

6G 技术趋势与应用研究

靳欣欣^{1,2}

(1.深圳赛西信息技术有限公司,广东 深圳 518057;2.中国电子技术标准化研究院,北京 100176)

摘要: 6G 将带来全新的技术视角、颠覆性的技术创新、全域全时全景的技术应用、广泛深入的技术融合,基于 6G 在网络连接、网络性能、技术融合、数据价值转化、应用赋能的五大趋势,从演进节奏、体系架构、应用价值等方面,对超交通、沉浸式体验与交互(XR/全息技术)、孪生医疗、孪生工厂等方面的未来应用进行介绍,并提出了不同场景的 6G 性能需求,为产业界提供参考。

关键词: 6G; 技术趋势; 应用场景

中图分类号: TN92

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212322

中文引用格式: 靳欣欣. 6G 技术趋势与应用研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(12): 9-14.

英文引用格式: Jin Xinxin. Research on the trend and application of 6G technology[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(12): 9-14.

Research on the trend and application of 6G technology

Jin Xinxin^{1,2}

(1.Shenzhen CESI Information Technology Co., Ltd., Shenzhen 518057, China;

2.China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China)

Abstract: 6G will bring new technical perspectives, disruptive technological innovation, full-time and panoramic technology application, and also, extensive and in-depth technology integration. Based on the trends of 6G in network connection, network performance, technology integration, data value transformation and application empowerment, super transportation, immersive experience and interaction(XR/holographic technology), twin medical treatment, twin factory and other future applications are introduced from the aspects of evolution rhythm, architecture and application value in this paper. And also, 6G performance requirements in different scenarios are put forward to provide reference for the industry.

Key words: 6G; technology trends; application scenario

0 引言

5G 的主要目标是满足超高清、VR/AR、云桌面等业务在高移动、密集连接等情况下在消费场景以及工业、医疗、交通等垂直行业场景的需求,与物联网等技术融合,开启万物互联、数字孪生。但面向 2030 及更远的未来,5G 技术上限等仍然无法满足网络覆盖与应用需求。

与 5G 演进趋势较类似,早期的 6G,也就是 5G 发展的中后期,6G 预计将是 5G 的进一步拓展,在网络性能、应用场景等各方面进一步优化和深化。而在 6G 中后期发展中,随着 AI、量子计算、集成天线等技术的发展,6G 将产生新的突破,甚至构建新世界。

1 从通信技术发展史看 6G 技术演进趋势

如图 1 所示,移动通信系统的发展是一个从沟通泛在、信息泛在、感知泛在到智慧泛在的过程,也是一个网络连接更加广泛、技术融合更加显著、数据价值逐步凸显、赋能效应指数升级的过程。

(1) 网络连接愈加广泛

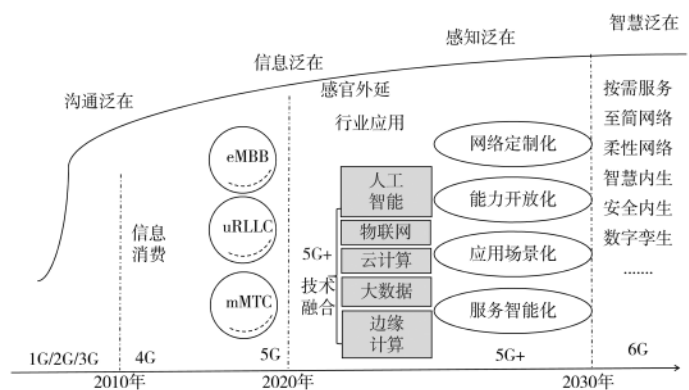


图1 移动通信系统发展历程

5G 以基站为中心发散覆盖,通信对象集中在陆地地表 10 km 以内高度的有限空间范围,预计 5G 时代仍将有 80% 以上的陆地区域和 95% 以上的海洋区域无移动网络信号^[1],在基站所未覆盖的沙漠、无人区、海洋等区域内将形成通信盲区;而 6G 将充分利用低中高全频谱

资源,实现空地一体化的全球无缝覆盖^[2]。

(2)网络性能不断提升

更大的连接数密度、更大的传输带宽、更低的端到端时延、更高的可靠性和确定性以及更智能化的网络特性,是移动通信网络与垂直行业融合应用得以快速推广和长远发展的必然需要。尽管当前 5G 应用的效应尚未完全显现,但从 5G 标准的规范来看,仍然在信息传输、交互、覆盖等方面难以满足某些垂直行业的业务需求。5G 与 6G 的网性能对比如表 1 所示^[2-3]。

例如,对于工业精准控制场景、触感技术等,需要时将延缩减至亚秒(<1 ms)级甚至是微秒(μ s)级^[4]。全息通信中,极致的数据速率可带来沉浸式全息连接体验,这要求 6G 数据速率需达到太比特量级。在测量测绘、精准农业、车联网、形变监测等场景中,需要能够支撑 1 m 以下甚至亚米级的超高精度定位的通信技术,往往需要通信技术具备超低延时、群智感知、超大规模天线阵列等技术特点以及与卫星通信等通信系统的良好融合^[5-7]。超能交通场景下,飞机、磁悬浮列车等承载的终端的移动速度将超过 1 000 km/h,这对超高速移动环境下通信技术支持实时通信业务和高精度定位业务都提出了挑战。

另外,随着传感器与智能终端类型的丰富、规模扩大,5G 网络将无法承担未来智慧城市场景中更大连接设备的接入,必须依赖下一代 6G 网络超大连接数性能的支撑。

(3)技术融合更加显著

5G 与人工智能等技术的融合更多体现在共同应用在业务场景中。而高度自主智能化的超灵活网络是 6G 最为明显的特征之一。如图 2、表 2 所示,6G 智能化将贯彻于网络端到端每一个环节,人工智能、区块链、大数据等技术将融合在网络架构之中,实现网络的自主自治^[8-10]。

(4)数据价值逐步凸显

6G 网络将推动数据来源更加多元化、数据连接规模大幅提升,推动产业、城市、社会向“数字孪生”演进,

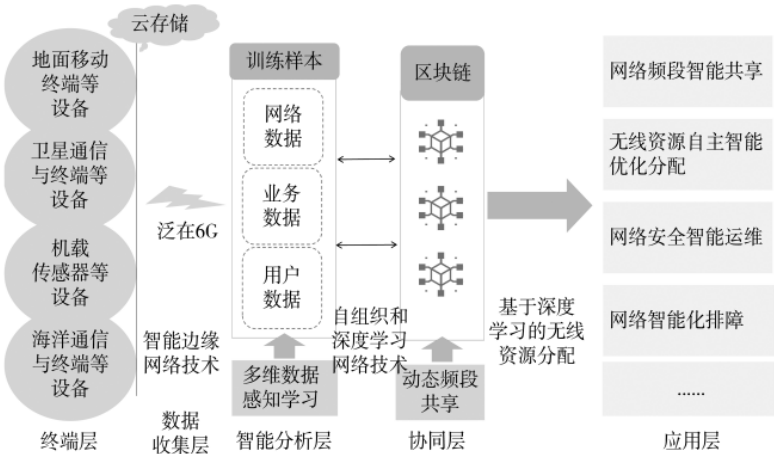


图 2 6G 将与人工智能、区块链等技术深度融合

表 2 6G 与其他技术融合的作用

技术名称	作用
云计算	提供强劲的数据处理和信息存储能力
边缘计算	为计算密集和时延敏感性应用提供就近计算服务
AI、大数据	自主自治智能网联
区块链	保障安全与隐私,应对以下问题:
	云计算集中式架构易受单点故障影响的问题;
	云数据隐私泄露风险问题;
	边缘计算在任务迁移时面临的恶意节点干扰等问题

能够在更大规模、更优水平上挖掘数据价值;与此同时,由于 AI、区块链等技术的引入,也改变了数据收集、优先级和共享方式,进一步优化了数据对于不同对象的价值体现;同时 AI、区块链等技术等提供了智能化的隐私安全保障机制。因此,6G 技术的实现与推广,将极大意义上促进数据价值的进一步凸显。

(5)赋能效应指数升级

6G 愿景是“海陆空天地”万物互联,推动现实世界向虚拟世界映射,加速社会智慧化升级,实现数字孪生和智慧泛在。以感知技术为例,从 1G 到 5G,实现信息交互的主要载体从语音、文字、图片、视频到 VR 等传感设备,而 6G 的大吞吐量、超低延时等够支撑多维感官的

表 1 5G 与 6G 的网络性能对比

指标	5G	6G
峰值速率	吉比特级(Gb/s)	太比特级(Tb/s)
用户体验速率/(Gb/s)	0.1~1	10~100
时延	端到端时延毫秒级	控制面板<1 ms;用户面<0.1 ms
可靠性	理想状态 99.999 9%	99.999 99%
流量密度/(Gb/s/km ²)	级别 0.01	0.1~10
连接数密度/(设备数/km ³)	一百万	千万~亿
移动性/(km/h)	>500	>1 000
频谱效率	较 4G 提升 5~15 倍	较 5G 提升 2~3 倍
网络能效	较 4G 提高 10~20 倍	较 5G 提升 10~100 倍
新能力指标	定位能力室外 10 m,室内及隧道 1 m 及以下	超高密度定位(亚米级)、超低延时抖动、超高安全

协同传输,使人们获得“通感”体验,包括触感、听感、视觉等,可应用到医疗健康、教育培训、文娱等多个领域。

2 6G 应用典型业务场景

通过对 6G 技术趋势的分析可知,6G 未来的场景应用价值主要体现在数据的广泛且规模化采集、交互的实时性、获得的便捷性等,从而获得更加精准的数字化模型、更加高价值的运算结果、跨地域跨时间的体验、更加智能化的反馈与服务,实现全社会的智慧内生。正如 3G、4G 等信息技术把人类推向“虚拟网络世界”,5G 为人类开启“万物互联”,6G 等未来信息技术将把全社会推向“数字孪生”,真正实现“万物智联”。

其实,不论是孪生工厂、孪生医疗、孪生城市,其本质都是在模拟仿真技术的基础上,综合应用 AI 等技术,实现物理系统向信息空间数字化模型映射、监测、分析、优化、管理^[11]。因此,本文重点介绍沉浸式体验与交互、孪生医疗、孪生工厂、超能交通。

2.1 沉浸式体验与交互场景

沉浸式体验与交互可利用 VR/AR 或者全息技术实现。对于 VR 在线业务,通过云将内容存储及图像渲染迁移至云端,VR 头显设备只需具备解码、呈现及网络接入的能力。因此,云 VR 大大降低了对头显设备的性能要求,有效降低头显设备成本,也将促进头显设备向轻量化发展。但目前 4K VR 头显的清晰度对于沉浸式体验远远不够,甚至还会让用户产生疲劳感,而提高清晰度除了对于显示技术的要求提高以外,对于带宽要求也很高;对于 VR 强交互业务来说,运动到成像的时延 20 ms 仅是不让用户产生眩晕感的最低要求^[12],能够达到 10 ms 则更为理想,但是由于传输损耗、影像占据网络容量大等原因,在实际应用中对于 5G 来说存在难度。

根据投影物体和帧率的大小,全息通信需 1 Gb/s~1 Tb/s 的网络带宽。而 5G eMBB(增强带宽)场景提供的用户体验速率为 0.1~1 Gb/s,峰值速率为数十 Gb/s^[3],很难达到甚至达不到全息通信对于高清、超高清影像的需求。为了让用户获得身临其境的感觉,全息通信要求网络必须提供小于 1 ms 的端到端时延^[4]。

全息通信示意如图 3 所示。全息技术未来发展的关键趋势是全息交互,通过 AI 识别、传感技术等采集用户的动作等,通过交互系统分析,从而做出反馈,这对网络通信和计算能力提出了更高的要求。

2.2 孪生医疗

信息技术在医疗的应用演进如图 4 所示,医疗数字化、智慧化发展可以分为管理数字化、医疗数字化、虚拟医院、孪生医疗 4 个阶段,目前我国医疗处在医疗数字化和虚拟医院之间。疫情防控期间,我国 5G 在远程超声波会诊、远程急救等场景得到示范应用与推广^[13]。

面向未来,材料、生物电子、传感等技术将得到极大发展,传感终端可以做到纳米级别^[14-15],利用 6G 超广连

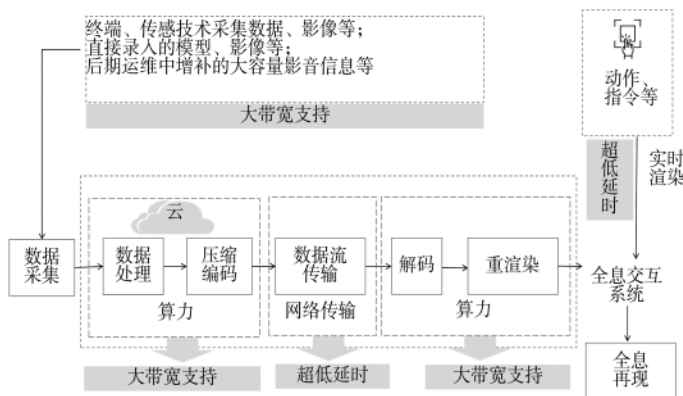


图 3 全息通信示意图

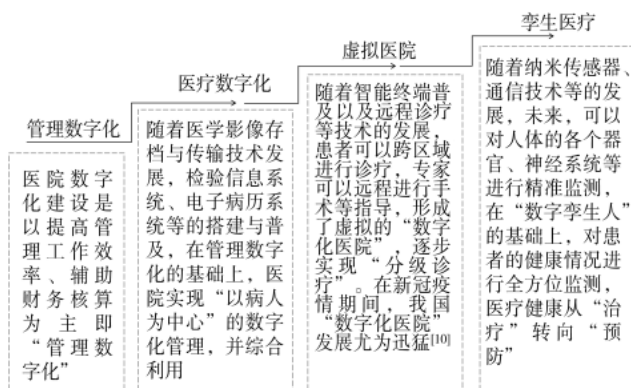


图 4 信息技术在医疗的应用阶段演进

接、超大带宽形成“体域网”,通过大量的智能传感器(>100 项传感器/cm³),可准确地进行重要器官、神经系统、呼吸系统、泌尿系统、肌肉骨骼、情绪状态等的信息采集,对人体的健康情况进行数字化映射形,实现对人体个性化健康数据的实时监控,医疗健康从“治疗”转向“预防”。

孪生医疗的可应用场景很多,并且随着生物、医学、电子、信息技术的发展应用场景将会继续丰富,目前可以预想到的有纳米机器人、数字器官、病理研究、疾病预防等。

实现纳米机器人之间的协作、实时智能化模拟与定位等,需通信技术与生物学、材料等技术的融合应用。而纳米机器人高密度接入、纳米机器人之间的通信速率、通信可靠性与网络统一控制等也是未来 6G 在纳米机器人应用需要解决的问题。

数字器官是在纳米机器人/传感器的基础上,实现对人体器官的精确模拟,在数字器官的基础上可以实现对于药物研发、器官手术、解剖教学等的模拟,从而降低医学研究成本、提升手术的成功率等。为了实现对器官的完全实时模拟,未来的体域网对部署的纳米机器人数量提出了超高要求。例如当前数字化器官模型对人体心脏进行重构时切片厚度仅为 10 μm,那么需要 7 000~8 000 个切片才可以完成重构^[15]。如果把一个切片记录的信息当成一个纳米机器人负责重构的信息,那么部署

在人体心脏的纳米机器人数量将是数千级别。

2.3 孪生工厂

数字孪生工厂示意图如图 5 所示,孪生工厂将设备、人员和厂区等的相关信息采集,通过仿真、建模映射到虚拟世界,综合利用 AI、边缘计算等技术,实现对生产线、人员安全、设备状态等的实时监测与控制,服务于工厂运行、管理与决策。

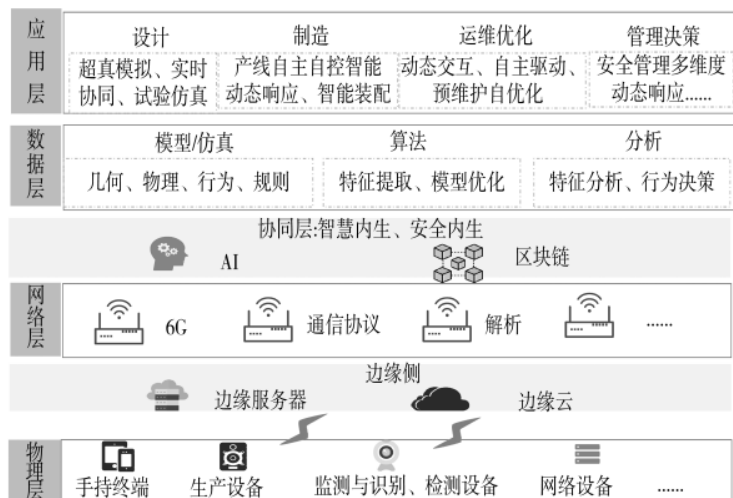


图 5 数字孪生工厂架构示意图

以制造和运维优化环节为例,数字孪生工厂将会实现真正的无人化、智能化。在研发设计端形成的虚拟产品模型,进入制造环节,生产设备自主开始运行,并基于精准识别、高精度定位等技术实现高精度加工与精准装

配,尤其适用于飞机、汽车、高端装备等离散型制造业。生产加工工程中的工艺仿真在超低延时网络的驱动下,实时评估预测加工后的产品形态与质量,提前给出修改或预防建议。“数字孪生体”和真实的设备、人随时随地动态交互,共享数据,在模型驱动下自我优化,不断进化。

6G 支撑工业大规模数据连接、数据实时采集、信息实时交互。相较于 5G,由于引入了人工智能、区块链等技术,6G 网络可以实现自主自治的智能化运维与资源分配,因此,工厂内任何需要联网的设备或手持终端都可以进行灵活组网,从而支持生产线的灵活调整与部署,主动适应制造业个性化、定制化 C2B 的大趋势。

2.4 超能交通

交通将是未来 6G 应用与规模推广的关键领域,未来出行将会有无人车、个人飞行器、智慧平衡器等多种交通方式,实现“上天入地,多模态自由出行”。超能交通,即是融合物联网、6G、互联网等,应用未来通信技术实现多模态、大规模交通工具的近乎全量连接,通过“云+AI”智慧大脑进行数据的存储、分析、融合、应用,综合虚拟现实、全息通信等技术,同时提供开放式的接入与应用能力,为城市交通及刑侦、社会运行等创造价值。

超能交通架构示意图如图 6 所示,超能交通将贯穿“空-海(含海底)-路”,形成泛在的网络连接与感知体系,通过对大量数据的融汇、分析、决策,不仅可实现路况的智能巡查、自主自优化,服务人们的出行与娱乐,还



图 6 超能交通架构示意图

可以更大规模、更深层次地服务于应急抢险、警情调度、刑侦工作等。

3 6G 应用性能需求及展望

3.1 不同场景对于 6G 的性能需求

6G 所面向的场景相较于 5G 复杂化、多样化程度大幅提升,对于 6G 的带宽、延时、连接密度以及灵活性等都提出了更高的要求,总结不同场景下对于 6G 网络的性能需求如表 3 所示。

表 3 6G 面向不同场景的需求

场景	需求
沉浸式云 XR	总时延 < 10 ms; 吞吐量 3.8 Gb/s
全息通信	峰值吞吐量约为 149.3 Gb/s; 平均吞吐量需求约为 1.5 Gb/s; 用户吞吐量在 Tb/s 级; 在医疗、制造等行业应用则需要超低延时, 小于 1 ms 甚至更低
交互场景	如工业控制、医疗手术、沉浸式交互体验等, 时延需要小于 1 ms, 用户体验速率大于 10 Gb/s, 可靠性指数要达到 99.999 99%
数字孪生	需要实现超大规模、超密集连接, 如医疗纳米机器人、大规模生产设备以及未来多样化的空-陆-海交通工具等, 需要万亿级设备连接能力和亚秒级延时性能。对于医疗场景, 其定位精度应达到微米甚至纳米级别
超智能交通	峰值速率应达到 100 Gb/s; 最大移动速率超过 1 000 km/h; 端到端时延小于 1 ms; 可靠性大于 99.999 99%; 定位精度应至少达到厘米、毫米级别

3.2 6G 技术与应用展望

通过对 6G 技术趋势研判和典型应用场景的分析, 可知未来 6G 将带来全新的技术视角、颠覆性的技术创新、全域全时全景的技术应用、广泛深入的技术融合。

(1) 全新的技术视角

相较于 5G, 6G 技术不仅仅是网络性能上的大幅提升, 还有由于与区块链、人工智能等技术融合而带来的网络治理模式、网络架构、应用接入模式等方面的颠覆, 以及跨越空间的万物互联。例如, 5G 对于网络资源的目标是“按需分配”, 而 6G 则是“自主自治”。这些改变将为技术界、业务界带来全新的视角, 在此基础上技术融合、应用创新演变进化, 挖掘新的需求, 从而颠覆原先的认知。

(2) 颠覆性的技术创新

6G 技术不仅需要在 5G 基础上创新, 而且需要对全新的智能网络等方面进行新的研究, 其中轨道角动量等技术研究尚在起步阶段。另外, 虽然无线空口技术也在 5G 相关技术中进行研发, 但并未取得突破性的成果, 而若要真正实现 6G 愿景, 则需要进行突破性创新。6G 关键技术如图 7 所示^[2]。

(3) 全域全时全景的技术应用

6G 网络目标是“空-天-地-海”的全域覆盖, 提供实时传输与反馈, 同时拥有高密度的设备连接能力, 能够实现针对全域、某个区域、某个个体的“全景”画像, 基

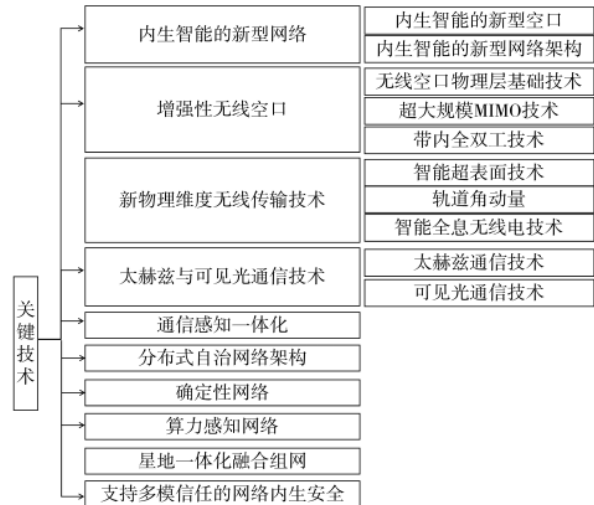


图 7 6G 关键技术

于“全域全时全景”的网络覆盖、数据采集、数据分析, 实现更多维度、更高水平的技术应用, 推动实现人类社会迈入数字孪生、智慧内生、泛在自由的时代。

(4) 广泛深入的技术融合

网络覆盖上, 未来空-天-地-海一体化覆盖网络将由具备不同功能、位于不同高度的卫星、高空平台、近地通信平台以及陆地和海洋等多种网络节点实现互联互通, 相互取长补短、优势互补, 形成一个以地面蜂窝网络为基础, 多种非地面通信为重要补充的立体广域覆盖通信网络, 实现同一终端在地面、空中、海面各个区域的无缝漫游, 为各类用户提供多样化的应用和服务。技术架构上, 6G 引入了区块链、AI 等技术, 直接融合到网络架构本身, 形成分布式的、智能内生的网络架构。应用上, 全息技术、XR、AI、云、仿真等多种技术在多行业多场景融合创新, 将形成新业态、新模式。

参考文献

- [1] 赛迪智库无线管理研究所. 6G 概念及愿景白皮书[N]. 中国计算机报, 2020-05-11(008).
- [2] IMT-2030(6G)推进组等. 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R/OL]. (2021-06-06)[2021-11-11]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/zltg/202106/t20210604_378499.htm.
- [3] IMT-2020(5G)推进组. 5G 愿景与需求[EB/OL]. (2014-05-xx)[2021-11-11]. http://www.caict.ac.cn/2014-05.
- [4] 王凌豪, 王淼, 张亚文, 等. 未来网络应用场景与网络能力需求[J]. 电信科学, 2019, 35(10): 2-12.
- [5] 赵军辉, 李一博, 王海明, 等. 6G 定位的潜力与挑战[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 75-81.
- [6] 吴陈沛. 基于群智感知的无线室内定位[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [7] 李元杰, 董超, 牛凯. 面向 6G 的高分辨率无线信道频域仿真方法及定位技术研究[J]. 电子与信息学报, 2021, 43(1): 13-20.
- [8] Yuan Yifei, Zhao Yajun, Zong Baiqing, et al. Potential key

- technologies for 6G mobile communications[J].Science China (Information Sciences), 2020, 63(8): 217-235.
- [9] Zhang Ping, Xu Xiaodong, Qin Xiaoqi, et al. Evolution toward artificial Intelligence of Things under 6G ubiquitous-X[J]. Journal of Harbin Institute of Technology(New Series), 2020, 27(3): 116-135.
- [10] 刘秋妍, 李铭轩, 吕轩, 等. 面向 6G 网络的可信需求与应用场景研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(3): 5-7.
- [11] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
- [12] 靳欣欣, 戴英豪. 5G 赋能云 VR 直播迎来新一轮发展契机[J]. 通信世界, 2020(14): 21-23.
- [13] 靳欣欣. “新冠”疫情防控战 信息消费再升级[J]. 通信世界, 2020(4): 22-23.

- [14] WAN M, WANG Q, WANG R, et al. Platelet-derived porous nanomotor for thrombus therapy[J]. Science Advances, 2020, 6(22): aaz9014.
- [15] SCHLEICH J M, DILLENSEGER J L, LOEUILLET L, et al. Three dimensional reconstruction and morphologic of human embryonic hearts: a new diagnostic and quantitative method applicable to fetuses younger than 13 weeks of gestation[J]. Pediatric and Developmental Pathology, 2005, 8(4): 463-473.

(收稿日期: 2021-11-11)

作者简介:

靳欣欣(1992-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: ICT 产业发展与技术应用。



扫码下载电子文档

(上接第 4 页)

- 书[EB/OL].(2021-06-xx)[2021-11-11].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202106/P020210604552572072895.pdf.
- [3] 6G Flagship, University of Oulu. White paper on 6G net-working[EB/OL].(2020-06-xx)[2021-11-11].http://julti-ka.oulu.fi/files/isbn9789526226842.pdf.
- [4] The 5G Infrastructure Association. European vision for the 6G network ecosystem[EB/OL].(2021-06-xx)[2021-11-11].https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2021/06/WhitePaper-6G-Europe.pdf.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[EB/OL].(2021-09-17)[2021-11-11].http://221.179.172.81/images/20210917/16141631860877816.pdf.
- [6] 未来移动通信论坛. 面向云网融合服务的 6G 网络技术[EB/OL].(2020-11-26)[2021-11-11].http://www.future-forum.org/dl/201126/whitepaper/70J.pdf.
- [7] 中国联合网络通信有限公司研究院. 中国联通 6G 白皮书[EB/OL].(2021-03-22)[2021-11-11].http://221.179.172.81/images/20210322/30691616408868127.pdf.
- [8] 东南大学, 紫金山实验室, 上海科技大学, 等. 6G 无线网络: 愿景、使能技术与新应用范式[EB/OL].(2020-08-14)

[2021-11-11].http://www.future-forum.org/cn/leon/a/updates/file/202104/20210409170967466746.pdf.

- [9] 方敏, 段向阳, 胡留军. 6G 技术挑战、创新与展望[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 61-70.
- [10] 3GPP TS 23.501. System architecture for the 5G system, V16.5.1[S]. 2020.
- [11] 3GPP TS 29.500. Technical realization of service based architecture, V16.9.0[S]. 2021.
- [12] 3GPP TS 33.501. Security architecture and procedures for 5G system, V16.7.1[S]. 2021.
- [13] 刘超, 王丹. 5G 服务化网络架构研究[J]. 信息通信技术与政策, 2018, 44(11): 31-35.

(收稿日期: 2021-11-11)

作者简介:

宗佳颖(1994-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G、6G 无线接入网技术等。

刘洋(1983-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网络开放、5G 室内小基站等。

刘海涛(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G 接入网、开源网络技术



扫码下载电子文档

(上接第 8 页)

- [13] 东南大学, 紫金山实验室, 上海科技大学, 等. 6G 无线网络: 愿景、使能技术与新应用范式[EB/OL].(2020-08-14)[2021-11-18].http://www.future-forum.org/cn/leon/a/updates/file/202104/20210409170967466746.pdf.
- [14] IMT-2030 (6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[EB/OL].(2021-09-17)[2021-11-18].http://221.179.172.81/images/20210917/16141631860877816.pdf.

(收稿日期: 2021-11-18)

作者简介:

刘海涛(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 无线接入网、开源网络技术等。

刘洋(1983-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网络开放、5G 室内小基站等。

宗佳颖(1994-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G、6G 无线接入网技术等。



扫码下载电子文档

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