arXiv:2302.00211v1 [cs.HC] 1 Feb 2023

通过增强现实具身体验唤起对视力障碍人士的共情

Renan Guarese * Emma Pretty † Haytham Fayek ‡ Fabio Zambetta § Ron van Schyndel ¶皇家墨尔本理工大学 皇家墨尔本理工大学 RMITUniversity RMITUniversity RMITUniversity

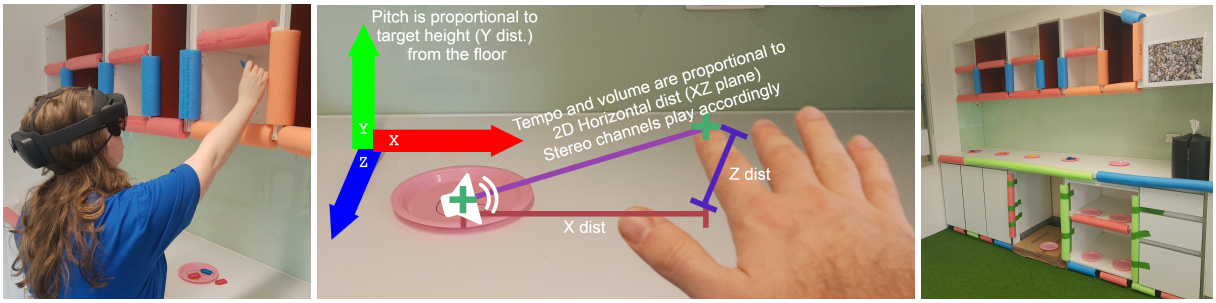


图1：左：实验期间，一名蒙眼用户在真实橱柜中寻找盘子，并通过增强现实设备接收虚拟音频反馈。中：所用辅助技术的示意图，情境化音频引导从目标位置传来，其节奏、音高和立体声设置会根据用户手部位置动态变化。右：实验环境——一个内部铺有软垫以避免受伤的大型橱柜，以及用于增强临场感的实体物品。

摘要

为促进人们对残障人士的共情，我们提出一种多感官交互体验，使明眼用户在使用辅助技术时能够体验视力障碍。实验邀请蒙眼的视力正常参与者与多种声化方法互动，以定位目标并在真实厨房环境中摆放物品。在测试前，我们询问了盲人及视障群体对提升上述共情的潜在益处的看法。为了测试共情，我们改编了共情与同情反应量表，分别收集明眼人（N = 77）和盲人及视障人士（N =20）对自身与盲人及视障群体的自我报告共情和感知共情。实验后，我们再次测试了明眼人的共情，发现其共情和同情反应（N = 15）显著增加。此外，调查结果表明，盲人及视障群体认为，运用这类唤起共情的具身体验，或可推动新型辅助技术的开发。

索引词： 以人为中心的计算—无障碍—无障碍技术；以人为中心的计算—无障碍—无障碍实证研究；以人为中心的计算—人机交互（HCI）—交互技术—听觉反馈；以人为中心的计算—人机交互（HCI）—交互范式—混合现实／增强现实；

*电子邮件：renan.guarese@rmit.edu.au
†电子邮件：emma.pretty@rmit.edu.au
‡电子邮件：haytham.fayek@ieee.org §电子邮件：fabio.zambetta@rmit.edu.au
¶电子邮件：ron.vanschyndel@rmit.edu.au

1 引言

近年来，数字技术已成为促进社会变革和个人成长的一种途径 [34]。尤其是虚拟现实和增强现实（VR 和 AR）等技术，以及电子游戏，都是沉浸式且广泛应用的传播渠道 [43]。电子游戏促进社会变革的常见应用（也称为严肃游戏）包括：让用户了解气候变化对社会和环境的影响 [14], ，以及通过游戏化健康行为，鼓励人们定期进行身体活动并保持健康饮食 [30]。

用于社会变革的虚拟现实和增强现实体验，借助逼真的感官模拟，将用户置于他们希望引起人们关注的环境或情境中 [25]。这些应用还利用物理世界与信息的虚拟投影之间的交互，模拟他人的体验所带来的具身体验，例如实时将一位用户的情绪传递给另一位用户 [42], ，体验不同的性别 [51], 、国籍 [16], 、身材 [50], ，或残障人士的生活 [3, 7, 17, 19]。这些体验是“差异的具身体验”的例子，通常不受未充分代表的群体或少数群体之外的人们青睐 [41]。然而，这类技术有助于唤起共情或增进理解，从而推动社会变革，并改善残障人士的生活 [34]。

事实证明，激发共情有助于推动人们开发能够顾及用户多样化需求的无障碍技术和应用 [39]。例如，一项让参与者体验模拟视力障碍的工作坊，不仅有效地激发了他们对盲人和视障人士（BVI）的共情，也提高了所提出设计方案的新颖性和创造性，从而更好地为视力障碍人士提供指引 [40]。共情也是减少人们对残障和精神疾病污名的有力工具 [2, 9, 37], ，这有助于全面改善所有受影响人群的生活。

我们提出，通过具身体验来鼓励人们与盲人及视障人士产生共情、减少污名，并推动辅助技术的设计与生产。先前研究指出，应由包括技术设计者在内的集体承担应对残障问题的责任

，我们认为，通过增进人们对残障人士的共情，这种责任更有可能转化为行动。

尽管本研究旨在提高人们对盲人和视障人士的认识并增进善意，但唤起共情的努力可能适得其反，而差异具身体验的设计也可能影响最终结果。先前的研究 [44] 发现，参与者在经历了颇具挑战性的失明模拟后，认为盲人胜任工作的能力和独立生活的能力较低。然而，同一批研究人员也认同，模拟他人的经历能够改善人们对这些人的态度。通过探究这种平衡——即对残障人士的同情与共情所带来的益处，是否超过了居高临下对待这一群体的风险——我们相信，下一代辅助技术的开发仍能产生积极影响。因此，我们不再让无残障人士仅仅短暂体验残障模拟，而是希望让他们在视力被完全遮蔽的情况下，模拟使用新型辅助技术，以尝试再现完全失明的状态。

本研究通过一项用户研究，探讨了使用音频增强现实 [49]进行差异具身体验。就我们所知，这是首次展示一种唤起共情的增强现实体验：在完全遮蔽明眼人视线的同时，使用一种拟议的辅助技术为其提供引导。与在纯虚拟环境（虚拟现实）中展示这一概念不同，在增强现实中蒙眼，明眼用户便能获得可靠且易于使用的原地引导在实地，因为设备可在运行时对真实环境进行映射。这样，用户就能在真实环境中自由走动、触摸真实物体，同时接收音频引导；这与完全失明者在声音化增强现实中所经历的体验完全相同。因此，我们将增强现实纳入相关研究之中；这些研究指出，虚拟现实是唤起共情的有效工具，旨在通过改善人们的认知并提高对差异群体的认识，推动社会变革 [21]。本研究的独特之处还在于，一位视障研究人员（本文的共同作者之一）参与其中并提供建议，旨在真实呈现盲人及视障人士所依赖的不同感官，以及他们如何利用辅助技术。因此，如图 1（左）所示，我们使用普通眼罩遮挡所有真实或虚拟的视觉信息。研究使用增强现实头显为用户提供空间化音频；研究表明，这种音频能够增强用户沉浸感 [38], 。我们还对厨房空间进行了增强，使其特别适合盲人及视障人士使用，并加入了帮助用户寻找物品的空间音频引导提示，类似于 [18,23,31]。

本研究还首次比较了明眼人对盲人和视障人士群体的感知与自我报告的共情，以深入了解盲人和视障人士群体与明眼人相处时的体验，以及明眼人对盲人和视障人士群体的感受之间的差异。我们希望推动在数字共情研究中纳入增强现实设备，并采用调查问卷来探究盲人和视障人士群体与参与差异具身体验者之间的认知差异，从而更深入地理解这种差异。此外，为了验证本研究，我们向盲人和视障人士群体（N = 20）发放了一份调查问卷，询问他们对引发共情的体验之必要性的看法，以及他们是否认为这些体验有益。

本文其余部分安排如下：第 2 节概述了差异的具身体验相关研究，以及在增强现实和虚拟现实中如何呈现失明。随后，第 3 节提出了本研究的动机假设，第 4 节介绍用于评估这些假设的方法，包括对相关群体的初步调查、实验设计、音频界面、实验所用的指标，最后还包括一位参与测试的专家提供的反馈。第 5 节详细介绍本研究的发现，随后讨论其意义（第 6 节），最后总结全文并为未来研究提出建议（第 7 节）。

2 相关研究

我们首先探讨虚拟环境和增强现实环境如何支持差异的具身体验、虚拟现实和增强现实模拟如何呈现失明，以及人机交互领域以何种形式研究数字同理心 [34]。

2.1 差异的具身体验

混合环境和虚拟环境能够向用户提供感官线索，从而带来具有相似特征的体验 [1,17]。近年来，研究者探索并应用了虚拟现实中的自我表征，让用户从他人的视角感受残障及其他状况 [3,6,7,17,25]。例如， 2013 [36]的一项研究利用虚拟现实，让白人以白色、紫色和深色皮肤人群的身体为载体，体验具身感受。研究人员在体验前后测量内隐种族偏见，即将负面词语与深色皮肤人群联系、将正面词语与白色皮肤人群联系的倾向。结果发现，参与者以深色皮肤人群的身体体验约 12 分钟后，内隐种族偏见显著降低。

在 2019 年一项由表现主义艺术家 Marcel Schreur 构想的共情体验中，虚拟现实呈现了一种独特的人生视角 [3], 。体验以第一人称视角展现了 Schreur 的人生：他曾与口腔癌共处三十年，并作为血管性痴呆症患者生活了七年；用户可以探索他所经历的挣扎、生活态度和独特视角。类似地，2020 年的一个数字同理心项目将一名截肢者的具身体验带入虚拟现实 [7, 19], ，让用户感受虚拟呈现的幻肢感。这些作品创造了一个空间，使参与者能够通过差异与残障的视角，思考自身心理和生理过程的某些方面。在 [17], 中，研究人员提出了一种同样旨在促进对差异的共情、但聚焦于失明的体验。为了评估他们提出的假设——明眼人对盲人及视障人士经历的看法可能会受到与游戏互动的影响——我们设计了一种类似的体验，模拟蒙眼时使用辅助技术进行引导。为恰当地测量这种影响，我们调整了一份标准化问卷 [12] ，用于评估参与者此前及体验后的同情和共情水平。

其他研究也调整了 [12] 用于沉浸式虚拟现实体验的同情与共情问卷，但未提供每个问题的具体调整方式。在 [25], 一项研究中，研究者比较了观看一段关于全球社会议题的非交互式三维视频与观看该视频的360度虚拟现实版本，发现观看虚拟现实体验时，共情程度更高，人们也更愿意为相关社会事业投入时间或参与志愿服务。同样，[6]比较了一段关于叙利亚难民危机的360度虚拟现实视频、同一视频的二维版本，以及一篇相关主题的文章。研究发现，虚拟现实视频最能提升共情，也最有可能促使人们的态度朝积极方向转变。

2.2 虚拟现实和增强现实中的失明

近年来，商业和学术领域都开始在混合现实和虚拟现实中实施失明模拟体验。2016 年的沉浸式纪录片关于失明的笔记[1] 与一部同名故事片同期发行，该片以一名男子失去视力后在感官和心理上的体验为基础。影片由一系列非交互式 360 度视频组成，画面中的视觉元素呈现空间音效的来源，例如一个行走者的剪影。类似地，一款名为盲人[2] 的 2018 年虚拟现实游戏也通过根据回声定位渲染空间的视觉细节来传达失明体验，并一路陪伴

[1] http://www.notesonblindness.co.uk/vr/ [2] https://www.tinybullstudios.com/games/blind/

表 1：实验前向社区提供的调查问卷，包括结果的均值（M）和标准差（ST）。

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 — 7 **李克特量表陈述** （1 = "完全**不同意**" 7 = "完全 **同意**"）	盲人及视障人士受访者（N = 20）	健视受访者（N = 77）
我觉得明眼人有必要更好地了解盲人和视障人士 人们在日常任务中经历的事情。	M = 5.8 ST = 1.79 1 7	M = 6.17 ST = 1.29 1 7
我认为，让视力正常的人戴上眼罩，就足以让他们产生共情 于盲人及视障人士。	M = 3.00 ST = 2.02 1 7	M = 3.13 ST = 1.56 1 7
我认为需要向人们展示不同程度的盲人和视障人士视觉障碍及其状况，以便人们能够了解。 明眼人展示盲人和视障人士的不同视障程度和状况，以便他们对盲人及视障人士产生共情。	M = 4.8 ST = 1.93 1 7	M = 5.54 ST = 1.58 1 7
除了展示盲人和视障人士如何感知世界（例如蒙眼）之外， 我认为，明眼人使用盲人及视障人士的辅助技术 （例如屏幕阅读器或语音命令）也能提升他们的共情能力。	M = 4.9 ST = 2.26 1 7	M = 5.45 ST = 1.42 1 7
我认为，通过提升明眼人对盲人及视障人士的共情， 可以提高人们对盲人及视障人士需求和经历的认识。	M = 5.15 ST = 2.00 1 7	M = 6.24 ST = 1.00 1 7
我相信，通过提升明眼人对盲人和视障人士的共情，来 模拟体验增强明眼人对盲人及视障人士的共情，将会涌现出帮助这些人们的新技术。	M = 4.75 ST = 2.08 1 7	M = 6.05 ST = 1.24 1 7

玩家扮演一名需要解开多个谜题的盲人角色。与商业作品类似，一项 2020 年的研究 [26] 使用视觉提示，帮助用户通过虚拟盲杖引导自己前行。盲杖碰撞声、脚步声和角色交谈声会生成光线元素，勾勒出环境的网格。其他研究探讨了针对特定视力障碍状况的增强现实/虚拟现实模拟及其视觉准确性，例如青光眼 [24] 或白内障 [27], ；这些不属于本研究的范畴。与这些研究不同，我们的实验旨在完全遮蔽所有视觉元素，聚焦于完全失明的状况，仅向用户提供空间音频提示和自身的触觉。这些体验旨在让用户感受新近失明者在适应视力丧失之前的状态。

另一项于 2020 年开展的虚拟现实研究 [48] 执行了类似的无视觉提示导航任务。不过，该研究的音频引导主要由对路径和环境的音频描述构成，并由一个人工智能代理持续提示正确方向以及需要避开的潜在障碍物。当用户靠近障碍物时，还会响起蜂鸣声作为警告，这与现代汽车的碰撞警告系统类似，但这些提示似乎并未进行空间化。与这些研究及以往差异的具身体验不同，当前应用着重为用户提供一种增强现实方案：场景设在真实的厨房环境中，并结合被动触觉（即允许人们触摸真实物体）、空间音频定位提示和音频指令。与纯虚拟环境（虚拟现实）不同，我们认为增强现实让用户能够在周围的真实环境中走动并触摸物体，同时接收关于这些物体的音频引导；而在声音化增强现实中，盲人则会获得完全相同的体验。

3 假设

我们认为，明眼人对盲人和视障人士群体的共情，与盲人及视障人士对这种共情的感知之间存在很大差距。为了让没有残障的人们对这种差异产生共情，我们的增强现实体验让明眼用户体验视力障碍者的处境，同时依靠一种拟议的辅助技术完成日常任务。然而，为了评估实验是否显著影响了他们对盲人及视障人士的共情，有必要客观量化这种反应，并比较体验前后的数值。因此，实验前后将对明眼用户使用同情心与共情测量工具 [12] 。本研究旨在了解明眼用户与实验互动后，对盲人及视障人士经历的既有看法是否发生变化，以及如何变化，从而提高人们对视力障碍辅助技术需求的认识。因此，本研究基于以下假设：

H1：明眼人对盲人和视障人士群体的共情，与盲人和视障人士对明眼人共情盲人和视障人士群体的感知之间存在显著差异。

H2：体验采用声音化增强现实进行微引导任务的拟议辅助技术后，明眼人对盲人和视障人士的共情将会增强。

4 方法

秉持"《没有我们参与，就不要谈论我们》"这一箴言， [8], 本研究部分由一位视障研究人员撰写，并通过在线调查征求盲人和视障人士群体的建议和意见。此外，研究还纳入了一位外部视障研究人员的反馈。该研究人员受邀以数字无障碍专家的身份参与，在用户测试开始前，就声音化增强现实体验提供了宝贵见解。

4.1 初步调查

为首先验证这项研究，我们向盲人和视障人士群体（N = 20）发放了一份调查问卷，询问他们对引发共情的体验之必要性的看法，以及他们是否认为这类体验有益。例如，当被问及他们是否认为明眼人有必要更好地理解他们日常生活中所经历的事情时，16 人（80.00%）表示赞同。另有 14 名受访者（70.00%）认为，让明眼人与供盲人及视障人士使用的辅助技术进行互动，也能提升明眼人的共情能力；12 人（60.00%）则赞同，提升共情能力将催生新的辅助技术。其余结果见表 1。基于这些结果，我们认为本研究探索了一个有价值的研究空白，这与盲人和视障人士群体的观点相符，并且

其潜在成果不仅在于提升整个社会的共情能力，也在于推动新型辅助技术的发展。

4.2 实验场景和任务

实验场景描绘了一个专门改造为便于盲人及视障人士使用的空间，并通过音频引导提示来帮助他们寻找物体，类似于 [18,23,31]。具体而言，使用了一个真实厨房，其中配有大型橱柜、台面和高置搁架（图1右），而不是完全虚拟的厨房 [31]。引导方法借助 Microsoft HoloLens 2[3] 实现，因为它具备空间化音频系统（使用其标准的头部相关传递函数设置[4]）、空间映射和手部追踪功能。所有用户任务都要求用户进行微引导，即近距离导航和物体操作任务 [20], ; 场景通过一种拟议的辅助技术——空间化音频引导提示——来提供这种引导。用户需要仅凭声音和触觉引导，将物体放置到指定位置。体验中的厨房家具、盘子和代币均为真实的实体物品。这些物品旨在增强用户在实验过程中的临场感，通过被动触觉 [22], 使用户感受到真实物体的纹理、重量和硬度。所有可能对用户造成伤害的表面和家具边缘都用聚乙烯泡沫进行了包覆，以避免任何伤害，如图1右所示。

蒙眼参与者接受了音频指令，了解如何跟随每条音频引导提示，并在学习阶段进行练习。之后，他们在橱柜中不同位置的盘子上完成了30次物品放置试验，同时跟随音频引导。试验顺序在用户之间采用拉丁方进行平衡。测试结束后，参与者被要求填写一份问卷，反馈他们的体验。

4.3 所使用的辅助技术

视力障碍人士主要依靠听觉和触觉来辨别周围环境 [32]。然而，有些表面可能具有危险性、令人不适，甚至不卫生，不宜触摸，例如滚烫的炉灶或沾满污物的垃圾桶。通过增强现实中的声音追踪并引导用户的手部位置，动态空间化音频反馈能够准确告知水壶把手或垃圾桶顶部的位置 [20]。这样，用户便能将手恰当地放置在相应位置来完成任务，而无需触摸任何不希望触碰的表面。

与近期研究类似 [4,18,31,35], , 研究使用目标物定位听觉界面，向蒙眼用户呈现音频引导提示，以引导他们在周围的三维空间中行动。根据研究结果，研究采用了三个音频组件，在三维场景中向位于不同位置的目标传达引导信息，如图 1 中部所示：

- 节奏：通过声化的开关交替（节奏）传达用户手部与目标之间的二维水平距离（X 轴和 Z 轴），始终保持固定的“关闭”间隔（0.03 秒），并将“开启”信号的时长设为当前距离（厘米）的六分之一秒，这与 [20] 类似。手离目标越近，波形的标记空间比就越小，也就是说，节奏听起来越快。同理，手离目标越远，波形的标记空间比就越大，也就是说，节奏听起来越慢。这种音频隐喻类似于现代汽车上的蜂鸣式泊车传感器，用于提示距离远近；声音界面也常用这种方式传达紧迫感 [11]。
- 立体声：音频引导以空间化的方式呈现，类似于若干项研究 [4, 18, 35]。无论用户如何调整方向，如果目标位于其手的右侧，声音就只会从右耳传来。同样，如果声音来自左耳，就意味着目标位于其手的左侧；当手在水平方向越过目标时，声音也会在两侧之间切换。此外，随着手与目标之间的距离增加，振幅（音量）会线性衰减；反之亦然。
- 音高：多项研究的结果证实了人们的一种认知：音高较高的声音往往与位置较高的物体相关，反之亦然 [13, 33]。因此，我们采用目标高度与音高之间的直接映射。播放的最低音高表示目标可能达到的最低高度（地面高度），最高音高则表示目标可能达到的最高高度（顶层搁板高度）。介于这两个高度之间的目标则使用介于两者之间的音高，并按抛物线分布，使它们在音频感知中均匀分散。特别是在本次实验中，为了确保音频可用性 [47], , 固定音高的范围定义如下：a) 起始于一个较低的频率，该频率足够高，使大多数人都能听见；不会导致所用音响设备产生任何明显的虚拟失真；也不会使耳朵感到明显不适（特定230 Hz）；b) 终止于一个较高的频率，该频率足够低，符合相同的标准（特定1200 Hz）；c) 每个高度对应的最终频率值均取最接近的音符音高，且不同高度不重复使用同一个音符的不同八度，以避免偏差。

遵循这些限制后，橱柜不同高度对应的音符如下：

– 顶层搁板：D6（1175 Hz）– 从上往下第二层搁板：A5（880 Hz）– 台面：C5（523.3Hz）– 从下往上第二层搁板：E4（329.6Hz）– 底层搁板：B3（246.9 Hz）

4.4 共情与同情量表

为了评估没有残障的用户对所研究功能障碍的盲人和视障人士是否产生了情绪反应变化，需要使用测量工具。由于我们的假设具体聚焦于共情，因此有必要量化用户在实验前后的情绪反应。Escalas 和 Stern [12] 开发了可靠的测量工具，用于实证检验广告视频中观众对角色的同情反应和共情反应：广告反应同情量表（ARS）和广告反应共情量表（ARE）。他们的研究结果表明，同情反应在戏剧性广告的形式对共情反应的影响中起中介作用，而同情和共情都能直接提升对广告的积极态度。基于这一观点，本研究将采用相同的同情与共情概念，并假设这些指标可应用于不同形式的媒体。由于这些工具中的陈述专门针对观看视频的用户，因此我们对其进行了改编，形成了三种措辞不同的版本（如表2所示），各自具有略有差异的用途：

[3] https://www.microsoft.com/hololens/ [4] https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/spatial-sound

Original statement [12]	**BVI perception survey**	**Sighted pre-test (previous experience)**	**Sighted post-test (after experiment)**
Ad Response Sympathy (ARS) scale	Adapted ARS I	Adapted ARS II	Adapted ARS III
ARS-1: Based on what was happening in the commercial, I understood what the characters were feeling.	Based on what was happening in my experiences, I believe sighted people understood what I was feeling in my day-to-day tasks.	Based on what was happening in my experiences, I understood what BVI people were feeling in their day-to-day tasks.	Based on what was happening in the experiment, I understood what BVI people are feeling in their day-to-day tasks.
ARS-2: Based on what was happening in the commercial, I understood what was bothering the characters.	Based on what was happening in my experiences, I believe sighted people understood what was bothering me in my day-to-day tasks.	Based on what was happening in my experiences, I understood what was bothering the BVI people in their day-to-day tasks.	Based on what was happening in the experiment, I understood what is bothering BVI people in their day-to-day tasks.
ARS-3: While watching the ad, I tried to understand the events as they occurred.	While experiencing my day-to-day tasks, I believe sighted people tried to understand the events as they occurred.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I tried to understand the events as they occurred.	While experiencing the simulation, I tried to understand the events as they were occurring to a BVI person.
ARS-4: While watching the ad, I tried to understand the characters' motivation.	While experiencing my day-to-day tasks, I believe sighted people tried to understand the motivation of my behaviors.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I tried to understand the motivation of their behaviours.	While experiencing the simulation, I tried to understand the motivation of BVI people in their day-to-day tasks.
ARS-5: I was able to recognize the problems that the characters in the ad had.	I believe sighted people were able to recognize the problems that I had in my experiences.	I was able to recognize the problems that BVI people had in my experiences with them.	I was able to recognize the problems that BVI people have in their day-to-day tasks.
Ad Response Empathy (ARE) scale	Adapted ARE I	Adapted ARE II	Adapted ARE III
ARE-1: While watching the ad, I experienced feeling as if the events were really happening to me.	While performing my day-to-day tasks, I perceived sighted people to be experiencing feeling as if the events were really happening to them.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I experienced feeling as if the events were really happening to me.	While experiencing the simulation, I experienced feeling as if I really had a visual impairment.
ARE-2: While watching the ad, I felt as though I were one of the characters.	While performing my day-to-day tasks, I perceived that sighted people felt as though they were a BVI person.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I felt as though I were a BVI person.	While experiencing the simulation, I felt as though I were a BVI person.
ARE-3: While watching the ad, I felt as though the events in the ad were happening to me.	While performing my day-to-day tasks, I perceived that sighted people felt as though those events were happening to them.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I felt as though those events were happening to me.	While experiencing the simulation, I felt as though I had a visual impairment.
ARE-4: While watching the commercial, I experienced many of the same feelings that the characters portrayed.	While performing my day-to-day tasks, I perceived that sighted people experienced many of the same feelings that I expressed.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I experienced many of the same feelings that they expressed.	While experiencing the simulation, I experienced many of the same feelings that BVI people express.
ARE-5 While watching the commercial, I felt as if the characters' feelings were my own.	While performing my day-to-day tasks, I perceived that sighted people felt as if my feelings were their own.	While perceiving the day-to-day tasks of BVI people, I felt as if their feelings were my own.	While experiencing the simulation, I felt as if BVI people's feelings were my own.

表2：Escalas 和 Stern 的同情（ARS）与共情（ARE）陈述 [12]，及其相应的改编版本。

• BVI 感知调查：为了评估 **H1**，首先有必要了解盲人和视障人士群体如何看待明眼人对他们个人的共情。这不仅对于检验假设中的共情差异是否存在十分重要，也有助于验证开展引发共情的体验的必要性。因此，Escalas 和 Stern 的量表的改编版本 [12] 被用于对盲人及视障人士开展在线调查。该版本针对的是他们与明眼人的总体个人经历，而非视频剧情片；同时还询问了他们认为明眼人在若干标准上对他们抱有何种感受。

• 明眼人前测：通过按照一组等效标准，调查明眼人与盲人及视障人士交往的总体过往经历，可以将他们的自我报告结果与盲人及视障人士的感知进行比较。这一比较对于评估 **H1** 的有效性至关重要。此外，还需要在明眼人参与实验之前测量他们对盲人及视障人士的共情和同情反应，以确定是否发生了变化，正如**H2** 所示。因此，在实验开始前，向明眼人发放了另一份 ARS 和 ARE 量表的改编版本 [12] ，作为在线调查问卷。该版本没有提及视频剧情片，而是询问他们与盲人及视障人士的总体个人经历，以及他们自身的感受。

• 明眼人后测：最后，为了衡量所提出的体验所引发的共情和同情反应，我们创建了原始量表的第三个变体 [12] 。这一次，各项陈述涉及他们对实验的个人反应，以及他们是否感觉自己仿佛正在亲身体验真实的视力障碍。我们在体验结束后立即将其应用于明眼人现场，并将这些结果与前测结果进行比较，预计能够印证**H2**。

4.5 专家反馈

在测试开始之前，第二位视力障碍研究人员按照与明眼人测试其余部分相同的实验规程参与了实验（如 4.2 节所述），但收集的是定性数据，而不是后测 ARS 和 ARE 问卷。测试结束后，我们就该专家对研究的看法，以及所创建的声音界面是否能在真实场景中为盲人和视障人士提供帮助，对其进行了访谈。该参与者为如何构建本文提出的假设提供了宝贵见解，特别指出，大多数学者认为，残障的亲身体验无法由明眼人等同体验，因此，在讨论实际的共情感受时，有必要明确区分其与自我报告的共情感受。因而，在解读结果时，我们也确保不将共情和同情反应视为真实情况，而是将其视为容易受到错误信息、缺乏相关经历或认知偏差影响的自我报告数据。

此外，他们指出，关键在于避免仅通过使用眼罩来模拟视力障碍，因为这被认为会降低人们对残障人士能力的评价，因为这种做法只突显了成为残障人士之初面临的挑战。因此，我们将实验设计重点放在所提出的辅助技术上，并在调查问卷中加入了相关问题。

谈到测试过的声音化增强现实方法时，研究者补充说，针对特定物体的音频引导提示不应彼此重叠，以确保用户一次只跟随一个提示，从而避免困惑并尽量降低认知负荷。在试验过程中，他们还注意到，练习越多，就越容易跟随这些方法；他们也逐渐学会逐一解读不同的声音属性，而不是同时处理多个声音属性。被问及可能的使用场景时，他们认为这些方法更适用于室内导航，尤其是在陌生或复杂的地点，而非户外或已经熟悉的环境。

5 结果

共有 97 名志愿者参与了盲人和视障人士认知调查以及明眼人前测调查问卷，其中 20 人是盲人及视障人士（12 人完全失明，7 人为低视力；大多数人从出生起就有目前的视力状况，最短者也已持续 10 年）。尽管盲人及视障人士的子样本较小，但这与该领域以往的研究一致 [10,28,29,35,45], ；这些研究也指出，招募这一人口群体颇具难度，因此常常也纳入戴眼罩的明眼用户，以便比较不同群体，并在实验中评估更广泛的人群。所有调查问卷受访者的年龄均在 18 至 80 岁之间（均值 = 35.23，标准差 = 13.22）；明眼人群的年龄范围为 18 至 80 岁（均值 = 32.60，标准差 = 11.32），盲人和视障人群的年龄范围为 27 至 74 岁（均值 = 46.75，标准差 = 14.24）。总体而言，54 名受试者自我认定为女性（55.67%），40 名为男性（41.23%），3 名为非二元性别或无性别者（3.09%）。

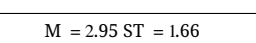
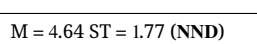
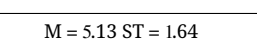
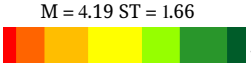
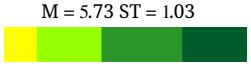
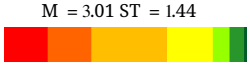
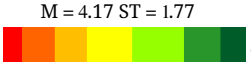
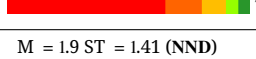
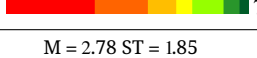
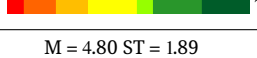
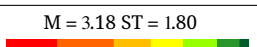
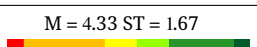
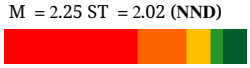
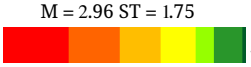
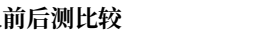
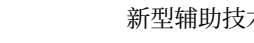
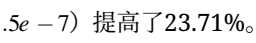
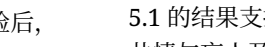
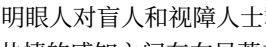
在现场实验中，共有 16 人自愿参加，其中 1 人患有低视力；我们邀请其参与实验，并以数字无障碍专家的身份提供反馈。参与者年龄介于 22 至 50 岁之间（均值 = 31.81，标准差 = 7.12）；10 人自我认同性别为女性（62.5%），6 人为男性（37.5%）。8 人（50.00%）表示至少具备一些乐理知识，另有 8 人（50.00%）表示完全没有乐理知识。11 人（68.75%）表示平时更喜欢以常规速度（1 倍速）收听语音音频（例如播客、网络视频），另有 5 人（31.25%）表示更喜欢快于常规速度（1.25 倍速或更快）。实验结果不包括任何报告有听力障碍的志愿者。在年龄、性别、音乐素养或语音音频播放速度偏好的比较中，均未发现具有统计学显著性的差异。

为确定数据集中的各变量是否服从正态分布，我们对所有变量进行了正态性卡方检验。为验证统计显著性（考虑 $\alpha = 0.05$），对于两个子集（BVI-明眼人和前后测结果）均呈正态分布的所有两两比较，我们采用 Welch 方差不齐 t 检验，并使用 Bonferroni p值校正。对于其余比较，即至少有一个子集被认为不服从正态分布的情况，则采用 Wilcoxon 秩和检验，并使用 Bonferroni p 值校正。表3列出了 ARS 和 ARE 量表各项具体属性的结果，以及比较的统计显著性检验结果。

5.1 BVI-明眼人比较

将盲人及视障人士对自身先前与另一人口统计群体相处经历的感知（BVI 感知调查），与明眼人的自我报告（明眼人前测）中的同理和同情反应进行比较后发现，ARS 量表（$p \approx 1.8e-9$）提高了16.57%，ARE 量表（$p \approx 3.6e-6$）提高了12.00%。这表明，视力障碍人士普遍认为，明眼人对其 BVI 状况的同情和同理程度，显著低于明眼人自我报告的程度。两个量表中差异最大的是 ARS-4（提高24.14%，$p \approx 2.3e-4$），该项目涉及理解 BVI 人士行为动机；其次是 ARE-1（提高13.71%，$p \approx 0.037$），该项目涉及“感觉这些事件仿佛真的发生在自己身上”。完整结果请参阅表3。

表3：实验前后情绪量表结果，包括均值（M）、标准差（ST）及配对比较的统计显著性。NND = 非正态分布；无统计学显著性 = 无统计学显著性

情绪量表	BVI 感知调查（N = 20）	BVI-明眼人比较	明眼人前测（N = 77）	前测-后测比较	明眼人后测（N = 15）
ARS-1	M = 2.95，SD = 1.19 	$p \approx 0.18$ 无统计学显著性（t检验）	M = 3.5 ST = 1.78 	$p \approx 8.6e-3$ **（t检验）	M = 5.26 ST = 1.53 
ARS-2	平均值 = 2.65 标准差 = 1. 	$p \approx 0.018$ *（t检验）	平均值 = 3.63 标准差 = 1. 	$p \approx 0.022$ *（t检验）	M = 4.93 ST = 1.53 
ARS-3	M = 3.45 ST = 1.50 	$p \approx 2.4e-4$ *** (t检验)	M = 4.89 ST = 1.51 	$p \approx 0.01$ * (t检验)	M = 5.40 ST = 1.35 
ARS-4	M = 2.95 ST = 1.66 	$p \approx 2.3e-4$ ***（威尔科克森检验）	M = 4.64 ST = 1.77 (NND) 	$p \approx 0.21$ 无统计学显著性（威尔科克森检验）	M = 5.13 ST = 1.64 
ARS-5	M = 3.05 ST = 1.50 	$p \approx 5.6e-3$ **（t检验）	M = 4.19 ST = 1.66 	$p \approx 4.5e-3$ **（t检验）	M = 5.73 ST = 1.03 
ARS	M = 3.01 ST = 1.44 	$p \approx 1.8e-9$ *** (t检验)	M = 4.17 ST = 1.77 	$p \approx 4.5e-7$ ***（威尔科克森检验）	M = 5.29 ST = 1.42(NND) 
ARE-1	M = 2.35 ST = 1.66 	$p \approx 0.037$ *（t检验）	M = 3.31 ST = 1.89 	$p \approx 4.6e-3$ ** (t检验)	M = 5.33 ST = 1.58 
ARE-2	M = 1.80 ST = 1.43 (NND) 	$p \approx 0.023$ *（威尔科克森检验）	M = 2.73 ST = 1.86 (NND) 	$p \approx 0.013$ *（威尔科克森检验）	M = 4.46 ST = 1.99 
ARE-3	M = 1.9 ST = 1.41 (NND) 	$p \approx 0.032$ *（威尔科克森检验）	M = 2.78 ST = 1.85 	$p \approx 0.015$ *（t检验）	M = 4.80 ST = 1.89 
ARE-4	M = 2.45 ST = 1.63 	$p \approx 0.095$ 无统计学显著性（t检验）	M = 3.18 ST = 1.80 	$p \approx 0.05$ 无统计学显著性 (t检验)	M = 4.33 ST = 1.67 
ARE-5	M = 2.25 ST = 2.02 (NND) 	$p \approx 0.038$ * (威尔科克森检验)	M = 2.96 ST = 1.75 	$p \approx 0.066$ 无统计学显著性 (t检验)	M = 4.33 ST = 1.79
ARE	均值 = 2.15 标准差 = 1.63 (NND) 	$p \approx 3.6e-6$ *** (威尔科克森检验)	均值 = 2.99 标准差 = 1.83 (NND) 	$p \approx 3.5e-7$ *** (威尔科克森检验)	M = 4.65 ST = 1.78 

5.2 明眼人前后测比较

将明眼人的自我报告前测与自我报告后测中的同理和同情反应进行比较后发现，ARS（$p \approx 4.5e-7$）提高了16.00%，ARE（$p \approx 3.5e-7$）提高了23.71%。这表明，参与实验后，明眼人总体上会比之前对 BVI 状况产生显著更多的同情和同理反应。两个量表中差异最大的是 ARS-1（提高25.14%，$p \approx 8.6e-3$），该项目涉及理解 BVI 人士的感受；以及 ARE-3（提高28.85%，$p \approx 0.01$），该项目涉及感受自己仿佛患有视力障碍。完整结果请参阅表3。

6 讨论

本研究旨在探讨明眼人对盲人和视障人士群体的共情、盲人和视障人士群体对这种共情的看法，以及模拟完全失明的差异的具身体验增强现实模拟对明眼人共情的作用。此外，还开展了一项探索性调查，以了解人们对开发新型辅助技术必要性的看法

新型辅助技术的开发。

6.1 感知到的共情与自我报告的共情

5.1 的结果支持了**H1** 的预测：明眼人对盲人和视障人士群体的共情与盲人及视障人士对这种共情的感知之间存在显著差异，因为在 ARS 和 ARE 量表上，明眼人的得分均显著高于盲人及视障人士。对此可以有多种解释。首先，明眼人可能认为自己比实际情况更有共情。这可能是社会称许偏差所致，即倾向于选择在社会上更容易被接受的回答 [15]。尽管未参与亲身体验的人完全匿名，但这种偏差可能是无意识的，也就是说，参与者可能没有意识到自己作出了有偏差的回答。感知到的共情与自我报告的共情之间的差异，也可能是因为明眼人没有充分向盲人和视障人士群体表达这种自我报告的共情，或者他们的经历并不涉及与盲人及视障人士的亲身接触或直接交流。

另一种相反的解释是，盲人及视障人士平均而言与明眼人有过更多负面经历，因此，他们并不认为在这些经历中遇到的人对盲人和视障人士群体抱有共情，进而将这种看法泛化到更广泛的明眼人群体。

与原版 ARS 和 ARE 量表相比，预测试问卷只是询问明眼人与盲人和视障人士群体接触的大致经历，没有进一步细分。这些经历在样本中的频率和亲近程度可能各不相同：有些人可能有盲人或视障亲属，另一些人则可能接触过以这些人为主题的媒体。若能进一步细分这些经历，我们或许能更好地理解它们是否以及如何引发共情。

6.2 增强现实体验与共情

5.2 的结果支持了**H2** 这一预测：明眼人在增强现实中体验盲人和视障人士的具身体验后，其 ARS 和 ARE 得分会显著提高。这与相关研究的发现一致：差异具身体验能够增强人们对不同背景和经历者的共情 [16, 50, 51], , 更具体地说，是对残障人士的共情 [3, 7, 17, 19], , 而这正是本次增强现实体验的重点。参与者蒙上眼罩，并不得不以不熟悉的方式高度依赖视觉以外的感官，因此体验到了这种差异的具身体验。此外，他们还使用了一种拟议中的辅助技术；未来盲人和视障人士可能会在家中使用类似技术来完成日常任务。实验后共情显著提高，这可能是因为明眼人总体而言此前与盲人和视障人士群体接触甚少，而这项实验让明眼人得以直接、沉浸地体验盲人和视障人士的具身体验。这些结果还表明，能够引发共情并为社会变革提供有价值的差异具身体验工具的，不仅是此前研究过的虚拟现实 [6, 25, 34], , 增强现实体验也同样可以做到。

尽管社会称许偏差或许可以解释自我报告的共情与感知共情之间的差异，但这也可能是完成亲身体验的参与者所作答复的一项潜在局限。由于实验的性质，整个过程的匿名性较低，且由本研究的研究人员实施。与此相关，需求效应指受访者倾向于按照研究者期望的方式作答 [52], , 这可能导致实验后的测试中出现显著增幅。尽管只向参与者传达了必要信息，他们仍可能会对研究期望的结果作出推测。

尽管实验环境被布置成仿真的厨房空间，但若实验任务种类更多，将有助于更准确地呈现家庭环境，例如冲泡热饮、取用烹饪用具或洗碗。同样，由于 HoloLens 2 和其他一些增强现实设备并非消费者能够轻易获得的产品，目前这项技术或许无法真实反映盲人及视障人士在家中使用的设备类型。然而，随着技术进步以及此类研究的持续开展，我们希望这些设备能够在家庭中普及。

7 结论与未来工作

这项工作通过一种互动体验，展示了一种有趣、富有挑战性且创新的方式，以促进人们对盲人和视障人士群体的共情。通过在真实环境中感受触觉，并使用语音命令进行交互，我们得以创造这样一种体验：没有任何功能障碍的用户可以模拟完全失明，同时借助所提出的辅助技术，在厨房环境中完成简单的物体放置任务，并在过程中获得引导。尽管某种意义上模拟失明的体验早已存在，但增强现实设备作为辅助技术用于微引导，在相同背景下尚未得到广泛研究。

基于关于明眼人感知到的共情与自我报告的共情存在差异这一发现，进一步收集明眼人对日常互动当前无障碍状况的意见和看法，并将其与盲人和视障人士群体的体验进行比较，将大有裨益。这些比较将为创造真实的差异体验具身化提供宝贵参考，并有助于了解这种认知差异的程度。

未来的工作包括利用收集到的参与者性能数据，对类似的声音化辅助技术方法的可用性开展初步研究。在优化这些方法后，我们计划测试盲人及视障人士使用这些方法时的表现；我们推测，他们很可能已经形成了适应此类环境的行为模式。通过观察他们的使用情况，我们希望根据他们的需求改进方法，开发出不仅适用于模拟环境，也能应用于真实场景的辅助技术。关于调查问卷结果所反映的新型辅助技术需求，我们的初步发现表明，人们普遍认为有必要采用这些方法。因此，我们还计划通过面向视障人士群体开展规模更大的调查问卷，深入探索需要这些辅助技术的具体领域。此外，我们希望将实验扩展到其他类型的失明。借助眼动追踪功能，可以添加模拟其他视力障碍的视觉伪影，例如严重的视网膜病变或角膜病变；这些病变可能导致严重的功能障碍，也能体现出视力障碍并非千篇一律。

致谢

作者谨向已故同事兼合著者 Ron van Schyndel 博士致以谢意，感谢他所作出的贡献。Ron 于 12 月下旬、在本研究准备期间逝世。他的同事和学生将深切怀念他。

Ron van Schyndel 博士曾任皇家墨尔本理工大学计算技术学院高级讲师。他在数字水印领域积极从事研究逾二十年，并合著了该领域一些被引用次数最多的论文。除数字水印外，他的研究兴趣还包括信号、图像和视觉处理，以及面向盲人和视力障碍人士的移动导航；他本人也有视力障碍。他在这些领域的顶级会议和期刊上发表了 50 多篇论文。他在莫纳什大学获得博士学位，研究课题是当时新兴的数字水印；他还获得了许多有关水印应用的产业资助，涉及桌面服务器和移动设备上的图像、音频及视频。学术生涯开始前，他曾在东芝医疗从事医学影像工作，在戴比尔斯矿业从事卫星影像工作，担任过多家移动电信公司的程序员，也曾任莫纳什大学的科学程序员。2006 年至 2010 年，他担任当地 IEEE计算机学会分会主席，使该分会成为当时维多利亚分会中最活跃的分会。

除此之外，我们还要感谢所有实验参与者付出的时间，感谢澳大利亚科技大学联盟通过 ATN-拉丁美洲博士奖学金提供资金，并感谢 RMIT 提供研究津贴奖学金。

参考文献

[1] S. J. Ahn. 沉浸式虚拟环境中的具身体验：对亲环境态度和行为的影响。博士论文，Citeseer，2011。[2] S. Ando、S. Clement、E. A. Barley 和 G. Thornicroft。通过模拟幻觉减少精神分裂症污名：系统综述。《精神分裂症研究》，133(1-3)：8–16，2011。[3] D. Bacchus。生活一直很美好：借助虚拟现实分享残障体验。2019年。

[4] A. Barde、A. Aard、R. Lindeman 和 M. Billinghurst。空间化听觉和视觉线索在搜索任务目标获取中的应用。《音频工程学会期刊》，2020年。[5] S. M. Branham 和 S. K. Kane。协作式无障碍：盲人和视力正常的同伴如何共同打造无障碍居家空间。载于第33届年度ACM计算机系统人为因素会议论文集，CHI '15，第2373–2382页。计算机协会，纽约，NY，美国，2015年。doi: 10.1145/2702123. 2702511[6] M. Buji´c、M. Salminen、J. Macey 和 J. Hamari。"共情机器"：虚拟现实如何影响人权态度。《互联网研究》，2020年。[7] A. Calepso、R. Guarese、R. Valer、Y. Iquiapaza、V. d. J. Oliveira、L. Nedel 和 A. Maciel。三维用户界面与幻肢：用于截肢具身体验的多感官体验。载于2020年IEEE虚拟现实与三维用户界面摘要及研讨会会议（VRW），第517 518, 2020 10 1109 50115 2020 00110 –页。[8] doi：. /VRW . . J. I. Charlton。《没有我们参与，就不要谈论我们》。载于《没有我们参与，就不要谈论我们》。加利福尼亚大学出版社，1998年。doi: 10.1525/ 9780520925441[9] T. I. Chowdhury、S. M. S. Ferdous 和 J. Quarles。虚拟现实残障模拟可减少对残障人士的内隐偏见。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》，27(6)：3079–3090，2019年。[10] J. M. Coughlan、B. Biggs、M.-A. Rivi`ere 和 H. Shen。面向盲人用户的基于音频的三维空间引导增强现实系统。载于K. Miesenberger、R. Manduchi、M. Covarrubias Rodriguez 和 P. Pe˘n´az 编，《帮助有特殊需求人士的计算机》，第475–484页。施普林格国际出版，Cham，2020年。[11] J. Edworthy、E. Hellier 和 R. Hards。声学参数的语义联想：这些参数常用于设计听觉信息和警告信号。《人机工程学》，第2341–2361页，1995年。doi: 10. 1080/00140139508925272[12] J. E. Escalas 和 B. B. Stern。同情与共情：对广告剧情的情绪反应。《消费者研究杂志》，29 4 566 578, 03 2003 10 1086 346251 ( ): – 。[13] doi：. / K. K. Evans 和 A. Treisman。视觉和听觉特征之间自然存在的跨模态映射。《视觉杂志》，10(1)：6–6，2010年1月。doi: 10.1167/10.1.6[14] S. Flood、N. A. Cradock-Henry、P. Blackett 和 P. Edwards。适应性与互动式气候未来情景：关于用于参与和决策的"严肃游戏"的系统综述。《环境研究快报》，13(6)：063005，2018年。[15] P. Grimm。社会称许偏差。《威立国际营销百科全书》，2010年。[16] V. Groom、J. N. Bailenson 和 C. Nass。种族具身体验对沉浸式虚拟环境中种族偏见的影响。《社会影响》，4(3)：231–248，2009年。[17] R. Guarese、F. Bastidas、J. Becker、M. Giambastiani、Y. Iquiapaza、L. Macedo、L. Nedel、A. Maciel、F. Zambetta 和 R. Schyndel。在黑暗中烹饪：一种用于失明具身体验的混合现实共情体验。载于首届游戏扩展现实研讨会论文集。SBC，巴西南大河州阿雷格里港，2021 10 5753 2021 15680 。[18] doi：. /xr in games. . R. Guarese、F. Bastidas、J. Becker、M. Giambastiani、Y. Iquiapaza、L. Macedo、L. Nedel、A. Maciel、F. Zambetta 和 R. van Schyndel。在黑暗中烹饪：探索空间音频作为视力障碍人士的混合现实辅助技术。载于《人机交互——INTERACT 2021》，第318–322页。施普林格国际出版，Cham，2021 10 1007 978 3 030 85607 6 29 。doi：. / - - - - R. [19] Guarese、V. d. J. Oliveira、A. Calepso、R. Valer、Y. Iquiapaza、L. Nedel 和 A. Maciel。E-mpathy与幻肢感：一种用于截肢具身体验的多感官体验。载于XChange Reality!论文集，*2020* ¨ *27 30,* 奥地利 *2020* 13 16, 2020 圣珀尔滕，4月 - 。第–页。[20] R. Guarese、R. van Schyndel 和 F. Zambetta。评估面向盲人和视力障碍人士手动任务的微引导声化方法。载于OzCHI '22：第34届澳大利亚人机交互会议论文集，2022年11月。doi: 10.1145/ 3572921.3572929[21] R. Hassan。数字性、虚拟现实与"共情机器"。Digital 新闻学，8(2):195–212，2020。doi: 10.1080/21670811.2018. 1517604[22] B. E. Insko。被动触觉显著增强虚拟环境。博士论文，北卡罗来纳大学教堂山分校，2001。[23] Y. Iravantchi、M. Goel 和 C. Harrison。数字腹语术：为日常物品赋予声音。载于2020年计算机系统人为因素大会论文集，CHI '20，第1–10页。计算机协会，美国纽约州纽约，2020。doi: 10. 1145/3313831.3376503[24] P. R. Jones、T. Somoske¨oy、H. Chow-Wing-Bom 和 D. P. Crabb。看见他人的视角：评估使用虚拟和增强现实模拟视力障碍（openvissim）。NPJ数字医学，3(1):1–9，2020。[25] M. Kandaurova 和 S. H. M. Lee。虚拟现实（vr）对慈善捐赠的影响：共情、内疚、责任和社会排斥的作用。《商业研究杂志》，100:571–580，2019。[26] C. Krogmeier、J. Heffron、J. Legare、M. Nelson、Z. Liu 和 C. Mousas。失明模拟器：一种模拟导航体验。载于2020 IEEE虚拟现实与三维用户界面摘要及研讨会会议（VRW），第511–512页，2020。doi: 10.1109/VRW50115.2020. 00107 [27] K. Kr¨osl、C. Elvezio、L. R. Luidolt、M. H¨urbe、S. Karst、S. Feiner 和 M. Wimmer。白内障：在增强现实中模拟白内障。载于2020 IEEE混合与增强现实国际研讨会（ISMAR），第682 693, 2020 10 1109 50242 2020 00098 –页。[28] doi: . /ISMAR . . Y. Liu、N. R. Stiles 和 M. Meister。增强现实为盲人提供认知辅助系统。eLife，7:e37841，2018年11月。doi: 10. 7554/eLife.37841[29] J. C. Lock、I. D. Gilchrist、I. D. Gilchrist、G. Cielniak 和 N. Bellotto。面向视力障碍人士的空间化音频界面实验分析。ACM Trans. Access. Comput.，13(4)，2020年10月。doi: 10.1145/3412325[30] M. Ma、L. C. Jain 和 P. Anderson。虚拟现实、增强现实和健康游戏的未来趋势。载于《医疗保健中的虚拟现实、增强现实与严肃游戏 1》，第1–6页。施普林格，2014。[31] K. R. May、B. Sobel、J. Wilson 和 B. N. Walker。用于促进三维空间物体定位的听觉显示。载于2019年国际听觉显示会议论文集，第155–162页。国际听觉显示社群，2019年8月。doi: 10.21785/icad2019. 008[32] S. Murillo。盲人和视力障碍人士如何出行？，2015。URL: https://chicagolighthouse.org/sandys-view/getting-around/ 访问日期: 2021-10-29。[33] J. G. Neuhoff、R. Knight 和 J. Wayand。音高变化、声化与音乐专长：哪个方向是上。载于2002年国际听觉显示会议论文集，2002。[34] V. Paananen、M. S. Kiarostami、L.-H. Lee、T. Braud 和 S. Hosio。从数字媒体到共情现实：扩展现实环境中共情研究的系统综述，2022。doi: 10.48550/ ARXIV.2203.01375[35] S. Par´e、M. Bleau、I. Djerourou、V. Malotaux、R. Kupers 和 M. Ptito。早期和晚期失明个体借助水平空间化声音进行空间导航。PLoS ONE，16，2021年02月。doi: 10.1371/journal.pone. 0247448[36] T. C. Peck、S. Seinfeld、S. M. Aglioti 和 M. Slater。置身于黑人化身的皮肤之中可减少内隐种族偏见。《意识与认知》，22(3):779–787，2013。doi: 10.1016/j.concog.2013.04. 016[37] D. L. Penn、J. D. Ivory、A. Judge 等。虚拟分身：虚拟现实模拟器对精神分裂症感知的影响。《神经与精神疾病杂志》，198(6):437–443，2010。[38] T. Potter、Z. Cvetkovi´c 和 E. De Sena。视觉与空间音频渲染对虚拟现实沉浸感相对重要性的研究。《信号处理前沿》，2, 2022 10 3389 2022 904866 。doi: . /frsip. . [39] S. Raviselvam、S. Al-Megren、K. Keane、K. Holtta-Otto、K. L. Wood 和 M. C. Yang。包容性设计方案的仿真工具。Universal Design 2021 210，2021 282：从特殊方案到主流方案，：。[40] S. Raviselvam、K. H¨oltt¨a-Otto 和 K. L. Wood。用户极端情境

以增强设计师的共情和创造力：使用视力障碍的应用。载于国际设计工程技术会议暨计算机与信息工程会议，第50190卷，第V007T06A005页。美国机械工程师学会，2016。[41] D. M. Riley。他者之岛：为工程中的差异的具身体验腾出空间。载于*2013*年*ASEE*年度会议暨展览，第23–1221页，2013。[42] N. Semertzidis、M. Scary、J. Andres、B. Dwivedi、Y. C. Kulwe、F. Zam- betta 和 F. F. Mueller。Neo-noumena：增强情感沟通。载于*2020*年计算机系统人为因素*CHI*会议论文集，第1–13页，2020。[43] W. R. Sherman 和 A. B. Craig。理解虚拟现实：界面、应用与设计。Morgan Kaufmann，2018。[44] A. M. Silverman、J. D. Gwinn 和 L. V. Boven。穿着他们的鞋跌跌撞撞：残障模拟会降低对残障人士能力的评价。《社会心理学与人格科学》，6 471，2015 4 464 10 1177 1948550614559650 ( ): – 。doi: . /[45] L. Thevin、C. Briant 和 A. M. Brock。X-road：用于视力障碍人士定向与行动能力训练的虚拟现实眼镜。*ACM Trans. Access. Comput.*，13 2 2020 10 1145 3377879 ( ),[46] 4月。doi: . / A. Thieme、C. L. Bennett、C. Morrison、E. Cutrell 和 A. S. Taylor。“我什么都能做，唯独看不见！”——视力障碍人士如何在社会情境中协调自身能力。第2018年4月卷。计算机协会，4 2018 10 1145 3173574 3173777 。[47] doi: . / . B. J. Tomlinson、B. E. Noah 和 B. N. Walker。Buzz：听觉界面用户体验量表。载于*2018*年计算机系统人为因素*CHI*会议扩展摘要，CHI EA ’18，第1–6页。计算机协会，美国纽约州纽约，2018。doi: 10.1145/3170427.3188659[48] M. Wolf、P. Trentsios、C. Urbanietz 和 G. Enzner。无须视觉地体验和导航虚拟现实（全视之耳）。载于*2020 IEEE*虚拟现实与三维用户界面摘要及研讨会会议（*VRW*），第525–526页，2020。doi: 10.1109/VRW50115. 2020.00114[49] J. Yang、A. Barde 和 M. Billinghurst。音频增强现实：技术、应用与未来研究方向的系统综述。《音频工程学会期刊》，70(10):788–809，10月 2022 10 17743 2022 0048 。doi: . /jaes. . N. Yee 和[50] J. N. Bailenson。普罗透斯效应：虚拟现实中的自我转变。《人类传播研究》，33(3):271–90，2007。[51] N. Yee、N. Ducheneaut、M. Yao 和 L. Nelson。男性穿女装时是否会得到更多治疗？用户与虚拟化身之间相互冲突的身份线索。载于*SIGCHI*会议计算机系统人为因素论文集，第773–776页，2011。[52] D. J. Zizzo。经济学实验中的实验者需求效应。《实验经济学》，13(1):75–98，2010。