



基于 5G 医疗定制网的远程手术的实践与思考

李英忠

(中国电信股份有限公司北京分公司, 北京 100010)

摘要:“新基建”的加快实施, 社会各界正紧紧抓住有利时机, 充分发挥制度优势, 凝心聚力, 加快 5G 网络建设, 推动 5G 应用扎实落地, 将 5G 打造为加速数字化转型进程、助力经济高质量发展的重要引擎, 为 5G 智慧医疗按下了快进键。首先, 介绍了 5G 远程手术实践成效; 其次, 结合应用实践, 介绍了 5G 远程手术实践应用场景、需求与痛点、研究理念、设计与实现、技术与方法并进行了实用分析; 最后, 给出相应的思考及未来展望。

关键词: 5G 医疗定制网; 远程手术; 智慧医疗

中图分类号: TN913

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021251

Remote surgery based on 5G medical customized network practice and thoughts

LI Yingzhong

Beijing Branch of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100010, China

Abstract: With the accelerated implementation of the “new infrastructure”, all sectors of society are seizing the favorable opportunity, giving full play to the institutional advantages, concentrating, accelerating the construction of 5G network, promoting the solid implementation of 5G applications, building 5G into an important engine to accelerate China's digital transformation process and boost high-quality economic development, and pressing the fast forward key for 5G wise information technology of med. Firstly, the case background of 5G remote surgery were introduced. Then, combined with the project practice, the practical results of 5G remote surgery were introduced, then combined with the application practice, the application scenario, needs and pain points, research concept, design and implementation, technology and methods of 5G remote surgery were analyzed, and a practical analysis was completed. Finally, the corresponding thinking and future prospects were given.

Key words: 5G medical customized network, remote surgery, wise information technology of medical

1 引言

近年来, 5G+医疗健康政策陆续出台, 应用场景不断增加, 持续推动 5G 在医疗行业的建设、应用和产业发展。

2020 年 3 月, 工业和信息化部印发《关于推动 5G 加快发展的通知》, 提出开展 5G 智慧医疗系统建设, 搭建 5G 智慧医疗示范网和医疗平台, 加快 5G 应用推广。3 月中旬, 国家发展和改革委员会与工业和信息化部联合印发《关于组织实施

2020年新型基础设施建设工程（宽带网络和5G领域）的通知》，发布了7项5G创新应用提升工程。首先强调“面向重大公共卫生突发事件的5G智慧医疗系统建设”，并从6个维度提出了具体的建设指标要求。

2020年9月，国家卫生健康委员会联合国家中医药管理局印发《关于加强全民健康信息标准化体系建设的意见》，鼓励医疗健康5G技术应用标准化建设，明确5G在医疗健康领域应用场景，加快5G医疗健康应用标准研制，鼓励医疗卫生机构在确保安全的前提下，借助5G技术优化卫生健康网络基础设施，推进应用创新。

2021年7月，工业和信息化部、中央网络安全和信息化委员会办公室、国家发展和改革委员会、教育部、财政部、住房和城乡建设部、文化和旅游部、国家卫生健康委员会、国务院国有资产监督管理委员会、国家能源局等十部门近日联合印发《5G应用“扬帆”行动计划（2021—2023年）》，明确到2023年，我国5G应用发展水平显著提升，综合实力持续增强。打造IT（信息技术）、CT（通信技术）、OT（运营技术）深度融合新生态，实现重点领域5G应用深度和广度双突破，构建技术产业和标准体系双支柱，网络、平台、安全等基础能力进一步提升，5G应用“扬帆远航”的局面逐步形成。社会民生领域，打造一批5G+智慧教育、5G+智慧医疗、5G+文化旅游样板项目，5G+智慧城市建设水平进一步提升。

抗击新冠病毒肺炎疫情战“疫”中，新兴的5G等医疗信息科技手段在远程医疗方面也发挥了显著作用，5G远程医疗等也被认为是当前热门的“新基建”概念的重要组成部分。

传统就医模式使得患者集中在三级医院，导致医生负荷过重、就医体验较差、优质医疗资源浪费严重。在推进分级诊疗制度建设的过程中，存在各个医疗机构之间的信息共享问题，以及优质医生多集中在顶级医院的问题。除了医疗技术

和体制的制约，落后的医疗通信手段也制约了医疗资源的充分利用。与传统远程医疗实现方式相比^[1]，5G远程医疗融合了医学、通信、信息等新技术，支撑海量多媒体医疗数据的安全、高速传输，推动了远程医疗行业快速健康发展。采用5G技术进行通信，5G的高带宽、低时延特性，助力医疗卫生信息化建设的推进，可充分发挥通信技术、大数据等信息技术手段在诊疗中的作用，促进跨地域、跨机构就诊信息共享，利用信息化手段促进医疗资源纵向流动，提高优质医疗资源可及性和医疗服务整体效率，促进二、三级医院向基层医疗卫生机构提供远程会诊、远程诊断、远程手术、远程培训等服务，有利于医疗精准扶贫、提高基层医疗水平，实现优质医疗资源下沉，提高优质医疗资源可及性和医疗服务整体效率。5G远程医疗的开展，打破了医疗服务的时空限制，促进医疗资源的线上流动，能充分发挥上级医院的优质医疗资源优势，在疾病诊断、监护、治疗等多方面为下级医院、基层医疗机构等提供信息化、远程化医疗服务，缓解当地诊疗压力，还可降低医疗费用，减少患者在享受同等医疗服务下的经济支出。5G远程医疗能够缓解医疗资源分布不均的问题，促进医疗健康服务的创新供给和医疗资源的开放共享，对缩小各地区医疗资源不平衡、提升基层医疗健康服务能力和普惠水平等多方面具有重要意义^[2]。

2 5G远程手术实践的落地成效

2019年6月27日，医院专家在北京积水潭医院机器人远程手术中心，通过远程手术服务云平台，同时交替操控两台异地机器人，为烟台市烟台山医院和嘉兴市第二医院的两个脊椎骨折病人进行了三维定位脊椎螺钉固定手术，共打入了12颗螺钉，定位准确无误，成功完成骨科手术机器人多中心5G远程手术。

2019年8月27日，借助中国电信5G网络支持，北京积水潭医院通过远程系统控制平台与天



津市第一中心医院、克拉玛依市中心医院、张家口市第二医院连接,北京骨科专家交替对三地手术机器人进行抓取,规划手术方案并远程操控,成功进行三地的远程手术。

2021年3月3日,北京积水潭医院机器人远程手术中心成功实施5G远程骨科机器人辅助创伤手术。借助5G网络技术,身在北京的专家,成功帮助远在安徽省宿州市第一人民医院的跟骨折患者完成了左跟骨闭合复位拉力螺钉内固定手术。

2021年4月19日,北京积水潭医院机器人远程手术中心与拉萨市人民医院手术室通过5G通信技术实时连线,北京专家成功实施京藏“5G+骨科手术机器人”远程骨科手术,为一名远在3 000 km外的股骨颈骨折患者完成了闭合复位螺钉内固定术。这次手术的成功实施,标志着北京积水潭医院开启了科技助力组团式援藏的新方法。

该5G远程手术应用实践自2019年成功实施开展以来,已经成功复制并在一定范围内规模推广。截至2021年9月,北京积水潭医院已成功与河北、西藏、浙江、山东、天津、安徽、广东等10余个省区市成功开展实施50余例5G骨科远程手术,标志着我国5G通信技术与医疗领域人工智能应用结合达到了新高度。同时,该应用实践获2019年工信部第二届“绽放杯”5G应用大赛医疗专题赛一等奖及全国总决赛一等奖;2021年世界5G大会5G应用揭榜赛二等奖;2021年工信部第四届“绽放杯”5G应用大赛医疗专题赛一等奖。

3 5G 远程手术实践的应用场景

依托中国电信5G医疗定制网技术方案为北京积水潭医院打造了一个智慧医疗新型DICT(data information communication technology)数字化底座,与远程医疗业务属性与场景需求相结合,并通过定制化的“5G+云+边+用+服+安全”的融合服务,实现对远程医疗、智慧医疗多业务场景的赋能支撑。

5G医疗定制网以5G商用网络为基础,实现

对连接、计算、智能等全部数字化能力的“融合定制”,为行业客户提供安全可信、自主可控的专用信息化基础设施,融合网络、边缘计算、云、应用平台的5G定制网综合解决方案,作为构建医疗数字化转型升级的基石和加速器,可为医疗行业客户提供安全可信、自主可控的专用信息化基础设施,推动信息化、智能化转型升级。

行业数字化变革正席卷全球,各行各业都在积极探索其数字化转型道路。随着行业供给侧技术的发展与需求越来越旺盛,面对多行业多场景的差异化网络需求,服务于公众用户的5G商用网络已很难满足其全部要求。在此背景下,以业务场景为驱动的5G定制网,通过定制化的“5G+边+云+X”融合服务,全面满足客户时延确定化、数据本地化、服务差异化、业务自主化等各类需求,加快行业客户数字化转型升级步伐。5G定制网相较于传统5G商用网络差异体现在如下3个方面。

- 提供安全隔离、差异多样、灵活定制的网络能力。
- 全力打造云网融合新型信息基础设施,助力定制网融合升级。
- 基于云边算力一体化布局,能力动态调度,为行业客户提供云边一体的综合数字化解决方案。

主要实现场景功能如下:通过5G医疗定制网打造智慧医疗新型DICT数字化底座,提供高安全、高可靠、大带宽、低时延的5G医疗定制网服务,覆盖院内、院间、院外医疗场景,满足智慧医疗各环节所涉及软件和终端的网络接入需求;基于5G医疗边缘云平台、远程医疗云平台以及视频云服务平台,落地多个医疗应用场景,主要包括远程影像、远程心电、远程病理、远程预约、远程会诊、远程医疗教学、远程手术等。

4 5G 远程手术实践的需求与痛点

从发展现状来看,远程医疗的效果受制于传统

通信技术,使得医患两地距离受到限制,对操作精度及实时性要求较高的诊断与手术来说难以广泛开展。对于远程手术、远程手术指导、远程手术示教等远程医疗场景的业务需求,主要有以下 4 点。

- 手术室设备多、线缆多,对手术操作者活动空间造成影响,并增加病患手术感染可能性。用无线通信解决手术室线缆多,减少病患手术感染可能性的需求较大。
- 传统的医学示教会受到设备和网络环境的局限,一般只能在院内进行点对点的视频传输教学,无法传输给更多边远地区的基层医生进行学习。在我国,很多边远地区的基层医护人员缺少有质量的学习和指导,且医护人员被限制数量进入手术室参与观摩教学,新的手术技术传播受限。
- 由于医疗资源分配不均,城乡之间医疗资源差距大,许多在边远地区的患者扎堆在大医院进行治疗,不仅增加了大医院的压力,还为患者带来不便,而且医疗专家资源下沉的阻力也会增加。
- 传统医院 Wi-Fi 及 4G 网络存在速率低、干扰强、时延大等特点,在医疗行业应用带宽、时延、可靠性要求较高的场景如高清视频会诊、低时延的远程操作时挑战较大。

5G 远程手术和远程手术指导等场景的网络指标需求见表 1。

随着 5G 技术的成熟和产业的推广,传输速率得到大幅度提升,时延等问题得到有效的解决。通过 5G 网络切片和边缘计算等技术,将不再采用传统的网络有线连接,可直接在 5G 信号覆盖的范围内,直接接收 5G 信号,并将机器人控制协议,直接编码,通过 5G 网络传输到远端,解决有线的

部署不方便问题。同时 5G 网络与传统有线网络相比优势体现在如下 3 个方面。

- 5G 网络可以简化手术室内复杂的有线网络环境,降低网络的接入难度和建设成本。
- 5G 网络相较于传统有线网络,可以更灵活定制网络资源,实现快速开通,灵活扩容。
- 5G 网络对于移动性场景的支持更稳定,如移动护士站、消毒机器人、移动远程查房车等。

5G 远程手术等远程医疗场景实施过程中通过 5G 高带宽、超低时延、超高可靠特性将远程现场 360°全景视频、多路高清视频、音频、触感等信号反馈到专家侧,专家依托搭建的手术室视频、影像、力反馈、AI 等信息还原系统,通过构建病灶模型与患者身体的精确匹配,为现场医生提供现实与虚拟叠加的影像,实现远程精准手术指导或操控^[3]。

5 5G 远程手术实践的研究理念

根据 5G 远程手术等远程医疗场景对网络的不同需求,本应用实践打造了“1+N”的远程医疗产品体系,即构建“1”个基于 5G 医疗定制网的智慧医疗新型 DICT 信息化数字化底座,并以该 DICT 基础设施为基础,开展了“N”个远程医疗智慧应用创新和实践。

(1) “1”个智慧医疗 DICT 数字化底座

以 5G 医疗定制网为基础,通过 5G 切片^[4]、边缘计算的专属定制,满足医院对医疗应用大流量、低时延、低投入、高算力、高性能、高安全等多方面需求,为医院打造安全可信、深度融合的智慧医疗新型 DICT 信息化基础设施,提供高速、稳定、安全的“全连接”网络服务,实现了

表 1 远程手术场景网络指标要求

上行速率	下行速率	时延	覆盖范围	网络切片技术必要性
≥40 Mbit/s	≥80 Mbit/s	≤50 ms	手术室、骨科远程中心等	必选



对智慧医疗的连接、计算、智能等全部数字化能力的“融合定制”，提升优质医疗资源共享能力，同时，减轻医疗机构在网络与计算资源的投资、建设、维护、升级等负担，快速构建服务个性化、业务智能化、流程可视化的智慧医疗业务体系，助力医院信息化建设的可持续发展，推动智慧医疗的数智化转型升级。

(2) “N”个远程医疗业务应用场景

已在医院实践落地远程手术、移动护理、远程影像、远程心电、远程病理、远程预约、远程会诊、远程医疗教学等 N 个 5G 智慧医疗行业应用，并可基于 5G 医疗定制网弹性场景扩展。

6 5G 远程手术实践的设计与实现

5G 医疗定制网整体技术方案架构可分为终端层、应用层、能力层和网络层 4 部分。5G 智慧医院架构视图如图 1 所示。

(1) 终端侧：搭建基于 5G 的医疗物联网生态系统，实现医疗服务智慧化和医疗设备管理可视化

基于 5G 医疗定制网，同步将相关配套终端进行升级，发挥 5G 技术优势。对医护查房手持移动护士站终端设备，远程会诊视频会议终端、视频采集终端、通过集成 5G 通用模组的方式，使得医疗终端具备连接 5G 网络、利用 5G 网络传输数据的能力。同时医疗骨科手术机器人、C 型臂影像设备 etc 通过 5G CPE (customer premise equipment) 等设备接入 5G 网络实时精准地传输下达并执行操作指令。

(2) 应用侧：电信运营商与医院、骨科机器人厂商紧密合作，实现远程医疗多环节的智慧应用落地

根据 5G 大带宽、低时延、广连接三大技术特点支撑不同的智慧医疗应用场景，如远程影像、远程心电、远程病理、远程预约、远程会诊、远程医疗教学、远程手术等。

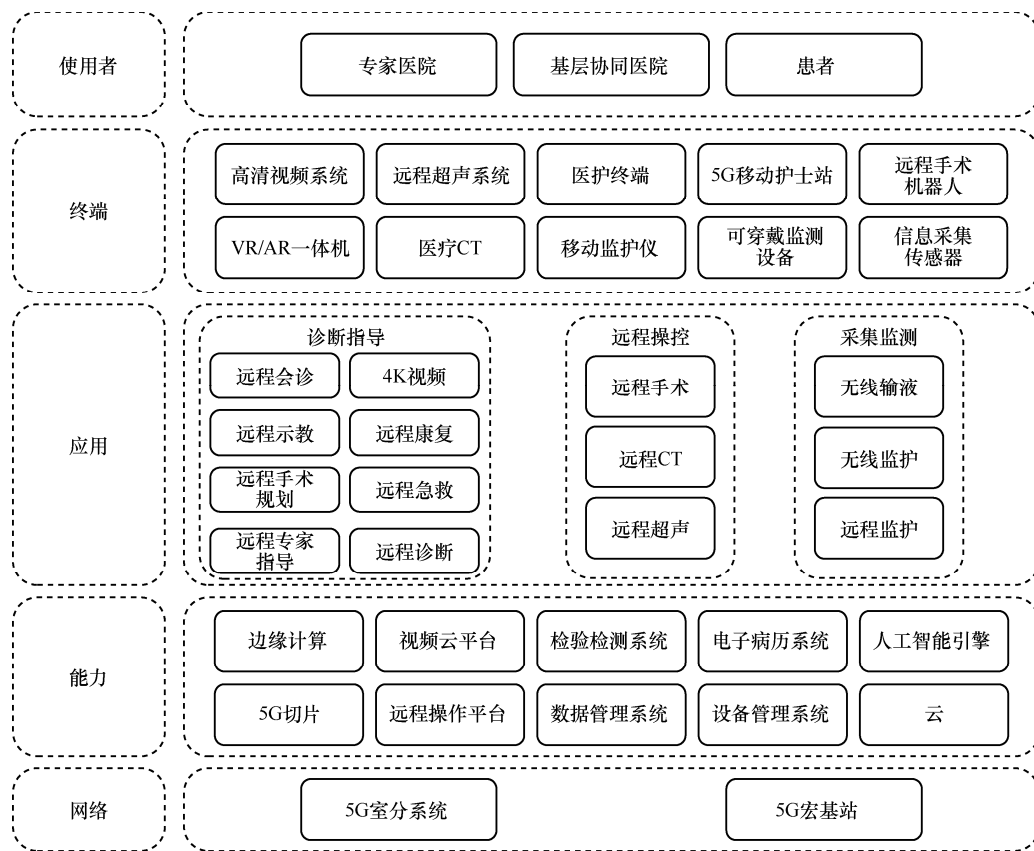


图 1 5G 智慧医院架构视图

(3) 能力侧: 打造云网融合的 5G 医疗边缘云平台, 为医院提供可管可控的云网一体化服务

实现医疗信息的存储、运算和分析, 起着承上启下的过渡作用, 5G 网络架构整体视图如图 2 所示, 通过移动边缘计算^[5] (mobile edge computing, MEC)、5G 切片专线、人工智能、云存储等新技术, 将患者影像数据、高清音视频数据进行存储分析处理, 为前端的应用输出有价值的信息; 同时在边缘云平台部署移动护士站应用、视频平台应用、远程医疗平台等应用程序, 协助医疗智慧化应用场景、医疗健康大数据管理、集群应用的云化统一部署。

(4) 网络侧: 以业务需求重塑 5G 网络配置, 定制安全隔离、灵活调度的 5G 医疗定制网

医院 5G 网络数据流图如图 3 所示, 不仅要满足带宽、速率、时延上的需求, 实际应用中还满足了医院对医疗数据的安全隔离即医疗数据不出院、可快速部署复制、智慧化网络运营等网络诉求。

5G 核心网侧以 5G SA (standalone) 网络+园区专用轻量级 UPF (user plane function) 为核心架构, 配置独享型 UPF 承载园区内 2B 流量, 数据经终端至园区内 5G 室分站点至园区内 A 设备至园区内 UPF 设备至客户侧平台, 实现客户业务分

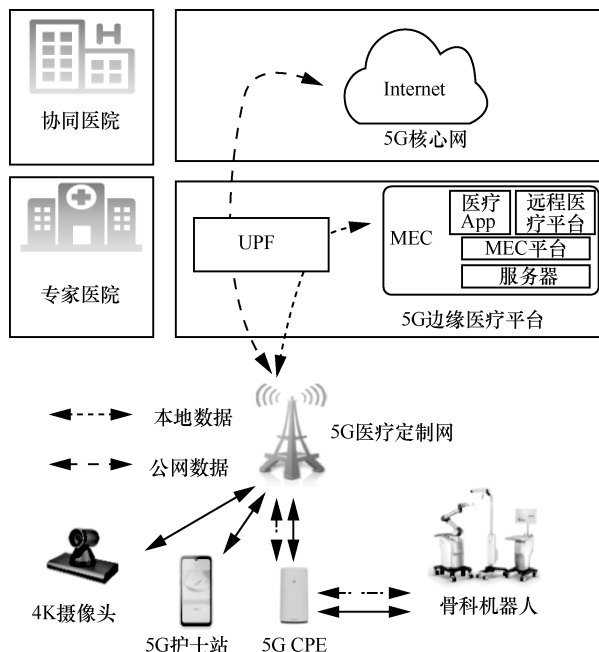


图 2 5G 网络架构整体视图

流其中下沉 UPF 能力部署设计实现情况见表 2。

医院 5G 医疗定制网建设覆盖业务保障、资源隔离、灵活调配、安全保障 4 项能力。

- 业务保障能力, 用户/业务级的服务保障, 包括时延、速率、可靠性、连接数保障。
- 资源隔离能力, 无线带宽、传输通道、核心网切片, 端到端资源隔离, 使得院内敏感数据本地云化存储和计算, 数据隔离规避泄露风险。

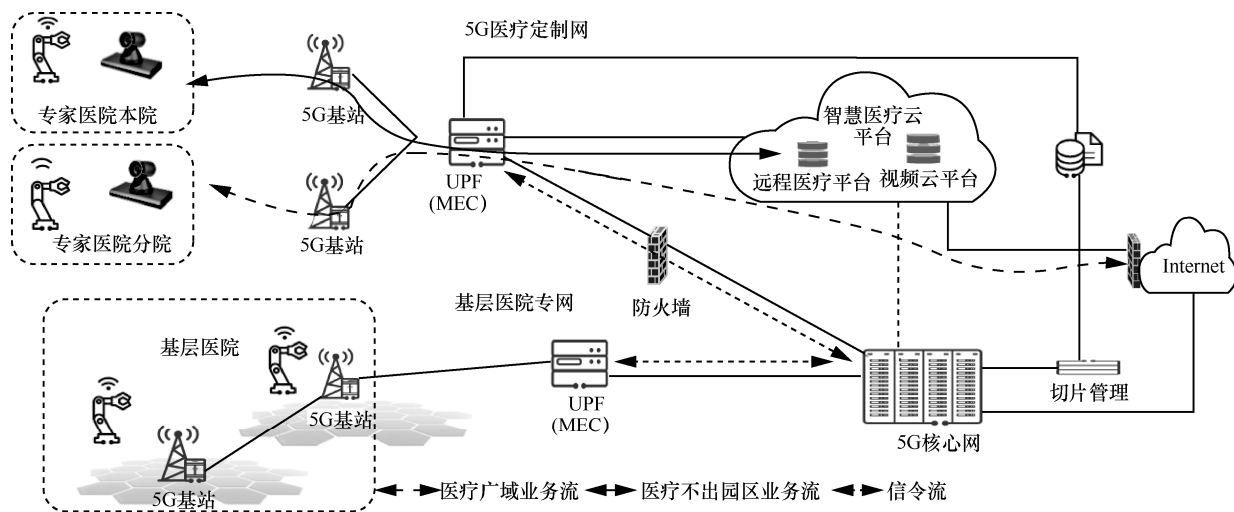


图 3 5G 网络数据流



表 2 UPF 能力设计实现概况

功能名称	是否实现并支持
支持结束标识(end marker)	是
会话管理	是
UE IP (user equipment internet protocol) (用户终端互联网协议) 地址分配	是
支持上行分类器 (uplink classifier, ULCL) 数据分流 (包括基于业务数据流 (service data flow, SDF) / 预定义规则/应用标识 (application identification, App ID) 的 ULCL 分流)	是
数据转发与路由	是
支持多会话管理功能 (session management function, SMF) 对接	是
IPv6 支持	是
策略接收与执行	是
移动性管理要求	是
深度报文解析 (deep packet inspection, DPI) 功能	是
计费支持	是
超文本传输协议 (hyper text transfer protocol, HTTP) / 超文本传输安全协议 (hyper text transfer protocol over securesocket layer, HTTPS) 头增强	是
区分服务 (differentiated service, DiffServ) 功能	是
特通功能	是
支持业务子接口和承载参数映射	是
服务化要求	是
支持虚拟专用拨号网络 (virtual private dial network, VPDN)	是

- 灵活调配能力, 面向医疗的细分场景, 通过多种技术方案按需调配网络资源。
- 安全保障能力, 联合医疗终端安全防护技术、医疗数据保护技术、医疗 MEC 安全防护技术, 并结合传统的网络安全技术, 提供更灵活的业务接入、更可控的数据管理, 构建了面向医疗行业全流程的、端到端的安全防护方案。

7 5G 远程手术实践技术与方法

本应用实践选择 5G SA 组网, 并通过核心网互操作方案实现 4G 网络和 5G 网络的协同, SA 方案是 5G 空口直接接入 5G 核心网, 控制信令完全不依赖 4G 网络, 通过核心网互操作实现 5G 网络与 4G 网络的协同, 采用 SA 方案, 5G 网络可

支持网络切片、MEC 等新特性, 其中 5G 医疗定制网络能力视图如图 4 所示。

7.1 5G 医疗定制网

基于医疗行业数据本身的敏感性强、业务场景覆盖范围大等特点, 为医院设计了基于 5G 医疗定制网的专属网络解决方案。以 5G 云网为基础, 打造安全可信、深度融合的新型 DICT 信息化基础设施, 实现对连接、计算、智能等全部数字化能力的“融合定制”, 通过院外急救救治网、院间远程医疗网、院内医疗定制网的建设, 实现高速、稳定、安全的“全连接”网络服务。

7.2 5G 医疗边缘云

应用实践结合边缘计算^[6]和 UPF 设备, 融合 5G 切片、边缘计算、云边协同等技术, 打造了 5G 医疗边缘云方案。通过 5G 医疗边缘云的专属定

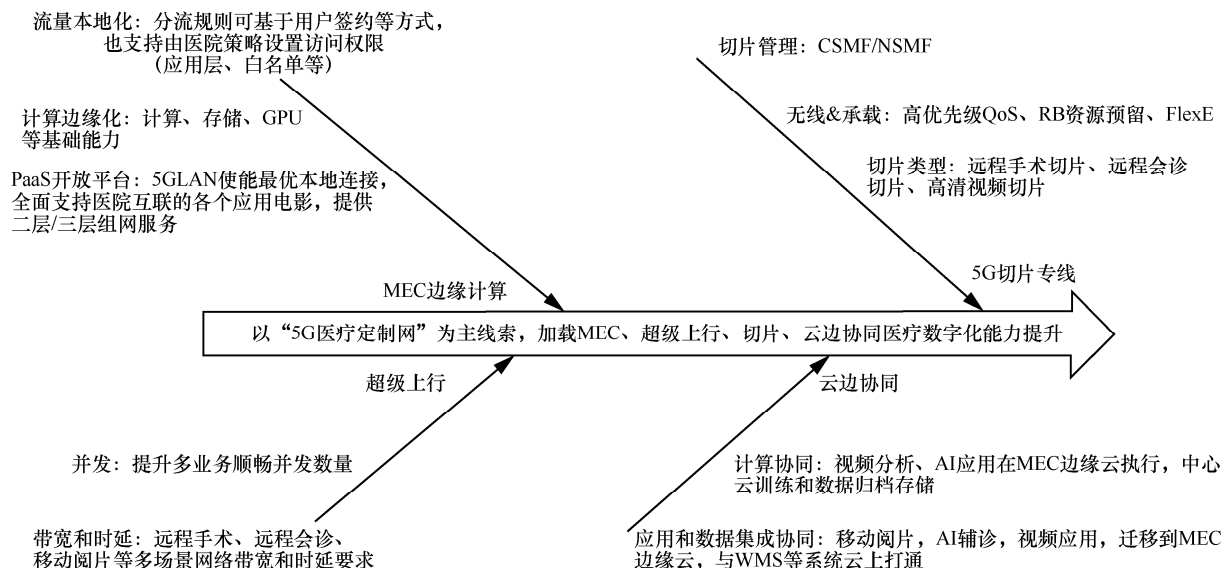


图4 5G 医疗定制网络能力视图

制, 更好地满足多场景下大流量、低时延、低投入、高算力、高性能、高安全等应用需求, 助力医院新型 IT 系统构建。

7.3 5G 切片专线

利用 5G 网络切片技术, 快速建立上下级医院间的专属通信通道, 有效保障远程手术的稳定性、实时性和安全性, 让专家随时随地掌控手术进程和病人情况, 实现跨地域远程精准手术操控^[7]和指导。网络切片能力是在此应用实践中应用的 5G 创新技术之一, 依托 5G、无线接入网 IP 化(IP radio access network, IP RAN)、光传送网(optical transport network, OTN), 为客户提供单端或双端 5G 接入的点对点专线、入云专线产品, 保障客户专线通路安全可靠。利用 5G 网络切片、QoS (quality of service) 等新型质量保障手段, 拉通移动网和光网, 为客户提供服务质量有保障的运营级 5G 网络接入服务^[8]。通过定制化的网络服务、可保障的网络资源, 实现端到端的“专用”网络服务。

实践应用的切片分为 3 类: 第一类是机器人控制切片, 可实现毫秒级低时延, 保证机器人控制数据和命令的可靠传输; 第二类是医疗设备监测切片, 可实现海量设备数据的采集和设备巡检

数据上传; 第三类是医疗设备通信切片, 可满足医疗影像、重要数据的传输需求。

8 5G 远程手术实践的实用性分析

依托 5G 医疗定制网的 5G 网络切片可以针对跨越千里的远程机器人手术不同的数据流做到差异化 QoS, 包括远程手术指导的视频流、远程机器人机械臂信令流、C 型臂远程影像流。

结合具备云网资源优势的边缘云平台、分布式部署工作站, 并行计算处理、近源分析, 打造纵深服务, 兼具横向扩展的, 可持续化、可运营化的 5G 手术机器人远程手术公共服务平台。

5G 医疗定制网端到端的数据安全性, 解决医疗数据对传输、交换、共享方面的刚性要求, 中国电信全国 2+31+x 的云资源布局, 可以覆盖省市县乡四级地区, 通过核心云-边缘云的部署模式, 借助远程医疗云平台, 助推优势医疗资源下沉、健康扶贫等政策的落地实施, 同时提供 5S 的安全防御体系, 做到物理层、网络层、平台层、数据层、应用层 5 个维度的安全保障, 确保跑在平台的数据是安全可信的, 搭在平台上的应用是安全可靠的, 基于平台提供的服务是安全可追溯的。与此同时, 5G 远程手术应用实践自



2019 年成功实施开展以来, 经过数十次 5G 远程手术的顺利开展, 监测统计远程手术的网络指标均值如 RSRP (reference signal receiving power)、SINR (signal to interference plus noise ratio)、时延、5G 上行速率、5G 下行速率、医疗云切片应用等, 见表 2, 各项指标均可满足 5G 远程手术场景需求。

从 2019 年至今, 专家远程服务在基层医院骨科机器人的应用中具有普遍性的需求, 患者也具有很强的支付意愿和支付能力。分级诊疗一直是国家医改近年来的重点方向, 但由于无法解决百姓对基层医疗机构的信心以及各级医疗机构的利益分配, 改革的实际成效有限。骨科手术机器人的应用可以保证手术效果, 增强百姓对基层医疗机构的信心。

5G 网络使远程实时手术具有了技术保障, 以专家资源为核心搭建远程手术服务云平台, 为远程医疗等智慧医疗应用创新和持续演进提供了便利, 改善了患者就医体验, 提高了基层医疗机构骨科手术的整体水平, 探索新型服务模式, 以市场化机制开展运营, 合理解决各级医疗机构的利益分配, 形成可持续的长效机制, 具备可推广性。通过实践分析对于骨科专科临床领域手术的开展, 现阶段 5G 远程手术适用的情况建议满足如下 7 个必要条件。

- 基层医院配备骨科专科专业医护人员, 且经过系统且严格的骨科机器人操作培训, 并通过考核认证, 在院内已开展骨科手术临床应用。
- 基层医院及专家医院配备骨科机器人软件、设备、终端、耗材等。
- 专家医院与基层医院术前由多学科充分论证远程手术必要性及风险, 并制定详细手术规划、操作方案及应急预案。

- 基层医院患者充分与本人专业的主治医师沟通, 了解远程骨科手术流程、原理, 并知情同意远程手术风险, 签署知情同意书。
- 远程手术适应症适用于四肢、骨盆以及颈、胸、腰、骶、脊柱全节段手术。例如, 骨盆骨折、四肢骨折、手足骨折、脊柱退行性病变引起的腰椎滑脱, 脊柱椎体压缩性骨折, 脊柱侧弯, 椎间盘突出, 骨盆多发性骨折, 股骨颈骨折, 股骨头坏死等, 同时患者对手术创伤面大小及良好的术后效果有较高要求。
- 远程手术禁忌症大致有如下 5 类: 第 1 类是骨质疏松患者, 该类患者通常不能承受治疗是采取的内固定或者是外固定, 会加重骨折的危害, 使患者的症状更严重。第 2 类是伴随活动性感染或骨髓炎的患者, 优先结合生物学方法控制患者的感染。第 3 类是由于瘢痕、烧伤、活动性感染或皮炎导致骨折或计划手术部位的软组织覆盖差, 易导致感染恶化。第 4 类是已不能成功重建的粉碎性骨折的患者。第 5 类是不能耐受全身麻醉的患者等。
- 专家医院及基层医院术前充分验证调试 5G 网络、平台及设备软硬件设施。

9 5G 远程手术的思考与展望

在国家远程医疗等政策的有力推动下, 目前医疗行业与 5G、AI (artificial intelligence) 等新技术跨界融合的趋势与价值已经有目共睹。本应用实践是 5G 医疗定制网与远程医疗的一次成功结合, 案例的成功实施及在一定范围内开展规模复制推广, 进一步标志着 5G+MEC+云+AI+远程

表 2 北京机器人远程手术中心网络指标统计

网络类型	RSRP/dBm	SINR/dB	时延/ms	上行速率/(Mbit·s ⁻¹)	下行速率/(Mbit·s ⁻¹)	网络切片应用
5G	-76.32	30.66	29	79.29	850.5	是

医疗平台的可实施性、可操作性,为未来实现医疗资源共享、推进医联体共建提供新的发展思路。

展望未来,5G 产业的快速发展,机器人技术的日新月异为医疗领域带来更多可能。医疗行业的信息化是无线化、远程化、智能化的融合应用,数字化的建设发展有力推动平衡社会医疗资源、提升医疗效率。以 5G 为基础的超高清视频与医疗云将得到广泛应用并在多场景快速发展。5G 医疗定制网支持下的机器人远程手术对智慧医疗产业的产业将产生多方面、多层次的积极效应。

(1)以 5G 远程手术机器人手术成功实施为基础,平台将聚合和赋能更多远程医疗和智慧医疗的场景

本应用实践建立的 5G 医疗切片网络支持下的机器人远程手术公共服务和大数据云平台,将聚合更多远程医疗和智慧医疗的场景。主要包括 4 个方面:第一,医院监测与护理类场景,在医院日常管理中,基于 5G 低时延、大连接特性,采用机器人完成物资配送、消毒、患者引导等工作,可以有效节省人力、保障安全;第二,远程诊断与指导类应用场景,基于 5G 的增强型移动超宽带特性,通过超高清视频,实现远程会诊、示教、专家指导、应急救援等应用,有效打破空间限制,实现医疗资源下沉;第三,远程操控类应用场景,5G 网络使得远程超声波、远程内窥镜、远程手术等对设备终端与患者的交互敏感性有极高要求应用具有可操作性;第四,采集监测类场景,依赖于 5G 的大连接特性,院内监护设备、个人可穿戴设备都可以实时独立联网,真正做到可持续监控,为医生的诊疗起到服务作用,为患者提供不间断的医疗保护。

(2)5G 远程手术将有效盘活远程医疗产业上下游,促进远程医疗从“遥规划”到“遥操作”的跨越

本应用实践有效地验证了构建的 5G 医疗切片网络支持下的机器人远程手术公共服务和大数据云平台的可靠性和安全性。从产业链的上游来看,随着平台进一步聚合远程医疗和智慧医疗的

其他场景,将反推远程高清音视频、远程机器人、医用影像设备等软硬件生产厂商的创新升级;从产业链的下游来看,5G 医疗切片网络支持下的机器人远程手术公共服务和大数据云平台将逐步聚合和落地实施远程操控、远程指导示教、采集检测等智慧医疗场景,有效增强医疗从业人员和患者对远程医疗的认可程度,从需求侧推动远程医疗和智慧医疗的规模发展。

(3)5G 远程手术助力医疗资源合理利用共享

在规模化应用后将方便患者就近看病就医、就近会诊转诊,使专科资源合理调配,盘活闲置资源,消除病源虹吸现象,并加强专科资源跨区域协同,促进医保异地结算等方面发挥作用^[9]。目前来看“看病贵”“看病难”是我国主要矛盾之一,远程医疗服务即使医疗机构、医生突破地理范围的限制,共享病人的病历和检查、检验资料,实现医疗资源、人力资源的共享,又极大地方便患者,可使基层群众享受到高水平、高质量的医疗服务,节约患者的看病时间和就医负担。因此,以 5G 医疗切片网络支持下的机器人远程手术公共服务和大数据云平台聚合远程医疗和智慧医疗的应用生态圈,将进一步优化医疗资源配置、促进优质医疗资源下沉、推进分级诊疗制度、提高医疗服务能力和水平。

10 结束语

现阶段,5G 医疗行业应用仍处于探索阶段。增强型移动宽带(enhanced mobile broadband, eMBB)标准已经成熟,相应地需要支持实时高清音视频、大量数据高速传输的远程会诊及诊断、远程示教及指导应用,以及移动查房及监护、医疗机器人等其他无线应用场景会优先发展。远程急救场景因为涉及 5G 基站的规模部署问题,前期可以进行固定线路的远程急救应用试点,例如从重大活动所在园区到指定医院。随着 5G 基站的规模部署,远程急救应用、远程监护应用会逐步发展。对于其中的部分场景有相应的试点应用,仍



需继续探索、研究和实践。随着海量机器类通信(massive machine type of communication, mMTC)和超可靠低时延通信(ultra-reliable and low latency communications, URLLC)标准及技术的成熟,以及相关国家政策和规范的明确,对时延敏感、对可靠性要求高的侵入式远程诊断应用,如对远程手术应用场景的支持也将更加完善。

为促进 5G 医疗行业应用创新发展,需进一步加强“政用产学研”紧密结合;医疗机构、运营商、设备商、科研机构共同深入探索合作模式,同步带动产业链合作伙伴共同参与医疗行业的数字化转型;培养和引进高素质专业人才,以患者为中心,以人为本规划研究方向,进行创新研究、技术研发,建立健全安全体系;加强 5G 医疗行业标准制定,由政府主导,提供强有力的政策支持和保证,促进行业数字化、规范化转型,推动行业发展。

未来,5G 将为医疗数字化建设提供所需的网络底座,使能医疗行业发展,提升远程医疗服务能力。电信运营商、医疗机构、设备制造商、服务提供商等各方需要继续结合自身优势,开展 5G 融合应用技术创新、集成创新、服务创新和数据应用创新。深化 5G、云计算、大数据、人工智能、区块链等技术融合创新,打好技术“组合拳”,打造 5G 医疗融合生态,打造 5G 融合应用新产品、新业态、新模式,在平衡社会医疗资源,改善医院管理水平,保障医疗系统安全等方面发挥积极作用,以满足人民对美好健康生活的向往。

参考文献:

- [1] 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.
SHENG Y, PENG H, FENG Y. Intelligent medical application based on 5G mobile network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(7): 1-5.
- [2] 牟岚,金新政.远程医疗发展现状综述[J].卫生软科学,2012,

26(6): 506-509.

MOU L, JIN X Z. A review of telemedicine development[J]. Soft Science of Health, 2012, 26(6): 506-509.

- [3] 杨峰义. 5G 无线网络及关键技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
YANG F Y. 5G wireless network and key technologies[M]. Beijing: Posts&Telecom Press Co., Ltd, 2017.
- [4] 王渤茹,范菁,单泽,等. 5G 移动通信组网关键技术研究综述[J]. 通信技术, 2019, 52(5): 1031-1040.
WANG B R, FAN J, SHAN Z, et al. Key technologies of 5G mobile communication networking[J]. Communications Technology, 2019, 52(5): 1031-1040.
- [5] 施巍松,孙辉,曹杰,等. 边缘计算: 万物互联时代新型计算模型[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(5): 907-924.
SHI W S, SUN H, CAO J, et al. Edge computing—an emerging computing model for the Internet of everything era[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(5): 907-924.
- [6] 侯佳. 基于边缘计算的 5G 专网在医疗信息化中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2019(22): 23-24.
HOU J. Application of 5g private network based on edge computing in medical informatization [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(22): 23-24.
- [7] 赵枝凯. 机器人辅助远程骨科手术时延控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
ZHAO Z K. Research on time-delay control for robot-assisted remote orthopedic surgery[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [8] 项弘禹,肖扬文,张贤,等. 5G 边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 54-63.
XIANG H Y, XIAO Y W, ZHANG X, et al. Edge computing and network slicing technology in 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 54-63.
- [9] 徐玲玲,徐婷婷. “互联网+”背景下智慧医疗应用现状研究[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(1): 207-210.
XU L L, XU T T. The research on the current situation of intelligent medical application under the background of big data[J]. Intelligent Computer and Applications, 2020, 10(1): 207-210.

[作者简介]



李英忠(1988—),男,中国电信股份有限公司北京分公司 5G 行业经理,主要研究方向为 5G 行业规划、5G 业务应用、无线网络技术、大数据技术、边缘计算技术、网络切片技术等。