

5G RAN组网架构及演进分析

Analysis on Architecture and Evolution of 5G RAN

黄蓉,王友祥,刘珊(中国联通网络技术研究院,北京 100048)

Huang Rong, Wang Youxiang, Liu Shan (China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

3GPP在2018年9月冻结5G第1版本R15,包括非独立部署方式(NSA)和独立部署方式(SA)2种NR引入方式。另外,在R15版本中对基站协议栈功能也进行了重新划分。这些都将对运营商5G RAN组网架构产生较大的影响。首先分析5G基站的几种形态以及不同形态的适用建议,接下来从性能、语音业务和网络部署需求等出发,给出了几种5G RAN引入及演进方式的优劣势分析。

关键词:

5G基站架构;独立部署;非独立部署

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2018.11.001

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2018)11-0001-06

Abstract:

The first version of 5G standard 3GPP R15 has been frozen in Sep. 2018, including two deployment choices, Non-Standalone and Standalone. In addition, the protocol of the 5G BS is divided into two parts. These changes will greatly impact the architecture of 5G radio access network. It firstly analyzes the architectures of the 5G BS and proposals on how to choose the suitable architecture are given. Then, the pros and cons of different 5G RAN introduction and evolution schemes are discussed from the respective of the system performance, voice service and the demand on the network deployment.

Keywords:

5G BS architecture; Non-Standalone deployment; Standalone deployment

引用格式:黄蓉,王友祥,刘珊. 5G RAN组网架构及演进分析[J]. 邮电设计技术,2018(11):1-6.

0 引言

随着互联网及各种智能终端的普及和发展,数据业务流量呈爆炸式增长。另外移动宽带业务逐步多样化并开始向各行业渗透。未来的5G网络需要通过一张网络向客户提供eMBB、uRLLC和mMTC三大类业务。

2017年12月3GPP第78次全会正式宣布,基于NSA架构的5G R15版本主要功能完成,该版本仅支持依托LTE双连接方式接入NR的部署场景。后续3GPP将继续完善该版本,制定ASN.1。2018年9月3GPP将正式推出包含独立NR部署方式的完整的5G

R15版本作为5G的第1个版本。2017年11月,中国工信部率先发布中频段5G系统频率使用规划,将3.5 GHz(3 400~3 600 MHz)和4.8 GHz(4 800~5 000 MHz)作为5G系统先期部署的主要频段,向产业链释放明确信号,加速产业链成熟。

3GPP提出了多种引入5G NR的部署方式,并对5G基站进行了高层划分,这对5G RAN组网架构具有较大的影响。本文从部署成本、性能、演进路径等方面,对未来的5G基站以及组网架构进行了深入分析。如何结合自身现状,选择合理的部署方式及演进节奏,是运营商在5G初期需要迫切考虑的。

1 5G基站架构

不同于LTE基站,5G NR对基站架构进行了重新

收稿日期:2018-10-12



定义,以 PDCP/RLC 层为界,将基站分为集中单元(CU)和分布单元(DU)2个功能实体。CU 承担 RRC/PDCP 层功能,DU 承担 RLC/MAC/PHY 功能。一个 CU 可以携带多个 DU。由于 2 个功能实体的重新划分,在协议上将对各层功能的设计有一定影响。由于功能的分离,在 5G RAN 侧增加 CU 和 DU 间 F1 接口,3GPP 对该接口的定义和消息交互也进行了标准化。

图 1 对 LTE 及 NR 基站架构进行了对比。

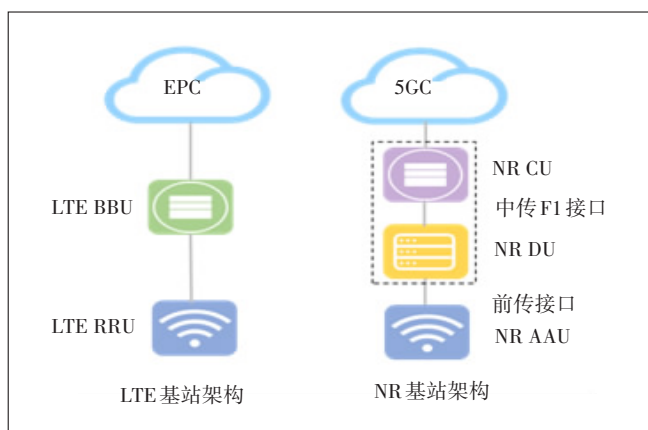


图 1 LTE 及 NR 基站架构对比

CU/DU 功能的分离意味着未来基站将具备多种部署形态供运营商进行灵活选择。CU 和 DU 可以根据不同的业务需求和网络条件部署在不同的位置,或以集成为同一设备的形式部署。具体主要取决于业务时延需求、前传和中传网络条件、机房安装条件、设备成本和功耗、可靠性要求、CU 覆盖范围需求等方面。总体看有以下 4 种方案。

方案 1:CU、DU 和 RRU 设备均独立部署,DU 放置于综合业务接入点,CU 放置于汇聚节点,主要适用于时延需求宽松业务,对前传和中传条件均有要求。CU 可采用通用硬件实现,通过 CU 集中组网,连接多个

DU,有利于实现多小区 RRC 统一管理和资源池组化,可和边缘计算相关功能结合部署在边缘云机房。

方案 2:CU 独立部署,DU 和 RRU 同位置部署或集成在一个设备中,主要适用于时延需求宽松业务,中传不受限,前传受限的情况,适用于 PoP 机房条件受限或小站场景,CU 优势同方案 1。

方案 3:CU 和 DU 同位置部署或集成在一个设备中,部署在综合业务接入点,主要适用于时延需求高的业务,前传不受限,中传受限的情况,可实现小范围池组化。

方案 4:CU/DU/AAU 均同位置部署或集成在一个设备中,主要适用于对时延需求较高业务,前传和中传条件均有限的情况,受体积影响,适用于一体化小站,用于热点覆盖。

2 5G RAN 组网方式

5G RAN 侧组网方式可总体上分为独立部署(SA——Stand alone)和非独立部署(NSA——non-Stand-alone)。独立部署包括 Option2 和 Option5。非独立部署包括 Option3/3a/3x、Option4/4a 和 Option7/7a/7x。如图 2 所示。Option2 和 Option5 为 NR gNB 或升级后 LTE 基站直接连接 5GC。Option3/3a/3x 和 Option7/7a/7x 均采用 LTE 作为控制面锚点,用户通过 LTE 基站接入 EPC 或 5GC,而 NR 基站仅承担用户面转发功能,适用于 LTE 频段低、覆盖大于 NR 的场景。Option4/4a 采用 NR 基站作为控制面锚点,而 LTE 基站仅承担用户面转发功能,适用于 NR 频段低于 LTE 的场景。Option2 为 NR 基站独立于 LTE,直接连接 5GC。Option5 为 LTE 基站直接连接 5GC,从长远来看,有利于现有 LTE 网络直接翻频接入 5GC 完成向 5G 升级。目前 3GPP 完成的第 1 版本是指 NSA 下 Option3 系列,而 SA Option2 在

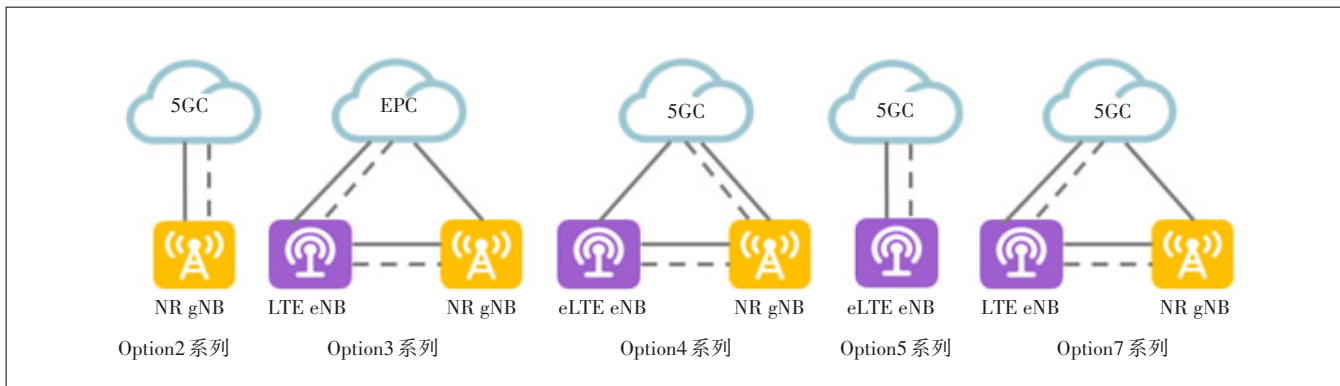


图 2 5G RAN 组网架构分类



2018年6月完成,之后整个R15版本将冻结。Option 4/7系列目前优先级较低,可能完成时间会更加靠后。

如图3所示,除Option3系列沿用了EPC以外,其

他组网方式均采用了5GC,5GC采用服务化架构及总线式设计,和EPC相比,优劣势如表1所示。

显而易见,5GC在支持业务、性能、灵活性方面相

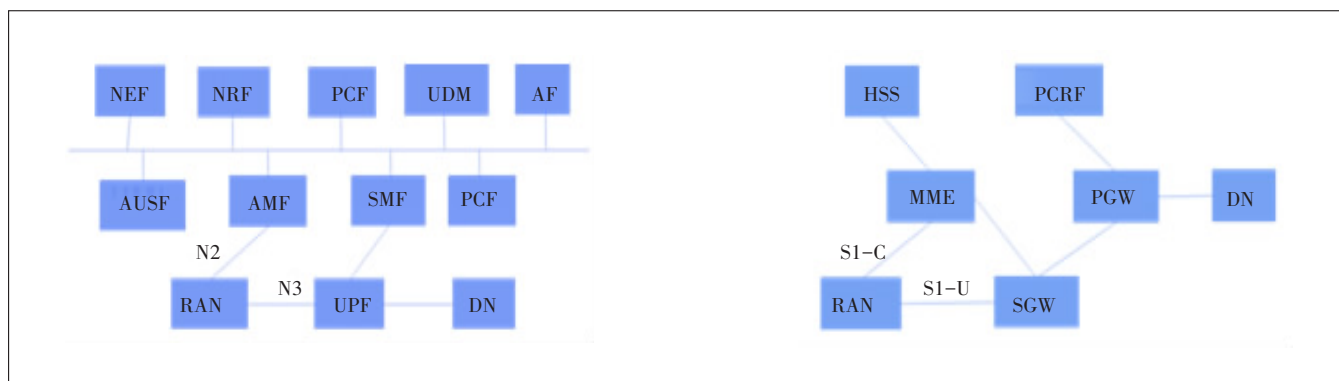


图3 5GC(左)及EPC(右)功能及架构

表1 EPC及5GC优劣势对比

对比项目	5GC	EPC
设备	基于通用化设备,基于服务化架构设计,灵活,可扩展性强	基于专用设备节点式部署
业务支持	支持网络切片,为不同业务提供定制化保障	不支持网络切片,主要面向eMBB业务
语音业务	不支持与2G/3G互操作,仅支持IMS语音	除VoLTE外,可向2G/3G CSFB
QoS支持	新的QoS架构设计,支持flow级别QoS控制	不支持flow级别QoS控制
时延及优化	支持INACTIVE第3态,优化切换降低时延等	相对较大
本地应用	天然支持边缘计算	不支持边缘计算,厂家私有方案
成熟时间节点	完全成熟需一段时间	升级R15支持5G用户接入,预计2018年初即可用

对EPC有较明显提升,但相对EPC,其产品成熟时间有待确定,且由于5G不支持与2G/3G互操作,因此仅可能通过IMS开展语音业务。

3 5G RAN组网方式分析

3.1 非独立部署系列对比分析

为快速引入5G,提升自身竞争优势,全球大部分运营商,如日本Docomo、北美的Vodafone等,都首先选择了Option3方式作为为5G用户提供业务的切入口,即核心网沿用EPC,将NR gNB连接至LTE eNB,UE通过eNB作为控制面锚点接入网络,NR仅作为数据传输分支。而中国三大运营商,选择何种方式作为5G部署的首选还未确定。Option3/3a/3x由于其用户业务数据流的处理方式不同,对应着LTE和NR的3种双连接方式,协议栈结构如图4所示。Option3下仅eNB和EPC之间存在用户面连接,eNB收到来自EPC的数据后在PDCP层进行分流,并转发给NR gNB,用户收到来自eNB和gNB的数据,在PDCP层进行合并。Option3a下eNB和gNB均和EPC存在用户面连接,两条数据链路相对独立。Option3x下,增加了SCG split bearer,即NR也可以作为用户面数据转发点,gNB收到5GC的数据后在PDCP层进行分流,部分转发给LTE eNB,用户收到来自2个基站的数据,在PDCP层合并。

对于Option3/4/7,不同系列数据传输方式大致相同,这里重点从性能、对现网的影响角度分析Option3

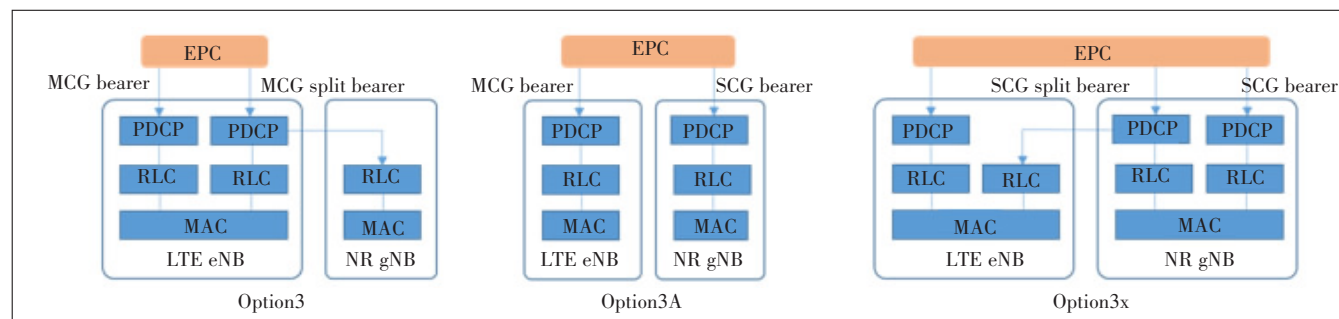


图4 Option3系列协议栈功能对比图



系列下不同组网架构的差异作为参考(见表2)。

综上所述可以看到,为降低对现有LTE基站的改动,充分利用LTE和NR空口资源,目前全球大部分运营商选择了Option3x展开5G快速部署。但是Option3x仍然存在一些问题需要讨论,如在移动过程中承载的快速转移,这些是运营商在部署过程中需要关注的。

3.2 不同组网方式对比分析

3.2.1 系统性能分析

在引言中提到,中国5G首发频段为3.5和4.8

GHz,这2段频率高于目前三大运营商拥有的所有频段,因此后续分析结论主要基于此前提条件。由于不同的组网架构,其核心网架构以及NR的引入方式不同,不同组网方式的系统性能存在一定程度的差异,具体见表3。

对于中国规划频段3.5 GHz,存在一个不可忽视的问题,即1.8和3.5 GHz之间的谐波和交调干扰问题,如图5所示。对于Option2来说,LTE和NR相互独立,基本无共存问题,仅在若语音业务VoLTE和NR数据

表2 Option3系列优劣势对比

对比项目	Option3	Option3a	Option3x
空口资源利用率	可在LTE和NR间动态分配流量,利用率高	LTE和NR传输不同承载,利用率低	可在LTE和NR间动态分配流量,利用率高
缓存需求	需LTE PDCP处理NR能传输数据量并转发	无需额外缓存	需NR PDCP处理LTE能传输数据量并转发
业务速率	单用户峰值速率可达LTE和NR之和	单用户单承载峰值速率为LTE或NR	单用户峰值速率可达LTE和NR之和
业务速率	需LTE转发,受限于LTE时延及数据合并时延	LTE和NR独立传输,无多余时延	需NR转发,受限于NR时延及数据合并时延
接口要求	需新增Xx-C、Xx-U接口 S1-U需扩容	需新增Xx-C、S1-U	需新增Xx-C、Xx-U接口 S1-U需扩容
传输网络需求	Xx-U接口需提供低时延传输;传输扩容满足NR高数据传输;除控制面流量外,新增LTE数据面需分流回传至CU,接入环带宽需求更高	传输扩容满足NR高数据传输	Xx-U接口需提供低时延传输;传输扩容满足NR高数据传输
基站影响	LTE eNB需升级支持双连接PDCP分流、流控功能等	LTE eNB几乎无影响	LTE eNB需升级支持接收gNB分流数据、流控功能等
核心网影响	EPC软硬件扩容支持5G用户高速率转发	同Option3,还需EPC支持双连接	理论上同Option3a,但实际应用可简化
UE移动性	UE在LTE站内不同NR站间移动,LTE可在NR站变化过程中传输数据,不会出现数据的中断,无核心网信令影响;UE从LTE和NR重叠覆盖,移至仅LTE覆盖区域,数据可以转移到LTE上传输,不会出现中断,无核心网信令影响	UE在LTE站内不同NR站间移动,需进行承载切换或转移,涉及核心网;UE从LTE和NR重叠覆盖,移至仅LTE覆盖区域,需进行承载切换或转移,涉及核心网	UE在LTE站内不同NR站间移动,需进行承载切换或转移,涉及核心网;UE从LTE和NR重叠覆盖,移至仅LTE覆盖区域,需进行承载切换或转移,涉及核心网,但是实现上来自CN的数据可仍然通过NR站转发给LTE,需NR站做PDCP的处理,可通过现网部署解决

表3 不同组网方式性能分析

对比项目	Option2	Option5	Option3x	Option4	Option7x
业务类型	引入5GC,可前向扩展支持三大类业务	引入5GC,可前向扩展支持三大类业务	连接EPC,主要支持eMBB业务	引入5GC,可前向扩展支持三大类业务	引入5GC,可前向扩展支持三大类业务
业务时延	和NR时延一致	受限于LTE时延	受限于LTE时延	受限于LTE时延	受限于LTE时延
业务速率	NR速率	LTE速率	可接近LTE和NR速率之和	同Option3x	同Option3x
移动性影响	NR连续覆盖范围内,切换时延无感知;移出NR覆盖区域,需与4G互操作,业务存在中断时延	移出连接5GC的LTE区域,需与连接EPC的LTE区域互操作,业务存在中断时延	仅需LTE站间切换,无NR站间切换;UE在LTE与NR重叠覆盖区域移出gNB,业务不中断	仅需NR站间切换,无LTE站间切换;移出NR覆盖区域,需与4G互操作,业务存在中断时延	同Option3x
负载均衡	LTE和NR难以均衡负载	-	通过双连接实现LTE和NR 5G用户负载均衡,有利于整网性能	同Option3x	同Option3x
对4G用户的影响	用户面性能无影响,控制面独立	LTE演进升级接入5GC,意味着原有LTE部分频率可能需翻频	用户面性能无影响,控制面RRC LTE与NR推动共享	用户面性能无影响,控制面RRC LTE与NR推动共享	用户面性能无影响,控制面RRC LTE与NR推动共享
终端产业链	预计2019年上半年	支持路标靠后,不明确	预计2018年底	支持路标靠后,不明确	支持路标靠后,不明确
系统实现复杂度	LTE和NR相互独立,继续LTE与NR互操作,实现复杂度低	LTE连接5GC,若和原LTE站点共基站,需考虑4G/5G用户网络选择问题	需实现双链接下节点管理,移动性等方面复杂度相对较高	同Option3x	同Option3x



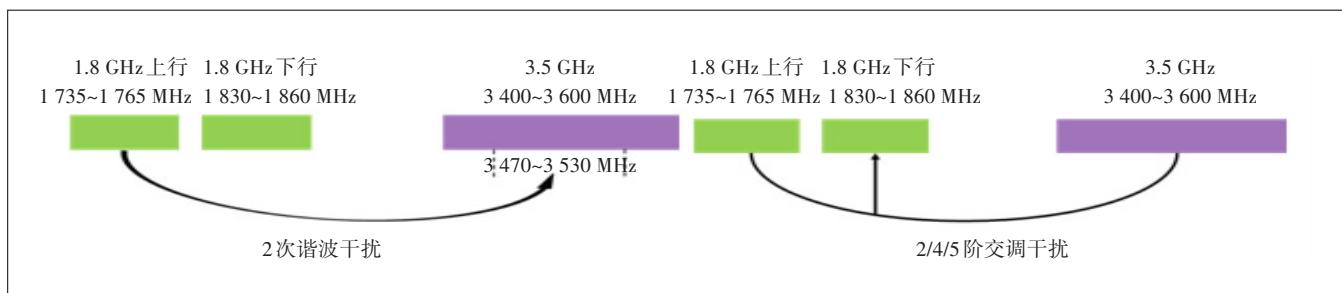


图5 1.8及3.5 GHz谐波和交调干扰

业务同时存在时会存在该问题。Option3x/Option4x/Option7x由于采用了双连接方式,因此LTE和NR需要同时发送,谐波和交调干扰问题较为严重,目前3GPP正在研究通过TDM或FDM的方式解决该问题。但无论是采用哪种方式,都是以牺牲数据速率为代价的。

从传输角度看,Option2架构下,5G独立部署,现有的传输网需要升级支持NR超高流量的需求。Option3x/4/7x架构下,4G/5G融合部署,数据流量可以通过新部署的5G CU层分流给LTE,因此,在CU位置高于LTE BBU部署位置或和LTE BBU同位置部署时,现有传输网络可满足LTE eNB基站流量,同时需要扩容支持NR数据流量。因此4种方式均可沿用原有传输架构,扩容需求基本相同。而对于Option5,仅仅是将LTE基站进行了连接5GC的增强。从流量上来看,和原LTE网络基本相似。

3.2.2 语音业务支持分析

在现有4G网络中,终端可通过VoLTE或CSFB到2G/3G网络实现语音业务。但由于5G标准在设计时未考虑与2G/3G之间的互操作,只支持与4G网络互操作,因此针对不同组网方式,运营商需要结合现有4G网络的语音解决方案选择不同的5G语音解决方案。

对于Option3,由于终端锚定在LTE上接入EPC,因此采用语音解决方案可以和原有LTE网络保持一致,即若原有LTE网络支持VoLTE,则采用VoLTE,若原有LTE网络支持CSFB,则采用CSFB方式。且语音业务连续性可依赖原有良好的LTE覆盖得到保障。

对于Option2等其他部署方式,由于采用5GC,语音方案则需要分情况进行讨论:

a) 若未部署IMS,这些组网方式均无法完成语音业务。

b) 若5G网络已对接IMS,但不支持IMS语音,需从5G网络EPS回落到4G网络上发起语音业务,回落到4G网络后的语音解决方案与原4G网络一致,对

于移动用户来说也将沿用原4G方案。该方案可以作为运营商在5G部署初期5G网络对语音业务的支持尚不成熟情况下的备选方案。

c) 若5G网络已对接IMS,且支持IMS语音,直接通过VoNR完成语音业务。

d) 对于采用VoNR的5G用户,从5G覆盖区域移动到4G覆盖区域,可切换到4G上保证语音连续性,但若从5G覆盖区域移动到2G/3G覆盖区域,由于5G目前不支持切换到2G/3G,语音业务将中断,目前运营商也在3GPP中推动5G到2G/3G的SRVCC,有望在R16版本中进行标准化。

3.2.3 网络改造部署分析

对于不同的组网方式,其或需新建,或需对现有LTE网络进行升级。由于目前全球运营商主要关注Option2和Option3x,因此本文从无线侧、核心网、OMC等角度对Option2和Option3x对LTE网络改造需求和NR部署新的需求进行总结归纳。

a) 从异厂家解耦角度看:由于Option2下LTE和NR完全独立,仅需通过重选或者切换进行互操作,因此易于实现互操作;对于Option3x,LTE和NR基站间需通过X2接口密切交互,严重依赖标准制定程度,异厂家部署难度非常大。

b) 从无线侧角度看:对于Option2,仅需进行简单升级支持LTE与NR空口互操作;对于Option3x,理论上仅需原有LTE基站软件升级支持双连接、节点间流控等功能,但由于原有LTE基站硬件设备能力可能受限,因此实际的改造需求还要视LTE基站设备能力而定。

c) 从核心网角度看:对于Option2,需部署新的5GC,且原有EPC需升级支持与5GC互操作;对于Option3x需升级支持新增的NR大数据流量,以及与NR的用户面连接。

d) 从各网元接口角度看:对于Option2,对原4G系



统影响小,只需在EPC开通和5GC的互操作接口即可。对于Option3x,需建立eNB和gNB间X2-C和X2-U接口,建立gNB和EPC间的S1-U。

e)从投资成本角度看:对于Option2,需新建5GC。同时由于中国首发5G频段较高,路损较大,独立组网达到连续覆盖所需站点数较多,虽可通过大规模天线波束赋形和SUL等方式进行覆盖增强,但这些技术能够带来的增强效率仍待验证,且大规模天线会导致单基站成本激增。对于Option3x,LTE和NR可协作组网,同时利用LTE的连续覆盖优势和NR的高速率优势,此种方式除需新建NR站点外,LTE现网面临较高成本的升级。因此2种方式的投资还需进行深入评估。

4 5G RAN演进路径分析

虽然目前从全球范围看,目前大部分运营商均选择了Option3x作为初期部署方案,但随着4G用户的逐步迁移和5G网络的更大规模部署,后续5G将如何持续演进还取决于运营商的投资成本、业务和终端演进方案等,本文以Option3x和Option2为起点,对几种可能的演进路径进行了探讨。

路径1:Option3x→Option7x+Option5。4G网络中更多的eNB基站升级接入5GC,同时原有的Option3xeNB部分带频率迁移到5GC,eNB和gNB间双连接保留,gNB和EPC的用户面连接也迁移至5GC。在这种方式下,gNB一直作为eNB的辅站,为兼容原有的Option3x-only终端和4G终端,Option3x架构仍需保留。此种演进方式,可充分利用原有的LTE基站广覆盖优势,并且进行快速网络升级支持5GC下的多种业务类型。但对于独立接入5GC而没有与gNB进行双连接的eNB来说,其支持的速率将受到原LTE带宽的限制,同时由于进行了部分频率翻频,原有4G网络速率将降低,因此更适用于满足郊区或农村地区的5G业务需求。

路径2:Option3x→Option7x+Option2。原有的Option3xeNB部分频率迁移到5GC,eNB和gNB间双连接保留,gNB和5GC间建立控制面和用户面连接,同时在其他区域新建gNB进行补热、补盲或广覆盖。同样地,在此种方式下,为兼容原有的Option3x-only终端和4G终端,Option3x架构仍需保留。此种演进方式,可充分利用原有已部署LTE和NR双连接并且支持NR用户的独立接入。但由于NR频率较高,更适于补

热,在缺乏低频的情况下,独立部署为满足连续覆盖,后期投资较大。

路径3:Option3x→Option3x+Option2。在原有Option3x网络下,gNB和5GC间建立控制面和用户面连接,新建gNB进行补热、补盲或广覆盖。此种方式可尽可能地保护初期投资,eNB无需进行二次翻频。但由于NR频率较高,更适于补热,在缺乏低频的情况下,独立部署为满足连续覆盖,后期投资较大。

路径4:Option2→Option2+Option5。以Option2为起点,网络可逐步扩大Option2的覆盖范围,也可逐步将原有4G网络部分翻频接入5GC。为保证4G终端后向兼容性,原有4G网络需部分保留。此种方式适用于,初期采用NR满足热点覆盖,后期通过部署更多NR基站满足更多地区高速率需求,翻频LTE满足速率要求较低的广覆盖区域的部署需求,可尽可能利用原有4G网络来降低后期投资成本。此种演进方式在初期建设即可保证网络中业务的多样性。

5 结束语

未来5G面临多种基站设备形态和组网方式演进路径。在5G快速临近的当下,运营商根据自身基础设施条件、系统性能、业务发展规划及投资成本等选择合适的无线组网架构以及演进路径,可以说是运营商最迫切需要评估并作出决策的。本文针对这些问题进行了详细的分析。

参考文献:

- [1] NR and NG-RAN Overall Description: 3GPP TS 38.300[S/OL]. [2018-07-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [2] Study on new radio access technology: 3GPP TS 38.801[S/OL]. [2018-07-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [3] NG-RAN architecture description: 3GPP TS 38.401[S/OL]. [2018-07-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [4] 王冬冰,王洪亮,杨永军,等.面向5G C-RAN组网模式在现网中的应用[J].电信科学,2018(s1).
- [5] 高新喜.论C-RAN下的5G无线接入网架构[J].通讯世界,2017(6):51-52.
- [6] 雷秋燕.5G异构无线网络中Wi-Fi分流技术研究[D].重庆:重庆邮电大学,2016.

作者简介:

黄蓉,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要从事无线移动通信相关技术研究及标准化工作;王友祥,高级工程师,博士,主要从事5G新技术研究及试验工作;刘珊,毕业于北京交通大学,硕士,主要从事5G网络架构及高层协议研究工作。

