

### 紫金山实验室太赫兹实时无线通信打破纪录

# “泛在智联”的6G网络正款款走来

风云  
看点

# 6G

□ 本报记者 叶真 张宣 谢诗涵

新元肇始,位于南京的紫金山实验室发布国际领先水平重大原创成果——360-430GHz太赫兹100/200Gbps实时无线传输通信实验系统,通信速率较5G提升10-20倍,这也是目前世界上公开报道的太赫兹实时无线通信的最高实时传输纪录。消息传来,振奋人心。

## 太赫兹实时无线通信突破6G研究新方向

6G网络意味着更高的接入速率、更低的接入时延、更快的速度和更广的通信覆盖。在2019年芬兰奥卢大学6G旗舰研究计划发布的全球首个“6G白皮书”中列出了几个衡量6G技术的关键指标,其中之一就是6G单用户最高传输速率达1Tbps(1T=1024G),而5G的最高传输速率则是10Gbps。

2019年被称为5G商用元年,也就是在这一年,我国正式开始布局6G,业内人士指出,在很长一段时间,我国有关6G的大部分研究依然停留在愿景和构思方面。如今,紫金山实验室创造的6G最高速度确实带给人惊喜,将我国太赫兹通信产业另辟路径,构筑自主可控的产业链。这也是中国6G研发提前布局的阶段性成果,彰显我国科技硬实力。

6G的高性能令人向往,但需要解决的技术难题也不少。第一个挑战就是攻克尚不成熟的太赫兹通信技术,实现理想中的通信速率。

何为太赫兹频段?南京邮电大学通信网络产业研究院院长、通信与网络技术国家工程研究中心副主任徐友云解释,太赫兹频段是指100GHz-10THz,是一个频率比5G毫米波高出许多的频段。

实际上,从1G到4G,无线电波的频率一直在升高,频率越高,允许分配的带宽就越大,单位时间内所能传递的数据量就越大,也就是通常说的“网速快了”。如果把波段比作高速公路,那么这条公路可以说是越来越宽,行车速度越来越快。但是,再宽的公路也会有不够用的时候,这时就需要考虑开发另一条路,而解决这一问题可行的方法便是开发新的通信频段,拓展通信带宽。

“如果把4G比作快速公路,5G比作高

速公路,那么6G则是超高速公路。未来网络,或许我们还会考虑到更高的光波段。”徐友云说。

“传统的电子太赫兹技术受限于电子器件的固有属性,高频电子器件的参数逐渐接近理论极限,面临传输损耗大、频率和带宽受限等系列难以解决的挑战问题。”紫金山实验室副主任、首席科学家尤肖虎教授表示,因此,紫金山实验室选择了光子太赫兹无线通信作为6G全新突破方向,充分发挥体制机制优势,集聚优势力量搭建了国内领先、国际一流的光子太赫兹实验环境,首创光子太赫兹光纤一体融合的实时传输架构,完成了光子太赫兹实时无线通信实验系统的研制。

“下一步,研究团队除了进一步攻坚克难提高太赫兹实时无线通信传输速率之外,还将推进系统的芯片化研发,促进该系统与光网络的进一步结合,解决穿墙与室内覆盖问题,促进科研成果实用化、小型化、商业化发展,并赋予更多的试验场景。”东南大学移动通信国家重点实验室副教授、博士生导师、网络通信与安全紫金山实验室课题组负责人朱敏告诉《科技周刊》记者。

## 6G场景 物理与数字世界的深度融合

2021年,在我国IMT-2030(6G)推进组发布的《6G总体愿景与潜在关键技术白皮书》中指出,未来,6G业务将呈现沉浸化、智慧化、全域化等发展趋势,形成的沉浸式云XR、全息通信、感官互联、智慧交互、通信感知、普惠智能、数字孪生、全域覆盖等八大业务应用。

“展望6G时代,网络将以智能化的方式连接起多个智能系统,构建起更加智能的社会,成为通信网络、感知网络、算力网络融合的智能网络。如果说4G实现了移动互联网,5G实现万物互联,那么6G则可以被称为泛在智联,是物理与数字世界的深度融合。”徐友云解释。

“可以合理想象,未来网络,通信的主体将不仅是人或物,而是智能体。”未来移动通信论坛5G/6G工作组主席、中国移动研究院首席科学家易芝玲表示,“所谓智能体,可以是穿戴智能设备的人,也可以是数字人、机器人,甚至是带有情感的机器人。这些智

能体之间不仅可以交互信息、交互数据,还可以交互智慧,通过智慧相互协作、相互学习,极大地提升生产效率。”

易芝玲告诉记者,6G时代,基于“万物智联,数字孪生”的美好愿景,人们的生活将会发生翻天覆地的变化——全息通信将广泛应用于文化娱乐、医疗健康、教育、社会生产等众多领域,使人们不受时空限制,打通虚拟场景与真实场景的界限,用户可享受身临其境般的极致沉浸感体验;“数字孪生人”将通过数字孪生实现人的数字化,预测人的身体运行状况和可能发生的亚健康状态、病变等情况,并在这些状态发生前在虚拟空间里形成治疗手段和措施,实现医疗健康服务由“以治疗为主”向“以预防为主”的转变;在交通方面,全自动无人驾驶将大行其道,通过有序运作“海—陆—空—太空”多模式交通工具,人们将真正享受到按需定制的立体交通服务;新型定制基站同时覆盖各空间维度的用户、城市上空无人机等,6G将利用无线通信信号提供实时感知功能,获取环境的实际信息,生成超高分辨率的图像,在完成环境重构的同时,实现厘米级的定位精度,为人类似塑造可信安全的交通环境……

值得一提的是,6G时代,将给全球大潮下的全球产业带来更多机遇。易芝玲指出,6G通信将为数字经济发展提供泛在连接,毫米波、太赫兹通信和低频卫星通信产业迎来机遇;6G具备的内生计算能力,将成为国家算力基础设施重要组成部分,为数字经济发展提供泛在计算,国产化通用计算、专用计算、先进计算和类脑计算等产业将蓬勃发展;6G将具备内生感知能力,成为数字世界与物理世界的桥梁,小型化雷达和传感器产业空间将持续增长;6G与人工智能产业融合发展,将推动6G网络智能化,加速智能化应用发展,AI芯片、算法与学习框架将迎来新一波增长;6G与公共基础设施与行业基础设施融合发展,将成为数字经济发展的信息基础设施。

## 中国如何下好先手棋 让6G跑得更快

按照移动通信产业“使用一代、建设一代、研发一代”的发展节奏,业界普遍预测,6G将在2030年左右商用,提供“全覆盖、全频谱、全应用、强安全”的通信服务。当前,全球主要国家和地区均已开启6G研发等战略布局,各国在6G专利方面竞争异常激烈。

易芝玲表示,综合当前6G技术发展阶段,未来3-5年将成为抢占潜在关键技术窗口期,是抢占通信领域技术制高点和培育产业基础的关键。

易芝玲表示,综合当前6G技术发展阶段,未来3-5年将成为抢占潜在关键技术窗口期,是抢占通信领域技术制高点和培育产业基础的关键。

中国如何下好先手棋,让6G跑得更快?在《6G总体愿景与潜在关键技术白皮书》中所列出的十项潜在关键技术,大致可以分为新频谱通信技术、新型空口关键技术、智能网络新技术、融合通信新技术四大类。当前,科研人员正朝着这些关键技术集中攻关发力。

“中国已经进入5G时代,但5G通信目前的最终效果仍局限在地球6%陆地上的工业活动、教学活动、人工智能互联网活动,远远不够。”中国科学院院士、中国工程院院士李德仁表示,“我们要把5G发展到6G,覆盖到地球的陆、海、空、天,地面的5G网要跟天上的高轨、中轨、低轨卫星通信网连在一起,这将是未来网络的6G。”

“无线覆盖与信号传输离不开基站。随着波段的频率越高,波长则越短。相比于毫米波,太赫兹表现出更严重的路径损耗、大气衰减与漫散射现象。这意味着未来的6G基站将更加密集。”徐友云认为,未来6G将全球覆盖,提供全球化信息处理服务,一方面,海空天地一体化大型基站必不可少,卫星将具有部分或全部基站功能,从而节省大规模网络铺设和基站建设费用,降低基站功耗,跨越沙漠、高山与江河湖海;另一方面,车辆、小家电、工艺品等也可能是一个小基站,出现在人们的日常生活中。

6G向海空天地无线覆盖扩展,各种无人系统及远程系统等新兴应用将不断涌现,网络安全已成为近年来新兴的研究方向。把空天机制部署进网络的每一个节点中,并通过网络互联将所有节点中的安全组件关联在一起,对网络进行全面、深度的安全态势感知和防御,再通过AI技术不断自主学习和演进,使网络具有“与生俱来、自主成长”的安全防御能力成为技术突破方向之一。

风物长宜放眼量。当前,我国正扎实做好技术标准储备,为6G国际标准制定布好局,并以开放心态加强国际合作,全力推动6G朝着全球统一标准和生态的方向发展。(视觉中国供图)

释疑解惑

□ 本报记者 张宣

# 太空里也应建立交通规则

「星链」两次险撞中国空间站,专家建言——

备受关注的中国空间站三人组正在太空出差,让大家不禁想到,就在前几天,外交部发言人赵立坚在例行记者会上证实,2021年7月和10月,美国SpaceX发射的星链卫星,先后两次接近中国空间站。彼时,中国航天员正在空间站内执行任务,出于安全考虑,中国空间站采取了紧急避碰措施。

为此,很多人都很好奇:太空里也有交通规则吗?卫星之间是如何防止相撞的?后上天的卫星是否要先上天的卫星让路?针对这些问题,《科技周刊》记者采访了有关天文科普专家,听他们为大家做科普。

“星链和中国空间站,都处在LEO轨道(近地轨道),概率上也存在狭路相逢。”南京天文爱好者协会理事张瀚解释,虽然LEO轨道存在几百公里的高度差,但“车道”一旦有偏移,就会有相撞的风险。他提议,当下应该首先把太空交通规则建立起来,逐步营造一个安全有序太空环境。

2015年1月,美国SpaceX公司首席执行官马斯克提出“星链”计划,拟于2019年至2024年间发射12000颗卫星到近地轨道,构建一个巨型三层卫星网络。这三层分别位于距离地面340千米、550千米和1150千米的轨道上,最终使所有卫星联成一个巨大“星座”,提供覆盖整个地球(包括南北极)的全天候、高速率、低成本卫星互联网服务。

2021年4月29日,天和核心舱发射升空标志着中国空间站的正式组建。2022年1月1日公布的最新数据显示,中国空间站已经在距离地球400多公里的近地轨道上旅行八个多月的时间了,绕地球旋转了3800多圈。

“要弄清上述问题,首先得清楚卫星轨道的概念。”江苏省天文学会理事李志远接受记者采访时表示,卫星轨道通常分为5个轨道:低轨道(LEO)高度小于1000千米;极轨道为轨道平面与赤道面夹角90度的人造地球卫星轨道;顺行/逆行轨道为轨道平面与地球赤道平面的夹角小于90度;太阳同步轨道是指航天器轨道面转动角速度与地球公转角速度相同的轨道,这个轨道里通常是一些气象卫星、光学遥感卫星和科学试验卫星;地球静止轨道(GEO)是卫星或人造卫星垂直于地球赤道平面的圆形地球同步轨道,也是最稀缺的轨道,主要用于定点通讯卫星。而此次险些发生相撞的轨道是LEO轨道。

张瀚介绍,太空很大,虽然同处同一类型轨道,比如LEO轨道,但具体高度会有差异,都会事先考虑到已在轨卫星,选择安全高度。目前,中国空间站组合体稳定运行在高度390千米附近的近圆轨道,轨道倾角约41.5度,而今年7月差点与中国空间站相撞的星链-1095卫星正常高度是555千米,在中国空间站组建后机动变轨至382千米。2021年10月21日,星链-2305卫星再次与中国空间站发生近距离接近事件。

“星链两颗卫星差点撞上中国空间站,是因为星链卫星受控变轨脱离了之前的自身轨道,逼近中国空间站轨道高度产生威胁。星链变轨是故意还是无意我们也没有显著证据界定,但不断提升自身太空技术实力可以最大程度规避类似风险。”张瀚认为。

出于安全考虑,中国空间站主动采取紧急避碰,规避了两目标碰撞风险。什么是“紧急避碰”?张瀚表示,这是指紧急情况下,空间站中配备的自动发动机通过系统控制抬升轨道,改变轨道高度和倾角,避免与其他卫星发生碰撞。

虽然有风险,但还是引起了科学家们的再次关注,太空交通规则的问题也被再次提及。“航天器在轨道上运行都是设计好的,高度和速度都有要求,也不可能临时停下来‘等红绿灯’,太空是立体空间,只能类似于空中交通管制那样提前优先级,提前进行交通管制干预,没法临时叫谁‘停着别动’让别人。”张瀚说,太空之大,以前人类航天技术而言,做好预先防范,设计好轨道高度,避免相撞没什么太大技术障碍。

据了解,目前还没有全球共识下的可执行的太空交通规则,我们主要还是防范人造太空飞行器失控后对其它航天器的威胁,另外就是近地天体也存在对人造航天器产生实质威胁的概率。至于后上天的卫星是否要先上天的卫星让路,张瀚解释,只有GEO轨道是几乎绝对同一高度的,所以GEO轨道空间非常稀缺,谁先占位就归谁。

在张瀚看来,太空交通环境比地球空间更复杂,各国对安全定义标准也不统一。太空目前属于“公共区域”,只要技术足够,谁都有权使用,这就给统一管理带来了难度。当然这些法律和管理漏洞已经造成了一些“钻空子”行为,比如星链项目放任其规划上万辆卫星部署在太空低轨道,已经妨碍了天文地面观测活动,但没有法律适用规范这种不负责任的行为。随着航天商业化程度的提高,卫星潜在冲突很可能随时发生。

## 登上“雪龙”号启程回国,南航专家:

# 细说南极科考神奇之旅

□ 本报记者 杨频萍

一年前,南京航空航天大学航天学院空间科学与技术研究所所长全荣辉跟随中国第37次南极考察队,前往距离祖国一万多公里的南极中山站执行考察任务。如今,他已顺利完成考察任务,刚刚登上“雪龙”号启程回国。在南极科考是怎样一种体验?《科技周刊》记者连线全荣辉进行了采访。

## 这一年获取了约63TB观测数据

全荣辉于2020年11月前往南极探索空间物理和空间科学的相关问题。在此次南极考察任务中,他主要负责中山站高空大气等空间环境观测的任务,还有高频雷达等多套空间环境观测设备的运行、数据处理和维护工作。

据全荣辉介绍,在一年多的科考工作中,他共获取了大约63TB的观测数据,服务于多个国家科研项目和中日、中美、中挪等国际合作协议项目。根据子午工程调度安排,他先后参与了嫦娥五号探测器发射保障任务、空间站天和核心舱发射保障任务、太阳活动事件探测计划等多项重要观测任务。

野外考察对团队来说是家常便饭,面对突发天气更是常有的事,全荣辉就遇到过好几次。他还记得,有一次到离站区2小时路程的地方安装设备,半路时天气从多云转为阴天,很快就又刮起风,飘起小雪,几人立时决定返程。刚回到

站区,就下起大雪,刮起大风,能见度几乎为零。“如果当时决定错误了,可能就会迷失方向回不来了,甚至有生命危险。”回想起这段经历,全荣辉还有些后怕,“所以野外考察前,我们一定是多人同行,还必须得仔细看过天气预报。”

“南极气候除了十分寒冷以外,还十分干燥,每天早上醒来会感觉到嘴唇干得严重脱皮。”全荣辉介绍,恶劣的气候环境,也会导致设备出现故障,所以设备修理就成了必备技能。“修理设备有时会缺少硬件,这边不比国内可以随时购买,只能到处寻找合适的配件,没有配件就只能想其他方法。”

## 南极可谓一个天然滑雪场

对此次南极科考之旅,全荣辉形容“收获颇多”。“很明显地感受到祖国的日益强盛。”全荣辉介绍,早期的中山站是类似集装箱拼接起来的单层铁皮房,空间狭小而且办公是在宿舍或者观测站,基本没有娱乐设施。那时,在食堂吃饭时都必须把脚抬起来,因为地板温度极低,十分冻脚。

“现在,中山站建有综合楼、越冬楼和度夏楼,都是带有暖气的钢筋混凝土,空间十分宽敞,有专门的办公室、图书馆、体育馆、会议室等等,体育馆还是附近几个站最大的。”他自豪地介绍,如今的越冬保障也已十分完善,有多套不同功能的服装,食材丰富,通信设施完善,配发多种维生素营养品和生活用品。

“这边的生活由站长统一指挥,队员除专业性工作以外,都必须参与集体劳动,比如卸货、物资搬运与分类、帮厨等等,另外,还一起处理各个岗位上的高难度工作。”全荣辉介绍,他负责的测高仪700kg线缆铺设工作,就是全站队员一起出动进行拉接和铺设的。在大家的相互帮助下,碰到的困难很快就能解决。

“借助地形与独特的气候,南极可谓是一个天然的滑雪场。”全荣辉用来观测的地方位于中山站附近的一个高地,除了滑雪,每天正常巡视的爬山,也是他在南极锻炼身体的一种方式。全荣辉介绍,中山站还配有体育馆,可以打篮球、排球和羽毛球等等。全荣辉最喜欢的还是打乒乓球,平日空闲时间找两三个好友切磋球技。

除了科研身份,全荣辉还有另一重身份——中山站图书管理员。“图书馆中的大部分书是捐赠的,还有一部分是队员带来的。”“管理员”全荣辉介绍,“原来的图书室已经摆满了书,我和队友在监控室又重新布置了一个。”

## 在这里领略神奇“蓝冰”现象

在南极吃得怎么样,是不是很单调?很多人也许会有这样的疑问。其实,“科考”的前期,伙食还是非常丰富的。“科考站不仅配备厨师长级别的大厨,购置的食材也来自天南地北。但半年之后,带来的蔬菜食材也就吃得差不多了。“除了坏掉的,就剩下洋葱、土豆、山药这些

耐储存的蔬菜,这时候蔬菜就非常珍贵了,不过,我们这里有一个种蔬菜的温室大棚,可能两三个星期能吃到一次小白菜、黄瓜这些蔬菜。”全荣辉最怀念的,还是南航的饭菜。

“初到南极,虽说自己心情很激动,但是看到送我们的直升机撤离时,想到自己离家乡一万多公里,内心还是会感到孤独。”全荣辉说,他一个星期会跟家人联系2-3次。“两个孩子很想我时,会在站上人员用网时跟家人视频,不过网速还是很慢。孩子们过生日时,还向我要有南极特色的礼物呢。”

在南极科考一年的时间里,全荣辉与学校也保持着密切的联系。作为南航航天学院空间科学与技术研究所的所长与研究生导师,他每周会不定期进行1-2次电话会议,督促研究生学习进度与所里的工作进展。全荣辉向我们说道,“感谢学校给予的帮助和支持,我会带着这一年的所学所见,更好地完成各项工作。”

南极科考之旅有苦,也有甜。全荣辉提到,在南极科考会遇到很多奇特的自然现象。除了大家都知道的爬山,还有“蓝冰”现象。“一般说来,缝隙或洞穴是越深的地方越黑,但在有近百米深缝隙的南极冰盖上,人向下看到的居然是蓝光。”他介绍说。在和团队外出爬过山谷时,也经常看到花朵、拱门、虫样的奇石。“一年以来,我见识了很多难以形容的景色,也见过很多独特的自然现象。感觉我们认识自然和利用自然的路还很远很长。”