

5G 系统的关键技术及其国内外发展现状

胡金泉

(中国电子科技集团总公司第七研究所, 广东省广州市 510310)

摘 要 阐述 5G(第五代移动通信)的概念和主要特征,详细介绍 5G 系统的主要关键技术,概述国外 5G 研发工作的现状,特别是各主要移动通信大国、大型移动通信公司、大型移动通信研发机构在 5G 研发方面的发展现状,介绍我国 5G 推进组的主要研究进展和最新成果,提出我国进一步做好 5G 研发工作的建议。

关键词 5G(第五代移动通信); 主要特征; 主要关键技术; 研发现状与进展

0 引言

根据预测,2010~2020 年全球移动数据流量将增长 200 倍以上,2010~2030 年将增长近 2 万倍,中国的增长量更大,分别为 300 倍和 4 万倍。

物联网将极大扩展 5G(第五代移动通信技术)业务。移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等网络将促使物联网的爆发式增长,数以千亿的设备将接入网络,实现真正的“万物互联”。

在互联网设备数量方面,预计到 2020 年,全球移动终端数量将超过 100 亿,中国将超过 20 亿。到 2030 年,全球各类联网设备总量将超过 1000 亿。

2020 年全球物联网设备连接数将接近 70 亿,中国将接近 15 亿;到 2030 年将接近 1000 亿,中国将超过 200 亿。

未来移动互联网将为人类提供增强现实、虚拟现实、超高清(3D)视频、移动云等更加极致的业务体验,推动 5G 技术和产业的新变革。

5G 系统的提出和研发就是为了满足全球移动通信的强烈需求。

2015 年 6 月 24 日,国际电信联盟(ITU)公布 5G 技术的正式名称为 IMT-2020。IMT-2020 是第五代移动电话行动通信标准,传输速度是 4G 网络的 40 倍,且具有低延时等特性。相关标准将在 2020 年制定完成。

1 5G 的概念

5G 代表着移动技术的演进和革命,能实现迄今为止发布的多项高级别目标。普遍认为 5G 是一代能让蜂窝网络扩展至全新使用和垂直市场的无线技术。5G 技术还能让蜂窝网络进入机器世界,用于无人驾驶汽车等,并用来连接数以百万计的工业传感器以及各种可穿戴电子设备。

5G 与 2G、3G、4G 系统不同,它是对现有无线接入技术(包括 2G、3G、4G、WiFi)的技术演进与新增补充性无线接入技术集成后的解决方案的总称,5G 将是一个真正意义上的融合网络。这个融合统一的标准将提供人与人、人与物、物与物之间高速、安全、自由的连接。

2 5G 的主要特点

5G 具有以下特点:a)5G 的网络架构将进一步扁平化,它将由功能强大的基站叠加的一个大服务器集群;更加新型化,如 C-RAN(集中化处理居民接入网)架构。b)5G 的基站将更加小型化,可以安装于各种场景;具备更强大的功能,将去除传统的汇聚节点。c)5G 网络的网速将极大提升,比 4G/LTE 的峰值传输速率 100 Mbit/s 快 100 倍。d)5G 网络应满足超大带宽、超高容量、超密站点、超可靠性、随时随地接入的要求。

因此,业界认为 5G 应是一个广带化、泛在化、智能化、融合化、绿色节能的大通信网络。

3 5G 的关键技术

5G 的关键技术多达 12 项。

1) 大规模天线阵列技术或新型多天线技术

大规模天线阵列技术是提升系统频谱效率的最重要技术手段之一,对满足 5G 系统容量和速率需求将起到重要支撑作用。

多天线技术经历了从无源到有源,从二维(2D)到 3 维(3D),从高阶 MIMO(多输入多输出)到大规模阵列,可使频谱效率提升数 10 倍甚至更高,是 5G 技术重要的研究方向之一。

有源天线阵列的引入使基站侧的协作天线数量达到 128 根,还可以将原来的 2D 天线阵列拓展成 3D 阵列,形成 3D-MIMO 技术。可支持多用户波束赋形,减少用户间干扰,进一步改善无线信号覆盖性能。

正在研究的课题包括对大规模天线信道的测量与建模、阵列设计与校准导频信道、码本及波束赋形研究等。进一步研究容纳更多用户的空分多址(SDMA)技术,以显著降低发射功率,实现绿色节能,提升覆盖能力。

2) 超密集组网技术

超密集网络能改善网络覆盖,大幅提升系统容量,并对业务进行分流,网络部署更灵活,频率复用更高效,是满足 5G 千倍容量增长需求的最主要手段之一。

在未来 5G 通信中,网络走向更多元化、宽带化、综合化、智能化。随着智能终端的普及,数据流量将井喷式增长。数据业务将主要分布在室内和热点地区,这将使超密集网络成为实现 5G 的主要手段之一。未来面向高频段大宽带,将采取更加密集的网络方案,部署的小小区/扇区将高达 100 个以上。

与此同时,愈加密集的网络部署也使得网络拓扑更加复杂,小区干扰已成为制约系统的重要因素,必须着力解决这一问题。

3) 新型多址技术

新型多址技术通过发送信号的叠加传输来提升

系统的接入能力,能有效支撑 5G 网络千亿设备连接需求。

目前,“同时同频双工”技术已引起业界的广泛注意,它是在相同的频谱上通信的收发双方同时发射和接收信号。全双工能够突破 TDD(时分双工)、FDD(频分双工)方式的频谱资源使用限制,使频谱资源的使用更加灵活。与传统的 TDD、FDD 双工相比,“同时同频双工”技术在理论上可以使频谱效率提高 1 倍。

全双工技术需要极高的干扰消除能力,对干扰消除技术提出了极大挑战。在多天线及组网情况下,全双工的难度更大。相邻小区的同频干扰也是影响“同时同频双工”技术实现的因素之一。

此外,全频谱接入技术也是需要研发的课题,该技术将有效利用各类频谱资源,有效缓解 5G 网络对频谱资源的巨大需求。

4) D2D (Device-to-Device) 通信技术

D2D 通信是指两个对等的用户节点之间直接进行通信的一种通信方式。在由 D2D 通信用户组成的分布式网络中,每个用户节点都能发送和接收信号,并具有自动路由功能。

传统的蜂窝天线系统的组网方式是以基站为中心实现小区覆盖,基站和总基站是无法移动的。随着无线多媒体业务的不断增多,传统的以基站为中心的业务提供方式已经无法满足海量用户在不同环境下的业务需求。

D2D 通信技术无需借助基站就可实现终端间的直接通信,拓宽了网络连接和接入方式。在 D2D 通信网络中,用户节点同时扮演服务器和客户端的角色,用户能够意识到彼此的存在,自组织地构成一个虚拟或者实际的群体。

D2D 通信是短距离直接通信,具有高信道质量、高数据、高速率、低时延、低功耗的特点。广泛分布的终端能改善覆盖,实现频谱资源的高效利用;支持更灵活的网络架构和连接方式,提升链路灵活性和网络可靠性。

D2D 的方案有广播、组播、单播,未来还将研发其增强技术,包括基于 D2D 的中继技术、多天线技术、联合编码技术等。

5) 更加扁平化的新型网络架构和 C-RAN 研究

5G 网络将基于 SDN(软件定义网络)、NFV(网络功能虚拟化)、云计算及 C-RAN 等先进技术,实现更加灵活、智能、高效、开放的,以用户为中心的新型网络。

当前的 LTE 接入网采取网络扁平化设计,减少了系统时延,降低了建网成本和维护成本。5G 可能采取 C-RAN 接入网架构。

C-RAN 是基于集中化处理、协作无线电、实时云计算的绿色无线接入网架构,其基本思想是通过充分利用低成本高速光传输,直接在远端天线与集中化的中心节点间传递无线信号,以构建覆盖上百个基站服务区域,甚至上百平方公里的无线接入系统。

C-RAN 架构适用于协同技术,能够减少干扰,降低功率,提升频谱效率。实现动态智能化组网,有利于降低成本,便于维护和减少运营支出。目前的研究内容包括 C-RAN 的架构和功能,如基带池、RRU(射频拉远模块)接口定义以及基于 C-RAN 的更紧密协作(如基站簇、虚拟小区等)。

6) 高频段需求潜在候选频段研究

传统蜂窝频段(sub-6 GHz)的频谱将无法满足未来指数级增长的需求。因此,正在研究超过 6 GHz 的频段,以便测试在 6 GHz 以上频率分配部署无线接入的可行性。

全球 6 GHz 以下的总频谱约为数百 MHz,而 20 GHz 以上的潜在频谱则是数十 GHz。掌握这些频谱对实现真正互联的 5G 愿景来说至关重要。

业界探讨的频段包含较高的频段,如 10 GHz、28 GHz、32 GHz、43 GHz、46~50 GHz、56~76 GHz 以及 81~86 GHz。尽管这些频段目前尚处于提议阶段,但已引起足够重视。

4 国外 5G 研发的概况和进展

1) 欧盟及其主要成员国

3G、4G 期间,欧洲在移动通信领域总体上落后于亚洲,欧盟希望迅速发展 5G 以维持和加强欧洲的领先地位。

欧盟在 2012 年 9 月启动了“5G NOW”的研究

课题,该课题由 6 家科研机构承担,课题面向 5G 物理层的技术研究,2015 年 2 月结束。在 2012 年 11 月正式启动“METIS”5G 研发项目,投资预算达 2700 万欧元,由欧盟资助。项目组由 26 个成员组成,其中包括阿尔卡特、朗讯、爱立信、华为、诺基亚、西门子 5 家通信设备厂商以及德国电信、日本 NTT、法国电信、意大利电信、西班牙电信 5 家电信运营商。2014 年 1 月正式推出“5G PPP”计划,总预算 14 亿欧元,计划在 2020 年前开发 5G 技术,到 2022 年正式投入商业运营。欧盟同时积极开展 5G 国际合作,先后与中国、韩国、日本、巴西签署了 5G 联合声明,5GPPP 也与中美日韩的 5G 组织签署了合作备忘录。欧盟将于 2016 年底发布 5G 行动计划,并计划于 2018 年启动 5G 规模试验,力争在 2020 年实现 5G 商用,重点将推动 5G 与车联网等垂直行业结合。

英国于 2012 年 10 月率先推动国内的 5G 技术研发工作,并建立 5G 网络研发中心。11 月,英国信息通信管理局为移动运营商发放 700 MHz 频段的频谱。

2015 年 9 月 15 日,设在英国萨里大学的全球顶级 5G 创新中心(5GIC)正式成立,华为公司是创新中心的创始成员和重要合作伙伴,其他核心成员包括沃达丰、英国电信、Telefonica、EE、BBC、三星、Aeroflex、AIRCOM International、Fujitsu、OfCom、Rohde & Schwarz 等。

华为公司按照业界最先进 5G 研究成果建设的 5G 测试床在英国萨里大学的 5GIC 正式开通,测试床位于萨里大学吉尔福德校区,占地约 4 km²,以业务创新和核心技术验证为目标,旨在建设推动 5G 全球统一标准的产业协作平台。

德国于 2012 年 6 月在德累斯顿科技大学成立了 5G 无线通信系统专门实验室。在物联网领域,将研究经费增加至 7300 万英镑,以实现十亿多的各种设备的低耗电价格网络连接。

德国计划的第一步是在 2018 年制定 5G 频率商用的框架条件,第二步是建立电信行业与应用行业之间的对话论坛,第三步是推进 5G 研究,使德国取得技术上的优势,并共同制定未来国际 5G 标准,

第四步是应用项目,如 5G 实验城市,联邦政府可为此资助 200 万欧元,总额超过 8000 万欧元的自动驾驶汽车项目也将促进 5G 发展。第五步是促进基础设施建设,最迟到 2025 年在所有联邦主干道、最少 20 个大城市实现 5G 覆盖。德联邦交通部长多布林特表示,5G 将成为网络化时代数字核心化技术,德国希望成为 5G 市场引导者。

2)日本

2013 年 10 月,日本无线工业及商贸联合会(ARIB)设立了 5G 研究组“2020 and Beyond Ad Hoc”。该研究组对 5G 服务、系统构成以及无线接入技术等进行探讨。主要任务是研究 2020 年及以后移动通信服务、系统概念和主要技术,如用户行为和请求、频谱、业务预测以及无线接入技术、网络技术等。

据日本 NTT DoCoMo 5G 研究小组负责人奥村幸彦介绍,从 2014 年 5 月开始,日本 NTT DoCoMo 与多家企业联合开展了 5G 实验。2015 年 11 月 26 日,该公司与诺基亚网络共同实施了 5G 技术实验,在实际商业设施内以 70 GHz 频带接收信号,实现了超过 2 Gbit/s 的无线数据传输。实验证明了在客流量较大的商业设施内也可以进行高速数据传输。

3)韩国

韩国在 2013 年 6 月成立了 5G 论坛推进组 5G Forum。论坛提出了 5G 国家战略和中长期发展规划,并负责研究 5G 需求,明确 5G 网络和服务的概念等。

韩国 MSIP 在 2014 年 1 月宣布建立“未来移动通信产业发展战略”,并投资 1.6 万亿韩元用于 5G 核心技术研发,预计将在 2018 年平昌冬奥会上首次示范 5G 应用。

韩国最大电信运营商 SKT 预计在 2017 年部署 5G。SKT 计划在室外环境中用 5G 技术试验端到端解决方案,其中包括用毫米波实现设备与网络间的高频无线连接,实现 LTE、5G 和 WiGig(60 GHz)互通,网络功能虚拟化,网络分层及分布式核心网络。SKT 的目标是在 2016 年底将关键技术融合,在室外环境下进行系统的端到端 5G 试验。

4)美国

2012 年 7 月,纽约大学理工学院成立了一个由

政府和企业组成的研究 5G 的联盟。美国国家科学基金会(NSF)为其提供 80 万美元资助金,为合作者企业提供 120 万美元研发资助。另外,宽带无线接入技术与应用中心(BWAC)也在积极开展 5G 项目研发,自 2013 年后的 5 年,BWAC 将获得 NSF 的 160 万美元及产业界的 400 万美元专项资金支持。

今年以来,美国政府主导的对 5G 的投资正在加速。2016 年 7 月 14 日,美国联邦通信委员会(FCC)开放 24 GHz 以上频段用于 5G,包括 28 GHz 频段(27.5~28.35 GHz)、37 GHz 频段(37~38.6 GHz)、39 GHz 频段(38.6~40 GHz)和 64~71 GHz 频段。7 月 15 日白宫发表推进 5G 研究的先进无线电通信研究计划(AWRI)的声明,今后 7 年将通过 NSF 投入 4 亿美元进行 5G 研究。AWRI 将使用美国联邦通信委员会(FCC)开放的 5G 用频率,在美国 4 个城市进行 5G 技术推广和实验。

5 5G 推进进度要求及我国的研究进展

国际电信联盟(ITU)于 2015 年 2 月开展了 5G 标准的研究工作。ITU 明确提出:2015 年中期完成 IMT-2020 国际标准前期研究,2016 年开展 5G 技术性能需求和评估方法研究,2017 年底启动 5G 候选方案征集工作,2020 年底完成 IMT-2020 通信标准制定工作。

中国的移动通信在 3G 时代取得了突破性进展,建立了具有自主知识产权的标准 TD-SCDMA,中国提出的 4G 标准 TD-LTE 成为世界 4G 两大标准之一。为了迎接新一轮的技术、标准及市场竞争,中国开始全方位布局 5G 技术的研发工作。

我国与全球同步推进 5G 研发工作。

1)我国率先成立了 5G 推进组,全面推进 5G 研发工作。2013 年 2 月,工业和信息化部、国家发展和改革委员会、科技部成立了“IMT-2020(5G)推进组”,提出我国要在 5G 标准制定中发挥引领作用的宏伟目标。

2)科学技术部投入 1.6 亿元人民币,先期启动国家 5G 移动通信系统前期研究开发重点项目。

3)在 2020 年之前,系统研究 5G 领域关键技术,其中包括体系架构、无线组网与传输、新型天线与射

频、新频谱开发与利用,完成性能评估和原型系统设计,进行技术试验和测试,实现支持业务总速率 10 Gbit/s,频谱和功率效率比 4G 系统提升 1 倍。

我国台湾地区在 2014 年 1 月召开了“5G 发展产业策略会议”,成立了专职部门推动 5G 长期发展。策略会议达成了 3 项共识:a)建立学术界、法人和产业界有效的互动选题机制,消除产学鸿沟。b)建立有效的专利策略,免受国际专利战干扰。c)建立国际化的测验场域,验证新创产品的有效性。台湾几个部门成立了规划小组,近期推出了《2020 年 TW-5G 战略方案》。

当前国内 5G 研究进展情况:a)推进组已基本完成 5G 愿景和需求研究,并发布了白皮书,b)初步完成了 5G 潜在关键技术的研究分析工作。c)提出了 5G 概念和技术路线。d)完成了 2020 年我国移动通信频谱需求预测和 6 GHz 以下候选频段的研究工作。

迄今为止,中国 5G 推进组已经有 55 个成员,其中包括运营商、厂商、研究院及大专院校。中国 5G 推进组中有两家外国公司。

为加强 5G 的国际合作、双边合作,2015 年 10 月在里斯本签订了 5G 国际合作谅解备忘录。

2013 年以来,中国 IMT-2020(5G)推进组已经发布了四个白皮书,其中包括《5G 的愿景和需求》、《5G 的概念》、《5G 的无线技术架构》和 2016 年 6 月发布的《5G 的网络技术架构》。

美国时间 2016 年 11 月 17 日,国际无线标准化机构 3GPP 的 RAN1(无线物理层)87 次会议在美国拉斯维加斯召开,就 5G 短码方案进行讨论。会议的

三位主角是中国华为公司主推的 Polar Code(极化码)方案,美国高通公司主推的 LDPC 方案,法国主推的 Turbo2.0 方案。最终,华为公司的 Polar 方案从两大竞争对手中胜出。

6 结束语

随着未来移动互联网和物联网业务的井喷式增长,3G、4G 和其他通信网络已无法满足社会日益增长的通信需求。5G 将以其显著特征和技术优势及可持续发展的模式,满足未来超千倍的移动数据增长需求,并将为用户提供光纤般的接入速率、零时延的使用体验、千亿设备的连接能力、超高的流量密度和连接数密度、超高的移动性和多场景的服务,使各类业务和用户感知智能优化,并为未来的网络带来百倍的能效提升。

当前,业界已经达成共识,全球将于 2020 年左右实现 5G 商用。为了实现这一目标,3GPP 已在 2016 年初启动 5G 标准研究,2018 年完成包含部分功能的第一版 5G 技术标准,并将于 2019 年底完成满足 ITU 要求的 5G 完整标准。

相信在国家 5G 推进组的统一领导组织下,我国 5G 的同步推进工作将会取得顺利进展。

胡金泉(1942—),男,高级工程师,中国电子学会高级会员,曾主编出版《移动通信和小型化技术》,与郑碧月教授合编大学教材《移动通信与技术》,发表移动通信专业论文、译文 100 余篇,主要研究方向为移动通信系统和技术。

收稿日期:2016-11-16

下期要目预告

传感器移动云计算研究

简谈 IDC 机房规划发展与实施

NPS 用户群网络感知保障运营体系研究

800M LTE 网络容量分析

基于 SOA 的城市应急指挥系统

基于微小基站的城中村深度覆盖解决方案