ARCore 设计指南的屏幕截图。我们可以看到，一名男子在倒退行走并使用增强现实应用时，被一个物理（真实）物体绊倒。

Przewozny, & Hui, 2021）。触觉设备将在增强现实体验中发挥重要作用，因为触觉刺激可以增强增强现实的真实感和沉浸感（Bermejo & Hui, 2021）。此外，触觉刺激可以根据所呈现的反馈（例如触觉反馈的频率和强度）唤起不同的情绪（Eid & Al Os- man, 2015; Obrist, Subramanian, Gatti, Long, & Carter, 2015; Rovers & van ESSEN, 2004; Vekemans, Leenders, Zhu, & Liang, 2021）。用户会根据接收到的触觉刺激产生特定的效价与唤醒度（Vekemans et al., 2021; Yoo, Yoo, Kong, & Choi, 2015 ）。在（ Yoo et al., 2015 ）中，作者表明，触觉图标的频率会影响人们对情绪的感知。因此，触觉反馈及其唤起的情绪可用于扩展现实应用的暗黑模式设计。我们聚焦于带有触觉反馈的增强现实暗黑模式设计，因为触觉反馈是与用户交互的常用渠道，并且可在当前的可穿戴设备中实现。

同样，音频感官通道可用于增强增强现实体验的真实感和沉浸感（ Chatzopoulos 等，2017）。尽管在设计暗黑模式时可以考虑这些音频技术，但我们认为，音频应在物理环境（如街道）中进行测试，而不是在虚拟现实原型中测试，因为外界噪声会降低增强现实中音频交互的表现。在本研究中，我们聚焦于触觉和视觉方法，并将音频提示留作未来工作的一部分。

2.2. 暗黑模式

暗黑模式可能出现在各种各样的环境中，例如在线媒体、游戏和社交网络（Fitton 与 Read，2019；Gunawan、Pradeep、Choffnes、Hartzog 与 Wilson，2021；Machuletz 与 B¨ohme，2020；Mathur 等，2019；Utz 等，2019）。当我们想到增强现实环境时，暗黑模式无处不在的现象就显得更加严峻。正如本文将要阐述的，增强现实应用中物理（真实）物体与虚拟物体之间的混合关系，为“欺骗”用户提供了新的手段。因此，应对这类威胁至关重要。

Brignull（Brignull，2019）在其网站上汇集了网站和移动应用中常见暗黑模式的真实案例。该网站旨在提高用户对暗黑模式实践的认知，并建立了一个记录常见暗黑模式的数据集。Brignull 根据用户界面中的“伎俩”提出了一个包含 12 个要素的初步分类体系

例如 隐私诱骗，这种伎俩会诱使用户分享更多个人信息。

有几项研究从更广泛的角度提出了分类体系，用于归纳各种暗黑模式技术（Conti & Sobiesk，2010年；Gray et al.，2018年；Mathur 等人，2021年）。Conti 等人（Conti & Sobiesk，2010年）将暗黑模式技术归类为恶意界面设计方法，并将 11 种可能对用户造成困扰的界面设计纳入分类。例如，混淆会向用户隐藏界面元素。Gray 等人（Gray et al.，2018年）提出了一种分类体系，其语料库的数据收集方式与 Brignull 类似（收集用户发布的推文）。他们在 Brignull 的分类基础上引入了新的暗黑模式，例如反复纠缠和强制操作。后者要求用户反复执行某项特定操作才能继续。作者在后续版本中（Gray 等，2020年）通过收集用户在 Reddit 上发布的有关暗黑模式的帖子，增加了分类类别。除界面设计技术之外，还可以提及 Mathur 等人（2021年）的研究，该研究提出在分析和归类暗黑模式时加入规范性视角。这些规范性视角将分类体系的重点放在了人机交互领域之外的学科上，例如心理学、经济学和伦理。

关于暗黑模式的既有研究主要聚焦于传统系统（如网站、移动应用）的用户界面，因此可能受上述分类体系的限制。相关研究，例如（Greenberg et al., 2014；Mathur 等，2021），提出了不局限于用户界面、可延伸至增强现实等新环境的新视角。例如，触觉技术作为一种暗黑模式手段，通常未被纳入以往的分类体系。此外，只有部分研究（Greenberg et al., 2014；Mhaidli & Schaub, 2021）阐述了更多操纵用户决策的手段。

我们的工作为新兴增强现实场景中的暗黑模式设计奠定了基础，尤其是借鉴了这些研究中的以下两种分类体系：Gray 等人 （Gray et al., 2018）、Mathur 等人 （Mathur 等，2021）以及 Greenberg 等人 （Green- berg et al., 2014）。我们采用这些分类体系，因为它们是最新的。它们进一步突显了用户界面视角（Gray et al., 2018），并阐释了暗黑模式如何影响用户的隐私（Mathur 等，2021）。值得注意的是，鉴于增强现实的移动性特征以及安全和隐私等其他重要的以用户为中心的因素，我们对这些分类体系进行了扩展。

3. 场景构建

在本节中，我们借鉴以往研究（Di Geronimo 等，2020；Mhaidli & Schaub, 2021；Speicher 等，2018）采用场景构建，以评估可应用于增强现实应用的暗黑模式技术。这种方法有助于我们理解暗黑模式可能带来的影响，并探讨在增强现实中运用此类技术可能引发的问题。

场景构建是分析暗黑模式在增强现实技术中的影响（在本研究中）的有效工具。以往研究曾使用这种方法来描述和评估未来技术的影响（Betten 等，2018；Mhaidli & Schaub, 2021；Reijers 等人，2018），以及这些技术对社会产生的伦理影响（Mhaidli & Schaub, 2021）。在本研究中，我们通过为每个场景指定前述暗黑模式分类体系中的一个既有类别，并阐释相应的操纵机制来构建场景。

在我们的案例中，所提出的场景用于凸显暗黑模式可能在增强现实环境中给用户带来的潜在隐私威胁。我们的目标是构建易于理解的场景——

这些场景应反映当前其他环境（例如网站、移动应用）中采用的类似技巧，以便提供更准确的示例（Wright 等，2014）。尽管非增强现实界面中常用的方法（如高亮按钮）也可用于增强现实生态系统中的许多场景，但我们提出了更具创新性的技巧，将增强现实应用的混合（物理与虚拟）特性结合起来。我们还根据热门应用程序（如游戏和家具应用程序）构建了这些场景，以便更真实地分析暗黑模式在增强现实环境中的影响。我们使用以下提示来设计初始场景集，展示暗黑模式如何影响增强现实环境中的用户决策：

- 我们能否在增强现实中使用现有的暗黑模式技术?
- 我们如何利用增强现实的沉浸感、普遍性和移动性，来增强暗黑模式的效果?
- 暗黑模式技术会如何影响用户决策?

我们根据初步场景集对这些提示进行了修订和迭代（依据前述的分类体系和增强现实特征）。我们将以下部分场景浓缩为真实原型，以分析用户对增强现实界面中的暗黑模式或操纵性设计的感知。

3.1. 增强现实特征

遵循既有研究（Barnes，2016；Betten 等，2018；B¨osch 等，2016；Green- berg 等，2014；Mhaidli & Schaub, 2021；Roesner 等，2014；Speicher 等，2018），我们确定了增强现实区别于其他交互模态（如网站）的以下定义性特征：沉浸性、普遍性和真实感。我们根据当前技术列举了上述特征，并承认这些特征未来可能会有所变化。这些增强现实环境固有的特性，相较于目前用于移动应用用户界面（B¨osch 等，2016；Di Geronimo 等，2020）和网站（Machuletz & B¨ohme，2020；Mathur 等，2019；Utz 等，2019）的暗黑模式分类体系，可能会给用户带来新的风险（Roesner 等，2014）。

沉浸式。在增强现实的语境中，沉浸感可以理解为虚拟世界与物理环境的无缝融合。数字增强内容或虚拟物体会流畅地叠加渲染在物理或现实世界之上，用户对此毫无察觉。用户会相信，数字内容和虚拟内容是物理（现实）场景的一部分。沉浸感的程度取决于用于渲染数字世界的技术，以及用户与之互动的方式。例如，目前大多数移动增强现实应用都显示在智能手机屏幕上，由于用户使用的是透屏设备，且交互方式只是简单地触摸屏幕，因此沉浸感会有所降低。尽管目前存在技术局限性，增强现实仍比非增强现实媒介更具沉浸感（Lombard 和 Snyder-Duch，2001）。因此，在探讨暗黑模式时，纳入使用沉浸式增强现实应用的构建场景和示例十分重要。

无处不在。 增强现实应用的普遍性是一项重要特征，意味着它们始终伴随在用户身边。我们可以通过 Google Glass 或类似的增强现实智能眼镜为例，说明由于持续感知用户环境而随之产生的隐私问题（Roesner 等，2014）。增强现实应用可随时随地佩戴或使用，因此会给用户带来新的隐私威胁，例如收集周围环境信息（如朋友和私人空间）。尽管其他

交互模态在采用暗黑模式技术时也会带来隐私威胁，但在增强现实的情况下，由于增强现实具有普遍性，其风险和潜在危害更加严重。

真实感。我们可以将真实感与沉浸性联系起来，因为二者结合能够显著提升增强现实环境中的整体用户体验。逼真且沉浸感强的增强现实应用可能会对用户安全构成风险，因为用户可能难以分辨数字内容与现实（Jung et al., 2018）。暗黑模式技术可能涉及这样的场景：用户完全没有察觉周围环境，因而陷入不安全的境地（例如，未查看交通信号灯就过马路）。暗黑模式借助增强现实技术扭曲用户现实并影响其行为所带来的危险，值得高度关注。为了概括增强现实场景，我们将在以下章节中运用上述增强现实环境的鲜明特征。

3.2. 场景

如上所述，增强现实应用超越了更传统的界面，而从界面视角出发的分类体系可能会限制增强现实中暗黑模式的可能形式。我们仍可依据该分类体系中的一些类别，选取若干场景。不过，正如其他研究（如 Greenberg et al., 2014; Mhaidli & Schaub, 2021）所示，增强现实中的“暗黑”设计可能超越传统界面。图2展示了我们进行场景构建的一些示例。

阻碍强制行动，这些技术利用阻挡或强迫用户执行特定操作（例如，窗口弹出广告、强制注册才能阅读新闻网站），驱使或引导用户采取某些行为。

> 一家零售店开发了一款增强现实应用，要求用户前往某个特定的实体地点（例如店铺）才能取消订阅其新闻简报。该零售店利用这种退订方式迫使用户前往实体店，从而增加了用户进店后购买商品的可能性。

构建过程。从这一视角来看，我们可以观察到，前往特定地点或因虚拟障碍物而改变行进路线可能给用户带来的负担。此外，这种技术还可以与其他机制结合使用，例如暗中操作或阻碍，以迫使用户前往某个特定的实体地点。相比之下，不同机制的结合能够实现更复杂的暗黑模式（Roesner 等，2014年）。

界面干扰，这是界面中最常见的技术之一，用于欺骗用户，例如诱使用户同意 Cookie 同意通知（突出显示接受按钮）（Bermejo Fernandez、Chatzopoulos、Papadopoulos 和 Hui，2021年）。

> 一家在线零售店开发了一款增强现实应用，让顾客能够通过增强现实视野聚焦物理世界中的商品来购买商品。当消费者想要选择配送方式时，界面会利用物理世界中的物体遮挡不收取额外费用的配送方式。由于没有注意到这一点，消费者会从自己能看到的选项中选择配送方式（需支付额外费用）。

构建过程。 为构建这一场景，我们首先考虑那些使用突出显示的按钮或隐藏菜单选项（使用链接而非按钮）来迫使用户选择（由第三方设定的）选项的应用程序（Bermejo Fernandez等

，2021年）。在增强现实场景中，交互设计不再局限于二维界面。更重要的是，设计师和开发者可以进一步将暗黑模式植入物理物体中，使其融入用户的周围环境。

安全。增强现实应用中沉浸式场景无处不在、可移动且逼真的特性，给用户安全带来了新的威胁。

> 一款增强现实游戏利用逼真的虚拟界面和物体来提供沉浸式体验。该应用在用户看来真实而自然。因此，用户无法区分物理物体与虚拟物体。接着，该应用可以利用这些虚拟物体，在真实物体附近创建虚拟障碍物。用户试图避开虚拟障碍物时，就会被附近的真实物体绊倒。

构建过程。为了构建这一场景，我们参考了以往的研究（H. Lee 等人，2021年；Roesner 等，2014），这些研究讨论了增强现实等沉浸式技术可能给用户安全带来的风险。与网站等较为传统的环境不同，在增强现实场景中，暗黑模式会通过将真实物体（例如桌子）隐藏在虚拟场景之下，或遮挡用户的视野，迫使用户在无法完整观察周围物理世界的情况下行走，从而使他们伤害自己。

关联型暗黑模式。 这些暗黑模式可以将情绪与产品联系起来，从而影响用户的购买决策。

> 某香水品牌利用增强现实应用的增强视图，通过增强现实的视角展示其他人（例如亲密朋友和网红）购买该香水的情景。也就是说，该应用程序将人物与香水关联起来。用户可能不确定该买哪种香水，但应用程序会在买家周围环境中呈现上述人物与香水的关联。这种社会关联作为增强信息，会影响买家购买与其社交圈中的某个人或自己喜欢的某个（旁观者）相关的特定香水。

构建过程。 为构建这一场景，我们参考品牌用来销售产品的关联方式，例如运用模特的营销活动，以及能够触发买家某些情绪的特定特征（Kidane & Sharma, 2016）。例如，手表通常与奢华和美联系在一起。当用户靠近某个特定地点（例如零售店）时提供反馈（如音频或触觉反馈），可能会引发用户对该地点的情绪（如恐惧）。

此外，增强现实应用的性质及其在物理世界中的使用方式，可能使用户不仅成为不受欢迎的数据收集实践的对象，也会对其人身安全构成威胁（Jung et al., 2018）。例如，（如用虚拟物体隐藏真实物体，导致用户撞上它们——即所谓的减弱现实（Herling & Broll, 2012; Le˜ao, Lima, Teichrieb, Albuquerque, & Kelner, 2011））。与（Dao, Muresan, Hornbæk, & Knibbe, 2021 ）中的研究发现类似（尽管该研究针对的是虚拟现实），用户并未意识到其周围环境或虚拟物体（原始物体、伪造副本、与虚拟物体的交互）（H. Lee et al., 2021）。

3.3. 局限性

尽管我们根据既有分类体系（Gray 等，2018；Mathur 等，2021）构建了这些场景，但仍需重新诠释部分定义和用例，并将其扩展至沉浸式体验。我们还限制了原型的范围，以减少暗黑模式示例的重复，并聚焦于简单场景，从而让在线研究的参与者能够轻松（如果存在的话）检测并识别这些“恶意”手法。



图2：增强现实场景中暗黑模式的示例。a)① 地面上的虚拟界面挡住了用户的前进路线；a)② 虚拟界面出现在不恰当的位置，迫使用户走到特定位置才能取消订阅；b)① 虚拟价格图标遮住了实体价格标签；b)② 刺眼的光环遮挡了界面上的信息；c)① 从用户的视角看，虚拟物品（房屋）不必要地过于庞大。因此，用户不得不后退，才能看清整个物品。结果，用户可能会撞上视野盲区中的物体；c)② 用户为躲避虚拟台灯而撞上实体桌子；d)① 用户在奢侈品商店中看到虚拟名人使用奢侈品；d)② 一些会改变情绪的声音（例如恐怖音效）和振动（来自头戴式增强现实控制器或某些可穿戴设备）会影响用户的选择。

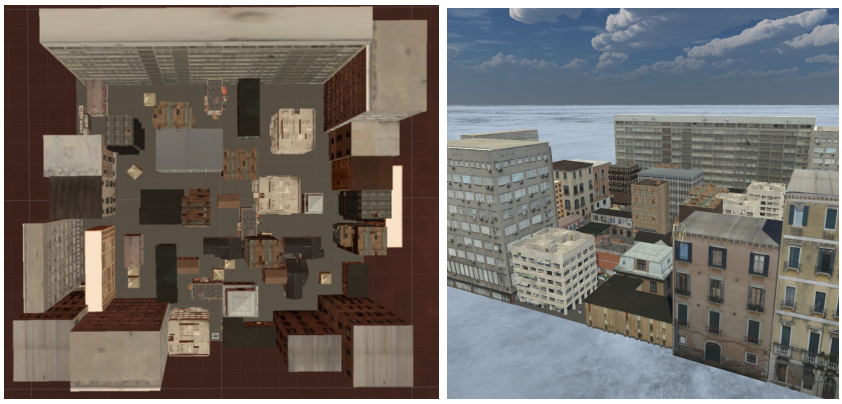
我们承认，所构建的暗黑模式场景的设计空间可以更加广阔。在这项工作中，我们旨在依据当前的暗黑模式趋势构建这些场景，以便参与者能够识别这些机制。

我们分类法的另一项局限在于，缺乏对增强现实应用中当前暗黑模式实践的深入研究。由于增强现实应用生态系统尚不成熟，且头戴式设备的功能有限，即智能手机是增强现实的主要测试平台，因此我们未对暗黑模式实例进行此类分类。未来，我们将致力于据此对增强现实应用中当前使用的暗黑模式进行分类。

基于这些场景，我们设计了一组初始的增强现实场景，在其中实现了暗黑模式技术。我们避免使用过于复杂的增强现实示例，以提供一组易于理解且彼此不同的场景。下一节将介绍用户研究：该研究使用虚拟现实环境作为所构建场景的模拟原型，用于分析暗黑模式的影响。

4. 用户研究

我们开展了一项两阶段用户研究，以详细分析增强现实场景中暗黑模式的影响。



(a) 俯视图。 (b) 侧视图。

图3：虚拟迷宫的截图。图3a展示了俯视图，通知会在迷宫中的特定位置弹出。图3b展示了虚拟迷宫的侧视图。

4.1. 参与者与设备

参与者。 我们采用连续抽样法招募了15名参与者（10名男性/5名女性，$age = 24.27$）。所有参与者均具有较高或更高的教育水平。7名参与者报告称具有一定的扩展现实经验，例如虚拟现实或增强现实游戏。所有参与者均自我报告重视隐私，平均值为4.53（$SD = 0.74$，采用5点李克特量表）。所有参与者均报告视力良好，并且来自亚洲文化背景。
设备。我们使用Oculus Quest2及其控制器（每只眼睛1832×1920 像素，120 Hz，90 FOV）搭建了虚拟场景的模拟环境。我们使用Unity[7] 和SteamVR插件[8]开发了三个场景。该应用程序运行在一台固定式PC上。

4.2. 设计与结构

在报告设计研究之前，我们根据场景构建过程中所述的部分场景（第 3 节），介绍不同的已实现增强现实应用。

条件。 我们设计了三个场景来探索增强现实中的暗黑模式。这些暗黑模式设计方法只是对未来增强现实暗黑模式可能形态的一种抽样。这些方法仍以增强现实环境中的现有技术为基础。我们使用虚拟现实作为工具，让参与者沉浸在相应的场景中，因为这些虚拟现实模型可以在虚拟场景中模拟增强现实环境（见图 3）。

- **光照干扰**。在此情境中，我们采用了与以往研究（Brignull，2019；Gray 等，2018）提出的相似设计方法：界面干扰、暗中操作和阻碍。在这些方法中，界面元素（如不同颜色的按钮）会影响用户决策。在本例中，消息将隐藏

[7] https://unity.com/
[8] https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647



(a) 光照干扰。



(b) 物体干扰。



(c) 触觉提示。

图4：实验期间参与者将看到的不同条件的屏幕截图。我们可以在图4a和图4b中观察到混淆词语。图4c展示了触觉条件，其中通知被放置在街道的一侧。

问题中的特定词语，并使用强光照条件（例如光晕），见图4a。参与者无法看清整个问题，因此不得不四处移动，以便看清完整通知。

- **物体干扰**。与前述干扰类似，在这种情况下，我们使用物理物体（虚拟现实原型中的路灯）来遮挡消息或通知中的特定词语（图4b）。我们展示了增强现实开发者可以采用的两种可能方法，通过结合虚拟与物理物体来操纵用户决策。

- **触觉抓取**。该条件用于说明虚拟现实控制器所呈现的触觉反馈如何影响参与者，使其注意力转向虚拟地图的左侧或右侧，并分别通过左手或右手控制器产生相应的刺激（图4c）。我们设计了两个场景，见图5：场景*1*，我们评估触觉技术对参与者移动的影响；场景*2*，我们研究正向/负向触觉刺激如何吸引参与者注意通知。吸引注意力不仅会干扰用户的决策过程，而且在这种情况下还会降低用户查看虚拟地图上通知的可能性。

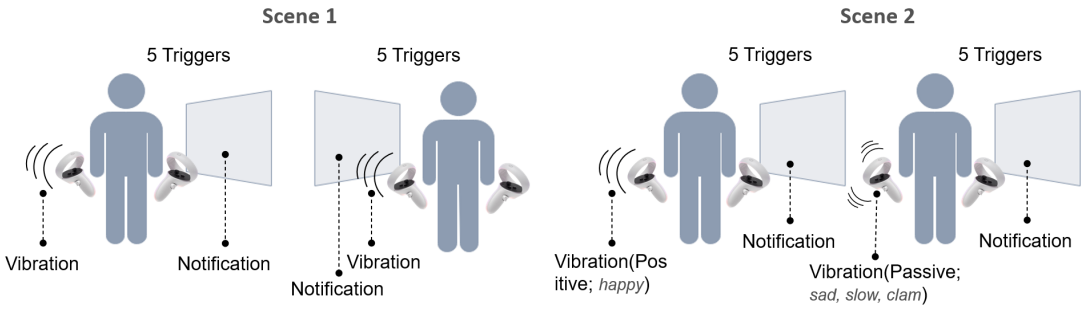


图5：触觉抓取场景的示意设置。每位参与者都会体验每个场景中针对同向/反向的触发因素和通知界面。

受（Greenberg et al., 2014）提出的场景启发，我们在虚拟现实原型中评估了触觉反馈控制用户移动的效能。例如，这可以促成新型操纵性设计，利用触觉通知阻止用户查看附近的实体商店。在我们的研究中，我们告知参与者，他们将在虚拟迷宫中的特定位置通过不同的控制器（左侧或右侧）接收到触觉反馈。

根据既有研究（Acquisti与Grossklags，2005），隐私是用户关注的重要问题，也是黑暗模式设计的主要目标之一（Bermejo Fernandez等，2021；Di Geronimo 等，2020；Gray 等，2018；Mathur 等，2021）。对于光照干扰和物体干扰条件，我们设置了不同问题，询问参与者是否分享个人信息（例如在线社交账户）。通过这些问题，我们旨在构建更为真实的场景，从而呈现用户行为（Distler等，2021）。

问题（物体干扰和光照干扰条件）。我们根据参与者在大学环境中可能面临的隐私风险，设计了以下问题。我们向参与者展示一个包含排行榜的网站，其中包括先前参与者的信息，例如他们的平均绩点和电子邮件。我们旨在通过这些问题和该网站提供更为真实的环境。因此，参与者会认为他们的结果（时间）和个人信息（例如平均绩点和姓名）将公开可见。参与者可以对以下问题回答“是”或“否”：

- 您愿意在游戏结束时与其他玩家分享您的**学生证号**吗?

- 您愿意在我们的网站上分享您的**平均绩点**吗?
- 您愿意在我们的网站上分享您的**社交账号**吗?
- 您愿意在我们的网站上分享您的**游戏排名**吗?
- 您同意使用您的**电子邮件**信息开始游戏吗?
- 您愿意提供您的**电话号码**，以便研究人员后续联系您吗?

当粗体关键词被强光遮挡时，所有数据收集过程都是虚假的，但不会提前告知参与者。对于所有问题，用户只需在界面中选择“是”或“否”。

触觉 c 抓取条件。 该情境将在（迷宫中的特定位置）弹出一条

通知，内容如下：请按下方按钮 以确认参与者已看到该通知，参见图4c。

先导研究。 我们设计了一项先导研究，以评估虚拟现实控制器触觉反馈的效价与唤醒度（VA）。这项先导研究旨在评估触觉刺激（即使用 Oculus Quest 2 控制器中的振动执行器）所引发的参与者情绪（效价与唤醒度）变化。我们根据文献中的暗黑模式设计了六种不同的触觉反馈（M¨akel¨a、Kleine、Hood、Alt 和 Schmidt，2021；Yoo 等，2015）。用于呈现振动触觉反馈的参数分为两类（Rovers 和 van ESSEN，2004）：（I）强度，相对于控制器默认强度（1）设置三个不同等级（低（0.5）、中（0.7）、高（1））；（II）频率，相对于默认频率（1）设置三种不同类型（连续（1）、慢（1/2）和快（1/4））。我们评估了来自大学校园的九名参与者的反应（4 名男性/5 名女性，$age = 21$）。参与者可以多次体验同一种触觉模式，直到他们觉得已完全感知到该触觉反馈；此时，参与者按下控制器上的扳机按钮，弹出自我评估人形量表（SAM）界面（Bradley 和 Lang，1994），以帮助参与者判断当下的情绪反馈（VA）。我们选取了两种最具区分度（依据 VA）的触觉反馈（开心、悲伤）用于“触觉抓取”条件。我们旨在研究，根据为两种所选触觉反馈分别指定的 VA，用户行为是否会受到影响。

4.3. 用户实验

任务。参与者需要尽可能快地解开迷宫（找到出口）。在迷宫中，他们还必须在特定位置回答几个问题。对于光照与物体干扰场景，参与者需要在虚拟迷宫中的特定位置回答第 4.2 节中的 6 个问题。触发通知的区域都位于通往迷宫正确出口的路径上。对于触觉抓取场景，参与者需要按下他们在通知界面中找到的按钮。当参与者找到迷宫出口，或在迷宫中停留超过 5 分钟时，任务即告完成。

流程。参与者提供知情同意后参加了本研究。随后，我们向参与者介绍了任务，并向他们展示了一个网站，其中列出了最快解开迷宫的用时（这些用时来自虚构的参与者，但实际参与者对此并不知情）。我们对三种不同场景的顺序进行了平衡。在实验结束时，我们询问参与者是否注意到场景中可能存在的任何恶意设计，并请他们描述这些设计（如果有）。最后，参与者回答了人口统计学相关问题。

参与者完成整个实验花费了 16 到 19 分钟。完成后，他们获得了零食、糖果和软饮料作为奖励。

4.4. 结果

光照与物体干扰。 当我们询问参与者是否愿意在这些虚拟场景中分享个人信息时，我们观察到，他们有 71.1% 的反应主要为“是”。只有一位参与者（P12）对展示的问题回答“否”的次数多于回答“是”的次数（66.67%，n=4；33.33%，n=2）。这些结果表明

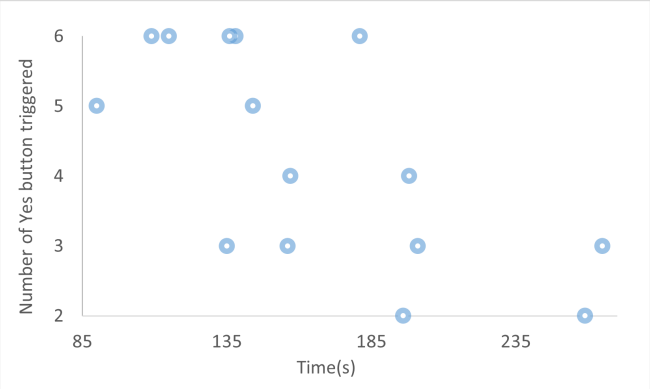


图6：光照与物体干扰结果：参与者找到迷宫正确解答所用的时间，与他们在迷宫中遇到隐私问题并触发“是”按钮的次数呈负相关。在迷宫中出现眩光和物体时，想要避免更多隐私风险的参与者会花更多时间走出迷宫。

暗黑模式（例如光照干扰）可能会影响参与者的反应。

记录参与者解决迷宫所花的时间，以及他们对场景中问题的回答结果。计算斯皮尔曼等级相关，以评估触发 Yes 按钮的次数与解决迷宫所用时间之间的关系。两个变量之间存在显著负相关（$r(13) = -.63$，$p = .006$）。结果见图6。

15 名参与者中有 12 名在解决迷宫时受到交互界面上强光的影响，其中 7 人直接向实验人员表示，光线让他们难以阅读文字。另外 5 人则在虚拟环境中四处移动，试图避开眩光。暗黑模式（物体与光照干扰）增加了每位参与者回答问题所花的时间。在实验结束时，我们询问参与者场景中是否存在恶意设计，8 名参与者表示存在恶意设计。此外，这 8 人中有 7 人指出，场景中使用的恶意设计是眩光/光照。两名参与者提到，场景中的路灯很奇怪，似乎是被故意放置在那里的；其中一人认为路灯还遮挡了交互界面。明确询问时，参与者报告了使用某些操纵技术。然而，结果表明，参与者还是中了恶意设计的招（对显示的问题回答“是”）。

触觉抓取。 参与者需要在该条件下体验两个场景。在每个场景中，参与者都会遇到10次触发的通知（以振动形式），并伴随相应的视觉弹出信息（即通知界面）。在第一个场景中，10个通知界面中的5个会在与弹出视觉信息同侧的位置传递振动。其余一半的通知界面则朝相反方向，即右侧控制器振动，但通知视觉信息出现在左侧，反之亦然。需要说明的是，参与者事先已获知通知界面的相关信息。他们必须按下控制器上的按钮，以确认自己看到了视觉通知。因此，第二个场景旨在考察正负模式下的振动类型，即在

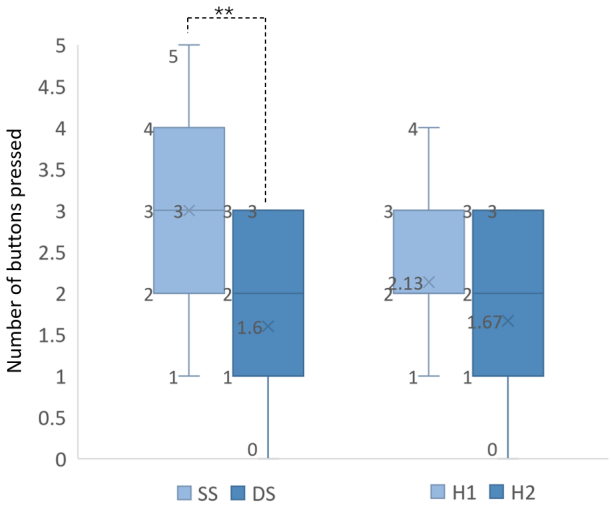


图 7.：触觉抓取结果，（p $<$ .05 (*)，p $<$ .01 (**)），其中*SS* 表示在与通知同侧渲染触觉，*DS* 表示在异侧渲染。*H1* 对应 B3（快乐、活跃），*H2* 对应触觉 B5（悲伤、缓慢、平静）。

振动与通知视觉信息始终方向相反的条件下。10个通知界面中，有5个对应正向振动，剩余5个代表负向对应项。图5展示了场景设置的详细信息。在上述两个场景中，记录了参与者按下的通知界面数量。

夏皮罗-威尔克检验表明，数据符合正态分布。单因素方差分析显示，在不同条件下，参与者发现的通知界面数量存在显著差异（$F(3, 56) = 5.25, p < .005$）。Tukey HSD检验显示，当振动位置与通知位置位于同侧（SS）时，参与者发现的通知界面数量显著高于两者位于异侧（DS）的条件（$p = 0.005$）。相比之下，不同的触觉振动模式对参与者所察觉到的通知界面数量没有显著影响（$p = 0.558$）。结果如图 7 所示。

除两名网络晕动症非常严重的参与者外，其余 13 名参与者都表现出这样的行为：控制器振动时停下来环顾四周或寻找振动来源。问卷结果显示，5 名参与者认为该场景中存在恶意设计。值得注意的是，其中 4 人指出，振动可能是一种恶意设计。一名参与者指出，“我会无意识地朝控制器振动的方向移动”；另一名参与者则表示，“控制器的振动似乎是故意在操纵我”。

实验后访谈。 我们简要访谈了问卷中认为情境里的光线和振动属于恶意设计的参与者。首先，所有认为光线属于恶意设计的参与者都认同，利用强光遮挡关键信息侵犯了他们的隐私；而认为振动属于恶意设计的参与者中，只有一人认为这侵犯了自己的隐私。此外，所有参与者都认同振动设计侵犯了他们的权利。一位参与者说：“振动设计让我错过了我有权看到的信息”。所有参与者都认同

这种恶意交互设计很可能会出现在未来的增强现实交互设计中。

5. 讨论与研究挑战

我们的场景构建和用户研究结果显示了增强现实场景中暗黑模式的影响。基于视觉的操纵（光照与物体干扰）会影响参与者的反应。此外，使用这些暗黑模式设计也会影响参与者解开迷宫所需的时间；不同意分享个人信息的参与者（尝试阅读整条消息）花了更长时间解开迷宫。在触觉抓取的情况下，我们发现触觉刺激会影响参与者的动作。触觉反馈会将参与者推向产生该刺激的控制器所在的方向。

5.1. 沉浸式体验中的暗黑模式

由于环境具有沉浸感和真实感，增强现实中可以实现新颖且更有效的暗黑模式。这些经过改进的用户体验能够支持更复杂的方式来改变用户行为。与其他传统用户界面（如台式电脑、手机）相比，增强现实中的暗黑模式对用户决策过程的影响可能更大（Mhaidli & Schaub, 2021）。这些传统方法大多会精心设计用户界面，在用户毫无察觉的情况下“欺骗”并影响他们（Gray 等，2018）。对于增强现实应用和超逼真虚拟物体，用户将无法将其与实体物体区分开来（Ruth, Kohno, & Roesner, 2019）。我们如何告知用户，超逼真的虚拟物体并非真实物体，同时又不损害用户体验和沉浸感？

除了虚拟物体的真实感外，这些环境的沉浸性和交互性也会影响暗黑模式的有效性。与音频对零售店购物者购买意向的影响类似（Milliman, 1982），增强现实应用可以利用视觉、音频和触觉反馈创造沉浸式暗黑模式。增强现实生态系统可以放大暗黑模式的影响，从而左右用户行为。我们有必要分析在增强现实环境中应用暗黑模式（利用视觉、音频和触觉）时影响用户的主要因素，以及如何在这些沉浸式体验中保护用户。

最后，增强现实应用允许用户以更自然的方式与界面交互（自然交互）（Shatilov, Chatzopoulos, Lee, & Hui, 2019）。这些自然交互也可能成为暗黑模式技术的作用对象。例如，用户通过凝视或将食指指尖用作控制器来点击用户界面按钮。在这种情况下，暗黑模式可以将真实光标隐藏（劫持）在虚拟物体后面，并使用伪造光标点击另一个用户界面（例如广告横幅）（H. Lee et al., 2021）。这些在用户输入交互期间插入的虚拟元素，需要在增强现实生态系统内受到框架驱动的监管。根据 H. Lee 等人（ 2021 ）的研究，未来的增强现实平台应考虑防范暗黑模式攻击，这类攻击技术会在交互过程中（例如光标移动）实施。

此外，我们可以看到，增强现实中的暗黑模式依赖于界面，不同的屏幕／视野选项可能会对暗黑模式的实现产生不同影响。再加上增强现实应用具有多模态特性（视觉、听觉和触觉），这可能为暗黑模式的设计开辟传统系统之外的新途径，例如

智能手机和计算机。

通过这项工作，我们旨在弥合当前增强现实技术与所构建场景中描述的增强现实暗黑模式可能性之间的差距。我们阐述了此类操纵性场景在增强现实应用开发中可能带来的未来挑战及应对方法。在接下来的段落中，我们将重点介绍主要的研究挑战，以及可用于制衡暗黑模式的干预机制。

5.2. 增强现实的隐私

增强现实应用的感知需求（例如采集摄像头帧）会带来隐私风险，这些风险与传统界面（即台式电脑、手机）中的隐私风险有显著差异。正如先前研究所述（De Guzman、Thilakarathna 和 Seneviratne，2019；Guzman 等人，2021；Roesner 等，2014），增强现实生态系统中所用设备的扫描能力引发了诸多隐私问题，也给保护用户隐私带来了挑战。例如，这些设备采集的空间信息（点云）可能会泄露用户个人空间（如卧室大小）以及属于特定用户的物品（如家具）的信息（Guzman 等人，2021）。设计师可以开发暗黑模式技术，在用户不知情的情况下迫使其采集更多周围环境的信息。显然，其中一些设计只是为了推动或改变特定的用户行为，并无恶意，也无意操纵用户。然而，它们仍可能引发用户的隐私问题。

5.3. 增强现实的安全性

恶意设计可能会给增强现实环境中用户的安全带来严重风险（Lebeck、Ruth、Kohno 与 Roesner，2017；Roesner 等，2014）。例如，增强现实提示可能会在视觉上混淆物理世界中的某条特定街道。当用户正在过马路时，这种混淆可能会因降低其对驶来车辆的察觉而使用户陷入危险。与其他传统界面相比，暗黑模式可能会对增强现实应用的用户构成更为突出的威胁。

对增强现实应用中内容以及虚拟物体视觉输出的管理，可以为用户营造更安全的环境（Lebeck 等，2017；Ruth 等，2019）。应通过能够控制视觉输出以无害方式呈现给用户的平台和法规，来降低这些安保与安全风险（Lam、Lee 与 Hui，2021）。

5.4. 干预机制

在本节中，我们将结合暗黑模式在以往更传统环境（台式计算机、智能手机）中引发的问题，讨论研究结果（Bermejo Fernandez等，2021；Bongard-Blanchy等，2021；Di Geronimo 等，2020；Mathur 等，2019；Utz 等，2019）。我们将以往关于增强现实相关问题的研究（De Guzman 等人，2019；Langheinrich，2001年；Lebeck 等，2017；Roesner 等，2014；Ruth 等，2019）与我们在暗黑模式和增强现实领域中的发现联系起来。干预机制旨在为个人提供保护其个人信息免受暗黑模式等恶意设计侵害所需的工具和保护技术。这些干预技术可以针对用户或环境进行开发。

例如，监管机构将在暗黑模式可能使使用增强现实应用的用户面临风险的场景中实施监管并进行干预。**提高意识**。 我们的结果表明，用户并未充分意识到增强现实中的暗黑模式设计所采用的操纵技术，这与传统界面相关的既有研究一致（Bongard-Blanchy等，2021；Di Geronimo 等，2020；Utz 等，2019）。此外，即使用户意识到设计中的“把戏”，他们也无法完全理解其中的操纵方式或其目的（例如，正在收集何种类型的信息）。对于增强现实应用而言，由于用户缺乏增强现实应用使用经验，且这一环境具有新颖性（正如我们在本文中所讨论的），个人对暗黑模式的意识和担忧甚至更低；也就是说，用户对不断演变的恶意技术缺乏足够的技术素养。在使用某种可疑设计时，加入音频和触觉等反馈提示以提高用户的担忧（例如，警告（Gray 等，2018）），可以增强用户的意识以及对暗黑模式的理解。然而，警告技术的有效性可能会随着时间推移而降低（用户会逐渐习惯这些警告）（Akhawe & Felt，2013）。提高用户对暗黑模式意识的机制应随时间变化（例如，采用不同的反馈模式，而不是始终处于启用状态），从而保持其有效性。

教育与培训。 我们的结果表明，在本研究中，有一定增强现实应用使用经验的参与者更有可能识别出暗黑模式。此外，鉴于上述关于用户对暗黑模式的认知和担忧的论述，我们认为，持续开展相关机制，进一步教育用户了解暗黑模式带来的威胁以及如何识别暗黑模式，有助于提升个人的自我保护能力。例如，将上述警告技术与针对暗黑模式威胁（如隐私和吸引注意力机制）的教育和培训相结合，可以帮助增强现实应用的用户更加了解这些恶意设计。

抵制数字空间中的黑暗模式。 正如本研究结果所示，暗黑模式技术会对用户行为产生重大影响。例如，利用触觉反馈的吸引注意力技术会改变参与者在迷宫中的移动，而利用光照条件和物体的干扰方法则会影响他们的反应。此外，这些操纵性设计会绕过若干旨在保护用户免受恶意增强现实输出影响的框架所采取的对策（例如，遮挡用户视野的通知）（Lebeck 等，2017；Roesner 等，2014）。这些框架还应加强对虚拟元素界面设计和输出的控制，并允许用户报告和自定义增强现实输出，以限制本文所研究的这类操纵性设计。此外，这些对策还应考虑用户与增强现实交互时所使用的界面，因为我们可以看到，操纵性技术的设计中存在界面与黑暗模式相关性。

正如我们在场景构建部分所述，与较传统的界面（台式电脑、智能手机）相比，增强现实界面的设计可能性要丰富得多。即使暗黑模式与这些传统界面中广为人知的设计有些类似，人们也并未充分意识到它们。此外，增强现实应用不仅会对用户构成隐私威胁（De Guzman 等人，2019），在恶意技术被用于此类目的时（例如，将真实物体从用户视野中隐藏起来（Le˜ao 等人，2011）），还会危及用户的安全（Roesner 等，2014）。因此，法规、经济激励和伦理设计都应发挥同等重要的作用，以抵制和遏制增强现实应用中的暗黑模式。

5.5. 我们研究的局限性

在局限性方面，使用相同的物理环境可能导致残留效应，从而影响暗黑模式的效果。尽管如此，我们的研究仍提供了一个真实的环境，用于研究暗黑模式在增强现实中的影响。本研究无法评估的一个结果是，此类暗黑模式对用户日常行为的长期影响。我们的参与者来自大学校园，并且对增强现实或扩展现实应用有一定经验。同时，由于参与者群体由学生构成，他们可能尤其关注场景中提出的问题，而且所有参与者都高度重视隐私问题。因此，参与者不愿透露相关信息；不过，不同群体对于感知到的隐私侵犯，可能在担忧、不担忧、意识程度和谨慎程度上有所不同。因此，应结合我们招募的参与者这一背景来理解研究结果。

我们的实验使用了嵌入 Oculus 控制器中的触觉振动执行器设备。选择这一方案的原因之一，是考虑到目前业界许多最常见的增强现实头戴设备都使用带有振动反馈的手持控制器进行交互（参见第 2.1 节）。我们承认，今后沿触觉反馈方向开展的研究应考虑其他刺激区域和不同的触觉设备，例如触觉手套（Koyanagi, Fujii, & Furusho, 2005; Nam, Park, & Yamane, 2008）、重量模拟（Wang, Monteiro, Lee, Hui, & Liang, 2022）和温度反馈（Maeda & Kurahashi, 2019）。

出于第 1 节所述的考虑，我们使用虚拟现实模拟模型来模拟增强现实。模拟环境不可避免地会与实际增强现实情境略有不同；例如，真实环境的保真度会高于虚拟现实模拟中的街道，而带有数字叠加层的现实世界则会为用户提供更具沉浸感的环境。如果条件允许，未来的研究人员可以搭建一个摄影棚，例如暗黑模式沙盒，以开展增强现实实验，研究暗黑模式与增强现实情境下的用户行为，同时确保用户安全并控制环境变量。

当前用户研究呈现了一种有限类型的暗黑模式，在增强现实环境得到广泛应用时，这种模式可能会出现。本研究的未来版本将加入更多实验和增强现实场景，以便更深入地探讨这一方向的技术细节。

5.6. 未来工作

在本研究中，我们根据当前技术提出了适用于增强现实的新型暗黑模式设计。正如结果所示，使用触觉反馈等替代性交互模态，可以为暗黑模式设计开辟传统用户界面之外的新可能性（Greenberg et al., 2014）。同样，未来的增强现实暗黑模式设计也可以采用音频反馈和更复杂的触觉方案。由于当前的触觉呈现技术仍处于起步阶段，本研究未纳入更复杂的方案。与此同时，商业方案主要以振动执行器设备的形式出现，例如游戏手柄、智能手机和智能手表（Bermejo & Hui, 2021）。与传统应用程序相比，增强现实应用的可能性更广阔；传统应用程序包括移动应用和网站，而非增强现实界面限制了暗黑模式可采用的交互方式和技巧。

本研究未来的拓展方向包括研究增强现实生态系统中广泛可用的多样化设备（例如 Microsoft HoloLens、Google Glass）

（即从低端设备到高端设备）。此外，我们将进一步研究暗黑模式的多模态，包括触觉、音频和视觉，这些模态可以为增强现实暗黑模式的设计提供新的视角，并参考（Greenberg et al., 2014；Mhaidli & Schaub, 2021；Tseng et al., 2022）中列举的未来场景。

最后，随着 Facebook 宣布推出“meta”[9]，虚拟现实技术和扩展现实（XR）技术近期开始受到关注。元宇宙将带来保护用户隐私的新挑战（L.-H. Lee et al., 2021）。除此之外，ChatGPT[10], 是一款基于 GPT-3 语言模型、由 OpenAI 于 2022年11月 推出的人工智能聊天机器人，未来可能会降低实施恶意操纵的门槛。在未来的应用程序中，此类聊天机器人很可能与 XR创作 相结合，让每个人都能在未来更轻松、便捷地创建增强现实实例。这些都是未来研究者应当探究的新兴研究主题。未来的研究还将广泛分析这些虚拟环境中的暗黑模式，以避免遭受滥用广告服务提供商等威胁（H. Lee et al., 2021）。

6. 结论

本文首次全面概述了增强现实生态系统中可能存在的暗黑模式设计，并探讨了此类技术在增强现实环境中的潜力。我们提出并构建了多个增强现实场景，以探索如何在增强现实环境中实施暗黑模式。值得注意的是，我们依据两种分类体系构建场景：暗黑模式的界面视角和规范视角。此外，我们开展了两阶段用户评估。用户研究旨在确定用户如何看待增强现实应用中构建的暗黑模式场景。为此，我们根据所提出的场景构建方法中可能出现的情形，设计了三个场景。结果表明，暗黑模式会影响用户行为：强光和遮挡界面的物体会促使用户移动，并延长游戏时间。振动干扰可能导致用户错过通知。我们的研究结果揭示了新兴沉浸式世界（即元宇宙）中暗黑模式给用户带来的威胁。

致谢

本研究部分得到香港科技大学（广州）的MetaUST项目以及芬兰科学院FIT项目（资助编号325570）的支持。

参考文献

Acquisti, A., & Grossklags, J. (2005). 个人决策中的隐私与理性。*IEEE*《安全与隐私》, *3*(1), 26–33。

[9] https://about.fb.com/news/2021/10/facebook-company-is-now-meta/
[10] https://openai.com/blog/chatgpt

Akhawe, D., & Felt, A. P. (2013). 警告仙境中的爱丽丝：浏览器安全警告有效性的大规模实地研究。载于第22届 {USENIX} 安全研讨会（{USENIX} 安全13）（第257–272页）。Ardito, C., Buono, P., Caivano, D., Costabile, M. F., & Lanzilotti, R. (2014). 探究并推广行业中的用户体验实践：一项实验研究。《国际人机研究期刊》，72 (6), 542–551。Azuma, R. T. (1997). 增强现实综述。《临场感：远程操作与虚拟环境》，6 (4), 355–385。Barnes, S. (2016). 理解营销中的虚拟现实：本质、影响与潜力。影响与潜力（2016年11月3日）。Barricelli, B. R., & Fogli, D. (2022). 人机交互中的数字孪生：系统性综述。《国际人机交互期刊》，1–19。Bermejo, C., & Hui, P. (2021). 移动增强现实触觉技术综述。ACM计算机调查（CSUR），54 (9), 1–35。Bermejo, C., Lee, L. H., Chojecki, P., Przewozny, D., & Hui, P. (2021). 探索虚拟现实空中交互中的按钮设计：对按键表征和多模态线索的六维评估。ACM人机交互学报，5 (EICS), 1–26。Bermejo Fernandez, C., Chatzopoulos, D., Papadopoulos, D., & Hui, P. (2021). 本网站使用助推：Mturk工作人员在Cookie同意通知中的行为。ACM人机交互学报，5 (CSCW2), 1–22。Betten, A. W., Rerimassie, V., Broerse, J. E., Stemerding, D., & Kupper, F. (2018). 构建未来情景，作为促进未来合成生物学家负责任的研究与创新的工具。《生命科学、社会与政策》，14 (1), 1–20。Bongard-Blanchy, K., Rossi, A., Rivas, S., Doublet, S., Koenig, V., & Lenzini, G. (2021). 即使我意识到自己受到了操纵，我也确实被操纵了。这太荒谬了！——终端用户视角下的暗黑模式。arXiv预印本 arXiv:2104.12653。B¨osch, C., Erb, B., Kargl, F., Kopp, H., & Pfattheicher, S. (2016). 暗黑面之谈：隐私暗黑策略与隐私暗黑模式。《隐私增强技术论文集》，2016 (4), 237–254。Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). 情绪测量：自我评估人形量表与语义差异量表。《行为疗法与实验精神病学杂志》，25 (1), 49–59。Brignull, H. (2019). 暗黑模式。https://www.darkpatterns.org/。（[在线；访问日期：21-May-2022]）Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z., & Hui, P. (2017). 移动增强现实综述：从现状到未来。IEEE Access，5，6917–6950。Conti, G., & Sobiesk, E. (2010). 恶意界面设计：利用用户。载于第19届万维网国际会议论文集（第271–280页）。Dao, E., Muresan, A., Hornbæk, K., & Knibbe, J. (2021). 糟糕的故障、有益的接缝与打脸：对YouTube上虚拟现实故障的分析。载于2021年CHI计算系统人因会议论文集（第1–14页）。De Guzman, J. A., Thilakarathna, K., & Seneviratne, A. (2019). 混合现实中的安保与隐私方法：文献综述。ACM计算机调查（CSUR），52 (6), 1–37。Di Geronimo, L., Braz, L., Fregnan, E., Palomba, F., & Bacchelli, A. (2020). 用户界面暗黑模式及其所在之处：一项关于移动应用和用户感知的研究。载于2020年CHI计算系统人因会议论文集（第1–14页）。Distler, V., Fassl, M., Habib, H., Krombholz, K., Lenzini, G., Lallemand, C., . . . Koenig, V. (2021). 可用隐私与安全研究中实证方法和风险表征的系统性文献综述。《ACM人机交互汇刊》（TOCHI），28 (6), 1–50。Drascic, D., & Milgram, P. (1996). 增强现实中的感知问题。载于《立体显示器与虚拟现实系统 III》（第2653卷，第123–134页）。

Eid, M. A., & Al Osman, H. (2015). 情感触觉：当前研究与未来方向。*IEEE Access*，*4*，26–40. Fitton, D., & Read, J. C. (2019). 创建一个框架，以支持对免费游玩应用中暗黑设计方面的批判性考量。载于*ACM*交互设计与儿童国际会议论文集 （第 407–418 页）。Ganapathy, S. (2013). 移动增强现实的设计指南：用户体验。载于增强现实环境中的人为因素 （第 165–180 页）。Springer. Gray, C. M., Chivukula, S. S., & Lee, A. (2020). “混蛋设计师”会创作出什么样的作品？描述 Reddit 上引发伦理关切的属性。载于*2020*年*ACM*交互系统设计会议论文集 （第 61–73 页）。Gray, C. M., Kou, Y., Battles, B., Hoggatt, J., & Toombs, A. L. (2018). 用户体验设计的黑暗（模式）面。载于*2018*年*CHI*计算系统人因会议论文集 （第 1–14 页）。Greenberg, S., Boring, S., Vermeulen, J., & Dostal, J. (2014). 空间距离交互中的暗黑模式：批判性视角。载于*2014*年交互系统设计会议论文集 （第 523–532 页）。Grimpe, B., Hartswood, M., & Jirotka, M. (2014). 促进政策与实践之间更紧密的对话：人机交互中的负责任设计。载于*SIGCHI*计算系统人因会议论文集 （第 2965–2974 页）。Gunawan, J., Pradeep, A., Choffnes, D., Hartzog, W., & Wilson, C. (2021). 网络与移动端模态中暗黑模式的比较研究。*ACM*人机交互学报，*5*（CSCW2），1–29. Guzman, J. A. d., Seneviratne, A., & Thilakarathna, K. (2021). 揭示移动混合现实数据中的空间隐私风险。*ACM*交互、移动、可穿戴与泛在技术学报，*5*（1），1–26. Herling, J., & Broll, W. (2012). Pixmix：一种实时实现高质量减弱现实的方法。载于*2012*年*IEEE*混合与增强现实国际研讨会（*ISMAR*） （第 141–150 页）。Hu, J., Iosifescu, A., & LiKamWa, R. (2021). Lenscap：用于增强现实应用细粒度视觉隐私控制的分离进程框架。载于第*19*届年度移动系统、应用与服务国际会议论文集 （第 14–27 页）。Jung, J., Lee, H., Choi, J., Nanda, A., Gruenefeld, U., Stratmann, T., & Heuten, W. (2018). 权衡沉浸感与情境感知以确保增强现实中的安全。载于*2018*年*IEEE*混合与增强现实国际研讨会（*ISMAR*） （第 70–79 页）。Karr, A. (2018). 伦理设计。 https://interactions.acm.org/blog/view/ethical -design. 技术报告。Interactions ACM。（[在线；访问日期：21-May-2022]）Kidane, T. T., & Sharma, R. (2016). 影响消费者通过电子商务做出购买决策的因素。载于*2016*年工业工程与运营管理国际会议论文集，吉隆坡，马来西亚 （第 8 卷，第 159–165 页）。Koyanagi, K., Fujii, Y., & Furusho, J. (2005). 基于力反馈手套系统的 VR-STEF 系统开发。载于*2005*年增强远程存在国际会议论文集 （第 91–97 页）。Lam, K. Y., Lee, L. H., & Hui, P. (2021). A2W：面向移动增强现实网页浏览器的上下文感知推荐系统。载于第*29*届*ACM*多媒体国际会议论文集 （第 2447–2455 页）。美国纽约州纽约市：计算机协会。获取自 https://doi.org/10.1145/3474085.3475413 Langheinrich, M. (2001). 隐私保护设计——隐私感知泛在系统的原则。载于泛在计算国际会议 （第 273–291 页）。L´arusd´ottir, M., Cajander, ˚A., & Gulliksen, J. (2012). Scrum项目缺少用户体验的整体视角。载于*I-UXSED* （第 42–48 页）。Latham, H. (2018). 伦理设计是一个危险的术语。https://uxdesign.cc/ethical -design-is-a-dangerous-term-b314a5e385f4. 技术报告。Medium，UX Collective。（[在线；访问日期：21-May-2022]）

Le˜ao, C. W. M., Lima, J. P., Teichrieb, V., Albuquerque, E. S., & Kelner, J. (2011). 改变现实：实时增强与减弱现实。载于*2011*年*IEEE*虚拟现实会议 （第 219–220 页）。Lebeck, K., Ruth, K., Kohno, T., & Roesner, F. (2017). 增强现实输出安全。载于*2017*年*IEEE*安全与隐私研讨会（*SP*） （第 320–337 页）。Lee, H., Lee, J., Kim, D., Jana, S., Shin, I., & Son, S. (2021). Adcube：WebVR广告欺诈及第三方广告的实用隔离。载于第*30*届 {*USENIX*} 安全研讨会（{*USENIX*}安全*21*）。Lee, L.-H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., . . . Hui, P. (2021). 从互联网与扩展现实到元宇宙：技术综述、生态系统与未来方向。*arXiv* 电子预印本，arXiv–2110. Lombard, M., & Snyder-Duch, J. (2001). 互动广告与临场感：一个框架。互动广告期刊，*1*（2），56–65. Luk, J., Pasquero, J., Little, S., MacLean, K., Levesque, V., & Hayward, V. (2006). 触觉技术在移动交互中的作用：使用手持式触觉显示器原型进行的初步设计。载于*SIGCHI*计算系统人因会议论文集 （第 171–180 页）。Machuletz, D., & B¨ohme, R. (2020). 多种用途，多重问题：GDPR实施后同意对话框的用户研究。隐私增强技术论文集，*2020*（2），481–498. Maeda, T., & Kurahashi, T. (2019). Thermodule：基于无线平台的可穿戴模块化温度反馈系统。载于*2019*年第*10*届增强人类国际会议论文集 （第 1–8 页）。M¨akel¨a, V., Kleine, J., Hood, M., Alt, F., & Schmidt, A. (2021). 隐蔽交互技术：在智能手机和可穿戴设备上隐蔽地获取信息与发送短信。载于*2021*年*CHI*计算系统人因会议论文集 （第 1–14 页）。Mannonen, P., Aikala, M., Koskinen, H., & Savioja, P. (2014). 通过关键体验访谈揭示用户体验。载于第*26*届澳大利亚计算机与人机交互会议论文集：设计未来 （第 452–455 页）。Mathur, A., Acar, G., Friedman, M. J., Lucherini, E., Mayer, J., Chetty, M., & Narayanan, A. (2019). 大规模暗黑模式：对 11k 个购物网站进行爬取后的发现。*ACM*人机交互学报，*3*（CSCW），1–32. Mathur, A., Kshirsagar, M., & Mayer, J. (2021). 什么让暗黑模式成为“暗黑”模式？设计属性、规范性考量与测量方法。载于*2021*年*CHI*计算系统人因会议论文集 （第 1–18 页）。McPherson, R., Jana, S., & Shmatikov, V. (2015). 无法逃离现实：增强现实浏览器的安全与隐私。载于第*24*届万维网国际会议论文集 （第 743–753 页）。Mehta, V., Bandara, A. K., Price, B. A., & Nuseibeh, B. (2016). 隐私上的瘙痒与搔抓：身体隐私警告与控制。载于*2016*年*CHI*计算系统人因会议扩展摘要论文集 （第 2417–2424 页）。Mhaidli, A. H., & Schaub, F. (2021). 通过场景构建识别扩展现实中的操纵性广告技术。载于*2021*年*CHI*计算系统人因会议论文集 （第 1–18 页）。Milgram, P., & Kishino, F. (1994). 混合现实视觉显示设备的分类体系。*IEICE*信息与系统汇刊，*77*（12），1321–1329. Milliman, R. E. (1982). 利用背景音乐影响超市购物者的行为。营销学期刊，*46*（3），86–91. Nam, Y., Park, M., & Yamane, R. (2008). Smart Glove：采用磁流变液致动器的手部主控装置。载于*ICMIT 2007*：机电一体化、微机电系统与智能材料 （第 6794 卷，第 681–686 页）。Nijholt, A. (2021). 在公共空间体验社交增强现实。载于*2021*年*ACM*泛在与普适计算联合会议及*2021*年*ACM*可穿戴计算机国际研讨会附属论文集 （第 570–574 页）。

Obrist, M., Subramanian, S., Gatti, E., Long, B., & Carter, T. (2015). 通过空中触觉传递的情绪。载于第*33*届*ACM*计算系统人因年会论文集（第2053–2062页）。密歇根大学，M. N.（2021）。增强现实/虚拟现实/混合现实/扩展现实的用户体验与交互设计。https :// www . online .umich .edu / courses / user -experience -interaction -design - augmented-virtual-mixed-extended-reality/.（[在线；访问日期：5月21日，2022]）Oinas-Kukkonen, H., & Harjumaa, M. (2009). 说服性系统设计：关键议题、流程模型与系统特征。信息系统协会通讯，*24*(1), 28。Patil, S., & Kumar, R. (2019). 借助5G网络加速扩展现实愿景。载于*2019*年第三届电子学、通信与航空航天技术国际会议（*ICECA*）（第157–161页）。Pierdicca, R., Prist, M., Monteri`u, A., Frontoni, E., Ciarapica, F., Bevilacqua, M., & Mazzuto, G. (2020). 工作场所中的增强现实智能眼镜：第四次工业革命时代的安全与安保。载于增强现实、虚拟现实与计算机图形学国际会议（第231–247页）。Prange, S., Shams, A., Piening, R., Abdelrahman, Y., & Alt, F. (2021). Priview——探索用于提升用户隐私意识的可视化。载于*2021*年*CHI*计算系统人因会议论文集（第1–18页）。Rajeshkumar, S., Omar, R., & Mahmud, M. (2013). 用户体验（UX）评估方法的分类体系。载于*2013*年信息系统研究与创新国际会议（*ICRIIS*）（第533–538页）。Reijers, W., Wright, D., Brey, P., Weber, K., Rodrigues, R., O'Sullivan, D., & Gordijn, B. (2018). 在研究与创新中践行伦理的方法：文献综述、批判性分析与建议。科学与工程伦理，*24*(5), 1437–1481。Research, G. V. (2020). 增强现实（*AR*）市场分析。https :// www . grandviewresearch.com/industry-analysis/augmented-reality-market.（[在线；访问日期：5月21日，2022]）Roesner, F., Kohno, T., & Molnar, D. (2014). 增强现实系统的安保与隐私。*ACM*通讯，*57*(4), 88–96。Rovers, A., & van ESSEN, H. A. (2004). HIM：触觉即时通信框架。载于*CHI'04*计算系统人因扩展摘要（第1313–1316页）。Ruth, K., Kohno, T., & Roesner, F. (2019). 增强现实应用的安全多用户内容共享。载于第*28*届 {*USENIX*} 安全研讨会（{*USENIX*} *Security 19*）（第141–158页）。Rymarczyk, J., et al. (2020). 第四次工业革命的技术、机遇与挑战：理论考量。创业商业与经济评论，*8*(1), 185–198。Schaub, F., Balebako, R., Durity, A. L., & Cranor, L. F. (2015). 有效隐私告知的设计空间。载于第十一届可用隐私与安全研讨会（*SOUPS 2015*）（第1–17页）。Shatilov, K. A., Chatzopoulos, D., Lee, L.-H., & Hui, P. (2019). 移动计算中新兴的自然用户界面：一项自下而上的综述。*arXiv*预印本 *arXiv:1911.04794*。Speicher, M., Hall, B. D., Yu, A., Zhang, B., Zhang, H., Nebeling, J., & Nebeling, M. (2018). XD-AR：跨设备增强现实应用开发中的挑战与机遇。*ACM*人机交互学报，*2*(EICS), 1–24。Stanney, K. M., Nye, H., Haddad, S., Hale, K. S., Padron, C. K., & Cohn, J. V. (2021). 扩展现实（XR）环境。人因与工效学手册，782–815。Tamborini, R., & Skalski, P. (2006). 临场感在电子游戏体验中的作用。玩电子游戏：动机、反应与后果，*1*，225–240。Tromp, N., Hekkert, P., & Verbeek, P.-P. (2011). 面向社会责任行为的设计：基于预期用户体验的影响分类。设计议题，*27*(3), 3–19。Tseng, W.-J., Bonnail, E., Mcgill, M., Khamis, M., Lecolinet, E., Huron, S., & Gugenheimer, J. (2022). 虚拟现实中感知操纵的阴暗面。*arXiv*预印本

arXiv:2202.13200。Utz, C., Degeling, M., Fahl, S., Schaub, F., & Holz, T. (2019). （非）知情同意：实地研究《通用数据保护条例》同意通知。载于*2019*年*ACM SIGSAC*计算机与通信安全大会论文集（第973–990页）。Vekemans, V., Leenders, W., Zhu, S., & Liang, R.-H. (2021). Motus：利用腕戴式触觉显示器呈现情绪。载于*2021*年可穿戴计算国际研讨会（第159–161页）。Wang, X., Monteiro, D., Lee, L.-H., Hui, P., & Liang, H.-N. (2022). Vibroweight：在虚拟现实中模拟物体重量与重心的变化，以增强真实感。载于*2022*年*IEEE*触觉研讨会（*Haptics*）（第1–7页）。Wright, D., Finn, R., Gellert, R., Gutwirth, S., Sch¨utz, P., Friedewald, M., . . . Mordini, E. (2014). 伦理困境情景与新兴技术。《技术预测与社会变革》，*87*，325–336。Yigitbas, E., Sauer, S., & Engels, G. (2021). 利用增强现实改进脚手架行业的规划与测量。载于*2021*年*ACM SIGCHI*交互式计算系统工程研讨会伴随论文集（第32–37页）。Yoo, Y., Yoo, T., Kong, J., & Choi, S. (2015). 触觉图标的情绪反应：振幅、频率、持续时间和包络的影响。载于*2015*年*IEEE*世界触觉大会（*WHC*）（第235–240页）。

作者简介

Xian Wang 于2021年获得西交利物浦大学电子科学与技术理学学士学位，是人机交互实验室 X-CHI 的成员。她目前在香港科技大学 SyMLab 攻读人工智能博士学位。她的研究兴趣包括人机交互、触觉反馈、虚拟现实和严肃游戏。

Lik-HangLee 获得香港科技大学 SyMLab 的博士学位，以及香港大学的荣誉工学学士和哲学硕士学位。毕业后，他于2019年至2020年在芬兰奥卢大学担任博士后研究员，并于2021年至2023年在韩国科学技术院（韩国）担任助理教授（预聘制）。目前，他是香港特别行政区香港理工大学的助理教授。他构建并设计了多种专注于增强现实/虚拟现实的以人为中心的计算系统。

CarlosBermejo Fernandez 获得了香港科技大学（HKUST）的博士学位。他的研究兴趣包括人机交互、隐私和增强现实。目前，他是香港科技大学计算机科学系 SyMLab 的博士后研究员。

Pan Hui 获得了剑桥大学计算机实验室的博士学位，此后担任过多个声望卓著的学术职位。目前，他是香港科技大学（广州）计算媒体与艺术讲席教授、元宇宙与计算创造力中心主任，同时也是香港科技大学新兴跨学科领域讲席教授。此外，他还担任芬兰赫尔辛基大学诺基亚数据科学讲席教授。他在研究方面贡献卓著，广受认可，已发表超过 450 篇研究论文，拥有 32 项专利，引用次数超过 25,000 次。