arXiv:2302.03953v1 [cs.HC] 8 Feb 2023

SURVIVRS：基于环绕视频的手术指导虚拟现实

Amani Taweel*计算机科学系 北卡罗来纳大学格林斯伯勒分校

Joaquim Jorge†里斯本大学理工学院，INESC-ID

Anderson Maciel‡里斯本大学理工学院，INESC-ID

Jo˜ao Ricardo Nickenig Vissoci§杜克全球卫生研究所 杜克大学

Regis Kopper¶计算机科学系 北卡罗来纳大学格林斯伯勒分校



图1：SURVIVRS 远程手术指导工具。（左）手术室的沉浸式可视化为远程外科医生带来远程临场体验。（中）手术现场可进行详细可视化，并可将标注发送至手术室。（右）同样，患者生命体征监护仪的实时画面也能清晰呈现，外科医生可在其上添加标注。

摘要

人们对利用虚拟现实（VR）为医疗服务不足人群提供优质医疗保健的需求十分迫切。本文通过设计并制作 SURVIVRS 原型，回应了这一需求。SURVIVRS（基于环绕视频的虚拟现实手术指导）可通过虚拟现实（VR）远程临场界面，让远程专科医生指导本地手术团队。SURVIVRS 的设计旨在满足偏远和难以到达地区（例如低收入和中等收入国家，LMICs）对医疗专业知识的需求。远程外科医生界面支持实时观察手术过程，并在手术现场和患者生命体征监护仪的视频流上提供三维用户界面标注与通信工具。SURVIVRS 还支持复盘和教育体验，使用户能够从远程专家的视角观看录制的手术视频。本文的主要贡献包括：通过严格的三维用户界面设计流程验证 SURVIVRS 系统的可行性；实现一个体现所提设计的原型应用程序；以及开展 SURVIVRS 可用性评估，结果表明普通人群用户对该工具评价很高。本文还讨论了这一研究方向的后续工作，旨在推动医疗保健服务实现更公平、更多元的可及性。

索引词：以人为本的计算—人机交互（HCI）—交互范式—虚拟现实

*电子邮箱：ataweel@uncg.edu

†电子邮箱：jorgej@tecnico.ulisboa.pt

‡电子邮箱：anderson.maciel@tecnico.ulisboa.pt §

电子邮箱：jnv4@duke.edu

¶电子邮箱：kopper@uncg.edu

1 引言

全球许多发展中国家都面临着对特定专科医疗专业人员的未满足需求。例如，2007 年，东非七个国家、总人口达 2.7 亿，当时仅有约 27 名神经外科医生，神经外科医生与居民的比例为 1:1000 万 [4].[1] 虚拟现实（VR）技术有望缩小医疗服务可及性方面的此类差距。

本研究旨在解决的主要问题是：偏远地区缺乏专科外科医生，且患者难以负担相关费用。具体而言，本项目提出了一种让地理位置相隔的外科医生开展协作的方式。通过虚拟现实中的沉浸式环绕视频流，他们可以进行实时通信。这样，身处远程的外科医生便能在短时间内为手术室提供指导和指示，无需亲自前往，也不会产生额外费用。

我们提出的解决方案是 SURVIVRS：基于环绕视频的手术指导虚拟现实，这是一种沉浸式虚拟现实临场远程呈现工具，可供远程外科医生实时指导医疗操作。图1展示了 SURVIVRS 的主要组成部分。

SURVIVRS 包含三个主要显示组件：来自本地安装的 360° 摄像机视角的手术室实时 360°视频流（以下简称***360°***视图）、对准本地手术部位的定点摄像机所拍摄的实时高分辨率视频流（以下简称手术部位视图），以及患者生命体征监护仪的实时可视化画面（以下简称生命体征视图）。我们认为，远程专家外科医生若要为经验较少的手术团队提供充分知情的指导，就必须能够了解手术室的整体情境。只要远程外科医生连接到 SURVIVRS，就能通过 360°视图保持空间情境和方向感

[1]作为比较，美国神经外科医生与住院医师的比例约为 1:65,580（2007 [4]）。

该视图提供第一人称沉浸式视频流，并呈现在虚拟现实头戴式显示器（HMD）中。手术部位视图和生命体征视图始终显示在远程外科医生视野的上方角落，并可按需放大。

除了提供实时手术指导，SURVIVRS 还具有教育价值。传统上，外科手术教学采用“看一个、做一个、教一个”的方法，学员在观察过类似手术后再进行操作。尽管这种方法因可能危及患者安全而受到批评，其核心流程却始终未变 [6]。SURVIVRS 有望通过向学员回放手术过程，改进外科培训中的“看一个”阶段。回放内容包含远程外科医生在实时手术过程中可使用的所有工具，包括 360°视图、手术部位视图和生命体征视图。这样，学生便能复习手术过程，还可以在实时流的任何必要部分添加标注。

本项目在开发过程中使用了多种工具。项目使用 Unity游戏引擎提供一款虚拟现实应用程序，为远程用户（专家外科医生）带来沉浸式远程临场感，并提供指导手术过程的工具。为了确保该应用程序取得成功，必须在远程外科医生一侧营造友好、直观且易于使用的沉浸式虚拟环境。为此，项目开发了一套支持多种输入方式的标注系统，使手术团队能够在手术过程中准确查看指导提示。本研究的另一项目标是，在虚拟现实应用程序（外科医生一侧）与网络应用程序（模拟手术室一侧）之间建立一条高分辨率、低成本且音频连接清晰的实时流媒体链路。最终目标是开发一款易于使用、能够模拟手术室一侧操作的 Web 应用程序，并提供更改摄像机信号源和分辨率以及录制通话的工具。

总而言之，本研究的主要贡献是设计了 SURVIVRS——一种将专科外科医生与手术室连接起来的虚拟现实界面，使其能够在整个手术过程中指导手术团队。本研究的主要动机是，SURVIVRS 有望实现低收入和中等收入国家及其他偏远地区的手术团队与发达国家经验丰富的专科医生之间的高效通信，从而最终改善偏远地区获得重症护理的机会并提升治疗效果。

2 相关工作

2.1 医疗保健中的虚拟现实

虚拟现实通过头戴式显示器模拟虚拟交互环境，从而将人类与计算机连接起来。虚拟现实为用户提供了一个极其逼真且可控的环境，使其能够在众多应用领域中进行交互。二十多年来，这些虚拟现实特性已应用于体验和临床环境 [8]。虚拟现实最早的现实应用之一是在 1993 年用于治疗精神健康障碍。随后，人们开发了虚拟现实应用程序来应对特定恐惧症 [2]。

McCloy和Stone [7]认为，虚拟现实模拟器适用于普通外科，而增强现实（AR）则适用于指导神经外科。SURVIVRS 通过为专家外科医生提供手术室的实时画面，提供了类似增强现实的远程界面。

我们的研究旨在运用虚拟现实技术，让远程医学专家与手术室内的非专科外科医生进行通信，从而提供指导，提升手术效果。我们提出了一款基于VR应用程序的原型工具，未来可用于建立发达国家医生与低收入和中等收入国家手术室之间的连接。此外，我们还提供远程指导手术的录制功能，使医学生能够重放远程外科医生的VR视图，以学习和回顾手术过程。

2.2 与沉浸式360°视频的交互 s

360°视频技术使用全向摄像系统，并支持以第一人称视角观看。这些体验被描述为极具沉浸感且可能引人入胜的环境，让人仿佛身临其境 [1]。

2.3 通过虚拟现实进行远程协作

如今，连接世界各地的人们并分享实时体验已成为迫切需求，尤其是对于身处异地的人们而言。具体来说，人们需要远程指导，即身处远方的专家协助另一端的团队完成某项工作，例如维修、维护、外科手术或通信任务。这种协作方式在教育和医疗保健等诸多领域都不可或缺。

Huang等人 [5] 开发了一种名为 HandsIn3D 的三维系统，该系统基于三维虚拟沉浸空间和三维手势。该项目通过三维立体摄像机连接一名工作人员和一名协助者，使协助者能够查看工作现场，并通过渲染协助者双手的形象来增强工作现场。

将 HandsIn3D 项目与我们的研究进行比较可以发现，两者都基于远程实时视频指导这一共同原则，但实现方式和目标截然不同。HandsIn3D 使用三维摄像机拍摄另一端，而 SURVIVRS 则使用 360° 摄像机完整拍摄手术室。此外，我们的工作并非在工作现场创建虚拟手来帮助工作人员，而是提供一个标注系统，让远程专家能够实时标注并截取屏幕截图。最后，HandsIn3D 项目的主要目标是远程协助异地工作人员完成手动任务，而我们的项目则着眼于为外科手术提供实时远程指导。

3 设计与实现

我们采用迭代设计过程来提出并完善 SURVIVRS 的设计。早期阶段，我们通过低保真原型设计尝试了各种界面方案。这样一来，研究团队便能公开讨论各种想法，而不必担心基于代码的工作会因此白费。

完成迭代设计过程后，我们采取了几个步骤来确保工具最终具备良好的可用性。这些步骤包括：通过编写代码实现原型，从而开发用户界面；运行并体验设计方案以进行测试；最后由研究志愿者评估工具的可用性。图1展示了可用性评估中使用的 SURVIVRS原型远程外科医生界面的屏幕截图。

由于本项目的重点是实现远程外科医生的指导用户界面，我们通过一个网络应用程序（图2）模拟手术室；该应用程序利用虚拟摄像机和屏幕捕获软件传输远程外科医生的视图。

3.1 软件工具

我们使用 Unity[2] （2020.3.33f1 版本）和 OpenXR[3] 实现了 SURVIVRS原型。该虚拟现实应用程序使用 Unity Video 播放器广播 360° 视频，并将其作为纹理渲染到场景的天空盒上。我们使用 Unity Render Streaming（URS）将远程外科医生的虚拟现实视图实时流传输到模拟手术室的网络应用程序。最后，我们使用 OBS Studio 作为虚拟摄像机，传输由 360° 摄像机拍摄的实时 360°视频画面。

3.2 硬件

我们使用配备两个追踪控制器的 Oculus Meta Quest 2，作为远程外科医生使用的虚拟现实平台。通过 Insta360 Pro 摄像头[4]实现 360°视频的实时流传输。在这个原型中，我们使用了两个定点摄像机，分别捕捉本地外科手术区域的画面和患者生命体征监护仪的画面。对于未来的实现，我们计划使用

[2]https://www.unity.com [3] https://www.khronos.org/openxr [4] https://www.insta360.com/product/insta360-pro

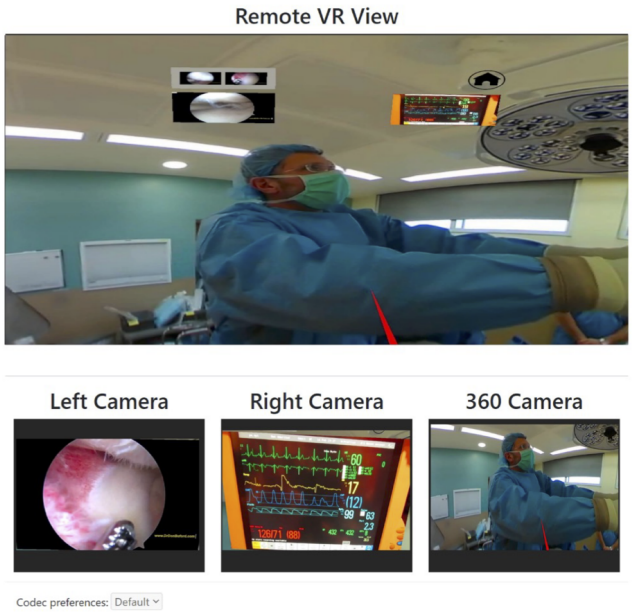

图2：模拟手术室的 Web 应用程序屏幕截图。顶部显示远程外科医生视角的画面流，底部则显示各个摄像头的原始画面流。

患者数据渲染数字生命体征监护仪，而不是使用视频流；后者画质较低，还会不必要地占用带宽。

手术室模拟程序运行在一台通过 WiFi 与 VR 应用程序通信的服务器电脑上。三台摄像头和一台监视器均连接到这台电脑，电脑上运行着显示手术室模拟画面的 Web 应用程序。

3.3 系统设计

本项目的主要目的是迈出第一步，使远程外科医生能够指导偏远地区（如撒哈拉以南非洲）的外科医生团队。图3展示了一幅概念图，其中医生佩戴设备以引导远程手术（a），以及与之对应的 VR 视图（b）。外科医生可以转向任意方向，查看手术室内的所有情况。用户改变视线方向时，二维抬头显示界面会在 0.5 秒延迟后，通过平滑动画跟随用户的头部向各个方向移动。

图4展示了虚拟现实应用程序与模拟手术室之间整个通信过程的信息流程图



图3：外科医生一侧的 VR 应用程序。（a）医生使用 VR 应用程序的理想化示意图。（b）远程外科医生一侧的 VR 应用程序界面。

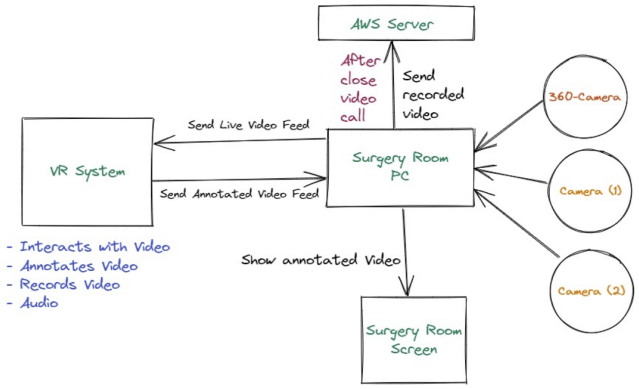

图4：信息流程图。

网络应用程序。双方完成信令后，任一方都可以通过连接ID启动视频流传输，并通过 WebSocket 进行传输。手术室网络应用程序会将360°视频、本地手术现场视频和患者数据监视器视频流传输到远程外科医生一侧的虚拟现实应用程序中。在虚拟现实应用程序一侧，专科医生可以通过在实时流中添加标注与这些视频互动。所有这些标注以及三路视频流都会显示在手术室屏幕上，供所有外科医生观看（图2）。此外，还会建立双向实时音频连接。关闭视频流后，服务器会保存一份视频通话副本，以便在我们的理想化场景中，医学生或其他医生在虚拟现实应用程序的“观看录制视频”模式下使用。

3.3.1 标注界面

SURVIVRS最重要的功能之一，是让远程外科医生能够通过指示细节并借助标注界面将其传达给手术室，从而指导外科手术。当外科医生在主界面中将控制器指向其中一个二维视频并按下扳机按钮将其放大时，标注系统便会显示在二维视频流上。视频放大后，虚拟现实应用程序中会在外科医生面前显示一个绘图工具菜单，如图5所示。该菜单包含四种用于标注的工具：撤销和重做；形状工具（铅笔自由绘制、椭圆、矩形、箭头和橡皮擦）；以及播放/暂停按钮。除了播放和暂停视频，该按钮还可以为已标注的二维视频截屏（图5显示了此前拍摄的屏幕截图，位于用户界面的左下角）。每当开始标注时，二维视频都会自动暂停，以免画面移动干扰标注目标。

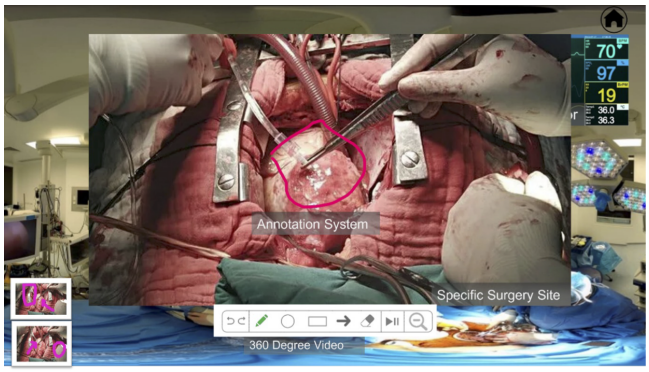

图5：标注系统。



图6：各参与者的整体可用性评分。

4 评估

我们对SURVIVRS原型进行了可用性评估，以了解普通人群中的用户在我们对较难招募的医生进行测试之前，对该工具有何反应。数据收集前已获得机构审查委员会的批准。评估采用“观看录制视频”模式，以便用户体验真实的外科手术视频，并避免出现延迟等不属于用户界面范畴的技术问题。

4.1 参与者

本次评估共有六名志愿者参与实验，其中四人没有视力问题，两人患有斜视。参与者中有三名女性和三名男性，年龄在18至44岁之间。大多数参与者（66.6%）认为自己对虚拟现实略有了解，其余参与者则表示完全不了解虚拟现实（16.6%）或对虚拟现实有中等程度的了解（16.6%）。

4.2 测量指标

整体感知可用性通过系统可用性量表 [3]进行测量。Presence通过Slater-Usoh-Steed临场感问卷 [9]进行测量。我们还编制了一份整体感知问卷，其中包含有关SURVIVRS用户界面设计和功能的具体问题。

4.3 实验流程

在最初的问候并签署知情同意书后，参与者接受了有关实验的一般说明。随后，参与者戴上头戴式显示器并拿起控制器，开始实验。在整个数据收集过程中，实验人员始终通过将头戴式显示器画面投射到电脑上进行观察。

在确认参与者熟悉虚拟现实头戴式显示器（Meta Quest 2）后，实验人员要求参与者完成一系列共十项任务，以便探索应用程序的所有功能。未向参与者提供有关如何完成任务的帮助或指导。

完成所有任务后，参与者被要求填写研究后问卷

5 结果

5.1 系统可用性

图6展示了每位参与者的系统可用性量表（SUS）得分。可以看到，6位参与者中有5位的得分明显高于平均可用性的68分阈值 [5]。

[5]https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html

表1：Slater-Usoh-Steed临场感问卷结果。

参与者	问题					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Mean	5.5	5.8	3.5	4.3	4.6	5
标准差	1.04	1.16	2.81	2.8	2.16	1.67

5.2 Presence

临场感问卷各题目的汇总结果见表1。

5.3 总体感知

总体感知问卷中的所有问题，平均得分均高于 3.5 分（满分为 5 分，最低为 1 分）。

6 讨论

可用性研究结果表明，SURVIVRS 原型是一款易于使用的工具，能够带来强烈的临场感，并且非医疗用户认为它有效且足够实用。

实验期间记录了几点情况。例如，五位参与者第一次尝试绘图时遇到困难，但第二次就容易多了。此外，没有参与者意识到播放/暂停按钮也可以截取屏幕截图。还有一些参与者不明白为什么缩小屏幕截图和缩小视频的操作方式不同，这给人留下了不佳的用户体验印象。此外，七位参与者中有四位在尝试点击患者监护仪视频以放大画面时，误点了主页按钮并退出了应用程序。其他反馈包括轻微头晕（1 人）、需要帮助（2 人）、360°视频倾斜（3 人）、感觉自己很渺小（1 人），以及感觉医院环境很真实，但缺少医院的气味（1 人）。

7 结论与未来工作

我们提出了 SURVIVRS，这是一款手术指导工具，可让远程专家外科医生指导专业知识不足的医疗团队。我们的原型工具取得了积极成果，是实现 SURVIVRS 完整愿景的一个有前景的起点。

要推进我们的项目，还有若干后续工作。根据反馈完成改进后，我们计划与外科医生一起测试用户界面，以获取领域专属反馈。我们还需要通过（模拟）手术的实时流测试该工具，并解决与此相关的诸多技术挑战。中期而言，我们将利用手术室中的监视器或智能眼镜开发本地外科医生界面。

长期而言，我们计划在手术室中引入增强现实工具，以闭合远程临场感闭环，并整合远程外科医生的形象呈现和空间情境注释。

致谢

本研究部分由*Fundaç˜ao para a Ci˜enciaea Tecnologia*（葡萄牙科学技术基金会）通过资助项目 2022.09212.PTDC（XAVIER）、UIDB/50021/2020，以及卡内基梅隆大学葡萄牙分校资助项目 SFRH/BD/151465/2021 提供支持，相关工作由联合国教科文组织人工智能与扩展现实教席主持。

参考文献

[1] L. Argyriou、D. Economou、V. Bouki 和 I. Doumanis。吸引沉浸式视频消费者：360度游戏化视频应用面临的挑战。载于 *2016*年 第*15*届泛在计算与通信国际会议暨*2016*年网络空间与安全国际研讨会（*IUCC-CSS*），第145–152页。IEEE，2016年。[2] H. A. Aziz。虚拟现实程序在医疗保健领域的应用。《健康与医学信息学杂志》，9(1)：305，2018年。

[3] J. Brooke 等。SUS——一种快速而简便的可用性量表。工业领域的可用性评估，189(194)：4–7，1996年。[4] A. Fuller、T. Tran、M. Muhumuza 和 M. M. Haglund。在低收入和中等收入国家建设神经外科能力。*Eneurologicalsci*，3：1–6，2016年。[5] W. Huang、L. Alem 和 F. Tecchia。HandsIn3D：利用沉浸式虚拟环境支持远程指导。载于 *IFIP*人机交互会议，第70–77页。Springer，2013年。[6] S. V. Kotsis 和 K. C. Chung。应用“看一次、做一次、教一次”外科培训中的一个概念。整形与重建外科，131(5):1194，2013。[7] R.McCloyandR. Stone。虚拟现实在外科手术中的应用。*Bmj*，323(7318):912– 915，2001。[8] A. Rizzo、S. T. Koenig 等。临床虚拟现实是否已准备好迎接黄金时段？神经心理学，31(8):877，2017。[9] M. Usoh、E. Catena、S. Arman 和 M. Slater。在现实情境中使用临场感问卷。*Presence*，9(5):497–503，2000。