

浅析6G无线通信技术及应用

Analysis of 6G Wireless Communication Technology and Application

金淼,夏烛,席大伟(华信咨询设计研究院有限公司,浙江杭州310052)

Jin Miao,Xia Zhu,Xi Dawei(Huaxin Consulting Co.,Ltd.,Hangzhou 310052,China)

摘要:

通信业务的发展需要更低延迟、更高系统容量、更高数据速率、更高安全性和更高的服务质量,6G技术应运而生。对于6G的潜在技术如人工智能、太赫兹通信、量子通信、无人机、无蜂窝通信等关键特性和应用进行分析,为未来6G通信的研究提供参考。

关键词:

6G;人工智能;太赫兹;扩展现实

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.07.008

文章编号:1007-3043(2022)07-0038-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The development of subsequent communication business needs lower delay, higher system capacity, higher data rate, higher security and higher quality of service, so 6G technology emerges as the times require. It analyzes the potential technologies of 6G communication system, such as artificial intelligence, terahertz communication, quantum communication, UAV, Non-cellular communication and other key characteristics and applications, so as to provide reference for the future research of 6G communication.

Keywords:

6G; AI; Terahertz; XR

引用格式:金淼,夏烛,席大伟. 浅析6G无线通信技术及应用[J]. 邮电设计技术, 2022(7):38-43.

1 概述

人工智能AI、虚拟现实VR、物联网IoT等各种自动系统应用的快速发展,带来了巨大的流量,自动系统在社会各个领域流行,数以百万计的传感器被集成到城市、工业、汽车、家庭等各种环境中,以提供智能化、自动化的工作及生活,需要具有更加可靠连接的高数据速率来支持这些应用程序。

与4G通信相比,尽管5G网络提供大带宽、新的QoS、新技术如毫米波等,但以数据为中心的自动化系统的快速增长已然超过了5G无线网络的能力,5G通信在很大程度上忽视了通信、智能、传感、控制和计算

等功能的融合,未来的物联网应用将需要融合特定设备,要求至少10 Gbit/s的数据速率,随着5G能力达到极限,新的设计目标需要引进6G技术。

2 6G通信技术的服务能力

与4G/5G通信相比,6G网络技术和支持能力要求更高,如表1所示。

6G新兴技术包括太赫兹波段、人工智能、光无线通信(OWC)、3D网络、无人机UAV、智能反射表面IRS和无线功率传输等,6G通信将通过引入这些新技术的融合,实现各种系统功能特性:无处不在移动超宽带(uMUB)、超高速低延迟通信(uHSLC)、大规模机器通信(mMTC)、超高数据密度(uHDD)。应用场景如图1所示。

收稿日期:2022-06-02

表1 6G与4G、5G通信技术能力比较

内容	6G	5G	4G
峰值数据速率	1 Tbit/s	10 Gbit/s	1 Gbit/s
端到端延迟/ms	1	1	100
最大频谱效率/(bit/s/Hz)	100	30	15
移动性支持/(bit/s)	1 000	500	350
卫星集成	完全支持	否	否
AI智能	完全支持	部分支持	否
无人驾驶汽车	完全支持	部分支持	否
扩展现实	完全支持	部分支持	否
触觉通信	完全支持	部分支持	否
太赫兹通信	广泛支持	非常有限	否
服务能力	触觉通信	VR, AR	Video
体系结构	智能表面	大规模MIMO	MIMO
最大支持频率	10 THz	9 GHz	6 GHz

3 6G 通信关键技术

从移动网络的发展历程来看,6G网络技术大多基

于5G架构,继承5G优势并增加改进部分新技术。

3.1 人工智能

5G通信系统支持部分或非常有限的人工智能,而6G将完全支持AI的自动化。人工智能在6G阶段将充分发挥作用,实现从认知无线向智能无线的转变,机器学习的进步为6G中实时通信创造了更多的智能网络,在通信中引入人工智能将简化和改善实时数据的传输。

机器学习有可能应用于射频信号处理、频谱挖掘和频谱映射,将光子技术与机器学习相结合,推动人工智能在6G中的进化,从而构建一个基于光子的认知无线电系统。物理层采用基于人工智能的编解码器,深度学习信道状态估计,自动调制分类,在数据链路层和传输层,基于深度学习的资源分配、智能流量预测和控制被广泛研究以满足6G需求。人工智能技术将有助于实现6G通信中uMUB、uHSLLC、mMTC和uHDD服务的目标。

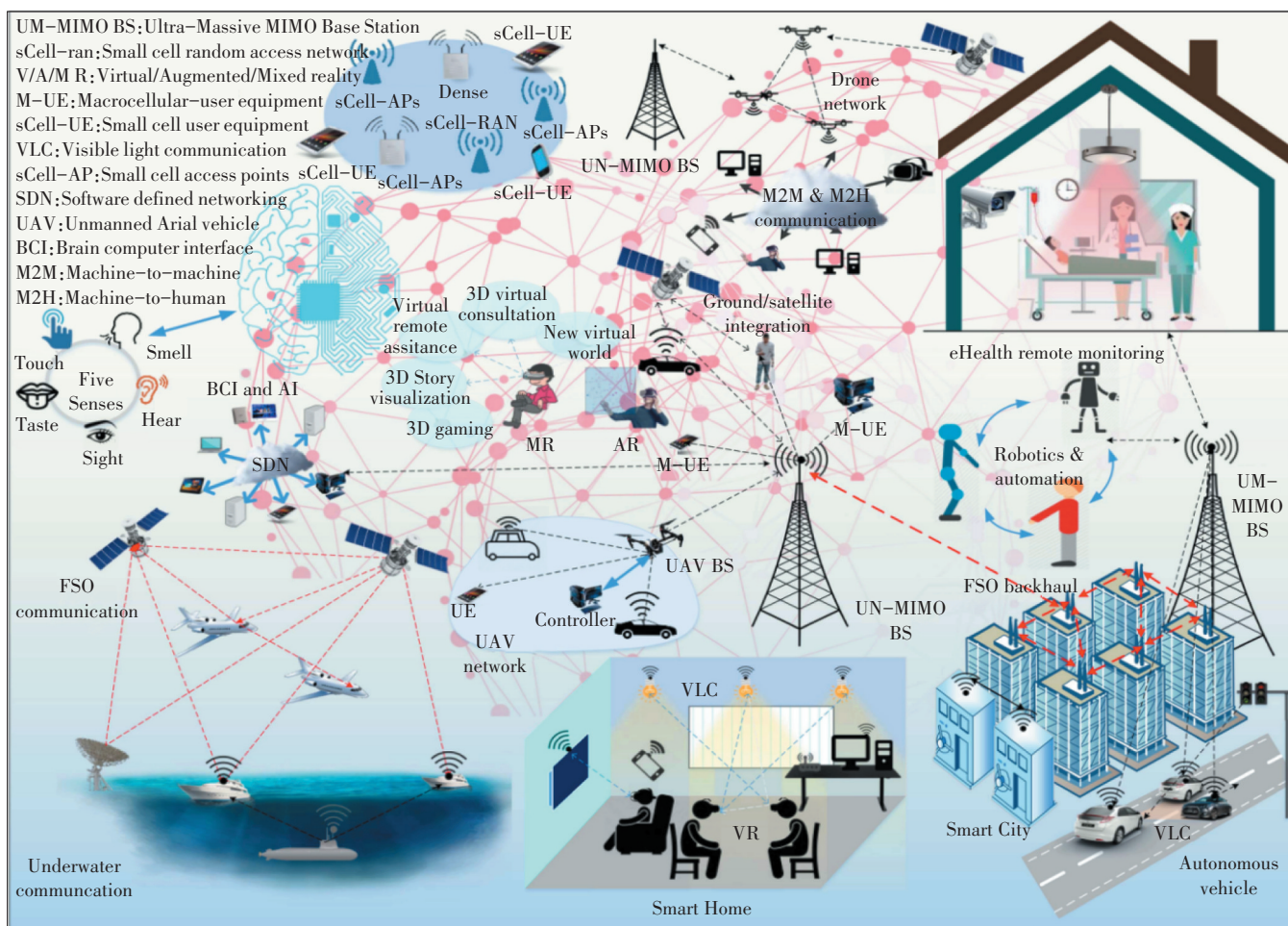


图1 6G通信的应用架构场景

3.2 太赫兹通信

太赫兹(THz)波又称亚毫米辐射,通常指0.1~10 THz频带,对应波长在0.03~3 mm。根据ITU-R建议,275 GHz~3 THz是太赫兹通信频段的主要部分,6G通信的容量将通过增加太赫兹波段(275 GHz~3 THz)到mmWave波段(30~300 GHz)来提升。275 GHz~3 THz范围内的波段还没有在全球范围内被分配用于任何用途,因此具有实现理想的高数据速率的潜力。当这个太赫兹波段添加到现有的mmWave波段时,总波段容量至少增加11.11倍。

5G引入了mmWave频率以实现更高的数据速率,并支持新的应用。然而,6G的目标是将频带边界推向太赫兹以满足更高的需求,太赫兹频段将在6G通信中成为高数据速率通信的前沿领域。

3.3 光无线技术

除了基于射频的通信,光无线(OWC)技术还可用于6G通信,用于所有可能的设备接入网络,这些还可以连通到前端/回传网络连接。光保真、可见光通信(VLC)、光学摄像机通信、基于光带的FSO通信等OWC技术已经成为众所周知的技术。这些通信技术将广泛应用于V2X通信、室内移动机器人定位、VR和 underwater OWC等应用。基于无线光学技术的通信可以提供非常高的数据速率、低延迟和安全。

基于光学波段的激光雷达是6G通信中的高分辨率三维测绘技术,OWC将增强uMUB、uHSLLC、mMTC和uHDD服务在6G通信系统中的支持。发光二极管(LED)技术和多路复用技术的发展是6G中OWC的2个关键驱动因素,基于不同波长的白光将有利于通过波分多路复用加速吞吐量性能,导致超高速数据速率VLC接入点能达到100+ Gbit/s,microLED阵列的大规模并行化将进一步提高6G通信目标Tbit/s的数据速率。

3.4 无线光通信前端/回传网络

由于地理位置偏远和连接复杂,不可能总有光纤连接作为回程网络,为小型蜂窝网络部署光纤链路可能不是一种经济有效的解决方案。FSO前端/回传网络正在超5G通信系统中崭露头角,FSO系统的发射和接收特性与光纤网络相似,FSO是在6G中提供前端/回传连接的优秀技术。

利用无线光通信,甚至可以在10 000 km以上的远距离进行通信。FSO支持海洋、外空、水下、孤岛等偏远和非偏远地区的大容量回传连接。无线光通信

前端/回传是5G和6G网络中常见的问题,而在6G中更为关键,一是它需要更高的前路/回传连接容量,二是与5G相比,它将需要更多的远程连接。FSO通信可以同时支持这2种功能,成为6G通信系统提升uMUB和uHSLLC服务的关键因素。

3.5 大规模MIMO和智能反射表面IRS

大规模MIMO技术是6G系统支持uHSLLC、mMTC和uHDD服务的关键。与5G相比,6G无线系统将从传统的大规模MIMO转向智能反射表面IRS,为无线通信和异构设备提供大型表面。IRS是一种新兴的硬件技术,在节能绿色通信方面具有巨大的潜力,也被称为超表面,由许多反射二极管单元组成,可以反射任何入射的电磁信号与可调的相移,这些重构智能表面材料可集成指数调制来提高6G网络的频谱效率,利用可调的反射移相信号和发射信号,还可以提高系统的能量效率。在即将到来的6G网络中,这种技术将被认为是最大限度地提高数据速率和最小化传输功率的解决方案。

3.6 区块链

区块链是未来通信系统中管理海量数据的关键技术,区块链是分布式账本技术的一种形式。分布式账本是分布在多个节点或计算设备上的数据库,每个节点复制并保存一个相同的分类账副本,点对点网络管理区块链,可以不受中央授权机构或服务器的控制而存在。区块链上的数据被聚集在一起,并被构造成块,这些块使用密码学连接和保护,区块链本质上是对大规模物联网的完美补充,具有更好的安全性、私密性、互操作性、可靠性和可扩展性。因此,区块链技术将为6G通信系统的海量连接提供跨设备互操作性、海量数据的可追溯性、不同物联网系统的自主交互、可靠性等多项设施,以达到uHSLLC服务的目标。

3.7 3D网络

6G系统将集成地面和机载网络,为垂直扩展的用户提供通信支持。3D基站是通过低轨道卫星和无人机提供的,在高度和相关自由度方面增加了新的维度,使得3D连接与传统的2D网络有很大的不同,6G异构网络将提供3D覆盖,将地面网络、无人机网络、卫星系统相结合的分散6G网络,真正实现全球覆盖和严格的无缝接入,甚至覆盖海洋和山区。

3.8 量子通信

先进的量子计算和量子通信技术将在6G中部署,以提供严格的安全性来抵御各种网络攻击。新兴的

量子计算范式、量子机器学习及其与通信网络的协同作用被认为是6G的核心促成因素,量子计算和工程的升级需要解决复杂的任务,量子通信采用基于量子不可克隆定理和不确定性原理的量子密钥,提供了较强的安全性。这些信息用光子或量子粒子编码在量子态中,根据全量子原理,在不篡改的情况下无法访问或克隆。此外,由于量子比特的叠加特性,量子通信提高了吞吐量。

3.9 无人机

无人机 UAV 是6G无线通信的一个基本元素。在许多情况下,使用无人机技术提供高数据速率的无线连接。基站实体安装在无人机上,以提供蜂窝连接。无人机具有固定基站基础设施中不具备的某些特点,如易于部署、强大的视线连接和具有可控制机动性的自由度。在诸如自然灾害等紧急情况下,地面通信基础设施的实施在经济上是不可行的,有时也不可能在动荡的环境中提供任何服务,无人机可以很容易地处理这些情况。无人机将成为无线通信领域的新方式。该技术可以满足 uMUB、uHSLLC、mMTC 和 uHDD 等无线网络的基本需求。无人机还可以用于多种目的,如加强网络连接、火灾探测、灾难发生时的应急服务、安全和监控、污染监测、停车监测、事故监测等。

3.10 无蜂窝通信

多频率和不同通信技术的紧密集成将是6G系统的关键。因此,用户将无缝地从一个网络转移到另一个网络,而不需要在设备中进行任何手动配置。在6G中,传统的蜂窝通信和正交通信的概念将分别转变为无蜂窝通信和非正交通信,最好的网络是从现有的通信技术中自动选择出来的,这将打破无线通信中蜂窝概念的限制。

6G无蜂窝通信将克服所有切换失败、切换延迟、数据丢失和乒乓效应问题,并提供更好的服务质量。无蜂窝通信将通过多连通性和多层混合技术以及在设备中使用不同的和异构的无线技术来实现。

3.11 无线信息与能量传输的集成

无线信息与能量传输的集成(WIET)在通信领域将是6G中最具创新性的技术之一,WIET使用与无线通信系统相同的领域和波段,传感器和智能手机在通信过程中通过无线电力传输来充电,WIET是一种延长电池充电无线系统寿命的技术。因此,没有电池的设备也可支持6G连接。

3.12 感知通信集成

自主无线网络的一个关键驱动因素是能够持续感知环境的动态变化状态,并在不同节点之间交换信息。在6G中,传感系统将与通信系统紧密集成,以支持自主系统。海量的感知对象、复杂的通信资源、多级计算资源和多级缓存资源是实现这一集成的真正挑战因素。

3.13 接入回传网络整合

6G接入网的密度将是巨大的,每个接入网都涉及回传连接,如光纤和FSO网络。接入和回传网络紧密集成足以处理大多数接入网网络接入。

3.14 动态网络切片

动态网络切片允许网络运营商采用专用虚拟网络向广泛的用户、车辆、机器和行业提供任何服务的优化交付。在6G通信系统中许多用户连接到大量异构网络是管理的基本要素之一。软件定义的网络和网络功能虚拟化是实现动态网络切片的基本技术,也影响了云计算在网络管理中的规范,如网络有一个集中的控制器来动态地引导和管理流量,编排网络资源分配以实现性能优化。

3.15 全息波束

波束形成是一种信号处理过程,通过它可以引导天线阵列向特定方向发射无线电信号。它是智能天线或先进天线系统的一个子集,该波束形成技术具有高信噪比、抗干扰能力强、网络效率高等优点。全息波束形成(HBF)是一种新的波束形成方法,它采用软件定义的天线,与MIMO系统有很大的不同。HBF是6G中有效、灵活地传输和接收多天线通信设备信号的一种有利方法。在物理层安全、无线功率传输、增加网络覆盖和定位等领域,HBF可以发挥重要作用。

3.16 大数据分析

大数据分析是分析各种大数据集或大数据的复杂过程,揭示信息,如隐藏的模式、未知的关联和客户倾向,以确保全面的数据管理。大数据从各种各样的来源收集,如视频、社交网络、图像和传感器,该技术广泛应用于6G系统中处理大量数据。利用海量数据、大数据分析和深度学习工具的前景有望通过自动化和自我优化推进6G网络,大数据分析应用的一个例子是端到端延迟减少,机器学习和大数据的结合将通过预测分析确定用户数据的最佳路径,以减少6G系统的端到端延迟。

3.17 后向散射通信

环境后向散射无线通信通过使用现有的射频信

号,如环境电视和蜂窝传输,使2个无电池设备之间能够相互作用,在较短的通信范围内可以实现合理的数据速率。微小的监测信号可以通过不消耗任何能量的传感器传输,后向散射通信系统中的无电池节点使其成为未来6G网络中大规模连接的候选技术。而在这样的系统中,获取网络节点的准确相位和信道状态是一个关键的要求,非相干通信可以被认为是满足这些要求的一个有前途的使能。此外,非相干后向散射通信可以在网络设备中提供优化的资源利用和业务增强。

3.18 主动缓存

大规模部署6G小型蜂窝网络是显著提高网络容量、覆盖率和移动性管理的关键手段之一,这将在基站上造成巨大的下行链路流量过载,主动缓存已经成为减少访问延迟和流量卸载、提高用户体验质量的基本解决方案。研究主动内容缓存、干扰管理、智能编码方案和调度技术联合优化对6G通信是必不可少的。

3.19 移动边缘计算

由于分布式的海量云应用,移动增强边缘计算(MEEC)成为6G技术的重要组成部分。基于人工智能的MEEC的实现将充分利用大数据分析和系统控制的计算,边缘智能是一种新兴的规范,它满足了即将到来的异构计算、通信和高维智能配置的通用服务场景的刺激性需求。

4 6G通信网络特性

6G技术能力特征中,系统的同时无线连接能力将比5G系统高1 000倍,与5G中的增强移动宽带(eMBB)相比,6G将提供无处不在的网络服务uMUB,超可靠低延迟是5G通信的一个关键特性,它也将成为提供uHSLLC的6G通信的关键因素。6G通信系统将提供大规模连接设备(高达1 000万/km²),提供任意覆盖地区Gbit/s级别速率,甚至新覆盖环境如天空(10 000 km)和海洋(20 n mile),6G系统将提供超长的电池寿命和用于能量收集的先进电池技术,6G系统中移动设备不需要单独充电。

针对不同6G服务类型可以展示uMUB、uHSLLC、mMTC和uHDD不同特征业务下适用的6G技术,每种技术都可以增强1个或多个服务,如表2所示。

5 6G网络应用前景探讨

全人工智能将被集成到6G通信系统中,所有的网

表2 不同6G服务下的新兴技术特征

关键技术	uMUB	uHSLLC	mMTC	uHDD
人工智能	√	√	√	√
太赫兹通信	√	√		
光无线通信技术	√	√	√	√
无线光通信前端/回传网络	√	√		
大规模MIMO	—	√	√	√
区块链	—	√		
3D网络	√	√		√
量子通信	—	√	√	
无人机	√	√	√	√
无蜂窝通信	√	√	√	√
无线信息与能量传输集成WIET	√			√
感知通信集成	√			√
接入回传网络整合	√	√		
动态网络切片	√	√		
全息波束		√		
大数据分析		√	√	√
后向散射通信			√	
智能反射面		√	√	√
主动缓存		√	√	√
移动边缘计算	√			

络仪表、管理、物理层信号处理、资源管理、基于业务的通信等都将使用AI进行融合,它将催生工业制造业数字化转型。

5.1 超级智能社会

6G网络的基于人工智能的M2M通信和能源收集,将加速智能社会的建设。目前以数据为中心的自动化系统发展已经超过了5G的水平,在一些应用领域如XR设备甚至要求超过10 Gbit/s的传输速率。6G系统将有助于促进无人车等业务的真正部署,6G系统中mMUB和uHSLLC服务将提供可靠的车辆到一切和车辆到服务器的连接支持、支持地面控制器和无人机与地面之间的系统通信。通过智能移动设备等使用,6G无线连接将使社会变得超级智能。

5.2 扩展现实服务

扩展现实XR是指由计算机技术和可穿戴设备产生的所有真实和虚拟环境以及人机交互的结合,集合了增强现实(AR)、混合现实(MR)和虚拟现实(VR)等所有的表现形式,是6G通信系统的基本特征,所有这些功能都使用3D对象和AI作为其关键驱动元素。

除提供计算、认知、存储、人类感官、生理等感知需求外,6G将通过联合设计集成和高质量的无线连接,提供真正沉浸式的AR/MR/VR体验,可穿戴设备

(如XR)的高级功能、高清图像、全息影像及五感通信等加速了人与人之间、物与物之间通信的机会,提供游戏、体育等创新娱乐和企业服务而不受时间和地点限制,6G系统提供的高数据速率、低延迟和高可靠的无线连接促进真正的XR体验。6G服务uHLSLLC将使XR应用在未来成功部署。

5.3 无线脑机交互

脑机接口(brain-computer interface, BCI)是一种控制智能社会中日常使用的家电的方法,特别是家用电器和医疗器械,它是大脑和外部设备之间的直接通信路径。BCI获取大脑信号,将其传输到数字设备,并分析和解释这些信号为进一步的命令或行动。与5G相比,无线BCI要求有保证的高数据速率、超低延迟和超高可靠性,如XR和多脑控制电影院、脑到物通信都需要非常高的吞吐量(>10 Gbit/s)和超可靠的连接。uHLSLLC和uMTC在6G无线通信中的功能将支持BCI系统在智能生活中的实现。

5.4 触觉通信

6G无线通信将支持触觉通信,远程用户能够通过实时交互系统享受触觉体验,这种类型的交流被广泛应用于人工智能和机器人传感器等领域,如残疾人通过触摸学习、外科手术中的医疗触觉方式等。6G通信网络的uHLSLLC、mMTC和uHDD特性可以促进触觉系统和应用的实现。

5.5 智能医疗和生物医学通信

医疗卫生系统也将受益于6G无线网络,因为AR/VR、全息远程呈现、移动边缘计算和人工智能等创新将有助于构建智能医疗系统。6G网络将为医疗系统提供可靠的远程监控系统,甚至远程手术也可以通过6G通信实现。高数据速率、低延迟、超可靠的6G网络将有助于快速可靠地传输大量医疗数据,提高医疗服务的可访问性和医疗质量。另外,太赫兹作为6G的关键技术之一,在医疗保健服务中具有潜在的用途,如在皮肤医学、口腔保健、制药工业和医学成像方面的太赫兹脉冲成像。

此外,生物医学通信是6G无线通信系统的一个重要前景。提供无电池通信技术的体内传感器主要用于可靠和长期监测,应用于临床诊断、运动和人机界面。6G的uMUB和uHLSLLC服务可以表征这些应用。

5.6 万物互联

5G被认为是IoE的开端,解决了从标准化到商业化的诸多挑战。6G系统将提供全面的IoE支持,IoE用

于智能社会如智能汽车、智能健康和智能行业,节能传感器节点的使用被认为是在6G中支持大规模IoT连接的关键因素之一。低功耗广域网络(LPWAN)具有支持广域覆盖(多达20 km)网络的潜力,且电池寿命长(>10年),部署成本低,LPWAN参与了大多数IoT用例。本应用程序支持6G通信的uMUB、uHLSLLC、uHDD等特性。

6 结束语

随着信息通信不断发展,5G终将无法完全满足无线通信不断增长的需求,而关于6G的研究仍处于起步阶段。本文对实现6G通信目标的技术和应用前景进行了研究,深入探讨6G通信关键技术特性和部署,展望未来6G通信目标可能的应用前景和方向,为后续6G技术的研究设计发展提供参考。

参考文献:

- [1] 赛迪智库无线电所管理研究所. 6G概念及愿景白皮书[R/OL]. [2021-12-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1661565178804614131&wfr=spider&for=pc>.
- [2] MUMTAZ S, JORNET J M, AULIN J, et al. Terahertz communication for vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(7): 5617-5625.
- [3] 吴晓天, 凌翔, 朱立东, 等. 6G卫星通信接入及移动性管理技术[J]. 电信科学, 2021, 37(6): 78-90.
- [4] YANG P, XIAO Y, XIAO M, et al. 6G wireless communications: vision and potential techniques[J]. IEEE Network, 2019, 33(4): 70-75.
- [5] LETAIEF K B, CHEN W, SHI Y M, et al. Theroadmap to 6G: AI empowered wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(8): 84-90.
- [6] 周天航, 杨闯, 刘子乐, 等. 太赫兹无线组网: 原理、现状与挑战[J]. 电信科学, 2021, 37(6): 33-44.
- [7] STOICA R A, DE ABREU G T F. 6G: the wireless communications network for collaborative and AI applications[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://arxiv.org/abs/1904.03413>.
- [8] 彭木根, 孙耀华, 王文博. 智简6G无线接入网: 架构、技术和展望[J]. 北京邮电大学学报, 2020, 43(3): 1-10.
- [9] ZHAO J. A survey of intelligent reflecting surfaces (IRSs): Towards 6G wireless communication networks[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://arxiv.org/abs/1907.04789v3>.

作者简介:

金淼,工程师,主要从事通信无线网络规划优化研究工作;夏焯,工程师,主要从事通信无线网络的规划优化工作;席大伟,工程师,主要从事通信无线网络的规划优化工作。