arXiv:2302.02050v1 [cs.HC] 4 Feb 2023

用于社会正义的基于位置的增强现实：案例研究、经验教训与开放性挑战

Hope Schroeder
hopes@mit.edu 麻省理工学院 美国

Rob Tokanel
tokanel.r@gmail.com 哥伦比亚大学 美国

Kyle Qian
kylecqian@gmail.com 斯坦福大学 美国

Khoi Le
khoivietle2@gmail.com 斯坦福大学 美国

摘要

Dear Visitor 和 *Charleston Reconstructed* 是 2018年至2020年间创作的基于位置的增强现实（AR）体验项目，涉及美国两处颇具争议的纪念碑遗址。这些项目的设计初衷，源于增强现实的能力：1）以其他方式难以或不可能实现的方式，将多层背景信息关联到实体场所；2）呈现实体空间的变化，并可能启发人们改变这些空间本身。我们探讨了这些项目的动机、设计与部署，并反思项目所在地的实体变化如何彻底改变了项目的结果，同时总结了基于位置的增强现实未来研究的经验教训，尤其是针对争议空间中项目的经验。

CCS 概念

• **以人为中心的计算 → 混合现实／增强现实**；**交互设计中的实证研究**。

关键词

增强现实，以人为中心的计算

ACM 参考格式：

Hope Schroeder、Rob Tokanel、Kyle Qian 和 KhoiLe。2023年。《用于社会正义的基于位置的增强现实：案例研究、经验教训与开放性挑战》。载于《*2023* 年计算机系统中的人为因素会议扩展摘要》（*CHI EA '23*），*2023*年*4*月*23*日至*28*日，德国汉堡。ACM，纽约市，美国，10页。
https://doi.org/10.1145/3544549.3573855

1 引言

增强现实（增强现实）能够在我们的感知范围中叠加多层内容，从而实质性地改变我们观看和理解周围世界的方式。它可以通过添加特定地点的背景信息，帮助我们审视实体空间，并想象世界还可以呈现出怎样不同的面貌。增强现实让我们得以体验不可能之事，并通过这一令人兴奋的新兴媒介，开创与周围环境互动的新方式。这些能力在应用于争议性公共空间时尤为强大；这些空间往往是不同世界观和未来愿景相互角逐之地。

在美国，奴隶制遗产的实体象征——例如邦联纪念碑和南北战争前时期纪念碑——在过去几年中日益受到审视与讨论。2015年查尔斯顿发生大规模枪击案后，以及2017年夏洛茨维尔白人至上主义者集会之后的几年里，调查纪念碑遗产的呼声日益高涨，其范围也从邦联纪念碑扩展到其他争议性公共空间。

我们是一支由斯坦福大学和哥伦比亚大学学生组成的团队，关注精心设计的增强现实体验如何帮助审视公共空间中的结构与权力动态。我们相信，借助技术，我们能够为这些空间增添叙事层次，让相关声音得以在此呈现，而这在没有技术协助的情况下是不可能实现的。我们获得了布朗媒体创新研究所颁发的 Magic Grant，用增强现实介入南卡罗来纳州查尔斯顿最声名狼藉的纪念碑，开展*Charleston Reconstructed*项目。*Charleston Reconstructed* 的一个本地原型后来发展成斯坦福大学的一项独立项目，名为*Dear Visitor*。

在我们的第一个项目 *Dear Visitor* 中，一座纪念碑显眼的缺席，不仅让我们有机会以其应有的样貌重现这座纪念碑，也使我们能够以数字方式加入仅凭传统媒介无法呈现的机构记忆层次。颇具意味的是，这个增强现实项目最终促成了该空间永久性的实体改造。

在我们的第二个项目 *Charleston Reconstructed* 中，一座纪念碑显眼的存在，凸显了奴隶制遗产数十年来在查尔斯顿（南卡罗来纳州最著名的公园——马里恩广场）留下的印记。我们运用增强现实在广场实施了三项干预，并呈现历史视角。项目完成并经过测试版验证，但现实世界的实体变化先于项目进展：乔治·弗洛伊德抗议活动之后，原纪念碑于2020年6月被拆除。

本文介绍这些项目的设计、部署过程中汲取的经验，以及我们认为此类未来工作仍面临的开放性挑战。

1.1 技术动机

Ronald Azuma 认为，增强现实的根本价值源于数字内容与物理现实的独特结合，使得“虚拟内容能够以引人入胜且

允许免费制作本作品的部分或全部内容的数字副本或纸质副本，供个人或课堂使用，前提是副本不得用于营利或商业利益，不得因此进行复制或传播，且副本首页须附上本声明和完整引文。本作品中第三方组件的版权必须得到尊重。其他所有用途，请联系所有者/作者。*CHI EA '23*，*2023*年*4*月*23*日至*28*日，德国汉堡© 2023年版权归所有者/作者所有。ACM ISBN 978-1-4503-9422-2/23/04。https://doi.org/10.1145/3544549.3573855

有意义的方式与现实相连。" [1] 近几十年来，增强现实取得了无数技术进步，并在商业领域数度掀起热潮。然而，增强现实尚未充分发挥其潜力，未能成为一种载体，帮助人们在物理世界中获得有意义的体验。尽管现代增强现实系统善于检测位置和形状等基本属性，但通常无法推断材质等物理属性，或身份和文化意义等语义属性。换句话说，现代增强现实系统能够理解事物在哪里，却很少知道它们是什么，也几乎不会理解它们为何重要。

因此，作为大众最熟知的增强现实应用程序，Pokémon Go 提供叠加在现实之上的内容，却与现实缺乏有意义的联系。Google Lens 等其他平台能够对物体或场所进行基本的语义理解，但目前主要是缺乏交互性和内容的参考工具。

尽管利用商用增强现实实现通用语义理解所需的技术尚不存在，但创建基于位置的增强现实体验所需的许多要素已经具备。我们使用视觉标记触发所设计的基于位置的体验，从而为理解空间语义这一问题提供了临时解决方案。这使我们得以探索在大规模实现之前，创建有意义的基于位置的增强现实体验所蕴含的希望与挑战。

着眼于技术和社会目标，我们创建了*Charleston Reconstructed*和*DearVisitor*这两种基于位置的增强现实体验。从这些案例研究中汲取的经验，将有助于随着技术发展为未来项目进行规划。

1.2 相关研究

其他一些项目也深入探索了特定场所增强现实，例如*110 Stories*利用增强现实，在纽约天际线上呈现世贸双子塔的轮廓，展现9·11袭击发生前双塔的样貌。这一体验展示了如何有意识地运用增强现实，将内容与情境相结合，从而提升实体空间与数字增强内容的表现力。另一个项目*Stonewall Forever*将与石墙骚乱相关的档案资料纳入一款增强现实智能手机应用，在纽约市骚乱发生的地点投射出一道巨大且动态变化的彩虹，并邀请用户在虚拟纪念碑上留言。另一个目前正在开发的项目名为"If These Streets Could Talk"，将在布达佩斯犹太区的地点叠加呈现犹太档案史的相关内容；该项目也计划在其他欧洲城市部署。

2 案例研究

2.1 Dear Visitor

2.1.1 项目动机。2015年，Chanel Miller 在斯坦福大学校园内一处垃圾箱后遭到性侵。她的受害者影响陈述发表于 BuzzFeed，并在#MeToo运动期间迅速走红。作为处理这起性侵案件的一部分，斯坦福大学同意按照 Chanel Miller 的请求，在案发地点建造一座沉思花园，其中将设置一块纪念牌，刻有她的受害者影响陈述中的一段引文。斯坦福大学以该引文可能会触发幸存者的创伤为由，拒绝了 Miller 最初提出的引文， [3] 从而引发了愤怒和校园内的行动主义。 [5] 斯坦福大学拒绝了 Miller 提出的其他引文，Miller 也退出了协商过程。因此，这座基本完工的沉思花园位于斯坦福大学校园偏远地带、两栋本科生宿舍之间，数年来一直没有任何标记。我们的团队在2018年秋季了解到这些事件，并意识到增强现实提供了一种将 Chanel Miller 的话语带入花园、并以其他方式难以实现的方式与实体空间建立互动的途径。

2.1.2 利益相关者访谈。 要审慎地启动这个项目，就需要确定并联系众多利益相关者。我们与曾在花园附近生活的学生、曾为设立纪念牌而集会的活动人士、斯坦福大学及其第九条办公室的管理人员，以及历届学生领袖进行了交谈。受访者还建议我们对其他相关人士进行后续访谈。

我们对斯坦福大学的在校生和往届学生进行了半结构化访谈，探讨他们对花园的了解以及与花园的关系、他们对纪念牌的看法，以及他们希望向未来到访花园的人传达什么。我们还收集了住在这处空间附近的学生讲述的故事。其中一名学生说，他无意中听到两名男学生在这座没有标记的花园里谈论他们的性经历，说明了在此处设置标记的必要性。访谈中的这些轶事经过剪辑，制作成片段，构成了增强现实体验的音频内容。

2.1.3 设计。我们持续征求学生、活动人士和大学利益相关者的设计反馈。最终版体验以一段简短的文字介绍开场，内容包括 Chanel Miller、花园背后的背景，以及我们的项目意图。随后，用户将平板电脑取景器对准花园旁放置的图像标记，开始增强现实体验部分。平板电脑成功定位后，两块纪念牌和七封信便在花园内及周围呈现在屏幕上。这些纪念牌是两种不同实体纪念牌设计的数字呈现，分别展示了 Chanel Miller 提出的两条不同引文建议。轻触纪念牌，即可播放米勒朗读这些引文的音频录音。位于花园入口处的纪念牌——原先提议安装实体纪念牌的位置——展示了斯坦福大学拒绝的第一条引文。第二块纪念牌放置在喷泉前方的地面上，展示了米勒提出的另一条引文，但这条引文也未获批准。

体验过程中，附有学生受访者讨论该空间的音频的增强现实信封，漂浮在花园中与视线齐平的位置。点击一封信即可打开音频播放器，播放对应的片段。信件播放了对多位学生和学生活动人士的采访，他们都被问及希望未来的花园访客了解些什么（因此标题为 *Dear Visitor*）。屏幕角落的计数器会记录用户听过多少个片段。有关该体验的简短演示视频，请参阅随附的补充材料。

2.1.4 技术与实现。 该体验使用 Unity 和 Apple ARKit SDK 创建，三维模型则在 Blender 中制作，并部署到 iPad Pro 平板电脑上。我们决定使用平板电脑而非头戴设备，以在

降低成本的同时，尽可能提升视觉保真度并扩大视窗尺寸。在项目部署时，Magic Leap 等头戴设备价格高得令人难以承受，且采用光学透视设计，因此视窗较小，在户外环境中表现不佳。我们发现，智能手机视窗对于提供高质量体验来说太小了。

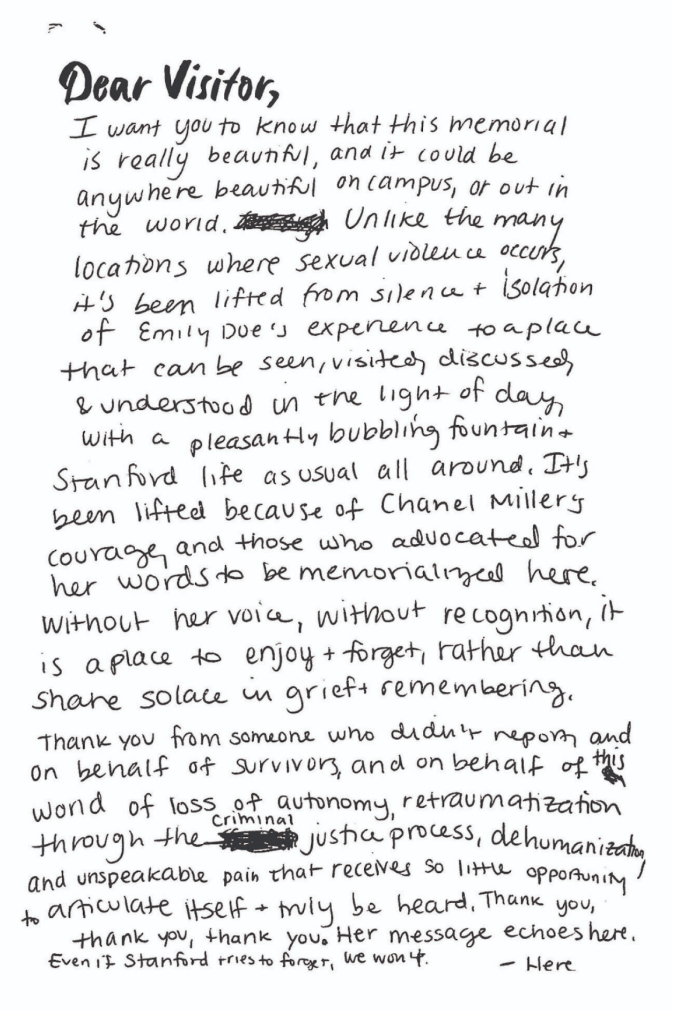
项目的限制因素指引了我们对增强现实锚定机制的选择。我们使用了图像标记，即将应用程序中的图像文件与其印刷版本相匹配。基于标记的锚定方式很常见，也相当易于使用，但最重要的是，我们发现这种方法在应对光线变化及其他户外环境因素时最为可靠。我们将一张尺寸为 0.2 米 × 0.2 米的印刷图像放置在花园旁，由每位体验参与者进行扫描。

虽然我们广泛考察了其他锚定机制，例如三维物体识别（如识别喷泉周围的嵌入式石块），但发现这些机制在户外并不可靠。尤其是，它们难以适应哪怕一天之内的光线变化。白天将锚点设在某种三维石块图案上，起初或许可行，但几分钟后，如果附近树木投下的阴影遮住了石块图案，锚定就会失效。如果有朝一日三维物体或场景识别变得更加可靠，它将成为首选的锚定方法，因为它能够利用物理场景本身固有的特征进行锚定。

2.1.5 发布。Dear Visitor 体验经过了细致的设计，并与利益相关者共同审阅，这一过程几乎耗费了整个学年。随着体验日趋完善，我们先进行了测试版测试，随后正式发布。恰巧，发布时正值 Chanel Miller 推出新书并公开身份（此前她一直以 Emily Doe 为人所知）。

我们于2019年9月举办了一场为期一天的发布活动。100多人参与了体验，活动采用“预约”时段来控制场地内的人流。现场志愿者协助用户使用平板电脑和耳机，并留在附近，以应对可能出现的技术问题。鉴于主题内容容易引发强烈情绪，我们设计了一种自愿参与、无需使用数字设备的离场体验，帮助参与者消化应用程序体验带来的感受。我们邀请所有访客参加离场体验，大多数人都参加了。参与者受邀亲手写下实体版的“Dear Visitor”信件，写给之后到访这里的人。图1展示了一封信的示例。活动当天共写下了50多封这样的信。活动结束时，剩下的访客围成一圈，齐声朗读 Chanel Miller 受害者影响陈述中的有力引文，以示声援。

2.1.6 影响。鉴于 Chanel Miller 身份公开和新书发布备受瞩目，许多媒体都报道了*Dear Visitor*发布活动，包括*BBC News*、《卫报》和《洛杉矶时报》。这些报道让我们以及众多致力于这一议题的活动人士得以进一步引起人们对纪念牌问题的关注。发布活动和米勒的新书出版后，要求在花园安装实体纪念牌的呼声日益高涨。一份要求安装纪念牌的请愿书获得了2200多个签名，并提交给斯坦福大学行政部门；斯坦福大学教职员评议会也一致投票赞成安装。 [8] 在此期间，活动人士在现场竖起了几块未经官方授权的实体纪念牌。[11] 2020年2月，官方纪念牌正式安装。 [6]


Dear Visitor,

I want you to know that this memorial is really beautiful, and it could be anywhere beautiful on campus, or out in the world. Unlike the many locations where sexual violence occurs, it's been lifted from silence + isolation of Emily Doe's experience to a place that can be seen, visited, discussed, & understood in the light of day, with a pleasantly bubbling fountain + Stanford life as usual all around. It's been lifted because of Chanel Miller's courage, and those who advocated for her words to be memorialized here. Without her voice, without recognition, it is a place to enjoy + forget, rather than share solace in grief + remembering.

Thank you from someone who didn't report and on behalf of survivors, and on behalf of this world of loss of autonomy, retraumatization through the criminal justice process, dehumanization and unspeakable pain that receives so little opportunity to articulate itself + truly be heard. Thank you, thank you, thank you. Her message echoes here. Even if Stanford tries to forget, we won't. — Here

图1：离船体验中写下的一封匿名信示例 *Dear Visitor*

图2展示了左右并排的两张图片：左侧是我们为*DearVisitor* 体验设计的数字牌匾，右侧是后来在现场安装的纪念牌。值得注意的是，两者十分相似，因为数字模型及其摆放位置都不属于纪念牌的原始设计；原始设计采用了更长的引文，造型也更高，原定安装在花园入口处。因此，我们有理由相信，2020年安装的纪念牌最终设计直接借鉴了我们的数字设计，这是该项目一个出乎意料的成果。

2.2 Charleston Reconstructed

2.2.1 背景。 2015年6月，一名名叫迪兰·鲁夫的年轻白人至上主义者闯入查尔斯顿历史最悠久的非裔美国人教堂（以马内利母堂），加入会众一起祈祷，随后杀害了其中九名成员，企图挑起种族战争。南卡罗来纳州州议会同意，是时候移除



图2：左：2019年的 *Dear Visitor* 数字牌匾叠加在花园上。右：2020年安装的纪念牌，其设计和位置参考了*Dear Visitor*。

州议会大厦上的邦联旗帜了，但距离以马内利母堂不到一英里的马里恩广场上，前副总统约翰·C·卡尔霍恩的雕像仍然矗立着。这座高达115英尺的雕像纪念着奴隶制的著名捍卫者。它揭示了美国许多公共空间都存在的一个普遍问题：一座过时的纪念碑，将对国家历史的过时理解加以铭刻并颂扬。

历史学家 Ethan J. Kytle 和 Blain Roberts 指出："美国没有任何地方像查尔斯顿这座港口城市一样，如此耗费时间和精力来兜售其过去的记忆——其中大多经过粉饰，少数则未经修饰。"在跨大西洋奴隶贸易中，40%被奴役的非洲人曾途经这座城市。 [4, 7] 在这座城市中心广场充满争议的实体与历史景观中，我们看到了一个机会，可以为现存和已消失的纪念碑提供背景，并重新构想它们。从技术角度来看，我们看到了一个机会，可以通过增强现实让实体空间与其历史展开对话。

2.2.2 最终设计。该应用程序的设计采用了三个主题"章节"的形式，供用户在马里恩广场实地体验。用户使用平板电脑探索广场中的多个地点。轻触叠加在实体空间中的数字对象，即可播放历史学家和社区关键利益相关者的访谈音频。从内容角度而言，我们的首要目标是让用户思考公园现有纪念碑所体现的白人至上主义叙事；继而思考以查尔斯顿黑人居民的贡献为核心的反叙事；最后，更广泛地思考公共空间中的设计选择如何以及是否能够体现社区的共同价值观与历史——或许采用不同于以人物为主题的传统纪念碑的形式。三个章节各自运用了增强现实的一种不同特性，以三种不同方式重新构想更公平的公共空间。图 3 展示了用户从第 1 章到第 3 章穿行马里恩广场的旅程地图。

在第一章中，我们使用增强现实对马里恩广场上纪念卡尔霍恩的著名纪念碑进行了数字化改造，并为其补充背景信息。应用程序引导用户站在卡尔霍恩雕像前。随后，用户会看到空间中出现一块数字牌匾。这块牌匾（见图4）展示了市政府曾考虑添加到雕像基座上的文字，但由于内部对如何描述卡尔霍恩在奴隶制中的角色意见不一，最终搁置了这一计划。点击牌匾后，会播放查尔斯顿市长约翰·泰克伦伯格的声音，他对未能将牌匾添加到雕像上表示遗憾。与此同时，我们叠加呈现了一幅涂鸦的复刻图



图 3：马里恩广场第 1 至第 3 章节中的用户旅程

这幅涂鸦是在2015年以马内利母堂非裔卫理公会教堂枪击案后喷涂在纪念碑上的。点击雕像基座上复刻的喷漆词语"种族主义者"，会播放 Daron Lee Calhoun II 的声音。他是一位黑人查尔斯顿人，指出卡尔霍恩曾经"拥有"他的家人。本章旨在运用增强现实，对现有纪念碑进行小规模干预，并通过纪念牌或其他方式，探究其在物理世界中缺乏背景信息的问题。



图 4：查尔斯顿重构第 1 章节的屏幕截图。纪念碑上显示了数字呈现的涂鸦、一块拟议中的纪念牌、一个年轻女孩的剪影和烛光。点击每个元素时，都会触发关于该空间的音频背景信息。

在第二章节中，我们在广场上呈现了一尊丹麦·维西的雕像。他是一位土生土长的查尔斯顿人，因策划

一场原本可能成为19世纪初美国历史上规模最大的奴隶起义而被处决。这是对查尔斯顿另一处现有纪念碑的数字重建。历史学家和活动人士委员会最初于1996年提议将维西雕像安置在马里恩广场，但许多查尔斯顿居民对此表示反对，最终维西雕像建在两英里外的一座公园里——远离游客通常会去的区域。这促使我们尝试另一种新颖的增强现实干预方式：利用摄影测量生成维西雕像的三维模型，再将其呈现在马里恩广场中央。这样，用户便能直观地看到，如果雕像不是建在两英里外，而是矗立于广场上，这里会是什么样子。

当用户在应用程序中点击维西雕像时，我们会调整雕像数字模型的大小，使其看起来像是"长高"到与现实中的卡尔霍恩雕像一样高，如图7所示。同时，我们加入了社区成员讨论查尔斯顿雕像中需要更好地呈现各群体，以及查尔斯顿历史上众多值得拥有自己纪念碑的非裔美国人物的音频。

在第三章中，我们从头开始设计并创建了一座数字纪念碑，并将其叠加在该空间之上。从概念上讲，这旨在提供一种替代方案，展现公共空间中的雕像可以纪念什么。雕像通常是为了纪念某个体现社区价值观或理想的人而建造的。近年来的事例表明，鉴于任何一个人的历史遗产都十分复杂，历史人物往往是复杂的纪念碑主题。我们借此机会设想，一座纪念共同故事、希望与价值观的纪念碑会是什么样子。从人机交互的角度来看，我们还设计并创建了这座虚拟纪念碑，使其具备物理世界中不可能实现的特性，例如将交互式音频与违背物理规律的视觉效果相结合。

我们委托查尔斯顿学院建筑专业学生 T'Leya Walker 设计一座虚拟纪念碑，以呈现访谈中收集到的感受。Walker 的最终设计融入了多种象征元素：锻铁制品旨在纪念当地的非裔美国铁匠；棕榈树象征着面对飓风时的坚韧与灵活，以及查尔斯顿黑人居民的韧性；指纹则让人联想到建造查尔斯顿的双手。纪念碑采用砖砌拱门的形式，象征不归门——许多西非人曾被迫离开故土，踏上前往美国的航程。用户可以轻触拱门入口处悬挂的链条，聆听有关查尔斯顿持续存在的不平等问题的介绍。每段与链条相关的音频播放完毕后，相应的链条便会以动画形式断裂并消失。每断开一条链条后，系统都会指示用户朝拱门走去；此时，平板电脑屏幕会逐渐变黑。随后，屏幕上会提示用户回望公园目前的样貌，并思考它可以如何改变。

2.2.3 利益相关者。 我们采取以社区为导向的新闻采编方式，采访了历史学家、当地居民和活动人士，并借助他们的专业知识和亲身经历，确定最终纳入体验的设计和叙事元素。在联系了当地撰写过纪念碑和历史记忆相关主题的核心专家后，我们询问每位受访者还有哪些人是我们必须交谈的，最终录制了 25 次以上的访谈。作为非黑人记者和设计师，我们认为建立信任并尽可能广泛地征求反馈至关重要，因此强调了目标的透明度，并表示愿意与利益相关者保持持续沟通。

在*CharlestonReconstructed* 体验中作为发声者参与其中的社区成员包括：来自查尔斯顿学院和当地军事院校城堡军事学院的教授；查尔斯顿和南卡罗来纳州的桂冠诗人；查尔斯顿全国有色人种协进会分会的一名代表；多位专注于黑人历史的当地导游和公共历史学家；约翰·C·卡尔霍恩的一位远亲；几位受到以马内利母堂枪击案影响的社区成员；以及多位当地活动人士和倡导者，他们致力于推动拆除马里恩广场上的卡尔霍恩雕像。

在设计过程中，我们还与包括 Make It Right Project 和查尔斯顿活动人士网络在内的组织代表保持联系，并在多个当地倡议活动中展示了作品的不同迭代版本。我们利用访谈以及在这些活动中收集的信息，为非正式的参与式设计过程提供依据；受访者的见解和反馈直接影响了应用程序的中期设计和最终设计。

这套反馈机制的一个直接例子，体现在项目开展后的首次访谈中。我们最初考虑以数字方式"替换"卡尔霍恩雕像，改放一尊黑人查尔斯顿居民的雕像，并打算询问受访者希望由谁来取代卡尔霍恩。但查尔斯顿旧奴隶市场博物馆的历史讲解员 Christine King-Mitchell 改变了我们的想法——她告诉我们，她认为公共纪念碑不应是把"某个男人或女人放上基座"。相反，她提到，每当她在查尔斯顿漫步时，都会想到那些制作砖块、建造这座城市的被奴役者。对她而言，如今在那些砖块中发现的指纹，就是一座纪念碑，纪念"那些始终身处阴影之中、但请看看他们留下的作品的人们"。

这一洞见促使我们思考，如何拓展应用程序的构想，使其不再只是用一位历史人物替换另一位，而是能够呈现更广阔、更具包容性、叙事层次也更丰富的内容；这一洞见也直接影响了我们以不同方式构建体验第三章节的决定。她的洞见促使我们将第三章节中的纪念碑构想为一种由数字砖块组成的非人形态，用户轻触砖块上的手印，便能听到金-米切尔在第一次访谈中与我们分享的观点。最终设计的截图见图5。

在整个项目过程中，社区洞察与设计决策始终相互影响。鉴于相关议题的敏感性，以及许多参与者难以理解增强现实组件这一事实，我们还邀请利益相关者担任测试版测试人员，并在应用程序公开发布之前征求他们的反馈。从新闻视角来看，这种做法极不寻常，但我们认为，与这些议题最为相关的社区合作设计体验至关重要，尤其是考虑到议题本身的敏感性，以及我们对黑人体验的了解有限。



图5：Christine King-Mitchell 在第三章*Charleston Reconstructed*中的叙事截图。

在确定设计过程中应纳入哪些利益相关者的声音时，我们也意识到，查尔斯顿的许多人希望公园维持现状。采访了一些持此观点的人后，我们决定，既然纪念碑目前的呈现方式已经符合他们的价值观，就没有必要用增强现实来呈现他们对这片空间的设想。因此，在设计过程中，我们没有将卡尔霍恩纪念碑的捍卫者列为关键利益相关者。在*Dear Visitor* 和 *CharlestonReconstructed*这两个项目中，我们发现，尽可能多地征询利益相关者的意见，并优先倾听那些难以发声或遭到主动排斥的群体的声音，对于打造我们期望的体验至关重要。

2.2.4 实现。*Charleston Reconstructed* 的设置与*Dear Visitor* 类似（使用 Unity 和 ARKit 构建，并部署到 iPad 平板电脑上），但增强现实体验的规模大得多，所包含内容的复杂程度也高得多。在整个公共公园范围内设计增强现实体验，使得人们难以独自完成体验，因此我们采用了引导式协助，以确保用户不会错过视觉提示。体验本身内置了一些视觉提示，但平板电脑的显示屏虽然比智能手机大，仍然太小，无法在没有帮助的情况下持续为用户提供寻路指引。

在第一章约翰·C·卡尔霍恩中，我们得以利用纪念碑上现有的标记进行基于标记的锚定：一块写着"禁止攀爬"的牌子（见图6），从而免去了像*Dear Visitor*中那样设置额外标记的需要。

在第二章节中，我们使用无人机扫描了现存的丹麦·维西雕像。该雕像位于距离马里恩广场2英里的地方。我们使用摄影测量



图6：应用程序截图，提示用户将图像（底部）中现有雕像底座上的"禁止攀爬"标志与标志本身（顶部）对齐。

软件 RealityCapture 对雕像进行了数字重建，并生成了一个三维模型。图7展示了该雕像在应用程序中的呈现效果。



图7：置于马里恩广场的丹麦·维西雕像数字重建模型，其尺寸调整为与背景中的卡尔霍恩雕像相同。

在第三章节中，T'Leya Walker 使用 SketchUp 创建了一个虚拟纪念碑的三维模型。我们为

这个模型添加了交互元素，以便在应用程序中触发音频元素，并让链条看起来像是在移动。

2.2.5 测试版测试。2019年9月，我们组织了一场为期一天的体验测试版测试，约有20人参与，其中大多数人曾接受过项目访谈。我们每小时安排一组2至3人进行走查，确保团队中至少有一名成员能亲自引导每位参与者体验。这样一来，我们便能协助解决参与者遇到的技术问题，观察他们如何使用应用程序，并实时记录出现的编辑方面的问题。

秉承项目早期阶段确立的协作流程，我们在体验过程中及体验结束后持续征求这些参与者的反馈，旨在利用他们的记录和我们的观察进行改进。这些反馈在技术和编辑方面都提供了重要见解，帮助我们了解人们在户外环境中如何回应和解读增强现实；我们将在后文"开放性挑战"一节中进一步阐述。

最值得注意的是，我们发现，在测试版测试期间，每个人完成全部三个章节并听完所有包含的音频片段（总时长约43分钟），大约需要1小时15分钟。根据参与者的反馈，我们将音频片段和增强现实元素的数量减少了近一半。完成这轮测试版测试和修改后，我们与几位关键利益相关者进行了几次规模较小的走查。他们因对项目感兴趣而成为非正式顾问，并且都认为我们所做的修改很有效。此时，我们觉得已经准备好更广泛地公开发布。2020年2月，我们与美国斯波莱托艺术节的一位代表举行了体验项目的最后一次演示。对方表示有意将我们的公开发布活动与艺术节2020年6月的活动安排结合起来。

2.2.6 后续影响。2020年2月，全球大流行病的消息打乱了旅行计划。原定与我们合作部署项目的美国斯波莱托艺术节取消了在查尔斯顿举办的线下艺术节，该艺术节原计划于2020年6月举行。2020年5月，乔治·弗洛伊德在明尼苏达州明尼阿波利斯市遭警察杀害，由此引发了全美范围内对持续存在的种族主义、美国的反黑人警察暴力以及美国种族主义历史遗留问题的反思。

为回应查尔斯顿随后重新高涨的倡议与抗议行动，市长约翰·特克伦堡采取了纠正措施——几个月前，他还表示自己无权这样做：他下令移除马里恩广场上的约翰·C·卡尔霍恩雕像。雕像于2020年6月23日被移除。

一夜之间，我们的体验所围绕的地标从公园中消失了，随之消失的还有推动*Charleston Reconstructed*项目的最切实动力。这一结果令人欣喜；对于一座历来抵制此类变革的城市而言，这是朝正确方向迈出的一步，此前几乎令人难以想象。对我们的团队来说，这意味着若要全面、长期并公开地启动该项目，就必须几乎彻底重新构思我们已经搭建好的内容。因此，该项目并未全面启动。

3 讨论

3.1 实践经验

设计、开发和部署这两个项目，让我们深入了解了基于位置的增强现实所面临的独特后勤挑战，尤其是在处理社会正义问题时。我们根据技术和空间限制总结了实践经验，为未来的设计提供指导。

3.1.1 将内容与地点相连接。我们早期做出的一项关键编辑决策，是尽可能让内容聚焦于实体空间。这样做是为了在空间上将内容与情境联系起来，说明为何要在特定地点使用增强现实，而不是采用非空间媒介。

在 *Dear Visitor* 中，我们特别邀请每位学生受访者分享一些想法，留给未来到访花园的人。根据我们收集到的反馈，*Dear Visitor* 体验中一些最令人印象深刻的时刻，正是由这种叙述方式带来的。例如，一位受访者提到了一栋"在你右边"的建筑，用户便可以向右看，看到那栋建筑。另一封音频信件讲述了一名学生从宿舍俯瞰这片场地的故事；参与 *Dear Visitor* 体验的用户也能看到这栋宿舍楼。

只有当体验内容无法通过其他方式感受或理解时，使用增强现实这一媒介所涉及的技术和后勤复杂性才值得付出。基于此，我们删去了那些无需身临其境体验的内容，转而将其放在项目网站上，供读者阅读更多背景资料。这样一来，我们便能对体验内容进行编辑决策，同时又不必完全舍弃那些我们认为重要、但不一定非要在现场听到的声音和故事。对于仍然相当冗长的 Charleston 项目，我们本可以更大幅度地精简内容。

我们发现，以位置为中心的框架在展示增强现实的价值方面尤其有效：它不仅让内容更具相关性，也改变了用户与周围空间之间的关系。即使用户与所分享的内容并无既有的个人联系，只要他们身处内容所指涉的空间之中，这些内容便会因此与他们产生关联。

3.1.2 时长。 增强现实体验的理想时长远比我们预想的短。*CharlestonReconstructed*尤其面临这一问题：初版包含 43 分钟的内容，而在测试版测试期间，每位参与者完成体验约需 1 小时 15 分钟。即使一次只在户外举起设备几分钟，在酷热和刺眼阳光下（阳光还会从平板电脑屏幕上反射出来）也需要耗费体力。尽管用户认为所选访谈和增强现实组件富有感染力且引人入胜，许多人仍发现很难在整个体验过程中保持投入。

根据反馈，我们最终大幅缩短了音频片段的时长并减少了数量，*Dear Visitor* 和 *Charleston Reconstructed* 最终分别包含13分钟和16.5分钟的内容。虽然这仍可能比理想长度更长，但归根结底，我们必须在总时长与对主题进行全面且细致的处理之间取得平衡。我们还添加了一个计数器，显示用户在每个章节中目前已经听过多少个声音、还剩多少个声音，以便用户能够据此决定是继续前进还是继续聆听。我们建议未来的创作者努力将增强现实体验保持在较短时长，最好不要超过5分钟；或者以用户能够随着时间推移分段理解的方式拆分体验。这对于

本质上复杂的社会正义相关项目而言可能很困难，因为编辑删减内容会让人感觉过于简化。考虑到用户自然的注意力时限，尤其是在具有挑战性的户外环境中，这一挑战必须与增强现实用户可能因此完全流失的风险进行权衡。

3.1.3 引导和帮助用户确定方向。我们发现，在体验开始时，用户需要清晰、简明的说明，了解如何使用应用程序以及应该期待什么。在 Charleston Reconstructed 的测试版测试期间，我们经常需要口头说明，或短暂借用用户的平板电脑演示操作方法，才能帮助他们顺利开始第一章节。测试版测试结束后，我们通过加入一段序幕解决了这个问题；序幕会提示用户先完成整个体验过程中需要进行的所有基本操作，然后再进入第一章节。之后，我们对较小规模的群体进行了走查，结果证实，在体验开始时更直接地引导用户，能让他们更快、更顺利地浏览应用程序。

对于 *Charleston Reconstructed*，由于场地面积较大，用户需要清晰的指引，以便在启动每个章节前熟悉公园环境。测试版通过屏幕文字为用户指路，并提供一个按钮，让他们在步行到正确位置后按下。然而，许多用户未能按预期理解按钮上的“I am here”（我在这里）。我们通过添加一张显示目的地的公园地图，以及一张用户到达正确位置时应该看到的景象照片，解决了这个问题；同时，我们还将按钮文字改为“当你的视野与下方照片相符时，点击此处。”

3.1.4 人工协助。尽管我们在第一次测试版测试后，为 *Charleston Reconstructed* 改进了引导，但我们仍然发现，人工协助对用户体验的成功至关重要，尤其是对不太熟悉技术的用户而言。即使是在*Dear Visitor*中斯坦福大学那样的小型花园里，遇到技术故障或参与者提出问题时，人工引导员也经常能帮助用户回到正轨。这一点在测试版测试和最终发布时都成立。配备随时待命的引导员，意味着技术挑战或不适感不再那么妨碍参与者有意义地参与体验内容。在查尔斯顿的马里恩广场这样宽阔的空间里，考虑到我们在那里接触的用户普遍不太熟悉技术，为了让用户顺畅地体验内容，人工协助就更加重要。我们发现，要成功交付这些体验，人工协助的程度必须达到相当高的水平，而这也牺牲了它们的可扩展性。我们将在后文把这一发现作为此类工作的一个开放挑战再次讨论。

3.1.5 隐藏式字幕。在*Charleston Recon-structed*的早期迭代版本中，隐藏式字幕会持续显示在屏幕上，伴随每一段新触发的音频。我们发现，参与者点击增强现实组件以触发音频元素后，隐藏式字幕会让他们难以继续注视这些主要的增强现实组件，因为用户会不自觉地跟着字幕阅读。为此，我们在最终版本中将隐藏式字幕设为可选功能，以供有需要的用户使用。对于*Charleston Reconstructed*，我们观察到，车流繁忙的公园中的声音可能会分散一些用户的注意力；我们还发现，添加音乐和环境音实际上能让用户更好地沉浸在应用程序中，效果胜过静音操作。这一发现是否普遍适用，可能取决于未来工作的地点的性质。

3.1.6 内容放置。 查尔斯顿重构 的测试版包含一系列沿着约翰·C·卡尔霍恩雕像柱身向上延伸的符号，但要让它们稳固地锚定在如此高的位置十分困难。用户也很难直观地将平板电脑高高举起、对准天空来查看这些元素。长时间高举平板电脑并不符合人体工学，而且阳光也常常令人不适。最终，我们移除了大部分这些天空方向的视觉元素，并将增强现实内容保留在更接近视线高度的位置，以便用户更轻松地查看和互动。由此我们了解到，内容放置会深刻影响用户的互动意愿；我们希望这一发现能为未来的增强现实设计提供参考。

3.2 开放性挑战

这两个项目都与易变的社会议题紧密相关，这一事实为在各自场地设计成功的增强现实体验带来了独特的机遇和概念性挑战。

3.2.1 时间安排。 创建并推出这些项目的时间进程最终决定了各自的命运。对于这两个项目而言，编辑决策都十分艰难；在纳入增强现实体验之前，项目内容经过了多轮验证，并征求了各社区关键成员的意见。尤其是对于查尔斯顿重构 ，我们没有为了追求速度而放弃审慎判断。这种审慎，加上必须亲自前往部署项目并收集反馈这一限制，意味着项目历时近两年才完成。命运难以预料：项目准备就绪时，大流行病已经来袭；不久之后，作为项目核心的主要雕像也被拆除。重大世界事件的进程快于我们的开发进度，导致项目错过了推出的时机。

另一方面，*Dear Visitor* 所在的地点就在我们一些人居住的小镇上，而且我们中有些人仍在大学社区中。这使我们更容易在现场制作原型，并与利益相关者临时会面以获取反馈。尽管该项目的范围比*Charleston Reconstructed*精简得多，但项目中各方利益相关者（包括 Chanel Miller 本人（通过代表））的反馈仍花费了大量时间。*Dear Visitor* 从构思到最终发布耗时不到一年。我们得以在 Chanel Miller 的书出版的同一周推出项目，借此借助围绕纪念牌议题已有的关注势头；而实际的纪念牌则在项目发布几个月后安装。

在这两个项目中，与工作相关的技术和社会挑战使项目周期变得很长。要理解问题、咨询专家，并设计内容以实现真正有意义的增强现实体验，而不是停留在浅层触及议题的程度，都需要时间。我们建议未来创作以社会议题为叙事主题的增强现实项目时，预留充足的时间。如果社会议题是“当前”或易变的，项目时间线可能会以意想不到的方式发生变化，并影响项目的推出。值得考虑的是，尽管工作易变的社会议题可能会导致空间发生变化，项目仍能如何延续下去。

3.2.2 持续性。这类工作面临的几项重大挑战都与持续性有关。在存在争议的公共空间中创建基于位置的增强现实体验，意味着设计师应当预料到实体空间可能会突然发生巨大变化。正如卡尔霍恩纪念碑的案例所示，许多人认为此事已无望，但纪念碑几乎在一夜之间便被拆除。这类变化可能十分剧烈，并能立即改变其上任何增强现实干预措施所处的环境。随着项目场地本身发生变化，增强现实的持续性问题仍将是基于位置的增强现实面临的一项挑战。

如前所述，我们使用视觉标记来弥补增强现实系统缺乏对空间的语义理解这一不足。如果增强现实有一天能够实现更通用的基于位置的语义理解，就需要能够适应地点外观的变化，或将其纳入考量，才能持续承载此类体验。

技术本身能否持续存在也带来了诸多挑战，而技术缺乏持久性会影响作品的寿命与影响力。增强现实技术发展迅速，如今最好的技术很可能很快就会过时，速度之快超出我们的预期。即使在我们的项目开展期间——时间并不长——随着技术变化而维护项目也很困难。致力于促进长期集体记忆的项目应尽可能主动做好面向未来的准备，但目前由于缺乏通用标准，无法在不同平台之间移植增强现实体验，因此有效做到这一点的能力有限。

快速变化的技术所带来的挑战，也涉及承载增强现实体验的平台。截至本文撰写之时，尽管尚未出现任何一个占据主导地位的增强现实体验托管平台，但迄今为止，应用程序平台的私有化和商业化性质，引发了未来有关增强现实中所承载故事的所有权与收益分配的挑战。考虑到查尔斯顿庞大的旅游业以及步行游览的普及，我们计划在体验完成后将其交给当地的黑人导游，由他们在上线后为用户提供引导。我们决定，未来从*Charleston Reconstructed*中获得的任何利润，都将回馈查尔斯顿的黑人社区。由于企业迄今在增强现实开发中不可分割的参与，保护这些体验中分享的故事免遭剥削变得更加困难。

3.2.3 可访问性。 增强现实技术本身的持续存在也会影响我们认为的一项开放性挑战：此类体验的可访问性和可扩展性。举办线下发布活动让我们看到，与他人共同经历这一体验能够产生多么强大的力量。在社区中共同处理艰难的历史事件，与独自使用应用程序是截然不同的体验。由于媒介固有的技术挑战可以通过专门的现场协助得到更好的应对，我们选择对*Dear Visitor*和查尔斯顿重构 提供人工协助。其次，我们发现，共同经历这一体验并在社区中完成体验后的整理与过渡具有巨大的力量；相关发现也得到了研究的支持，这些研究表明，虚拟体验能够显著影响社会联结。 [9] 我们决定让这些体验继续由协作者引导，并在大型 iPad 屏幕上呈现，这意味着不将其发布到应用商店，因为我们认为，在没有协助的情况下，尤其是在小型智能手机上，体验质量无法始终保持较高水平。要求人工协助所带来的一个令人遗憾的后果是我们努力为这一空间精心策划的声音很少能在原址体验到。*Dear Visitor*的发布取得了成功，但目前除非提出申请，否则无法在现场观看。大部分材质都可在项目网站上获取；与增强现实相比，这种数字格式更易于维护，而且我们能够保证始终如一的高质量体验。通过与博物馆或当地组织建立协作伙伴关系，可以提高复杂增强现实体验的可访问性并延长其存续时间，但这种模式需要强有力的协调和更多资源。我们致力于在项目中呈现的内容具有强烈且复杂的性质，这引导了我们的分发决策；但如果我们设计的是内容性质不同、更加简单的体验，可访问性方面的权衡或许会有所不同。

如果不在场所中添加指向增强现实体验的永久性实体标记，那么一个人在空间中行走时，发现通过参与增强现实体验可能获得的额外知识的机会也会十分有限，从而降低体验的覆盖范围。另一方面，增强现实应用程序可以促成一种有趣的设计功能：人们可以选择查看并非所有人都希望（或能够）看到的内容。*DearVisitor*中的敏感内容问题，通过体验开始时明确的内容警示得到了缓解；该警示回应了大学和性侵专家的担忧，即相关内容可能会如何影响幸存者、学生和普通观众。鉴于社会上持续围绕内容警告以及如何以负责任的方式呈现敏感内容展开讨论，特定场所增强现实应用为在观看某些类型的内容前加入同意功能提供了有趣的机会。因此，增强现实目前在可访问性和可发现性方面面临的挑战，也赋予了它不同于对具有挑战性的场所进行纯实体改造的独特优势：尽管特定场所增强现实目前并不适合形成一种易于发现、可供共享的体验，但这项技术可以让人们根据自身意愿选择查看额外内容的不同层次。

3.2.4 锚定于空间。对于*DearVisitor*，我们决定通过印刷图像标记来锚定增强现实内容，因为这是最可靠的追踪方法。我们首先优先考虑可靠性，因为我们深知技术故障很容易分散人们对内容的注意力。虽然我们很幸运，能够在*CharlestonRe-constructed*中使用雕像底座上已有的标记，但未来，所有基于位置的增强现实体验理想情况下都应能在现场访问，且无需额外标记。未来，增强现实系统可以将位置信息和表面信息与世界知识结合起来，即使空间中的表面发生变化，也能在实体景观上对齐增强现实体验，而无需使用图像标记。

3.2.5 内容策展。我们最初考虑创建一个开放评论平台，让公众能够针对我们的项目作出回应，但鉴于相关主题的敏感性，我们最终决定对内容进行严格策展。目前，人们通常不会记录公众空间中数字干预引发的社会反应。如何在寻求并反映社区意见的愿望与内容审核困难且耗时的现实之间取得平衡，是协作式数字项目面临的一项尚待解决的挑战；这类项目可能会采用增强现实技术，并涉及社会正义议题，

尤其是在许多社区成员都有各自的观点和故事时。

与可能对项目评论进行策展这一挑战相关的，是另一个概念性挑战：谁有权在公共空间中讲述故事？对公共空间的叙事控制通常由掌权者主导，而这些项目试图添加数字层，呈现那些面临被遗忘或压制风险的故事。在实体空间中添加数字故事在大规模应用下会如何发展，仍有待观察。公共空间中的数字记忆是否会通过数量争夺注意力？随着时间推移，谁来对其进行策展？托管这些内容的平台将在策展和商业化方面拥有怎样的控制权？

与此同时，Google 的 DreamFusion 等文本转三维模型突然无处不在，[10] 它使用文本提示创建三维模型，使数字对象的创建和分发比以往任何时候都更加容易。正如我们在 *Dear Visitor* 中看到的，数字对象可以轻易地在现实生活中具象化；随着数字设计日益普及，这也为现实世界带来了一系列潜在影响。这些是概念性的开放性挑战，随着技术变得更加易于获取，增强现实体验的设计者必须对此加以应对。

4 结论

我们认为，增强现实最适合用于将数字内容与其呈现情境相连。在我们的项目中，我们将增强现实对象和故事的数字层与公共空间中一座存在争议的物理纪念碑联系起来，以此实现这一点。目前尚无适用于此类项目的通用技术解决方案，但我们的两个基于位置的原型 *DearVisitor* 和 *Charleston Reconstructed* 探索了增强现实如何与存在争议的公共空间展开有意义的互动，在此过程中凸显被忽视的故事，并利用数字对象提出视觉上的改变。

我们发现，在增强现实中构建的内容影响深远，因为虚拟内容能够促成真实体验，也因为它可以影响物理世界中的切实改变，使其影响力扩展到亲历增强现实体验的人群之外。

我们希望这些项目本身就能为世界增添价值与意义，同时也期待它们能推动各自场址的物理空间发生改变。为了超越物理世界所提供的可能性，我们在增强现实中加入了一些干预措施；这些措施在纪念碑所在地的物理空间中无法实现或无法触及。*CharlestonReconstructed* 中特有的增强现实干预措施包括将城市另一处的纪念碑"移"到这里、重现一幅早已从马里恩广场移除的涂鸦的增强现实呈现，以及添加一座新的、违反物理定律的数字增强现实纪念碑。因此，我们设计的虚拟体验在物理空间本身所能呈现的内容之上，叠加了新的意义层。David Chalmers 认为，虚拟对象是真实对象，[2] 由此可见，与虚拟对象互动会带来真实而引人入胜的体验——而不仅仅是对体验的模拟，也不必然转化为物理世界中的体验。根据我们收到的反馈，我们可以证明，增强现实体验能够为非数字生活增添新的维度；这些反馈来自 *Dear Visitor* 的发布以及 *Charleston Reconstructed* 的试发布。

尽管无论这些项目可能引发物理空间怎样的变化，我们都赋予了它们意义，但我们偶然发现有力证据表明，在数字增强现实世界中设计和展示的内容，实际上能够在物理世界中显现出来。我们的设计以及将数字牌匾放置在 *Dear Visitor* 中的方案，后来被用于斯坦福大学花园场地的实体纪念牌安装，便是一个例子。增强现实有望推动虚拟设计转化为现实中的实体改变，这令人振奋。但在公共纪念碑争议这类利害攸关的情境中，这也意味着重大的责任，设计此类数字对象和体验的人应当认真对待其影响。

美国及其他地区严重的政治两极分化，往往受到日益封闭的数字回音室的推动，但公共空间是我们仍然共同拥有、并将继续共享的事物。数字世界与物理世界之间可以建立持久的联系；如果经过审慎设计，且技术能够持续提供支持，增强现实便特别适合在共享空间中促成新型连接与体验，将人们凝聚在一起。人机交互社区如何看待增强现实设计与公共空间之间的联系，将对社会正义问题及其他领域产生重大影响。

致谢

我们感谢布朗媒体创新研究所提供的经费与支持。感谢 Mark Hansen、Maneesh Agrawala、Ann Grimes、Michael Krisch、Juan Francisco Saldarriaga 和 Amy Menes。我们还要感谢斯坦福大学的 Jeremy Bailenson、Geri Migielicz、Shelley Correll 和 Alison Dahl Crossley。感谢 Michele Dauber 和 Chanel Miller。感谢 Matt Shimura、Chanel Kim、Angela He 和 Barna Szász 为本项目付出的工作、提供的反馈与支持。感谢在查尔斯顿分享时间与见解的众多学者、艺术家、社区成员和活动人士。感谢 T'Leya Walker 对本项目的贡献。感谢 Gail Mazzara 和 Kent Coit。感谢 Kali Holloway 和 Make It Right Project。

参考文献

[1] Ronald T. Azuma。2017年。让增强现实成为现实，载于《成像与应用光学2017（3D、AIO、COSI、IS、MATH、pcAOP）》。成像与应用光学 *2017*（*3D*、*AIO*、*COSI*、*IS*、*MATH*、*pcAOP*），JTu1F.1。https://opg.optica.org/abstract.cfm?URI=2017-1_1 [2] AIO--JTu F。David J Chalmers。《虚拟与现实》。《*Disputatio*：国际哲学期刊》9，46（2017年）。[3] Persis Drell。2018年。关于沉思花园。https://quadblog.stanford.edu/2018/03/14/on-the-contemplative-garden/ [4] Melissa Gomez。2018年。查尔斯顿就该市参与奴隶贸易一事道歉。《纽约时报》（2018年）。[5] Hannah Knowles。2018年。纪念牌引文提案引发审视后，大学作出回应，学生发起请愿。《斯坦福日报》（2018年1月）。[6] Hannah Knowles。2020年。经过三年多的争议与延迟，米勒纪念牌终于安装。《斯坦福日报》（2020年2月）。[7] Ethan J Kytle 和 Blain Roberts。2018年。丹麦·维西花园：美利坚联盟国摇篮中的奴隶制与记忆。The New Press。[8] Khoi Le。2019年。构建一个尊崇Chanel Miller的现实。《斯坦福日报》（2019年10月）。[9] Mark Roman Miller、Hanseul Jun、Fernanda Herrera、Jacob Yu Villa、Greg Welch 和 Jeremy N Bailenson。2019年。增强现实中的社会互动。《公共科学图书馆·综合》14，5（2019年），e0216290。[10] Ben Poole、Ajay Jain、Jonathan T. Barron 和 Ben Mildenhall。2022年。DreamFusion：利用二维扩散进行文本生成三维。*arXiv*（2022年）。[11] Elena Shao。2019年。另一块刻有Chanel Miller所选引文的纪念牌出现在她遭受性侵的地点。《斯坦福日报》（2019年11月）。