

5G无线网络架构对传输网的影响

Impact of 5G Wireless Network Architecture on Transport Network

许森/XU Sen

高程/GAO Cheng

卞宏梁/BIAN Hongliang

(中国电信股份有限公司北京研究院,
北京 102209)
(China Telecom Beijing Research Institute,
Beijing 102209, China)

5G无线网络的设计目标是多种不同类型的业务提供满意的服务。这些典型业务通常分为三大类:增强型移动宽带(eMBB)业务、面向垂直行业的大规模机器类通信(mMTC)业务、超可靠低时延(uRLLC)^[1]业务。不同的业务对于移动网络空口能力、架构等存在一定的差异,这些差异主要体现在时延、空口传输以及回传能力等方面:

(1)移动宽带业务。主要包括大带宽和低时延类业务,如交互式视频或者增强/虚拟现实(AR/VR)类业务,相对于3G/4G时代的典型业务而言,其对于用户体验带宽、时延等都有明显的差异。

(2)大规模机器通信连接业务。该类型业务是5G新拓展的场景,重点解决传统移动通信无法很好地支持物联网及垂直行业应用的问题。这类业务具有小数据包、低功耗、海量连接等特点。这类终端分布范围广、数量众多,不仅要求网络具备超千亿连接的支持能力,满足 $10^5/\text{km}^2$ 连接数密度指标要求,而且还要保证

收稿日期:2017-12-15
网络出版日期:2018-01-06

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2018)01-0006-007

摘要: 为了满足3种5G典型业务的覆盖和容量的需求,5G网络中引入了非独立和独立部署4G和5G组网架构以及集中单元(CU)/分布单元(DU)分离的设备形态。新的无线网络架构对于未来传输网的部署也提出了新的挑战。基于当前5G网络架构的标准进展,从无线网络的角度分析了5G网络架构对传输网的影响和需求。

关键词: 5G网络;非独立组网;CU/DU分离;传输网络

Abstract: To satisfy the coverage and capacity for 5G typical traffic, the non-standalone and standalone deployment for 4G and 5G and a new base station type with centralized unit (CU) /distributed unit (DU) splitting have been introduced in future 5G network. The new wireless network architecture brings challenges to the transport network deployment. Based on the standardization progress of 5G network architecture, the impact and requirement of 5G wireless network architecture on transport network are analyzed from the perspective of wireless network.

Keywords: 5G network; non-standalone deployment; CU/DU splitting; transport network

终端的超低功耗和超低成本。因此5G网络中支持如此巨大的数目需要设计合理的网络结构,以降低网络部署成本。

(3)低时延高可靠需求。当前一些新兴业务对于时延和可靠性都提出严苛的要求。这类业务最低要求支持小于1ms的空口时延以及在某些场景里达到较高的传输可靠性。传统的蜂窝网络设计无法满足为这些特殊场景通信的可靠性需求,因此为了满足此类业务的需求,蜂窝网和传输网的可靠性和实时性都面临着极大的挑战

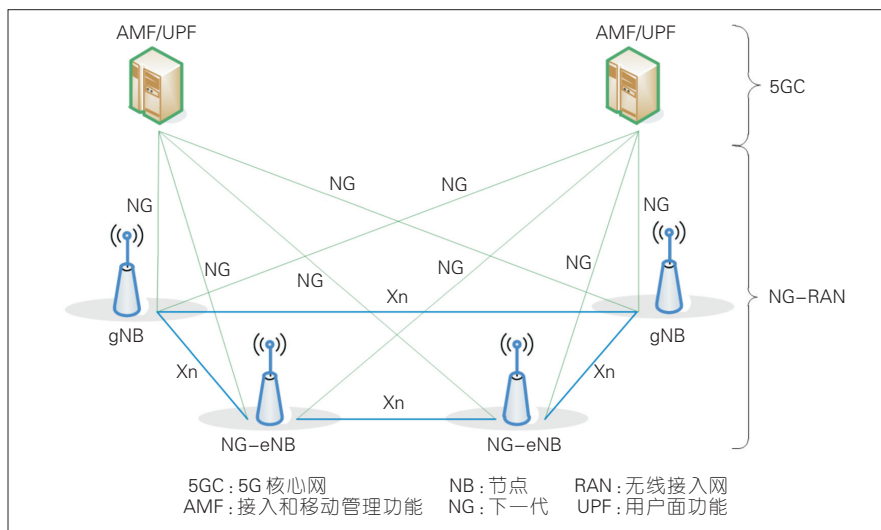
基于上述需求,第3代合作伙伴项目(3GPP)从2017年3月后正式展开了针对5G空口技术以及网络架构的标准化工作,如图1所示。当前5G下一代无线接入网(NG-RAN)中无线网络包括基于长期演进(LTE)

空口的以及基于5G新空口的两种类型的基站^[2]。

两种类型基站在覆盖、容量、时延、新业务支持等方面都存在较大的差异。

(1)连接到5G核心网的下一代演进型节点(NG-eNB):该类型基站是在现有的4G网络上进行升级以支持5G的相关特性,因此通常可以认为NG-eNB网络支持多数的业务的连续覆盖。由于该类型基站的物理结构(如天线、帧结构等)仍然采用4G空口,因此其无法支持超低时延、超高速率的业务,无法满足5G定义的全部关键绩效指标(KPI)指标的要求。这种类型的基站对于前传和回传网络的需求基本可以认为与当前的4G无线网络相同。

(2)基于5G新空口的下一代节点(gNB):理论上可以满足5G定义的



▲图1 NG-RAN无线网络架构

所有关键绩效指标(KPI)需求及支持所有5G典型业务,相比于NG-eNB, gNB可以支持更高的空口速率,因此这种类型的基站对于前传和回传的带宽和时延都提出了更高的要求。

因此针对3GPP新业务的需求以及现网实际情况,运营商在未来的5G部署时需要充分考虑两网的能力特点来选择业务的支撑方案。

在标准中gNB的形态包括了类似于4G eNB的一体化基站以及集中单元(CU)/分布单元(DU)分离两种基站类型。图2给出了5G网络中不同类型的无线网元之间的架构和相关接口。在实际网络部署中, NR-

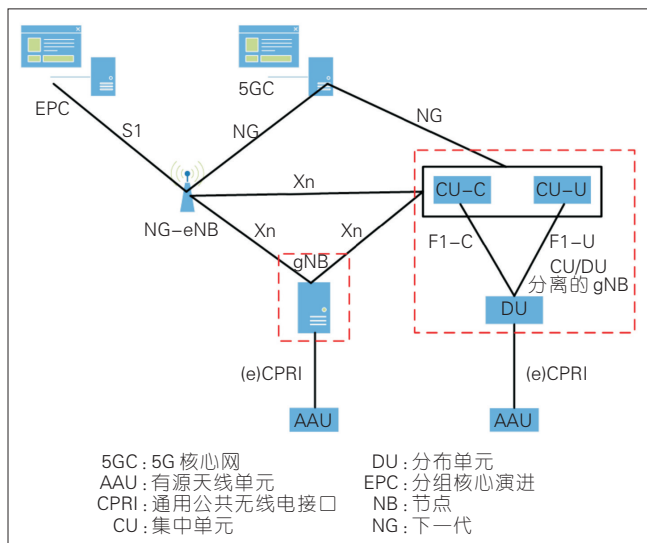
gNB及CU/DU不同部署位置对于传输网络都提出了不同的需求。

1 SA/NSA标准进展

针对4G和5G网络之间的协作关系,3GPP在SI阶段定义了独立部署(SA)和非独立部署(NSA)等不同类型的架构,主要包括Option 2、Option 3/3a/3x、Option 4/4a、Option 5、Option 7/7a/7x。其中NSA架构主要以3GPP Rel-12/13标准中双链接方案为参考进行设计。

1.1 Option 2(NR SA)

该方案在标准中是一种新空口



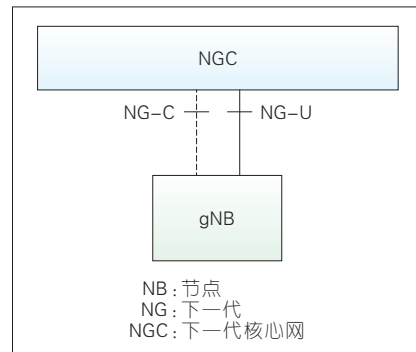
◀图2
5G网络中不同类型的无线网元之间的架构和相关接口

(NR)独立组网的方案,其架构的特点为:(1)5G NR gNB连接到5G的核心网;(2)NR基站连接到5G核心网。在与现有的4G网络混合部署时,Option 1(Legacy LTE)+Option 2形成了两张独立的网络,为了保持业务连续性现网LTE和分组核心网(EPC)需要升级去支持跨核心网的移动性。该方案计划于2018年6月完成标准冻结工作。Option 2架构如图3所示。

1.2 Option 3/3a/3x

本架构在标准上是非独立组网方案之一,也被称为EN-DC方案,其特点是:(1)LTE基站作为控制面的锚点接入到EPC网络中, NR不需要支持S1-C接口和协议;(2)对于Option 3, NR作为LTE的一个“新载波”类型接入;(3)3a/3x方案NR需要支持S1接口。该方案已经在2017年11月美国召开的会议中完成标准的冻结。Option 3/3a/3x架构如图4所示。

该方案中存在3个子方案:在Option 3中,用户面承载锚点位于LTE侧,采用类似于双链接3C方案,该方案通常也被称为主小区组(MCG)分离承载,其中该承载的分组数据汇聚协议(PDCP)采用NR PDCP协议以保证在承载转换过程中终端侧无需进行PDCP版本的变化;在Option 3a中,用户面承载通过gNB进行发送,采用类似于双链接1A方案,该方案也被称为辅小区组(SCG)承载;对于Option 3x的方案,用户面承



▲图3 Option 2架构

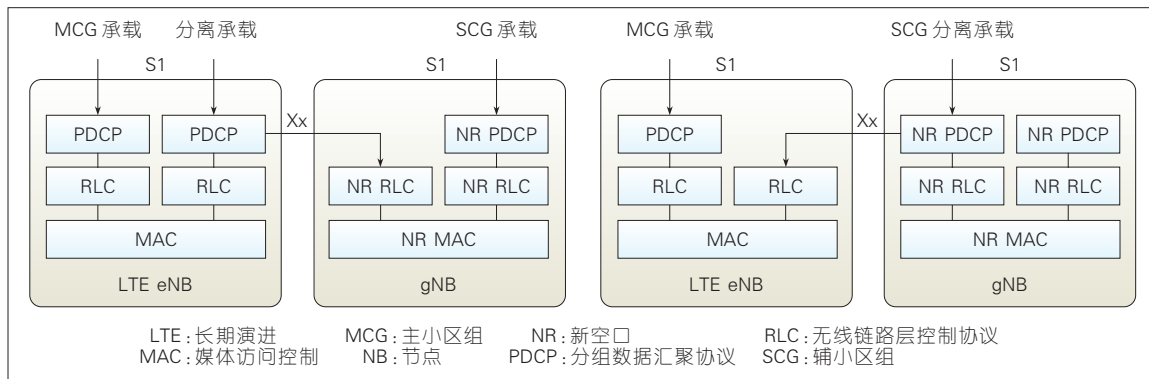


图4 Option 3/3a/3x架构

载的锚点位于gNB,该方案也被称之为SCG分离承载。其在Rel-15中引入的原因主要有两个:(1)减少NR和LTE之间的Xn接口的前转流量(基站间传输带宽需要满足LTE的峰值流量需求,而MCG分离承载中基站间传输带宽需要支持5G的峰值需求);(2)考虑到5G高频段(如毫米波)上信号存在不稳定的现象,在NR传输中一旦出现中断,可以利用LTE的覆盖的连续性和稳定性保证用户速率的快速恢复。

1.3 Option 7/7a/7x

Option 7/7a/7x方案与Option 3/3a/3x类似,都是一种非独立组网的方案,都采用LTE作为锚点进行控制面和用户面传输。在标准中被称为NG EN-DC方案,计划在2018年6月与Option 2一起完成标准的冻结工作。与Option 3系列的主要差异在于LTE需要连接到5G核心网,且LTE需要升级支持NG-eNB,包括协议栈上需要支持新的服务质量(QoS)协议层服务发现应用规范(SDAP)、支持NR的PDCP协议、NG/Xn协议等。

1.4 Option 5

本架构为NG-eNB独立连接到5G的核心网,本架构可以认为是Option 7的一个子状态,无论是网络还是终端若要支持Option 7系列必须要支持Option 5。具体的架构特点为:(1)NG-eNB基站连接到无线接入(NR)核心网,5G终端通过NG-eNB

连接到5G核心网;(2)NG-eNB同时连接到4G的EPC,传统4G终端通过NG-eNB连接到4G核心网;Option 5需要升级现网LTE以支持其连接到5G核心网,基站协议栈改动相对Option 2较多。

1.5 Option 4/4a

该架构的特点是NR gNB作为锚点接入到5G核心网中,如图5所示。LTE作为NR gNB的一个特殊的载波类型接入,其中对于4a方案LTE需要支持NG-U接口。Option 4/4a采用了NR作为锚点,因此通常应用在NR已经连续覆盖的场景中。在当前的3GPP Rel-15的标准研究过程中,Option 4/4a被列为较低的优先级。

2 CU/DU分离的标准进展

2.1 分离的需求

对于5G gNB,当前标准中支持CU/DU合设和分离的两种部署方案。在合设方案中,一个基站实体上实现的全部的协议栈功能。这个架构可以适用于密集城区和室内热点场景。对于CU/DU分离架构,5G协

议栈中的上层功能位于CU中,而底层协议栈位于DU中。引入CU/DU分离的动机,在3GPP的标准研究过程中主要有如下几个方面^[3]:

(1)硬件实现灵活,可实现节省成本;

(2)CU和DU分离的架构下可以实现性能和负荷管理的协调、实时性能优化,并易于实现SDN/NFV功能;

(3)功能分割可配置能够满足不同应用场景的需求,如传输时延的多变性。

在实际部署中采用合适或者分离部署,主要取决于网络部署场景、业务类型以及传输网性能等因素。

此外5G网络高速、低时延的特点也对传输网提出了挑战:

(1)前传接口带宽需求。考虑到毫米波将支持1 GHz系统带宽以及256通道天线。根据现有射频拉远单元(BBU)/远端射频模块(RRU)的功能划分,前传接口带宽要求随着载频频带带宽以及天线通道数量成线性增长的关系。即便在考虑使用64通道、20 MHz带宽,仍需要近64 Gbit/s的前传接口带宽。

(2)传输时延。考虑到当前LTE

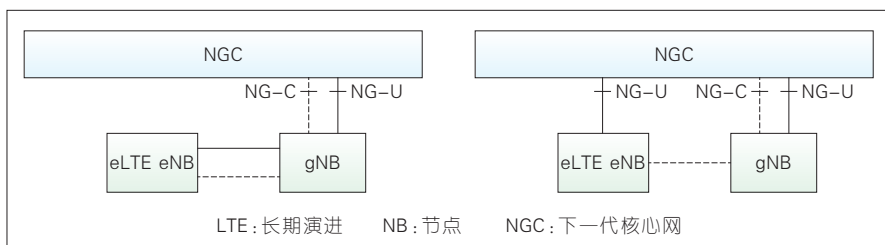
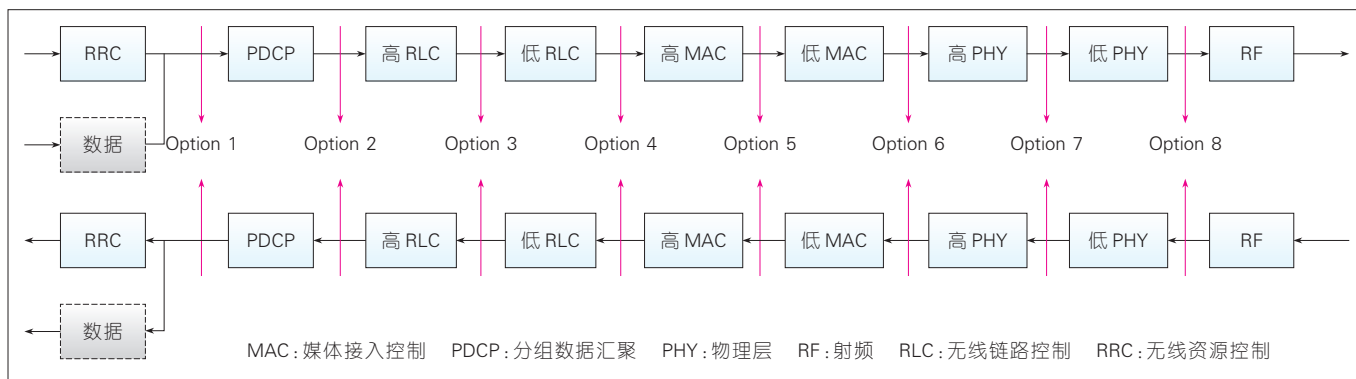


图5 Option 4/4a架构



▲图6 8种CU/DU划分方案

协议要求用户UE侧与系统侧的混合自动重传请求(HARQ)交互时间是固定的,若将CU/DU功能划分点仍放在HARQ过程中,对CU芯片处理时延和传输设备时延的挑战依然很大;若CU/DU功能切分点放置于HARQ以外,对CU芯片处理时延和传输设备时延的要求有所放宽,但会有过多功能前置于远端位置,将会影响多载波的协作化性能。

在CU和DU之间新定义了一个F1的新接口,用于传输控制面配置信息、用户信令以及用户面数据等信息。在CU内部控制面和用户面在部署时也可以分离,以满足不同类型业务对于时延和集中管理的差异。标准中定义CU控制面(CU-CP)和CU用户面(CU-UP)之间的接口为E1。一个逻辑DU可以支撑多个物理小区,但是逻辑上只能属于一个CU,为了可扩展性考虑能分别为CU-CP和CU-UP提供多个传输点。在5G的SI阶段,针对CU/DU划分共有8种大的划分方案。其中Option 1—4被定义为高层划分方案,而Option 5—8被定义为底层的划分方案。这8种划分方案从实现的角度来看都是可行的,但是为了减少后续开发的复杂度,无法同时支持上述8种方案,如图6所示。因此在Rel-15 WI开始时确定了Option 2-1作为高层划分方案的标准化对象;而对于底层切分方案,考虑到各个厂家在物理层实现上差异较大较为难以标准化,因此在2017年

11月完成底层切换方案的研究中确定不会标准化任何一种划分方案,由厂家在部署中实现决定。

2.2 高层划分方案(Option 2-1)

在Option 2-1中,CU完成无线资源控制(RRC)、PDCP层的功能和小区调度,在DU中完成无线链路层控制协议(RLC)、多媒体接入控制(MAC)、物理层(PHY)的功能和单小区调度。在标准讨论过程中,高层划分方案采用Option 2-1还是Option 3-1是存在争议的。其中Option 3-1是基于自动重传请求(ARQ)进行的划分,其特点为:低RLC包含分段和拼接功能,位于DU;高RLC包含ARQ以及重排序功能,位于CU。其中Option 2-1的优势在于:

- PDCP-RLC划分方案可以复用3GPP Rel-12标准化方案中已有的LTE双连接架构和接口;

- LTE-NR紧互操作的对齐以及功能划分至少在用户面上对4G向5G的迁移有利;

- 与Option 3-1相比(ARQ在CU侧),Option 2-1没有RLC PDU重传的时延。如图7所示,CU/DU之间传输时延较大时,Option 2-1可以有效提升用户吞吐量。

认为Option 3更优的观点如下:

- 在非理想传输条件下,由于ARQ和重排序在CU侧,Option 3-1具有更好的传输可靠性;

- ARQ在CU侧可以提供集中化

以及池化增益;

- 传输网络的错误可以通过CU端到端的ARQ机制进行修复,这种机制可以给重要数据以及控制面信令提供保护;

- 由于没有RLC状态信息,因此没有UE上下文,没有RLC功能的DU可以处理更多连接态的UE;

- 由于没有ARQ协议,DU可以减少运算和缓冲的需求。

最终3GPP选择了标准化相对简单且性能更佳的Option 2-1方案作为高层划分的最终方案。

2.3 底层划分方案

底层划分方案主要集中在Option 7,即物理层的划分方案。标准讨论初期根据实现方式的不同,又划分出3个子方案,如图8所示。其中允许对上下行分别使用不同的Option(如Option 7-1用于上行,Option 7-2可用于下行)。CU和DU间的传输带宽可以使用一定的压缩技术进行减少。在2017年11月的美国会议中根据RAN1的相关结论,标准中认为所有的划分方案仅仅是一个参考方案,主要考虑到标准和实现上顺序可能无法按照图中所示进行设计,并且不同类型的业务如mMTC等其物理层处理功能和过程与eMBB可能会存在差异。

相对于其他划分方案,物理层划分方案的技术优势包括:

- 此Option能够使得NR以及演

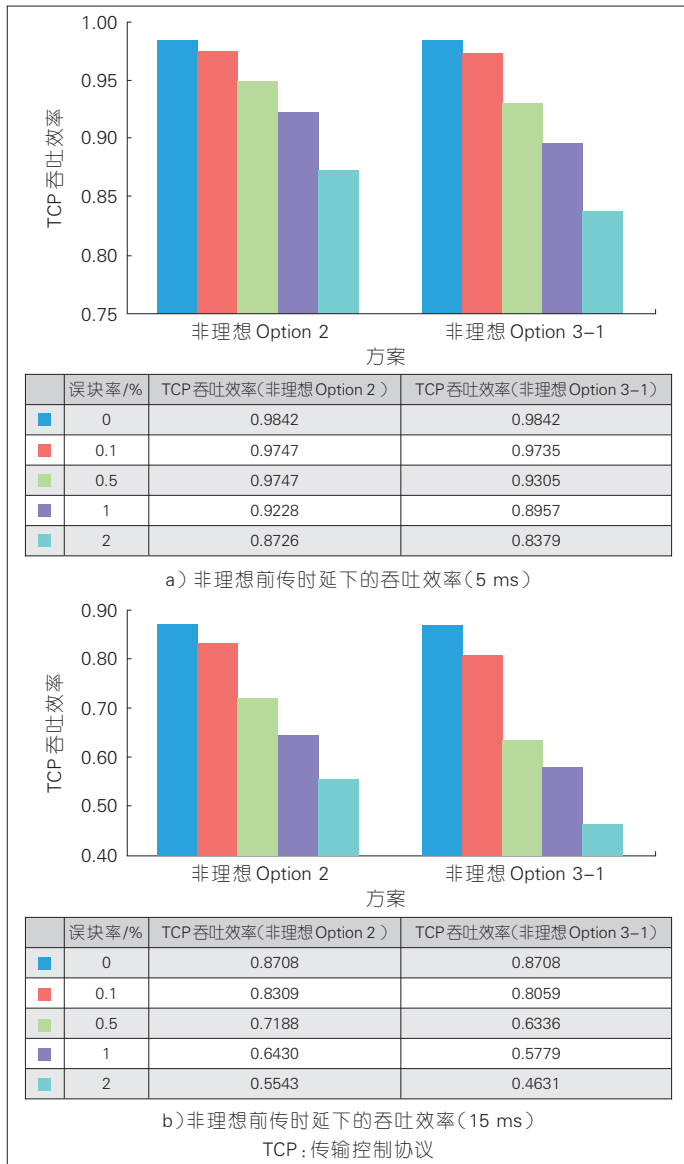


图7 Option 2与Option 3在非理想前传时延下(5 ms和15 ms)的吞吐效率

进的UMTS 陆面无线接入(E-UTRA)集中化的传输点获得流量聚合。此外,此Option也能够便于管理NR与E-UTRA之间的流量负载;

- CU侧可使用集中调度,如多点协作(CoMP);

- CU侧可使用联合处理。

同时该方案在实现和部署上也存在着一定的挑战,如需要CU侧PHY层和DU侧PHY层子帧级别时间交互,对传输网络时延也有着较高的要求。

3 对传输网的影响分析

3.1 SA/NSA架构对于Xn和NG接口带宽的影响

(1) Option 3/3a/3x

Option 3/3a是激进运营商急于部署5G业务时的过渡场景(如DoCoMo、AT&T等),其架构本质上仍然是一个4G+增强网络,需要LTE硬件改造或升级EPC实现特殊的会话管理功能,和其他场景不兼容。当采用Option 3时,由于LTE侧需要聚合LTE和NR的空口速率,因此S1的带宽需要大幅度提升,并且LTE和NR之间若不采用合适部署方案,则基站接口之间的带宽也需要大幅度提升,在LTE中X2接口通常用于传输X2信令以及切换时数据前传,一般规划带

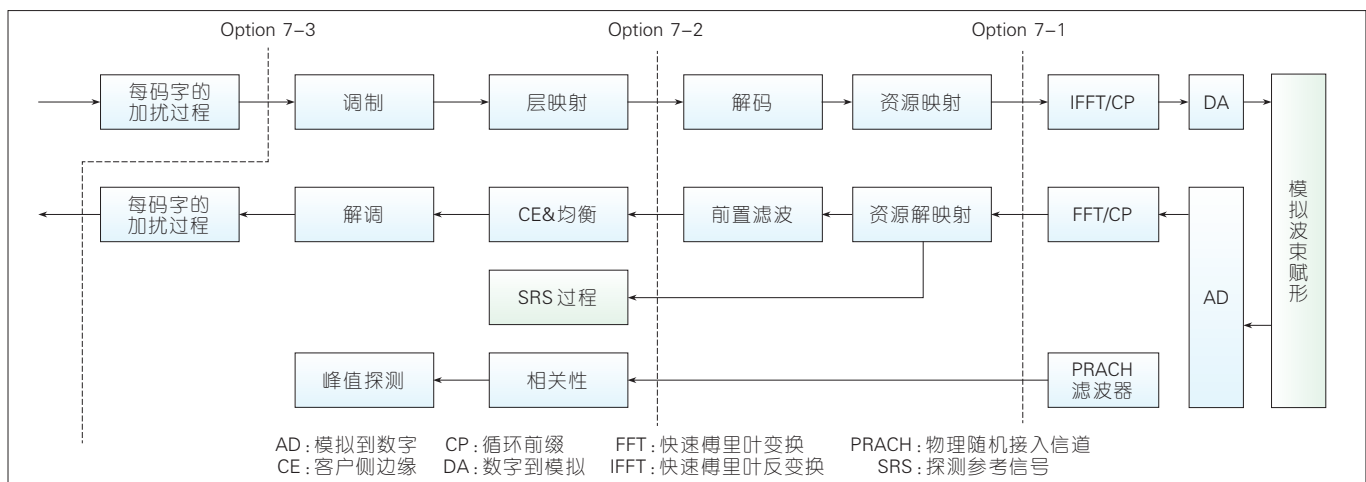


图8 Option 7的不同划分子方案

宽为S1接口的5%~10%，因此一般也就是几兆比特每秒到十几兆比特每秒的量级。若支持Option 3则需要提升吉比特每秒的量级，因此该方案多数运营商缺乏足够兴趣。而3a/3x方案无需改变现有S1接口的传输带宽，其中考虑到3x方案可以支持更好和更稳定的用户体验，受到一些运营商和芯片商的支持，相对于现有X2带宽需要升级基站间接口的带宽至百兆比特每秒量级。

(2) Option 4/4a 和 Option 7/7a/7x

Option 7/7a 利用LTE作为基础覆盖，当前计划支持的运营商也较多；Option 4/4a 利用5G作为锚点，通常应用在5G部署中后期，对于5G连续覆盖有一定要求，支持的运营商相对7/7a较少。其中对于Option 4和7/7x而言有如下优缺点。

- 优点：用户面汇聚效果好，针对5G高频“闪断”情况可以保持承载的连续发送；

- 缺点：Option 7用户面锚定点在LTE，LTE的PDCP需要支持NR的大容量汇聚，提供大容量的buffer，从而要升级LTE硬件设备；Option 7需要增加NG、Xn的传输容量；不利于异厂家组网。

其中，对于Option 4a和7a而言有如下优缺点。

- 优点：LTE硬件改造需求相对较小，利于异厂家组网；

- 缺点：LTE和NR之间用户面切换的中断时延较大。

其中Option 7/7a/7x对于传输带宽的需求与Option 3/3a/3x类似。

(3) Option 2 和 Option 5

Option 2支持5G全业务，5G网络演进的最终形态，在部署上有着如下结论：

- 非移动类超低时延和高容量业务可以考虑通过纯5G网络支持；为了改善部分低时延类业务的体验，可以下沉部分核心网功能，减少基站与核心网之间的传输时延；

- 5G成规模连续覆盖时，可以考

虑采用纯5G网络支持；

- 相比于4G网络，NG接口传输带宽需要提升至吉比特每秒量级以满足5G高速空口的需求。

Option 5本身是Option 7/7a/7x的一个特例，从需求角度有如下结论：

- 纯NG-eNB网络难以支持5G全业务，特别是低时延类业务。为了改善部分低时延类业务的体验，可以下沉部分核心网功能，减少基站与核心网之间的传输时延。

- 基站到核心网（4G和5G核心网）之间的总传输带宽（S1+NG接口）与改造前相同。

3.2 CU/DU划分对于前传和中传带宽的需求

我们把高层划分中F1接口所需要的传输网称之为中传，把DU到有源天线系统(AAU)之间的接口所需的传输网称之为前传。

对于高层划分方案（Option 2-1），其适用部署场景包括综合业务接入区、室分系统等。综合业务接入区场景下的下一代前传接口应用是指以综合业务接入区为单位，对区内的分布式基站，利用接入区内原有的光缆网连接，选择合适的传输技术如波分复用(WDM)/光传送网(OTN)/下一代无源光网络(NG-PON)/分组传送网(PTN)，连接CU和DU，实现BBU的集中部署，原有光缆网承载中传接口数据；在室分系统部署中，可以考虑利用楼内预先部署的丰富网线资源承载下一代前传接口数据，实现CU与DU间的通信。对于中传的带宽和时延需要满足如下条件：

(1) 传输带宽。对于5G情况，以6 GHz以下频带、100 MHz带宽为例，假设在基站128天线配置下，上下行端口数为8，上行满负载时最高调制阶数为64 QAM，下行满负载时最高调制阶数为256 QAM，最大用户数为1 000，上下行峰值速率为3 Gbit/s和4 Gbit/s。下行接口信息带宽跟预选UE/Bearer的数量相关。根据前面假

设每载波1 000个UE，假定10%的UE被预选，每UE一个无限承载，每个UE包含20 B信息。这样所需的带宽为 $1\ 000 \times 10\% \times 20\ B \times 8 = 16\ 000\ bit/ms$ ，即16 Mbit/s。上行接口信息带宽与需要上报信息的用户数量和上报的内容相关。前面假设每载波1 000个UE，假定10%的UE有信息上报，每个UE上报的信息为30 Bytes。这样以来所需的带宽为 $1\ 000 \times 10\% \times 30\ B \times 8 = 24\ 000\ bit/ms$ ，即24 Mbit/s。因此，在基于调度的L2划分方案下，每载波下行和上行总带宽分别为：下行4 016 Mbit/s，上行3 024 Mbit/s。

(2) 传输时延。由于将HARQ部分处理放到DU侧，本方案中的前传接口传输将不受LTE最大混合自动重传请求(HARQ)响应时间4 ms的时序限制。基于当前LTE业务端到端的时延要求，对F1接口的时延按照当前S1接口的传输时延要求即可。经初步仿真和评估，在只考虑CS/CB协作增益的情况下，F1接口最大单向端到端时延要求为1.5~10 ms。如果未来业务对端到端时延的要求变化，则此时延要求需要从新评估。

对于前传接口的需求，本节以Option 7-2为例，从以下两个维度进行分析：

(1) 传输带宽。考虑到5G场景时，以6 GHz以下频带100 MHz带宽、0.2 msTTI为例，假设在基站128天线配置下，上行端口数为32，下行为8。上行数据带宽都将增至4G的20倍，下行为20倍。下行控制信道按端口数4，上行按数据信道端口数进行带宽需求计算。而根据MAC层信息相关假设，该方案所需的带宽为：下行9.2 Gbit/s，上行60.4 Gbit/s。

(2) 传输时延。基于4G场景，该划分方案在物理层进行划分，受LTE最大单向时延4 ms（HARQ周期4 TTI）的时序限制，假设空口时延需要1 ms，其余部分将需要在剩下的3 ms完成。这其中主要包含DU的处理时延、CU上的处理时延（物理层和上层

处理)和CU-DU之间的传输时延。因此刨除了两端处理时延后,前传接口传输最大单向端到端时延需要控制在250 us以内。由于5G将比4G有着更严格的端到端时延要求,比如在0.2 msTTI假设下,整个HARQ响应时间估计在600 us左右,留给数据传输的时间将进一步减小,因此对传输网络时延和抖动的要求会更高。

4 结束语

5G无线网络为了满足不同业务以及运营商的部署需求,引入了NSA和SA两种4G和5G网络部署方案,以及CU/DU分离的基站架构。本文介绍了当前5G无线网络的标准进展,并结合现有架构分析了5G无线网络架构部署方案,特别针对传输网的需求进行了分析。分析结果表明:5G无线网络对于传输网的带宽和时延都提出了严苛的要求,后续在部署过程中需要根据业务需求和网络发展需要合理规划传输网络以保证5G

用户的体验。

参考文献

- [1] Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies: 3GPP TR 38.913 V14.0.0[S]. 2016
- [2] NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 15): 3GPP TS 38.300, V1.0.1 [S]
- [3] Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces: 3GPP TR 38.801 V14.0.0[S]. 2017
- [4] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Overall Description: 3GPP TS 36.300 V14.2.0[S]. 2017
- [5] IAESI, Thales, Fairspectrum, VTT, Option 2 Split with Performant and Reliable CU-DU Connection: R3-170973[S]. USA: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting#95bis, 2017
- [6] CATT. Further Clarification of CU-DU Split Option 3-1: R3-170381[S]. Greece : 3GPP TSG RAN WG3 Meeting, 2017
- [7] Nokia. Conclusion on Higher Layer Split Option: R3-170419[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017
- [8] ZTE. Clarification on CU-DU Split Options: R3-162852[S]. USA: GPP TSG RAN WG3 Meeting#94, 2016
- [9] Ericsson. Network Deployments Based on Option 2: R3-170683[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017
- [10] Ericsson. Performance Evaluation of Option 3: R3-170685[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017

[11] X2 Interface User Plane Protocol:3GPP TS 36.425 V12.1.0 [S]. 2015

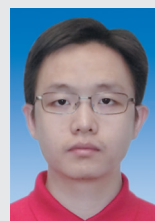
作者简介



许森, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术与规划部技术总监、高级工程师; 主要研究方向为3GPP标准化、5G新技术研究和测试; 已发表论文10余篇。



高程, 中国电信股份有限公司北京研究院工程师; 主要研究方向为3GPP标准化、5G新技术研究和测试等。



卞宏梁, 中国电信股份有限公司北京研究院工程师; 主要研究方向为频率标准化、5G新技术研究和测试等。