

5G 毫米波产业发展现状分析

Analysis on the Development Status of 5G Millimeter Wave Industry

张忠皓,周 瑶,李福昌,马静艳,高 帅(中国联通研究院,北京 100176)

Zhang Zhonghao,Zhou Yao,Li Fuchang,Ma Jingyan,Gao Shuai(China Unicom Research Institute,Beijing 100176,China)

摘 要:

毫米波系统是 5G 移动通信系统的重要组成部分,是 5G 满足大带宽需求的重要手段。对毫米波标准化进展和毫米波产业发展现状进行介绍,对 5G 毫米波系统发展必要性进行分析,给出 5G 毫米波典型应用场景。

关键词:

毫米波;产业发展;应用场景

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.02.007

文章编号:1007-3043(2021)02-0037-05

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:

Millimeter wave system is an important part of 5G mobile communication system and an important means for 5G to meet the demand of large bandwidth. It introduces the progress of millimeter wave standardization and the development status of millimeter wave industry, analyzes the necessity of 5G millimeter wave system development, and gives the typical application scenario of 5G millimeter wave.

Keywords:

Millimeter wave; Industrial development; Application scenarios

引用格式:张忠皓,周瑶,李福昌,等. 5G 毫米波产业发展现状分析[J]. 邮电设计技术,2021(2):37-41.

0 引言

毫米波一般指波长 1~10 mm、频率 30~300 GHz 的电磁波。在毫米波频段可以构建高达 800 MHz 的超大带宽通信系统,通信速率高达 10 Gbit/s,可以满足 ITU 对于 5G 通信系统的要求。毫米波已经成为 3GPP 5G 移动通信系统的必要组成部分^[1-4]。

国内 6 GHz 以下 5G 系统已经在 2019 年 11 月 1 日全面商用,行业目光开始转向 5G 后续演进和 5G 毫米波系统。毫米波产业链在高频器件性能^[5]、波束赋形

和波束管理算法^[6]、链路特性等方面均开展了很多研究^[7]。运营商也已经开始从系统应用角度考虑 5G 毫米波部署和应用问题^[8-10]。参考文献[9]分析了毫米波系统关键技术,并提出推动毫米波产业发展的工作建议。参考文献[10]提出毫米波几种主要的部署场景,进一步提出了设备和终端的发展要求和网络部署规划。

但是从多次行业会议的反馈情况来看,通信产业各方对于毫米波产业路线还不明晰,对于毫米波产业信心不足。究其原因,一是目前的 5G 刚刚部署,未出现杀手级应用,毫米波部署缺少业务需求的推动。二是对于毫米波通信系统在通信系统中的定位和毫米

收稿日期:2021-01-04

波系统产业发展方面缺乏系统性的分析,导致行业对毫米波产业规模的预期有分歧。三是目前国内毫米波产业链比较薄弱,短期内设备和终端无法满足部署需求,产业链还需要一定的发展时间。

本文首先介绍了毫米波标准化进展和毫米波产业发展现状,从产业发展和5G系统设计角度分析毫米波系统的必要性,最后在分析毫米波关键技术和产业链的基础上,提出毫米波典型的应用场景。

1 5G毫米波标准化和频谱使用情况

1.1 5G毫米波标准化情况

频谱是移动通信产业最为宝贵的资源,任何一代移动通信技术的正式商用,前提都必须获取一定的频谱资源。国际电联(ITU)面向2019年世界无线电通信大会(WRC-19)的1.13议题的主要目标是5G寻求全球或区域协调一致的毫米波频段,是全球开展5G毫米波研究的重要依托。ITU WRC-19大会对毫米波频段提出明确的频段建议,此次会议共讨论24~86 GHz范围内11个频段,会议主要结论如表1所示。

表1 1.13议题主要结论

频段/GHz	标识情况	频段/GHz	标识情况
24.25~27.5	全球标识IMT	45.5~47	脚注标识(53个国家)
37~43.5	全球标识IMT	47.2~48.2	脚注标识(2区+70个国家)
66~71	全球标识IMT		

1.1.1 24.25~27.5 GHz 频段

标识24.25~27.5 GHz可在全球用于IMT系统。同时,为保护现有卫星在用系统,5G系统需满足下述技术要求。

a) 带外技术指标。

(a) 面向23.6~24 GHz的EESS(无源)业务频段范围,IMT基站向其中任意每200 MHz的带外非期望发射限值为-33 dBW。在2027年9月后,上述限值将调整至-39 dBW,但此前已部署的基站不受影响。

(b) 面向23.6~24 GHz的EESS(无源)业务频段范围,IMT移动终端向其中任意每200 MHz的带外非期望发射限值为-29 dBW。在2027年9月后,上述限值将调整至-35 dBW,但此前已使用终端不受影响。

b) 带内技术指标。

(a) 室外基站的发射天线通常指向水平线以下,机械指向需在水平线或以下。

(b) 对于每波束等效同向辐射功率(EIRP)值超过30 dB(W/200 MHz)的IMT基站,应使其天线最大辐射

方向在IMT基站视距内与对地静止卫星轨道偏离 ± 7.5 度。

(c) 鼓励各主管部门使IMT基站的天线方向图保持在ITU R M.2101建议书规定的近似包络范围内。

1.1.2 37~43.5 GHz 频段

标识37~43.5 GHz频段或其中的一部分可在全球用于IMT系统。同时,为保护现有卫星在用系统,5G系统需满足下述技术要求。

a) 为保护36~37 GHz频段内的EESS(无源),工作在37~40.5 GHz频段内的IMT台站适用的强制无用发射限值为-43 dB(W/MHz)和-23 dB(W/GHz)。为了实现更好的保护,推荐各主管部门考虑-30 dB(W/GHz)。

b) 在42.5~43.5 GHz频段内部署IMT基站时,应采取实际措施以确保室外基站的发射天线通常指向水平线以下。机械指向需要在水平线或水平线以下。

c) 在42.5~43.5 GHz频段内部署IMT基站时,对于每波束等效同向辐射功率(EIRP)值超过30 dB(W/200 MHz)的IMT基站,应使其天线最大辐射方向在IMT基站视距内与对地静止卫星轨道偏离 ± 7.5 度。

d) 鼓励各主管部门使IMT基站的天线方向图保持在ITU R M.2101建议书规定的近似包络范围内。

1.1.3 66~71 GHz 频段

标识66~71 GHz频段在1区、3区和2区部分国家可用于IMT系统。同时,为保护现有卫星在用系统,5G系统需满足一定的兼容共存技术要求。

1.1.4 45.5~47 GHz 频段

标识45.5~47 GHz频段在部分国家可用于IMT系统。同时,为保护现有卫星在用系统,5G系统需满足一定的兼容共存技术要求。

1.1.5 47.2~48.2 GHz 频段

标识47.2~48.2 GHz频段在部分国家可用于IMT系统。

a) 在47.2~48.2 GHz频段内部署IMT基站时,应采取实际措施以确保室外基站的发射天线通常指向水平线以下。机械指向需要在水平线或水平线以下。

b) 在47.2~48.2 GHz频段内部署IMT基站时,对于每波束等效同向辐射功率(EIRP)值超过30 dB(W/200 MHz)的IMT基站,应使其天线最大辐射方向在IMT基站视距内与对地静止卫星轨道偏离 ± 7.5 度。

c) 鼓励各主管部门使IMT基站的天线方向图保持在ITU R M.2101建议书规定的近似包络范围内。

在3GPP中毫米波频段的射频标准讨论和制定工

作由3GPP RAN4牵头开展,研究分为2个阶段:第1阶段研究40 GHz以下的频率,以满足较为紧急的商业需求,于2018年12月完成。第2阶段计划从2018年开始,到2019年12月完成,该阶段专注于最高100 GHz的频率,以全面实现IMT-2020的愿景。5G频段具有多样性,一般包括6 GHz以下和24.25~52.6 GHz,第1阶段频谱分配定义了52.6 GHz以下的毫米波频谱,如表2所示。

表2 3GPP毫米波频段

频段号	频段/MHz	双工方式
n257	26 500~29 500	TDD
n258	24 250~27 500	TDD
n260	37 000~40 000	TDD
n261	27 500~28 350	TDD

在3GPP中,上述毫米波频段和3.5 GHz的NR系统是同步标准化,2020年初完成R16版本的固化。

1.2 5G毫米波频谱分配和使用情况

毫米波部署初期,大多数的国家将注意力都集中在26 GHz和28 GHz这2个频段上,在这2个频段上投入的资源也是最多的。美国、韩国、日本等国家已陆续完成5G毫米波频谱的划分与拍卖,5G商业部署前景明朗。英国、德国等国家已经确认了5G中高频待分配或待招标的频段^[10]。

目前我国毫米波频谱的具体规划未正式发布。工业和信息化部于2017年7月批复24.75~27.5 GHz和37~42.5 GHz频段用于我国5G技术研发毫米波实验频段,试验地点为中国信息通信研究院试验室以及北京怀柔、顺义的5G技术试验外场。国内IMT-2020(5G)推进组成立高频讨论组,制定毫米波关键技术要求、毫米波外场性能测试方法等行业标准,目前已经明确射频测试规范并开始内外场测试。2019年重点验证5G毫米波关键技术和系统特性;2020年重点验证毫米波基站和终端的功能、性能和互操作;2020年到2021年开展典型场景验证。

2 5G毫米波产业链情况

毫米波基带部分与5G低频段设备具有相同成熟度,但是射频相关的功能和性能较5G低频段设备有较大差距。由于目前国内尚未明确毫米波频谱规划,所以厂家设备频段以北美和日韩频段为主,设备可以支持基本功能,但是部分功能如波束管理、移动性等有待进一步完善。高通已经能够提供商用的毫米波终

端芯片X55,该芯片单载波带宽为100 MHz,尚未支持单载波400 MHz甚至800 MHz。在商用终端方面,OPPO/VIVO/ZTE在2020年第1季度推出基于X55芯片的旗舰终端。

高频器件与芯片是毫米波通信设备的基础,为满足更高阶调制方式及多用户通信等需求,高频功率放大器、低噪声放大器需要进一步提升输出功率、功率效率、及线性度等性能;锁相环系统需要进一步改善其相位噪声及调谐范围等性能;滤波器需要提升其带宽、插入损耗等性能;数模及模数转换器件需要满足至少1 GHz的信道带宽的采样需求,提高精度并降低功耗;新型的高频阵列天线需要满足高增益波束和大范围空间扫描等方面需求。在高速高精度的数模及模数转换芯片、高频功率放大器、低噪声放大器、滤波器、集成封装天线等方面,目前国内研发成果和技术原型方面的技术积累并不少,但是成果应用偏向军工口,在通信行业产业链方面存在原型系统与产业化的脱节,适用于民用通信的器件材料工艺成熟度与全球领先企业存在较大差距。

作为5G高频段通信系统走向实用化的关键步骤,低成本、高可靠性的封装及测试等技术也至关重要。目前我国5G毫米波芯片和终端型号较少,覆盖种类和形态不够丰富,产业链成熟度落后于5G低频,也落后于美国、欧洲等国际先进水平,是我国5G毫米波发展与应用的阻碍因素。

3 5G毫米波系统需求明确

3.1 移动通信系统向毫米波延伸是面对业务需求的必然选择

移动通信系统为满足业务对于通信速率需求,一方面需要进一步提升频谱效率,通过如高阶调制、大规模MIMO等方式提升系统业务承载能力。另一方面需要加大系统带宽,同时通过载波聚合、双连接等技术持续增强数据业务容量。然而目前6 GHz以下的频谱资源已经分配殆尽,很难再找到连续的大带宽频谱来支撑移动通信的超高数据传输速率。

相较于低频段,毫米波频段有丰富的带宽资源,可以实现800 MHz的大带宽传输,为超高速通信业务提供了可能。同时毫米波波长短,元器件尺寸较小,便于设备的集成和小型化。

随着大容量、高速率、低时延业务发展,通信频段必然向毫米波方向延伸,目前已经确定5G移动通信的

基本架构将采用中低频段+毫米波频段相结合的通信方式。

3.2 加速推动毫米波产业链发展是参与国际竞争的必然要求

移动通信对经济具有巨大的促进作用,5G乃至6G移动通信技术和产业是国际竞争的重要领域。毫米波系统是5G通信系统的重要组成部分,同时也是6G更高频移动通信系统的技术准备。从2019年底ITU WRC大会上关于毫米波频段分配受到产业界、经济界广泛关注就可以看出,毫米波是通信领域竞争的焦点之一。GSMA发布《毫米波频段内提供5G服务将带来的社会经济效应》分析指出:毫米波在亚太和美洲地区建立的早期领先优势预计将最先创造最大GDP份额,分别达到2 120亿美元和1 900亿美元;欧洲由毫米波产生的GDP增长率将高于其他任何地区,达到2.9%。

当前国内毫米波产业链整体上落后于美国,特别是高频器件方面的产业化水平明显落后。经过广泛调研发现,目前国内毫米波产业链问题主要集中在原型系统和原型芯片与规模生产的脱节,原型系统和原型芯片的试制和测试需要较长的周期和较大投资,需要进行产业政策的扶持。目前国家工信部、科技部等部委均有重大项目和产业政策方面的倾斜,部分经济发达省份也将毫米波等高频产业链视为重点发展方向予以扶持。国内产、学、研多方机构也已经在该方面纷纷发力,提高国产毫米波器件与芯片的技术能力与产业水平。

3.3 毫米波系统应用场景逐渐明确

从毫米波传播特性和覆盖能力考虑,5G毫米波适合部署在相对空旷无遮挡或少遮挡的园区环境。经过多次行业会议和研讨会讨论,业界已经明确毫米波的典型的部署场景。

a) 行业专网场景。5G毫米波系统与MEC、AI技术相结合,可以为覆盖区域提供“大容量高速率+本地化”的智能解决方案,满足行业客户低时延、大带宽、安全隔离的需求。

b) 品牌价值区。毫米波在部署初期将与6 GHz以下频段的5G系统结合,形成5G系统高低频混合组网方式,用于重要品牌价值区域的覆盖,提升品牌价值,或者用于人流密集场所和热点区域的吸热,提供进一步的大容量上传能力。

c) 大带宽回传场景。毫米波可以作为无线回传

链路,利用高达800 MHz带宽、10 Gbit/s的系统峰值速率,解决一些场景无法布放光纤或布放光纤代价过高的固定无线宽带场景,或者毫米波自回传组网场景。

3.4 毫米波系统是运营商服务能力的竞争高地

毫米波技术相对于5G低频具有带宽、时延和灵活弹性空口配置等独特的优势,可以有效满足未来无线通信系统容量、传输速率和差异化应用等需求,是运营商满足大带宽上行业务的必要手段。尽早开展毫米波方面的研究、试点应用,有利于运营商引导毫米波标准制定和设备研发方向,尽早做好毫米波网络和设备方面的准备,进而抢占万兆大带宽网络能力的高地。

4 5G毫米波典型应用场景分析

智慧冬奥场馆是毫米波应用的典型场景。在大型场馆内的进行室内高低频混合组网,打造纯无线场馆,满足场馆内电视台媒体的4K、8K摄像转播,满足实时VR影像、运动员视角影像等多角度实时体验,满足公众自拍直播和场馆安保等业务服务。在冬奥会室外场馆沿赛道部署毫米波自回传系统,赛道旁架设的摄像机借助高带宽和高速率的毫米波回传视频信息,能够避免复杂的布线工作,同时也避免了恶劣环境下线缆的安全隐患。

a) 转播和摄像。冬奥会比赛场馆众多,比赛场地频繁更换,运动员和观众等的人员位置也随时移动更换。摄像机借助高带宽和高速率的毫米波进行转播和摄像,能够避免重复布线工作,更加灵活快捷。

b) 360度全景摄像。冬奥会场馆部署360度摄像头+5G毫米波网络进行比赛直播,电视观众不再只能固定欣赏平台拍摄的画面,可以随意选择镜头和角度,改变观赛视角。

c) 运动员头戴式AR/VR。为运动员佩戴便捷小巧的可穿戴设备,比如头戴式AR/VR,可以利用增强现实和虚拟现实技术,以运动员视角,对比赛的精彩过程进行全方位多角度的展示和拆解,辅助叠加以相应的图像、讲解和3D模型等内容,让竞技体育不再单一枯燥,变得更形象、生动和丰富,满足观众多角度、多视觉、身临其境的观赛体验。

d) 网红的自拍和直播。冬奥会场还可能存在很多网红自拍和直播业务。自拍回传对网络上行提出很高的要求,毫米波可以有效地提供目前sub6G系统无法满足的大带宽上行需求。

e) 场馆AI视频监控和人脸识别。移动机器人、巡检无人机和移动人脸识别等创新监控技术与传统方式结合,可以提升冬奥会安防等级。5G毫米波+MEC+AI的园区专网可以把移动端采集的视频图像快速上传并进行边缘智能识别,实现场馆态势实时分析和人脸快速智能识别,保障场馆安全。

5 结束语

本文介绍了毫米波标准化进展情况和毫米波产业发展现状,从产业发展、竞争需求、应用场景等角度分析毫米波系统的必要性,最后提出以智慧冬奥场馆为代表的毫米波应用场景,并对可能的典型业务进行了介绍。

参考文献:

[1] 何世文,黄永明,王海明,等.毫米波无线通信发展趋势及技术挑战[J].电信科学,2017(6):11-19.

[2] 张博.面向5G的毫米波技术应用分析[J].数字通信世界,2019(3):63.

[3] 李萍,魏浩,黄静月.高频通信技术[J].中兴通信技术,2019,25(1):12-18.

[4] 张然.5G移动通信网络关键技术研究[J].信息与电脑:网络与通信技术,2018(3):168-169.

[5] 时翔,崔恒荣.毫米波半导体元器件技术研究发展[J].电子元件与材料,2019,38(3):1-6.

[6] 宋旭,陈喆.简述毫米波信号的电磁兼容分析系统及测试方法[J].数字通信世界,2018(1):39-40+46.

[7] 薛春林.毫米波无线通信信道特性分析及优化传输方案研究[D].南京:东南大学,2017.

[8] 程琳琳.中国电信杨峰义5G高频发展需技术和应用“两条腿”走路[J].无线通信,2017(11):34-35.

[9] 张忠皓,李福昌,高帅,等.5G毫米波关键技术研究和发展建议[J].移动通信,2019,43(9):18-23.

[10] 张忠皓,李福昌,延凯悦,等.5G毫米波移动通信系统部署场景分析和建议[J].邮电设计技术,2019(8):1-6.

[11] HOSSAIN E, HASAN M. 5G Cellular: Key Enabling Technologies and Research Challenges[J]. IEEE Instrument Measurement Magazine, 2015, 18(3): 11-21.

[12] YANG G, MING X, AL-ZUBAIDY H, et al. Analysis of Millimeter-Wave Multi-Hop Networks With Full-Duplex Buffered Relays[J]. 2018, PP(99): 1-15.

[13] LI X Y, YU J J, ZHAO L, et al. 1-Tb/s Photonics-aided Vector Millimeter-Wave Signal Wireless Delivery at D-Band[C]// Optical Fiber Communication Conference. 2018.

[14] RANGAN S, T. RAPPAPORT S, ERKIP E. Millimeter-Wave Cellular Wireless Networks: Potentials and Challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2014, 102(3): 366-385.

[15] MOHYUDDIN W, DONG S W, CHOI H C, et al. A practical double-sided frequency selective surface for millimeter-wave applications [J]. Review of Scientific Instruments, 2018, 89(2): 024703.

[16] LI X, ZHU Y, XIA P. Enhanced Analog Beamforming for Single Carrier Millimeter Wave MIMO Systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2017(99).

[17] XIAO X, XIA X, JIN D. Iterative Eigenvalue Decomposition and Multipath-Grouping Tx/Rx Joint Beamformings for Millimeter-Wave Communications [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(3): 1595-1607.

[18] WINTERS J H. Smart antennas for wireless systems [J]. IEEE Personal Communications, 1998, 5(1): 23-27.

[19] KUTTY S, SEN D. Beamforming for millimeter wave communications: An inclusive survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(2): 949-973.

[20] JIANG X L, HOSSEIN S G, FISCHIONE C, et al. A Simplified Interference Model for Outdoor Millimeter-wave Networks [J]. Mobile Networks & Applications, 2018(1): 1-8.

[21] MAVROMATIS I, TASSI A, ROBERT J, et al. Efficient Millimeter-Wave Infrastructure Placement for City-Scale ITS [C]// IEEE Vehicular Technology Conference. IEEE, 2019.

[22] MATSUKAWA Y, TOSHIYUKI I, MURATA H, et al. Millimeter-wave-band optical single-sideband modulator using array-antenna-electrode and polarization-reversed structures [C]// 2018.

[23] QIAO J, XUEMIN, W. MARK J, et al. Enabling Device-to-Device Communications in Millimeter-Wave 5G Cellular Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(1): 209-215.

[24] HONG W, BAEK K H, KO S. Millimeter-wave 5G Antennas for Smartphones: Overview and Experimental Demonstration [J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2017: 1-1.

[25] KHALED M M, KARU P, MICHAEL H. Dielectric loaded planar inverted-F antenna for millimeter-wave 5G hand held devices [C]// 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). IEEE, 2016.

[26] LEE JY, LIANG JY, MYUNG-DON K, et al. Measurement-Based Propagation Channel Characteristics for Millimeter-Wave 5G Giga Communication Systems [J]. ETRI Journal, 2016, 38(6).

[27] 李峰. 5G毫米波和超宽带信号的验证和测试 [J]. 电信网技术, 2015(5): 80-86.

[28] 王坦,钱肇钧,韩锐,等. WRC-19大会5G毫米波结果梳理与分析 [J]. 中国无线电, 2020, 294(2): 30-34.

作者简介:

张忠皓,教授级高级工程师,北京邮电大学兼职教授,博士,主要从事移动网无线新技术相关课题研究、标准制定、设备验证和新业务研究工作;周瑶:高级工程师,硕士,主要从事频谱方面的研究工作;李福昌,教授级高级工程师,国家知识产权局专利审查技术专家,博士,主要从事移动通信及固网移动融合等专业的标准制定、测试验证、课题研究等工作;马静艳,工程师,博士,主要研究方向为太赫兹、毫米波、5G通信等;高帅,工程师,硕士,主要研究方向为毫米波、MEC、5G通信等。