

# 一种高效鲁棒的元宇宙环境下的多场景智能医疗模型研究

朱玖闻, 周玉冰, 斯洪标, 徐亮

湖南财信金融控股集团有限公司, 湖南 长沙 410015

## 摘要

现今医疗行业普遍存在医疗资源和教育资源不均衡、医疗体系智能化水平低、手术操作依赖个体经验等问题, 拥有沉浸、互动特点的元宇宙为以上问题提供了解决方案。但现有的解决方案多基于虚拟现实或人工智能中的一种技术, 针对特定的手术或疾病诊断问题进行探索, 少有针对多功能、多场景应用的医疗元宇宙进行的系统研究。基于此, 提出了元宇宙环境下的多场景智能医疗模型框架 (MetaMed), 从接入层、数据层、技术层、应用层自底向上阐述了模型的框架设计。该框架在智能手术、线上会诊、医疗培训、机器人手术和门诊挂号5种应用场景中给出了数学描述, 并为未来医疗元宇宙的构建提供参考。

## 关键词

元宇宙; 医疗大数据; 人工智能; 智能医疗

中图分类号: F49, F270. 7, TP399

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2023006

## *An efficient and robust multi-scenario artificial intelligent medical model based on metaverse*

ZHU Jiuwen, ZHOU Yubing, SI Hongbiao, XU Liang

Hunan Chasing Financial Holdings Co., Ltd., Changsha 410015, China

## *Abstract*

Unbalanced medical and educational resources, low intelligence of the medical system, and reliance on individual experience in surgical operations are common in medical trade. The metaverse with immersive and interactive features is an effective tool to solve the problem. However, most of the existing solutions are based on a specific technology of virtual reality or artificial intelligence or a specific operation, and there is little systematic research on the multi-functional and multi-scenario medical metaverse. Therefore, a multi-scenario artificial intelligent medical model based on metaverse (MetaMed) was proposed, which elaborated the bottom-up implementations from four layers, including the access layer, data layer, technology layer and application layer. MetaMed was mathematically applied in five medical scenarios, i.e., intelligent surgery, online consultation, medical education, robotic surgery and outpatient registration scenarios, which provides references for the construction of medical metaverse in the future.

## *Key words*

Metaverse, medical big data, artificial intelligence, intelligent healthcare

## 0 引言

医疗行业是各个国家的重要支柱产业之一,它与人们的健康状况息息相关。近年来,中国人口老龄化不断加速,对医疗需求增加的同时也给行业带来不少压力和挑战。目前,医疗领域吸纳了众多先进技术,如人工智能、区块链、虚拟现实等,并已应用在医疗服务、健康监测、疾病诊疗等方面。但现有技术仍难以解决高精尖医院看病困难、医疗服务效率低、医生手术操作存在差异、医疗教育资源不均衡等问题。

近年来,元宇宙(metaverse)的概念引起全球的关注,并成为医疗、游戏、金融、教育、文娱、电商等众多行业的聚焦热点和创新趋势。目前,元宇宙可定义为容纳了人工智能、Web3.0、5G/6G、区块链、增强现实和虚拟现实等诸多先进技术,并与真实世界链接的平行数字宇宙<sup>[1]</sup>。其沉浸式、互动性、虚实融合等特征为众多行业带来了更高效、更具成本效益的办公模式。容纳多技术、多场景的虚拟世界数字平台医疗元宇宙有望解决医疗行业中现存的难题。

元宇宙以及相关技术能够打破医疗健康领域的传统模式,目前有不少综述对元宇宙在医疗领域的应用进行探讨<sup>[2-5]</sup>,论述了元宇宙以及相关技术在医学领域应用的可能性,包括远程手术、医学教育、手术模拟、可视化诊断等<sup>[4]</sup>。此外,已有较多研究基于虚拟现实、增强现实、数字孪生等元宇宙相关技术在部分医学领域进行了探索和应用。例如,虚拟教室、解剖教具、临床模拟等应用能为医学生提供身临其境的教学体验,提高教学质量和学生的实践能力,同时有效解决医学教育资源不均衡和

优质医学教育资源稀缺的问题<sup>[6]</sup>;基于数字孪生技术的虚拟患者模型构建功能可为患者提供更精确的个性化护理<sup>[5,7]</sup>;基于手术机器人辅助的智能手术能提高手术的精确性,降低手术的个体化差异,保证手术质量<sup>[2,8]</sup>。

然而,现有的大部分关于元宇宙医疗的研究仅探索一类相关技术或仅针对某一特定问题,少有对多功能、多场景的医疗元宇宙进行深入探索的系统性研究;此外,现有的基于元宇宙医疗的综述研究仅对医疗元宇宙的宏观设想和发展趋势进行了描述,少有对实现方式和技术细节进行的框架设计和深入分析。基于此,本文提出了元宇宙环境下的多场景智能医疗模型框架(MetaMed),其集成多种技术,并能够应用于多种医疗场景,包含了接入层、数据层、技术层、应用层4个层级,涵盖了医疗元宇宙个体接入、数据管理、技术支撑到应用场景全流程。接入层通过接入多个数据平台、集成医学测量仪器、设计相关设备和监测卫生安全实现各场景数据连通;数据层通过数据预处理、数据标准化和数据分类实现对数据的初步整理和归类存储;技术层集成场景支持、传输支持和算法支持模块,实现人体三维重建、手术指导等模型构建;由此支撑应用层培训学习、智能手术、线上会诊等医疗场景的落地。

本文的主要贡献如下:

- 从接入层、数据层、技术层、应用层4个维度详细阐述MetaMed的实现方法;
- 通过MetaMed探讨元宇宙医疗场景下虚拟现实、增强现实、5G/6G、数字孪生、医疗大数据等技术的技术融合点;
- MetaMed打通多种医疗应用场景,包括培训学习、智能手术、线上会诊、机器人手术和门诊挂号5个场景,有效覆盖单一技术无法解决的医疗难点问题。

## 1 相关工作介绍

### 1.1 增强现实技术在医学中的应用

增强现实 (artificial reality, AR) 作为元宇宙的重要支撑技术, 能够为诊断、临床、科研教学等医疗保健领域提供服务。按照显示技术分类, AR技术可以分为手持显示型、头盔显示型、投影显示型等<sup>[9]</sup>, 其中手持显示型主要指智能手机等允许用户手持的智能终端; 头盔显示型能够通过智能眼镜或头盔等设备让用户获得更强的沉浸感, 包括基于光学原理的光学透视型和基于摄像机原理的视频透视型; 投影显示型将虚拟内容投影到现实环境中, 从而使用户无须佩戴设备也可进行体验。通过各类显示设备, AR技术将字符、图形等内容叠加或融合到现实世界中, 由此为用户增强视觉效果、呈现虚拟内容<sup>[10]</sup>。该项技术能帮助医疗人员快速获得信息, 提高临床手术、诊疗和科研教学的精准度。在远程门诊实践中, 身体传感器网络能够远程监测、收集实时生理数据, AR技术与身体传感器的结合可以提升智能设备的性能, 帮助医疗人员完成远程诊疗<sup>[3]</sup>。

AR技术在临床手术领域也得到了广泛应用, 医疗人员利用基于显微镜、头戴式显示器的AR系统在脊柱手术中实现AR导航, 比传统的脊柱手术更精确, 工作流程更精简。研究表明, 在该手术中患者和医疗人员所受的辐射剂量都有所减少<sup>[11]</sup>。微软的HoloLens AR智能眼镜作为AR手术工具, 能为手术解剖提供可视化服务, 协助医疗服务提供者进行即时的手术工作和伤员护理<sup>[12]</sup>; Johns Hopkins大学首次应用Xvision Spine System进行的脊柱手术中, 在基于AR技术的头戴式显示器和导航系

统的协助下, 医疗人员实现连续放置205枚胸椎、腰椎和骶椎椎弓根螺钉的操作, 并达到98.0%的准确性, 这使得实现高效、安全和准确的脊柱器械放置成为可能<sup>[13]</sup>。

除此之外, 运用AR技术进行生理学、解剖学等课程的教学和培训, 探索创新高效的授课模式也是医学教育领域研究的重要方向。结合AR技术, 医学生可以更便捷、准确地学习到难以直接观察、难以文本描述或者学习成本较高的医学知识。微软基于RoomAlive系统提出AR医疗教育系统, 通过投影映射实现增强功能, 在身体移动时实时显示肌肉和骨骼等解剖信息<sup>[14]</sup>。由此医学生能够更直观地了解人体肌肉模型和骨骼模型, 老师能更清晰方便地标注和解说患处。此外, 医学生也可以通过Curiscope的AR T恤察看人体内部器官、动静脉、骨骼等, 能够更好地学习人体内部结构, 从而获得高质量的解剖学教学资源<sup>[15]</sup>。

### 1.2 虚拟现实技术在医学中的应用

虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术通过VR眼镜等显示设备和体感系统等交互设备, 生成感官丰富的可交互虚拟环境, 为用户提供沉浸式的虚拟体验。根据各VR系统的特征, 可以主要分为沉浸式、桌面式、分布式和增强式VR系统<sup>[16]</sup>。沉浸式VR系统通过头盔显示器、数据手套等设备让用户沉浸于虚拟环境中; 桌面式VR系统以计算机屏幕或单投影墙为窗口, 因此沉浸感较弱; 分布式VR系统结合VR技术和网络系统, 构建了一个可以多人使用的网络虚拟世界; 增强式VR系统则是AR技术和VR技术的融合。VR技术的沉浸性、交互性、构想性等特征能有效模拟真实环境、提高虚拟世界的真实性。在VR技术协助下, 患者的生理健康数据可以被

上传到虚拟世界中, 医疗人员可在虚拟世界中为患者提供有效的诊疗服务<sup>[3]</sup>。由此, 在虚拟世界中进行模拟手术或者术前规划, 在虚拟教室中进行科研教学都将成为可能。

虚拟现实暴露疗法 (virtual reality exposure therapy, VRET) 是创伤后应激障碍 (post-traumatic stress disorder, PTSD) 这一医学挑战的有效解决方法, Rizzo 等人<sup>[17-18]</sup>通过虚拟伊拉克/阿富汗系统 (Bravemind) 为退伍军人提供创伤后应激障碍治疗。患者进入虚拟世界, 模拟自身的经历并进行心理疗愈。目前该方法已得到有效成果, 有研究对 Bravemind 系统进行扩展, 按照以用户为中心的迭代设计方法扩充了越南虚拟环境, 从而为老年退伍军人提供 PTSD 治疗<sup>[19]</sup>。同样在心理健康领域, VR 技术能应用于注意力缺陷多动症 (ADHD) 等心理问题场景<sup>[20]</sup>, 对心理健康进行心理干预。

VR 技术使医生能够进行精确的手术规划。研究人员利用 VR 技术能构建肝脏手术的术前 3D 模型, 并在虚拟世界中进行展示。通过该应用, 医生能够在肝脏表面绘制潜在的切除线, 进行术前三维肝脏手术规划<sup>[21]</sup>; 在手术中, 精准的解剖结构及其动力学对于外科医生而言至关重要。而基于 VR 的手术模拟可以为医生提供沉浸式体验, 对此进行特定的练习和模拟。并且, 考虑到大众的治疗方案对某些病情特殊的患者并不适用, VR 技术能够结合病人专用模型和病人专用医疗图像数据 (如电子计算机断层扫描、磁共振成像或超声波) 提供的计算解剖模型为特定病人定制治疗方案, 并使外科医生在虚拟世界中对该特殊手术加以练习, 从而提高诊疗的精准性<sup>[22]</sup>。

VR 技术支撑的沉浸式虚拟世界能为教师和学生带来身临其境的教学体验, 并

且其成本效益高、可重复、标准化的特点使得 VR 技术能作为强大的教学工具颠覆未来的医疗教学模式。目前, 已有众多研究探索 VR 技术在医学科研、教育和培训场景中的应用。微创手术 (如 ARC 手术) 的操作空间狭小, 解剖结构复杂, 需要复杂的手眼协调技能和主观性, 导致外科医生的 ARC 培训非常具有挑战性。Dinc 等人<sup>[23]</sup>提出了基于 VR 技术的骨钻模拟方法, 用于 ARC 手术培训。在医疗护理领域, VR 技术同样有较多的应用成果<sup>[24-26]</sup>, VR 可针对复杂救护程序对临床医生进行培训, 比如经静脉拔铅、心肺复苏训练等。学者们不断拓展 VR 技术应用于医疗教学的边界, 而“VR 技术+医疗教学”的创新教育模式也被证实能取得比传统教育更佳的教学成果<sup>[27-28]</sup>。Zhao 等人<sup>[27]</sup>通过元分析, 认为接受传统教育和基于 VR 教育的医学生在考试通过率方面存在着统计学上的显著差异。研究结果表明, VR 技术有利于教学质量的提高, 能在未来的医学教育中发挥重要作用, 为医学教育提供新方向。

### 1.3 人工智能技术在医学中的应用

随着芯片等计算机硬件设备的不断更新换代, 算力性能、算法效率、数据积累与日俱增, 人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术在多个医疗场景中均有应用, 如医学影像分析、疾病预测、药物制造等。同时, 深度学习算法能够通过多层神经网络对各类复杂的非线性问题构建模型, 从而有效分析专业医学领域的海量数据。

从高维和异构数据中解读医学实验数据、图像数据并将其用于复杂疾病的诊断和治疗一直是医学界的难题。监督学习 (supervised learning) 常用于各种格式文件 (如照片、文档或书面文字) 的建模。

在医疗保健领域,输入数据既包括定量、变量,也包括文本或图像(临床、放射学、组织学、血液学细胞图像),而输出数据可以是癌症或非癌症、患病或健康的分类结果,也可以是预测评分或临床指标等定量数据,通过监督学习在特征数据集下训练模型,能够实现高效的临床数据自动分类<sup>[29]</sup>。基于监督学习的数据处理、预测、分类已成为某些临床工作的流程之一,如血液数字形态分析仪目前已得到大量应用<sup>[30]</sup>。

考虑到监督学习对大量数据的标注有较强的依赖性,而医学数据的标注需要耗费较高的成本和时间,因此有研究通过半监督学习(semi-supervised learning)的方式,使用部分标记和部分没有标记的数据集进行训练。Wang等人<sup>[31]</sup>提出使用FocalMix半监督学习方法进行三维医学图像检测,并在肺部结节检测数据集LUNA16和NLST上进行实验。在图像分割领域,Yang等人<sup>[32]</sup>提出使用联邦半监督学习方法对三维胸部电子计算机断层扫描中的新冠影响区域进行图像分割,充分利用有限的标注数据实现有效训练。也有研究<sup>[33]</sup>将注意力机制引入半监督学习,提出基于注意力的多任务半监督学习方法,用于脑瘤和白质超密集区的图像分割。Wang等人<sup>[34]</sup>提出了基于半监督学习的病人相似性测量方法,通过异质电子病历数据测量病人相似度。

不同于监督学习和半监督学习,无监督学习(unsupervised learning)使用原始的未标记的训练数据进行训练。由于医生的标注并不总是有效的,有可能存在偏差,因此无监督学习算法在医学分析中有很多优势<sup>[35]</sup>。深度信念网络、深度玻尔兹曼机和生成对抗网络等无监督学习算法在医学图像分类<sup>[36]</sup>、图像分割<sup>[37-39]</sup>、数据分析<sup>[40]</sup>等场景下有大量应用和发展,具体内容见表1。目前人工智能算法不断迭代

优化,云计算的发展使计算资源更容易获取,未来AI技术可能取代专家,由辅助决策变为诊疗主导<sup>[35]</sup>。

表1中,本节系统性梳理了医疗元宇宙相关的综述性研究以及AR技术、VR技术和AI技术这些元宇宙相关技术在疾病诊断、术前规划、临床手术、健康护理、教育培训等医疗领域中取得的成果。目前的综述仅对元宇宙的发展现状进行了描述和对未来的潜力和挑战进行设想,少有论文能够集成各类技术提出可实现的医疗元宇宙框架,并将其应用于详细的医疗场景中;研究类论文则大多数将某单一领域的技术应用于医疗领域的某单一场景,对特定的问题进行研究,例如利用AR技术进行癌症监测、脊柱手术导航协助;将VR技术应用于临床手术的术前规划,如肝脏手术、下颌骨切割手术等;AI技术则更多应用于医疗图像分析领域。而医疗行业问题错综复杂,各类场景交互相通,亟须系统性的医疗模型框架,形成针对医疗资源、就医效率、诊疗难度等多种问题的解决方案。基于此研究思路,本文通过集成元宇宙多类前沿技术,构建多层次、多功能、多场景的医疗模型框架,详尽描述模型的实现方法,深入分析应用场景,探讨基于元宇宙的医疗行业创新发展方向。

## 2 元宇宙环境下的多场景智能医疗模型框架

本文在现有医学理论及元宇宙技术研究的基础之上,结合实际应用场景,对元宇宙医疗进行了探索与实践,并提出了元宇宙环境下的多场景智能医疗模型框架(MetaMed),如图1所示。本文提出的框架自下而上分为4层,分别是医疗元宇宙接入(medical metaverse access)

表1 基于元宇宙相关技术的医疗研究

方法	应用	作者	发表时间	
综述类研究	探讨可应用于教育、远程护理、机器人手术等场景的脊柱元宇宙 (spinemetaverse)	Chapman J Ret al <sup>[2]</sup>	2022	
	基于AR、VR、区块链等技术探讨医疗保健元宇宙的发展与挑战	Mejia J M R and Rawat D B <sup>[3]</sup>	2022	
	描述元宇宙在医疗保健领域使用的物联网、区块链、人工智能等技术	Mozumder MA I <sup>[4]</sup>	2022	
	元宇宙在眼科领域远程医疗平台、医疗研学会议、数字教育、临床诊治的应用	Tan T F et al <sup>[5]</sup>	2022	
AR 手持显示型	基于AR显微镜检测转移性乳腺癌和前列腺癌	Chen D et al <sup>[41]</sup>	2019	
	基于Curiscope的AR T恤的人体内部结构培训	Kye B <sup>[15]</sup>	2021	
	3D打印结合AR应用于骨科肿瘤手术	Moreta-Martínez R et al <sup>[42]</sup>	2021	
光学透视型	AR技术结合身体传感器进行远程医疗	Mejia J M R and Rawat D B <sup>[3]</sup>	2022	
	通过AR眼镜进行远程专家语音和临时视觉手术室操作指导	Cofano F <sup>[43]</sup>	2021	
视频透视型	基于HoloLens AR的临床手术和护理	Castelán E et al <sup>[12]</sup>	2021	
	基于显微镜、头戴式显示器的AR系统应用于脊柱手术	Auloge P et al <sup>[11]</sup>	2019	
投影显示型	基于头戴式显示器导航AR系统的脊柱器械放置	Liu A et al <sup>[13]</sup>	2021	
	基于AR医疗教育系统的解剖培训	Hoang T Net al <sup>[14]</sup>	2017	
综合	基于AR对医学生、医生与病人的培训指导	Campisi C et al <sup>[44]</sup>	2020	
VR 沉浸式	基于虚拟现实暴露疗法的创伤后应激障碍治疗	Rizzo A A <sup>[17-18]</sup> ; Mozgai S <sup>[19]</sup>	2015, 2017, 2021	
	术前三维肝脏手术规划	Boedecker C et al <sup>[21]</sup>	2021	
	基于VR的医学教育模式和传统模式的教学效率比较	Zhao G et al <sup>[27]</sup>	2021	
	用于ADHD的VR训练系统	Kwan H-Y et al <sup>[20]</sup>	2022	
	基于VR技术的ARC微创手术培训	Dinc F et al <sup>[23]</sup>	2022	
	桌面式	经静脉拔铅 (TLE) 培训	Maytin M et al <sup>[24]</sup>	2015
	分布式	基于多人VR的心肺复苏训练	Creutzfeldt J et al <sup>[25]</sup>	2016
	综合	通过沉浸式VR课程进行医患沟通培训	Real F et al <sup>[26]</sup>	2017
	综合	完全沉浸式VR医学培训与部分沉浸式医学培训效果比较	Gutiérrez F et al <sup>[28]</sup>	2007
	AI 监督学习	血液数字形态分析	Kratz A et al <sup>[30]</sup>	2019
分析疾病症状进行多病种药物推荐		Komal Kumar A et al <sup>[45]</sup>	2021	
基于注意力的多任务半监督学习方法用于脑瘤和白质超密集区的图像分割		Chen S et al <sup>[33]</sup>	2019	
半监督学习	三维医学图像检测	Wang D et al <sup>[31]</sup>	2020	
	基于联邦半监督学习方法对三维胸部电子计算机断层扫描中的新冠影响区域图像分割	Yang D et al <sup>[32]</sup>	2021	
	基于异质电子病历数据测量病人相似度	Wang N et al <sup>[34]</sup>	2021	
	无监督学习	骨分割	Chen J and Frey E C <sup>[37]</sup>	2020
无监督学习	无监督学习用于生理或病理压力监测	Iqbal J et al <sup>[36]</sup>	2022	
	无监督适应性学习基于心脏数据集、腹部数据集和大脑数据集的医疗数据分割	Xie Q et al <sup>[38]</sup>	2022	
	自动分割肺部切片CT上的COVID-19病变	Sherwani M K et al <sup>[39]</sup>	2022	
	医学图像分析	Zhang Y et al <sup>[40]</sup>	2022	

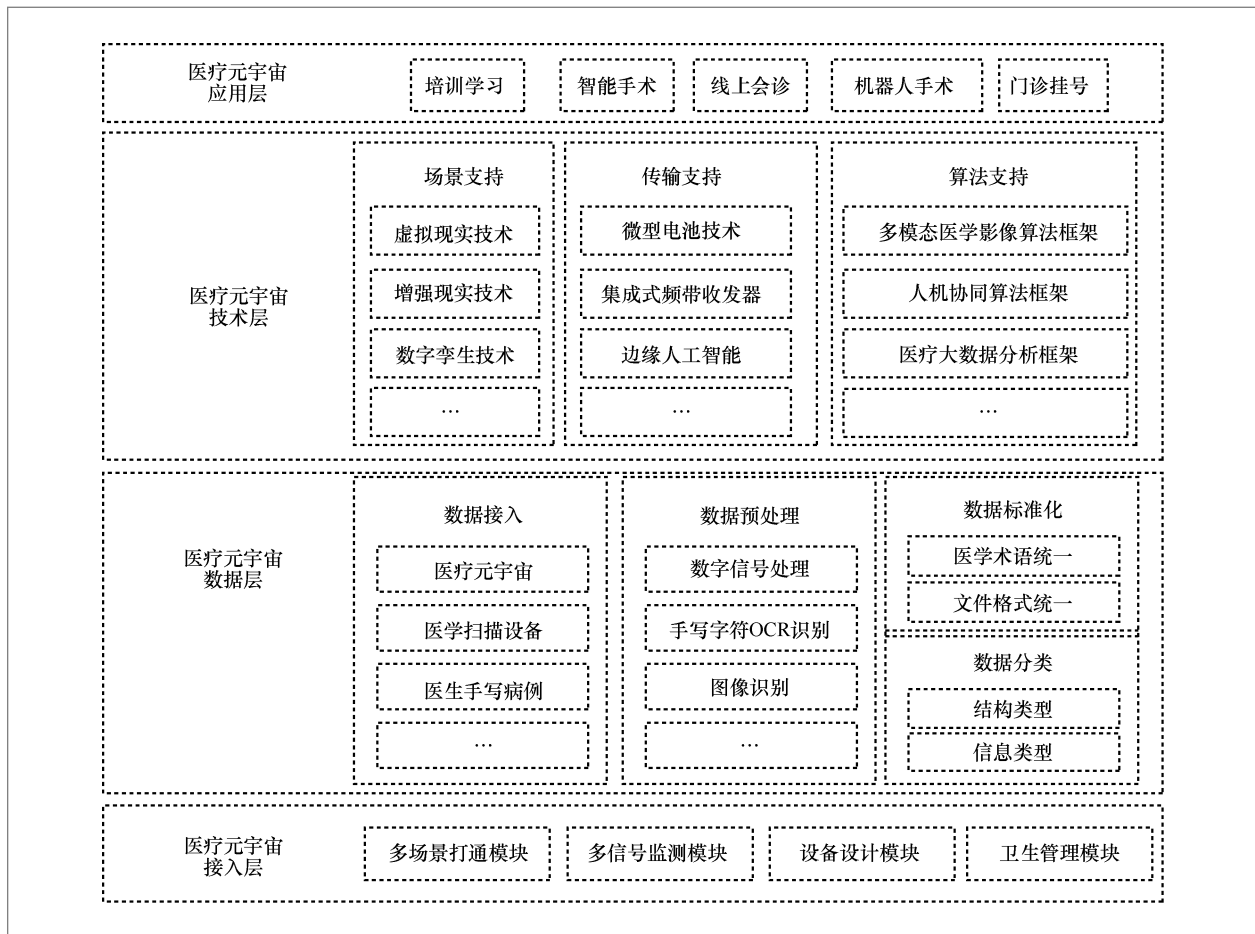


图1 MetaMed 模型框架

层、医疗元宇宙数据 (medical metaverse data) 层、医疗元宇宙技术 (medical metaverse technology) 层、医疗元宇宙应用 (medical metaverse application) 层。本文提出的MetaMed基本覆盖了从个体接入、数据管理、技术支撑到应用场景的全流程。

- 医疗元宇宙接入层：该层通过4个子模块连通各场景数据，完善接入设备设计，覆盖多个医学信号，并监测卫生情况。

- 医疗元宇宙数据层：该层通过4个步骤对数据进行预处理和标准化，并对医疗大数据进行归类整理，从而利于下一步的算法训练。

- 医疗元宇宙技术层：该层包含3类技

术——场景支持、快速支持及算法支持，从而实现医疗元宇宙的实时性和智能性。

- 医疗元宇宙应用层：该层包含5种应用场景，包括培训学习、智能手术、线上会诊、机器人手术和门诊挂号。

### 3 元宇宙环境下的多场景智能医疗模型接入层

医疗元宇宙是一个与物理世界平行的大规模的虚拟环境，用户通过数字化形象或数据进行互动。融合了感知技术、触觉反馈、VR渲染的接入式设备是构建医疗元宇宙的基础。由于医疗对卫生环境、多信

号监测方面的要求,医疗元宇宙框架的接入层由数据平台接入模块、多功能集成模块、设备设计模块、卫生安全模块4个模块构成。MetaMed模型接入层如图2所示。

### 3.1 数据平台接入模块

未来是AI的时代。其中AI算法对文本理解、图像和语音识别、医疗保健、基因组学等方面的应用产生了深远的影响。AI算法不仅能够挖掘出人类已知因果关系中的具体相关系数,还能发现人类无法洞察的关系。其中,数据是AI算法的“燃料”,尤其是复杂的AI算法需要更多的数据保证其算法的性能。因此,医疗元宇宙需要接入尽可能多的场景中,包括医疗机构、制药机构、卫生服务中心、医学研究中心、保险机构、政府数据等,从而打通信息壁垒。其可以通过基于虚拟私有云的信息自动化系统收集框架等技术实现。首先应在不同的场景和机构中部署数据库,在采集端部署大量数据库,设置数据冗余、分区策略,在安全性、完整性的基础上完成大数据采集工作。接着需要获得相应的代理数据授权,

针对性地约定提供的具体数据类型和内容,并设置数据加密方式、数据响应格式、请求方式、数据传输参数格式等详细数据接入方案,将数据实时与医疗私有云平台同步。

### 3.2 多功能集成模块

医疗场景中需要多方面、多渠道的测量功能。因此,医疗元宇宙框架应包含电子计算机X线断层扫描仪、核磁共振成像技术仪、超声波诊疗仪器、心电图机器等在内的大部分功能。功能部件由X线体层扫描装置、生物磁自旋产生装置、超声波发射及接收装置、图像显示器、多幅照相机、区域放大装置、电路控制装置、参数控制装置和信号转化装置构成。多功能集成模块能够为医疗元宇宙中的就诊和手术场景提供支持,保证诊疗过程的顺利开展。

### 3.3 设备设计模块

设备设计模块能够实现医疗元宇宙接

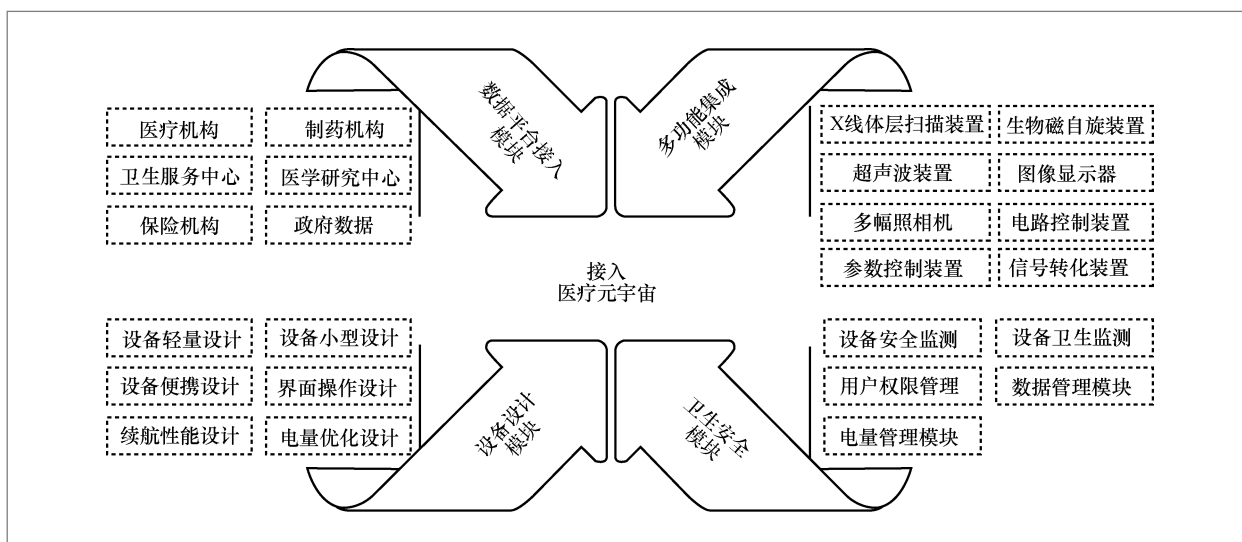


图2 MetaMed模型接入层

入层的可穿戴性,因此,其需要具备设备轻量设计、设备小型设计、设备便携设计、界面操作设计、续航性能设计和电量优化设计等多个设计子模块。各子模块的设计可以交叉并行,其过程主要包括制定规格,明确功能和性能要求;划分模块功能,设计解决方案和具体架构;使用硬件描述语言(Verilog HDL)实现模块功能;通过编译型Verilog模拟器或仿真工具NC-Verilog进行仿真验证。

### 3.4 卫生安全模块

卫生安全模块主要负责保证接入设备的无菌性和安全性,其主要包括设备安全监测、设备卫生监测、用户权限管理、数据管理、电量管理5个子模块。其中设备安全监测包含协议解析、异常行为监测、日志数据采集分析等子功能;卫生监测模块要求包含蒸汽、红外线、三维空间扫描等部件;用户权限管理可以通过自主访问控制、强制访问控制、基于角色访问控制或者基于属性访问控制实现;数据管理子模块需要管理卫生和安全数据,其可以通过融合AI算法的智能数据库系统实现;电量管理模块包含动力电池单体、电芯、电池包、电池模组等子部件。

## 4 元宇宙环境下的多场景智能医疗模型数据层

元宇宙平台能够汇聚大量数据信息,包括通过医疗元宇宙接入层获得的手术信息、患者病症信息、患者口述信息等实时数据,还包括医生手写病例、医学知识图谱、元宇宙账户信息等能够从云端获得的数据信息。因此,医疗元宇宙数据层包括数据预处理、数据标准化和数据分类3个模块,实现对数据的初步整理和归类存储。MetaMed模型数据层如图3所示。

### 4.1 数据预处理

数据预处理模块由数字信号处理模块、手写光学字符识别模块、图像识别模块、知识融合模块、知识加工模块、语音识别模块组成。数字信号处理模块能够处理包括心电信号、脑电信号、肌电信号在内的电生理信号,包括心音、脉搏、颈动脉搏动、血压、眼压、消化道内压在非电生理信号和人体生理特征信号。其原理是通过去噪和特征提取将这些信号转化为可存储、可操作的数字信息。手写光学字

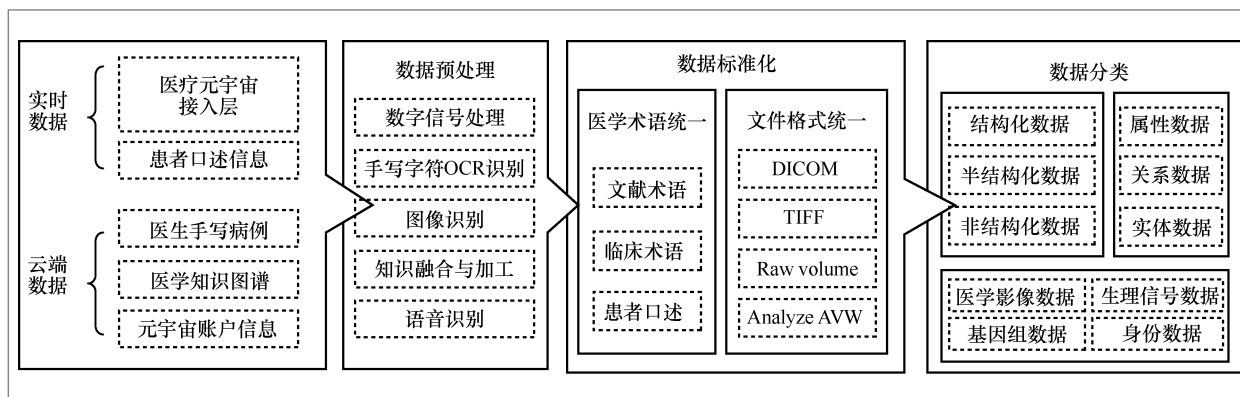


图3 MetaMed 模型数据层

符识别模块识别笔划顺序、笔顺方向、笔画数量特征和字符结构,构建空间组合式模型,完成医生病例的识别任务。图像识别模块以深度神经网络为基础,在自然图像大尺度视觉识别挑战(imagenet large scale visual recognition challenge, ILSVR)、奥克兰核磁共振成像研究组心脏图谱数据(Auckland MRI research group cardiac MRI atlas, AMRG cardiac atlas)、冠心病数据集(coronary heart disease, CHD)、乳腺摄影数据库(IN-breast)等大型开源医学数据集上训练得到基础模型,完成医学影像数据识别、分类、分割等基础工作。知识融合模块使用网络本体语言进行医学数据描述、并通过指代消解、实体消歧和链接将多个医学知识库进行整合,形成一个整体的医学知识库。知识加工模块通过本体构建、医学知识推理和数据质量评估保证医学知识库的规模化。语音识别模块以长短时记忆网络为基础,对患者的口述语音进行病症信息提取。

## 4.2 数据标准化

医学影像数据、生理信号数据、基因组数据等源于不同技术的数据<sup>[46]</sup>可能具有不同的文件格式、数据类型、数据编码方式,并且可能具有语义异构。在收集到多个来源的数据后,以世界公认的医学术语为标准,统一来自各文献、临床诊疗场景和患者口语化讲述中的医疗名词,使医学信息标准化、规范化。接着,利用格式转换器将医学数字成像和通信标准(digital imaging and communications in medicine, DICOM)、标签影像档案格式(tag image file format, TIFF)、原始卷(raw volume)和可分析医学影像格式(analyze AVW)等多种格式的影像或医

学数据文件转化为标准的、可存储、易被计算机分析的数字文件。

## 4.3 数据分类

通过数据预处理之后,可以通过机器打标、人工审核的方式对数据进行分类。根据数据结构可以分为以二维表表示的关系型结构化数据;以医学语义描述、病症描述为代表的文字型非结构化数据;以病种特点、临床特征、医学影像特征为主的自描述半结构化数据。其中关系型结构化数据又可以进一步细化为属性数据、关系数据和实体数据。根据医学成像特点和信息类型可以划分为医学影像数据、生理信号数据、基因组数据和身份数据。通过数据分类可以构建高效简洁的数据库,实现信息的高效存储、读取和分析。

# 5 元宇宙环境下的多场景智能医疗模型技术层

## 5.1 场景支持

元宇宙的构建涉及多个场景,如三维诊疗室、手术室、会诊中心等,交互过程中需要患者、医生、机器人等虚拟人物形象参与。VR技术、AR技术、三维扫描技术和数字孪生技术能够对多种场景建模,提供场景支持。利用基于光准直偏振的液晶全息光学元件和光致聚合物全息光学元件、包括表面浮雕光栅、超颖表面和微型发光二极管在内的光刻技术可以解决VR和AR中的视图显示、眼框、角度分辨率、视线动态范围和视野深度信息等方面的问题<sup>[47]</sup>。三维扫描技术包括现场实测扫描、生成点云数据、三维检测、导入计算机辅助设计软件辅助建模4个步骤,可快速复建出目标场

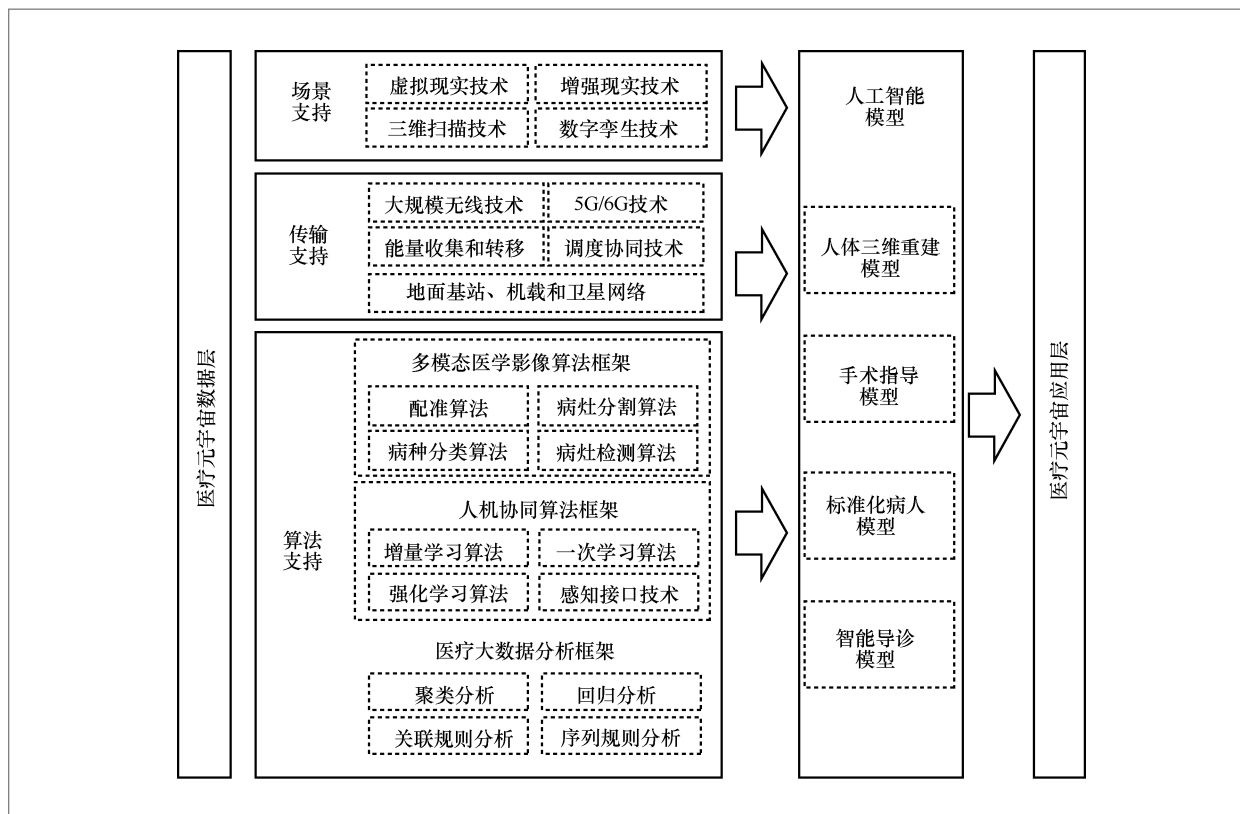


图4 MetaMed 模型技术层

景的三维模型。数字孪生技术在三维扫描技术之上创建物理实体的高保真数字镜像<sup>[48]</sup>，并完全支持数字模型和物理对象之间的双向通信，实现实时决策。MetaMed模型技术层如图4所示。

## 5.2 传输支持

医学诊疗场景、手术场景等存在实时性问题，其要求对数字信号进行实时处理，达到秒级甚至更快速的响应，这对互联网通信技术中的传输、交换和处理方面提出了更高的要求。在传输中，微型电池技术、集成式频带收发器、边缘AI、地面基站、机载和卫星网络、能量收集和转移能够为5G/6G传输提供支持。微型电池技术依托更密集的微型单元部署和新的高频移动管理技术，能够使用更高的毫米波和太

赫兹频率。集成式频带收发器能够在广域和局域级别间提供无缝连接。边缘AI能够在边缘设备上运行AI算法，从而提供分布式自治，实现通信、计算、控制、定位和传感的融合。地面基站、机载和卫星网络能够为用户提供返回支持和额外的大范围覆盖。能量收集和转移代表植入设备和传感器同时也是能量中心，为设备提供基本的能量转移<sup>[49]</sup>。

## 5.3 算法支持

多模态医学影像算法框架包括以全卷积神经网络 (fully convolutional neural networks, V-Net)、U型卷积神经网络 (U shaped convolutional networks, U-Net) 为代表的病灶分割算法；以随机森林、决策树、深度学习为代表的病种分类算法；以循环神经网络 (recurrent neural net-

work, RNN)、只看一遍网络(you only look once, YOLO)为代表的病灶检测算法和以基于灰度和模板、基于特征和深度学习为代表的配准算法。该框架能够检测候选病变位置,分割病灶区域,配准多个模态图像,为辅助诊疗提供参考。人机协同算法框架包括机器人感知接口技术、人类感知接口技术、增量学习算法、一次学习算法和强化学习算法。其中机器人感知接口技术包括视觉接口、力反馈接口、生物信号反馈、人类生理或情绪状态评估、语言命令识别、多模态接口技术。人类感知接口技术通过触觉、视觉和机械压力提供反馈。增量学习算法能够引导机器人在学习新知识的同时合理保留旧知识。一次学习算法通过仅有的一个新样本对其进行识别,能够更好地识别罕见病例。医疗大数据分析框架包括聚类分析、回归分析、关联规则分析和序列规则分析。其中,以Q-learning、Sarsa、Deep Q Network为代表的强化学习算法能够基于某项规则在手术或者诊疗场景下选择最优行动。主成分分析方法能够完成病因分析,得到某病症的主要关系变量。回归分析借助逻辑回归模型实现疾病恶化预警。以关联规则算法为代表的关联规则分析能够发现医治方式、用药和临床反应的相关性。以自回归模型为代表的序列规则分析能够处理电信号等时序信号,发现重要时间节点,并预测发病率。

#### 5.4 人工智能模型

在场景支持、传输支持和算法支持的基础上,可以得到4个基本算法模型,即人体三维重建模型,手术指导模型,标准化病人模型和智能导诊模型,从而能够更好地应用于实际医疗场景。

**人体三维重建模型:**首先通过基于穿戴式设备的可识别身份验证过程和信息

加密,生成元宇宙接入个体的个体信息表示。接着通过三维重建网络和接入设备信息分析得到元宇宙世界中的个体形象。三维重建网络权重可以通过训练大量采集的真人信息和三维标注模型得到。例如,在以内窥镜手术为代表的微创手术中,外科医生面临的手眼协调困难的问题能够通过元宇宙的三维渲染和AR投影技术解决,其将来自内窥镜摄像头的三维虚拟渲染和实时图像共同投射到远程医生的视野中,实现沉浸式远程手术。

**标准化病人模型:**常规的医学培训方式需要借助标准化病人,即经过系统、标准的培训后,能逼真表现出病人实际临床症状及反应的正常人。但是该方法需要消耗大量人力资源,并且考核时间长、效率低,真人扮演的标准化病人间也存在一定差异。元宇宙世界中的虚拟人物能够节省大量的人力资源,通过学习大量的医生手术学习记录和真实手术记录中手术操作和对应的人体反应(如指标的提升或下降,血管的收缩或舒张)能够得到标准化的病人模型,从而适应不同考核的要求,支持医生模拟练习。

**手术指导模型:**在得到了标准化病人模型后,通过匹配标准化病人模型及当前的手术步骤能够得到初始化手术指导模型。接着通过增量学习的方式,逐渐将学习记录中符合规范的内容加入训练池,从而对模型不断迭代优化。通过手术指导模型能够为医生当前的手术步骤提供最优建议。此外,利用手术机器人能够实现远程智能手术。机器人能够通过导入手术指导模型并设定紧急处理操作类型实现手术自动化。利用元宇宙,医生能够通过设置手术步骤实现远程操控,最终机器人综合手术指导模型和远程操控步骤得出反应,实现局部手术自动化。

**智能导诊模型:**对有就医需求的人来

说,可以通过接入元宇宙进行实时诊疗。附带传感器功能的穿戴设备能够将患者身体信号上传到元宇宙,由AI助手进行粗粒度病因识别,帮助进行科室引导。通过训练历史病例和专家知识中得到的某一病种的症状和病因的数据集合能够得到智能导诊模型。患者能够通过模型分析得到初步诊疗结果。通过评估各种疾病的最佳就医时间和患病程度大小对生命的影响能够得到自动就诊顺序评估算法,从而实现挂号自动化,优化就诊顺序,最大限度保证疾病患者的生命安全。

## 6 元宇宙环境下的多场景智能医疗模型应用层

在基本算法模型的支持下,可以实现以下5个应用场景。

### 6.1 培训学习

医学职业的基本要素包括熟练的临床技能和有效的沟通能力。现有大部分的临床技能培训是通过医院提供的全科培训教学查房实现的,但医学教育资源的不均衡和优质医学教育资源的稀缺导致每年仅有少量医学生能够受到高质量的培训。并且,部分手术使用的医疗设备具有放射效果,如果培训过程中长时间接触会对人体产生长期的累积影响。元宇宙提供了一个联结虚拟领域与现实领域的互联互通平台,通过元宇宙平台能够实现跨地域的多场景学习,偏远地区的医学生有机会受到优质的医学教育培训。在可穿戴虚拟设备的支持下,不同地域的医学生可以身处同一高精尖医院,实现人与人之间的交互,并且避免了人员聚集拥挤、公立医院资源不胜负荷等情况。此外,元宇宙平台还能够记录每位

医生的操作过程,并将其与优质手术的操作过程进行对比,从而为医生提供学习建议。

### 6.2 智能手术

现有外科手术的步骤规划和手术建议高度依赖于规划软件和3D打印机等计算机辅助设备<sup>[50]</sup>,其通过对医学影像数据处理后进行3D建模,为外科医生提供可视化的3D手术模型。但其缺少模型的详细深度线索,也未考虑到实际手术中的双目视差和运动视差等问题。元宇宙中的VR仿真技术优越的沉浸感可以让外科医生轻松、直接地接触手术患者,通过AI技术预测手术步骤,并可视化投影到医生的视野中,能够为临床医生提供易接触的手术建议,并且让外科医生体验到更高的互动性。

### 6.3 线上会诊

医疗元宇宙能够提供一个多方观摩学习的环境,允许多人同时在线。现阶段术前会议和共同诊疗大多通过面对面的互动、圆桌会议、电话或者社交媒体工具<sup>[51]</sup>来进行。已有研究表明,通过术前共享基于肝脏特征信息的心理模型<sup>[52]</sup>或团队简报等进一步确认手术团队共识的工具能够明显减少手术中非常规事件的发生,确保患者安全<sup>[53]</sup>。元宇宙虚拟环境能够让参与的每一个外科医生同时观察同一个手术模型,并对他人指示的位置和问题有近距离的、直接的、可触摸的深入了解,从而防止对困难概念的误解,实现外科医生之间的零距离虚拟交互。在跨地域、跨时区医学会诊越来越常见的当下,全球各地的医生共同讨论同一复杂外科病例的情况屡见不鲜。元宇宙将以二维平面屏幕为代表的有限沟通方式扩展为跨距离共享、跨距离互动的沟通环境,这将明显改善手术过程中外科医

生之间的整体沟通过程,从而实现更好的团队协作和医学决策。

## 6.4 机器人手术

元宇宙为机器人辅助手术和远程手术提供了更多可能性,从而实现远距离治疗急诊病人。近年来,医疗机器人的技术研究和产品开发持续推进,手术机器人是医疗机器人范畴中占比最大、最重要的领域,也是当今外科手术中谈论最多的话题之一。已有大量研究表明,外科手术机器人能够克服传统外科手术中存在的精度不足、切口较大、辐射较多、操作疲劳等问题,从而改善手术效果。现有方法通过在患者周围固定摄像头,手术医生在远程配置电脑屏幕上接收手术室的图像,再借助计算机控制机器人进行手术。但以上方式让医生和手术室之间存在明显隔阂,医生手上的操作和显示屏呈现的画面需要经过大脑的精密加工才能实现统一,此外还存在触觉反馈机制缺乏的限制,这对手术医生来说是一种考验。元宇宙平台能够提供更好的交互性和沉浸感,能够打破二维显示画面和手术室的隔阂,实现身临其境的效果。此外,通过智能化算法,能够实现机器人手术自动化,实现更高效的手术过程。

## 6.5 门诊挂号

元宇宙能够大幅度提高就医的便捷性,通过虚拟平台能够实现患者就医流程化。对健康人群而言,元宇宙的虚拟平台能够实现健康指标全程监护,如心电信号、血糖浓度、心率、体温、血压等,对不在正常范围内的指标给予警示。对有就医需求的人来说,线上医疗避免了常规线下门诊的嘈杂和拥挤,患者可以通过接入元宇宙进行实时诊疗,医生通过3D真实场景扫描

实现和患者的跨地域接触,在元宇宙场景快速切换的基础上提高工作效率。

## 7 结束语

本文基于现有医学体系中存在的问题,通过引入元宇宙技术,提出了元宇宙环境下的多场景智能医疗模型框架MetaMed。本文提出的框架自底向上分为4层,分别是医疗元宇宙接入层、医疗元宇宙数据层、医疗元宇宙技术层、医疗元宇宙应用层,基本覆盖个体接入、数据管理、技术支撑到应用场景的全流程。本文详细介绍了MetaMed前3层的实现过程和应用层的5种详细应用场景。但医疗元宇宙的落地仍面临硬件设备要求过高、AI信任危机等社会层面的挑战。随着相关难题的攻克,医疗元宇宙将进一步推动医疗行业的发展,为患者以及医疗工作人员提供更全面、高效、高质的医疗服务。

## 参考文献:

- [1] LEE L H, BRAUD T, ZHOU P Y, et al. All one needs to know about metaverse: a complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda[EB]. arXiv preprint, 2021, arXiv: 2110.05352.
- [2] CHAPMAN J R, WANG J C, WIECHERT K. Into the Spine Metaverse: reflections on a future Metaspine (Uni-) verse[J]. Global Spine Journal, 2022, 12(4): 545-547.
- [3] RUIZ MEJIA J M, RAWAT D B. Recent advances in a medical domain metaverse: status, challenges, and perspective[C]// Proceedings of the 2022 Thirteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks. Piscataway: IEEE Press, 2022: 357-362.

- [4] MOZUMDER M A I, SHEERAZ M M, ATHAR A, et al. Overview: technology roadmap of the future trend of metaverse based on IoT, blockchain, AI technique, and medical domain metaverse activity[C]//Proceedings of the 2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway: IEEE Press, 2022: 256–261.
- [5] TAN T F, LI Y, LIM J S, et al. Metaverse and virtual health care in ophthalmology: opportunities and challenges[J]. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 2022, 11(3): 237–246.
- [6] KALA D N. Revolutionizing medical education with metaverse[J]. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2022: 26–32.
- [7] BRUYNSEELS K, SANTONI DE SIO F, VAN DEN HOVEN J. Digital twins in health care: ethical implications of an emerging engineering paradigm[J]. *Frontiers in Genetics*, 2018, 9: 31.
- [8] D' SOUZA M, GENDREAU J, FENG A, et al. Robotic-assisted spine surgery: history, efficacy, cost, and future trends[J]. *Robotic Surgery (Auckland)*, 2019, 6: 9–23.
- [9] 侯颖, 许威威. 增强现实技术综述[J]. *计算机测量与控制*, 2017, 25(2): 1–7, 22.  
HOU Y, XU W W. A survey of augmented reality technology[J]. *Computer Measurement & Control*, 2017, 25(2): 1–7, 22.
- [10] MAAS M J, HUGHES J M. Virtual, augmented and mixed reality in K-12 education: a review of the literature[J]. *Technology, Pedagogy and Education*, 2020, 29(2): 231–249.
- [11] AULOGE P, CAZZATORL, RAMAMURTHY N, et al. Augmented reality and artificial intelligence-based navigation during percutaneous vertebroplasty: a pilot randomised clinical trial[J]. *European Spine Journal*, 2020, 29(7): 1580–1589.
- [12] CASTELAN E, VINNIKOV M, ZHOU X A. Augmented reality anatomy visualization for surgery assistance with HoloLens: AR surgery assistance with HoloLens[C]//Proceedings of the Proceedings of the 2021 ACM International Conference on Interactive Media Experiences. New York: ACM, 2021: 329–331.
- [13] LIU A, JIN Y K, COTTRILL E, et al. Clinical accuracy and initial experience with augmented reality-assisted pedicle screw placement: the first 205 screws[J]. *Journal of Neurosurgery Spine*, 2021, 36(3): 351–357.
- [14] HOANG T, REINOSO M, JOUKHADAR Z, et al. Augmented studio: projection mapping on moving body for physiotherapy education[C]//Proceedings of the Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2017.
- [15] KYE B, HAN N, KIM E, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations[J]. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 2021, 18: 32.
- [16] 陈浩磊, 邹湘军, 陈燕, 等. 虚拟现实技术的最新发展与展望[J]. *中国科技论文在线*, 2011, 6(1): 1–5, 14.  
CHEN H L, ZOU X J, CHEN Y, et al. Overview of the advance in virtual reality technology[J]. *Sciencepaper Online*, 2011, 6(1): 1–5, 14.
- [17] RIZZO A A. Bravemind: advancing the virtual iraq/afghanistan ptsd exposure therapy for MST[R]. 2015.
- [18] RIZZO A, ROY M J, HARTHOLT A, et al. Virtual reality applications for the assessment and treatment of PTSD[M]//Handbook of Military Psychology. Cham: Springer, 2017: 453–471.
- [19] MOZGAI S, LEEDS A, KWOK D, et al. Building BRAVEMIND Vietnam: user-centered design for virtual reality exposure therapy[C]//Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on

- Artificial Intelligence and Virtual Reality. Piscataway: IEEE Press, 2021: 247–250.
- [20] KWAN H Y, LIN L, FAHY C, et al. Designing VR training systems for children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)[C]// Proceedings of the 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2022: 88–89.
- [21] BOEDECKER C, HUETTL F, SAALFELD P, et al. Using virtual 3D-models in surgical planning: workflow of an immersive virtual reality application in liver surgery[J]. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 2021, 406(3): 911–915.
- [22] ZHANG J, CHANG J, YANG X, et al. Virtual reality surgery simulation: a survey on patient specific solution[C]// Proceedings of Next Generation Computer Animation Techniques. Cham: Springer, 2008: 220–233.
- [23] DINC F, OUMIMOUN K, KWABLA W, et al. Towards real-time bone drilling simulation for anchor placement in VR based arthroscopic rotator cuff surgery simulation[J]. *AMIA Joint Summits on Translational Science Proceedings AMIA Joint Summits on Translational Science*, 2022, 2022: 178–185.
- [24] MAYTIN M, DAILY T P, CARILLO R G. Virtual reality lead extraction as a method for training new physicians: a pilot study[J]. *Pacing and Clinical Electrophysiology: PACE*, 2015, 38(3): 319–325.
- [25] CREUTZFELDT J, HEDMAN L, FELLÄNDER-TSAI L. Cardiopulmonary resuscitation training by avatars: a qualitative study of medical students' experiences using a multiplayer virtual world[J]. *JMIR Serious Games*, 2016, 4(2): e22.
- [26] REAL F J, DEBLASIO D, BECK A F, et al. A virtual reality curriculum for pediatric residents decreases rates of influenza vaccine refusal[J]. *Academic Pediatrics*, 2017, 17(4): 431–435.
- [27] ZHAO G J, FAN M J, YUAN Y B, et al. The comparison of teaching efficiency between virtual reality and traditional education in medical education: a systematic review and meta-analysis[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2021, 9(3): 252.
- [28] GUTIÉRREZ F, PIERCE J, VERGARA V M, et al. The effect of degree of immersion upon learning performance in virtual reality simulations for medical education[J]. *Studies in Health Technology and Informatics*, 2007, 125: 155–160.
- [29] RASHIDI H H, TRAN N, ALBAHRA S, et al. Machine learning in health care and laboratory medicine: general overview of supervised learning and Auto-ML[J]. *International Journal of Laboratory Hematology*, 2021, 43(Suppl 1): 15–22.
- [30] KRATZ A, LEE S H, ZINI G, et al. Digital morphology analyzers in hematology: ICSH review and recommendations[J]. *International Journal of Laboratory Hematology*, 2019, 41(4): 437–447.
- [31] WANG D, ZHANG Y, ZHANG K X, et al. FocalMix: semi-supervised learning for 3D medical image detection[C]// Proceedings of the 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2020: 3950–3959.
- [32] YANG D, XU Z Y, LI W Q, et al. Federated semi-supervised learning for COVID region segmentation in chest CT using multi-national data from China, Italy, Japan[J]. *Medical Image Analysis*, 2021, 70: 101992.
- [33] CHEN S, BORTSOVA G, GARCÍA-UCEDA JUÁREZ A, et al. Multi-task attention-based semi-supervised learning for medical image segmentation[C]// International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Cham: Springer, 2019: 457–465.
- [34] WANG N, HUANG Y Q, LIU H L, et al. Study on the semi-supervised

- learning-based patient similarity from heterogeneous electronic medical records[J]. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 2021, 21(Suppl 2): 58.
- [35] RAZA K, SINGH N K. A tour of unsupervised deep learning for medical image analysis[J]. *Current Medical Imaging*, 2021, 17(9): 1059–1077.
- [36] IQBAL T, ELAHI A, WIJNS W, et al. Exploring unsupervised machine learning classification methods for physiological stress detection[J]. *Frontiers in Medical Technology*, 2022, 4: 782756.
- [37] CHEN J Y, FREY E C. An unsupervised learning model for medical image segmentation[EB]. arXiv preprint, 2020, arXiv: 2001.10155.
- [38] XIE Q S, LI Y X, HE N J, et al. Unsupervised domain adaptation for medical image segmentation by disentanglement learning and self-training[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2024, 43(1): 4–14.
- [39] SHERWANI M K, MARZULLO A, DE MOMI E, et al. Lesion segmentation in lung CT scans using unsupervised adversarial learning[J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2022, 60(11): 3203–3215.
- [40] ZHANG Y M, LI H L, HOU Y W, et al. Consecutive knowledge meta-adaptation learning for unsupervised medical diagnosis[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2024, 291: 111573.
- [41] CHEN P H C, GADEPALLI K, MACDONALD R, et al. An augmented reality microscope with real-time artificial intelligence integration for cancer diagnosis[J]. *Nature Medicine*, 2019, 25(9): 1453–1457.
- [42] MORETA-MARTINEZ R, POSE-DÍEZ-DE-LA-LASTRA A, CALVO-HARO J A, et al. Combining augmented reality and 3D printing to improve surgical workflows in orthopedic oncology: smartphone application and clinical evaluation[J]. *Sensors*, 2021, 21(4): 1370.
- [43] COFANO F, DI PERNA G, BOZZARO M, et al. Augmented reality in medical practice: from spine surgery to remote assistance[J]. *Frontiers in Surgery*, 2021, 8: 657901.
- [44] CAMPISI C A, LI E H, JIMENEZ D E, et al. Augmented reality in medical education and training: from physicians to patients[M]//*Augmented reality in education*. Cham: Springer, 2020: 111–138.
- [45] KOMAL KUMAR N, VIGNESWARI D. A drug recommendation system for multi-disease in health care using machine learning[C]//*Proceedings of International Conference on Advanced Communication and Computational Technology*. Singapore: Springer, 2021: 1–12.
- [46] DHAYNE H, HAQUE R, KILANY R, et al. In search of big medical data integration solutions – a comprehensive survey[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 91265–91290.
- [47] XIONG J H, HSIANG E L, HE Z Q, et al. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives[J]. *Light, Science & Applications*, 2021, 10(1): 216.
- [48] NGUYEN H X, TRESTIAN R, TO D, et al. Digital twin for 5G and beyond[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2021, 59(2): 10–15.
- [49] SAAD W, BENNIS M, CHEN M Z. A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems[J]. *IEEE Network*, 2020, 34(3): 134–142.
- [50] SHEN S, WANG P Z, LI X Y, et al. Pre-operative simulation using a three-dimensional printing model for surgical treatment of old and complex tibial plateau fractures[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 6044.
- [51] WAGNER J P, COCHRAN A L, JONES C, et al. Professional use of social media

among surgeons: results of a multi-institutional study[J]. Journal of Surgical Education, 2018, 75(3): 804-810.

[52] WISE S, DUFFIELD C, FRY M, et al. A team mental model approach to understanding team effectiveness in an emergency department: a qualitative study[J]. Journal of Health Services

Research & Policy, 2022, 27(1): 14-21.

[53] BASHKANOV O, SAALFELD P, GUNASEKARAN H, et al. VR multi-user conference room for surgery planning[C]// Proceedings of Annual Meeting of the German Society of Computer and Robot-Assisted Surgery. [S.l.:s.n.], 2019: 264-268.

### 作者简介



**朱玖闻** (1997- ), 女, 中国科学院计算技术研究所计算机硕士, 曾任腾讯算法工程师、华为算法工程师, 在 MedicalImageAnalysis 等期刊上发表多篇学术论文, 主要研究方向为人工智能、计算机视觉、医学影像分析和元宇宙等。



**周玉冰** (1997- ), 女, 中南大学管理科学与工程硕士。在深度强化学习领域发表核心期刊, 主要研究方向为动态定价、人工智能和元宇宙等。



**斯洪标** (1966- ), 男, 现任湖南财信金融控股集团副总经理, 北京中国网传播公司董事, 湖南财信资产管理公司董事, 长沙市首批赴美高级公共管理培训班、美国加州圣何塞大学MPA, 工学硕士, 副研究员。政协湖南省委员会第九届、第十届、第十二届委员, 中国民主建国会湖南省第六届、第七届参政议政委员会副主任委员, 第九届财政与金融委员会主任委员, 长沙市大数据(地理信息)产业特聘专家。曾任中南大学政府与社会资本合作研究中心研究员。



**徐亮** (1981- ), 男, 中国科学院软件研究所博士, 先后在中国科学院软件研究所、基础软件国家工程研究中心、湖南师范大学、湖南财信金融控股集团等高校科研院所和企业工作。现任湖南财信金融控股集团信息技术部总经理, IT治理委员会办公室主任。研究方向涉及软件理论、形式化方法、安全操作系统、智能语义分析、信息化管理、企业数字化转型、金融科技等领域。

收稿日期: 2023-02-22

通信作者: 徐亮, xuliang@hnchasing.com