

5G 无线接入网络部署的关键问题

Key Issues of 5G Radio Access Network Deployment

关 皓,杨 凡,孙静原,张 翼(上海诺基亚贝尔股份有限公司,北京 100102)

Guan Hao, Yang Fan, Sun Jingyuan, Zhang Yi(Nokia Shanghai Bell Co., Ltd., Beijing 100102, China)

摘 要:

5G的网络部署将是一个循序渐进的过程。在网络部署初期,既要达到城区的基本覆盖,又要综合考虑既有系统、业务以及新可用5G频谱的条件限制,并尽量重用既往的网络投资以获得最大化收益。网络发展的中后期,部署则侧重在进一步提高网络质量,满足5G业务的多样性需求,提供差异化服务。从频谱分析出发,以一个城市5G部署案例为基础,探讨无线接入网络部署的要点和相应技术解决方案。然后介绍对中后期部署关键的低时延和网络切片技术。最后为5G无线接入网络部署模式及演进路径的选择提供参考建议。

关键词:

无线接入网;覆盖范围;网络部署;频谱;5G
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2018.11.004
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
文章编号:1007-3043(2018)11-0017-06

Abstract:

5G network deployment will be a gradual process. In initial phase of the network deployment, the coverage is the foundation. Legacy systems, services and new 5G frequency bands should be considered comprehensively so that legacy network investment can be reused to maximize the profits. In later phase of 5G layout, network service quality and how to meet diverse requirement will be main focus. The key issues of 5G radio access network deployment start from frequency band analysis and then take the 5G network deployment for a city as an example to discuss the key points of network deployment and the corresponding technical solutions' advantages and disadvantages. In addition, how to lower down network latency and network slicing are introduced. In the end multi evolution paths are given as a reference for 5G radio access network deployment.

Keywords:

Radio access network; Coverage; Network deployment; Frequency; 5G

引用格式:关皓,杨凡,孙静原,等. 5G无线接入网络部署的关键问题[J]. 邮电设计技术,2018(11):17-22.

0 引言

为支持当今快速增长的移动通信需求并兼顾未来十年的发展,5G将通过提供增强的移动宽带业务、支持海量连接的物联网以及高可靠通信连接万物。此外,5G还需具备足够的灵活性和可扩展性以支持一些尚未明确未来的业务。LTE网络无法满足这些需求,从而必须对电信网络进行升级,具体包括:5G无线接入网的升级、5G核心网以及背后传输网的升级、相关的网络管理升级。

1 频谱

1.1 5G网络频谱

任何无线网络都脱离不了频谱。5G是第1个支持低至400 MHz高至90 GHz频段的无线通信系统^[1-4]。之所以需要如此大的频谱范围,一方面是5G需要提供高容量、高数据速率、全覆盖以及超高可靠性的移动通信^[5,6],另一方面是由于1~2.5 GHz间的黄金频段已经非常拥挤,难以找出给5G使用的新频段。

5G频谱中6 GHz以下的低频段可用于提供广域覆盖。对提供物联网业务、远程控制和自动驾驶之类的高可靠通信业务而言,完整而可靠的覆盖是基础也

收稿日期:2018-10-12



是关键^[1,5,6],这部分主要依赖1 GHz以下的低频段^[7,8]。当然6 GHz以下频段中也可以有大带宽,如在3.5 GHz分配50~100 MHz的频段,这些频段在覆盖较大的同时也可以提供超宽带业务,达到数Gbit/s的数据速率。6 GHz以上的频段覆盖范围有限但可用带宽更大,主要用于热点区域及小小区高速数据传输,进一步提升用户体验。

目前,全球的5G主流频谱为3.3~4.9 GHz以及24~28 GHz和39 GHz的毫米波频段,这些新5G频段都采用时分双工技术^[1,2,4,6]。这些频谱可以是授权于5G的专享频谱。5G也可以工作在共享频段,例如美国的3.5 GHz共享频段,或者像5 GHz这样的非授权频段^[9]。在这些频段,企业和产业可以不用申请额外的授权,就能受益于基于5G技术拓展的新行业应用^[1,9]。当然,5G还可以通过频谱重耕(Refarming)使用现有无线系统的频段,图1是不同频段使用双工技术的示意图。在2.1 GHz及2.1 GHz以下频段采用频分双工(FDD)技术,提供包括室内的广域覆盖^[1,2]。低频段既可以是700 MHz、600 MHz等从其他行业释放的频段,也可以是通过频谱重耕释放的现有2G、3G或4G频段,如850/900 MHz/1800 MHz。综合利用从低的1 GHz以下的频谱到高频的毫米波这些不同频段,能够提供覆盖、容量和用户高数据速率的最佳组合^[7]。

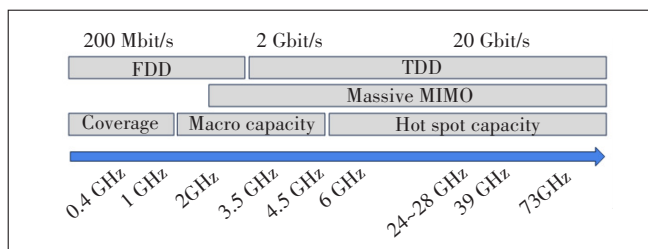


图1 5G频谱和双工技术

5G的各个频段的覆盖是不同的。5G在1 GHz以下的低频段更易于实现全覆盖,它适用于物联网业务、远程控制(特定区域覆盖)、自动驾驶(广域覆盖)之类的高可靠通信业务。此外低频段的良好信道特性可以用来增强城区的室内覆盖。新频段中比较重要的3.5 GHz可以重用现有2G/3G/4G基站站址,这样既能节约成本又能实现快速部署。然而频率越高,信号的路径损耗也越大,因此5G需要波束赋形技术(即M-MIMO技术)来提高天线增益,扩大覆盖面积,使得在同样站址密度条件下,能达到与现有1.8 GHz LTE网络类似的覆盖面积。毫米波则为本地热点和固定

无线连接提供超高数据速率。

1.2 5G网络部署实例

下面以一个欧洲城市为例观察5G部署和频谱使用情况,具体如图2所示。

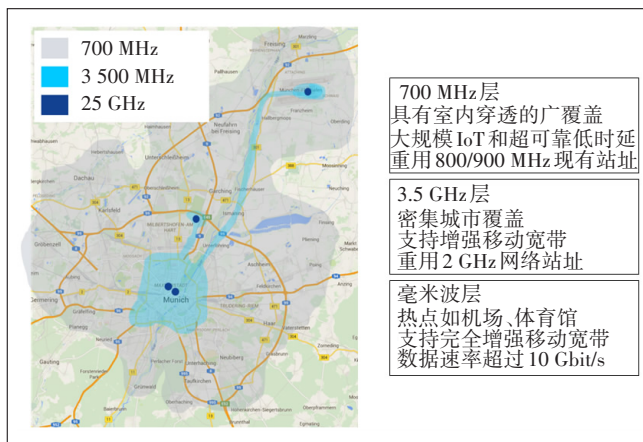


图2 欧洲某城市5G部署实例

基于目前的LTE业务量和过去几年的历史数据,本文分析了未来5年的数据业务增长趋势和数据量需求,以此为覆盖设计目标,综合部署5G的不同频段来满足未来5年的业务容量需求。

700 MHz的低频段一方面用来提供广覆盖和室内穿透,另一方面为超可靠应用场景和IoT提供低时延业务。同时,在城市和郊区,一些新的5G应用如自动驾驶、智能电网等也能受益于5G覆盖。这里700 MHz的网络可复用现存800/900 MHz的基站站址。

3.4~3.8 GHz频段用于提供密集城区覆盖和Gbit/s的高数据速率,这些区域用户有很强的超宽带业务需求,对网络容量要求高。3.4~3.8 GHz网络可复用现存2 GHz的基站站址。

25 GHz毫米波频段可以提供热点容量和超高速率。毫米波的覆盖集中在体育馆、机场和其他高用户密度区域。当然它也可以用来开发、实现和测试一些创新型的5G应用。

1.3 我国5G频谱建议

目前我国用于5G试验的频谱是3 400~3 600 MHz,4 800~4 500 MHz以及毫米波的24.75~27.5 GHz和37~42.5 GHz。对于大部分LTE的FDD运营商,初期可以考虑结合3.5 GHz的5G与1 800 MHz LTE网络的方式,既可以优先提供高速率高容量的5G业务,又充分利用现有LTE的覆盖快速部署领先市场。未来2G/3G/4G等较低频段可以重耕给5G系统,从而进一步拓展到物联网业务以及未来的高可靠通信业务。



另一方面毫米波技术已渐成熟,中国颁发毫米波频段后就可以在城市热点地区进一步扩容,并分流未来越来越拥挤的3.5 GHz宏站,提高用户体验。

2 覆盖问题及解决方案

2.1 5G 覆盖问题

如前所述,5G使用的频谱范围很广,从低于1 GHz到几十GHz,不同频谱的覆盖情况不同,需要分别处理。低于1 GHz的频段,路损衰落和穿透损耗低,使用典型的LTE天线配置(如2×2 MIMO),就能够提供很好的网络覆盖。低频段一般是FDD频段,上下行是连续传输的,这样设计的信号传输持续时间长,小区覆盖半径可以扩展到几十千米,很容易提供大面积的连续覆盖。从3.5 GHz开始往上的中高频频段,尤其毫米波,路损衰落和穿透损耗都很大,如果仅重用现有网络站址,则很难实现全网覆盖。

5G的室内覆盖也是主要问题之一。在室内的用户,信号要穿过多层墙面,穿透损耗一般非常大。室外到室内的穿透损耗因建筑材料不同而不同,现代化的各种保温隔音设计会进一步增大穿透损耗,室内覆盖一般也是网络覆盖的难题。

此外,上行覆盖也是不得不面对的问题。基站的发射功率从几十瓦到上百瓦,终端的最大发射功率很低,而出于人体健康的考虑,终端的发射功率很难大幅度提高,目前仅有0.2 W,因此上行覆盖一般是网络覆盖的瓶颈。

2.2 覆盖解决方案

在LTE时代,上行覆盖目标设置决定了站址部署密度。工作在3.5 GHz的5G系统,上行覆盖依然是系统覆盖设计的重点。5G主要通过大规模天线阵列和利用低频辅助的覆盖技术等方式来解决。

其中,大规模天线阵列的波束成型能够提供相对于简单天线配置(2×2 MIMO)大得多的天线增益,从而可以在一定程度上增强覆盖范围。3.5 GHz的波长较短,大规模天线的体积可以做到跟传统天线类似的大小,不会带来额外的安装施工困难。所以工作在3.5 GHz的5G系统可以利用波束成型天线改善覆盖问题。图3给出了相比上行2 100 MHz各频点的相对户外覆盖能力,其中假设传输模型为Okumura-Hata,下行相对上行有8 dB增益,采用相对于2×2 MIMO有6 dB增益的大规模天线阵列(mMIMO)。可以看出,5G的3 500 MHz下行覆盖采用mMIMO后可以超过LTE 1

800 MHz 2×2 MIMO的覆盖能力。

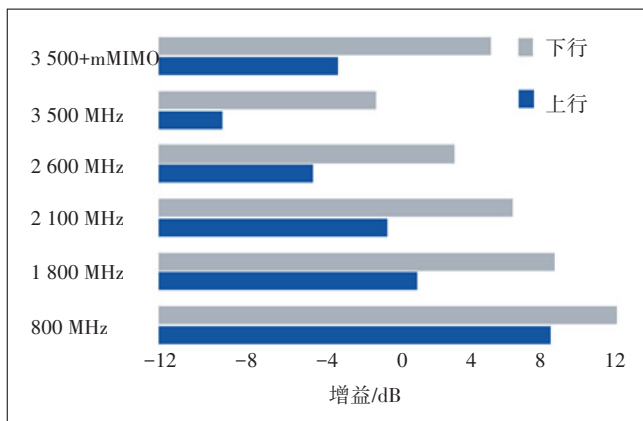


图3 相对于上行2 100 MHz的各频段户外覆盖能力

大规模天线阵列的覆盖能力在密集城区(一线城市平均站间距一般在300 m左右)环境下较好,但是对于现有站点相对较少的郊区和农村,天线增益仍不能弥补长距离的路损,3.5 GHz 5G的覆盖范围和LTE仍然有差距。另一方面城区的室内覆盖也是亟待解决的问题,尤其是上行。为此需要寻求更佳解决方案。

除大规模天线阵列,由于低频传播特性良好,3.5 GHz 5G系统上行覆盖范围可通过使用较低频段来增强,本文给出3种不同解决方案,分小节分别讨论。

a) LTE-5G双连接:使用低频段LTE作为上行用户面。

b) 5G载波聚合:在低频段部署FDD的5G系统,包括5G低频上下行,低频和高频(3.5 GHz)的5G以载波聚合的方式同时使用。可以在低频段给5G专用的频谱,也可以同LTE共享低频段的频谱。

c) 补充上行:LTE上行部分频段分配给5G使用。

对室内用户,除利用低频传输外,还可以用已有的室分系统(DAS)和室内小基站进一步做覆盖补充。

2.2.1 LTE-5G双连接

LTE-5G双连接是增强上行覆盖方案中的首选,它是最容易实现的,第1批5G终端设备支持非独立组网架构(NSA),且支持LTE和5G的双连接。通过双连接的数据承载分离,上行可以映射到2个系统中的任何一个。如果5G上行连接变弱,吞吐量下降,那么上行传输缓冲的数据量将增加,UE将使用LTE做上行数据传输。

双连接方案下,物理信道传输与单连接是不同的,当LTE用来传输上行用户面数据时,5G上行仍然



有些信息必须在 3.5 GHz 上同时传输, 如 RLC 的 ACK/NACK 等反馈信息、上行探测参考信号(SRS)以及物理层的上行控制信道 PUCCH。评估链路预算表明, 5G 上行控制信道(PUCCH)的覆盖明显比数据信道大很多。

双连接允许站间操作, 允许 5G 和 LTE 连接使用不同站点。在 5G 早期部署时, 5G 业务量相对低, 所以干扰少, 3.5 GHz 5G 比 1 800 MHz LTE 的覆盖范围更大, 1 个 5G 站点能覆盖多个 LTE 站点。从图 4 可以清楚看到站间双连接带来的 5G 覆盖提升。

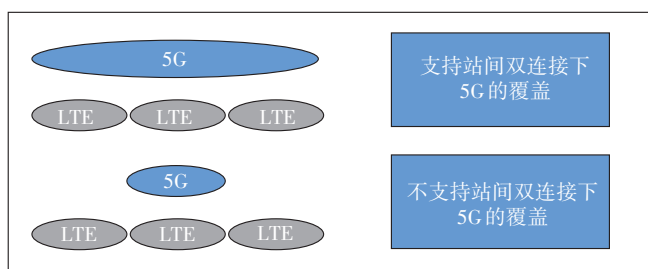


图4 站间双连接的好处

双连接对 LTE 和 5G 间的同步要求相对较低。在 5G 子载波间隔为 30 kHz 时, LTE 和 5G 允许的最大时间差为 250 μ s, 见表 1^[10]。这些同步要求都非常低 (TDD 网络同步需求是 3 μ s), 所以不需要与 LTE 基站相位级同步。

2.2.2 5G 载波聚合(CA)

如果 5G 系统可以使用低频段(如 1 800 MHz), 那么 3.5 GHz 和 1 800 MHz 的频谱可以通过载波聚合(CA)的方式使用, 这种技术具有以下特点。

a) CA 是很成熟的技术, 相对 3.5 GHz 独立载波,

表 1 双连接的同步需求

LTE 主小区子载波间隔/kHz	5G 主辅小区数据上行子载波间隔/kHz	最大上行传输时间差/ μ s
15	15	500.0
15	30	250.0
15	60	125.0
15	120	62.5

覆盖和控制信道容量提升的好处都很明显。

b) 因为低频载波的覆盖面积大, 移动用户的切换次数大大减少。

c) 由于低频的 FDD 上下行同时存在, ACK/NACK 反馈和调度机会都比补充上行(SUL)技术多, 平均时延幅度降低超过 10%。

d) CA 与双连接技术一样, 既支持共站, 也支持不共站的场景, 这种部署灵活的特性在 5G 部署初期大有益处。

e) 因为在各个载波上都同时有上下行, 从而 RRM 和功控等都可以以下行信号作为参考, 测量反馈相对更准确些。

若能在低频将专用频段分给 5G 独立使用当然很好, 但很多实践情况中低频段 5G 需要和同频段的 LTE 一起部署, 这可以和频段重耕一起考虑。

3GPP 定义了 LTE 和 5G 共存的方法, 相比单独使用 LTE 或单独使用 5G 的情况会产生额外的开销, 但它允许在 LTE 和 5G 之间按需分配时频资源, 从而更灵活有效。图 5 给出了 LTE 和 5G 共享载波的信道结构, 可以看出 LTE 的公共参考信号(CRS)对 5G 系统来说是额外的无用开销。

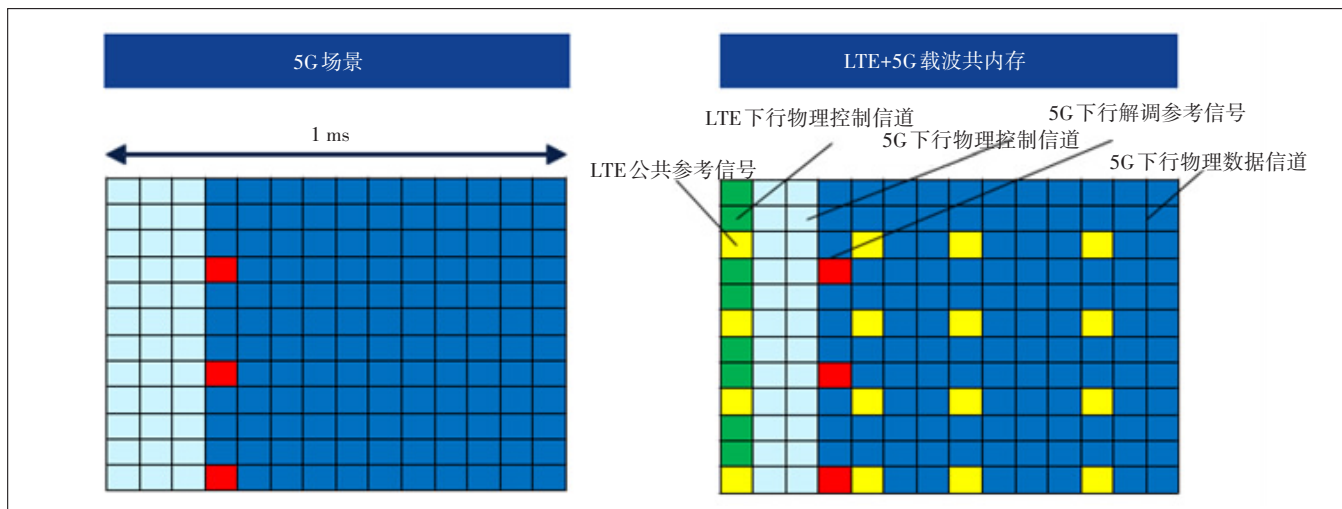


图5 LTE 和 5G 共享



此外由于LTE和5G的天线方向要一致,这在一定程度上限制了5G的灵活性。比较而言在低频划分出一个专属的5G频段会使部署更灵活。

2.2.3 补充上行(SUL)

补充上行技术是指5G系统占用1 800 MHz或800 MHz上的LTE系统的部分上行频段。一般来说,LTE的上下行业务是非对称的,由于下行业务包含了视频业务,其业务量可以是上行业务的几十倍,从而使用上行频段比下行频段要低的多。所以可以把部分LTE上行频段分给5G使用。SUL就是利用这一点将LTE部分上行频谱分配给5G,但LTE下行频谱仍然全部分配给LTE,它的好处是不影响LTE下行业务。5G占用LTE频谱的方式有很多种,如占用LTE的PUCCH,占用LTE的PUSCH,未来还有TDM的方式。图6是5G占用LTE的PUCCH的示例。

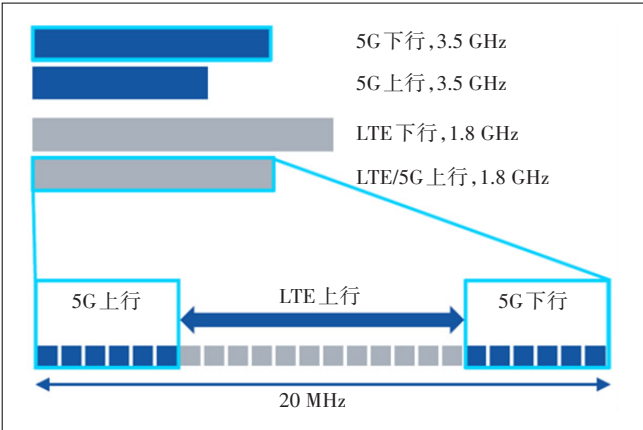


图6 5G上行共享低频LTE上行频段

2.3 方案比较

以上3种方案都是3GPP的备选技术,其共同特点是可通过低频频段增强覆盖。方案间差异总结如表2所示^[11-13]。

3种方案的优缺点如下:

- a) LTE-5G双连接是增强上行覆盖的首选方案,它易于实现,且无需额外功能,因为第1批5G设备就支持双连接。由于上行连接使用LTE而不是5G,双连接会稍微增大用户时延。另外,关于5G控制信道覆盖范围的一些不确定性需要在场测中验证。同时,双连接还支持多厂商,且站址部署灵活。
- b) 载波聚合是一个很好的方案,尤其对于需要低时延的新5G业务。5G FDD方案可以提供最低时延,因为FDD有连续的上行和下行传输。低频段5G可以和3.5 GHz聚合以提供高容量和高数据速率。低频段

表2 覆盖增强方案比较

方式	EN-DC	CA	SUL
场景	可用于LTE TDD或FDD频段	可用于LTE TDD或FDD频段	用于LTE FDD频段
上行增强	上行增强	上行增强	上行增强
下行增强	下行最大数据速率增强	下行增强(包括覆盖和最大数据速率)	无下行增强
是否共站	共站不共站都可以	共站不共站都可以	共站
移动性	切换多	可靠,切换少	切换多
时延	X2时延,最大	时延低	HARQ时延相对CA更大
上下行比例	上下行灵活调整(上下行数据都可以借用LTE频段传输)	上下行灵活调整	上下行调整受限
天线	无特殊要求	需要新的低频5G天线或更新LTE天线	需要新的低频5G天线或更新LTE天线

可给5G专用,也可以与LTE共享使用。CA方案是成熟方案,未来终端会有较好的支持,此外CA同时支持共站或不共站。

c) SUL理论上是一个很好的方案,但在实践中该方案在终端支持、网络部署等方面有局限性,相较于双连接的增益不明确,有待在试验中进一步验证。此外SUL在实践中需要LTE和5G严格同步,这意味着不能支持多厂商。

3 5G网络中后期多样化的业务需求及技术

5G发展的中后期会有越来越多的新业务涌现,如新型物联网业务、远程控制(特定区域覆盖)、自动驾驶(广域覆盖)之类的高可靠业务。在无线系统上实现高可靠性,除了要求覆盖好还要求底层延时低。为了降低时延,5G采用了以下新技术。

- a) 减小时隙长度,加快TCP传输稳定速度,从而提升用户容量。
 - b) 采用更多的流水线处理,减少等待时间,加快处理速度,减少时延,包括采用自包含无线帧结构和解调参考信号前置等。
 - c) 增加RRC inactive状态,减少RRC处理时间,在低功耗状态实现一直在线,从而减少RRC重连接带来的等待时间。
 - d) 对小包采用基于竞争的传输方式,减少调度相关信令时延和开销。
- 在相同无线容量下,用户在低时延的系统下能体验到更高的速率,所以低时延一方面满足了高可靠业



务的需求,另一方面也提高了数据用户的体验。不同网络延时下用户的体验速度差别可达50%。

5G多样化业务对时延、吞吐量和网络连接数的要求各不相同,有时甚至有一些很极端的要求,如低至毫秒级的时延、99.999%的可靠性等。而只有网络切片技术才能在一张公共基础设施网络上满足上述所有需求。所以5G部署的中后期要提供端到端的网络切片,也就是从无线到核心网都升级到5G。

现在的网络按功能可以分成不同的部分,如无线、传输、连接、核心网、边缘云以及中央云等。各个部分间相对独立,进行性能优化时一般是针对各部分分别进行^[14]。使用网络切片技术时,系统会从端到端的角度进行处理,即把无线、传输、连接、核心网、边缘云和中央云作为一个整体,综合考虑各个部分的性能进行整体优化,从而达到端到端的系统性能指标。

4 5G无线网络部署建议

5G支持纷繁复杂的业务,但5G无线网络建设并没有想象中那么复杂。初始的5G建设首先集中于移动宽带业务,重用现有网络架构,重用现有LTE系统网络和基站站址,重用现有的基于包交换的核心网,甚至重用现有的基于AirScale的基站。5G的第1阶段集中在超宽带业务,会带来更高的数据速率和更多容量。后续5G演进会逐渐增强网络能力,以满足新业务低时延和高可靠性的需求,然后逐渐增加新的云构架、小小区、毫米波频段以及新的5G核心网。图7给出关于快速、简单进行5G部署的建议。

快速5G建设	驱动力	演进(2020+)
简单的应用场景	10倍容量增强	低时延、高可靠通信和物联网
简单的构架	无需新构架	云优化的无线
简单的部署	无需新站址	自供电、自优化、自回传小小区
简单的基带升级	全部实现在AirScale	毫米波用于小小区
简单的射频升级	在低频段AirScale射频5G可用	毫米波用于超级容量和数据速率
简单的核心网升级	无需新核心网	5G核心网用于新案例

图7 快速和简单的5G部署建议

5 总结

本文首先介绍了5G的频谱,然后以一个城市的5G网络部署为例,介绍了5G网络部署初期及中后期

的要点和相关的技术方案,其中对增强覆盖的3种技术(DC, CA和SUL)做了详细讨论和比较,对中后期的时延和网络切片也做了简要阐述,最后列举了3GPP的几种常用网络架构,并给出了总体5G无线网络部署的建议。

参考文献:

- [1] LEE J, TEJEDOR E, RANTA-AHO K, et al. Spectrum for 5G: Global Status, Challenges, and Enabling Technologies[J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(3): 12-18.
- [2] New frequency range for NR (3.3~4.2 GHz): 3GPP TR 38.813[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [3] New frequency range for NR (4.4~5.0 GHz): 3GPP TR 38.814[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [4] New frequency range for NR (24.25~29.5 GHz): 3GPP TR 38.815[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [5] TRIPATHI P S M, PRASAD R. Spectrum for 5G Services[J]. Wireless Personal Communications, 2018(3): 1-17.
- [6] Study on scenarios and requirements for next generation access technologies: 3GPP TR 38.913[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [7] New Radio (NR); Base Station (BS) radio transmission and reception: 3GPP TS 38.104[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [8] Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: 3GPP TR 38.901[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [9] BAYHAN S, GÜRKAN GÜR, ZUBOW A. The Future is Unlicensed: Coexistence in the Unlicensed Spectrum for 5G[J]. arXiv, 2018.
- [10] New Radio (NR); Requirements for support of radio resource management: 3GPP TS 38.133[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [11] New Radio (NR), NR and NR-RAN Overall Description: 3GPP TS 38.300[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [12] Study on New Radio (NR) access technology: 3GPP TS 38.912[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [13] NR intra band Carrier Aggregation (CA) Rel-16: 3GPP TS 38.716[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [14] Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces: 3GPP TR 38.801[S/OL]. [2018-08-15]. <ftp://3gpp.org/>.
- [15] HOSSAIN E, HASAN M. 5G cellular: key enabling technologies and research challenges[J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2015, 18(3): 11-21.

作者简介:

关皓, 研究经理, 目前主要负责新无线系统架构研究和相关产品的标准化工作, 包括Edge Cloud、LTE、5G等关键技术; 杨凡, 系统仿真工程师, 主要从事5G系统架构研究和产品标准化工作, 包括无线通信关键技术(毫米波、大规模天线、无线资源管理等)性能评估和优化; 孙静原, 高级系统工程师, 主要从事5G系统架构研究和产品标准化工作, 主要研究领域包括无线资源管理、5G信道编码技术、物理层传输技术等; 张翼, 高级系统工程师, 主要从事5G系统架构研究和产品标准化工作, 主要研究领域包括5G多天线技术、信道编码技术、物理层传输技术等。

