基于NSA架构的4G/5G协同优化研究

Study on 4G/5G Cooperative Optimization Under NSA Architecture

许国平[1]，刘宏嘉[2]，李　贝[2]，朱小勇[3]（1. 中国联合网络通信集团有限公司，北京 100033；2. 中国联合网络通信浙江省分公司，浙江 杭州 310051；3. 中国联合网络通信山西省分公司，山西 太原 030012）

Xu Guoping[1]，Liu Hongjia[2]，Li Bei[2]，Zhu Xiaoyong[3]（1. China United Network Communications Group Co.，Ltd.，Beijing 100033，China；2. China Unicom Zhejiang Branch，Hangzhou 310051，China；3. China Unicom Shanxi Branch，Taiyuan 030012，China）

摘　要：

首先研究了NSA网络架构下4G/5G双网覆盖协同优化的技术基础和方案。然后分析了语音数据业务并发时，终端功率不足的解决方案及其验证结果。进一步研究了4G/5G双网动态分流的策略与技术方案。最后分析了有助于解决以上问题的技术发展趋势。

关键词：

5G；NSA；语音数据并发；动态分流

doi：10.12045/j.issn.1007-3043.2021.03.008

文章编号：1007-3043（2021）03-0037-05

中图分类号：TN929.5

文献标识码：A

开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Abstract：

First，the fundamental and schemes of 4G and 5G coverage collaborative optimization under 5G NSA architecture are discussed. Second，it analyzed the solution of insufficient power of terminal and its verification results when a NSA user starts voice and data simultaneously. Furthermore，the strategy and technical scheme of 4G / 5G dual network dynamic-splitting are studied. At last，the development trend of technology which is helpful to solve the above problems is given.

Keywords：

5G；NSA；Simultaneous voice and data；Dynamic-splitting

引用格式：许国平，刘宏嘉，李贝，等. 基于NSA架构的4G/5G协同优化研究[J]. 邮电设计技术，2021（3）：37-41.

1 概述

3GPP R15中，5G NR有2种部署选择，SA（Standalone）和NSA（non-Standalone）。目前国内5G部署采用了NSA的网络架构，优势在于相关标准成熟较早，可为用户快速提供高速的5G服务。但是由于NSA架构依赖4G侧提供信令传输，这种4G/5G强绑定模式，也为后续的网络运营优化工作带来了挑战。本文针对5G NSA商用初期的3个优化工作的重点，即覆盖优化、语音和数据业务感知保障，提出了目前比较突出的问题并给出了解决的方案。

收稿日期：2021-01-11

2 4G/5G双网覆盖协同

由于NSA的特性，优化5G信号的覆盖、提升用户对于5G的感知体验，不再局限在5G单侧，而与4G尤其是锚点站的关联性非常大。众所周知，针对NSA场景，GSMA根据6种状态定义了终端侧Logo显示的4种配置方式，目前国内运营商推荐终端采用Config.A+D的方案，即终端空闲态时采用Config.D显示方案，而连接态采用Config.A显示方案。

关于锚点配置，存在以下2个矛盾。

a）锚点配置过少时，比如只与5G同站配置锚点，

可能导致5G覆盖无法连片。

b）锚点配置过多时，会因出现驻留锚点而无NR覆盖，导致“假5G”问题。

鉴于此，中国联通推荐了多项锚点配置的参考原则，并可以组合使用，比如结合场景特点，锚点站可由5G基站范围向外延伸1~2圈；又比如与锚点小区切换次数较多的小区可以增配为锚点小区。另外，中国电信和中国联通双方都推荐依据4G/5G的覆盖重叠关系，打开或者关闭3GPP规定的标准开关参数Upper Layer Indication，以最大限度避免“假5G”导致的用户投诉。

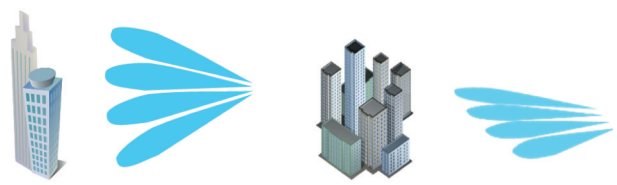
随着5G系统数据采集和应用能力的不断提升，可以考虑将用户的4G侧与5G侧MR数据进行匹配，从而可以快速实现包括锚点站配置优化在内的各种优化应用方案。匹配的思路如下：4G的MDT（Minimization Drive Test）技术已经是非常成熟的技术，可以提供10 m级精度的定位信息；加之4G的基站规模较大，路测数据也较为丰富，可以基于指纹信息提升MR数据的定位准确性。因此，NSA场景下，作为MN（Master Node）的锚点站MR数据往往具有更易获取的高精度定位信息，可以通过将用户信息和时间戳的关联，将SN（Secondary Node）MR采样点关联到4G MR，即将4G MR的经纬度赋值给对应的5G MR，于是5G MR就获得了与4G MR相同精度的定位信息。

5G MR获得定位信息后，可以与4G MR联合使用，实现锚点站的配置优化，优化人员甚至可以在可视化条件下优化锚点站配置方案。另外，5G MR具备定位信息，无疑为5G的覆盖评估、虚拟路测、Massive MIMO的波束权值寻优等应用提供了无限可能。基于4G MR多年的成熟运用，针对楼宇建筑的低、中、高层小区覆盖指纹信息，运营商已经具备了三维MR覆盖的分析能力。通过上述关联，赋予5G MR三维定位信息，将大大有助于Massive MIMO的波束权值寻优算法的快速收敛，如图1所示，高层建筑以及密集城区等不同的场景下，一旦具备5G MR的三维信息，为降低Massive MIMO波束权值寻优算法系统硬件需求、降低成本和提升计算效率提供了重要保障。

3 NSA用户的语音业务保障

3.1 语音数据并发时流程冲突问题

NSA终端有可能出现语音数据并发的流程冲突问题，可能导致NSA终端的VoLTE接入失败，转而建立CSFB业务，流程中可以看到网络侧发送的SIP 503错误。出现该问题的原因是：基站在NSA的SCG添加过程中，MME又触发了建立VoLTE的QCI5承载请求，由于基站侧此时还未收到核心网SCG添加的确认信息，将会拒绝VoLTE的承建建立流程，从而导致VoLTE接通失败，甚至导致该终端长时间无法正常VoLTE起呼。作为临时性的策略，SCG添加动作的时延参数可以增加约500 ms，即优先确保完成QCI5建立，QCI5建立完成后再进行SCG添加，可暂时规避该问题。但是随着5G NSA用户规模的不断扩大，系统处理的时延也会随之增大，依然有可能出现该类冲突问题。最终解决方案还是需要各个主设备厂商达成一致，在MME配置适当的优先策略，运营商在这方面应当给予引导。



（a）高层建筑需要采用较大的垂直宽度波束覆盖　（b）密集城区和热点采用较大的水平宽度波束覆盖

图1　不同场景下Massive MIMO的波束权值寻优

3.2 语音数据并发时的功率受限问题

3.2.1 语音数据并发的4种策略

中国联通除了倡导以PowerClass2类终端能力作为5G商用终端NSA模式的基准（终端最高发射功率配置为26 dBm）引导5G终端产业链之外，还要考虑当前PowerClass3类的5G终端的语音数据并发感知提升需求，主要有如下4种部署策略，其中策略1为无功率自适应策略，策略2、策略3为针对PowerClass3类的5G终端功率受限问题的提升策略。

策略1：无功率自适应策略。在EN-DC双连接下，PowerClass3类终端最高发射功率为23 dBm，VoLTE与5G连接并发的情况下，4G和5G侧的功率均分，最高都只能达到20 dBm。实施该种策略时，PowerClass3类终端的上行发射功率灵活性较差，在4G和5G的覆盖边缘分别会造成4G和5G侧上行的功率受限，可能导致VoLTE通话质量或者5G数据业务速率大幅降低。

策略2：VoLTE与SN的互斥提升策略（见图2）。在NSA用户发起VoLTE业务时，如果该用户已经添加

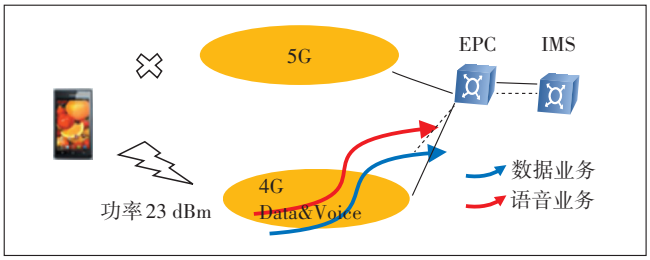


图2　VoLTE与SN的互斥提升策略

SN连接，则主动断掉该用户的SN连接，牺牲5G体验、确保VoLTE语音感知。

策略3：功率自适应策略（见图3）。在VoLTE质差时，收缩5G功率，提升4G侧功率、保障4G感知；当语音质量变好后，扩展5G功率，提升5G业务体验，从而达到优先保障VoLTE语音的同时保证SCG链路的目的。该功能需要终端功能的支持。

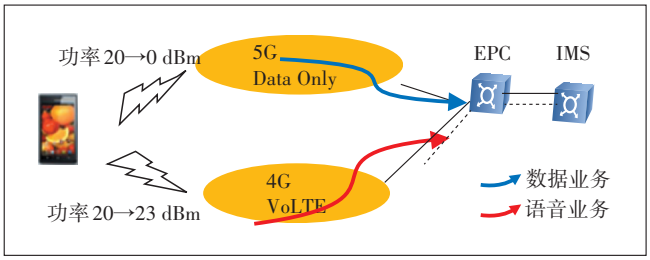


图3　VoLTE与5G数传功率自适应策略

策略4：VoLTE与5G数传并发与互斥混合策略（见图4）。如果4G和5G侧的无线覆盖都较好，可以为用户提供VoLTE与5G数传并发。但是如果VoLTE质差或SCG质差，就主动删除SCG连接，仅仅保证用户的VoLTE语音业务感知。在该用户VoLTE语音业务结束后，下发B1测量，触发SN添加流程，重新为用户配置5G连接。

3.2.2　性能对比

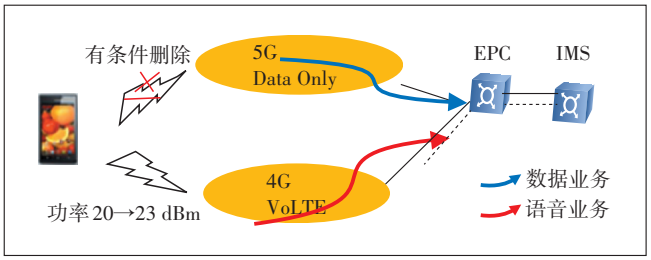


图4　VoLTE与5G数传并发与互斥混合策略

使用NSA终端连续进行VoLTE业务和FTP下载并发业务测试，对上文所述的4种策略进行性能验证（由于目前商用终端不支持策略3，所以本文仅验证了其余3种策略）。结果显示，策略1的下行数据业务流量最大，因为此时数据业务会尽量占用5G SN侧，平均速率较高；策略4由于当无线信号质量下降时，SCG连接会被释放，下行数据业务流量居中；策略2终端主要依靠4G网络完成下载，流量较小；但是此种情况下，VoLTE功率得到了保障，VoLTE业务的质量较高。

图5为NSA终端在覆盖差点进行VoLTE业务和FTP下载并发测试的结果。其中MCG代表在系统侧配置数据业务只由4G锚点站承载，SCG代表在系统侧配置数据业务只由5G NSA基站承载，SCG Split代表数据业务可由4G和5G共同承载。从测试结果可以看到，当5G NSA终端发起VoLTE业务时，策略2主动删除SCG连接，MOS值均能达到3.5以上；而策略4是有条件的删除SCG连接，MOS值就降低到3.4的水平；策略1在VoLTE业务进行过程中始终保持SCG连接，在覆盖差点MOS值劣化明显，可以看到MOS值已经降低到了3.3的水平。

根据上述测试结果，如果NSA终端发起VoLTE业务时直接删除SCG连接，终端只能使用4G网络承载数据业务，会导致数据业务速率感知变差；与此同时，由

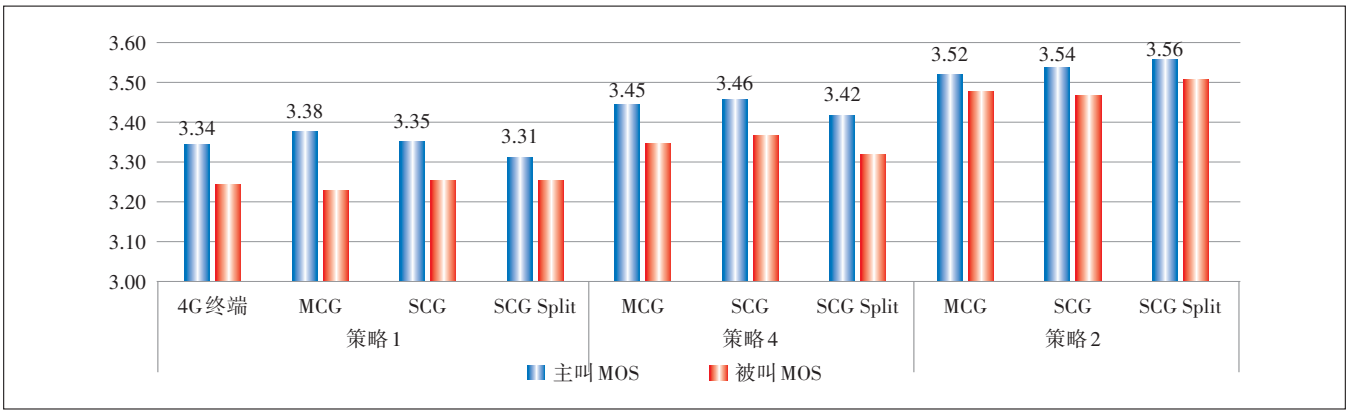


图5　覆盖差点不同策略VoLTE业务并发测试MOS值

于终端上行的发射功率得到了保障，就能够保障VoLTE业务的感知。如果坚持VoLTE业务和5G数传业务并发，虽然能够提升终端的数据业务感知，但是VoLTE质量受到负面影响较大。因此建议重点考虑上文所述的策略4，通过参数的优化配置，达到VoLTE业务感知与用户速率感知的平衡。

3.3 语音业务保障的其他关键问题

5G语音业务开启后，在网络侧配置为语音数据并发策略时，原有保障语音感知的策略和锚点优先策略可能会产生冲突。比如所配置的基于无线质量切换的VoLTE语音业务质量保障功能可能与锚点的定向切换存在冲突。为了解决该问题，目前主要考虑解耦EN-DC锚点优先的定向重选、切换策略等参数与语音数据分层的参数，针对不同的保障场景设置独立的参数来满足5G用户需求。

另外，目前VoLTE业务采取的是从承建方切回共享方4G基站的策略，VoLTE业务完成后再切回承建方的锚点站。这就要求承建方锚点站切出以及快速切回锚点站所涉及的参数配置完整、准确，尤其是在承建方与共享方异厂家的场景，需要仔细检查功能开启和参数配置情况。

4 4G/5G双网分流协同

中国联通NSA网络采用的是Option 3X架构，5G用户的数据业务可以由4G分流承担。在NSA部署的初期，在5G覆盖的边缘，比如5G的深度覆盖能力不足，同时4G室分规模又远大于5G的区域，可以考虑采用4G动态分流的功能改善5G用户的感知。对于锚点站带宽不足的情况，可以考虑关闭该功能。另外，如果该功能将来能够区分PLMN（Public Land Mobile Network），还将大大提高运营商配置策略的灵活度。目前主要考虑如下3种可能的配置。

4.1 下行分流策略

Option 3X架构下，下行分流模式由NR侧控制，有3个选项：下行数据仅在MN侧传输、仅在SN侧传输和动态分流。出于对锚点站负荷的担心（部分锚点站带宽较窄），现网多配置为仅在SN侧传输。动态分流主要依据以下动态反馈的信息：4G和5G侧的覆盖、RLC传输速率、空口传输时延、RLC缓存大小以及X2接口的状态信息等。

4.2 上行分流策略和效果对比

上行分流模式类似下行分流模式，也分为仅在MN侧传输、仅在SN侧传输、动态分流3种模式。为了防止锚点站负荷过高，目前上行以仅在SN侧传输的配置为主。

考虑到5G的上行覆盖受限的问题比较突出，上行动态分流更有现实意义。下面对以下2种上行动态分流的技术方案进行对比。

技术方案1：将MN侧传输和SN侧传输相结合的主路径切换动态分流策略。上行数据可承载在LTE PUSCH或NR PUSCH，NR上行SINR恶化到配置门限后，网络侧可控制NSA终端切换到LTE PUSCH上发送数据；当NR上行SINR改善后，网络控制NSA终端重新将主路径切换到NR。选择无线覆盖的较差点，采取CQT测试的方式验证该技术方案的效果，结果如表1所示。

从表1中可以看出，在达到上行SINR切换门限之后，上行承载切换到LTE侧，终端上行的吞吐率得到了改善。根据5G规划标准，边缘速率应大于5 Mbit/s，因此下一步可以考虑优化上行SINR切换门限，在满足用户上行速率感知的条件下降低对LTE侧的负荷压力。

技术方案2：基于数据流量控制特性的MN和SN同步传输动态分流策略。当NSA终端上行待发送数据量高于分流门限时，上行数据在2个空口分流传输。选择NSA无线覆盖的好、中、差点，设置较低的上行数据分流门限，使得动态分流容易被触发，采取CQT测试的方式验证该技术方案的效果，如表2所示。

从表2中可以看到，由于上行数据分流门限较低，不论是在好、中、差点，当功能开关打开后，MN和SN同步传输始终在发挥作用，对于NSA终端用户的感知提升效果比较明显，但是这样也会对LTE基站造成较大的负荷压力，可以综合考虑用户感知和LTE现网情况进一步优化上行数据分流门限。

4.3 4G用户感知优先的NSA限制调度

表1　主路径切换动态分流策略验证效果

上行主路径状态	PDCP上行平均吞吐率/(Mbit/s)	NR RSRP/dBm	NR SINR/dB	NR MAC上行平均吞吐率/(Mbit/s)	LTE RSRP/dBm	LTE SINR/dBm	LTE MAC上行平均吞吐率/(Mbit/s)
切换前	19.6	-99.4	0.1	20.2	-73.1	15.1	0.0
切换后	40.2	-99.6	-1.8	0.0	-79.5	14.7	41.5

表2　MN和SN同步传输动态分流策略验证结果

测试条件	同步传输分流功能开关状态	NR-RSRP/dBm	NR-SINR/dB	LTE-RSRP/dBm	LTE-SINR/dB	PDCP上行平均吞吐率/(Mbit/s)	NR MAC上行平均吞吐率/(Mbit/s)	LTE MAC上行平均吞吐率/(Mbit/s)
覆盖差点	关闭	-106.4	-5.3	-81.2	11.2	42.4	42.7	0.0
	开启	-106.0	-8.6	-79.3	10.8	79.8	47.6	33.0
覆盖中点	关闭	-94.8	4.8	-85.4	8.0	75.5	76.0	0.0
	开启	-97.0	4.6	-83.8	7.5	107.8	74.8	29.2
覆盖好点	关闭	-71.2	26.4	-89.4	16.1	106.6	107.3	0.0
	开启	-70.4	26.9	-90.1	17.0	111.1	78.2	29.9

5G用户的数据业务速率体验应该主要靠NR侧来满足。当MN侧负荷较高时，可以考虑限制NSA终端在4G侧的分流，直至停止在4G侧的调度，保障4G存量用户的体验。该功能可以考虑与上述2种分流功能配合使用。

4.4 双网分流的考虑

目前5G向4G侧的分流测试和研究还处于起步阶段，由于会对锚点站产生负荷压力，工程实施有必要采取审慎态度。在今后的研究和测试中，需要注意以下几点。

a）既然要向4G分流，最好配合使用4.3节所述的在4G侧对NSA终端进行适当限制的措施，以免NSA终端过多抢占纯4G终端的资源。

b）上行主路径切换的动态分流策略，仅在5G NR质差时占用LTE资源，目前是海思和高通芯片的终端均可以支持；而上行同步传输的动态分流策略，可能始终占用LTE资源，而且目前仅有海思芯片的终端支持。因此，建议首选前者用以提升5G终端用户的上行边缘感知。

c）不论采取上行还是下行动态分流，评价的标准宜将4G小区和5G小区的吞吐总量以及边缘用户的感知结合起来，即在网络侧和用户侧2个方面找到平衡。

5 总结与展望

本文首先针对5G NSA建设初期“假5G”问题，探讨并给出了几个解决方案，提出利用4G/5G MR匹配的方式，快速为5G MR数据赋予地理位置信息，从而能够将4G MR相关的应用尽快拓展到5G领域。接下来，针对5G用户感知方面比较突出的语音数据并发感知问题进行了探讨，并结合理论分析和测试给出了相关的解决建议。在5G建设初期，如何保障5G覆盖边缘的数据业务感知也是一个比较突出的矛盾，本文主要针对4G/5G分流进行了讨论，指出上行分流更有现实意义。未来5G的MDT技术以及CA等技术的成熟，都会为以上所述的问题提供新的解决思路。

参考文献：

[1] AGYAPONG P K，IWAMURA M，STAEHLE D，et al. Design considerations for a 5G network architecture[J]. IEEE Communications Magazine，2014，52(11)：65-75.

[2] MIDDLETON R H，TORBJÖRN WIGREN，LAU K，et al. Data flow delay equalization for feedback control applications using 5G wireless dual connectivity[C]// VTC 2017 Spring. 2017.

[3] MOHAMED A，IMRAN M，XIAO P，et al. Memory-full Context-aware Predictive Mobility Management in Dual Connectivity 5G Networks[J]. IEEE Access，2018：1-1.

[4] AIJAZ A . Packet Duplication in Dual Connectivity Enabled 5G Wireless Networks：Overview and Challenges[J]. IEEE Communications Magazine，2018.

[5] LEMA M A，PARDO E，GALININA O，et al. Flexible Dual-Connectivity Spectrum Aggregation for Decoupled Uplink and Downlink Access in 5G Heterogeneous Systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications，2016，34(11)：2851-2865.

[6] YILMAZ O N C，TEYEB O，ORSINO A . Overview of LTE-NR Dual Connectivity[J]. IEEE Communications Magazine，2019，57(99)：138-144.

[7] KIM，W. Dual Connectivity in Heterogeneous Small Cell Networks with mmWave Backhauls[J]. Mobile Information Systems，2016(PT.5)：3983467.1-3983467.14.

[8] MAHMOOD N H，PEDERSEN K，MOGENSEN P . Interference Aware Inter-Cell Rank Coordination for 5G Systems[J]. IEEE Access，2017，PP(99)：1-1.

[9] DORAI H A，ALIRKHIS L，AL-ESSAWI R A. 5G accessibility optimization in high interference environments[C]//IEEE Computer Society，2017.

作者简介：

许国平，毕业于北京邮电大学，高级工程师，博士，主要从事网络优化工作；刘宏嘉，毕业于哈尔滨工程大学，工程师，学士，主要从事网络优化工作；李贝，毕业于浙江工业大学，高级工程师，硕士，主要从事网络规划优化工作；朱小勇，毕业于西安邮电学院，工程师，学士，主要从事移动网维护、优化工作。