

5G 双连接技术应用分析

Application Analysis of 5G Dual Connection Technology

刘毅¹, 张阳², 郭宝³(1. 中国移动通信集团山东有限公司, 山东 济南 250001; 2. 中国移动通信集团公司, 北京 100033; 3. 中国移动通信集团山西有限公司, 山西 太原 030032)

Liu Yi¹, Zhang Yang², Guo Bao³(1. China Mobile Group Shandong Co., Ltd., Jinan 250001, China; 2. China Mobile Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 3. China Mobile Group Shanxi Co., Ltd., Taiyuan 030032, China)

摘要:

5G 与 LTE 双连接, 两者优势互补, 在不同制式、不同频段、不同站点和不同业务诉求之间实现有效的区域级协同和灵活高效的分配资源, 是实现 5G NR 早期快速部署和网络平滑演进的有效途径。分析了 5G 与 LTE 双连接应用的必要性, 研究了 5G 的双连接架构特点, 探讨了 5G 的双连接架构选择思路, 为未来 5G 网络双连接技术的应用提供了参考。

Abstract:

5G and LTE dual connectivity, which complement each other's advantages, achieve effective regional coordination, flexible and efficient resource allocation between different systems, different frequency bands, different sites and different business demands, is an effective way to realize the early rapid deployment of 5G NR and the smooth evolution of the network. It analyzes the necessity of 5G and LTE dual connection application, studies the dual connection architecture of 5G, and discusses the choice of dual connection architecture of 5G, which provides reference for the application of the 5G network dual connection technology in the future.

Keywords:

5G; Network architecture; Dual connectivity; Non-stand alone; Coverage prediction

引用格式: 刘毅, 张阳, 郭宝. 5G 双连接技术应用分析[J]. 邮电设计技术, 2019(11): 60–64.

0 引言

未来的 5G 网络建设中, 既可以独立组网(SA), 采用 5G 站点进行宏覆盖, 也可以非独立组网(NSA), 采用 5G 微小区进行热点覆盖。在 NSA 网络架构中, 出现了一种全新的网络形态, UE 同时连接 4G 与 5G 接入网(E-UTRAN 和 NR), 4G 与 5G 接入网共用一个核心网(EPC+或 NGC), 与传统的网络架构场景相比, NSA 架构下接入侧的移动性管理变得更加复杂。

本文针对 NSA 场景的 4G–5G RAN 侧互操作中的

双连接(Dual Connectivity)进行分析, 研究了 5G 与 LTE 双连接架构及特点, 探讨了 5G 双连接技术应用对网络规划部署、网络承载、覆盖、容量及移动性管理的影响, 为未来 5G 网络建设中 5G 与 LTE 双连接应用提供了思路。

1 5G 与 LTE 双连接分类及架构

1.1 5G 与 LTE 双连接概述

在未来 5G 网络建设中, 不管是采用 NSA 还是 SA 组网方式, 4G LTE 与 5G 网络都将在很长一段时间内共存。5G 引入 NSA 的网络架构, 其初衷是通过升级现有 4G 核心网快速部署和商用 5G, 即在不部署 5G 核心

收稿日期: 2019-09-18

网的情况下,仅部署5G接入网来达到5G网络部署和商用的目的。相对于传统的具有独立接入网和核心网的2G/3G/4G网络,5G NSA并不具备独立的核心网,而是LTE与NR共用核心网,初期LTE与NR共用升级后的4G核心网EPC+,后期LTE与NR共用5G核心网NGC。5G SA则与传统的2G/3G/4G网络相似,具有独立的接入网NR和核心网NGC。

基于5G新增5G NSA网络架构,同时兼顾5G SA的网络架构,可将4G与5G互操作分为4G与5G RAN侧互操作和4G与5G CN侧互操作2类。4G与5G RAN侧互操作,即4G与5G双连接,主要特点为LTE与NR共用核心网(LTE与NR连接到EPC+,或LTE与NR连接到NGC),4G基站和5G基站之间必须存在连接,UE在同一个核心网下互操作。4G与5G CN侧互操作,即常规的系统间互操作,主要特点为LTE与NR具有独立核心网(LTE连接到EPC, NR连接到NGC),4G基站和5G基站之间不必存在连接,互操作前后UE连接的核心网发生变化。4G与5G双连接,根据连接的核心网不同,又可分为基于4G核心网EPC的4G与5G双连接和基于5G核心网NGC的5G与4G双连接2种。

1.2 基于4G核心网EPC的4G与5G双连接

基于4G核心网EPC的4G与5G双连接架构是在原有的4G覆盖基础上增加5G NR新覆盖,5G无线网通过4G LTE网络融合到4G的核心网,融合的锚点在4G无线网,但控制面依然继承原有的4G。LTE eNodeB与NR gNB采用双连接的形式为用户提供高数据速率服务。以eNodeB为主基站,所有的控制面信令都经由eNodeB转发。

在基于4G核心网EPC的4G与5G双连接架构中,UE连接的LTE eNodeB为主节点MN,UE连接的NR gNB为辅节点SN;LTE eNodeB通过S1接口连接到EPC,LTE eNodeB通过X2接口连接到NR gNB;NR gNB可以通过S1-U连接到EPC, NR gNB可以通过X2-U连接到其他en-gNB。

基于4G核心网EPC的4G与5G双连接架构根据用户面选择的不同分为Option3、Option3a和Option3x 3种,如图1所示。Option3架构中所有的控制面信令都经由eNodeB转发,用户平面经由LTE基站连接到EPC,eNodeB将数据分流给gNB。Option3a架构中所有的控制面信令都经由eNodeB转发,用户平面经由LTE基站与5G基站同时连接到EPC,EPC将数据分流至gNB。Option3x架构中所有的控制面信令都经由

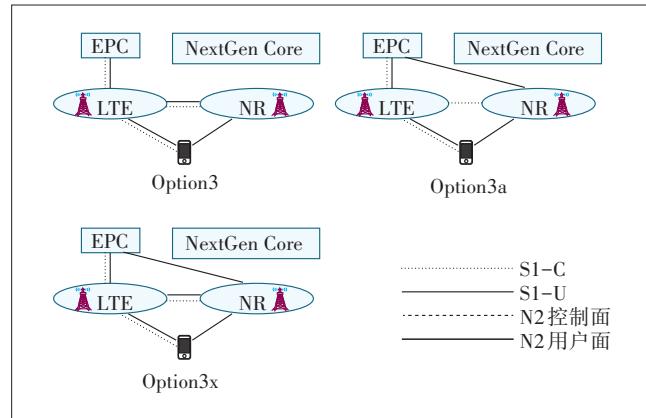


图1 Option3/Option3a/Option3x架构图

eNodeB转发,用户平面经由5G基站连接到EPC,gNB可将数据分流至eNodeB。

1.3 基于5G核心网NGC的5G与4G双连接

基于5G核心网NGC的5G与4G双连接架构需要同时部署5G RAN和NGC,5G NR通过4G网络融合到5G的NGC,融合的锚点在4G无线网。当核心网采用5G核心网NGC时,LTE eNodeB需升级到eLTE eNodeB,以支持5G新空口并支持5G核心网的连接。eLTE eNodeB与NR gNB采用双连接的形式为用户提供高数据速率服务。以eLTE eNodeB为主基站,所有的控制面信令都经由eLTE eNodeB转发。

在基于5G核心网NGC的5G与4G双连接架构中,UE连接的eLTE eNodeB为主节点MN,UE连接的gNB为辅节点SN;eLTE eNodeB连接到5GC,eLTE eNodeB通过Xn接口连接到gNB。

基于5G核心网NGC的5G与4G双连接架构根据用户面选择的不同分为Option7、Option7a和Option7x 3种,如图2所示。Option7架构中所有的控制面信令都经由eLTE eNodeB转发,5G gNode B用户面经由eLTE eNodeB连接,eLTE eNodeB将数据分流给gNB。Option7a架构中所有的控制面信令都经由eLTE eNodeB转发,5G gNode B用户面直接连接到5G核心网,NGC将数据分流至gNB。Option7x架构中所有的控制面信令都经由eLTE eNodeB转发,5G gNode B用户面直接连接到5G核心网且由5G gNode B进行分流控制提供eLTE eNodeB数据传输,gNB可将数据分流至eLTE eNodeB。

1.4 基于EPC与NGC的双连接对比

基于4G核心网EPC的4G与5G双连接和基于5G核心网NGC的5G与4G双连接之间的差别可以从基

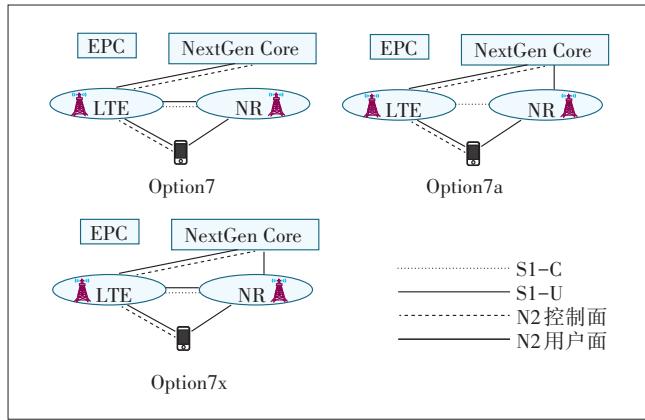


图2 Option7/Option7a/Option7x架构图

本性能、业务能力、网络升级改造难度等几个方面进行分析。

a) 基本性能对比。基于4G核心网EPC的双连接架构Option3/3a/3x由于支持5G NR和LTE的双连接,带来4G eLTE的流量增益,可以部署在热点区域,增加系统的容量的吞吐率。基于5G核心网NGC的双连接架构Option7/7a/7x同样支持5G NR和LTE的双连接,与Option3/3a/3x相比都实现了流量增益。在语音实现方案上,由于原有的4G网络做基础,两者都继承4G现有语音方案,即VoLTE/CSFB,语音业务连续性有保证,对网络的改动小。

b) 业务能力对比。基于4G核心网EPC的双连接架构Option3/3a/3x可以用于NR非连续覆盖时期,与现网4G网络深度耦合,继承现有4G网络的覆盖,可以在5G热点区域之外的4G覆盖区域提供4G能力。但是由于采用新的5G NR,没有引入NGC,不支持5G新功能新业务,不可以在5G覆盖区域实现全5G业务能力。基于5G核心网NGC的双连接架构Option7/7a/7x采用新的5G NR,引入了新核心网NGC,可以支持5G新功能新业务。Option7/7a/7x架构可以用于NR非连续覆盖时期,既可以在5G覆盖区域实现全5G业务能力,又可与现网4G网络深度耦合,继承现有4G网络覆盖,在5G热点区域之外的4G覆盖区域提供4G能力。

c) 网络升级改造难度对比。不同双连接架构对应的网络升级改造难度不同。基于4G核心网EPC的双连接架构Option3/3a/3x是在原有的4G覆盖基础上增加5G NR新覆盖,保持LTE系统核心网不动的同时先进行无线接入网演进,控制面依然继承原有4G的。在网络建设初期,主要工作为对LTE核心网和无线网进行升级改造,升级EPC支持5G终端,或增加LTE

PDCP层的缓存以支持对5G的分流。由于对NR覆盖没有要求,不需要连续覆盖,网络投资小,建设速度快,可以有效降低初期的部署成本,可一定程度上满足运营商初期需求,适用于传统运营商从LTE向NR逐步演进。基于5G核心网NGC的双连接架构Option7/7a/7x,涉及LTE eNodeB的升级工作,工作量大,对现网影响也较大。相对而言,Option7/7a/7x架构满足5G网络发展中期需求。当然,对于4G网络建设不足,积极部署5G网络的运营商,可优选Option7/7a/7x架构,使用新NGC,便于向独立组网演进,同时兼顾局部区域通过LTE接入增强覆盖的需求。

2 5G双连接技术应用影响分析

在5G建网初期,也可能在5G建网后的相当长的时间内,5G的覆盖都为4G覆盖的子集,基于此,双连接可能在很长一段时间内存在于网络中。由于在传统的2G/3G/4G网络中,并没有应用双连接技术,5G网络中双连接技术的应用给网络的规划、优化、运维等带来了全方位影响,且每一方面的影响都在走向复杂化。

2.1 双连接对网络规划部署的影响

与传统的网络架构或者5G SA相比,双连接的引入,增加了接入层的连接,以Option3/3a/3x为例,用户面与控制面同时存在LTE连接与5G连接。据此,可以从EPC和E-UTRAN2个方面梳理双连接应用对规划部署的影响。

EPC方面包括对EPC评估、升级、规划、扩容的影响。首先,从对EPC版本升级的影响看,应用双连接技术需要对现有4G EPC进行升级,以兼容NR相关的信令面和控制面的数据与信令处理,升级后支持NR的核心网为EPC+。其次,从对EPC处理能力的评估和扩容的影响看,对EPC的处理能力而言,由于5G的吞吐率较大,需要评估NR引入后,当前EPC的处理能力能否满足要求,如果当前EPC的处理能力不足,则需要对EPC进行规划、扩容。最后,从对CN接口的评估和扩容的影响看,针对S1-U接口,引入NR之后,如果5G终端的渗透率高,则S1-U的流量必然大幅增加,需要评估S1-U的当前带宽能否满足要求,如果S1-U的当前带宽不足,则需要规划新的S1-U带宽,并对S1-U的带宽进行扩容,将涉及S1-U的传输相关设备的扩容。针对S1-MME接口,与S1-U相似,引入NR之后,如果5G终端的渗透率高,则S1-MME的流量会

增加,需要评估S1-MME的当前带宽能否满足要求,如果S1-MME的当前带宽不足,则需要规划新的S1-U带宽,并对S1-MME的带宽进行扩容,将涉及S1-MME的传输相关设备的扩容。

E-UTRAN方面包括对E-UTRAN评估、升级、规划、扩容的影响。首先是eNodeB的升级,需要对eNodeB进行升级,以兼容NR相关的用户面和控制面的数据与信令处理。其次是对eNodeB处理能力的评估和扩容,由于5G的吞吐率较大,需要评估NR引入后,当前eNodeB的处理能力能否满足要求,如果当前eNodeB的处理能力不足,则需要对eNodeB进行硬件扩容等。最后是对RAN接口的评估和扩容,对X2-C规划来说,在双连接场景中,NR的控制面信令从gNB经由X2-C接口传到eNodeB,再通过S1-MME发送到EPC,因此,NR的引入,需要新增对X2-C的规划,确保带宽和其他QoS能满足NR信令传输要求。对X2-U规划来说,对于用户面数据需要借道eNodeB的Option3场景,需要新增对X2-U的规划,确保带宽和其他QoS能满足NR数据传输要求。

2.2 双连接对网络承载的影响

从传统网络承载类型的角度看,5G双连接技术的引入让承载变得非常复杂,与传统的2G/3G/4G网络和5G SA相比,UE需要同时连接LTE与NR,相应的5G的承载类型增加了很多。传统2G/3G/4G网络的承载类型可视为MN terminated MCG Bearer,而双连接引入后5G的承载类型则包括MN terminated MCG Bearer、MN terminated SCG Bearer、MN terminated Split Bearer、SN terminated MCG Bearer、SN terminated SCG Bearer和SN terminated Split Bearer 6种。

双连接场景下,承载类型从1种增加为6种,承载类型的增加,给网络规划仿真、网络优化及运维带来了极大影响。

a) 从规划角度来看,X2/Xn接口的规划,具体来说,需要根据上述6种承载的比例及其具体占用带宽和QoS要求等,来规划X2/Xn接口的带宽和QoS。

b) 从仿真角度来看,容量规划仿真时,如何根据UE的能力、MN的覆盖、SN的覆盖、调度算法等来分配各种承载的比例并输出容量规划结果。跟传统的网络架构相比,双连接带来的承载类型的增加会让容量仿真变得更加复杂,如果考虑到5G业务种类的增加,则复杂度会更高。

c) 从网络优化角度看,网络性能问题定位处理的

难度大幅增加,在传统的2G/3G/4G网络问题定位中,由于只有一种承载类型,问题的主体是明确的,而对于5G的双连接问题的处理,由于Split Bearer承载类型的存在,问题主体可能是4G,亦可能是5G或4G与5G的配合问题,问题的界定难度大大增加。

d) 从运维角度看,由于协议实体的增加和分散分布,网络的运维更多需要将4G和5G作为一个整体来开展运维工作,因为任何一方(MN或SN)的问题,都可能同时给另一方(SN或MN)带来影响。

2.3 双连接对覆盖、容量及移动性管理的影响

2.3.1 双连接对覆盖的影响

双连接引入后,对NR与LTE的网络覆盖进行分析是规划阶段的重要任务,同时也是优化阶段的重要任务。由于NR的频率(3.5 GHz)普遍高于LTE的频率(2.6 GHz),通常情况下,单站点的NR的覆盖范围小于LTE的覆盖范围,即NR的覆盖为LTE覆盖的子集。由于覆盖范围的差异,需要不断变化承载类型来适配网络覆盖,相对于传统2G/3G/4G网络,网络优化难度大大增加。

双连接场景下的覆盖分析从链路预算方面来看,可针对一些典型场景进行对比分析,输出双连接场景中的NR和LTE覆盖概况和对比。双连接链路预算基本条件如表1所示。

基于表1的条件,通过链路预算工具可以得到LTE和NR小区半径表,如表2所示,LTE和NR均为上行覆盖受限,得到LTE的覆盖半径为1 400 m, NR的覆盖半径为802 m。

根据链路预算计算出的小区半径,可进一步计算

表1 双连接链路预算条件表

系统参数	NR	LTE
Morphology	Urban	Urban
User Environment	Outdoor-eMBB	Outdoor
System Bandwidth/MHz	100	20
Edge Throughput	UL 1 Mbit/s; DL 10 Mbit/s	UL 256 kbit/s; DL 1 024 kbit/s
DL&UL Frequency/GHz	3.5	2.6
UE Total Tx Power /dBm	23	23
gNB Total Tx Power /dBm	52	46
Propagation Model	3GPP_UMa_Model	Cost231-Hata(Huawei)
eNodeB Height /m	25	25
UE Height/m	1.5	1.5
NR Subcarrier Spacing@ 3.5 GHz/kHz	60	15

表2 双连接小区半径预算表

系统	上行覆盖半径/m	下行覆盖半径/m
NR	802.0	1 347.3
LTE	1 400.0	1 510.0

出单站点的覆盖面积,计算公式为: $\text{Area} = 9\sqrt{3} R^2/8$,计算出NR和LTE的覆盖面积如表3所示。

根据表3的计算结果,单个NR站点的覆盖面积为

表3 双连接单站点覆盖面积计算表

制式	半径/m	覆盖面积/m ²	覆盖面积/km ²
UL 3.5 GHz NR	802	1 253 283	1.25
UL 2.6 GHz LTE	1 400	3 819 060	3.82

1.25 km²;远小于LTE的单站覆盖面积3.82 km²。因此,针对双连接场景,如果LTE和NR采用1:1比例建站,则NR仅能覆盖站点附近的部分范围,NR覆盖范围为LTE覆盖范围的33%(1.25/3.82×100%)。

2.3.2 双连接对容量的影响

双连接技术适用于4G基站之间,也适用于在具有不同覆盖的5G 3.5 GHz基站和28 GHz基站之间,也可以适用于4G和5G基站之间的场景。双连接的引入,从传统LTE网络的角度看,NR的容量即为MR-DC引入的容量增益。在此,分别对LTE-Advanced(LTE-A)网络和5G网络进行双连接测试验证,以评估4G和5G之间双连接带来的容量增益。

首先,在LTE-A载波聚合(CA)小区上进行双连接验证测试,1部终端同时接收来自于2个不同eNodeB的多路信号,其速率约为当前标准LTE所提供速率的3倍。

其次,在5G外场进行双连接技术试验,终端同时连接3.5 GHz基站与28 GHz基站,可以达到20 Gbit/s的下行传输速率。

按照3GPP的定义,NR的容量为LTE容量的20倍。根据双连接验证测试结果,可以预见NR的引入,将带来容量的大幅提升。

2.3.3 双连接对移动性管理的影响

从传统LTE网络的角度来看,双连接引入后,为了适应双连接的无线资源管理,新增了很多管理场景,如UE的上下文在双连接与非双连接之间的切换,MN在不同站点之间的切换,SN在不同站点之间的切换,SN建立、更改、释放等。由于大多数流程的增加是源于双连接,在传统的2G/3G/4G网络中,并不存在类似的流程,因此,对网络优化工作提出了新的挑战。

2.4 5G建网初期双连接架构建议

从4G网络的实际出发,如果运营商选择5G NSA组网快速部署和商用5G,则5G NR在初期连接的便是EPC+,则可能的选择为Option 3/3a/3x。在Option3/3a/3x这3种架构之中,Option3由于现网BBU受限,投资高,且为后向投资,一般运营商不易接受。Option 3a虽然现网BBU不受限,投资小,但是核心网基于RAB Level调度业务,无法根据空口或者传输状态的变化进行灵活调度。Option3x现网BBU不受限,投资小,同时核心网基于Packet Level调度业务,可以根据空口的实时变化进行灵活调度,充分利用4G、5G资源。因此,相对而言,Option3x架构为5G建网初期传统运营商从LTE向NR逐步演进的最优选。

3 结束语

在未来的5G网络中,无论是哪种组网方式,对于各种应用场景都可以借助5G与LTE系统间的双连接技术来降低时延,提高吞吐量和可靠性等性能。本文在研究5G与LTE双连接技术特点的基础上,进一步分析了未来5G网络中5G与LTE双连接的影响,为未来5G网络应用双连接技术提供了参考。

参考文献:

- [1] 邓安达,王韬,周双波,等. 4G+及5G网络中双连接技术的应用[J]. 电信科学,2018(s1).
- [2] 杜忠达. 双连接关键技术和发展前景分析[J]. 电信网技术,2014(11).
- [3] 何伟俊,戴国华,詹文浩,等. 运营商5G终端引入策略探讨[J]. 移动通信,2017,41(24).
- [4] 何艳飞. 基于双连接的无线网络数据分流资源管理策略研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2017.
- [5] 焦慧颖. 异构网络中的双连接带来的机遇和挑战[J]. 现代电信科技,2013(8).
- [6] 李先栋,于翠波,勾学荣. LTE-Advanced移动通信系统双连接技术[J]. 现代电信科技,2014(9):17-23.
- [7] 李小文,王晓娟,田凤仙,等. 基于异构网双连接技术切换流程的分析与实现[J]. 光通信研究,2017(2).
- [8] 廖智军,李振廷,石胜林,等. LTE/5G双连接关键技术[J]. 移动通信,2018(3).

作者简介:

刘毅,毕业于山东大学,工程师,主要从事TD-LTE网络维护与优化等相关工作;张阳,高级工程师,博士,主要研究方向为TD-LTE无线网络优化、5G、大数据网络优化等;郭宝,毕业于中北大学,高级工程师,硕士,主要从事网络优化工作。