

虚拟现实技术在医学领域的研究现状与进展

石晓卫, 苑慧, 吕茗萱, 蔡佳惠, 张先增*

医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福建省光子技术重点实验室, 福建师范大学激光与光电子技术研究所,
福建师范大学, 福建 福州 350007

摘要 虚拟现实(VR)与其所衍生的增强现实(AR)和混合现实(MR)能把携带三维信息的虚拟场景与真实世界相互叠加,极大地提升用户感官世界的直观性、精准性、实时性。该技术的推广与应用,将会给医学领域带来变革式发展。本文剖析 VR/AR/MR 的概念并简述其发展历程,分别对虚拟现实和增强现实在医学领域的应用进行阐述,并通过微软产品 HoloLens 的特点分析基于混合现实的解决方案在医学领域的优势。最后对 VR/AR/MR 目前在医学领域所存在的不足进行归纳,并对未来的发展趋势进行展望。

关键词 医用光学; 虚拟现实; 增强现实; 混合现实; 医疗教学; 手术导航

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.010006

Current Status and Progress of Virtual Reality Technology in Medical Field

Shi Xiaowei, Yuan Hui, Lü Mingxuan, Cai Jiahui, Zhang Xianzeng*

Key Laboratory of Opto-Electronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education,
Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China

Abstract Virtual reality (VR) and its derivatives, namely augmented reality (AR) and mixed reality (MR), can overlap the three-dimensional virtual scene with the real world and can significantly improve the intuition, accuracy, and real-time nature of the user's sensory world. The popularization and application of this technology is expected to revolutionize the medical field. Herein, the concept of VR/AR/MR is analyzed and its development process is briefly described. The applications of VR and AR in the medical field are elaborated, and the advantages of solutions based on MR are analyzed based on HoloLens. Finally, the deficiencies of VR/AR/MR applications in the medical field are summarized, and the future development trend is prospected.

Key words medical optics; virtual reality; augmented reality; mixed reality; medical teaching; surgical navigation

OCIS codes 170.4580; 100.3010; 100.3020; 100.4999

1 引言

近年来,虚拟现实(VR)产业蓬勃发展,涌现出许多“黑科技”产品,这些产品已经开始在娱乐、健康、工程等方面引起新一轮的潮流,并有望急速拓展该技术至其他应用领域。虚拟现实的三维可视化、人机交互等技术特点与医学行业的影像分析、三维重构、手术规划等操作程序高度吻合,这为虚拟现实技术在医疗领域的应用提供了可行性。随着现代医

学技术的飞速发展,计算机断层扫描(CT)、磁共振成像(MRI)、正电子发射断层成像(PET)、光学相干层析成像(OCT)等各种医学影像技术在临床得到了广泛应用,这些成像技术为医生的临床诊断和治疗评估提供了重要依据,已成为当前医学临床诊治不可或缺的重要手段。但是医学影像技术的发展在给医生和患者带来各种便利的同时,也对行业造成许多困扰,在海量医学影像数据的分析处理和三维信息可视化重构等方面都存在诸多问题。传统的通

收稿日期: 2019-05-08; 修回日期: 2019-06-10; 录用日期: 2019-07-10

基金项目: 国家自然科学基金(61575042)、福建省自然科学基金项目(2017J01741)

* E-mail: xzzhang@fjnu.edu.cn

过计算机或投影仪等二维显示设备呈现的三维立体影像属于伪三维,存在交互功能弱、三维结构信息呈现效果差等缺陷,严重制约了三维可视化技术的推广应用。医生迫切希望能脱离二维屏幕限制,获得更自然高效的三维影像显示体验,进行更精确高效的诊断与服务。虚拟现实技术的飞速发展,尤其是“混合现实(MR)+医学”的解决方案恰好迎合了上述需求,可望根本性地改变传统医学影像三维可视化呈现和交互方式,在医学教育与技能培训、手术规划与手术模拟、手术直播与示教、医患沟通、远程会诊等医学应用展现出广阔的应用前景。随着互联网+、人工智能的发展以及伴随着5G时代的到来,虚拟现实产业必将迎来新的发展机遇,产业的革新将会颠覆医疗行业的现行方式,并将造福于整个人类。

本文首先阐述VR/增强现实(AR)/MR的相关概念,并就相关技术的发展历程进行概述。通过与现行的成像方式作对比,突出基于虚拟现实的成像、交互方式在医学领域应用的优势;重点围绕VR/AR/MR的技术特点,分别介绍技术在临床治疗、医学训练、手术导航等方面的应用前景,并针对目前虚拟现实在医学领域所遇到的困难进行总结,提出未来需要解决的关键问题;文末结合虚拟现实产业发展的状况,对未来该技术在医学领域的应用进行展望。

2 虚拟现实技术概述

2.1 VR/AR/MR 相关概念

虚拟现实技术利用计算机生成虚拟的三维场景,给用户带来视觉、听觉以及触觉等沉浸感,使其

全方位获取该虚拟场景中的相关信息。该技术利用双目视觉效果使左右两眼接收到不同的图像,让用户获得视觉深度,从而产生立体感。通过陀螺仪和重力感应器等元件配合头部追踪与眼球追踪,用户可以根据头部和身体的运动,自然地改变虚拟视场,以提供用户在虚拟环境中的高度沉浸感。增强现实技术利用计算机将生成的虚拟信息叠加到现实环境中,充实了现实场景中的信息,起到虚实融合的增强现实效果。增强现实可以即时定位与地图构建(SLAM),能实现精确叠加配准,具有实时交互性,是用于导航的良好途径。但是相比于虚拟现实,增强现实由于视场更小而缺乏沉浸感。混合现实技术是指经过计算机处理,将虚拟场景与现实场景完美融合,使二者相互协调,甚至产生相互作用,从而给用户提供一个可交互的智能可视化场景。混合现实技术可以空间映射、实时注册,有利于开拓远程协作方面的功能。

如图1(a)所示,从功能层面来看,虚拟现实和增强现实分别具有沉浸感与虚实叠加的功能,混合现实则兼具二者之所长,既有沉浸感,又能虚实叠加。如图1(b)所示,从用户体验看来,可将现实环境与虚拟环境看作两极^[1],靠近现实环境一侧的为增强现实,靠近虚拟环境的一侧为增强虚拟,而混合现实则包含增强现实与增强虚拟。从本质上来讲,增强现实与混合现实可以通过回答两个问题加以区分:1)虚拟物体与真实物体是否在理想状态下能被区分(即数字光场是否有信息损失)? 增强现实设备使用二维显示屏呈现虚拟信息,因此真假很容易分

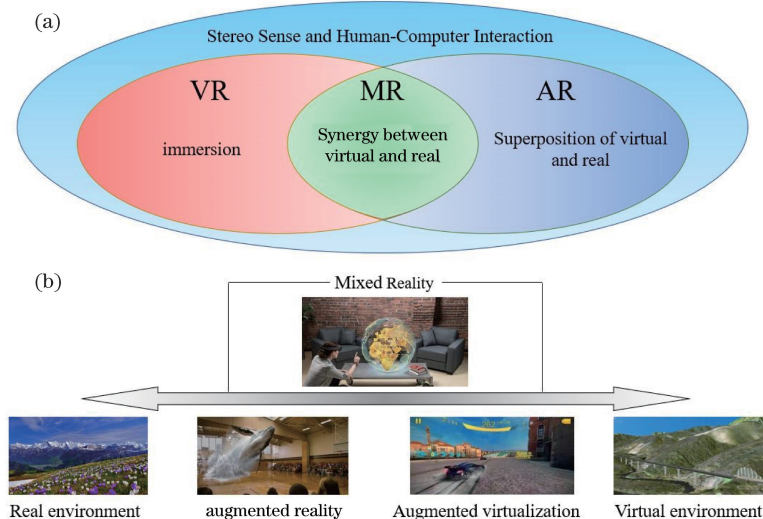


图1 VR/AR/MR 概念的区分。(a)功能层面;(b)用户体验

Fig. 1 Differentiation of VR/AR/MR concepts. (a) Functional aspects; (b) user experience

辨,而混合现实设备直接向视网膜投射四维光场,用户从混合现实设备看到的物体和真实环境中看到的物体在数字光场上是无法区别的。2)虚拟信息是否跟随设备移动?增强现实设备所显示的虚拟信息是跟随设备的运动而运动的,而混合现实的空间感知技术可以实时获取周围环境,进行精准定位,可以实现将虚拟物体固定在空间的某一个位置,而不随设备的移动所改变。此外,相比于增强现实,混合现实更强调虚实协同,而不是简单的叠加。例如,当一个虚拟的小球去撞击真实的墙壁时,增强现实中的小球会无视墙壁,直接穿透过去,而混合现实中的小球会被弹开或者发生其他受力效果。

2.2 虚拟现实技术发展概况

虚拟现实的描述最早可追溯到 20 世纪 30 年代,如图 2 所示。早在 1935 年,小说家 Stanley Weinbaum 在小说中描述了具有虚拟现实功能的眼镜。50 年代开始,几项关键发明的相继出现开始了虚拟现实发展的“萌芽期”。1957 年,摄影师 Morton Heiling 发明了一种模拟器,并给它命名为 Sensorama^[2],旨在通过气味发生器和振动椅等特定组件调动用户的所有感官,从而提供完整的多感官体验。Lvan Sutherland 在 1968 年研发出视觉沉浸的头盔式立体显示器和头部位置跟踪系统,同时在 1969 年开发了第一套头戴显示器,这也是第一个使用计算机生成的界面,使用户能够与 VR 进行更实时的交互。1989 年,“虚拟现实之父”Jaron Lanier 创造了“Virtual Reality”一词,使得 VR 的概念最终正式形成,这也标志着虚拟现实的发展步

入了“形成期”。1990 年,波音公司研究员 Tom Caudell 和他的同事在设计一个辅助布线系统时提出“Augmented Reality”这个名词。日本游戏公司任天堂在 1995 年首次将虚拟现实使用在游戏中,针对游戏产业推出 Virtual Boy,但是由于该设备成本太高,而当时的技术无法满足需要,以至于使 VR 的这次现身如昙花一现。2012 年 4 月,谷歌公司发布 Google Project Glass(谷歌眼镜)。这种增强现实的头戴设备通过眼镜上的微型投影仪把虚拟图像直接投射到人的视网膜上,用户看到的就是叠加过虚拟图像的现实世界,通过该设备也可直接进行通信。尽管谷歌眼镜最终没能成为增强现实技术的变革者,但却点燃了公众对增强现实的广泛兴趣,极大地推动了虚拟现实技术的普及和发展。2015 年,微软首次发布 MR 头戴显示器 HoloLens,该设备被誉为迄今已发布的体验最好的 MR 设备,还被美国军方采购,用于美军的实战和训练。2016 年,虚拟现实迎来了产业发展的“生长期”,脸书、微软、谷歌等互联网巨头企业开始进军虚拟现实产业布局,大量公司相继涌入该行业,因此 2016 年被称为 VR 元年。2017 年,苹果公司发布了基于 AR 的 iPhone X,把 AR 技术推向大众化。2018 年, Magic Leap 也完成融资,并于同年发布基于光场显示技术的 Magic Leap one。2019 年 2 月,微软公司同时发布了第二代 HoloLens 以及深度摄像头 Azure Kinect,该产品在第一代的基础上做出许多改良,在提高性能的同时也更加便携。

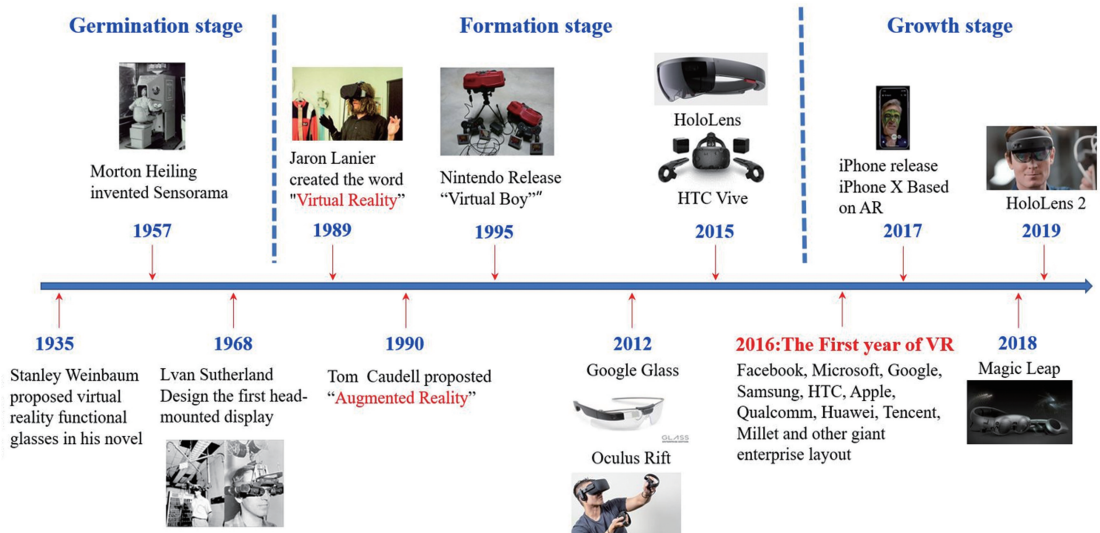


图 2 VR/AR/MR 的发展历程

Fig. 2 Development history of VR/AR/MR

2.3 虚拟现实的技术概要

在应用层面上,虚拟现实需要提供一个三维可交互的具有沉浸感的虚拟世界,因此创建虚拟的模型、声音等元素是必不可少的环节。为了增加体验的真实性,还需要实现一定的人机交互功能。为满足这些功能,虚拟现实需要的关键技术有显示技术、渲染技术、跟踪技术和人机交互技术。

1) 显示技术。目前虚拟现实产品主流显示方式为头盔式显示系统,其主要有基于双目视觉和基于光场的显示技术。双目视觉技术利用两眼接受不同的图像,将图像传输至大脑并进行分析,从而产生立体感。对于基于双目视觉的AR产品而言,往往需要增加装置,将信息耦合进波导器件,再传输至全息显示元件,从而获得虚拟场景与现实场景的并存效果。基于光场的显示技术一般在显示器前一定位置放置微透镜阵列,每个微透镜会形成像,然后在显示器上合成待显示的图像^[3]。从用户的三维体验效果来看,光场显示技术优于双目视觉技术。除上述二者之外,基于计算机全息的显示技术也广受青睐,该技术能在一定程度上改善前两者的不足,但是目前还难以实现高分辨率、大视场角(FOV),因此该技术还需继续完善。目前虚拟现实主流的显示屏有液晶显示器(LCD)和有机发光二极管(OLED)显示屏,但二者都有一定程度的缺陷。其中LCD显示屏有着较为严重的余晖现象,而OLED显示屏中每个像素间存在着分割网络的问题^[4],因此屏幕显示技术还有很大的提升空间。AR系统的显示方式大致分为光学透射式、视频透射式及近眼显示^[5]。由于显示器的像素尺寸是人眼所观察的像素尺寸的正切值与焦距的乘积,而FOV与焦距相关,导致随FOV的不断增大,显示器成像质量会明显下降,因此往往采用多个透镜拼接的方法来实现大视场和高分辨率^[6]。目前的头戴显示设备会由于辐辏-调焦冲突、画面质量过低等引发眩晕感,因此发展更加人性化的光学系统是当务之急^[7]。未来,虚拟现实设备将会重点向高分辨率、低时延、低功耗、广视角、可变景深、轻薄小型化等方向发展。

2) 渲染技术。虚拟现实内容的实现主要利用计算机图形学。开发人员需要将各种三维的数据拼接融合成自然的三维场景,其主要包括对虚拟环境中的模型、材质和贴图的整合及渲染,渲染的分辨率和帧率决定虚拟场景的逼真程度及性能,因此硬件的性能是制约渲染技术的重要因素。当前已提出针对不同区域进行具有差别的渲染方法,比较有代表

性的技术有多重分辨率着色渲染技术和焦点渲染技术。目前该技术的研究专注于提高硬件的使用效率,在未来,高画质、低时延、低功耗是渲染处理技术发展的主流方向。

3) 跟踪技术。跟踪技术是VR沉浸感的保障,也是虚拟现实用作医学导航的前提。目前AR和MR中一般使用SLAM技术来进行定位,一个完整的视觉SLAM系统由四部分组成,分别为前端视觉里程计、后端优化、回环检测和建图^[8]。该技术能快速识别地图坐标,实现对设备和特定目标长时间、高精度的定位。实时构建场景地图,可以让机器感知现实场景,实现自主规划路径。目前SLAM通过稀疏点云注册,未来可望通过密集点云配置更多的空间信息^[9],以提升虚拟现实技术的追踪性能。

4) 人机交互技术。人机交互技术可让用户摆脱鼠标、键盘等传统的机器式输入设备,直接用肢体或语音等方式与虚拟场景进行互动,以体验人机结合的效果。目前除了手势和语音以外,还有通过数据手套、手柄等设备在虚拟环境中进行人机交互。通过对虚拟环境进行移动、旋转、缩放或其他功能性指令,用户能得到相应的实时反馈,从而增强在虚拟世界中的体验感。

3 VR的医学应用

虚拟现实技术在医学领域具有广阔的应用前景,早在1985年,美国国立医学图书馆就开始人体解剖图像数字化研究,并利用虚拟人体开展虚拟解剖学、虚拟放射学及虚拟内窥镜学等计算机辅助教学。2016年,广州市正骨医院建立了全国首个“虚拟现实医院”,该医院旨在运用VR+3D技术,在医疗教学培训、远程医疗、康复治疗及心理治疗等多方面提供更好的解决方案。目前趋势表明,虚拟现实技术将会被加速推广至医疗领域,科研人员和医生们正在努力地将该技术融入到临床应用中。随着研究的不断深入,传统的二维医学将会被基于虚拟现实技术的三维重建、3D打印、虚拟仿真等方式的三维可视化医疗环境所取代^[10]。

3.1 “VR+”精神疾病治疗

虚拟现实技术具有高度沉浸感、可交互的特点,可以给医务人员提供一个理想的虚拟平台,构建不同的解决方案以满足患者的需求。在精神疾病的治疗中,在虚拟平台中加入特定的场景可缓解患者的症状。研究表明,基于虚拟现实技术的辅助疗法将有效减轻焦虑和抑郁症状的发生^[11]。目前大部分

VR 的精神治疗研究都是针对于焦虑症和恐惧症患者,使用暴露疗法往往是理想的治疗手段,因此将虚拟现实与暴露疗法相结合是一个很好的选择。Rizzo 等^[12]研究了创伤后的应激障碍,采用基于虚拟现实的暴露疗法来治疗伊拉克和阿富汗战争的退伍军人,以及经历过“911”袭击事件的民众,缓解了他们的焦虑和创伤后应激障碍,并相应开发了两个系统进行试验,取得了良好的疗效。虚拟现实技术能够让患者在多感官的虚拟环境中,以一种可控的、定制的方式,根据他们所焦虑的刺激源量身定制感受内容。虚拟环境可以调整视觉和听觉刺激、调动患者的触觉和振动感、添加相关气味,引导参与者在暴露期间参与多种感官活动。研究发现,在虚拟环境中添加嗅觉和听觉等额外类型的感知,还可以增强参与者的存在感和记忆力。虚拟现实技术采用三维视觉和位置传感器,基于传感器随着病人头部的自然运动而动态移动,使病人在暴露环境中获得高水平的存在感和亮度,这将比其他疗法更加专注有效。通过 VR 设备的指导,患者可以在相对轻松的环境下进行康复训练,这不仅使整个治疗过程变得有趣,还会大大提高治疗效果。随着 VR 应用成本的降低,VR 在精神病治疗中的应用将越来越广泛,不仅能为特定的恐惧症和创伤后应激障碍提供高质量的治疗选择,还可以为控制精神病实验研究提供机会。未来 VR 技

术的改进方向是完善、优化场景,丰富场景中的内容,适当增加互动,以及结合人工创造虚拟人物以治疗更多的精神疾病^[13]。

3.2 “VR+”电子病历系统

电子病历是一种以电子化的形式记录患者信息的系统,包含诊断记录、检查结果、手术记录、医嘱等,便于存储患者的病情和治疗记录等信息。现行的电子病历系统仅仅是纸质版病历的电子化,其内容和功能方面并未有较大突破。随着信息化的加快,未来的病历系统应该是一个可视化、具有可交互功能的系统。利用 VR 技术,将每位用户的器官三维模型上传至病历系统服务器,与用户的身份、病情等其他信息相匹配,并与相关的 VR 设备连接,便可建立基于虚拟现实的电子病历系统。如图 3 所示,该系统可以包括用户的身体三维模型、诊断记录、手术记录、医嘱等,患者可以通过移动设备以扫描二维码的形式访问该系统,并利用 VR 设备浏览携带自身健康信息的三维模型。用户还可以在医生的指导下,利用数据手套或者其他的交互工具进行简单的人机交互,以直观明了的方式查看各种信息的图解、医嘱^[14]。由于该系统具有便捷、直观的特点,故不仅可以使患者全方位了解自己的健康状况,有利于患者的情绪稳定,还能促进医患之间的交流,尽可能减少医患纠纷。

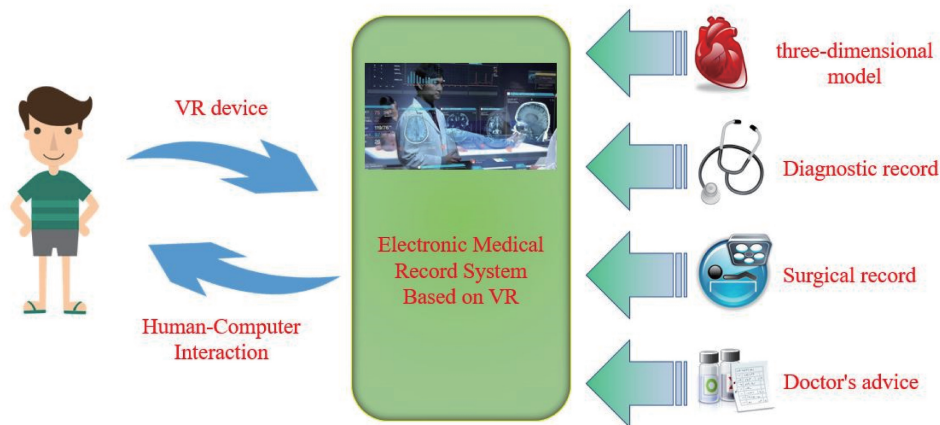


图 3 基于 VR 的电子病历系统

Fig. 3 Electronic medical record system based on VR

3.3 “VR+”医学教学

传统的医学教学方式主要是通过板书、幻灯片、视频等二维形式呈现给学生,由于这些授课方式缺乏立体感和交互功能,学生们难以在短时间内快速领会到组织的空间毗邻关系和解剖关系。VR 技术可以创造一个虚拟的三维课堂,将所需的课程内容经过计算机处理,加入必要的讲解,渲染之后发布到

VR 设备中。课堂上的虚拟现实会使抽象的内容更加具体、专业知识更加有条理,能全方位地展示教学内容,VR+教学的使用与课堂上讲义的使用相比,在学习性能和效率方面具有更好的效果^[15]。沉浸式 VR 在提高学生参与度、交互性和积极性方面具有巨大潜力,可以帮助学生有效识别病理细节,增强学生在可扩展的可视化环境中的空间理解能力^[16]。

不过关于 VR 在教学上的应用,主要还是针对内容的开发,相信在不远的将来,在课堂上使用 VR 教学是常态。

在手术模拟训练方面,虚拟现实技术也会发挥重要作用。手术操作技能练习的现行方式都是“师傅带徒弟”或者观看二维视频,针对的目标一般为尸体、动物和模拟人,这种方式的成本高昂、针对性差、重用度低,而且患者必须承受医生成长的代价。如果对真实人体进行静态多源采集,并通过几何、物理、生理和建模,构建数字化人体,再将其作为虚拟手术平台,这种方式不仅可以替代那些成本较高的练习素材,也能大大提高练习效果。这种以“VR+医疗”为基础的虚拟手术平台可让实习医生减少对动物、尸体的依赖,并且尽可能地降低以实际患者作为手术实习对象所存在的风险。更加重要的是,虚拟现实的训练平台可以提供高度仿真的触觉反馈,使得训练素材甚至优于尸体和动物^[17]。此外,虚拟现实手术平台可以创建自主学习管理、自主模拟练习、自主测评功能,该平台可成为新一代虚实融合的临床技能教学体系。可以预见,虚拟手术训练平台的应用将会在医学领域的人才储备上发挥重要作用。

4 AR/MR 的医学应用

增强现实技术的虚实结合、实时交互与三维配准的鲜明特点,无疑会给整个医疗行业带来福音^[18]。虚实结合是指能把虚拟的三维模型叠加到真实的场景当中,使真实场景中的事物更加直观明了,医生可以从中获取更多的三维可视化信息;实时交互功能大大简化操作的繁琐步骤,提高医疗人员工作效率;三维配准一般采用 SLAM 算法,使得整套系统具有精准感知能力,可靠性和安全性得到保障。在解剖练习、手术导航方面,AR 能够展现出针对性的优势。研究表明,AR 技术能帮助丧失某些功能的人群完成不可能完成的任务,即使是视力不佳的人群也能从 AR 设备中受益良多,这大大增加了 AR 技术的使用范围^[19]。

4.1 “AR+”外科手术导航

现行的外科手术导航都是通过 X 光、B 超、CT 等手段,以二维显示器显示信息作为指导,这类方法所呈现的患者信息缺失严重、可读性差,特别是组织结构的空间位置和毗邻关系缺乏立体感。医生往往依靠经验和直觉来判断病情,这是不完全可靠的,而且实施外科手术的医生往往存在有手眼不协调和深度感知丢失等问题。增强现实技术能够通过在原位

叠加三维信息来克服这些难题,这方面显示出该技术在术中导航的巨大潜力。在进行影像分析时,利用三维重建能更加准确地判断病灶,加快诊断效率;在面对复杂的解剖关系时,利用 3D 打印模型可以方便地进行术前规划,并且能减少造影剂的使用剂量,将潜在的肾病风险降到最低^[20]。在手术过程中,增强现实的虚拟三维模型不会阻挡真实的环境,而是将虚拟信息叠加在真实环境上,在不干扰原始任务的情况下提供直观的指导。由于具有直观性,增强现实技术可以在手术中简化操作程序,并给出精确判断,这将减少麻醉时间,还能降低手术不良后果的发生概率^[21]。实时交互的功能也允许外科医生充满血渍的手来进行手势操控,能便捷地转换自己需要的视野或者其他指导。因此,在像外科手术这样的敏感操作中,选择 AR 技术能够提供更安全的操作环境和更高的手术效率^[21-22]。研究表明,AR 系统在安全可靠等方面已足以跟传统导航技术相媲美,其精确度和安全性也能满足常规临床实践^[23]。

AR 辅助外科手术导航主要包括手术规划、精准定位、混合跟踪、融合显示,具体流程如图 4 所示。采用 CT 得到二维图像;然后利用图像处理软件将目标区域分割出来,目前主要用到的分割方法为阈值分割、区域增长分割、交互式分割^[24];分割出来的目标区域可以重建出三维模型;再将该三维模型通过 3D 打印技术得到实体,便于更加直观地进行手术规划;与此同时,使用 Unity3D 等开发软件将分割完成的目标区域三维模型发布到 AR 设备,在进行手术之前,需要用到跟踪器、摄像头等器件,在三维配准的算法支持下,利用相机、标志物以及各参考系的位置坐标之间的换算来实时定位,将三维模型与病人真实部位叠加、配准^[25]。在手术过程中,通过这种虚拟的三维模型与真实患者的精确配准,外科医生可以借助 AR 设备进行手术导航与实时交互,能方便高效地完成手术。

4.2 “AR+”微创手术

微创手术是现代医学进步的产物,由于其创口小、痛苦小、恢复快等优点,造福许多患者。但是微创手术开始应用至今,最为关键的成像问题却一直没有得到改变。就心血管疾病而言,实施这种介入治疗的最大难题之一是血管外科医生必须通过二维的血管造影图像联想到三维血管形状,因此改善血管成像是微创手术成功的一个关键要素,血管与手术工具的空间位置和方向的可视化对微创手术的成功都有着不可忽略的影响。现行的微创手术的

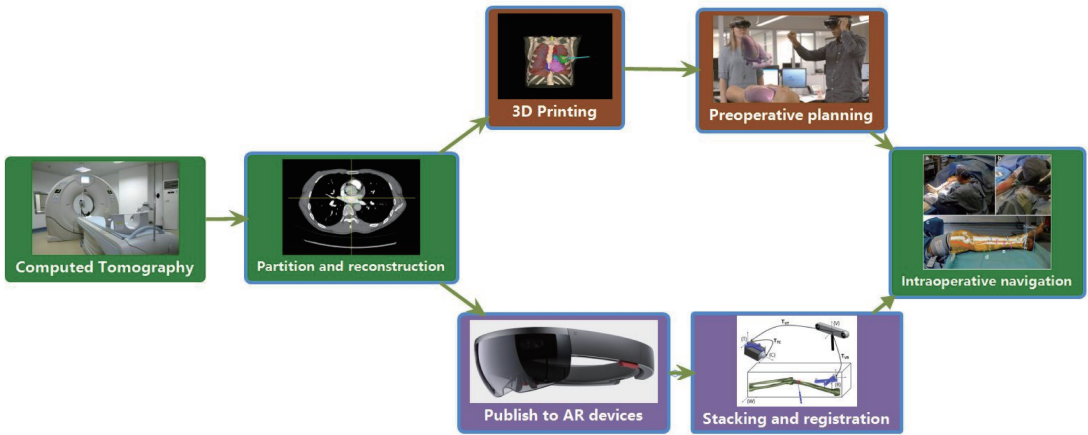


图 4 AR 辅助外科手术导航

Fig. 4 AR assisted surgical navigation

成像主要依靠内窥镜成像、B 超成像和 X 光成像。内窥镜通过表面成像,故皮下信息容易缺失,这是由于体内环境所限导致内窥镜的视野狭窄;B 超通过断面回波成像,该成像方式往往有很强的噪声干扰,得到的仅仅是模糊的二维图像,缺乏三维信息;X 光技术借助透视投影成像得到骨骼或组织的投影图,这种图像往往多种组织成像的交叠,同样缺少三维信息。总体看来,问题还是在于成像质量差、精准定位难、空间信息少。根据前文介绍,使用增强现实技术引导手术将会解决这些问题。在介入手术中,增强现实技术对患者身体三维重建解剖结构、肿瘤靶点和介入器械的可视化,使介入过程更加简单、自信地进行,因而具有更高的靶向精度^[26]。使用基于外部标记的特殊标定,虚拟模型与真实场景精确配准,可以产生高还原度的全息视觉。因此基于增强现实的“虚拟血管镜”可以改善心血管疾病的术中视场,使引导线和手术工具的放置合理化,还可以减小造影剂的数量,减少对 X 射线的暴露^[27]。可以预见,增强现实技术将会利用可视化信息代替传统的二维

图像,使得微创手术应用更加广泛,进而造福更多患者。

4.3 “MR+”医学应用

微软的 HoloLens 混合现实设备是一种光学透明、完全独立的全息计算机,其成像方式同样是基于双目视觉的解决方案。作为第一款具有广泛临床应用潜力的混合现实产品,无需任何辅助设备就可以实现自动跟踪和信息渲染,大大简化了装置,便于集成到手术室中。如图 5 所示,HoloLens 全息可视化的图像方便在无菌环境下实现与临床数据的无接触交互,有助于从术前的虚拟手术计划过渡到术中混合现实的手术操作,从而帮助医生做出相应的决策。此外,由于使用深度传感器和摄像头的强大手势跟踪功能,用户完全可以用戴着手套、甚至不干净的手来操作 HoloLens,这方面非常适合匆忙的手术室环境^[28-29]。它还可以以一个无线病人数据监视器的方式创建一个全息助理医生,允许医生通过 WI-FI 免提访问病人的实时动态,查看新旧检查结果,甚至可以处理实时数据。医生可以在办公室、病房、或者在

图 5 利用 HoloLens 进行术中导航^[21]Fig. 5 Intraoperative navigation performed based on HoloLens^[21]

其他地方便捷实施检测^[30]。HoloLens 的计算能力强大,并支持高分辨成像,适合远程访问,可帮助病理学家在混合现实环境下提供远程指导,辅助诊断、治疗的完成。在目标区域实时注释指导信息,直观明了,可以方便快捷地协作沟通,有利于手术快速高效的完成^[31]。

2016 年杜克大学两名神经外科医生将混合现实技术运用在盲区手术中,使用 HoloLens 作为手术的辅助平台,获得实时反馈。2017 年维卓致远公司发布了星图全息影像系统,这是中国首套基于 HoloLens 的 MR 手术导航系统。同年,华中科技大

学武汉协和医院骨科医生叶哲伟教授团队完成世界首例在混合现实技术引导下的复杂髌骨骨折手术。2018 年 10 月,HoloLens 取得 DFA 证书,成为美国食品和药物管理局认可的第一个医疗 AR 解决方案。

本课题组与福建医科大学联合攻关,初步开展基于混合现实技术的全息医学影像 3D 可视化与导航系统研究。图 6 为课题组利用 HoloLens 进行混合现实引导手术的临床研究,尽管该次试验充分验证了该技术的可行性,但同时也发现配准不精确、存在时差等问题,这些经验将为课题组后续工作的开展提供依据。

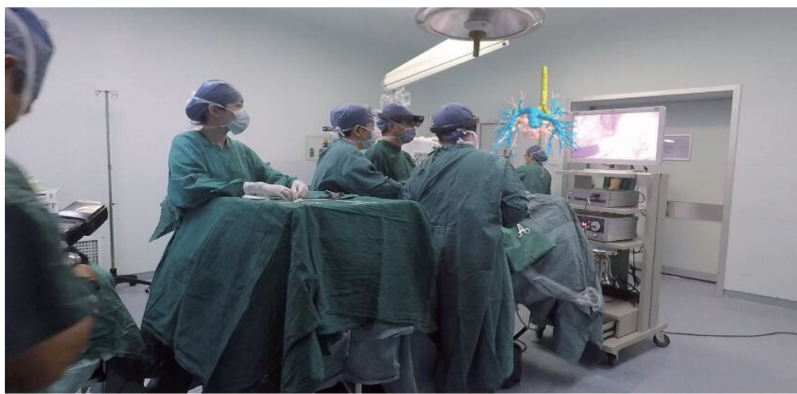


图 6 在福建医科大学附属协和医院利用 HoloLens 引导手术

Fig. 6 Operation guided by HoloLens in union hospital affiliated to Fujian medical university

研究表明,HoloLens 在脸部检测和情绪识别方面也能起到一定的作用^[32],故而拓宽了该产品作为混合现实头戴设备的应用潜力。在某些方面 HoloLens 也有待改进,如 MR 目前尚无法将影像精确重叠于患者身上的复杂部位,更无法随病人体位的变动而实时随动,始终保持精确叠加状态。目前仅能供术者参考术前所建立的立体解剖关系,且需要他人调整虚拟模型的呈现形态、角度和位置等。我们完全可以期待,未来将会有更先进的 MR 技术相关设备来解决这些难题,让“MR+医学”造福于整个医疗行业。

5 结束语

虚拟现实技术的特点与医学领域高度契合,有望成为最有前景的三维可视化解决方案,在临床治疗、医学教学、手术导航等方面都能发挥重要作用。目前国内虚拟现实产业已经初具规模,产业生态初步形成,在硬件、软件、内容制作与分发、应用与服务等环节逐步完善。在过去的 20 年里,有几百名研究人员探索了这项技术,并且产生 1000 多篇科学论文^[33]。这些知识的积累将会使虚拟现实进一步扩

大应用领域,越来越面向大众。尽管娱乐、游戏和沟通技术将会是 VR/AR/MR 突破市场、开始崭露头角的基础领域,但是从总体来看,健康及医疗护理领域才是与该技术契合度最高的应用领地。

我国虚拟现实行业正处于世界前沿地位,但要真正实现一个自然可交互、高度沉浸感且易于普及的虚拟现实医疗系统,仍面临很多的技术难题。目前市场上的 VR 设备往往体积较大,且较为笨重,不利于用户的体验。同时,内容不够丰富,形式比较单一也是限制 VR 领域快速拓展的问题所在。由于人眼的光线成像点和 VR/AR 产品的调焦点不完全重合,会产生辐辏-调焦冲突,让医生长时间佩戴容易感觉眩晕,不适合在手术室中持续使用^[3]。对于 AR/MR 产品而言,在医疗应用的时候可能还会出现注册错误、视觉遮挡、层间干扰、渲染质量差等问题。此外,精度和延迟问题还会受到网速和感知能力的限制,从而导致与三维模型的交互不够自然。因此,在图像处理方面,分辨率、眩晕控制、视点渲染、视角控制成为下一步突破方向;在交互技术方面,惯性动作捕捉、光学跟踪、语音识别、眼球追踪、空间交互等多项技术应更大规模应用,并进行优化。

我们寄希望于整个产业的突破性进展,首先需要加强培养虚拟现实方向的专业人才,充实该领域的科研队伍;其次也要加大研制具有较高智能化生产工具的力度^[34]。医疗行业人士应该将自己的知识和经验转化成虚拟现实里的内容,加速在医院中推广和应用,以获得临床经验更好的优化解决方案。相信在不远的将来,虚拟现实技术会应用到各个医院以及医学院校中,使医疗行业的学习和工作的成本更低、效率更高。随着 5G 时代的到来以及配准算法的改进,将会使动态配准问题得以解决,从而使虚拟现实系统在医疗和医学教学领域的发展产生新的飞跃^[35]。

参 考 文 献

- [1] Chen H, Yan L C, Chen X P, et al. A survey of virtual reality technology and its applications in electric power industry [J]. *Electric Power Information and Communication Technology*, 2017, 15(5): 16-21.
陈昊, 闫龙川, 陈新鹏, 等. 虚拟现实技术及其在电力行业的应用[J]. *电力信息与通信技术*, 2017, 15(5): 16-21.
- [2] Maples-Keller J L, Bunnell B E, Kim S J, et al. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders[J]. *Harvard Review of Psychiatry*, 2017, 25(3): 103-113.
- [3] He Z H, Sui X M, Zhao Y, et al. The development trend of virtual reality and augmented reality technology based on holographic optics[J]. *Science & Technology Review*, 2018, 36(9): 8-17.
何泽浩, 隋晓萌, 赵燕, 等. 基于全息光学的虚拟现实与增强现实技术进展[J]. *科技导报*, 2018, 36(9): 8-17.
- [4] Huang J T. Application of virtual reality in multidiscipline [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2018(16): 140-141.
黄璟彤. 虚拟现实在多领域内的应用[J]. *电子技术与软件工程*, 2018(16): 140-141.
- [5] An Z, Xu X P, Yang J H, et al. Calibration method of optical transmission AR-HUD system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2019, 48(4): 0412002.
安喆, 徐熙平, 杨进华, 等. 光学透射式 AR-HUD 系统的标定方法研究[J]. *光子学报*, 2019, 48(4): 0412002.
- [6] Wang S M, Cheng D W, Huang Y F, et al. Design of wide FOV optical-tiled head-mounted display with high-resolution [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(6): 062201.
王士铭, 程德文, 黄一帆, 等. 大视场高分辨率光学拼接头盔显示器的设计[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(6): 062201.
- [7] Wang Y T, Cheng D W, Xu C. Display technologies in virtual reality systems [J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2016, 46(12): 1694-1710.
王涌天, 程德文, 许晨. 虚拟现实光学显示技术[J]. *中国科学:信息科学*, 2016, 46(12): 1694-1710.
- [8] Gao X, Zhang T, Liu Y, et al. Visual SLAM 14 lecture: from theory to practice [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.
高翔, 张涛, 刘毅, 等. 视觉 SLAM 十四讲: 从理论到实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [9] Zheng G Q, Zhou Z P. Improved augmented reality registration method based on VSLAM[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(6): 061501.
郑国强, 周治平. 一种基于视觉即时定位与地图构建的改进增强现实注册方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(6): 061501.
- [10] Khor W S, Baker B, Amin K, et al. Augmented and virtual reality in surgery: the digital surgical environment: applications, limitations and legal pitfalls[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2016, 4(23): 454.
- [11] Zeng N, Pope Z, Lee J, et al. Virtual reality exercise for anxiety and depression: a preliminary review of current research in an emerging field[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2018, 7(3): 42.
- [12] Rizzo A, Cukor J, Gerardi M, et al. Virtual reality exposure for PTSD due to military combat and terrorist attacks [J]. *Journal of Contemporary Psychotherapy*, 2015, 45(4): 255-264.
- [13] Zhu J W, Pan Z X, Chen S, et al. Application and prospect of virtual reality in medical field[J]. *Basic & Clinical Medicine*, 2018, 38(3): 422-425.
朱佳伟, 潘周娴, 陈适, 等. 虚拟现实技术在医学领域的应用及展望[J]. *基础医学与临床*, 2018, 38(3): 422-425.
- [14] Weng M H, Huang L F, Feng C, et al. Electronic medical record system based on augmented reality[C]// 2017 12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE), August 22-25, 2017, Houston, TX, USA. New York: IEEE, 2017: 753-756.
- [15] Yip J, Wong S H, Yick K L, et al. Improving quality of teaching and learning in classes by using augmented reality video [J]. *Computers &*

- Education, 2019, 128: 88-101.
- [16] Wang P, Wu P, Wang J, et al. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(6): 1204.
- [17] Hamacher A, Whangbo T K, Kim S J, et al. Virtual reality and simulation for progressive treatments in urology [J]. *International Neurourology Journal*, 2018, 22(3): 151-160.
- [18] Liu Q, Chen Y, Lin J, et al. Augmented reality technology and its application prospect in health education [J]. *Journal of Nursing Science*, 2017, 32(16): 103-106.
刘琦, 陈燕, 林静, 等. 增强现实技术及其在健康教育中的应用前景 [J]. *护理学杂志*, 2017, 32(16): 103-106.
- [19] Kinader M, Gualtieri J, Dunn M J, et al. Using an augmented reality device as a distance-based vision aid: promise and limitations [J]. *Optometry and Vision Science*, 2018, 95(9): 727-737.
- [20] Witowski J, Darocha S, Kownacki Ł, et al. Augmented reality and three-dimensional printing in percutaneous interventions on pulmonary arteries [J]. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2019, 9(1): 23-29.
- [21] Pratt P, Ives M, Lawton G, et al. Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels [J]. *European Radiology Experimental*, 2018, 2: 2.
- [22] Wang S Y, Parsons M, Stone-Mclean J, et al. Augmented reality as a telemedicine platform for remote procedural training [J]. *Sensors*, 2017, 17(10): 2294.
- [23] Vávra P, Roman J, Zonča P, et al. Recent development of augmented reality in surgery: a review [J]. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 2017: 4574172.
- [24] Tian J, Zhao M C, He H G. Development and implementation of medical imaging toolkit [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
田捷, 赵明昌, 何晖光. 集成化医学影像算法平台理论与实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [25] Bong J H, Kim H, Park S. Development of a surgical navigation system for corrective osteotomy based on augmented reality [J]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2017, 18(7): 1057-1062.
- [26] Solbiati M, Passera K M, Rotilio A, et al. Augmented reality for interventional oncology: proof-of-concept study of a novel high-end guidance system platform [J]. *European Radiology Experimental*, 2018, 2: 18.
- [27] Kuhlemann I, Kleemann M, Jauer P, et al. Towards X-ray free endovascular interventions-using HoloLens for on-line holographic visualisation [J]. *Healthcare Technology Letters*, 2017, 4(5): 184-187.
- [28] Tepper O M, Rudy H L, Lefkowitz A, et al. Mixed reality with HoloLens: where virtual reality meets augmented reality in the operating room [J]. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 2017, 140(5): 1066-1070.
- [29] Jang J, Tschabrunn C M, Barkagan M, et al. Three-dimensional holographic visualization of high-resolution myocardial scar on HoloLens [J]. *PLoS One*, 2018, 13(10): e0205188.
- [30] Proniewska K, Dołęga-Dołęgowski D, Dudek D. A holographic doctors' assistant on the example of a wireless heart rate monitor [J]. *Bio-Algorithms and Med-Systems*, 2018, 14(2): 20180007.
- [31] Hanna M G, Ahmed I, Nine J, et al. Augmented reality technology using microsoft HoloLens in anatomic pathology [J]. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 2018, 142(5): 638-644.
- [32] Mehta D, Siddiqui M F H, Javaid A Y. Facial emotion recognition: a survey and real-world user experiences in mixed reality [J]. *Sensors*, 2018, 18(2): 416.
- [33] Cipresso P, Giglioli I A C, Raya M A, et al. The past, present, and future of virtual and augmented reality research: a network and cluster analysis of the literature [J]. *Frontiers in Psychology*, 2018, 9: 2086.
- [34] Zhao Q P, Zhou B, Li J, et al. A brief survey on virtual reality technology [J]. *Science & Technology Review*, 2016, 34(14): 71-75.
赵沁平, 周彬, 李甲, 等. 虚拟现实技术研究进展 [J]. *科技导报*, 2016, 34(14): 71-75.
- [35] Chen D Y. Spatial depth perception in augmented reality [J]. *ZTE Technology Journal*, 2017, 23(6): 10-13.
陈东义. 增强现实中的空间深度感知问题 [J]. *中兴通讯技术*, 2017, 23(6): 10-13.