

6G技术及其发展趋势研究

胡玉佩

(广东邮电职业技术学院,广东广州 510630)

【摘要】2020年被称为5G元年,根据移动通信系统“商用一代,规划一代”的发展规律,预计6G将会在2030年到来,现阶段是6G关键技术遴选的窗口期。文章以国内外5G和6G研究进展为依据,探索6G技术及其发展趋势,将6G网络愿景概括为“无处不在的、智能的、全民的、环保的网络”,并分析6G的KPI性能指标,最后探讨6G的关键候选技术。

【关键词】6G;太赫兹;毫米波;压缩感知

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2022.03.005】

【中图分类号】TN929.5

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2022)03-0016-05

Research on 6G Technology and Its Development Trend

HU Yu-pei

(Guangdong Vocational College of Post and Telecom, Guangzhou, Guangdong, China 510630)

Abstract: 2020 is known as the first year of 5G, and 6G is expected to arrive in 2030 according to the development law of "Planning for the Next Generation with One Generation of Business" of mobile communication system. This stage is the window period for the selection of 6G key technologies. Based on the research progress of 5G and 6G, the article explores the 6G technology and its development trend, summarizes the 6G network vision as "ubiquitous, intelligent, nationwide and environmentally friendly network", and then analyzes the KPI and technical requirements of the 6G vision.

Keywords: 6G; terahertz; millimeter waves; compressed sensing

1 6G愿景

回顾蜂窝移动通信系统的发展历史,1G运用蜂窝技术成功组建移动通信网络,使普罗大众的“动中通”梦想成为现实。2G完成“模拟”到“数字”的转变,使人类移动通信在质量上和数量上获得质的飞跃,基本解决人与人之间的语音通信需求。随着科技进步和社会发展,人类对通信有了更高的要求。信息消费在3G时代进入人们视线,并在4G时代成为核心需求。以“信息随心至,万物触手及”为愿景的5G网络聚焦人与物、物与物之间的通信,将服务类型由个人移动通信业务扩展到万物互联、自动驾驶和智慧医疗等。有学者提出“新通信马斯洛需求模型”,未来的移动通信系统将使人类感官外延和解放自我的需求得到充分满足,实现万物智联^[1]。

5G网络中划分的三大场景:eMBB(Enhanced Mobile Broadband,增强型移动宽带业务)、URLLC(Ultra-reliable Low-latency Communications,超可靠低时延通信)和mMTC(massive Machine Type of Communication,海量机器类通信)界限比较明显且有各自定义的KPI,不能同时满足超高速率、超可靠、超低时延和海量连接的要求。未来的移动通信系统将在5G三大场景的基础上进行功能的强化和提高,扩大移动通信网络的覆盖范围和服务领域,甚至有望打破场景所划定的界限,成为自由度更高、使用更便利的网络。

全球首份6G白皮书*Key Drives and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence*将6G网络描绘成“ubiquitous wireless intelligence(无处不在的智能无线网)”^[2]。国内有学者用“智慧连

【收稿日期】2022-07-21

【作者简介】胡玉佩(1982—),女,河北唐山人,广东邮电职业技术学院移动通信学院讲师,硕士,研究方向:移动通信。

【基金项目】2022年广东邮电职业技术学院校级质量工程科研项目“探索6G愿景和技术发展趋势”(项目编号:202263)。

接”“深度连接”“全息连接”“泛在连接”四个关键词描绘 6G 愿景,实现“一念天地,万物随心”^[3]。2021 年我国 IMT-2030 推进组发布的《6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书》提出,6G 网络最终将助力人类社会实现“万物智联、数字孪生”的美好愿景^[4]。笔者根据 6G 的研究进展和其他相关领域的发展趋势,将 6G 的愿景归纳为“无处不在的、智能化的、共建共享的、环保节能的网络”,愿景图如图 1 所示。



图1 6G愿景图

1.1 无处不在的网络

无处不在的网络,指网络可以为各个地方的用户提供无缝衔接的服务。“无处不在”即包含现实世界,也包含虚拟世界,以及两个世界之间的互联互通。在现实世界实现无处不在,首先需要实现全域无缝覆盖,即在地球以及地球周围一定空间范围内的任何一个地方都有 6G 信号覆盖。从室内到室外,从陆地到海洋,从城市到乡村,从沙漠到无人岛屿,从低空到太空,6G 信号将覆盖世界每一个角落。其次信号覆盖的对象将从人延伸到物,实现人与人之间、物与物之间以及人与物之间的无障碍通信,在 5G 三大典型场景的基础上开拓新的应用场景,并将所有场景有机融合,实现现实世界的万物互联。第三,工业、农业、医疗和交通等垂直行业的加入,会使 6G 提供的服务更加深入人们的生产生活,在地球和宇宙的科学探索上也将达到前所未有的高度。

虚拟世界的无处不在,将通信网络扩展到了人类的内心世界,包括人类的感知、认知、情感、意识等方面,运用无线传感、人工智能和大数据等技术收集、存储和分析人类的行为和表现,将人类内心世界转化成可知可测的数据资源,可使通信网络更加“人性化”。通过对虚拟世界的数字化,可实现根据人类的外在表现,如面部表情、肢体动作

等,分析推测人类的心理活动并对其未来的行为做出预判,完成与真实世界中的人或物的交互动作。通过 6G 搭建起的虚拟世界到现实世界之间的桥梁,人类可以享受完全自动化和个性化的服务,比如自动驾驶、智慧医疗、智慧家居和智慧教育等各种定制化服务。

1.2 智能化的网络

智能网络体现在组网智能化、服务智能化和充分满足个性化需求等方面。随着人工智能技术与移动通信网络的深度融合,6G 网络可以实现自动规划、自动组建、自动维护,并且根据需求动态变化。组网方式智能化需要智能化的网元设备和终端,网元与网元之间,终端与网元之间的连接方式是自动和智能的。未来移动通信系统的网络架构将不再固定不变,而是会根据通信需求变换网元的工作方式,从而改变网络的覆盖方式和覆盖区域。因此除传统陆地移动网络以外,卫星、无人机、空中汽艇甚至个人终端都将作为网络的一部分,提供相应的功能。

6G 网络和人工智能技术充分融合带来的另一个改变是,移动通信网络可以为个人用户和专网客户提供多元化的智能服务。将 VR(虚拟现实)、AR(增强现实)和 MR(混合现实)等功能融合的终端设备会为个人用户带来更便捷的通信、医疗、健康和娱乐服务。根据行业特点和实际需要建立起来的专网,使 6G 与垂直行业的结合不再受空间和资金的限制,真正实现专网专用。

1.3 全民共建共享的网络

随着信息技术的发展和观念的转变,普通民众有望参与移动通信网络的建设,并且在网络运营过程中盈利。前五代移动通信网络的建设者主要是各大运营商,大众只是网络的使用者。在 6G 时代,一方面任何企业单位和个人都能够享受 6G 网络带来的便利服务,特别是偏远地区和欠发达地区可以通过 6G 网络改善投资环境,获得更多的投资机会,发展当地经济,提高生活质量,实现全人类和谐发展。另一方面任何领域和行业的企事业单位甚至个人都有可能成为 6G 网络的建设者,并将从网络运营中获利,这将不断吸引各种类型的投资者加入 6G 网络的建设,从而加快 6G 网络建设的步伐,加快 6G 向其他领域扩张的速度。6G 网络将成为一个由不同类型投资者组建的、满足不同需求的、差异化明显的超级庞大的异构网。

1.4 环保节能的网络

在很长一段时间内,高能耗一直是 5G 部署过

程中一个比较棘手的问题,在一定程度上影响了5G在全球的覆盖规模和建设速度。6G研究从一开始就关注到这一问题,通过合理设计层次结构能效,探索零能耗模式,延长电池寿命,可实现从网络到终端的整体能效降低,从而使6G成为一个零能耗的环保网络。

2 6G的KPI指标

在全球首个发布的6G愿景白皮书中,专家组从技术、学术和工业层面考虑,给出了6G的KPI性能指标标准^[2],如图2所示。IMT-2030(6G)推进组发布的《6G典型场景和关键能力》白皮书给出了6G性能指标体系,除了图2中所表示的峰值速率、时延、可靠性、连接密度等指标以外,还增加了AI服务精度或效率大于90%,频谱效率增长1.5到3倍,移动性达到1000 km/h,区域流量密度100到10000 Mbps/m²,用户体验速率达到1到几十Gbps,微秒级的抖动,连接数密度达到10~100个/m²等指标,能效指标从10倍增加到20倍,并明确提出6G要扩展到全域覆盖^[5]。可见与5G相比,6G的各项技术指标将有10到100倍的增长。由于覆盖区域变得更深更广、提供的服务变得更加智能化,以及全球碳达峰、碳中和的目标,6G在5G的基础上引入了新的性能指标以实现其愿景目标。

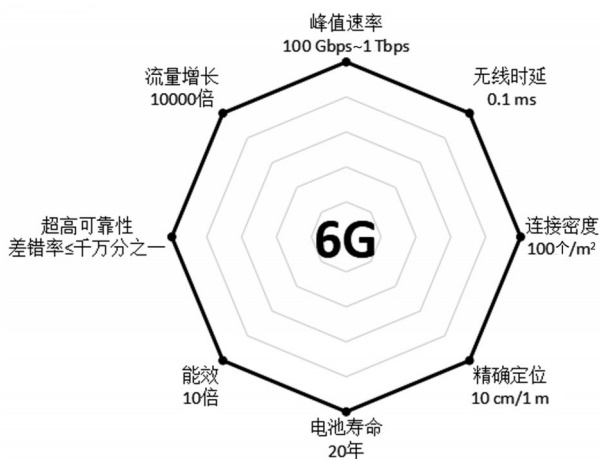


图2 6G的KPI性能指标雷达图

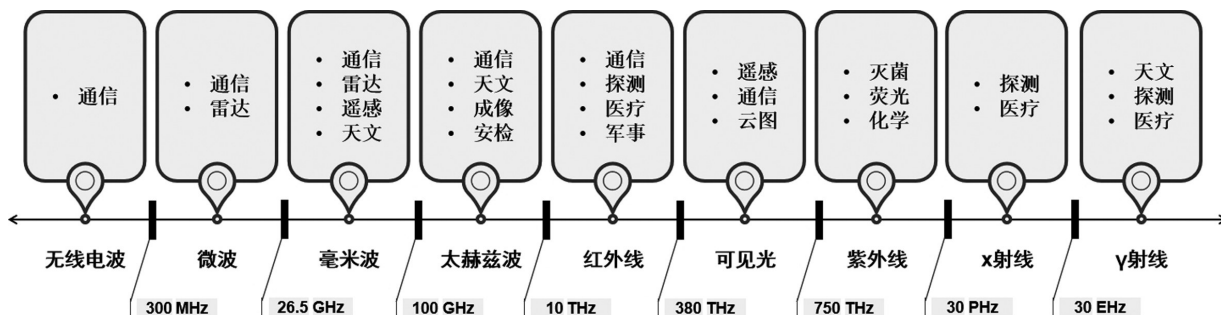


图4 电磁波谱图

3 6G的候选关键技术

为实现6G愿景,满足KPI指标,6G网络需要各方面技术的支撑,如无线传输技术、信号处理技术以及其他领域技术,比如人工智能技术、信息安全技术、半导体技术等。6G的关键候选技术如图3所示,下面将对部分技术的发展现状和趋势进行分析。

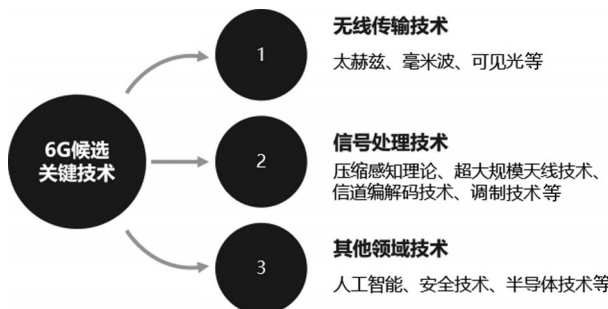


图3 6G候选关键技术

3.1 无线传输技术

人或物在使用移动通信网络时通过无线终端设备接入网络是毋庸置疑的,因此在移动通信网络中无线接入是基础设施建设的关键组成部分。根据香农定理可知,在信噪比一定的情况下,为实现高速率传输必须增加传输带宽,因此超大带宽的无线宽带传输技术是支撑未来移动通信网络的基础。从1G到5G,移动通信系统的覆盖范围通常局限在地球上人口较集中的陆地区域,6G的覆盖目标是实现对整个地球表面、深海、深地以及近地空间的全覆盖,将是一个由大量中低轨卫星与B5G系统相融合的网络,且需同时达到低时延、高速率和海量连接等性能指标,对无线传输技术提出了更高的要求。对于6G,若想建成天地海一体化高速通信网,宽带传输技术依然是核心技术^[4]。目前无线宽带传输提供的方案有太赫兹波通信、毫米波通信和可见光通信等,电磁波谱如图4所示。

太赫兹波通信:在光学和物理界,太赫兹电磁波(以下简称太赫兹波)是指频率在0.1 THz到10 THz的电磁波(另一说法是频率在0.3 THz到30 THz之间,不影响研究),介于毫米波和红外线之间。由于技术和材料的限制,一度非常难获得太赫兹波,因此也被称为“THz gap(太赫兹空隙)”^[6]。太赫兹波具有频段高、带宽宽、波束窄、方向性强、穿透性强、易于被水分子吸收等特点,可利用其特点在科学研究和生产生活的不同领域发挥作用。在宽带传输方面,由于高频段电磁波对比低频段会有较高的自由空间传播损耗,因此通信距离会明显缩短,再加上分子吸收作用的影响,太赫兹波支持的通信距离在1 m以内。另一方面高频段意味着大带宽,太赫兹波的带宽可以达到100 GHz以上,可以支持100 Gbps以上的传输速率。第三个方面是太赫兹波在大气层外受分子吸收影响减小,衰减减小,可以被用于完成卫星之间的通信,有助于实现6G的近地通信场景。但受限于相关领域技术的发展,利用太赫兹波实现通信还存在复杂度高、成本高、效率低等问题。太赫兹波仍属于微波频段,可用LC振荡电路的方式产生和接收太赫兹波。由于LC振荡电路对应的电磁波频率与电路中电感值L和电容值C的乘积开平方呈倒数关系,对电感和电容的要求较高。太赫兹通信系统中的主要组成部分,如发射源和接收探测器、发射机和接收机里的有线传输以及滤波组件依赖于超导材料、光子晶体和石墨烯材料等领域的发展,一些关键器件目前还处于研究阶段。在技术成熟以后,实际应用太赫兹波通信时具体选择的太赫兹波频段还需根据各国资源占用情况进行合理分配和规划。

毫米波通信:太赫兹波通信技术的成熟运用还需要一定时间,因此频率相对较低的低频段资源在5G时代和6G早期布局中仍是首选方案,日益成熟的毫米波技术在6G时代将继续发挥重要作用^[4]。毫米波的频段为26.5 GHz到300 GHz之间,其中26.5 GHz到40 GHz叫做毫米波ka波段,300 GHz到3000 GHz被称为亚毫米波段。由于毫米波通信实现复杂度高、功耗高、成本高等问题尚未得到解决,6 GHz以下的低频段资源Sub-6G是现网运营的5G系统中的主频段,毫米波并未获得大规模使用。但随着毫米波大规模天线阵列预编码算法和信道估计算法的改进,毫米波将在6G网络建设早期发挥重要作用。

可见光通信:是一种利用高亮度白光发光二极管即白光LED实现通信的技术,具有对人体无

害、发射功率大、抗干扰能力强、保密性强等特点^[7]。可见光属于高频段资源,可以提供较大的带宽,满足速率方面的要求。可见光的另一个显著特点是可被建筑物等不透光物体完全遮挡,使其可在不需要申请电磁波频段的前提下,通过在楼宇内、厂房内、农业基地内安装LED发光源和接收仪器等设备部署小型网络,实现室内短距离通信,不但具有较高安全性且成本低廉。随着垂直行业的发展和壮大,运营商建设的高密度重叠覆盖网络将逐渐退出历史舞台,取而代之的是由来自于不同领域的投资商建设的满足个性化需求、提供个性化服务的小覆盖的局域无线网络。可见光通信为各行各业实现专网专用提供了解决方案。

3.2 信号处理技术

移动通信的发展驱动力一部分来自于用户需求提高,另一部分则依赖于基础信息技术及其他垂直领域内技术的发展。基础信息技术中的压缩感知理论、新型的信道编解码技术、新型的多址技术,以及可显著提高系统性能的大规模天线阵列技术仍将是6G的研究重点。

压缩感知理论:压缩感知是一种信号处理方法,由压缩感知理论可知,对某变换域具有稀疏特性的信号运用压缩感知技术,可以实现用较少的测量值恢复出原始信号。压缩感知通过采用不等距的采样方法对信号进行模数转换,从而打破了奈奎斯特抽样定理所规定的等间距采样的传统信号处理方法,可以很大程度上减少数据的传输量^[8]。压缩感知理论目前被广泛应用于认知无线电、核磁共振成像、航空遥感、红外探测、生物传感等领域。在移动通信方面,压缩感知可被用于进行信号处理,以降低系统复杂度,提高频谱效率。对于如太赫兹波和毫米波等具有稀疏特征的电磁波,采用压缩感知理论构建算法进行信道估计,可以提高CSI的精确度,从而降低信号传输的误码率,提高通信系统的可靠性^[9]。

大规模天线阵列技术:大规模天线阵列(Massive MIMO)的使用可以在不增加系统带宽的前提下提高信息传输速率。太赫兹波和毫米波由于存在较大的路径损耗,需要利用大规模天线实现波束赋形来提高覆盖面积和小区边缘用户的服务质量。比起低频段资源,太赫兹波和毫米波的波长较短,天线尺寸较小,易于实现大规模天线阵列甚至是超大规模天线阵列,以获得较高的空间分集增益和空间复用增益,实现更高维度的波束赋形,提高用户体验速率和定位精度。大规模天线技

术作为6G的关键候选技术之一,可与上文提到的压缩感知理论相结合,达到降低系统能耗、降低硬件成本和复杂度的目的。

新型的信道编码技术:太赫兹波、毫米波和可见光等高频段资源的使用,对信道编码技术提出了新的要求。卷积码、Turbo码、LDPC码、Polar码等信道编码技术在前面的五代移动通信系统中发挥了重要作用,降低了传输误码率,提高了系统的可靠性。6G网络是一个复杂的超高密度异构网络,传输速率要求高,可靠性要求高,数据量庞大且多样,信道编码技术的选择需要与KPI紧密联系,不但保证一定的误码率,同时也要满足低复杂度、高效率的要求。

高频段电磁波调制技术:传输速率达到10 Gbps以上才能体现出太赫兹波传输的优势,传统的无线通信电调制技术无法满足如此高的速率要求。目前处于研究阶段的获得太赫兹波的调制方式主要有两种,一种是通过低频微波段调制再倍频的方式,一种是直接用太赫兹波调制基带信号的方式。前者普遍存在传输速率受限、发射功率低、成本高和复杂度高问题。后者则对太赫兹源稳定性和调制器噪声要求较高,较难实现^[10]。

3.3 其他领域技术

人工智能:6G网络区别于前五代移动通信网络的最大特点是网络智能化,智能化不但体现在满足人类的各种个性化需求上,还体现在网络规划、建设、运营和维护上,是一个通信感知一体化的网络。利用人工智能技术可实现智能自动组网,实现软件资源和硬件设备的自动化安装和组建,实现无线资源的优化配置。将人工智能技术与无线传感相结合,可实现自动驾驶、沉浸式业务体验、元宇宙以及各种规模的专网服务。

安全技术:6G网络是一个可以实现人机互联、万物互联的网络,依赖数据交互和数据共享,需要采集大量数据,这些数据很大一部分是关于企业或个人用户(人类或非人类个体)的身份信息、位置信息、机体状况、喜爱偏好的隐私数据,这些数据的存储和流通一旦发生安全问题,将会带来不可估量的恶劣影响。

半导体技术:高速率传输需要大带宽支持,大带宽传输所需的高频段电磁波资源,如太赫兹波和毫米波的发射源稳定性和复杂度与半导体材料的性能直接相关,因此半导体技术成为制约高速

率传输的瓶颈。现有的半导体材料的性能在频率较高时急剧恶化,目前越来越多的研究聚焦于CMOS的替代品,比如硅锗HBT等。

除此以外,6G愿景的实现还依赖数字孪生技术,包括VR、AR、MR在内的XR技术,全息成像技术、图像识别、精确定位、脑科学、认知科学等领域的技术发展。

4 总结

综上所述,与5G相比,6G在网络覆盖的深度和广度上、服务的个性化程度上、与垂直行业的结合程度上以及网络的智能化程度上,都将有巨大提高。太赫兹波通信和毫米波通信等无线传输技术的发展、大规模天线技术在高频段电磁波上的应用、更高效能的信道编码和调制技术的研究,以及冲破香农定理所设定的传输速率上限的压缩感知理论的提出,为建设6G网络提供了理论依据和技术支持。随着5G/B5G技术的发展,以及移动通信网络与工业、交通、医疗卫生、能源、金融、教育、农业、智慧城市等垂直行业的深度结合,6G时代即将到来。

【参考文献】

- [1]李正茂.通信4.0:重新发明通信网[M].北京:中信出版社,2016.
- [2]Juntti M, Kantola R, Kyosti P, LaValle S. Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence [R]. Finland: University of Oulu, 2019.
- [3]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.
- [4]IMT-2030推进组.IMT-2030(6G)推进组正式发布《6G总体愿景与潜在关键技术》白皮书[J].互联网天地,2021(6):8-9.
- [5]IMT-2030推进组.IMT-2030(6G)推进组发布《6G典型场景和关键能力》白皮书[EB/OL].<https://mp.weixin.qq.com/s/GN7FA1HjGU-UPtQjPMG9kA>, 2022-07-24.
- [6]洪伟,余超,陈继新,郝张成.毫米波与太赫兹技术[J].中国科学:信息科学,2016(8):1086-1107.
- [7]丁德强,柯熙政.可见光通信及其关键技术研究[J].半导体光电,2006(2):114-117.
- [8]石光明,刘丹华,高大化,刘哲,林杰,王良君.压缩感知理论及其研究进展[J].电子学报,2009(5):1070-1081.
- [9]陈发堂,梁志勇,王阳阳.毫米波系统中基于压缩感知的波束空间信道估计[J/OL].电讯技术.<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1267.TN.20220624.1159.002.html>, 2022-06-25.
- [10]杨鸿儒,李宏光.太赫兹波通信技术研究进展[J].应用光学,2018(1):12-21.