



综述

5G 频谱研究现状及展望

方 箭,李景春,黄 标,冯 岩
(国家无线电监测中心 北京 100037)

摘 要:首先,基于 ITU-R 发布 5G 愿景建议书中的应用场景,分析了未来 5G 的频谱框架。然后,从频谱需求预测、候选频段、系统间共存 3 个角度,论述了 5G 频谱工作的核心内容,并分析了 5G 频谱与以往研究的区别,全面梳理了 5G 频谱国内外研究现状,并给出未来研究方向。最后,提出了对 5G 对无线电管理工作的影响和挑战。

关键词:5G;全频段;频谱;共存研究;无线电管理

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015329

Review and Prospect on the Research of 5G Spectrum

Fang Jian, Li Jingchun, Huang Biao, Feng Yan
(State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China)

Abstract: Firstly, the future framework of 5G spectrum was analyzed based on the application scenarios suggested by the ITU-R recommendation on 5G vision. Next, from the aspects of spectrum requirement, candidate band and sharing study, the core contents of 5G spectrum work and the difference of 5G spectrum and previous research were discussed. Then, by fully investigating the current research development of 5G spectrum, the future research area was proposed. Finally, the impact and challenges on radio management work were put forward.

Key words: 5G, whole band, spectrum, sharing study, radio management

1 引言

近年来,全球信息通信产业移动化、宽带化和智能化的发展趋势日益明显。随着传统工业与互联网的融合、物联网的蓬勃发展,无线数据流量快速增长,信息消费将成为经济增长新引擎。移动通信的发展不仅深刻地改变了人们的生活方式,并且已经成为推动国民经济发展、提升社会信息化水平的重要驱动力。目前,全球已进入 4G 系统

规模商用阶段。据 GSA 统计^[1],截至 2015 年第一季度,全球 4G 用户数达到 6.35 亿户,截至 2015 年 7 月,全球 143 个国家部署了 422 张 LTE 商用网络,预计到 2015 年底 LTE 商用网络数将达到 460 张。在国内,2013 年 12 月我国发放了 4G 系统 TD-LTE 牌照,随后又于 2015 年 2 月发放了 LTE FDD 牌照。截至 2015 年 10 月,4G 用户数达 3.28 亿户^[2],标志着我国全面进入 4G 时代。

与此同时,面向 2020 年及未来的 5G 移动通信系统的

收稿日期:2015-10-11;修回日期:2015-12-10

基金项目:国家科技重大专项基金资助项目(No.2014ZX03001027)

Foundation Item: National Science and Technology Major Project (No.2014ZX03001027)

论文引用格式:方箭,李景春,黄标等.5G 频谱研究现状及展望.电信科学,2015329

Fang J, Li J C, Huang B, et al. Review and prospect on the research of 5G spectrum. Telecommunications Science, 2015329



研发已在全球范围内如火如荼地开展。为了在未来 5G 发展中抢占先机,世界主要国家及相关企业纷纷加大 5G 研发投入^[3],致力于 5G 需求、关键技术、标准及频谱研究等方面,日本、韩国等国家也提出了本国 5G 商用时间表。同时,世界三大主流标准化组织 ITU、3GPP、IEEE 也先后启动了面向 5G 概念及关键技术的研究工作,旨在加速推动 5G 标准化进程。

相对于以往的各代移动通信系统,5G 不仅是立足于移动通信产业本身,实现信息沟通的桥梁,还将与物联网、工业互联网和车联网等领域融合发展,带来海量接入和极速速率需求,引发网络管道流量的爆炸增长。据分析,2010–2020 年全球移动数据流量的增长将超过 200 倍,2010–2030 年的增长将接近 2 万倍^[4]。

利用新技术提高频谱效率和拓展新的频谱资源是满足增长业务需求最重要的两种途径。在 5G 新技术方面,大规模天线阵列、超密集组网、非正交传输和全双工等技术^[5]的应用将会极大提升系统频谱效率。在 5G 频谱方面,将根

据系统的应用特点,拓展更多、更合适的频谱资源。

本文将依据 5G 应用场景分析 5G 频谱总体框架,立足于 5G 频谱核心工作内容,概述国内外 5G 频谱的研究进展,给出未来 5G 频谱研究的方向,最后结合无线电管理实践工作,说明 5G 对未来无线电管理工作的影响和挑战。

2 5G 频谱框架

2015 年 6 月,ITU-R 5D 完成了 5G 愿景建议书^[6],定义 5G 系统将支持增强的移动宽带、海量的机器间通信及超高可靠和超低时延通信三大类主要应用场景,如图 1 所示。同时,5G 系统将支持 10~20 Gbit/s 的峰值速率,100 Mbit/s~1 Gbit/s 的用户体验速率,100 万/km² 的连接数密度,1 ms 的空口时延,相对 4G 提升 3~5 倍的频谱效率、百倍的能效,500 km/h 的移动性支持,10 Mbit/(s·m²) 的流量密度等关键能力指标,如图 2 所示。

为达到上述 ITU 相关建议书描述的愿景,结合国内^[7]和国际所提出的应用场景,5G 将很有可能包括 3 类不同

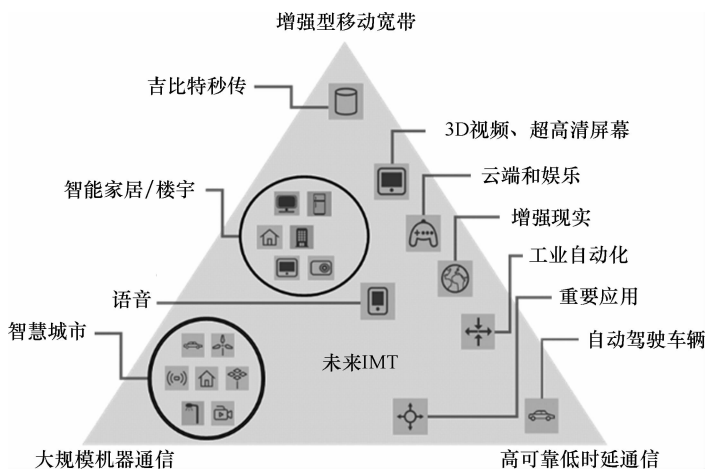


图 1 ITU 定义的 5G 主要应用场景^[6]

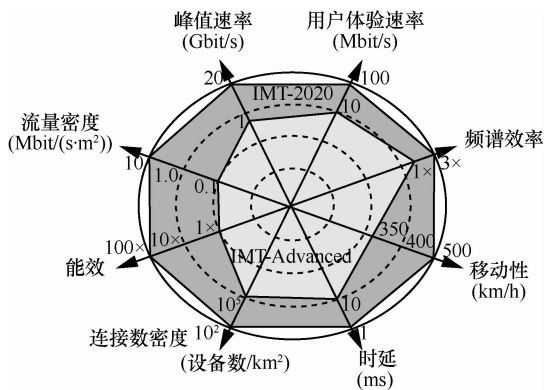


图 2 ITU 定义的 5G 能力指标^[6]

空中接口,而不同空口技术与频段选择是相关的,具体如图 3 所示。第一类为支持超大带宽以毫米波为典型的高波频段新空口,具有连续大带宽的频谱,能够实现 5G 超高的峰值速率能力;第二类为支持中、低频段的新空口,其传播特性具有较强的穿透和广域覆盖能力,能够实现连续广覆盖、低时延高可靠性、海量机器的通信能力,并可兼顾部分场景容量需求;第三类为 LTE-Advanced 及其演进,考虑到 4G 系统现部署在 3 GHz 频段以下,主要提供无处不在的 100 Mbit/s 用户体验,也兼顾其他场景需求。因此,为满足 5G 的场景和需求,未来的 5G 系统将是多种空口技术的组合,其频率框架将涵盖高中低频段,即着眼于全频段:高频段大带宽来解决热点地区的容量需求,但是其覆盖能力弱,难以实现全网覆盖,需要与中低频段联合组网,而中低频段来解决网络连续覆盖的需求,对用户进行控制、管理,实现高频段和低频段相互补充。目前,全球对高频通信开展了大量研究工作,诺基亚利用射线追踪电脑仿真来证明 72 GHz 频段适合移动业务;三星主要关注 28 GHz 和 39 GHz 两个频段,并与 NTT DoCoMo 共同开展 28 GHz 频段测试,研究潜在的超宽带混合波束成形和波束追踪技术;三星和爱立信已经通过合并多径反射信号证实了在 28 GHz 频段建立可靠无线链路的可能性;爱立信同 NTT DoCoMo 及 SK 电信的试验将主要关注 15 GHz 频段的潜在可能性,并将探索新的天线技术以支持大规模 MIMO;英特尔正在研究能够支持在 39 GHz 频段实现移动接入和在 60 GHz 实现 Wi-Fi 类似的 WiGig 操作的芯片集。

从资源供给角度而言,5G 频谱一方面应源于目前已

规划给 IMT 系统的频谱,既包括现有 2G/3G/4G 系统在用频谱,又包括部分规划未分配的频谱;另一方面应源于拓展新的频谱,既需挖掘低端频谱,又着眼于高端频谱。

3 5G 频谱核心工作内容

从 WARC-92 到刚刚召开的 WRC-15 大会上,ITU 多次设立议题为公众移动通信寻求更多频谱资源,所划分的新频段目前已应用到全球 3G、4G 的网络部署中。一般地,所设议题的研究内容包括频谱需求预测研究、候选频段研究、系统间共存研究 3 个方面。世界各国和各标准化组织也基本在 ITU 框架下开展研究工作。这 3 方面研究内容按照“需求→供给→评估”的技术路线,遵循循序渐进的科学方法。

具体而言,频谱需求研究基于历史数据,综合未来发展各种影响因素,结合移动通信数据增长预测趋势,考虑特定技术系统的承载能力,分析未来频率需求问题,给出不同阶段的所需频谱总量;候选频段研究基于频谱需求的研究结论,将充分考虑业务划分特性、移动通信系统需求、设备器件制造能力等因素,初步选择合适的目标频段;系统间共存研究主要评估所选目标频段的可用性,通过开展移动通信系统与现有系统之间电磁兼容研究工作,分析系统共存所需的条件,结合移动通信系统的网络部署需求,充分考虑两系统部署场景等特点,综合评估频段的可用性,最后,在共存研究基础上,以法规、规则等方式给出频段的使用要求和条件。

同样,5G 频谱研究也将聚焦于上述 3 方面内容。但考

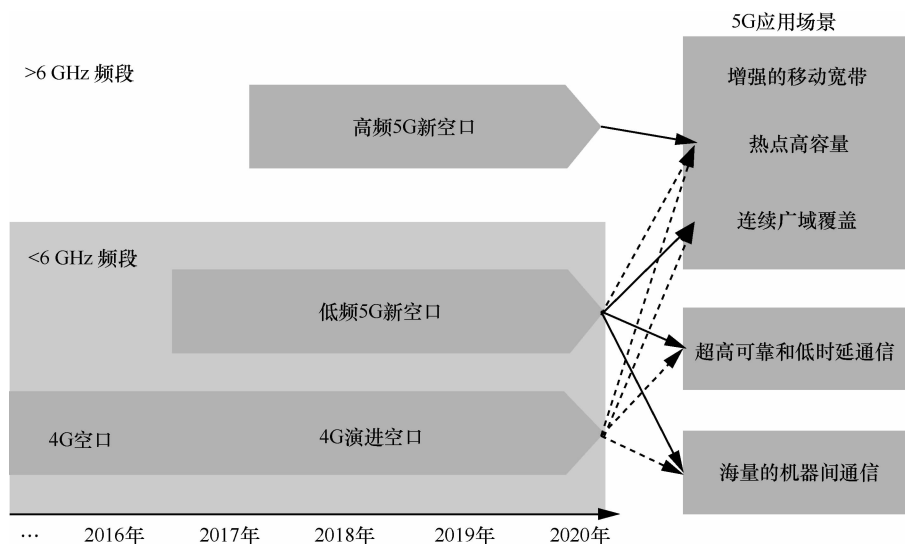


图 3 5G 频谱架构^[8]



虑到 5G 面向于移动互联网和物联网,应用场景呈现出多样化、差异化的特性,因此,开展 5G 频谱研究工作时需要充分考虑 5G 自身特点。

IMT 频谱需求预测工作^[9]一般是在 ITU 框架下开展的。建议书 ITU-R M.1768 中提出了一套针对全球范围、较为完备的频谱预测方法。其核心特点主要包括两个方面:一是通过调查研究,对未来无线通信业务种类与市场需求进行了详细的调查统计工作;二是依据乘法原理建立了一整套“业务需求—业务环境—部署场景—接入技术”的映射关系。另外,立足于自身网络建设和发展现状,美国、中国等国家和 GSMA 等组织也提出了频谱需求预测方法。在 3G/4G 发展阶段,频谱需求结果基本以总量的形式给出。5G 应用场景的差异性将导致不同场景有不同的适配频段,若仅仅以总量形式给出,则不能合理地反映 5G 频率需求。因此,5G 频谱需求预测需对不同应用场景、不同空中接口,分别估算出可能的带宽需求及适应的工作频段,这将更能够真实地反映未来网络的频率需求。

在候选频段研究方面,往往是基于业务划分情况,全球各国、各标准化组织立足于本国、本地区的频率使用现状,提出初步的候选频段。之后,ITU 对所提候选频段统筹分析,将合适的频段实现全球或区域性规划,例如中国曾经向 ITU 提交的 2.3 GHz 频段,逐步成为全球 4G 重要频段。在 3G/4G 时代,基于组网需求和制造能力,候选频段主要集中在 3 GHz 以下频段,如 700 MHz、800 MHz、900 MHz、

2 GHz、2.6 GHz 频段等。在后 4G 时代,也逐渐提出了 3~6 GHz 频段的候选频段。而对于 5G 系统而言,为了满足不同场景需求,候选频段将面向全频段选择,综合满足网络对容量、覆盖、性能等需求,候选频段不仅包括 3 GHz 频段以下低频,还将包括 3~6 GHz 中低频段,同时覆盖 6 GHz 以上的毫米波频段等。

在共存研究方面,主要是根据所提候选频段的业务划分、系统规划和使用现状,并基于现有业务或系统的技术特性、部署场景等因素,开展移动通信系统与现有或拟规划的其他系统之间兼容性研究。在 3G/4G 时代,主要集中在移动业务与其他地面业务共存研究,少部分与空间业务共存研究,如 700 MHz 频段与广播系统、2.3 GHz 频段与雷达系统、3.3 GHz 频段与雷达系统,与空间业务共存也主要集中在空对地划分的空间业务,如 3.5 GHz 频段与卫星固定(空对地),大部分研究具有国内或区域性特点。而对于 5G 系统而言,共存研究除考虑上述相关场景外,特别在 6 GHz 以上频段,存在大量空间业务的划分。如图 4~图 7 所示,在《无线电规则》^[10]中,对 6~100 GHz 频段进行统计,在 1 区,移动业务为主要业务的划分总带宽为 62.825 GHz,其中,空间业务同为主要业务的总带宽为 57.98 GHz,占比约为 92.29%;在 2 区,移动业务为主要业务的划分总带宽为 62.125 GHz,其中,空间业务同为主要业务的总带宽为 56.73 GHz,占比约为 91.32%;在 3 区,移动业务为主要业务的划分总带宽为 63.675 GHz,其中,空间业务同为主要

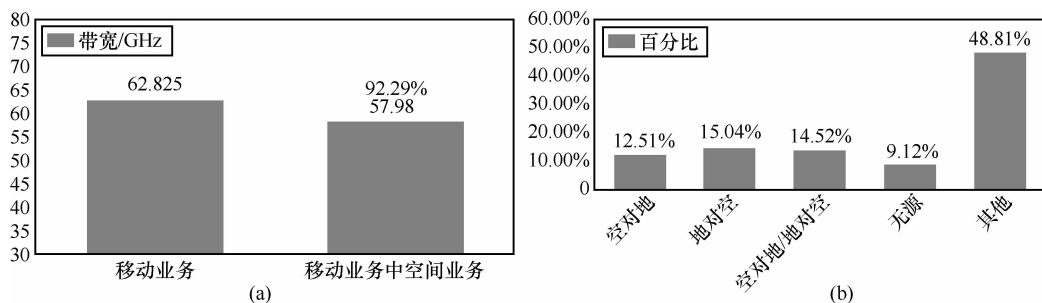


图 4 6~100 GHz 频段 1 区移动业务与空间业务占比

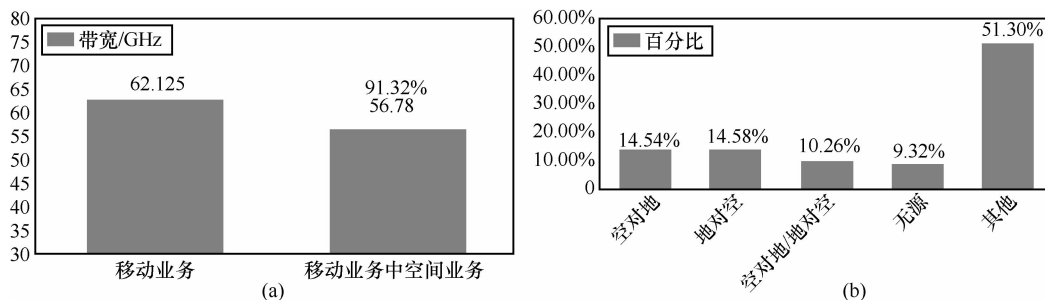


图 5 6~100 GHz 频段 2 区移动业务与空间业务占比

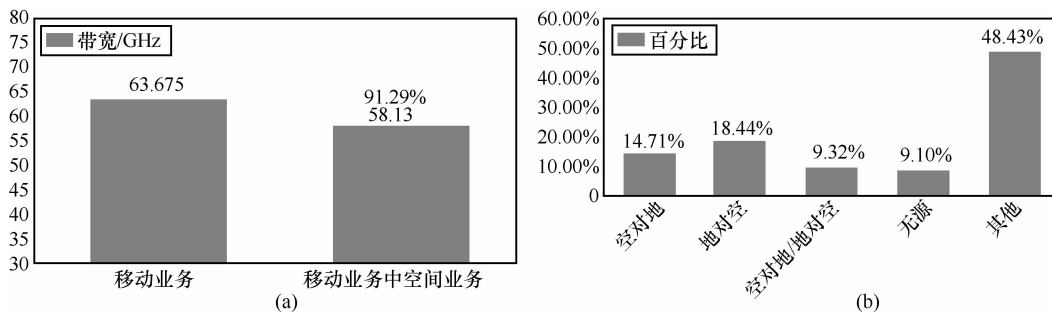


图 6 6~100 GHz 频段 3 区移动业务与空间业务占比

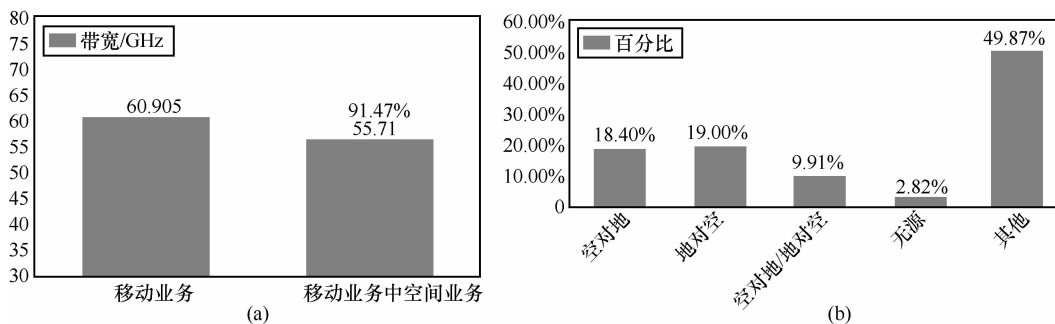


图 7 6~100 GHz 频段中国移动业务与空间业务占比

业务的总带宽为 58.13 GHz, 占比约为 91.29%; 在《中华人民共和国无线电频率规划规定》^[11]中, 移动业务为主要业务的划分总带宽为 60.905 GHz, 其中, 空间业务同为主要业务的总带宽为 55.71 GHz, 占比约为 91.47%。综上, 若在 6~100 GHz 频段考虑移动业务作为主要划分的频段, 其中约有 91% 的空间业务划分, 因此, 未来 5G 高频段需要重点研究与空间业务的共存问题。考虑到空间业务部署全球化的特点, 共存研究必将更加注重国际规则角度。

4 5G 频谱研究现状及展望

频谱工作是整个 5G 研究的重要环节, 与需求、技术、组网等其他工作息息相关, 因此在分析和展望 5G 频谱研究现状及未来发展时, 需要立足整个 5G 工作的开展情况。

4.1 国际 5G 频谱研究现状及展望

自 2012 年以来, ITU 启动了 5G 愿景、未来技术趋势和频谱等 5G 国际标准化研究, 拉开了全球 5G 研究的序幕, 主要国家、标准化组织、企业也加速推动了 5G 的研究工作^[12], 成立一系列 5G 相关的研究组织, 形成了以 ITU 为导向的全球研究框架, 如图 8 所示。

近期 ITU 确定并发布了 5G 工作计划, 将于 2016 年初启动 5G 技术性能需求和评估方法的研究工作, 2017 年底正式启动 5G 候选方案征集工作, 2020 年完成标准制定工作。同时, 2015 年 6 月, ITU 确认将“IMT-2020”作为唯一的

5G 候选名称上报至 2015 年无线电通信全会 (RA-15) 审批。RA-15 形成 3 项 ITU-R 决议: 一是规定了后续开展 IMT-2020 技术研究所应当遵循的基本工作流程和工作方法, 为研究组持续开展 IMT-2020 研究工作指明了方向; 二是强调 ITU-R 在推动 IMT 持续发展中的作用; 三是正式将 5G 命名为“IMT-2020”, 这使得此前工作组对 5G 的命名得到了正式确认。由此, IMT-2020 与 IMT-2000、IMT-Advanced 共同构成了代表移动通信发展历程的“IMT 家族”。在 3GPP 中, 业务和需求工作组已开展了 5G 网络需求研究工作, 无线接入工作组也计划在 2016 年 3 月启动 5G 技术研究工作。2015 年 9 月, 3GPP RAN 召开 5G 讨论会, 认同 5G 不仅引入未考虑后向兼容的新空口, LTE-Advanced 也应保持演进, 会议从场景和业务、新空口和演进、标准工作计划等角度给出 5G 标准化路标。IEEE 也积极探索 5G 标准化路线, 推动下一代无线局域网 (IEEE 802.11ax) 标准研制, 并希望将其与 5G 发展路线融合。

在频谱方面, 全球业界对 5G 的频谱构架认知基本趋同: 涵盖高中低频段的频谱资源。目前阶段, ITU 已完成 5G 愿景和关键性能要求, 而 5G 的具体场景、仿真参数和方法尚未完成, 因此, 目前难以科学、有效地开展 5G 频谱研究工作。总体而言, 国际上对频谱的研究仍处于起步阶段。

由于 6 GHz 以下频段难以完全满足 5G 的频谱需求, 世界各国及相关产业一致支持在 WRC-19 设立新议题“在

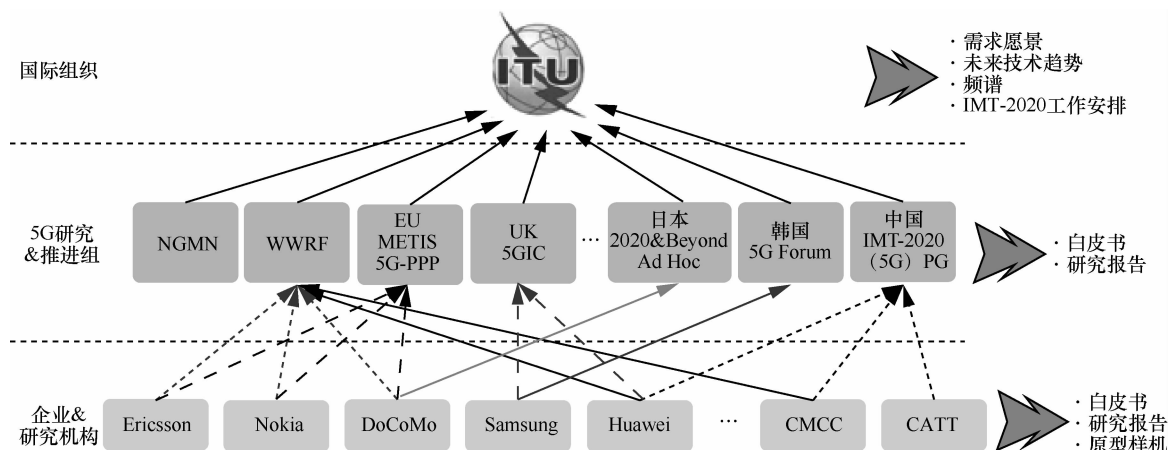


图8 全球5G研究框架

6~100 GHz 频段为 IMT 寻求新频率资源”。同时,考虑到 6~100 GHz 频段候选频段较宽,各国、各地区及产业界也建议提出了更为聚焦频段。例如,欧盟 METIS^[13] 在 2013 年和 2014 年连续两年梳理分析了 6~100 GHz 频段的划分、分配以及当前使用情况,按高、中、低优先级给出了一系列可用于未来 IMT 系统的候选频段。英国 OFCOM^[14] 和美国 FCC^[15] 等机构和组织对于 5G 用频特别是高频段可用性问题也通过其网站广泛征求意见,形成了初步候选频段。APT、CEPT、CITEL、ASMG、RCC 等组织已形成了区域性关注的重点频段,提交给 WRC-15 大会,世界各国还将根据自身诉求提交相关候选频段。基于刚刚结束 WRC-15 大会议题 10 的讨论,新设立了 WRC-19 议题 1.13: 根据第 COM6/20 号决议(WRC-15),审议为国际移动通信(IMT)的未来发展确定频段,包括为作为主要业务的移动业务做出附加划分的可能性,在 24.25~86 GHz 频率范围内开展 IMT 地面部分的频谱需求,并在 8 个移动业务为主要划分的频段(24.25~27.5 GHz、37~40.5 GHz、42.5~43.5 GHz、45.5~47 GHz、47.2~50.2 GHz、50.4~52.6 GHz、66~76 GHz 和 81~86 GHz)和 3 个尚未有移动业务划分的频段(31.8~33.4 GHz、40.5~42.5 GHz 和 47~47.2 GHz)开展共存研究。

对于低频段,RA-15 上,IMT-2020 被正式确认为 5G 名称后,其已被纳入原有的 IMT 家族系列,从规则上允许其使用原有规划给 IMT(3G/4G)的频率,丰富了 5G 低端频率。另外,WRC-15 1.1 议题^[16]将在本届大会形成决议,重点讨论 19 个潜在候选频段的研究情况,新的部分频段纳入 IMT 频段范畴,其不但可作为 4G 用频,还可作为未来 5G 使用频率。WRC-15 会议决定将 470~694/698 MHz、1 427~1 518 MHz、3 300~3 400 MHz、3 400~3 600 MHz、3 600~

3 700 MHz、4 800~4 990 MHz 频段或其部分频段确定给有意部署国际移动通信(IMT)的主管部门使用。

3GPP 作为 ITU 后续工作的承载,实现产业化的标准组织,其频率工作将依托于 ITU 的研究成果。目前,3GPP RAN 明确 2015 年 12 月完成对高频段通信现状的调研,确定主要频段并于 2016 年 3 月在 RAN1 开展信道建模工作。

随着 WRC-15 的召开,WRC-15 议题 1.1 的成果和 WRC-19 议题 1.13 的未来研究,将对 5G 未来频率使用影响深远。

4.2 国内 5G 频谱研究现状及展望

在国内,5G 工作主要依托于 IMT-2020 推进组。在 2013 年 2 月,三部委成立了 IMT-2020(5G)推进组^[17],包括中国主要的运营商、制造商、高校和研究机构,以聚合中国产学研用力量,并设立相关子研究组,联合开展 5G 策略、需求、技术、频谱、标准、知识产权研究及国际合作,并取得了阶段性的研究成果。目前,推进组已发布《5G 愿景与需求》、《5G 概念》^[18]、《5G 网络技术架构白皮书》^[19]、《5G 无线网络架构白皮书》4 个白皮书,部分研究成果已形成产业界共识,并被 ITU 等国际标准化组织采纳。

5G 频谱研究工作主要在 IMT-2020 推进组频率子组中开展。目前,频率工作组在 5G 频率需求、高频段可行性及候选频段等方面开展了一系列研究准备工作。在频谱需求方面,结合需求组的研究成果,采用不同的预测方案,按照不同场景、不同频段初步估算出未来分阶段的带宽需求,后续工作将充分结合 5G 国际标准化工作,考虑物联网等方面的场景,对频谱需求预测结果继续完善和收敛。在初步候选频段方面,对 6~100 GHz 频段划分、使用、拟规划的情况进行了调研,结合产业制造水平,在借鉴部分共存

研究结论基础上,形成了初步候选频段,并对部分重点频段开展了共存研究分析。在后续工作中,依托于形成的 WRC19 新议题,国内将成立相关研究组积极开展 6~100 GHz 频段的频谱研究工作。

由于 5G (IMT-2020)将被统筹到 IMT 系列中,我国已为 IMT 规划的 687 MHz 频谱资源均属于 5G 可用频谱资源。未来的 IMT 网络必将是多种通信系统并存的异构网络,资源配置需要综合考虑网络发展状况、产业投资周期、用户规模等方面因素,同时兼顾 5G 系统的技术特性。后续重点研究将现有系统频率重耕用于未来 IMT(含 5G)的时间周期和系统间兼容性。在 WRC-07 上,450~470 MHz、698~806 MHz、3 400~3 600 MHz 等频段被确立为新的 IMT 频段,我国也引入了相关国际脚注,成为我国未来 IMT 系统使用的潜在发展频段。同时,考虑到这些频段国内系统仍有部署,需要研究该频段已划分业务的应用模式、频率使用规划、业务间的兼容共存条件及协调程序。尤其对于 3 400~3 600 MHz 频段具有较大的连续带宽,特别适合扩展系统的容量,但需要考虑与同频以及邻频卫星业务的兼容性,研究合适的干扰协调规避方法。我国将根据 WRC-15 1.1 议题形成的决议,同时根据国内用频现状,寻找合适的频段开展频率划分和规划研究。

5 对无线电管理影响和挑战

由于 5G 在频率使用、系统部署方面的独有特点,对传统无线电管理带来了影响和挑战。

在资源配置方面,由于 5G 具有与其他产业融合的特性,特别是在物联网、工业互联网、车联网、移动互联网等方面,因此,需要立足于《中国制造 2025》、“互联网+”、“宽带中国”等国家重大战略,在统筹相关产业应用需求的基础上开展 5G 频率资源配置工作,为实现制造强国和网络强国提供频率资源支撑和保障。由于 5G 技术频谱资源需求大、频段宽的特性,在频率规划时,需要分阶段统筹高中低频段,逐步释放频率资源,保障 5G 用频需求。

在无线电监测方面,国内超短波监测能力基本集中在 3 GHz 频段以下,考虑到未来 5G 面向更高频段,监测设备需要扩展到 6 GHz 甚至更高频段;相对于 3G/4G 时代,5G 支持超密集组网,传统的大距离固定站监测手段难以快速完成监测和定位,网格化频谱监测可以更加全面掌控频谱资源使用和演变动态,并且通过广域、全时监测,实现多域的

统计和深度分析,获取频谱态势,对监测设备的连网、存储、数据处理也提出更高的要求;5G 频段支持更宽的带宽,也将对接收机的实时带宽、处理分析能力提出新的挑战。

在站址管理方面,在未来 5G 系统中,为满足不同场景的应用需求,相当于在以宏基站为主的 3G/4G 时代,将出现一系列的微基站、微微基站等特殊站型。为了更加科学有效地管理无线电发射台站,需要对不同类型台站类别制定相应的管理办法;另外,IMT 系统逐渐考虑使用免执照频段,这也给传统台站管理带来新的挑战。

5G 研究是面向未来 2020 年,5G 研究周期与我国无线电管理“十三五”实施周期是一致的。因此,在 5G 频谱研究工作中,还应充分考虑与“十三五”无线电管理工作的衔接,研究动态频谱共享、频率评估、频率市场化在 5G 工作开展的可能性。

6 结束语

5G 频率战略是 5G 发展战略的核心内容,需要及早谋划,为 5G 未来发展提供资源保障。5G 频谱工作需要在 ITU、3GPP 等国际标准化组织的大框架下开展,同时要充分考虑国内用频和产业发展现状,联合产学研用各方力量,稳步适时推进。

参考文献

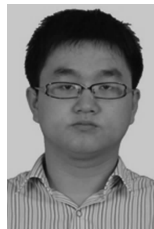
- 1 GSA. Evolution to LTE Report, GSA Evolution to LTE Report: 422 LTE Networks Launched, Cat 6 LTE-Advanced Gaining Share, 2015
- 2 工业和信息化部. 2015 年 10 月通信业主要情况, 2015
MIIT. Main Conditions of Communications Industry in October, 2015, 2015
- 3 国际电联公布 5G 时间表. 电信工程技术与标准化, 2015(7)
ITU Released 5G Timetable. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015(7)
- 4 陈晓贝, 罗振东. 5G 概念、技术路线及标准化进展. http://www.caict.ac.cn/kxyj/catrgd/201504/t20150421_2104445.html, 2015
Chen X B, Luo Z D. The 5G concept, technology roadmap and standardization progress. http://www.caict.ac.cn/kxyj/catrgd/201504/t20150421_2104445.html, 2015
- 5 尤肖虎, 潘志文, 高西奇等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术 中国科学:信息科学, 2014(5):551~563
You X H, Pan Z W, Gao X Q, et al. The 5G mobile communication: the development trends and its emerging key techniques. Science China Information Sciences, 2014(5): 551~563



- 6 ITU, Document 5D/TEMP/625-E. IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, 2015
- 7 IMT-2020 推进组. 5G 远景与需求, 2014
IMT-2020(5G) Promotion Group. White Paper on 5G Vision and Requirements, 2014
- 8 IMT-2020 推进组. 5G 无线技术架构白皮书, 2014
IMT-2020 (5G) Promotion Group. White Paper on 5G Network Technology Architecture, 2014
- 9 王坦, 黄标, 庞京. 未来 IMT 系统频谱需求预测的现状与展望. 电信科学, 2013(4):125~130
Wang T, Huang B, Pang J. Current work and way forward of spectrum requirement estimation for the future IMT system. Telecommunications Science, 2013(4):125~130
- 10 ITU Radio Regulations Edition of 2012, 2012
- 11 中华人民共和国无线电频率划分规定, 2014
People's Republic of China Regulations on the Radio Frequency Allocation, 2014
- 12 罗振东, 魏克军, 陈晓贝. 标准制定即将启动, 5G 概念和技术路线逐渐清晰. 人民邮电报, 2015-04-16
Luo Z D, Wei K J, Chen X B. Standardization is about to start, 5G concept and technology roadmap become clear. People's Posts and Telecommunications News, 2015-04-16
- 13 ICT-317669 METIS Project. Deliverable D5.3 Description of the Spectrum Needs and Usage Principles, 2014
- 14 OFCOM. Call for Input: Spectrum Above 6 GHz for Future Mobile Communications, 2015
- 15 FCC. Notice of Inquire: Use of Spectrum Bands Above 24 GHz for Mobile Radio Services, 2014
- 16 ITU. Document 4-5-6-7/715-E, Summary of Comments Received in Joint Task Group 4-5-6-7 Input Contributions Relating to Certain Frequency Bands Which May Be Considered Under Wrc-15 Agenda Item 1.1, 2014
- 17 苗圩出席 IMT-2020 (5G) 推进组第一次会议. http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11294447/n13941444/153_65212.html, 2013
Miao Wei attended the first meeting of IMT-2020 (5G) Promotion Group. http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11294447/n13941444/153_65212.html, 2013
- 18 IMT-2020 推进组. 5G 概念白皮书, 2015
IMT-2020 (5G) Promotion Group. White Paper on 5G Concept, 2015

- 19 IMT-2020 推进组. 5G 网络技术架构白皮书, 2015
IMT-2020 (5G) Promotion Group. White Paper on 5G Network Technology Architecture, 2015
- 20 China (People's Republic of), Document 4-5-6-7/198-E, Proposal on Potential Candidate Frequency Bands for Wrc-15 Agenda Item 1.1, 2013

[作者简介]



方箭, 男, 国家无线电监测中心高级工程师, 主要从事无线电频谱规划、系统间电磁兼容分析、认知无线电等方面的研究工作; 中国通信标准化协会 TC5 频率组副组长; 负责和参与国家科技重大专项、“863”计划等多个科研项目。



李景春, 男, 博士, 国家无线电监测中心副主任兼总工程师、教授级高级工程师。2006 年百千万人才工程国家级人选、全国无线电干扰标准化技术委员会副主任委员、无线电业务保护分技术委员会主任委员、中国通信标准化协会理事、北京邮电大学及大连理工大学兼职教授。长期从事电磁兼容分析、无线电监测和数字信号处理、无线电新技术研究等工作。



黄标, 男, 国家无线电监测中心副总工程师、高级工程师, 中国 IMT-2020 推进组专家兼频率组组长, 全国无线电干扰标准化委员会专家, 长期从事无线电频率规划研究和系统间干扰共存研究。



冯岩[通信作者], 女, 博士, 国家无线电监测中心工程师, 主要从事无线电新技术、频谱管理、无线电管理数据库等方面的研究工作。参与国家科技重大专项、“863”计划等多个科研项目。