

面向 VR 探视业务的 5G SA 医疗专网方案研究 *

黄山松^{1,2},翟运开^{1,2,3}

(1.互联网医疗系统与应用国家工程实验室,河南 郑州 450052;2.郑州大学第一附属医院,河南 郑州 450052;
3.郑州大学 管理工程学院,河南 郑州 450052)

摘要: 5G 技术的开发有助于医疗行业在远程应用中加速发展,远程会诊、远程诊断、远程急救、远程手术等业务也随之逐渐趋于成熟。视频业务作为 5G 三大应用场景的主要业务之一,通过高分辨率、高帧率视频的快速传输,为开发医疗技术、优化诊断结果、提高医疗效率提供了基础。其中,虚拟现实(VR)是 5G 视频业务的重要领域,可有效地与医疗结合,实现院内院外 VR 直播和 VR 探视等功能。但是 VR 对承载网要求较高,传统 4G 网络构架带宽和时延均无法达到医疗领域中 VR 数据传输要求。以 VR 探视为例,提出基于 5G SA 智慧医疗专网的承载网方案,运用 Flex-E 弹性切片技术将医疗资源与公共资源隔离,确保 VR 数据的高效传输,同时加入边缘计算和基于云的 VR 技术增强 VR 场景的切片方案,为 VR 应用在医疗业务数据传输中提供快速稳定的网络方案。

关键词: 智慧医疗;远程医疗;VR 探视;5G 切片网络;VR 直播;5G+VR

中图分类号: TN915.43

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.200168

中文引用格式: 黄山松,翟运开. 面向 VR 探视业务的 5G SA 医疗专网方案研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 16-20.

英文引用格式: Huang Shansong, Zhai Yunkai. A network solution of 5G SA medical private network for VR visit[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 16-20.

A network solution of 5G SA medical private network for VR visit

Huang Shansong^{1,2}, Zhai Yunkai^{1,2,3}

(1. National Engineering Laboratory for Internet Medical Systems and Applications, Zhengzhou 450052, China;
2. The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;
3. School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The advance of 5G technology can help to accelerate the development of remote applications in medical industry. Some telemedicine technologies are gradually improved, such as teleconsultation, remote diagnosis, remote ambulance, remote surgery and so on. As one of the main scenarios of 5G applications, 5G video services are required to achieve rapid transmission of high-resolution and high-frame-rate videos, as a result to optimize diagnostic results and improve medical efficiency. Virtual reality (VR) is a significant part of 5G video services, which is able to work with medical treatment to achieve functions like VR live broadcast in hospital, VR visit and so on. However, VR requires high capability of network, and the bandwidth and delay achieved by traditional 4G network cannot meet its requirements in medical application. This paper takes examples of VR visit and proposes a network solution to 5G medical applications based on SA smart medical private networks. Through Flex-E network slicing, edge computing and cloud application of VR, the medical resources are isolated from public resources to ensure the efficiency of VR data transmission, and a slicing scheme specific for VR scenarios is developed, which provides a fast and stable network solution for data transmission of VR applications in medical industry.

Key words: smart medical; telemedicine; VR visit; 5G slice network; VR live broadcast; 5G+VR

0 引言

智慧医疗作为 5G 技术发展的重要应用之一,对网络的能力有精准严格的要求。首先,超低延迟是智慧医疗网络所需的基本特性之一,可靠的超低延迟网络在优化处理大量的数据包时,仅有毫秒级的延迟^[1]。5G 网络

可以将端到端的时延缩小到 1 ms,为时延更加严格和精准的新型远程手术以及实时监测技术等提供了基础。其次,高带宽意味着大量的数据可在给定时间内完成高质量的传输,一些超高清实时的图片传输是带宽有限的传统 3G、4G 网络无法实现的,需要 5G 承载网提供方案^[2]。

5G 医疗应用分为 4 个主要方向,包括医院管理、采

* 基金项目:郑州市新型冠状病毒防控应急科研攻关项目(2020YJGG0003)

集检测、远程操控和诊断指导，并可进一步细分为远程急救、远程手术、远程示范教学、无线护理、引导机器人等近 20 个场景^[3]。其中，大部分应用都对图像传输要求严格，任何低质量的视频和图片都有可能导致医生模糊分辨而做出对病人不可逆的错误决定。例如，AI 和触觉反馈的远程超声需要 30 Mb/s 传输速率和不大于 10 ms 的时延，远程就诊的实时视频传输需要 1080P 清晰度、30 FPS 的帧率和 10 ms 以内的传输时延。除了现有 4G 网络本身的传输限制，当今很少有医院拥有独立的专网，绝大部分医院进行远程会诊所使用的公共网络也会造成低质量的视频传输，从而增加了医生误诊的风险。除此之外，如在远程手术中，为了保证传输过程中医生的手部动作和力量反馈精准同步，承载网络需要全范围的网络覆盖、不中断的通信稳定性和超低时延的通信质量，现有医用网络难以保障。

本文针对医疗行业的虚拟现实(VR)应用，提出了基于 5G 的网络解决方案。VR 在广义上包含增强现实(AR)和混合现实(MR)，属于 5G 视频类业务。VR 作为 5G 视频技术的一大领域，可有效地与医疗结合，实现 VR 直播、VR 探视等功能，但 VR 应用需要高质量的视频传输来保证 VR 终端画面呈现的精准度和用户观感及体验效果。本文介绍了医疗场景中 VR 应用的技术要求，提出了基于 5G SA 智慧医疗专网的 VR 切片方案，运用 Flex-E 切片技术和 MEC 边缘计算来实现 VR 视讯流量与其他业务的传输隔离以及 VR 计算任务到云端的转移，由此确保高带宽、低时延的传输质量和清晰精准的 VR 渲染。

1 医疗行业 VR 应用的技术需求

VR 系统要求网络中传输视频的分辨率最大限度接近人眼视网膜分辨率，大约 60PPD。在 VR 的观看过程中，普遍出现的眩晕感主要是由于头部转动到显示出相应画面之间的时延(MTP)过长造成的。VR 业务中的画面实时传送可采用两种方式，分别是全景传输和 FOV 传输^[4]。其中，全景传输将 360° 的视频图像全部传送到终端，并由终端判断头部运动轨迹，并进行计算图像，该方案要求网络带宽可以承载 VR 全景视频的数据量，通常是相同条件下平面视屏的 5 倍以上。FOV 传输运用了生物学的一种基本常识，即用户观看视频实际上只能关注到有限的视场，因此可以在一定范围内接受视场变化时产生的时延。所以该方式只传送当前视场的图像，虽然提高了传输效率，但多个视场图像的数据往往会在服务端占用原始文件 5~6 倍的储存空间。总之，实现 VR 的实时观看需要确保足够的带宽来承载超大数据量，或在服务端预留足够的储存空间。

高质量的 VR/AR 业务要求宽带速率从 25 Mb/s 提升至 3.5 Gb/s，传输时延从 30 ms 降低至 5 ms 以下^[5]。具体来说，4K 分辨率要求网络宽带至少 80 Mb/s，而

8K 分辨率则要求网络宽带可达 960 Mb/s。最长 20 ms 的端到端 MTP 延迟可合理缓解用户的眩晕感，同时预留足够的时间为端到端数据的处理和收发提供保障。作为典型的大流量业务，事实上 VR 的宽带需求已超过 2 Gb/s。本文讨论的 VR 探视运用可以实现 360°全屏的 VR 技术实现高质量的感知交互和 VR 渲染，让用户真正有身临其境的感觉。在 5G 保障下的商用 360 全屏 VR 可提供百兆级的宽带和毫秒级的时延来保证高清内容的传输并且降低用户体验的眩晕感。在医疗行业，无论是 VR 探视要求的全景直播还是 VR 手术相关场景要求的逼真度和精准度，360°全屏都会是 VR 方案的首选。基于 5G 全屏的 VR 直播也可应用于其他教育或商业领域，具体对网络性能的需求如表 1 所示。

表 1 VR 直播的网络要求

业务场景	时延要求/ms	带宽要求/(Mb/s)	可靠性要求(故障率)	5G 场景类型
VR 直播	≤ 18	≥ 60	≤ 9×10 ⁻⁵ 视频 ≤ 10 ⁻⁵ 强交互	eMBB

由于传统视频传输多基于 TCP/IP 协议，通过滑动窗口来控制网络拥堵的机制很容易引发时延抖动，容易引起视频卡顿，无法对确定性的时延、确定性抖动和低分组丢失率提供 QoS 保障，并且有限的带宽限制了视频数据的传输量。基于 VR 的传输要求，现有网络仅能提供 1 Gb/s 的峰值速率、20 MHz 的带宽和超过 20 ms 的空口时延，无法承载 VR 的实时传输。因此，本文将提供 5G 的网络构架方案，来实现医疗场景的高质量 VR 应用。

2 VR 探视的应用场景

在 5G 技术支持下的 VR 探视应用可以为长时间无法探望患者的家属提供探视的机会。以新生儿探视为例，根据规定，在新生儿重症监护病房(NICU)的新生儿的父母无法随时进入 NICU 进行探视，只能在医生准许的有限时间段通过窗口远远地探望孩子。VR 探视平台为此提供了解决方案，病人家属可穿戴 VR 眼镜或使用手机 APP，无需进入病房，甚至在异地，都可以随时看到病房内的全景情况。如图 1 所示，通过在 ICU、NICU 或隔离病区安装 360°全景摄像头并搭建 5G 远程探视系统，房间外的家属可以通过 VR 眼镜实时观看到房间内

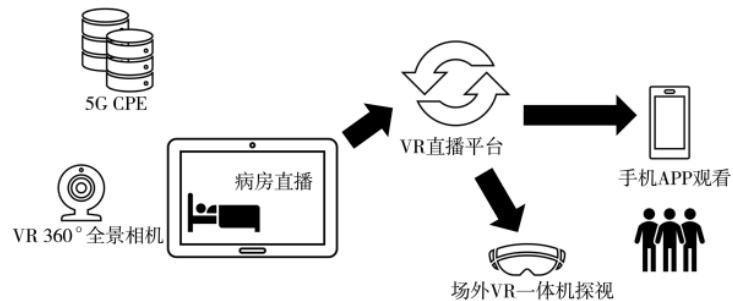


图 1 VR 探视的功能场景

患者的就诊情况，并犹如置身其中。VR 探视与视频交互类业务和视频直播类似，在 5G 商用终端 CPE 的支持下，360° VR 相机捕捉指定区域内的场景影像并将数据上传至 VR 直播平台，用户通过终端的 VR 眼镜或手机 APP 从平台获取数据并进行观看。同时，在直播图像上可以插入文字、音乐等特效，让观看者更加清楚地了解影像中的情况，比如新生儿的体重和其他身体指标参数等。推流平台也兼备储存和管理直播影像的功能。

3 5G+VR 探视的网络方案和相关技术

基于 5G SA 智慧医疗专网的网络方案主要由三部份组成，分别是 5G 核心网、5G 无线接入网以及 5G 承载网。通过 5G 网络构架，5G SA 医疗专网可以从业务上分为多个场景，包括院内、院外和院间场景，每个场景的接入和组网方式存在差异，如图 2 所示。下文将依次介绍涉及的关键技术，包括网络切片、FlexE、SA 组网和 MEC，以及细化到 VR 探视的应用方法。

3.1 VR 场景的网络切片技术

5G NR 三大业务场景包括增强型移动宽带(eMBB)、高可靠的低延迟通信(URLLC)和大规模机器类型通信(mMTC)。其中，eMBB 有助于开发大流量的 AR/VR 媒体和应用程序，以及 UltraHD 或 360°流媒体等应用。URLLC 是延迟敏感应用的关键，对网络的时延、抖动和丢包都有十分严格的要求，要求达到传统网络通过传输控制 TCP/IP 协议很难达到的超低时延。理论上，相比于 4G 网络，5G 在各项性能上的提升可以解决大流量视频业务，尤其是 VR 业务的网络要求，如表 2 所示。其中，令 u 、 p 分别为 4G 网络下的能效和频谱效率，则 5G 网络下

表 2 4G 与 5G 的性能对比

项目	4G	5G
流量密度/((Mb/s)/m ²)	0.1	10
峰值速率/(Gb/s)	1	20
用户体验速率/(Mb/s)	10	100~1 000
空口时延/ms	20	1
连接数密度/(万/km ²)	10	100
带宽/MHz	20	100
移动性/(km/h)	350	500
能效	u	100 u
频谱效率	p	3 p ~5 p

的能效和频谱效率分别为 100 u 和 3 p ~5 p 。

网络切片技术是实现表 2 中 5G 的高带宽和低时延性能的关键。在现实应用中，eMBB、URLLC 和 mMTC 三大应用场景包含各种服务等级约定(SLA)的垂直业务。如视频直播要求大带宽(多路 4K 视频上传)、低丢包率(小于 1.1×10^{-6})；远程医疗业务要求网络稳定，提供确定性时延；电力差动保护业务要求超低时延。当这些业务同时在一个 5G 承载网上传输，如何在流量突发、通道堵塞、资源抢占时依然保证它们各不相同的 SLA，便是 5G 切片网络解决的问题。网络切片利用网络功能虚拟化(NFV)和软件定义网络(SDN)可将一个物理网络划分为多个虚拟网络^[6]。其中，每一个切片代表一个独立虚拟化通道，拥有从无线接入到承载网再到核心网的端到端网络，从而可以满足不同业务场景需求。在物理网络被切片划分之后，不同业务场景可以接入各自虚拟专用网络。医疗行业的专用网络可以仅供医疗业务使用，从而合理划分公共通信资源，同时为医疗行业保障高质量的网络隔离和通信环境。

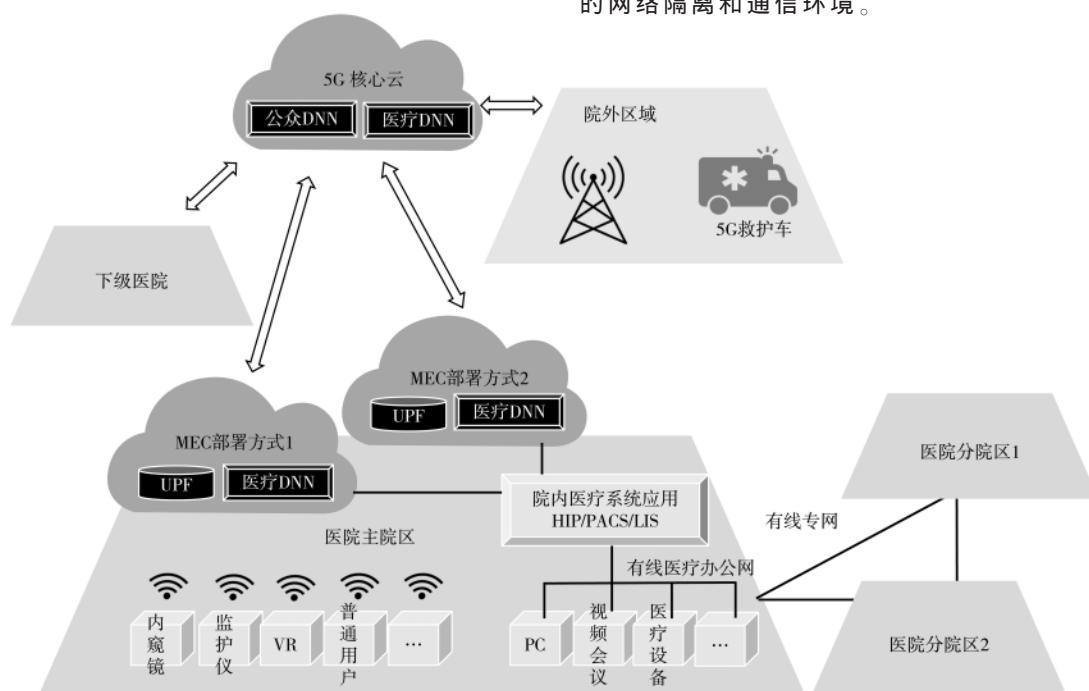


图 2 5G 智慧医疗专网方案

5G VR 应用可细分为不同应用场景,对网络承载能力提出了更细分的要求。因此,依据 eMBB、URLLC 和 mMTC 三大主要业务场景所切分的网络切片模式,需要进一步地细化来满足不同 VR 应用的要求^[7]。VR 直播类业务,如远程探视、远程手术直播,要求按需动态分配网络切片,并且能够支持视频本地化处理即边缘计算(MEC);VR 远程交互类业务,如远程示教,则要求网络 QoS 保证低时延抖动并且实现高网络覆盖率。虽然两种业务同属于 eMBB,但是依然需要对网络资源进行细化的调配与管理。在设计网络切片时,对不同业务类型,承载网络需要考虑表 3 中的要求。

表 3 VR 业务对网络切片的要求

	VR 直播类业务	VR 交互类业务
接入网	上行数据的压缩和增强 CoMP 的能力	灵活的移动性,低时延、低抖动,多任务高并发能力
传输网	跨区软隔离功能	网络与图像服务器的软隔离
核心网	边缘云数据交互管理, QoS 保证 60 Mb/s	物理资源共享,物理资源共享, QoS 保证 20 ms、10 Mb/s

3.2 Flex-E 技术

切片网络对物理端口的划分主要是通过 Flex-E 技术(Flex-Ethernet),也称之为灵活以太网技术。在物理层和客户端 MAC 层之间端口引入 Flex-Shim 层,来赋予每个切片独立的 MAC 地址,以此隔离物理层和客户端 MAC 层,从而达到比传统以太网更高的传输率,如图 3 所示。具体而言,Flex-E 在客户端接口采用时分复用技术 TDM,将数据按照时隙方式分发到不同的子通道,从而实现单一物理通道到多个虚拟逻辑通道的划分^[8]。目前,承载网的 Flex-E 切片技术中,最精细的 G.MTN/Flex-E 硬切片的粒度可达 1 Gb/s,当对 VR 切片根据具体的业务内容进一步进行切割时,子切片粒度可达到 Mb/s 级动态可调,从而可以满足 VR 直播的带宽要求。同时,这种嵌套式的切片技术可为 5G 医疗专网的部署分别提供专享通道或优享通道。其中,专享通道为医疗行业建立独立的切片网络,拥有专用的接口、带宽和承载网通道,充分满足医疗业务流量的隔离要求;而优享通道是在同

一通道内保证医疗业务与其他业务的隔离,通过 QoS 参数与核心网的切片进行连接,该通道适用于特定的医疗场景(如应急救护)。

3.3 基于 MEC 边缘计算的 VR 云方案

在应用切片网络的同时,需要加入移动边缘计算(MEC),将大量计算任务部署在靠近本地的网络边缘,减少数据传输的处理和转发时间并降低本地设备的计算成本。面向医疗的 5G MEC 是部署在医疗场景的多级边缘计算体系,计算节点被弹性部署在基站侧、基站汇聚侧或者核心网边缘,实现高宽带低时延的网络承载,保障医疗资源的智能化接入,实现资源承载的灵活性。另外,MEC 可以帮助加速医疗专用数据到医院内网的分流和移动网络至专有网络的接入,通过本地操作对时延性高的业务进行加速处理,也可以为医疗系统的第三方应用提供虚拟的承载环境,保障数据安全^[9]。本地缓存技术可以帮助 MEC 快速处理用户的 VR 影像请求,将缓存的内容迅速提供到终端用户。由于 MEC 服务器和以太网服务商通过速率高的有线传输,因此用户直接访问的请求时间可被大大缩短,实现高速传输。

因为 MEC 可以快速处理用户的请求数据来分担承载网的计算量,由此将基于云的 VR 技术结合 MEC 部署在云上将会是未来解决此类问题的一种方式。云计算的技术与 VR 业务相结合,在云端进行声音和显示的业务处理并下发结果至终端,因此终端的 VR 眼镜只需执行基础的控制、指令的上传与接收、视频解码和显示,从而节约了处理实际业务计算的任务成本^[10]。由此,VR 眼镜的物理结构也可以被大大简化。云端服务是 5G+VR 网络构架的核心,是提供数据储存和效果渲染,并将渲染结果实时转码和分发的服务平台。在运用云平台的基础上,VR 终端设备为采集图像的输入端,数据处理服务器配合云服务对场景进行图像采集,同时实现感知空间、识别物件、渲染图像和人机交互。大量的场景数据通过 5G 切片网络进行实时传输和立体化呈现,如图 4 所示。其中,云端服务的具体功能可以概括为 6 个方面,如表 4 所示。

3.4 SA 智慧医疗专网和测试结果

根据网络构架的演进,3GPP 标准中同时定义了 NSA 和 SA 两种 5G 业务组网模式^[11]。其中,NSA 使用现

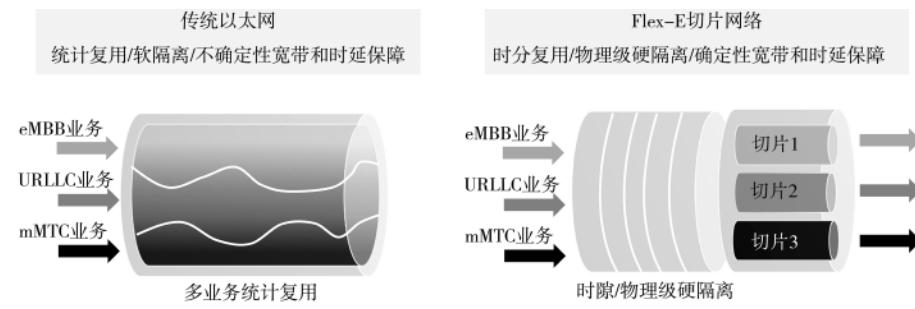


图 3 Flex-E 网络切片技术

有 4G 基站等基础设施接入 4G 核心网和 5G 核心网,来进行 5G 网络部署的组网模式,目前只能支持 eMBB 业务,但是依然有许多 5G 业务无法实现。而 SA 是一种独立组网的 5G 标准组网模式,利用 5G 基站作为控制面接入 5G 核心网,可以支持端到端切片,以满足不同业务的 SLA 要求。远程医疗行业需要足够大的上行带宽支撑视频回传,超低

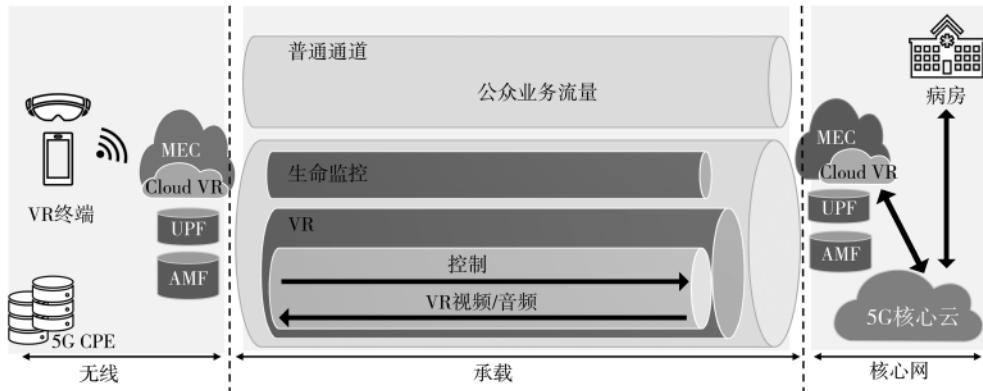


图 4 VR 场景的 5G 切片方案

表 4 云端服务的功能模块

序号	模块名称	功能
1	内容解码	对上传视频进行解压缩
2	内容推理	对上传视频进行分流
3	渲染节点	按照任务安排和渲染要求进行渲染工作
4	对象储存	对上传数据进行接收和储存,对分发数据进行转码
5	内容编码	对渲染后的效果进行转码和压缩
6	内容分发	将压缩的数据按需分配到前端和终端进行展示

时延支持实时控制,以及院区内数据的独立存储。本文探讨的 VR 应用基于 5G SA 智慧医疗专网,从而确保端到端切片技术的实行。

为了满足 5G 医疗全场景的网络承载要求,基于弹性切片的全场景 5G SA 智慧医疗专网,采用 5G SA 核心网和网络切片+MEC 技术,为医疗专网的定制提供了方案,同时为医疗 VR 场景中海量视频数据快速准确的传输提供了保障。2019 年的初步测试结果表明,在院内和跨区的互联条件下,1 Gb/s 切片下载速率可超过 900 Mb/s,上行速率大于 180 Mb/s,用户平均时延低至 8 ms。而在网络负荷较高,5G 普通业务速率下降 60%、最大时延增大 6 倍的情况下,5G 医疗专网内的各项业务服务质量指标仅维持正常水平,上行带宽保障率达 95%,下行带宽保障率高于 90%,时延保障率高达到 99%。实验结果证实了基于 Flex-E 切片的 5G SA 医疗专网的确定性和可靠性,为 VR 医疗场景的应用提供了基础。

4 结论

在 5G SA 切片网络承载下,结合边缘计算技术而实现的更大的上行带宽以及超低的确定性时延,可以支持海量视频回传和实时远程控制,为 5G VR 在医疗领域的应用提供了解决方案,为未来 VR 探视、VR 超声和 VR 示教等业务的发展提供了通信技术支持,从而推进医院业务的智能化和医疗工作的高效化,并全面提高患者的就医体验。本文以 VR 探视为例,提出了基于 5G SA 智慧医疗专网的承载网方案,运用 Flex-E 弹性切片技术将医疗资源与公共资源隔离,确保 VR 数据的高效传输,同时加入边缘计算结合云 VR 进一步细化了 VR 场景的切片方案,为 VR 应用在医疗业务中的数据传输提供了

快速稳定的网络方案。

参考文献

- [1] JOVANOC E, MILENKOVIC A. Body area networks for ubiquitous healthcare applications: opportunities and challenges[J]. Journal of Medical Systems, 2011, 35(5): 1245–1254.
- [2] AHAD A, TAHIR M, YAU K A. 5G-based smart healthcare network: architecture, taxonomy, challenges and future research directions[J]. IEEE Access, 2019(7): 100747–100762.
- [3] 左雾.看病不再难,云+5G 让智慧医疗触手可及[J].互联网周刊,2019(15): 20–21.
- [4] 刘洁,王庆扬,林奕琳.5G 网络中的移动 VR 应用[J].电信科学,2018,34(10): 143–149.
- [5] 彭建,周钰哲,孙美玉,等.5G 十大细分应用场景研究[N].中国计算机报,2019-07-15(012).
- [6] 赵国锋,陈婧,韩远兵,等.5G 移动通信网络关键技术综述[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2015,27(4): 441–452.
- [7] 张云勇,严斌峰,王鑫,等.网络切片赋能行业应用的模式探究[J].信息通信技术,2019,12(4): 7–13.
- [8] KATSALIS K, GATZIKIS L, SAMDANIS K. Towards slicing for transport networks: the case of Flex-Ethernet in 5G[C]. 2018 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking(CSCN), 2018: 1–7.
- [9] 盛煜,彭恒,冯毅.基于 5G 移动网络的智慧医疗应用[J].邮电设计技术,2019(7): 1–5.
- [10] 李洁,林鹏,王宇,等.5G 网络视频业务承载与发展分析[J].邮电设计技术,2018,11(18): 86–92.
- [11] 孙彪.5G NSA 和 SA 共存网络架构及演进浅析[C].5G 网络创新研讨会(2019)论文集,2019.

(收稿日期:2020-03-06)

作者简介:

黄山松(1992-),男,硕士,主要研究方向:5G 切片网络在远程医疗行业的应用。

瞿运开(1980-),通信作者,男,博士,教授,主要研究方向:医疗信息系统与管理、医疗服务模式与质量、医联网与医疗健康大数据、ICT 使能管理创新的理论与实践。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所