

## 6G愿景及潜在关键技术分析\*

魏克军<sup>1</sup>, 赵洋<sup>2</sup>, 徐晓燕<sup>1</sup>(1. 中国信息通信研究院, 北京 100191;  
2. 北京市公安局东城分局, 北京 100007)

【摘要】 随着全球5G进入商用部署的关键时期, 中欧美日韩等国家相继启动了面向下一代移动通信(6G)的研究。但目前6G研究仍处于早期研究阶段, 需求尚不明确, 关键技术也未形成业界共识。本文在深入分析当前全球6G最新进展的基础上, 探讨了6G愿景需求, 给出了6G关键性能指标, 并对当前业界关注的潜在关键技术进行了深入分析。

【关键词】 6G; 愿景需求; 太赫兹; 轨道角动量

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2020.06.003 中图分类号: TN929.5

文献标志码: A 文章编号: 1006-1010(2020)06-0017-05

引用格式: 魏克军, 赵洋, 徐晓燕. 6G愿景及潜在关键技术分析[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 17-21.

OSID:

扫描二维码  
与作者交流

## Analysis of 6G Vision and Potential Key Technology

WEI Kejun<sup>1</sup>, ZHAO Yang<sup>2</sup>, XU Xiaoyan<sup>1</sup>(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China;  
2. Public Security Bureau of Beijing's Dongcheng, Beijing 100007, China)

[Abstract] With global 5G entering a critical period of commercial deployment, main countries such as China, EU, US, Japan and Korea have launched the research of next-generation mobile communication (6G). However, the current 6G research still in the early stage, where the requirements are not clear and the key technologies have not formed industry consensus. Based on the in-depth analysis of the latest global development of 6G, this paper discusses the vision requirements and key performance indicators, and deeply analyzes the 6G potential key technologies concentrated by the industria.

[Key words] 6G; vision and requirement; Terahertz; OAM

## 0 引言

全球移动通信历经1G到4G的发展, 每一次代际跃迁都会大幅度提升数据传输速率, 并催生无线新应用、新业务和新模式, 从打电话、发短信到浏览网页、在线视频、移动支付、直播短视频等, 孕育了辉煌的消费互联网时代。当前, 全球5G商用已全面启动, 与之前几代移动通信主要聚焦移动互联网应用场景不同, 5G寻求的不仅是数据传输速率的提升, 而是更广泛的应用场景,

将与众多垂直行业深度融合, 提升经济社会各行业各领域的数字化、信息化和智能化水平, 构建“万物互联”的新时代。

5G商用将实现移动互联到万物互联的拓展, 从个人、家庭延伸到经济社会各领域, 种类繁多的泛在设备接入网络, 所产生的海量数据将人与人、人与物、物与物紧密连接成一体。但5G仅仅是万物互联的开端, 与垂直行业融合应用发展需要相当长时间进行培育, 随着物联网应用范围的进一步深化和扩展, 未来社会将步入数据驱动的时代, 实现真实物理空间与虚拟网络空间的深度融合, 通过对物理空间的海量数据进行动态采集, 在网络空间进行即时分析, 决策信息再实时反馈给物理空

\*基金项目: “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项(2018ZX03001024)

收稿日期: 2020-04-30

间,为实现海量数据高速、无延迟、安全可靠的分发,需要比5G更加先进的6G通信基础设施。

## 1 全球6G最新进展

国际电信联盟 (ITU) 已经初步明确了6G时间计划。2020年2月,ITU-R WP5D工作组第34次会议在瑞士日内瓦召开,会议决定启动面向2030年及未来新一代移动通信 (6G) 的研究工作。会议初步明确了《未来技术趋势研究报告》、《未来技术愿景建议书》等报告文件的重要时间节点,其中,《未来技术趋势报告》主要描述5G之后IMT系统的技术演进方向,该报告起草工作业已启动,并计划于2022年6月完成。《未来技术愿景建议书》将包含面向2030年及未来的IMT系统整体目标,如应用场景、关键性能指标等,计划2021年上半年启动,2023年6月完成。本次会议虽然明确了开展6G技术趋势及需求愿景研究的时间,但尚未确定6G标准的时间计划,尤其是对于6G标准的完成时间,业界还存在一定分歧。

第三代合作伙伴计划 (3GPP) 预计2025年左右启动6G标准研制。2018年6月,3GPP完成了5G第一版本国际标准 (R15) 的研制,重点支持增强移动宽带和基础的超高可靠低时延场景,目前,完整5G国际标准 (R16) 版本已经基本制定完成,计划2020年6月冻结,该版本重点面向工业互联网和车联网等行业应用场景进行了增强,可以更好地满足低时延高可靠类业务应用需求。5G后续将在持续提升网络承载能力的基础上拓展垂直行业应用,进一步增强定位、网络架构及切片能力等。预计3GPP将于2023年启动对6G的研究,而实质性的6G国际标准化预计将于2025年左右启动。

全球主要国家相继启动6G技术的前期研究。美国联邦通信委员会 (FCC) 2019年3月宣布开放面向未来6G网络服务的太赫兹频段 (95 GHz-3 THz), 用于6G技术试验使用,美国国防高级研究计划局 (DARPA) 与高校合作开展太赫兹、存储、计算等基础技术研究。欧盟启动了面向2020年以后的欧洲地平线 (Horizon Europe) 2021-2027项目规划,计划投资1000亿欧元,研究内容包括下一代网络技术研究;芬兰奥卢大学成立6G Flagship组,研究面向2030年的6G愿景、挑战及

关键技术,并与IEEE合作,于2019和2020年连续举办两届全球6G峰会,与全球学术界、产业界共同探讨未来6G发展。日本于2019年设立“后5G信息通信系统和半导体开发项目”,用于研发后5G通信系统及先进半导体技术。2018年,日本NTT集团宣布开发出了面向B5G和6G的两项新技术,轨道角动量和太赫兹通信。2019年12月,NTT集团旗下设备技术实验室基于磷化铟 (InP) 化合物半导体材料研发了太赫兹射频芯片,传输速率达到了100 Gb/s。韩国2020年1月宣布,将于2028年在全球率先实现6G商用,为此政府和企业将共同投资9 760亿韩元。此外,韩国还成立了多个6G研究中心,其中,三星电子设立了“三星网络革新中心 (SNIC)”,负责5G和6G等新一代移动通信基础技术研究;LG电子和韩国科学技术院 (KAIST) 共同设立了6G研究中心;韩国电子通信研究院 (ETRI) 与芬兰奥卢大学签署了谅解备忘录,计划共同开发6G网络技术。中国与全球同步启动6G研究,2019年6月工信部成立IMT-2030推进组,全面布局6G需求、技术、频谱研究,推动国际合作发展。2019年11月,科技部成立国家6G技术研发推进工作组和总体专家组。2019年,中国科技大学、东南大学、北京邮电大学、中国通信学会、中国电子学会等国内学术界组织召开多场6G研讨会,对6G愿景需求和潜在关键技术进行研讨。

## 2 6G愿景展望

5G将开启一个万物互联的全新世界,实现人与人、人与物、物与物的全面互联,并逐渐渗透到经济社会各行业各领域,成为经济社会数字化转型的关键基础设施。5G在社会各行业的广泛应用,与ICT创新技术的深度融合,将驱动整个社会逐步进入数字化、信息化和智能化时代,6G将在5G基础上全面支撑全社会的数字化转型,并实现万物互联向万物智联的飞跃。

6G将实现比5G更强的性能,重点满足5G网络难以满足的应用场景和业务需求。随着5G的规模商用,与行业应用广度和深度的拓展,5G所定义的一些关键性能指标难以满足某些特定应用的性能需求,比如:全息通信中,一张全息照片大小为7~8 GByte,折合56~64 Gbit,如果视频也是同样清晰度,考虑30帧/秒,折算速率需

求为1.68~1.92 Tbps, 达到Tbps量级<sup>[1]</sup>。随着经济社会的发展, 新场景、新应用将不断涌现, 可能需要为6G增加新的性能指标。比如: 当前的蜂窝移动通信网络仅仅覆盖了全球20%的区域, 仍然有超过20亿用户无法接入网络, 未来6G将考虑更多社会因素, 进一步释放弱势群体的价值和机会, 因此, 6G将打造覆盖全球的空天地一体化网络, 网络覆盖率将成为6G的关键性能指标。此外, 高精度工业控制, 纳米医疗机器人等应用对定位精度也提出了很高的要求, 而5G性能指标中没有给出定位精度要求, 定位精度也将是6G的关键性能指标。

因此, 与5G相比, 6G将进一步提升现有关键性能指标, 根据当前业界专家观点, 6G峰值速率将达到100 Gb/s~1 Tb/s; 用户体验速率将超过10 Gb/s, 空口时延低至0.1 ms; 连接数密度支持1000万连接/平方公里。在现有5G指标基础上, 6G还将引入一些新增性能指标, 如定位精度(室内1 cm, 室外50 cm)、时延抖动 $\pm 0.1$  ns、网络覆盖性能等。此外, 6G网络还将具备高度智能化特点, 通过与人工智能、大数据的结合, 可满足个人和行业用户精细化、个性化的服务需求; 6G网络将有效降低成本和能耗, 大幅提升网络能效, 实现可持续发展<sup>[2]</sup>。

### 3 6G潜在使能技术分析

为满足未来6G网络的性能需求, 需要引入新的关键技术, 目前业界讨论较多的技术方向主要包括超大规模天线、轨道角动量等高效无线接入技术, 太赫兹、可见光、高效频谱使用等新型频谱使用技术, 以及空天地一体化技术等, 上述及其他潜在使能技术将极大提升网络性能, 为用户提供更加丰富的业务和应用。

#### 3.1 新型频谱使用技术

与5G相比, 6G将实现10倍于5G的传输速率, 需要更多的频谱资源, 获得频谱的方式主要有两种。一是向更高频段扩展。当前5G已经可以支持高达52.6 GHz的毫米波段, 未来6G可能会拓展到太赫兹甚至可见光频段, 通过频谱扩展, 6G可以获得10 GHz以上的连续频谱资源, 可有效缓解频谱资源紧张的状况。二是提高现有频谱的使用效率。6G不仅需要频谱资源更加丰富的高频频段, 也需要覆盖性能更好的低频频谱资源, 目前的

移动通信系统采用的都是“专用”频谱分配模式, 频谱利用率低, 可以通过动态、高效的频谱资源管理来有效提升现有频谱的使用效率。

(1) 太赫兹通信技术。太赫兹指频率在0.1~10 THz的电磁波, 具有极为丰富的频谱资源, 目前主要应用于卫星间通信(太空中为真空状态, 不受水份吸收影响, 传输距离较远)。太赫兹通信不仅可以满足6G极高数据传输速率频谱需求, 也可以利用太赫兹频段波长极短的特点, 在环境侦测和高精度定位方面发挥重要作用。太赫兹频段面临的挑战主要来自于其频谱传播特性和射频器件成熟度限制, 太赫兹频段存在严重的路径损耗, 300 GHz频段在距离10 m处的路径损耗可达100 dB, 而且在大气中传播也会受到水蒸气和氧气分子吸收的影响, 同时由于频段高, 绕射和衍射能力差, 受周围障碍物遮挡影响也很大。除太赫兹频段本身传播特性影响外, 太赫兹频段也对芯片和器件性能提出更高要求, 其中功率放大器(PA)是一个重大障碍, 随着频段的升高, PA的输出功率和功率效率都将大幅降低, 难以满足基站和终端的实际应用需求。太赫兹频段在未来6G中应用, 需要在关键技术及核心器件等领域实现突破, 包括面向太赫兹频段进行信道传播特性测量与建模, 针对不同应用场景分析大气衰减、分子吸收、气候等对太赫兹传播的影响, 建立太赫兹通信信道模型; 研发太赫兹关键元器件以及基于新型半导体材料的太赫兹射频芯片, 满足高效率、低能耗和低成本需求; 研究适应太赫兹通信传输特性的系统设计方案, 包括宽带调制解调技术、高速信道译码技术、超窄波束的精确对准及快速跟踪技术等。

(2) 可见光通信技术。这是指利用可见光波段的光作为信息载体进行数据通信的技术, 与传统无线通信相比, 可见光通信具有超宽频带, 并可兼具通信、照明、定位等功能, 而且无电磁污染, 可应用于飞机、医院、工业控制等对电磁敏感的环境。但可见光通信目前还面临着一系列的技术挑战。一是有效带宽较低, 虽然可见光频段有高达400 THz的光谱资源, 但商用的LED(发光二极管)的调制带宽仅有数十兆赫兹, 直接限制了可见光通信的传输速率, 通过采用新材料, 引入蓝色滤波、脉冲整形等技术可以有效提升LED带宽, 如基于



InGaN的高功率蓝光超发射二极管(SLD)调制带宽可达800 MHz以上。除有效提升LED有效带宽外,可见光关键技术还包括超高速率可见光通信调制编码技术、阵列复用等高效传输技术、可见光通信多址接入及组网技术,此外,还需要在超高速率可见光传输收发芯片、器件与模块等领域实现突破。

(3) 高效频谱使用技术。动态频谱使用是有效提升现有频谱利用效率的重要手段,通常包括动态频谱接入和智能频谱共享等方式。对于动态频谱接入,由于大量的授权频谱在时间和空间上均未得到充分利用,利用动态频谱接入技术,二级用户可以动态搜索空闲频谱波段,暂时利用他们来进行信息传输。但为了获得最佳的动态频谱接入策略,通常需要有关网络状态的完整信息,但现有的动态频谱接入协议尚无法适应更加复杂的实际模型,迫切需要具有较低运算复杂度的分布式学习算法。而动态频谱共享可以实现不同制式网络根据自身业务状况,动态申请和释放频谱资源,从而大幅度提升整体频谱的利用率。对于动态频谱共享,如何完美解决不同制式间各类物理信道干扰又能提升业务信道在共享频谱上整体频谱利用率,需要有统筹合理的算法支撑,区块链和深度学习技术是实现灵活频谱共享的有效方法。

### 3.2 高效无线接入技术

在给定的频谱资源下实现更高的数据传输速率一直是每一代移动通信追求的目标,为获得更高的频谱效率,一方面可以通过多天线、调制编码、双工等传统技术持续增强来实现,另一方面要持续探索新的物理维度和传输载体,以实现信息传输方式的革命性突破,如轨道角动量。

(1) 传统物理层技术增强。编码调制是最基本的物理层技术,在未来6G无线通信系统中将发挥基础作用,相比于5G,6G信道编码需要针对更加复杂的无线通信场景和业务需求进行有针对性的优化和设计,如超高吞吐量、超高移动速度、超高频段、超高可靠性以及面向物联网行业应用的极简设计等。此外,人工智能技术在无线通信中的应用也给信道编码研究提供了一种全新的解决方案,使其不再依赖传统的编码理论进行设计,通过学习、训练、搜索就可以找到适合当前传输环

境的最佳的调制编码方式。多天线技术是提升频谱效率最有效的技术手段,当前的商用大规模天线产品已经可以做到256天线单元,随着频段的提升,单位面积上可以集成更多天线单元,借助大规模天线,一方面可以有效提升系统频谱效率,另一方面,分布式超大规模天线有助于打破小区的界限,真正实现以用户为中心的网络部署,而且利用其超高的空间分辨率还可以实现高精度定位和环境感知。超大规模天线的应用需要天线技术本身的突破,目前大型智能表面技术在大规模天线中的应用受到业界的关注,此外,新型大规模阵列天线设计理论与技术、高集成度射频电路优化设计理论与实现方法以及高性能大规模模拟波束成形设计等技术也需要进行重点研究。新型双工技术在6G系统中可能会得到应用,从而解除传统FDD/TDD双工机制对收发信机链路之间频谱资源利用的限制。全双工技术通过在收发信机之间共享频谱资源可有效提升频谱资源利用率,在提高吞吐量的同时有效降低传输时延。当前,全双工技术需要重点解决的问题包括大功率自干扰抑制技术、多天线自干扰抑制技术、全双工组网技术以及可调时延器、高隔离度天线、微波光子滤波器等全双工核心器件研发。

(2) 轨道角动量技术。除传统的物理层技术增强外,我们也希望探索新的物理维度,轨道角动量就是目前业界比较关注的新物理维度。从电磁波的物理特性讲,电磁波不仅具有线动量,还具有角动量,其中线动量是当前传统电磁波无线通信的基础,而我们希望研究利用角动量作为无线通信的新维度,轨道角动量分为量子态轨道角动量和统计态轨道角动量,量子态轨道角动量是由发端装置旋转自由电子激发轨道角动量微波量子,并辐射到收端,收端自由电子耦合微波量子将其转换为具有轨道角动量的电子,通过电子分选器后,特定的轨道角动量电子被检测并解调,提取出所携带的信息,量子态轨道角动量需要专门的发射和接收装置。统计态轨道角动量是使用大量传统平面波量子构造涡旋电磁波,利用具有不同本征值的涡旋电磁波的正交特性,通过多路涡旋电磁波的叠加实现高速数据传输,为移动通信提供了新的物理维度。当前,轨道角动量在无线通信中应用仍处于探索阶段,研究难点主要在于轨道角动量微波量子产生与耦合设备小型化技术,射频统计态轨道角动量传输技术以及如何降低传输环境对涡旋电磁波影响等。

### 3.3 天地融合通信技术

未来的6G要进一步扩展通信覆盖的广度和深度,实现全球无缝覆盖,需要卫星通信的辅助和支持,因为卫星通信可以以较低成本实现更广覆盖,而对于飞机等高速移动的交通工具,利用卫星通信可以得到很好的支持,而这些特点正是传统蜂窝移动通信所欠缺的。因此,未来的6G网络可以以传统蜂窝网络为基础,与卫星通信深度融合,实现空中、陆地、海洋等自然空间的全面覆盖。当前美国正在加快推进卫星互联网发展,比较重要的包括星链计划和铱星系统等,其中Space X公司的星链计划预计将发射 $1.2 \times 10^4$ 颗卫星,截止2020年4月已经发射422颗,并将于6个月内进行公测。卫星互联网发展主要得益于卫星制造成本和发射成本的大幅度降低,同时,先进的移动通信技术也为卫星互联网成功提供了技术保证。但目前仍然面临一些性能方面的挑战,比如:星链计划每颗卫星的峰值带宽为20 Gb/s,但由于单颗卫星的覆盖范围巨大,导致单位面积容量会变得非常低,无法满足密集城区用户的大容量需求。此外,由于卫星与地面之间的距离远,星链网络的时延也较大,大约在20~35 ms之间,难以满足5G超低时延业务需求。性能方面的问题使卫星互联网无法对现有的蜂窝移动通信造成颠覆性的影响,但可以作为地面蜂窝移动通信的有效补充,为人口密度低,光纤铺设成本高,回报价值低的偏远地区提供网络服务,而地面蜂窝移动通信将重点解决密集城区的大容量需求以及对时延敏感的行业应用需求。从目前来看,天地融合还面临卫星系统与移动通信网络的一体化设计、不同卫星通信系统间的互联互通、频谱资源分配与管理等问题。

## 4 结束语

继5G规模商用之后,全球业界已经展开了对6G的研究。但目前仍然处于6G的早期探索阶段,愿景需求尚不明确,关键技术也未形成业界共识。本文详细介绍了国际标准化组织和主要国家的6G最新进展,探讨了6G愿景需求和关键性能,在此基础上,重点针对超大规模天线、调制编码、新型双工及轨道角动量等高效无线传输技术,太赫兹、可见光、高效频谱使用等新型频谱使用技术以及空天地一体化技术等进行了深入分析。但

我们也必须看到,创新型技术能否在新一代移动通信系统中应用,除了在技术领域实现突破外,还需要考虑芯片、器件等基础领域的影响,要满足功耗、体积、成本等工程可行性需求。

### 参考文献:

- [1] 中国移动. 2030+愿景与需求报告[Z]. 2019.
- [2] 魏克军. 全球6G研究进展综述[J]. 移动通信, 2020, 44(3): 34-36.
- [3] 魏克军, 胡泊. 6G愿景需求及技术趋势展望[J]. 电信科学, 2020(2): 126-129.
- [4] 赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2019(8): 963-987.
- [5] 赛迪智库无线电管理研究所. 6G概念及愿景白皮书[Z]. 2020.
- [6] Oulu university, Finland, 6G Flagship research program. Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence[Z]. 2019. ★

### 作者简介



魏克军: 博士, 中国信息通信研究院技术与标准研究所主任工程师, IMT-2020(5G)推进组无线技术工作组副组长, 主持多项国家科技重大专项和863计划等科研项目, 主要研究方向为LTE/LTE-Advanced、5G、6G等移动通信技术, 在国内外核心期刊发表论文数十篇, 申请多项发明专利。



赵洋: 工程师, 硕士, 现任职于北京市公安局东城分局, 研究领域为网络通信技术, 在国内核心期刊发表多篇论文。



徐晓燕: 博士, 中国信息通信研究院技术与标准研究所高级工程师, 曾参与多项国家科技重大专项和863计划等科研项目, 主要研究方向为5G/6G移动通信技术及ITU国际标准化。