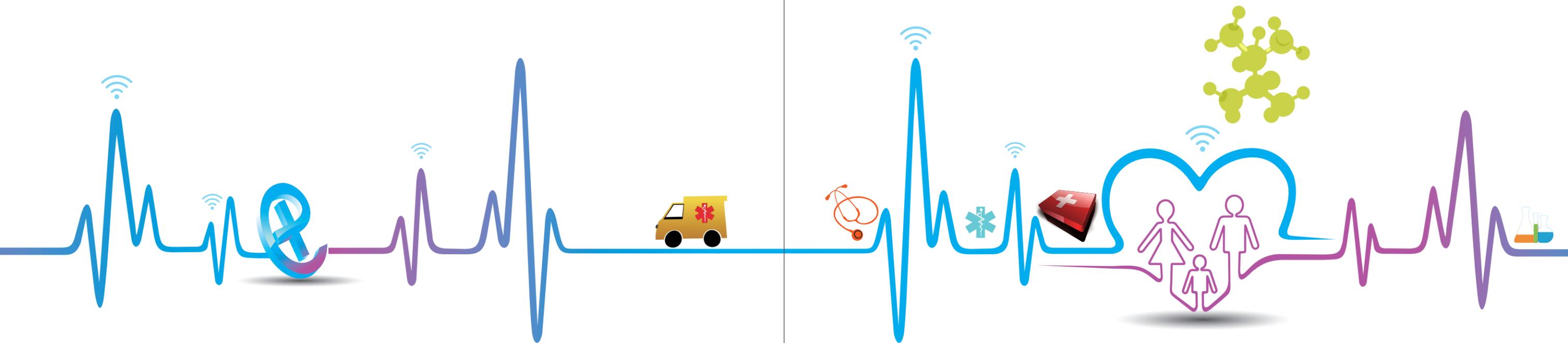


# 无线医疗

## 白皮书



互联网医疗系统与应用国家工程实验室

华为 Wireless X Labs

郑州大学第一附属医院

中国信息通信研究院

中国移动通信集团有限公司

联合编著

发布日期  
2018-01-13

# 前言



[ 无线医疗白皮书 ]

**医疗**服务关乎人们的生命健康，其发展水平和速度备受世界各国关注。进入 21 世纪，中美各国在医疗服务建设上取得了举世瞩目的成绩，但和人民日益增长的对美好生活的需求相比，医疗资源不足的瓶颈依旧凸显，各地区医疗水平发展不均衡的矛盾仍然存在。如何加速医疗产业健康发展，补齐各地区不平衡发展的短板，提高整体运作效率是全行业思考的课题。

无线通信在过去 20 年经历了突飞猛进的发展，从以语音为主的 2G 时代，发展到以数据为主的 3G 和 4G 时代，目前正在步入万物互联的 5G 时代。移动网络在继续丰富人们的沟通和生活的时候，也向全行业提供通用技术能力，借助无处不在的高速互联网络，提高各行各业的运作效率和服务质量。

我们需要思考如何借助高速发展的无线通信技术，为医疗健康产业的发展插上腾飞的翅膀，整合人工智能成果和大数据智慧，提高医院移动信息化程度和运营管理效率，实现优质医疗资源下沉，让高质量的医疗服务飞入寻常百姓家。

本书从无线医疗定义、发展背景和价值出发，分析各种应用场景对网络的需求，提出无线医联网解决方案，阐述其架构和能力要求，给出实施建议，呼吁产业链各方共同推进无线医联网产业发展，最后展望了无线医疗未来的宏伟愿景和推进节奏。

## 前言

|                      |             |                       |             |
|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| <b>01 无线医疗概述</b>     | <b>/P3</b>  | 3.3 虚拟专网控制能力要求        | 13          |
| 1.1 无线医疗的定义          | 3           | 3.3.1 智能路由            | 13          |
| 1.2 无线医疗的发展背景        | 3           | 3.3.2 联接管理            | 13          |
| 1.3 无线医联网的价值         | 4           | 3.3.3 能力开放            | 13          |
| 1.3.1 对医院的价值         | 4           | 3.3.4 高 QoS 保障        | 13          |
| 1.3.2 对患者的价值         | 4           | 3.4 网络持续演进要求          | 14          |
| <b>02 无线医疗应用场景分析</b> | <b>/P5</b>  | <b>04 无线医联网产业发展建议</b> | <b>/P15</b> |
| 2.1 无线医疗应用场景分类       | 5           | 4.1 分阶段建网建议           | 15          |
| 2.2 无线监护             | 6           | 4.2 产业链伙伴关系           | 15          |
| 2.3 患者定位管理           | 6           | 4.3 技术研究、验证和创新示范      | 16          |
| 2.4 移动查房             | 7           | 4.4 产业政策引导与鼓励         | 16          |
| 2.5 机器人查房            | 7           | <b>05 无线医疗未来展望</b>    | <b>/P17</b> |
| 2.6 远程实时会诊           | 8           | <b>06 缩略语</b>         | <b>/P19</b> |
| 2.7 应急救援             | 8           | <b>07 参考文献</b>        | <b>/P20</b> |
| 2.8 无线手术示教           | 9           | <b>08 联合编写单位</b>      | <b>/P21</b> |
| 2.9 无线专科诊断           | 9           |                       |             |
| 2.10 远程机器人超声         | 10          |                       |             |
| 2.11 网络能力需求总结        | 10          |                       |             |
| <b>03 无线医联网解决方案</b>  | <b>/P11</b> |                       |             |
| 3.1 网络架构             | 11          |                       |             |
| 3.1.1 网络逻辑架构         | 11          |                       |             |
| 3.1.2 网络物理架构         | 12          |                       |             |
| 3.2 基础网络能力要求         | 13          |                       |             |
| 3.2.1 室内蜂窝网络能力       | 13          |                       |             |
| 3.2.2 安全组网能力         | 13          |                       |             |
| 3.2.3 医疗 IoT 物联能力    | 13          |                       |             |

## 01

## 无线医疗概述

## 1.1 无线医疗的定义

无线医疗是指以计算机、可穿戴、物联网、无线通信和云计算等技术为依托，充分利用有限的医疗人力和设备资源，并发挥大医院的医疗技术优势，在疾病诊断、监护和治疗等方面提供的信息化、移动化和远程化医疗服务。

## 1.2 无线医疗的发展背景

医疗服务关乎国计民生，为世界各国所重视并取得了举世瞩目的建设成绩。《中国健康事业的发展与人权进步》白皮书<sup>[1]</sup>指出，截至 2016 年底，中国基本医疗保险参保覆盖率达 95% 以上。2010 年美国《患者保护与平价医疗法案》的实施，医疗保险覆盖面从 2011 年的 84.3% 上升到 2015 年的 91.8%<sup>[2]</sup>。

全球医疗面临医疗人力资源不足的问题，且短时间难以补足。医生培养的长周期、中美等国医疗保险惠及人数增长、发展中国家医疗卫生支出占 GDP 比重持续偏低以及全球老龄化趋势加剧等因素，导致了医疗资源短时间内难以迅速补充。根据世界卫生组织和全球卫生人力联盟联合调查，现在全世界共缺少 720 万名专业医疗人员，到 2035 年该缺口将达到 1290 万名<sup>[3]</sup>。具体到中国的情况，医疗需求侧和供给侧的矛盾凸显了医疗人力资源不足的问题。从需求侧看，老龄化加剧和慢病患病率增长需要消耗更多的医疗人力资源，《中国人类发展报告 2016》预测 2020 年 60 岁以上人口占总人口比重预期达到 16.3%，2030 年达到 23.0%，中国卫生和计划生育统计年鉴显示，中国慢性病患者从 2003 年到 2013 年十年间，患病率增长近 2 倍（从 12.33% 到 24.52%）。从供给侧看，中国医疗资源供给持续不足且短时间难以补足，根据《“健康中国 2030”规划纲要》，中国 2020 年实现每千人口医生数 2.5 人，2030 年实现每千人口护士数 4.7 人，相比 2015 年每千人口医生数 2.21 人和每千人口护士数 2.36 人已有较大提升，但从规划指标数值看，仍低于当前经合组织国家的平均数<sup>[4]</sup>。

医疗信息化促进医疗健康供给侧改革，缓解医护资源不足问题。医疗信息化助力医改，有效促进医疗健康服务的创新供给和信息资源的开放共享，大幅提升医疗健康服务能力和普惠水平。《中国医疗卫生服务体系规划纲要（2015-2020 年）》<sup>[5]</sup>指出积极应用移动互联网、物联网、云计算和可穿戴设备等新技术，推动惠及全民的健康信息服务和智慧医疗服务，到 2020 年，全面建成互联互通的国家、省、市和县四级人口健康信息平台。《美国联邦政府医疗信息化战略规划（2015-2020）》计划三年内推广 HIT（Healthcare Information Technology）应用（如高清晰影像、远程医疗和移动医疗等）<sup>[6]</sup>。

基于无线医联网实现医疗信息化，进一步提高医疗效率。无线医联网使医疗信息在患者、医疗设备、医院信息系统和医护人员间流动共享，使医护人员可以随时随地获取医疗信息，实现医疗业务移动办公，极大的提高了医疗工作效率。Cube Labs 研究指出，无线医疗应用程序可以每天为医疗工作者节约 39 分钟<sup>[7]</sup>。例如，无线监护实现了远程病情监控，减少了护士病区巡查的路途奔波；移动查房借助移动医疗终端，替代了传统纸质查房，实现了医生对患者病历和影像报告随时随地的调阅以及医嘱的实时下达。

可穿戴设备、物联网和云计算领域创新技术蓬勃涌现，推动无线医疗高速发展。柔性电子和 MEMS 技术推动可穿戴设备领域的发展，出现了医疗手环、心率贴和医疗触觉手套等新兴医疗设备；传感器和无线技术推动了物联网领域的发展，降低了医疗设备联网的成本；云存储、大数据分析和人工智能技术推动了医疗数据存储分析领域的发展，出现了云 EMR、云 PACS 和云 LIS 等医疗数据服务平台。在创新技术的推动下，全球无线医疗市场以超过 20% 的速度持续高速增长，整体无线医疗市场 2015 年和 2016 年分别为 390.3 亿美元和 454 亿美元，预计 2020 年将达到 1101 亿美元<sup>[8,9]</sup>。



图 1：全球无线医疗市场规模（亿美元）

## 1.3 无线医联网的价值

无线医疗的快速发展需要一张无处不在的网络，随时随地连接医生、患者及医疗设备，实现无线医疗的数字化、智能化和可持续发展。

## 1.3.1 对医院的价值

无线医联网推进医疗业务信息化，促进医疗资源共享，提升工作效率和诊断水平。无线医疗使医护人员可以随时随地获取医疗信息，实现移动查房、移动护理、远程查房和机器人医疗服务等，减少了医务人员路途奔波，提高了医务人员工作的效率。无线医疗提升院间信息互通和业务协同水平，上级中心医院拥有医疗专家资源和完善的医疗设施，借助无线医联网可远程指导医疗联合体内下级医院的医疗业务，提升医疗诊断水平。

无线医联网由运营商部署和维护，节省医院运营成本。以往医院都需要购买大量的通信设备和服务器建立物理专网保障院内医疗业务的通信安全可靠，还需要投入专门的运营团队进行日常维护。引入无线医联网后，通信设备由运营商提供和部署，并负责运维，极大的节省医院在此方面的投入成本。

无线医联网助力医疗融合创新，开展智慧医疗新业务。无线医联网具备平滑演进能力，将与云计算、大数据、数字影像和人工智能等技术相结合渗透到医疗业务各个环节，助力医疗朝无线化和智能化发展。

## 1.3.2 对患者的价值

无线医联网医疗效率提升，缓解患者看病难的问题。全球面临医疗人力资源不足的问题，医疗资源不足导致看病难社会问题突出，中国就医候诊等待时间长，平均候诊时间约为 30 分钟<sup>[10]</sup>；美国预约就医等待时间长，预约初级保健医生的等待时间平均为 2.5 周<sup>[11]</sup>。无线医联网通过资源高度共享，提高医疗工作效率，减少患者就医等待时间，从而普遍缓解患者看病难的问题。

无线医联网促进医疗资源的流动，协助推进偏远地区的精准扶贫。全球医疗资源分布相对不均，中国占医院数量 66% 的一级及以下医院只承担了不足 20% 的门诊量和 13% 的住院量<sup>[12]</sup>；美国平均每 370 个人中有 1 名执业医师，但美国约有 1/4 的地区每 3500 个人才配备 1 名执业医师<sup>[11]</sup>。无线医联网支持远程医疗和急救互联等业务所需的通信能力，打破了医生和患者的空间限制，使偏远地区的患者得以远程获取优质医疗资源，尤其是帮助因病致贫、因病返贫的患者提高健康医疗水平，节省就医成本，从而实现医疗扶贫。

# 02

## 无线医疗应用场景分析

### 2.1 无线医疗应用场景分类

正是由于无线医疗的重要性和快速发展，“互联网医疗系统与应用国家工程实验室”（以下简称国家工程实验室）联合合作伙伴开展了无线医疗的应用场景分析、创新解决方案孵化和产业化推广等课题研究。

结合医疗业务特征，将无线医疗应用场景总结为 3 大类：

**第一类：基于医疗设备数据无线采集的医疗监测与护理类应用**，如无线监护、无线输液、移动护理和患者实时位置采集与监测等。

**第二类：基于视频与图像交互的医疗诊断与指导类应用**，如实时调阅患者影像诊断信息的移动查房、采用医疗服务机器人的远程查房、远程实时会诊、应急救援指导、无线手术示教和无线专科诊断等。

**第三类：基于视频与力反馈的远程操控类应用**，如远程机器人超声检查、远程机器人内窥镜检查 and 远程机器人手术。

这三类无线应用场景对网络的带宽和时延要求各有不同，具体要求如下图所示：

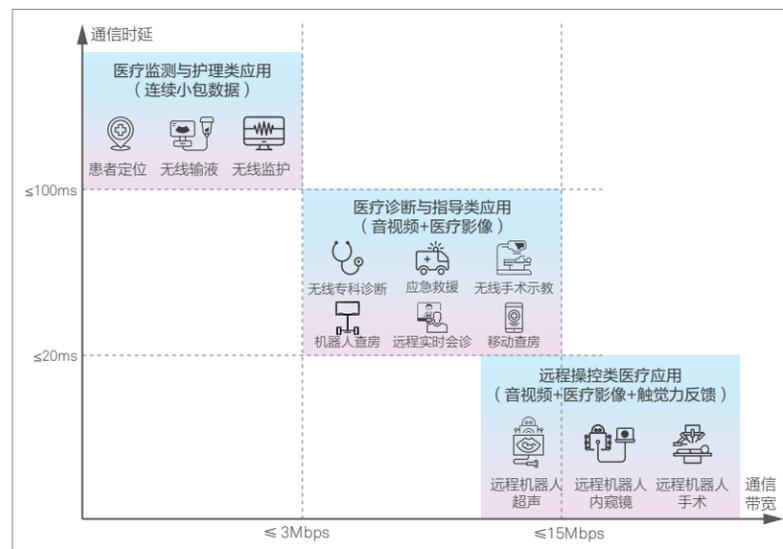


图 2：无线医疗应用场景分类示意图

国家工程实验室及合作伙伴从覆盖上述三大分类的角度并结合第一期研究工作，选取了 9 大应用场景开展深入的研究和分析：无线监护、患者定位管理、移动查房、机器人查房、远程实时会诊、应急救援、无线手术示教、无线专科诊断和远程机器人超声。

### 2.2 无线监护

无线监护是利用无线通信技术辅助医疗监护的简称<sup>[13]</sup>，是指对患者生命体征进行实时、连续和长时间的监测，并将获取的生命体征数据和危急报警信息以无线通信方式传送给医护人员的一种患者监护形式。无线监护使医护人员实时获悉患者当前状态，做出及时的病情判断和处理。两类患者对无线监护诉求较强烈。一、术后患者：术后患者早期下床活动，可以帮助患者康复，预防多种术后并发症<sup>[14]</sup>，但术后病情变化风险大，医护人员需要持续对患者的生命体征进行监护；二、突发性疾病患者：如心脏病患者，正常活动状态下也需生命体征监护。对这两类患者，医院可采用无线可穿戴监护方式，实现无活动束缚的持续患者监护。

可穿戴监护设备在使用过程中需持续进行患者位置上报和生命体征信息的采集、处理和计算，并传输到远端监控中心。患者位置信息为坐标信息（十几个字节大小），每 1~2 秒传输一次。生命体征信息由心电图、呼吸和血氧等生理信号采样波形、参数值和报警信息组成，以心电图为例需传输采样波形、心率参数值和心律失常报警信息，通信速率约为 200Kbps。

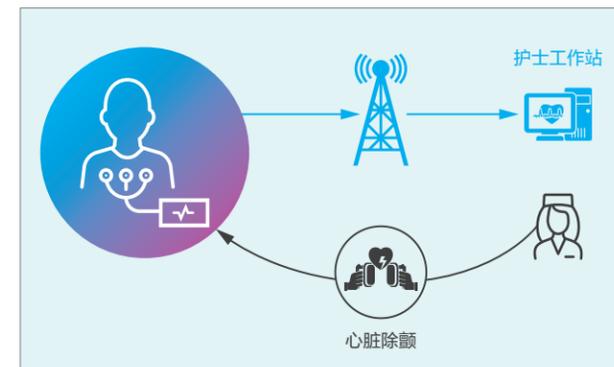


图 3：无线监护示意图

急救是和时间赛跑，争分夺秒。以心脏病为例，国际复苏委员会指出，对于室颤心脏骤停，除颤急救必须尽早进行，每延迟 1 分钟，存活率下降 7% ~ 10%<sup>[15]</sup>。因此，患者生命体征和危急报警信息传输上报需要高可靠低时延的无线网络。

| 典型应用        | 定位精度        | 通信速率          | 通信时延   | 定位时延 | 覆盖范围     |
|-------------|-------------|---------------|--------|------|----------|
| 患者位置定位      | 室内：<br>≤10m | 上行<br>100Kbps | ≤200ms | ≤2s  | 医院住院楼全覆盖 |
| 生命体征监护和危急报警 | /           | 上行<br>200Kbps |        |      |          |

表 1：无线监护场景对无线网络的需求

### 2.3 患者定位管理

患者走失属于重大护理不良事件，一方面患者离开病区造成治疗延误致使病情加重，还可能造成传播疾病，甚至遇到意外危险危及生命；另一方面医院需花费大量的时间和精力搜寻患者，增加额外的工作量，甚至承担赔偿责任。日常工作中，医护人员需要定期巡视病房查看患者住院情况，当发现患者未经批准离开病区时，启动应急程序，立即联系家属，查看监控，请求安保人员在全院区范围搜寻，如果确认患者走失进行报警，请求警方帮助。随着无线定位技术在医疗中的应用，可以通过对患者佩戴可穿戴设备，实现医护人员远程查看患者的实时位置，节省定期巡视的工作量。

患者位置定位信息数据量很小，传输数据为坐标信息（十几个字节大小），每 1~2 秒传输一次，并由接收端在电子地图上实时标注患者位置。

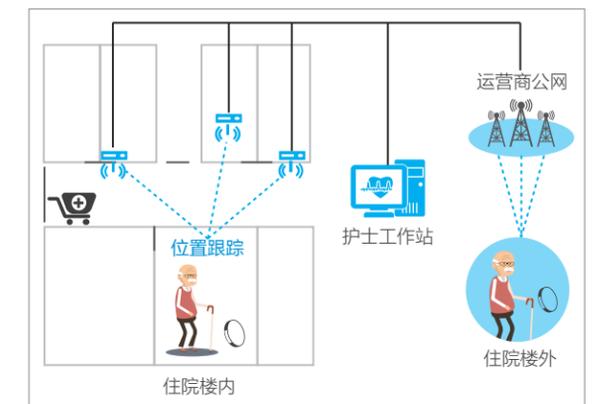


图 4：患者定位管理示意图

对于意识不清、精神病和传染病患者等，医院需要重点监控患者活动范围。当检测到患者活动超出预设活动区域时（比如在病区出口外 5~10 米设置界线），触发报警，启动应急程序。当出现患者离开医院住院楼，甚至到达院外的情况时，医院也需要能定位到患者位置，方便搜寻。

| 典型应用   | 定位精度                       | 通信速率          | 通信时延   | 定位时延 | 覆盖范围                          |
|--------|----------------------------|---------------|--------|------|-------------------------------|
| 患者位置定位 | 室内：<br>≤10m<br>室外：<br>≤20m | 上行<br>100Kbps | ≤200ms | ≤2s  | 院内：<br>住院楼全覆盖<br>院外：<br>有覆盖更佳 |

表 2：患者定位管理场景对无线网络的需求

## 2.4 移动查房

移动查房是指医生在查房过程中使用手持移动终端通过无线网络联接医疗信息系统，实现电子病历的实时输入、查询或修改，以及医疗检查报告快速调阅的一种查房形式。

医疗检查报告文件大小不一，CT影像约0.5MB，超声影像约2MB，X光影像约10MB，CR和DR影像文件更大。移动查房设备商一般按照5MB医疗影像的下载时间作为产品性能指标，典型下载时间为3秒<sup>[16]</sup>，平均通信速率约为13Mbps。

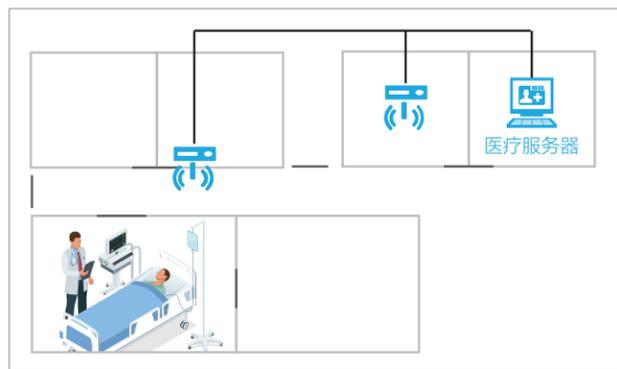


图 5：移动查房示意图

考虑到医疗信息安全和隐私保护，查房终端应用软件多采用密码登录和严格的网络掉线退出机制。因此在多个病房间穿梭查房过程中，无线网络需要无死角覆盖整个病区，避免网络掉线重登录影响工作效率。

| 典型应用   | 通信速率       | 通信时延    | 下载 / 上传时长 | 覆盖范围     |
|--------|------------|---------|-----------|----------|
| 影像报告下载 | 下行 13Mbps  | ≤ 200ms | ≤ 3s      | 医院住院楼全覆盖 |
| 电子病历查看 | 下行 200Kbps |         |           |          |
| 医嘱单上传  | 上行 200Kbps |         |           |          |

表 3：移动查房场景对无线网络的需求



## 2.5 机器人查房

机器人查房是指在远端医生的操控下，通过查房机器人和患者远程视频交互实现查房的一种医疗形式。远端医生可以采用操纵杆或者 APP 控制软件，控制机器人移动到指定病床，然后调整机器人头部的屏幕和摄像机角度，与患者进行高清的视频交互。通过机器人，医生可实现远程查房，提升工作效率。医疗联合体内大型医院医疗专家可以对基层小型医院收治的患者进行远程查房，实现优质医疗资源下沉，提高医疗服务水平。

当前主流医疗查房机器人和医生端都配备了 1080P 的高清摄像头，通信速率为 5Mbps。远程控制命令包括前进、后退、转向和停止等，所需通信数据量很小，通信速率约 100kbps。

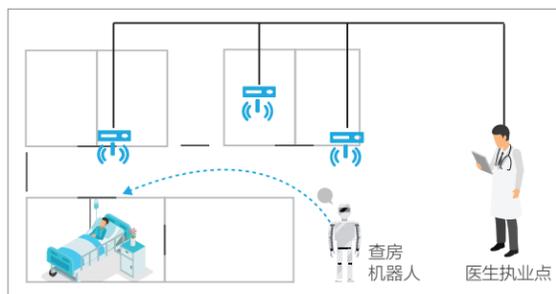


图 6：机器人查房示意图

机器人在病区行走时，需要远端医疗专家根据机器人摄像头采集到的实时视频进行远程控制。同时远程操作指令需要无中断地传输给机器人。因此，医院无线网络需要保障每路视频至少 5Mbps 的传输速率和无盲区的信号覆盖。

| 典型应用               | 通信速率       | 通信时延                   | 覆盖范围 |  |
|--------------------|------------|------------------------|------|--|
| 机器人端               |            |                        | 住院病区 |  |
| 环境视频 (或患者视频 1080P) | 上行 5Mbps   | ≤ 50ms <sup>[17]</sup> |      |  |
| 控制信息               | 下行 100kbps |                        |      |  |
| 医生视频信息 (1080P)     | 下行 5Mbps   |                        |      |  |
| 医生端                |            |                        |      |  |
| 环境视频 (或患者视频 1080P) | 下行 5Mbps   |                        |      |  |
| 控制信息               | 上行 100kbps |                        |      |  |
| 医生视频信息 (1080P)     | 上行 5Mbps   |                        |      |  |

表 4：机器人查房对无线网络的需求

## 2.6 远程实时会诊

远程实时会诊是指由远端医疗专家通过视频实时指导基层医生对患者开展检查和诊断的一种医疗咨询服务。远程实时会诊通常发生在医疗联合体的医院之间，或者医院总院和分院之间，随着医疗设备朝小型化和移动化发展，出现了手持超声和移动数字 X 光摄影系统等移动式无线医疗设备，越来越多的医疗检查开始由检查室延伸到病房，从而推动了远程实时会诊延伸到患者床旁。远程实时会诊需要多路高清视频传输，以远程实时超声会诊为例，医生不仅要看到超声图像，还需要知道对应的超声探头在人体的位置和方向，因此远端专家将同时看到双路高清视频，超声影像视频和探头操作视频，当扫描到病灶，远端专家可同时抓取打图手法和超声图像，进行疾病诊断。

远程实时会诊包括视频交流和检查信息共享，视频交流一般在医患两侧配置 1080P 高清视频，通信速率为 5Mbps，医疗检查信息因会诊类型不同数据量也不同，以实时超声会诊为例，需传输分辨率为 1080P 的超声视频，通信速率为 5Mbps。

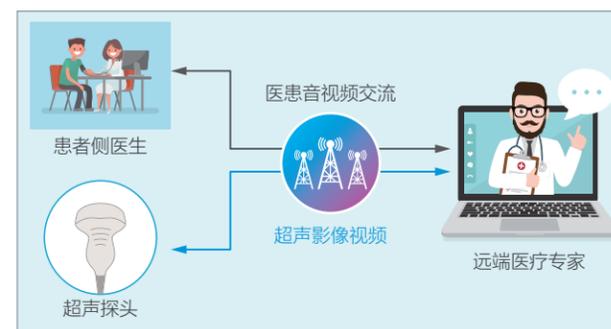


图 7：远程超声实时会诊示意图

远程实时会诊基于高清视频，部分业务还需实时回传患者端的医疗操作手法，因此需要网络提供大带宽和低时延的通信保障。

| 典型应用         | 通信速率     | 通信时延                   | 覆盖范围          |  |
|--------------|----------|------------------------|---------------|--|
| 患者端          |          | ≤ 50ms <sup>[17]</sup> | 院内：门诊检查室和住院病区 |  |
| 患者视频 (1080P) | 上行 5Mbps |                        |               |  |
| 超声影像 (1080P) | 上行 5Mbps |                        |               |  |
| 医生端          |          |                        |               |  |
| 患者视频 (1080P) | 下行 5Mbps |                        |               |  |
| 超声影像 (1080P) | 下行 5Mbps |                        |               |  |
| 医生端          |          |                        |               |  |
| 医生视频 (1080P) | 上行 5Mbps |                        |               |  |

表 5：远程实时会诊对无线网络的需求

## 2.7 应急救援

应急救援是指急救人员、救护车、应急指挥中心和医院之间通过相互沟通协作开展的医疗急救服务。在疾病急救和自然灾害救援现场，医疗人员需要紧急进行患者伤情检查，并将检查结果传输到应急指挥中心和医院，同时针对疑难病情患者，通过移动终端由医院进行远程救治指导。在急救车转运途中，医疗人员可通过移动终端调阅患者电子病历信息，通过车载移动医疗装备持续监护患者生命体征，并通过车载摄像头与远端专家会诊病情协同诊断治疗。

应急救援涉及生命体征监护、病情诊断检查和视频会诊。生命体征监护信息持续上传，通信速率约为 200kbps。病情诊断检查数据量取决于检查类别，以远程超声影像 (1080P) 为例，需要 5Mbps 通信速率。救护车视频会诊分辨率主流为 1080P，需要 5Mbps 的通信速率。未来 4K 高清视频会诊需要的通信速率进一步提高。

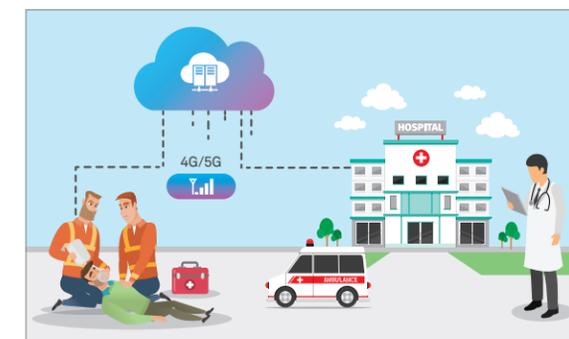


图 8：应急救援现场示意图

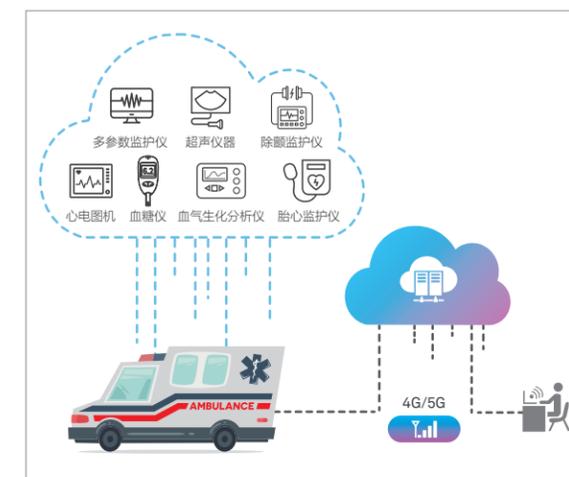


图 9：转运在途示意图

应急救援现场和救护车移动途中，均为室外环境，需要广域覆盖的网络。另外，医疗信息传输的安全性和可靠性需要做专门保障。

| 典型应用           | 通信速率    | 通信时延                   | 覆盖范围    |
|----------------|---------|------------------------|---------|
| 高清视频传输 (1080P) | 5Mbps   | ≤ 50ms <sup>[17]</sup> | 院内院外全覆盖 |
| 远程超声影像 (1080P) | 5Mbps   |                        |         |
| 生命监护信息         | 200Kbps |                        |         |

表 6: 应急救援对无线网络的需求

## 2.8 无线手术示教

无线手术示教是通过术野摄像机对手术创口、手术台画面和医疗仪器（如内窥镜和监护仪等）画面进行在线实时采编录像和无线直播，实现手术音像资料存档、远程观摩教学和专家指导的一种医疗业务形式。无线手术示教可以帮助提升偏远区域医院的医疗技术水平。手术现场医生可以通过高清视讯设备和远端会诊专家或学员进行视频实时交流，远端医疗专家或学员可以同步看到手术环境和患者实时的医疗信息。

无线手术示教需要传输多种视频信息，以内窥镜手术为例，手术环境、监护仪画面和内窥镜影像三类视频都需要传输。这三类视频的主流分辨率为 1080P，共需要 15Mbps 的通信速率。

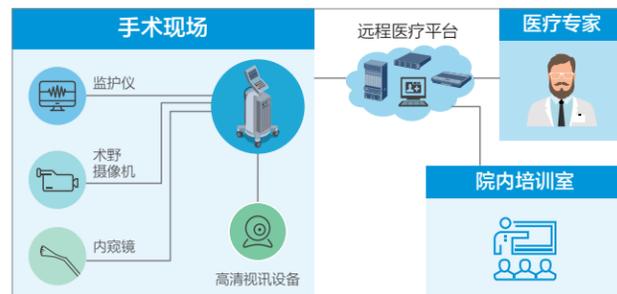


图 10: 无线手术示教示意图

手术室设备多，线缆乱，影响医护人员手术操作活动，且地板上的网线有绊倒医护人员的风险造成安全隐患，所以手术室对无线通信需求强烈。

| 典型应用      | 通信速率     | 通信时延   | 覆盖范围     |
|-----------|----------|--------|----------|
| 手术创口或环境视频 | 上行 5Mbps | ≤ 50ms | 医院手术室全覆盖 |
| 监护仪画面视频   | 上行 5Mbps |        |          |
| 内窥镜影像     | 上行 5Mbps |        |          |

表 7: 无线手术示教对无线网络的需求

## 2.9 无线专科诊断

无线专科诊断是指医疗专家依托无线通信采用移动医疗终端调阅基层医生提供的患者检查信息，并出具诊断意见报告的一种医疗形式。从具体开展形式看，包括远程静态心电图、动态电生理、静态医学影像和动态医学影像等。基层医生将静态心电图和医学影像等医疗检查信息上传到远程医疗平台，医疗专家通过移动医疗终端从远程医疗平台获取医疗检查信息并出具诊断意见报告，然后再回传到远程医疗平台供下载使用。相比传统基于有线网络的远程专科诊断，无线通信借助移动医疗终端利用医疗专家碎片化时间开展医疗服务，充分发挥了优质医疗资源的服务效力。

医疗专家下载医疗数据大小依据诊断类型而不同，参考前文移动查房场景，下载影像报告需要 13Mbps 通信速率。电子病历和诊断意见数据量很小，通信速率需求约 200kbps 即可满足传输要求。

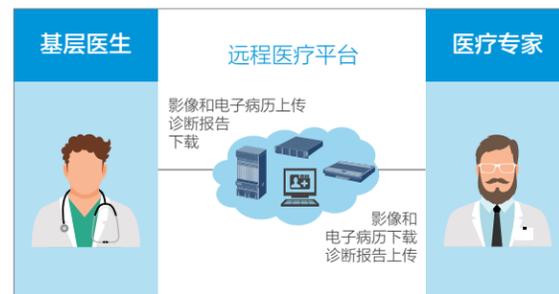


图 11: 无线专科诊断示意图

无线专科诊断使医疗专家可以在家中、出差途中、办公室和病房等地方接入远程医疗中心，开展医疗服务。在院外接入医疗系统网络时，网络侧需要提供安全的通信传输机制，确保患者数据在传输过程中不被窃取。

| 典型应用   | 通信速率       | 通信时延    | 下载 / 上传时长 | 覆盖范围    |
|--------|------------|---------|-----------|---------|
| 影像报告下载 | 下行 13Mbps  | ≤ 100ms | ≤ 3s      | 院内院外全覆盖 |
| 电子病历查看 | 下行 200Kbps |         |           |         |
| 诊断意见上传 | 上行 200Kbps |         |           |         |

表 8: 无线专科诊断对无线网络的需求

## 2.10 远程机器人超声

远程机器人超声是基于通信、传感器和机器人技术，由医疗专家根据患者端的视频和力反馈信息，远程操控机器人开展的超声检查医疗服务。其中，视频交流通过医生端和患者端的摄像头完成，力反馈信息通过患者端机器人机械手传感器的采集和反馈来完成，远程操控通过操作摇杆完成。

机器人超声有两路视频信号、一路操作摇杆控制信号和一路力反馈触觉信号。两路视频信号分别为患者端摄像头视频（1080P）和超声影像视频，每路信号通信速率各约 5Mbps。操作摇杆控制信号和力反馈触觉信号数据量都很少，经实测两路信号的传输速率都约为 150Kbps。

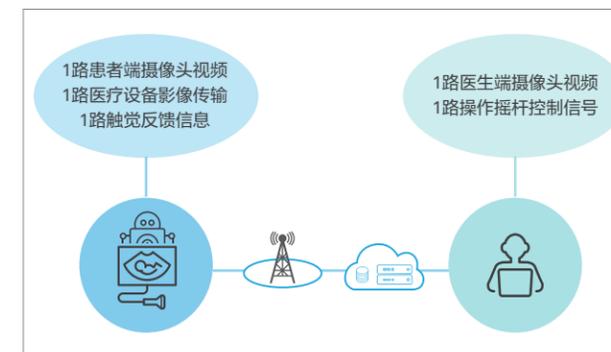


图 12: 远程机器人超声示意图

远程机器人超声不需要近端超声医生参与即可完成医疗检查，可用于送医下乡医疗扶贫以及社区健康筛查等场合，这些场合需要有无线网络覆盖。此外，超声机器人的控制和反馈信息需要低时延的可靠通信传输，以保障超声检查流畅开展。

| 典型应用           | 通信速率       | 通信时延   | 覆盖范围    |
|----------------|------------|--------|---------|
| 患者视频 (1080P)   | 上行 5Mbps   | ≤ 20ms | 院内院外全覆盖 |
| B超探头影像 (1080P) | 上行 5Mbps   |        |         |
| 医生视频 (1080P)   | 下行 5Mbps   |        |         |
| 操作摇杆控制信号       | 下行 150Kbps |        |         |
| 力反馈触觉信号        | 上行 150Kbps |        |         |
| 患者视频 (1080P)   | 下行 5Mbps   |        |         |
| B超探头影像 (1080P) | 下行 5Mbps   |        |         |
| 医生视频 (1080P)   | 上行 5Mbps   |        |         |
| 操作摇杆控制信号       | 上行 150Kbps |        |         |
| 力反馈触觉信号        | 下行 150Kbps |        |         |

表 9: 远程机器人超声对无线网络的需求

## 2.11 网络能力需求总结

根据上文移动查房、患者定位管理和无线监护等 9 大应用场景的分析，总结出无线医疗业务对网络的 5 大需求：连续网络覆盖、位置定位能力、低时延、大带宽和安全可靠。

| 需求项    | 说明  |
|--------|---|
| 连续网络覆盖 | 院内院外网络无缝广域覆盖，满足医疗业务可移动性的需求  |
| 位置定位能力 | 低于 10 米的室内定位精度，满足患者定位管理需求   |
| 低时延通信  | 远程机器人超声低于 20ms 的无线网络时延  |
| 大带宽通信  | 上行 15Mbps(无线手术示教)，下行 13Mbps(移动查房)，视频传输不出现卡顿现象。  |
| 通信安全可靠 | <ul style="list-style-type: none"> <li>医疗数据涉及患者隐私需要安全加密传输</li> <li>医疗报警信息和实时交互视频需要可靠传输</li> </ul> |

表 10: 无线医疗业务对无线网络的需求

当前承载医疗业务的最后一公里网络有三种形式：有线网络、Wi-Fi 和 4G 蜂窝网络。有线网络具备大带宽、低时延和高可靠特性，但不具备移动性和定位能力。Wi-Fi 具有布线容易、组网灵活和可移动等优势，但不具备无缝广域网能力，其可靠性和安全性也无法满足医疗级需求。4G 蜂窝网络具有运营商统一规划部署、广域覆盖、抗干扰能力强、小区切换可靠性高以及端到端网络 QoS 保障等优点，同时具备向 5G 演进能力，弥补了传统蜂窝网络劣于有线网络的低时延和大带宽能力不足，最重要的是移动性能力满足了移动医疗和远程医疗的核心需求，获取和提供医疗服务不再受时空的限制。目前，部分医院开始采用 4G 蜂窝网络作为无线医疗的基础网络开展无线医疗业务，并在移动查房、移动护理和应急救援方面取得了良好的应用效果。



# 03 无线医联网解决方案

无线医联网融合了多种通信技术，包括 4G、物联网和移动边缘计算 ( Mobile Edge Computing, MEC ) 等技术，并具备向 5G 平滑演进的能力，以崭新的网络架构为医院构建基于蜂窝通信的医疗虚拟专网，不仅能满足大带宽、低时延、高可靠和信息安全的网络通信要求，还降低了整体投资和运维成本。

## 3.1 网络架构

### 3.1.1 网络逻辑架构

无线医联网从逻辑上包含无线终端层、基础网络层、虚拟专网控制层和应用平台层，保障医疗信息流在整个网络安全高效的传输，实现医疗业务的可识别、可操控和可洞察。



图 13：无线医联网逻辑功能图

- 无线终端：**普通手机或无线医疗设备，比如移动护理终端机、移动查房终端机、医疗服务机器人、监护仪和超声等。一些移动护理终端（如 PDA、PAD）和医疗服务机器人已经集成 4G 通信模组，可直接接入到 4G 网络。其它多数医疗设备暂未直接集成 4G 通信模组，初期阶段可采用外挂通信模组的形式接入 4G 网络。

- 基础网络：**无线医联网采用蜂窝网络（4G 或 5G）作为基础性网络，实现室内和室外广域连续性传输和 7×24 小时实时在线。由于绝大多数的医疗业务发生在医院，院内无线网络是无线医联网最关键部分，一张网需要具备多方面的能力：移动用户通讯网络，IoT 窄带物联网，和米级高精度定位网络，实现通导一体化，宽窄一张网。
- 虚拟专网控制：**为了满足医疗业务数据传输的安全性，无线医联网采用了智能路由、联接管理、能力开放和网络 QoS 保障等技术，构建了一张医疗业务本地化的虚拟专网。它具备单独的网络拓扑及医疗业务路由管理功能，可实现医院内部医生、患者和医疗设备的联接，医院和医院之间的联接、医院和救护车应急救援的联接。
- 应用平台：**各类医疗业务的应用系统，如院内的 EMR/HIS/PACS 系统、远程医疗平台和应急救援平台等。

### 院内医联网

通常采用“室内小站 + 本地网关”解决方案。室内小站是指室内建设的数字化分布式微功率基站；本地网关是室内无线组网的业务锚点，包含智能路由、能力开放和联接管理等 MEC 功能，实现虚拟专网控制。

### 院间远程医联网

由 VPN 专线和院内医联网组成院间远程医联网。VPN 专线是指基于公用有线网络上采用隧道、加密等技术建立医院之间远程互通的虚拟有线专网。

### 应急救援医联网

医疗救护车等院外急救设备通过运营商无线宏基站接入到院内医联网或者医疗应用平台，组成应急救援医联网。宏基站是指功率比较大的蜂窝网基站，一般部署在铁塔上，覆盖半径比较大，从几百米到几公里不等。急救病人进入医院后，相关的急救设备会无缝地切换到院内医联网。

### 3.1.2 网络物理架构

无线医联网从物理组网视图可分为 3 个功能：

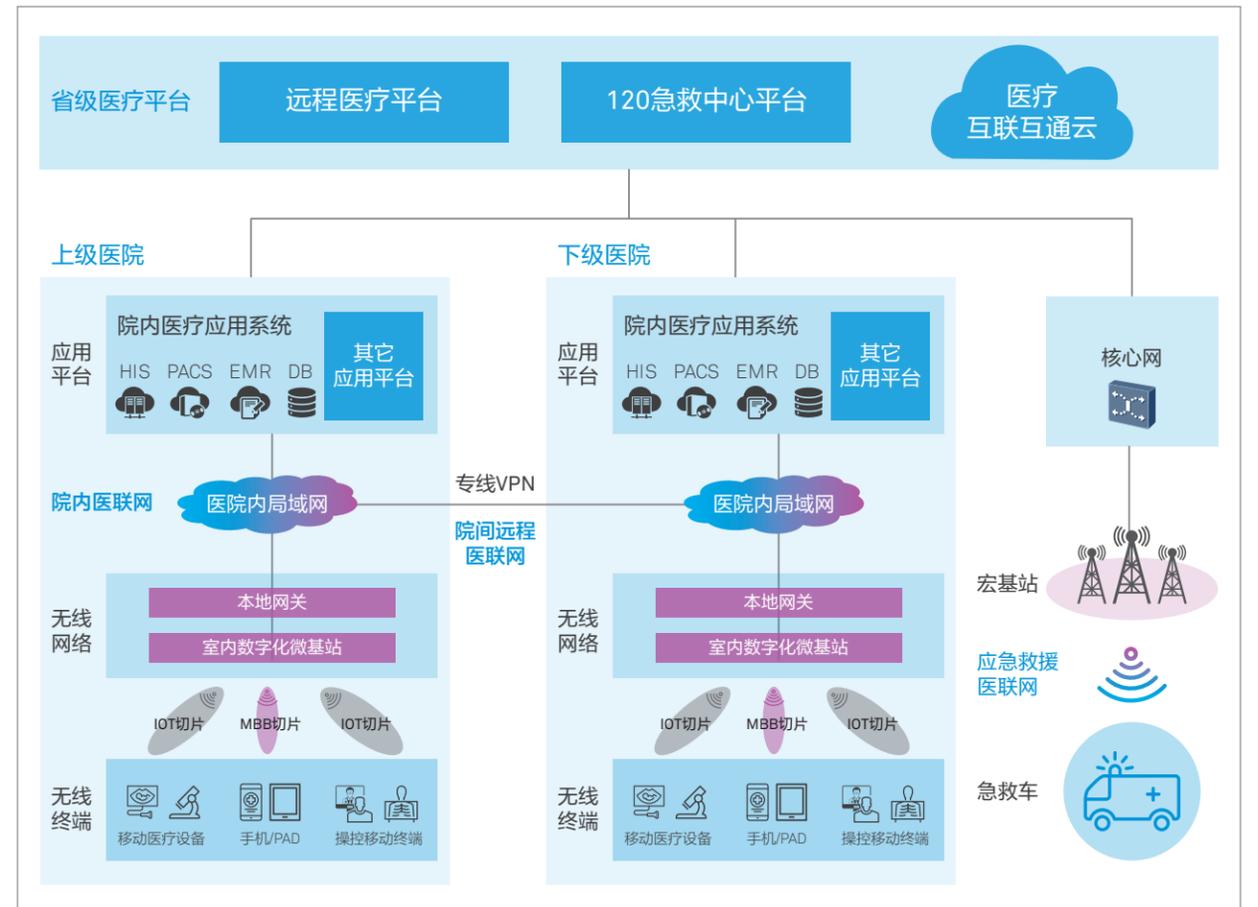


图 14：无线医联网物理组网图

## 3.2 基础网络能力要求

无线医联网的基础网络采用运营商的蜂窝网络，院外一般部署 4G 宏基站，院内部署室内小站。同一张基础网络能够提供 MBB 手机用户通信、医疗设备的传输、NB-IoT/eMTC 物联网通信和位置定位服务。

### 3.2.1 室内蜂窝网络能力

部署在医院的室内蜂窝网络需要如下能力：

1. 采用共小区技术，在医院内实现无缝覆盖，提高了基站接入切换的成功率。
2. 实现小区灵活扩容和容量按需扩展，满足了医疗业务的持续发展。
3. 具备数字化运维能力，真正实现室内覆盖网络维护的可视化、可检测和可远程维护。具备 4G 网络的通信技术能力，可以获得高达 Gbps 的极致用户体验。具备向 5G 平滑演进的架构能力，部署上做到点位不增和线缆不变。

### 3.2.2 安全组网能力

医疗信息关乎人身生命安全，且具有隐私性要求，需要高安全可靠的通信网络。无线移动网络具备较高的安全性和可靠性，如采用安全隧道协议 IP-Sec，在网络边缘节点部署电信级防火墙来确保其安全性，采用无线网络协议中的握手信息以及定时器轮询等方式确保协议的可靠性，并在核心节点通过冗余备份甚至异地容灾方案确保系统的可靠性。

### 3.2.3 医疗 IoT 物联能力

物联网技术在医院中得到了广泛的应用，蜂窝 IoT 作为一种新兴的技术开始进入医疗行业。蜂窝 IoT 技术分为宽带 IoT 和窄带 IoT，宽带 IoT 主要用于医疗影像和视频等大容量和低时延的 IoT 互联，窄带 IoT（比如 NB-IoT）具备低功耗、低成本和广覆盖的优势，可以用于穿戴式设备、药品的存贮管理和医疗设备运行监控等小包数据传输和位置信息上报。室内数字化蜂窝网络可以通过软件升级支持 NB-IoT 功能。

## 3.3 虚拟专网控制能力要求

为了降低医院的 IT 投资成本和提高运维效率，医疗设备接入运营商的 4G 网络，与 MBB 手机用户共享一张网络。为

了保障医疗数据的安全可靠性，利用 MEC 边缘计算技术，构建一个无线医疗虚拟专网。医疗 MEC 边缘计算包含了智能路由、联接管理、能力开放和网络 QoS 保障。

### 3.3.1 智能路由

MEC 本地网关可管理本地医疗设备的接入权限和识别医疗设备接入的业务类型，并建立专有路由，转发到本地的医疗服务器或无线终端。利用智能路由技术，在蜂窝公网中构建了一个医疗虚拟网络的路由拓扑，保障医疗业务的独立性、安全性和可靠性。

### 3.3.2 联接管理

医疗设备接入医疗虚拟专网后，可实现设备的数量管理、状态管理和流量管理，如当前专网内已联接设备的数量信息、在线/离线状态信息和累计消耗的流量等，便于医院联网设备的信息化管理，提升效率。

### 3.3.3 能力开放

基于边缘云的 MEC 提供平台开放能力，服务平台上集成第三方应用或者在 MEC 上部署第三方应用，如针对患者提供娱乐资源（比如视频和游戏等），增添了患者的医院生活丰富性。

能力开放是通过公开 API 接口的方式为运行在 MEC 上第三方应用提供无线网络信息和位置信息等多种服务，这是 MEC 有别于其他通信系统的重要特征。综合考虑第三方应用在系统架构及业务逻辑方面的差异，实现网络能力简单友好开放，同时随着网络功能进一步丰富，可向第三方应用实现持续开放，而不必对网络进行复杂改动。

例如位置能力开放。无线医疗虚拟专网基于 4G 室内小站，提供 5~10 米精度的定位能力，并且能够定位到病房。4G 蜂窝定位技术可以实现特殊患者的位置管理、医院人流统计和热力图分布。5G 毫米波频段的室内小站可以获得亚米级的定位精度，可以被用于护理终端、贵重药品和医疗机器人的定位。

### 3.3.4 高 QoS 保障

无线医疗虚拟专网针对不同业务对带宽和时延的需求进行网络 QoS 保障。对时延要求比较严格的业务，如远程机器人超声业务要求时延  $\leq 20\text{ms}$ ，虚拟专网可对其设置较高的调度优先级，确保在网络拥塞的情况下，时延仍能满足业务要求。另外，还有些业务对带宽的需求较高，如远程实时会诊和无线手术示教的视频图传业

务带宽需求为 10~15Mbps，虚拟专网可对其设置适当的带宽保障门限，确保带宽满足业务需要。未来网络将平滑演进到 5G，可以采用网络切片技术进一步提升医疗业务网络 QoS 保障能力。

## 3.4 网络持续未来演进要求

2017 年 12 月 3GPP 的里斯本会议，标志着 5G NSA NR 协议的冻结。2019 年支持 5G 的终端将会出现，中、美、日、韩和欧洲将在 2019 年左右部署 5G 网络，这也意味着医疗行业在 2019 年将迎来通信领域的变革并推动无线医联网快速发展。

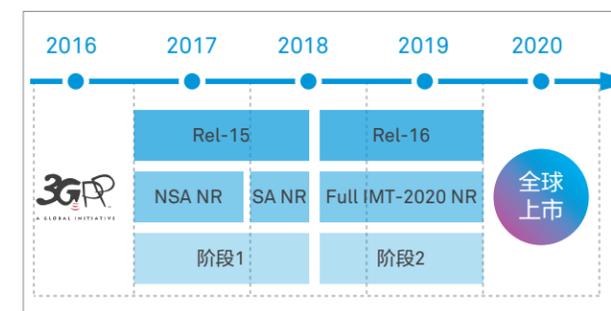


图 15: 3GPP 规划的 5G 协议路标

5G 给无线医联网带来巨大潜能。3GPP 定义的 5G 能力为下行峰值速率 20Gbps，空口时延 0.5ms，联接密度每平方公里 100 万个。对于医疗视频类业务，5G 能够提供类光纤的带宽，支持多路高清视频，支持医疗 VR/AR 应用，如 AR 手术。对于医疗操作类业务，5G 能提供 ms 级低时延，支持远程触觉传递和眼球追踪应用，如远程手术。此外，5G 超大的联接能力，能够在医院内外提供大量医疗设备联接，支持 24 小时实时健康监测。

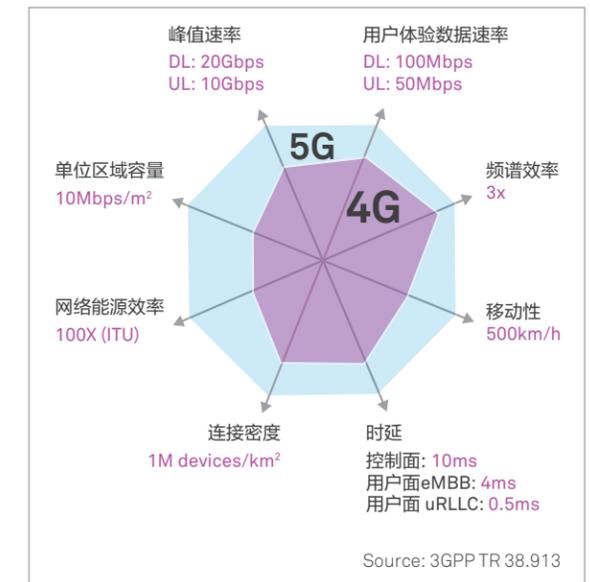


图 16: 5G 网络能力示意图

5G 网络还支持网络切片功能，即“5G 切片”，一个网络切片满足某一类或一个用例的联接通信服务需求，整个 5G 系统由满足不同联接能力的大量网络切片组成。5G 网络中可以专门为无线医联网分配一个或者若干个切片，为医疗业务分配专有的无线空口资源和控制管理，保障业务的独立和隔离，进一步保障医疗业务的实时性、可靠性和安全性。





# 05 无线医疗未来展望

**当前**，医疗与无线通信跨界融合的趋势与价值已经有目共睹，无线医疗的产业生态从互联网医疗行业政策、医院信息化需求、医疗终端通信能力、无线技术等方面看也初步成熟。未来，我们希望通过无线医疗的持续创新，促进医疗的信息化建设，切实服务于医疗业务，最终消除医疗资源分配不均的鸿沟，提升医疗工作效率和诊断水平，患者随时随地的获取医疗服务。为了实现这个宏伟愿景，我们计划分三阶段推进。



**第一阶段，医院内医疗全联接：**2018年，国家工程实验室组织华为 Wireless X Labs、郑州大学第一附属医院、中国信息通信研究院和中国移动通信集团有限公司共同推进无线医疗创新平台建设，基于一张承载医疗设备和 MBB 用户的全联接网络，推进医院信息化建设，研究在移动查房、无线监护、机器人查房和远程实时会诊等场景下，如何提升医疗监测效率、降低人工出错概率。

**第二阶段，区域远程医疗全联接：**2019年依托郑州大学第一附属医院及其合作医院，开展区域远程医疗全联接业务研究。结合 5G 无线网络接入的超低时延以及 VPN 有线专网传输保障，进行远程操控医疗类场景的研究。这将推进远程 B 超、远程手术等前沿技术的落地，并将有效解决优质医疗资源分配不均和减少专家在途的时间消耗等问题。

**第三阶段，智能医疗全联接：**2020年组织更多合作伙伴开展无线智能医疗业务的研究，并在郑州大学第一附属医院试点和更多医院复制落地。结合 5G 技术与人工智能以及云计算，提供实时的辅助诊断能力，医疗检查过程中就能看到可疑标注点并指导进一步的深入检查，避免漏诊和误诊，提升诊断效率。随着智能医疗业务走向云化，且 5G 提供超大带宽( 20Gbps )超低时延（空口接入时延 0.5ms）的网络能力，人们可通过便携式 5G 医疗终端与云端医疗服务器或远程医疗专家沟通，享受随时随地的医疗服务。

医疗肩负着救死扶伤、国计民生的重任，是国家最重要的产业之一。无线医疗作为医疗与通信的跨界融合的新生事物，同样肩负重任。因此，国家工程实验室将带领产业界合作伙伴，坚定的持续推进无线医疗应用场景的研究和商用落地，为实现无线医疗的宏伟愿景而努力。

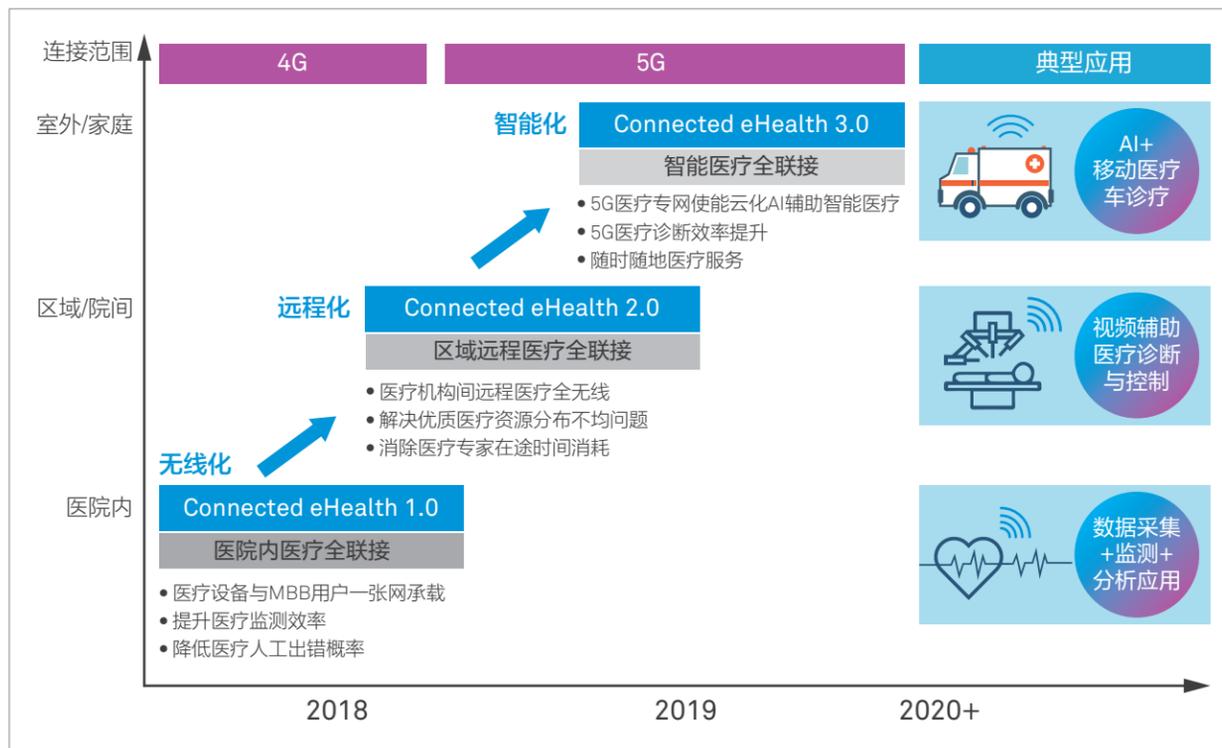


图 18：无线医疗未来展望



# 06

## 缩略语

| 缩略语    | 全称   | 说明                        |
|--------|--|---------------------------|
| Wi-Fi  | Wireless Fidelity                                  | 基于 IEEE 802.11 系列标准的无线局域网 |
| 4G     | The 4th Generation mobile communication technology | 第四代移动通信技术                 |
| 5G     | The 5th Generation mobile communication technology | 第五代移动通信技术                 |
| QoS    | Quality of Service                                 | 服务质量                      |
| MBB    | Mobile Broadband                                   | 移动宽带                      |
| VPN    | Virtual Private Network                            | 虚拟专用网络                    |
| API    | Application Programming Interface                  | 应用程序编程接口                  |
| IP-Sec | IP Security  | 一个为 IP 通信带来安全性的协议         |
| MEC    | Mobile Edge Computing                              | 移动边缘计算                    |
| IoT    | Internet of Things                                 | 物联网                       |
| eMTC   | enhanced Machine Type Communication                | 增强型机器对机器通信                |
| NB-IoT | Narrowband Internet of Things                      | 一种新型窄带物联网技术               |
| 3GPP   | Third Generation Partnership Project               | 第三代移动通信标准化伙伴项目            |
| NSA NR | Non-standalone NR                                  | 非独立 NR, 5G 协议的一种          |
| PACS   | Picture Archiving and Communication Systems        | 影像归档和通信系统                 |
| LIS    | Laboratory Information Management System           | 专为医院检验科设计的实验室信息管理系统       |
| HIS    | Hospital Management Information System             | 医院管理信息系统                  |
| MB     | MByte  | 计算机中的一种储存单位, 兆字节          |
| GB     | GByte  | 计算机中的一种储存单位, 千兆字节         |
| ICT    | Information & Communication Technology             | 信息与通信技术                   |

# 07

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 中国健康事业的发展与人权进步报告. [http://news.xinhuanet.com/2017-09/29/c\\_1121747583.htm](http://news.xinhuanet.com/2017-09/29/c_1121747583.htm)
- [2] Obamacare Facts. ObamaCare: Uninsured Rates. <http://obamacarefacts.com/uninsured-rates/>
- [3] Global Health Workforce Alliance and World Health Organization. A universal truth: No health without a work force. <http://www.who.int/workforcealliance/knowledge/resources/hrhreport2013/en/#>
- [4] 中华人民共和国国务院. “健康中国 2030”规划纲要. [http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content\\_5124174.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm)
- [5] 中华人民共和国国务院. 中国医疗卫生服务体系规划纲要 (2015-2020 年). [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-03/30/content\\_9560.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-03/30/content_9560.htm)
- [6] 舒婷, 梁铭会. 美国联邦政府医疗信息化战略规划 (2015-2020) 内容简析. China Digital Medicine, 2015, 10 (2): 2-4
- [7] Cube Labs. Healthcare Mobility: Prescription for success. <https://www.xcubelabs.com/our-blog/white-papers/healthcare-mobility-prescription-for-success/>
- [8] MarketsandMarkets. Healthcare Mobility: Prescription for success. Wireless Health Market by Technology (WPAN, WLAN/Wi-Fi, WiMAX), by Component (Hardware, Software, & Services), by Application (Patient Specific and Provider/Payer Specific), & by End Users (Providers, & Payers) - Analysis & Global Forecast to 2020. <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/wireless-health.asp>
- [9] Zion Market Research. Wireless Health Market by Component (Hardware, Software, & Services), by Technology (WLAN/Wi-Fi, WPAN, WiMAX and WWAN), by Application (Patient-specific, Patient Communication and Support, Physiological Monitoring and Provider/Payer-specific) by End-User (Providers, Payers and Patients/Individuals): Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis and Forecast, 2016-2022. <https://www.zionmarketresearch.com/report/wireless-health-market>
- [10] 肖鑫, 傅效群, 唐磊, 等. 医院门诊候诊时间量化分析和研究. China Medicine, 2014, 9 (8): 1225-1227
- [11] Eric Topol. 未来医疗. 浙江人民出版社, 2016 年 5 月第一版: 175
- [12] 国家卫生计生委规划与信息司. 2015 年中国卫生和计划生育事业发展统计公报. <http://www.nhfpc.gov.cn/guihuaxxs/s10748/201607/da7575d64fa04670b5f375c87b6229b0.shtml>
- [13] 严壮志, 张静, 施俊, 等. 无线医疗监护技术综述. 《中国医疗器械杂志》, 2006, 30 (5): 321-326
- [14] 李悦宏. 浅说术后早期活动的原因与护理. 中国实用医药, 2010, 5 (27): 213-214.
- [15] NelSon ME, Zenas CS. Losing the race to resuscitate. Nursing Management, Chicago Vol. 29, Iss. 4, (Apr 1998): 36D-36E, 36G.
- [16] 上海胸科医院移动 PACS 报道和移动医疗终端产品资料. <http://m.360docs.net/doc/info-4bf09621af45b307e871979c-3.html>  
<http://www.zdmedical.com.cn/index.php/product/show/41>
- [17] 国家卫生和计划生育委员会. 远程医疗信息系统建设技术指南. <http://www.moh.gov.cn/guihuaxxs/s10741/201501/e023e2c4e3254f73932f0b0fca99a866.shtml>

# 08

## 联合编写单位

### 互联网医疗系统与应用国家工程实验室

经中国国家发展改革委员会“发改办高技【2017】160号”文件批复，由郑州大学第一附属医院建设的国家工程实验室，是十三五期间国家规划建设8家“互联网+”领域国家工程实验室之一，是中国互联网医疗领域权威的国家级科技平台。

### 华为 Wireless X Labs

华为 Wireless X Labs 是华为技术有限公司于 2016 年成立的创新平台，旨在联合运营商、垂直行业合作伙伴和行业领导者，共同探索未来移动应用场景，推动商业和技术创新，建设开放的生态系统。

### 郑州大学第一附属医院

郑州大学第一附属医院是中国最大的集医疗、教学、科研、预防、保健、康复为一体，具有较强救治能力、较高科研水平和国际交流能力的三级甲等医院。

### 中国信息通信研究院

中国信息通信研究院为工业和信息化部直属科研事业单位，是国家在信息通信领域（ICT）最重要的支撑单位以及工业和信息化部综合政策领域主要依托单位。

### 中国移动通信集团有限公司

中国移动通信集团有限公司，是中国规模最大的移动通信运营商，主要经营移动话音、数据、IP 电话和多媒体业务。

