arXiv:2302.03915v1 [cs.HC] 8 Feb 2023

探索腹腔镜手术中的增强现实可供性

Matheus Negr˜ao* Joaquim Jorge† Jo ˜ao Vissoci‡ Regis Kopper§INF - UFRGS IST - ULisboa, INESC-ID 杜克大学 北卡罗来纳大学格林斯伯勒分校

Anderson Maciel¶
INF - UFRGS IST - ULisboa, INESC-ID

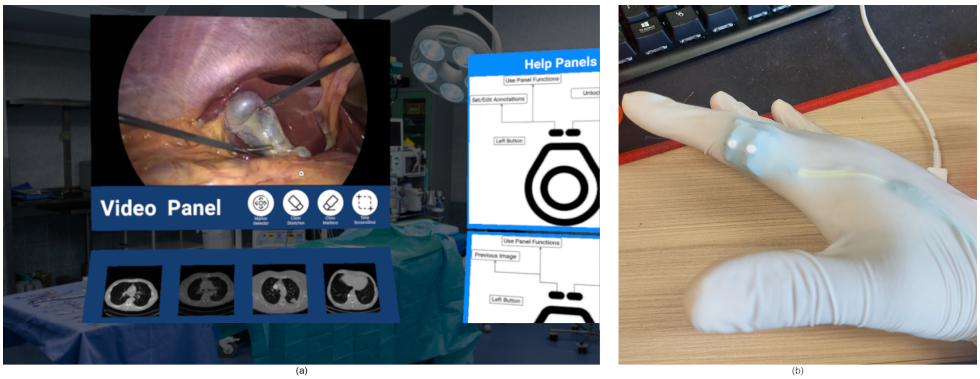


图1：（a）界面的主　视图，包含视频、图像和帮助面板。（b）用于交互的指环设备，带有两个按钮。

摘要

本文探讨了用于腹腔镜手术的增强现实界面的设计可能性。文中提出，可将腹腔镜视频显示在增强现实头显上，并让外科医生在该显示设备上查阅术前图像数据。与这些内容进行交互是必要的，但目前尚无可用于设计此类交互的模式。因此，本文提出了一种高效且简约的头部注视与点击器交互方案。最后，文中介绍了一个原型，并简要讨论了评估方案。

索引词：以人为中心的计算—人机交互（HCI）—交互范式—混合／增强现实；以人为中心的计算—人机交互（HCI）—交互范式—协同交互

1 引言

微创腹部手术（MIAS）迅猛发展，并已在全球得到广泛应用。由于组织创伤较小、患者疼痛评分较低，患者术后能够更快康复 [4]。然而，即使是经验丰富的外科医生，也会面临各种困难，具体包括：a）缺乏触觉反馈；b）腹腔镜摄像机通常由经验较少的外科医生掌持，可能导致画面偏离目标视野或发生旋转，造成延误并使人注意力分散。与开放手术不同，手术团队无法直接观察手术干预目标，而是要看距离 2 至 3 米的监视器。每位团队成员所处位置不同，监视器的角度和距离也各异，因此需要额外集中注意力来调整身体姿势。此外，这种布局也限制了手术期间查阅术前图像和规划数据的便利性。需要查阅这些资料时，外科医生不便离开无菌手术区，因此会请求助手协助；助手负责拿取并根据口头指示操作这些资料，但这种方式并不理想。最后，也是更重要的一点，手术团队成员之间的沟通可能困难且不顺畅。由于团队成员正手持手术器械并执行复杂任务，他们很难指明“感兴趣区域”并明确指向的具体位置，同时又不耽误时间、分散注意力。这会造成停顿，妨碍团队沟通与协同，增加时间浪费和出错的可能性。此外，手术室环境复杂，手术台周围空间有限，因此很难请专家协助或指导学生；这些人可能身处数英尺外的非无菌区，也可能远在其他医院或国家。

增强现实和虚拟现实设备已变得易于获取、轻便且功能强大，同时质量和分辨率也不断提升，因此越来越适合在手术环境中作为便携式高清免手持、非侵入式设备使用。增强现实应用已得到开发和评估，证明其在腹腔镜技能训练中有效 [3]。一些应用使用增强现实头戴式显示器（HMD），将物体叠加到真实世界和手术视频中，从而帮助讲解训练和手术操作的实施过程。这些系统可通过共享预约 [10], 在手术过程中引导并识别兴趣点，补充口头讲解，并帮助降低学习的复杂性。在其他情况下，应用会将外科手术视图、生命体征和术前检查整合到视野中，以尽量减少中断并帮助术者在操作过程中集中注意力 [1]。

然而，尽管增强现实系统能够辅助腹腔镜手术培训，也已应用于透视人体内部的应用场景，但术中增强现实系统需要交互。由于缺乏对如何在手术过程中有效地与视觉数据交互的理解，这类系统可能无法成功应用。微软 HoloLens（HL）常用于相关研究中的增强现实应用开发与评估。其中一些应用将语音命令和手势作为主要交互方式，这两种方式均受 HoloLens 支持。然而，语音命令可能不够准确，在手术操作过程中也可能造成混乱；手势则会使外科医生暂停手术操作，并将双手从手术器械上移开，以便与界面和对象交互。视野狭窄也是一项额外挑战。

*电子邮件：mdnegrao@inf.ufrgs.br
†电子邮件：jorgej@tecnico.ulisboa.pt
‡电子邮件：jnv4@duke.edu §电子邮件：kopper@uncg.edu
¶电子邮件：anderson.maciel@tecnico.ulisboa.pt

因此，本文探索腹腔镜手术术中增强现实的交互设计空间。我们通过开发一种演示系统来开展这一探索，该系统旨在改善手术室中的人体工学条件（例如，将增强现实眼镜用作屏幕）。除了可将腹腔镜视频显示在外科医生希望放置的任意位置的虚拟屏幕上，该系统还支持访问术前图像和规划数据。演示系统还支持通过注释、图标、绘图及其他视觉指示进行实时指示性交流，以辅助协作任务 [19,20]。外科医生可以自行添加此类注释，并引导实习医生和助手查看重要位置。

除了新颖的界面设计外，我们的成果还包括规划一项评估不同交互条件的研究，该研究将作为未来工作开展。

2 相关工作

增强现实和混合现实已应用于手术环境中的各种任务，主要是借助头戴式显示器（如微软 HoloLens）使用增强现实，应用于学习解剖结构、手术训练、手术规划以及在手术过程中显示信息。手术规划相关的应用和原型探索了以全息图形式可视化器官的三维重建，使外科医生能够根据术前检查，更好地查看患者解剖结构、各类结构及其深度，并规划手术干预 [15,18]。在腹腔镜手术中，所有手术干预都由患者体内的摄像机引导并通过其成像，因此视频流成为应用中最关键的部分。

HoloPointer [10] 利用 HoloLens 的头部注视方向，通过语音命令触发，在二维手术视频监视器上提供局部共享参考指示。手术室中的所有工作人员都可以在监视器上看到外科医生想要展示的确切位置，从而减少错误并节省动作。在另一项研究中，系统会追踪眼动注视，并将其用于在腹腔镜手术视频上徒手绘图和指示，通过标准二维视频监视器引导初级外科医生 [6]。该系统同样由语音命令触发和控制。

腹腔镜手术的增强现实系统也会使用手势和语音命令来控制对象的选择与操作。在一些研究中，语音会与注视方向（头部注视和眼动注视）结合，用作触发器来控制绘制和指示功能。语音命令在手术室中可能造成混淆，而手势则要求外科医生暂停手术操作，与界面进行交互。相比之下，外科医生对脚踏板更为熟悉，因为腹腔镜手术操作中已经使用脚踏板来激活电灼。因此，可以考虑通过足部与增强现实进行交互，例如使用脚踏板触发并确认通过界面执行的可视化和导航操作 [11]。某些适配方案允许外科医生用脚执行多种功能，例如在界面面板中浏览之前的影像检查，并结合头部注视进行选择和指示 [23]。

然而，目前尚无指南说明如何在手术期间运用头部注视、足部动作和手部动作来控制增强现实界面。本文探讨这些问题，探索设计空间，并阐述腹腔镜手术术中辅助增强现实系统需要解决的问题。

3 材料与方法

以往研究表明，增强现实可以为腹腔镜手术提供多种支持。我们正在探索增强现实界面上的交互方式，以便在需要时加强外科医生与本地及远程相关人员之间的沟通，并在沟通有助于改善手术效果时免去沟通需求。为了了解这些交互方式，我们提出了一种极简的增强现实界面设计。

为指导设计，我们假设了一组适用于腹腔镜手术的基本要求和限制：

- 外科医生站立工作；
- 存在体内视频流；
- 术中必须查阅术前图像；
- 外科医生佩戴无菌手套；
- 手术室内以及可能位于远程的相关人员；
- 外科医生需要向相关人员指出手术区域中的位置和物体；
- 增强现实头显的视野有限；

此外，我们的设计旨在作为未来混合现实应用的两个组成部分之一，用于腹腔镜手术中的远程协作。这意味着还将有另一个此处未作介绍的界面，供身处异地的其他人员（学生、专家）查看外科医生提供的指示。不过，按照以下设置和功能，该设计也可单独用于手术室内协作。

本节余下部分将介绍我们的用户界面设计、增强现实界面中可视化内容的构成、交互所用的方法和硬件，以及我们为未来用户实验提出的实验设置。

3.1 硬件和软件平台

我们使用 Unity[1] 2019.4.20f1 LTS 版本进行开发，这是目前支持 Windows XR 插件和全息远程处理的最新版本。该插件可集成并连接应用程序，还能在编辑器模式下将应用程序串流至我们实验室现有的 Microsoft® HoloLens 第一代[2] (HL1)。HL1 存在一些局限，其中主要的一项是其视野（FOV）仅为 30 度，小于第二代 HoloLens 的 54 度，也小于平均约为 90 度的虚拟现实头戴式显示器。由于这一局限，用户无法在自然视野范围内随处看到虚拟物体。全息图和界面元素仅显示在中央的矩形区域内，用户必须转动头部才能查看其他区域。为了模拟来自腹腔镜视频源的实时视频，我们使用罗技 C525 网络摄像头。

需要通过输入来指示位置并确认选项。我们不依赖专用设备来指示位置（详情见第 3.2 节），但必须调整实体道具，以提供能够快速、精准点击确认的装置。我们提供了两种选择。一种是一对脚踏板，与手术室中已使用的脚踏板类似。

尽管外科医生熟悉脚踏板，但增加脚踏板可能会带来不便。因此，我们提供了第二种选择，允许用户通过手部进行操作，而无需放下手术器械。该设备是一个食指环，顶部有两个 5 毫米的按压按钮，外科医生可以将它戴在无菌手套内（见图 1b）。无需将手从手术器械上移开，便可用拇指按到这些按钮。

这两种设备都通过插入个人电脑的 Arduino Due 与系统连接。相同的软件会解析脚踏板或按钮的操作，并在增强现实界面中执行相应操作。下文第 3.2 节将介绍脚踏板和戒指按钮的输入功能。

3.2 界面布局

我们通过对外科医生进行非结构化访谈发现，他们需要持续访问体内的腹腔镜视频实时画面，并偶尔访问术前数据。其他信息（例如生命体征）则由团队中的其他成员监测。由于虚拟增强内容可以放置在用户周围的任意位置，我们优先将腹腔镜视频和术前图像显示在两个相邻的面板中，并以全息图的形式呈现，用户可以将其放置

[1] https://unity.com/ [2] https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens1-hardware

在自我中心视角下周围任意希望的位置。此外，手术过程中，外科医生必须关注真实环境、手术室以及助手。因此，我们的界面设计避免使用不必要的信息和对象来使视野变得杂乱，以免干扰注意力。两个面板分别具有特定的功能、交互方式和虚拟控制器，可执行不同的操作。面板如图 1a 所示。

界面中最重要的面板显示腹腔镜手术的实时视频及其功能，初始位置正对用户的视野。视频面板正下方是图像面板，其中汇集了包含磁共振成像、计算机断层扫描等术前检查资料的文件夹，以及可能有所帮助的规划草图。最后，在我们的实验版本中，我们加入了两个侧面帮助面板，其中包含交互控件的使用说明。针对特定类型的微创增强手术，还可以添加更多面板，例如用于心脏手术的生命体征面板。

3.3 交互设计

较高层级的用户任务可概括如下：

1. 操控医疗器械；2. 观察视频流；3. 查找特定的术前影像；4. 在视频中标示一个位置；5. 在视频中圈出一个对象；6. 保存屏幕截图；7. 调整全息影像的位置。

第1项和第2项是外科手术任务固有的内容，界面不提供支持。其余五项任务可通过指向并确认的交互方式，结合对上述面板的直接操控来完成。

尽管确认依赖于前文介绍的圆环或脚踏按钮，但我们认为，头部注视是实现指向的出色方案。请注意，双手都在忙于操作，而使用手术器械的尖端进行指向会严重干扰操作，且适用范围有限。其他可选方案寥寥无几，例如脚部指向、语音、面部表情和脑机接口。以往研究中，这些方案都未能展现出很高的准确性。相比之下，头部注视指向已得到广泛尝试 [2,9,22]。

3.3.1 头部注视指向

头部注视方向根据 HL1 的朝向进行捕捉。当注视向量与视野中的物体相交时，系统会显示一个典型的圆形准星指针，从而实现类似鼠标指针的指向。不过，由头部注视方向控制的准星指针容易受到追踪误差和用户引发的抖动影响。对大多数用户而言，命中小目标可能颇具挑战，尤其是在增强现实视野狭窄的情况下。因此，我们建议对追踪到的运动进行滤波，或缩小其与准星位置之间的映射比例。

平均滤波方法会存储之前n 个头部注视方向，并计算简单平均值。它会将准星绘制在相应的平均命中位置。缩放方法通过缩小头部与准星移动比来实现；未缩放时，该比值为 1。其缺点是，平均滤波会增加延迟，而缩放会使视野中心与目标脱离。如果缩放过度，用户就必须过度转动头部，以至于看不到目标。由于显示区域会随头部移动，头部转动过度时，目标甚至可能被移出显示区域。

3.3.2 选择与操作

用户的每项任务都可以通过指向并点击第 3.2 节所述全息面板中的元素，在界面中完成。因此，我们将每项任务设计为直接选择与操控操作的组合，并优先考虑效率。

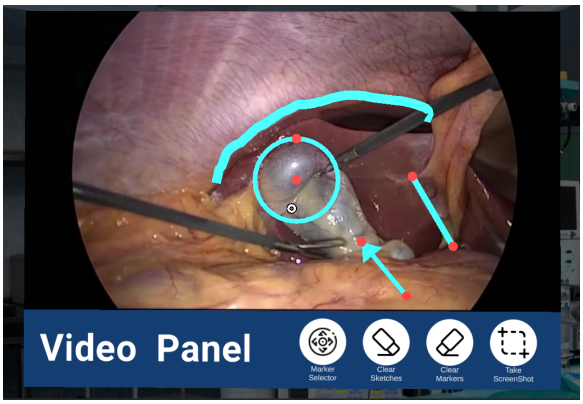


图 2：带有注释的视频面板。

在实时视频面板中，最初可通过选择相应的按钮触发四项操作：添加注释、清除标记、清除草图和截取屏幕截图（见图 2 ）。选择注释 后，会出现一个包含四个选项的圆形菜单，可供选择线条、箭头、圆圈或自由绘 sketch。线条、箭头和圆圈均视为标记。标记可以与自由绘 sketch 分开删除，因为外科医生通常需要保存标记，而自由绘 sketch 仅用于临时交流。

选定所需标记后，每种标记都有一组特定的放置/调整大小操作。对于箭头，用户先选择箭头尖端的位置，然后移动以选择箭尾的位置。对于线条，操作过程类似。对于圆圈，用户先选择圆心位置，然后移开以选择半径。创建后也可以编辑这些标记。线条和箭头的端点，以及圆圈的圆心和周边会显示红色圆形拾取点（见图 2）。按住按钮/踏板并移动即可进行自由绘 sketch。此处所述的所有选择操作均通过左侧按钮/踏板完成。

最后，视频面板的最后一种可能操作涉及界面中的所有面板。它满足了用户根据自身需求和手术进程，在最方便的位置调整全息图组摆放位置的需要。当头部注视准星位于视频面板上并按下右侧按钮或踏板时，整个界面都会跟随用户的头部注视移动到其想要的任何位置，直到触发右侧确认操作，将界面固定在空间中。除了设置最符合人体工程学的位置外，此功能还允许外科医生将面板锁定在头部，使其如同抬头显示器一样；即使头部移动，也有助于让注意力始终集中在手术上。

在图像面板（图3）中，操作更加直观；用户可以将瞄准标记指向虚拟控制器，在文件夹和图像网格中导航，并通过按下相应位置来选择文件夹和图像。当选中的图像以面板大小显示时，只要瞄准标记位于图像上，用户就可以分别使用右侧和左侧按钮滑动到下一张或上一张图像。此外，还有一个虚拟返回按钮，可用于返回图像网格。

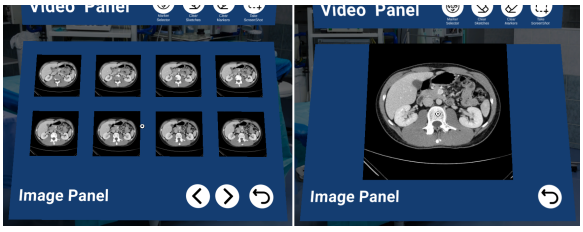


图 3：左：图像面板中的网格视图。右：图像面板中的图片全视图。

3.4 用户实验

尽管我们在设计该界面时考虑了用户的需求以及人机交互的一般良好实践，但在最终确定设计之前，仍需对其中的若干方面进行评估。

我们希望评估的方面包括：

- 平均处理或缩放的效果；
- 最佳的缩放或平均处理时长；
- 用脚或用手进行交互的效果；
- 在不同面板间切换焦点会带来多大的额外开销；
- 使用该界面能在多大程度上提升通信。

这篇研讨会论文无法容纳完整的实验评估，但我们将在本节概述计划如何刻画术中增强现实界面的可供性。

我们将研究问题分为三类：参数范围、外科手术任务和通信效率。因此，我们计划与用户开展三项实验方案。

由于现在让患者参与这项研究还为时过早，我们设计了两项使用 3D 打印任务、类似于腹腔镜训练的实体任务。插销转移任务 （图 4a）要求用户使用一对抓钳，将小环从插销板上的一个钉子转移到另一个钉子上。另一项任务是穿线任务（图 4b ）。外科医生需要将一根线依次穿过立板上的一系列孔。

3.4.1 参数范围

我们需要评估采用缩放或平均化方法对用户表现的影响，也需要确定最合适的缩放和平均化等级。每种方法设两个等级（低和高），共得到四种组合。再加上采用直接映射的基线，共有五种界面条件。除了界面，我们还有另一个自变量：任务。任务可以是插销转移任务 或穿线任务，但我们希望测试难度等级各不相同的三种任务，这样就有六种条件。任务 是指插销上的环的特定排列（环越多，难度越大），或线所穿过的一系列孔（孔越多，难度越大）。被试内设计意味着每位用户需要完成 30 种不同的组合或样本。我们应进行预试验，以检验其可行性和所需时长。或者，如果有必要，可以将任务 设为被试间因素，这样每位用户只需完成 15 项不同的试验。

在这项测试中，我们决定取消实际的抓持器操作，使用户只需在视频上添加注释。因此，参与这项测试的人不必是外科医生。我们会要求参与者将双手放在腹腔镜器械上，尽管他们不会进行实际操作。参与者将查看图像面板中的问题，添加所需标记，保存屏幕截图，然后进入下一题。由于一般人群通常用惯用手进行操作，因此这项测试将只使用指环设备。

我们将测量注释的精确度、准确性以及完成每项试验所需的时间。随后，我们将分析不同条件下的结果是否具有统计学意义。

3.4.2 外科手术任务

根据上一项测试的结果确定最佳参数后，我们将在第二项测试中应用这些参数。届时，我们将加入腹腔镜任务和脚踏板。参与者将包括大学附属医院的外科医生和外科实习医生。测试将使用实际的腹腔镜训练箱进行。

自变量为输入设备、任务和难度等级。参与者将查看图像面板中的图片来研究问题，并在执行腹腔镜训练任务时使用标注工具。在插销转移任务中，棋盘上的钉子初始布局会有所不同。

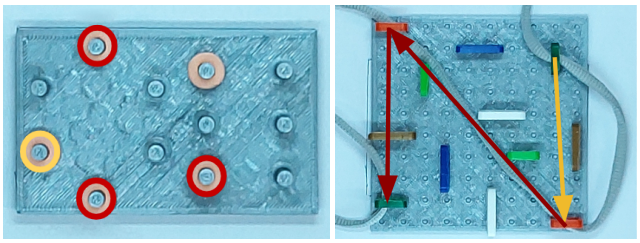


图4：任务示例。左：转移插销。右：穿线。

用户将把钉子移动到图片所示的布局，并使用线条标记工具连接起始钉子和目标钉子。在穿线任务中，棋盘上的线初始时会穿过一个孔位，用户将根据图像面板中的图片让线依次穿过其他孔位，并用圆形标记工具标注线经过的所有孔位。

我们将测量用户的表现（精确度、准确性、用时），并记录分段计时，以便进一步评估各项操作。我们关注这些测量指标随输入设备和任务类型/难度变化的情况。

在两项实验的所有操作中，我们还将测量头部运动，以分析额外操作负担。

3.4.3 通信效率

现在提出通信效率的实验方案还为时过早。我们将根据前期测试结果制定方案。不过，我们预计会开发一个供远程用户使用的第二界面，可运行于沉浸式虚拟现实或桌面端，并与本文介绍的界面配合使用。这种非对称协作方式可能包括从手术室广播实时360度视频，也可能允许远程参与者添加指示性标注。

4 结论与未来工作

这项探索性研究采用提出设计并报告经验教训的方法，探讨腹腔镜手术中增强现实界面的可供性。本研究尚未完成，但已经提出了一些值得与社区共同讨论的问题。

当前设计表明，外科医生并不喜欢使用两个屏幕——一个显示实时视频，另一个暂停画面以供添加注释——这与我们最初的设想不同。该设计也证实了外科医生此前对手术室中脚踏板的偏好、随时查看术前数据的需求，以及他们很少需要亲自查看生命体征。

此外，本文还介绍了基于实体腹腔镜装置开展用户实验的计划，这些实验将为上述部分问题提供答案。所提出的增强现实界面也将成为混合现实远程协作应用的一部分：远程资深外科医生可以通过虚拟现实和增强现实指导新手外科医生，本地教授也可以教授远程学生。在这一更广泛的背景下，我们还计划加入眼动追踪，并研究认知负荷、视觉注意和整体可用性指标 [8]。

致谢

本研究部分由巴西机构*Coordenaç˜aode Aperfeic,oamentodePessoaldeN´ıvelSuperior* (CAPES)资助，资金代码为001；同时获得巴西国家科学技术发展委员会项目311251/2020-0的资助，以及*Fundaç˜ao para a Ci ̃encia e Tecnologia* （葡萄牙科学技术基金会）通过以下项目提供的资助：2022.09212.PTDC（XAVIER）、UIDB/50021/2020，以及卡内基梅隆大学葡萄牙项目资助SFRH/BD/151465/2021。该项目由联合国教科文组织人工智能与扩展现实教席支持。我们感谢字节跳动为眼动追踪头戴式显示器提供支持。

参考文献

[1] H. F. Al Janabi、A. Aydin、S. Palaneer、N. Macchione、A. Al-Jabir、M. S. Khan、P. Dasgupta和K. Ahmed。《HoloLens混合现实头戴设备在微创手术中的有效性：一项基于模拟的可行性研究》。《外科内镜》，34(3):1143–1149，2020年。[2] T. Asao、T. Kobayashi、K. Kotani、S. Suzuki、K. Obama、A. Sumii和T. Nishigori。《用于内镜手术期间沟通支持的绘图应用程序的开发及其基于转向定律的评估》。《应用科学》，11(10):4505，2021年。[3] E. Z. Barsom、M. Graafland和M. P. Schijven。《增强现实应用在医学培训中有效性的系统综述》。《外科内镜》，30(10):4174–4183，2016年。[4] A. Buia、F. Stockhausen和E. Hanisch。《腹腔镜手术：一项合格的系统综述》。《世界方法学杂志》，5 238，2015 4( ): 。[5] N. Correia、L. Alves、H. Correia、L. Romero、C. Morgado、L. Soares、J. C. Cunha、T. Rom˜ao、A. E. Dias和J. A. Jorge。《Instory：用于实体空间中移动信息访问、讲故事和游戏活动的系统》。载于*2005*年*ACM SIGCHI*国际计算机娱乐技术进展会议论文集，ACE '05，第102–109页。计算机协会，美国纽约州纽约市，2005年。doi: 10.1145/1178477.1178491[6] Y. Feng、H. McGowan、A. Semsar、H. R. Zahiri、I. M. George、A. Park、A. Kleinsmith和H. Mentis。《用于腹腔镜手术视线引导的虚拟指针》。《外科内镜》，34(8):3533–3539，2020年。[7] D. J. Gonc. alves和J. A. Jorge。《个人文档空间的实证研究》。载于J. A. Jorge、N. Jardim Nunes和J. Falc˜ao e Cunha编，交互系统：设计、规范与验证，第46–60页。Springer Berlin Heidelberg，德国柏林海德堡，2003年。[8] J. G. Grandi、H. G. Debarba和A. Maciel。《虚拟现实与增强现实中的非对称协作交互特征》。载于*2019*年*IEEE*虚拟现实与三维用户界面会议（*VR*），第127–135页，2019年。doi: 10.1109/VR.2019.8798080[9] A. Grinshpoon、S. Sadri、G. J. Loeb、C. Elvezio和S. K. Feiner。《用于血管介入的增强现实免手持交互》。载于*2018*年*IEEE*虚拟现实与三维用户界面会议（*VR*），第 751 752, 2018 10 1109 2018 8446259 –页。doi: 。/[10] VR. 。F. Heinrich、F. Huettl、G. Schmidt、M. Paschold、W. Kneist、T. Huber和C. Hansen。《HoloPointer：用于腹腔镜手术培训的虚拟增强现实指针》。《国际计算机辅助放射学与外科杂志》，16(1):161–168，2021年。[11] J. Jayender、B. Xavier、F. King、A. Hosny、D. Black、S. Pieper和A. Tavakkoli。《一种用于腹腔镜手术的混合现实导航系统》。载于医学图像计算与计算机辅助介入国际会议，第72–80页。Springer，2018年。[12] T. R. Johnson、R. Lyons、J. H. Chuah、R. Kopper、B. C. Lok和J. C. Cendan。《颅神经麻痹虚拟患者模拟中的最佳学习：社会学习情境与学生能力倾向之间的交互作用》。《医学教师》，35(1):e899–e907，2013年。[13] J. Jorge和F. Samavati。基于草图的界面与建模。Springer Science & Business Media，2011年。[14] R. Kopper、M. G. Silva、R. P. McMahan和D. A. Bowman。《提高大型高分辨率显示器远距离指向的精度》。技术报告，弗吉尼亚理工学院计算机科学系……，2008年。[15] C. M. Morales Mojica。《用于图像引导的前列腺癌介入治疗的全息增强现实界面原型》。载于欧洲计算机图形学协会生物医学可视计算研讨会，2018年。[16] C. Moreira和A. Wichert。《学习对学术专家进行排序》。硕士论文，Instituto Superior T´ecnico，2011年。荣誉与优异成绩（最优等）。[17] J. a. P. Pereira、J. A. Jorge、V. A. Branco、N. F. Silva、T. D. Cardoso和F. N. Ferreira。《用于含糊书法式交互的级联识别器》。载于首届欧洲计算机图形学协会基于草图的界面与建模会议论文集，SBM'04，第63–72页。欧洲计算机图形学协会，德国戈斯拉尔，2004年。[18] J. A. S´anchez-Margallo、C. Plaza De Miguel、R. A. Fern´andez Anzules和F. M. S´anchez-Margallo。《混合现实在聚焦微创手术的医学培训和手术规划中的应用》。《虚拟现实前沿》，第144页，2021年。[19] W. J. Sarmiento、V. Jorge、A. Maciel、L. Nedel、C. A. Collazos、J. Oliveira 和 F. Faria。《他者意识：评估邻近线索对协作任务的影响》。载于*2013 IEEE*虚拟现实大会（*VR*），第 63 64, 2013 10 1109 2013 6549364 –页。doi：./VR。[20] W. J. Sarmiento、A. Maciel、L. Nedel 和 C. A. Collazos。《测量沉浸式3D协作虚拟环境中的协作程度》。载于*2014*年协作虚拟环境国际研讨会（*3DCVE*），第1–6页，2014年。doi: 10.1109/3DCVE.2014.7160931[21] V. Souza、A. Maciel、L. Nedel、R. Kopper、K. Loges 和 E. Schlemmer。《虚拟现实对神经解剖学学生协作式小组学习中知识迁移与保持的影响》。载于*2020*年第*22*届92届虚拟与增强现实研讨会（*SVR*），第–101页，2020年，10 1109 51698 2020 00028。doi：./SVR。[22] A. L. Trejos、K. Siroen、C. D. Ward、S. Hossain、M. D. Naish、R. V. Patel 和 C. M. Schlachta。《评估腹腔镜胆囊切除术期间用于外科手术指导的免手持指示器的随机对照试验》。《外科内镜》，29(12)：3655–3665，2015年。[23] E. R. Zorzal、J. M. C. Gomes、M. Sousa、P. Belchior、P. G. da Silva、N. Figueiredo、D. S. Lopes 和 J. Jorge。《采用增强现实技术的腹腔镜手术》。《生物医学信息学杂志》，107，103463，2020：。