



同频共享技术在 2.1 GHz 中的应用研究

李贝¹, 胡煜华², 刘光海¹, 肖天¹, 宋春涛¹, 张屹¹, 王波³, 王群青²

(1. 中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048;

2. 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司, 浙江 杭州 310051;

3. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033)

摘要: 3GPP 标准在 5G 系统设计过程中考虑了与长期演进 (long term evolution, LTE) 技术共存需求, 引入了频谱共享技术, 结合频谱共享技术种类、原理等深入剖析, 对动态同频共享实现的关键因素进行探索, 给出了动态同频共享实现方案、现网应用配置建议, 以及该方案仿真及现网应用的效果验证, 总结归纳了动态同频共享在现网使用的限制。

关键词: 5G; LTE; 频谱共享; 动态同频共享

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022251

Research on co-spectrum sharing technology in LTE 2.1 GHz

LI Bei¹, HU Yuhua², LIU Guanghai¹, XIAO Tian¹, SONG Chuntao¹,

ZHANG Yi¹, WANG Bo³, WANG Qunqing²

1. Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100048, China

2. Zhejiang Branch of China United Network Communication Co., Ltd., Hangzhou 310051, China

3. China United Network Communication Group Co., Ltd., Beijing 100033, China

Abstract: Spectrum sharing technology in 5G was introduced in the 3GPP standard. The types and principles of spectrum sharing were presented, the key factors for the realization of dynamic co-spectrum sharing were analyzed, the application configuration and suggestion for the implementation of dynamic co-spectrum sharing were presented, the effect of network application was verified, and the limitations of dynamic co-spectrum sharing in the existing network were summarized.

Key words: 5G, LTE, spectrum sharing, dynamic co-spectrum sharing

0 引言

5G 网络建设初期, 如果一个或多个运营商的

4G 业务量大而 5G 业务量少, 此时分别单独部署 4G 或 5G 将会造成频谱极大浪费; 5G 网络建设完善后, 增强移动宽带等场景峰值速率需求高, 5G

收稿日期: 2022-04-08; 修回日期: 2022-08-24

通信作者: 刘光海, liugh124@chinaunicom.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1806700)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1806700)

新空口 (new radio, NR) 系统设计目标频段范围为 0.5~100 GHz, 其中只有 3.5 GHz 频段的大带宽可实现 6 GHz 以下全球统一频谱^[1], 远不能满足 5G 三大应用场景的频谱需求; 随着 NR 设备渗透率不断提高, 迁移现有的 LTE 频谱和部署 NR 系统的需求逐渐增加, NR 与 LTE 系统部署在相同频段成为可能。采用同频共享技术可在不影响 4G 用户体验的前提下快速部署 5G, 有效提升频谱利用率, 在实现新、旧技术平滑过渡的同时保障用户感知。

1 同频共享技术原理

1.1 协议发展历程

动态频谱共享 (dynamic spectrum sharing, DSS) 技术是 3GPP 标准组织为了解决频谱拥挤问题而在 Release 15 (Rel-15) 中推出的一项技术, 利用 4G LTE 和 5G NR 均基于正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 技术这一事实, 允许 4G LTE 用户和 5G NR 用户在同一频带/信道中共存, 并允许运营商的基站和网络在每个小区的 4G 用户和 5G 用户之间动态分配信道资源^[2]。Rel-15 与 DSS 有关的技术如下。

(1) 附加解调参考信号 (additional demodulation reference signal, additional DMRS) 避让 LTE 的小区参考信号 (cell reference signal, CRS), 见协议 38.211^[3]。

(2) 物理下行控制信道 (physical downlink control channel, PDCCH) 的控制资源元素的资源设置 (control resource element sourceset, CORESET) 避让 LTE 的 CRS, 见协议 38.213^[4]。

(3) NR 的子载波间隔 (sub-carrier space, SCS) 为 15 kHz 时, NR 的物理下行共享信道 (physical downlink shared channel, PDSCH) 对 LTE CRS 进行资源元素 (resource element, RE) 级速率匹配, 见协议 38.214^[5]。

(4) 频分双工 (frequency-division duplex,

FDD) 时, NR 上行链路 (uplink, UL) 可以设置 7.5 kHz 偏移; 对 LTE CRS 速率匹配信元进行了定义, 见协议 38.306、38.331^[6-7]。

(5) 4G/5G 之间传输的小区配置参数及调度参数进行了 X2/Xn 接口定义, 详见协议 36.423、38.423^[8-9]。

3GPP Rel-16 提出, 物理下行共享信道 (physical downlink shared channel, PDSCH) 映射类型 B 能够分配 9 个或 10 个码元, 从而有效地使用时隙^[10]。Rel-17 进一步探索了更优的跨载波调度, 频谱项目定义了从辅小区 (secondary cell, SCell) 到特殊小区 (special cell, sPCell) 的跨载波调度功能^[11], 包括 SCell 上的 PDCCH 可以调度 sPCell 的 PDSCH 和物理上行共享信道 (physical uplink shared channel, PUSCH), sPCell 上的 PDCCH 可以调度 sPCell 的 PDSCH 和 PUSCH, 但不能在任何其他小区上调度 PDSCH 和 PUSCH, 只能配置一个 SCell 用于 sPCell 的跨载波调度等。非频谱项目中定义了 DSS 和 NR/LTE 邻域部署时, 在 NR 终端进行 LTE CRS 干扰消除^[12]。

1.2 技术原理

频谱共享根据实现方式分为静态和动态两种^[13]。动态同频共享指在同一频段内为不同制式的技术进行动态灵活的频率资源分配, 与静态频谱为同一频段内不同制式的技术提供专用载波相比, 动态方法可以提高频率效率, 且利于制式间平滑演进。

频谱共享从频段分配上分为邻频共享和同频共享^[14]。邻频/同频共享指 NR 系统与 LTE 系统部署在相邻的频谱/共同重叠的频谱上。NR 系统利用 LTE 子帧中一些资源发送和接收数据。NR 系统的传输可以在 LTE 系统的多媒体多播广播单频网 (multicast broadcast single frequency network, MBSFN) 或非 MBSFN 子帧中调度, 采用一定的调度措施避开 LTE 系统的主同步信号 (primary synchronization signal, PSS)、辅同步信号 (secondary synchronization signal, SSS)、物理广



播信道 (physical broadcast channel, PBCH) 和 CRS。5G NR 物理层设计与 LTE 相似^[15-16], 因此 4G 和 5G 之间的同频共享是可行的。

本文重点研究同频共享技术应用。下行方面, LTE 系统的非 MBSFN 子帧包括 PDCCH (占用前 1~3 个 OFDM 负荷) 和 CRS^[17]。在 LTE 系统非 MBSFN 子帧中调度的 NR 系统传输采用一定的调度措施避开 LTE PDCCH 和 CRS 占用的资源, 3GPP 规范了 NR 系统的 3 种处理模式, 具体如下。

(1) 基于微时隙的调度。基于微时隙的调度可以占用 2/4/7 个 OFDM 符号, 可以在一个时隙内的任意符号位置开始, 在避开 LTE CRS 和 PDCCH 的 OFDM 符号上 NR 可以调度^[16]。

(2) NR 支持资源块符号级速率匹配资源。LTE CRS 资源占用的 OFDM 符号被配置为速率匹配资源。NR PDSCH 映射时将避开上述 OFDM 符号^[18]。

(3) LTE CRS 的速率匹配。LTE CRS 的带宽等信息由高层信令通知给 UE。NR PDSCH 可以映射到 LTE CRS 所占用的 OFDM 符号上, 为充分利用资源, NR PDSCH 子载波间隔为 15 kHz^[19]。

LTE 物理信道和信号配置相对宽泛, 参考信号、控制信道等都是全频带映射, NR 也有各种物理信道和信号, 目前 LTE 已基本实现全覆盖, 因此现网同频共享技术一般采用第 3 种方案且采用动态的实现方式。将 5G 引入现有 4G 载波, 使得 4G/5G 用户可以根据资源需求共享, 使用相同的频率资源。由于上行不存在持续发送的信号, 通过合理调度可以实现 NR 和 LTE 系统的同频共享^[20]。NR 系统可使用剩余资源传输, LTE 物理随机接入信道 (physical random access channel, PRACH)、探测参考信号 (sounding reference signal, SRS) 和 PUCCH 仍在原有资源上传输, NR 与 LTE 系统的上行间可以以时分复用 (time division multiplexing, TDM) 或频分复用 (frequency division multiplexing, FDM) 的方式复用, 4G、5G 同频

上行共存示意图如图 1 所示。例如 NR 系统上行信道栅格可配置 0 kHz/7.5 kHz 的偏移量^[11], 通过配置 7.5 kHz 与 LTE 系统上行信道栅格对齐以避免子载波间的干扰。

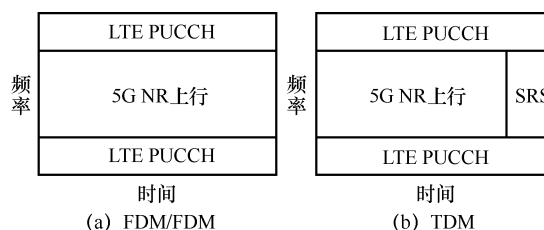


图 1 4G、5G 同频上行共存示意图

2 动态同频共享技术关键因素

开销方面, 由于 4G、5G 信令共存会带来一定的信道容量损失, 因此同频共享需要采用有效的 PDCCH 控制信道分配算法以降低 PDCCH 的开销, 目前现网采用动态同频共享。以 20 MHz 带宽、15 kHz 子载波间隔, 2.1 GHz 重耕后动态同频共享开销分析显示, LTE (10 MHz) 联合 NR (10 MHz) 的上、下行额外开销均为 50%, 动态同频共享 (LTE 与 NR 共享 20 MHz) 的上、下行额外开销分别为 5.60% 和 10.30%, 动态同频共享 (LTE 与 NR 共享 15 MHz+NR 独占 5 MHz) 的上、下行额外开销均为 25%, NR 可用子载波为 106 个资源块 (resource block, RB), LTE 载波可用 100 个 RB, 频谱利用率提升约 6%。在 20 MHz 或以下带宽内实现动态同频共享, 即使在 NR 空载时也会给 LTE 系统带来额外的开销。

调度方面, NR 与 LTE 频谱资源使用比例可随用户接入动态调整, 4G、5G 业务信道 PDSCH (PUSCH) 实时共享, 可根据业务需求实现不同粒度的调度和变化以提高频谱使用效率。可以凭借精细颗粒度解决频谱共享导致的频谱资源动态变化和多重优先级网络共存问题, 本文以 2.1 GHz 的动态同频共享 (LTE CRS 速率匹配的动态实现方式) 为例进行应用研究。由于动态同频共享需要跨不同制式的网络进行调度, 调度器需要在 1~

100 ms 的颗粒度范围内响应不断变化的流量需求, 动态频谱分配如图 2 所示, 颗粒度为 100 ms 的动态频谱分配仍有频谱空余, 颗粒度为 1 ms 的动态频谱分配实现了频谱利用率的最大化, 目前现网时域配置 1 ms 传输时间间隔 (transmission time interval, TTI) 级调度^[21]。

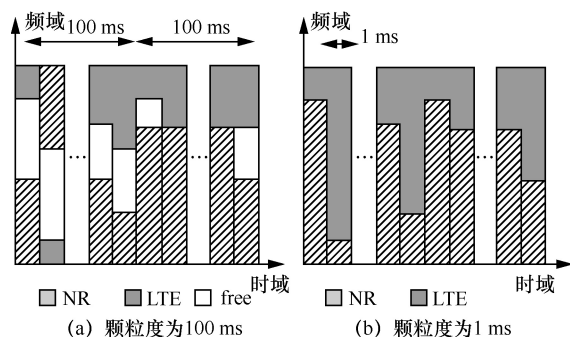


图 2 动态频谱分配

网络架构与接口方面, 为实现 NR 与 LTE 系统同频共享时资源协调, NR 系统支持 Xn 和 X2 接口上的信息交互, 例如, X2 上交互 LTE MBSFN 子帧配置等, Xn 上交互将要使用的时隙等资源使用计划。

3 动态同频共享实现方案

3.1 现阶段实现方案

DSS 频谱共享技术是运营商可以在 4G 和 5G 网络使用相同的频谱, 可以直接利用现有的 LTE 频谱。中国电信和中国联通基于 2.1 GHz 频率, 提出了 4G 和 5G 动态频谱共享技术, 推进 4G 和 5G 协同发展。在 DSS 技术的基础上, 又研发了 4G/5G 动态频谱共享增强 (hybrid DSS, HDSS) 技术和基站簇级的动态资源共享 (cluster DSS) 技术来提升频谱效率、降低容量损失、实现簇内策略协同一致, 在不影响 4G 业务的同时大幅提升频谱利用率, 保障了共建共享网络下的最优用户体验, 上述技术处于小范围应用阶段。

HDSS 在 40 MHz FDD NR 小区配置基础上实现 4G/5G 动态频谱共享, 其中 20 MHz 配置 LTE FDD。对于支持 40 MHz NR 的终端, 可充

分使用 40 MHz 大带宽资源; 对于支持 20 MHz NR 的存量终端, 可以通过部分带宽 (bandwidth part, BWP) 正常接入。

cluster DSS 指资源调度以基站簇为单位, 基站簇内资源统一分配, 实现了簇内无干扰, cluster DSS 通过主动发现话务模式相同的站点, 将其自动汇聚成基站簇, 通过簇内策略协调一致, 最小化异制式干扰, 实现了 5G 用户体验和网络效率大幅提升, 其中关键技术包括基于话务分布规律总结和话务分析的智能话务预测、基于基站间的覆盖关系得到候选的同频邻区的基站簇自生成、将簇内 4G 话务尽量引导到 4G 共覆盖频层的基站簇内流量整形, 以及簇边界站点通过速率匹配自适应和带宽自适应等技术的簇间智能干扰规避。

3.2 端网协同推进 DSS

动态同频共享需要端网协同可实现低频下快速开启 5G SA 网络。终端侧需要支持 2.1 GHz 网络且支持 DSS 功能的手机芯片组和新的调制解调器 (目前主流终端均已支持), 随着多模态网络的发展, DSS 不再局限于 2.1 GHz, 更多的 LTE、5G 频段可能被应用, 因此频谱共享采用的终端均需要支持 DSS 对应的两个频段。

网络架构方面, 多运营商频谱共享有集中式和分布式两种方案, 集中式方案需要增加位于网络架构各频谱共享之上的高级管理节点, 实现频谱的需求管理、频谱池维护管理、干扰管理、频谱分配决策等。而分布式方案则在频谱共享者之间进行上述信息的交互。目前现网仅实现了同设备厂商的分布式信息的交互^[21]。

硬件方面, 动态同频共享可在现有 4G 网络的频段、射频拉远单元 (remote radio unit, RRU) 和天线的基础上更换或添加室内基带处理单元 (building base band unit, BBU), 从而快速将 4G 网络升级到 5G, DSS 硬件部署如图 3 所示。基带方面, 可在原有 4G BBU 的基础上新增 5G BBU 或基带板, 两者之间通过厂商的专用接口快速调度; 也可用共



享 4G/5G 的 BBU 替换原来的 4G BBU。两种方式的区分为专用接口是否是厂商独有或标准化, 目前动态同频共享不支持异设备厂商部署。同厂商基站现网配置需要注意 4G/5G 共模站点 LTE 和 NR 各配置 1 块基带板、1 kHz 子载波间隔、共模 RRU 采用 160 MHz 带宽(5G NR 配置 NR 100 MHz、LTE 配置 3 个 20 MHz 小区), DSS 基带部署如图 4 所示。

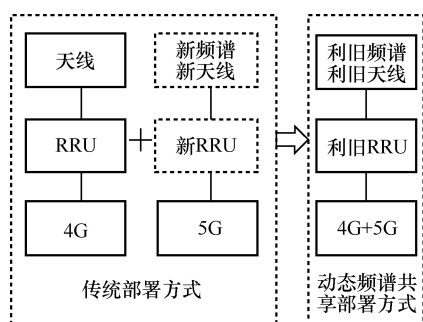


图 3 DSS 硬件部署

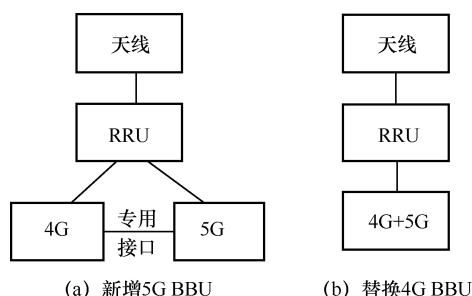


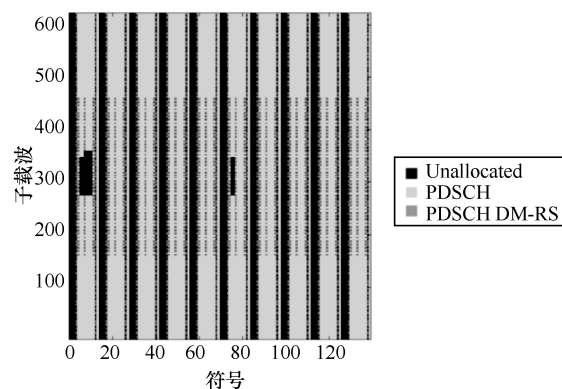
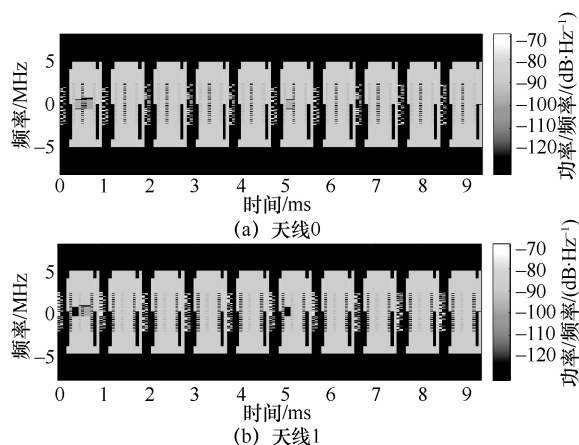
图 4 DSS 基带部署

4 方案验证

4.1 仿真验证

动态同频共享需要有向后兼容性, 即 LTE 设备必须正常运行。NR 和 LTE 的资源调度可以在每个子帧动态变化, MATLAB 仿真参数为: 配置子帧数 10、5G/LTE 物理资源块 (physical resource block, PRB) 数为 52/25、LTE CRS 端口数量为 2、分配 LTE 小区标识的移位值为 0、将 LTE 载波偏移设置 NR 点 A 以 15 kHz 子载波为单位确保 5G 波形具有与 LTE 波形相同的时频 OFDM 结构, 配置 5G PDSCH 以占用 LTE 传输可用和未使用的所有资源。符号 3 是分配给 PDSCH 的第一个符号。

LTE 中的物理控制格式指示信道 (physical control format indicator channel, PCFICH)、物理混合自动重传指示信道 (physical hybrid ARQ indicator channel, PHICH) 和 PDCCH 最多可以占用一个子帧中的前 3 个符号。对于在符号 3 上配置有 DMRS 和 additional DMRS 的 5G PDSCH 映射类型 A, 将第二个 DM-RS 从符号 11 移动到符号 12 以避免与某些 RE 上 LTE CRS 的冲突。5G NR 资源网格示意图如图 5 所示^[22], 4G 载波中引进 5G 的 DSS 波形频谱如图 6 所示^[22]。动态同频共享的单个 PRB/子帧的资源网格包含 LTE CRS、LTE PDCCH 和 5G PDSCH 及其 DM-RS。LTE 配置由两个 CRS 端口和在符号 1 中调度的 PDCCH 组成。仿真结果表明, LTE 中引进 NR 频率提升了频谱利用效率。

图 5 5G NR 资源网格示意图^[22]图 6 4G 载波中引进 5G 的 DSS 波形频谱^[22]

4.2 测试验证

选取某市某区域运营商 A 共享站点 (该区域无

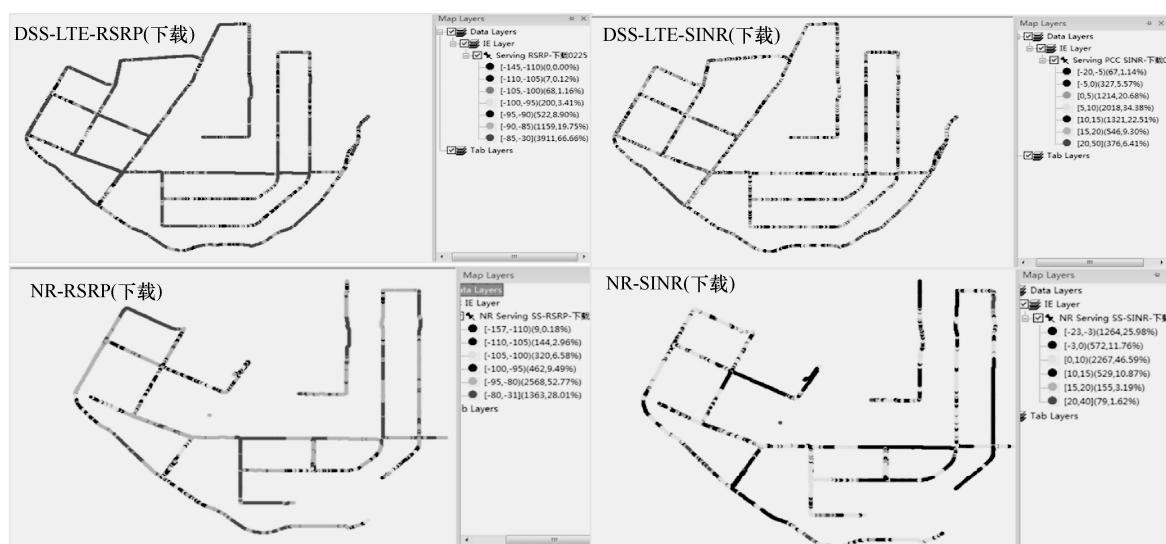


图7 2.1 GHz 动态同频共享开通后路测图 (因 4G 区域非全部动态同频共享开通站点, 4G/5G 路测路线有差异)

NR 基站, LTE 2.1 GHz 与运营商 B LTE 2.1 GHz 异频) 进行动态同频共享验证, 将 22 个 LTE 站点 (65 个小区) 收发模式由 2 发 2 收 (2 transmit/receive, 2TR) 调整为 4TR、13 个站点共计 38 个小区功率控制参数 RS/PA/PB 由 152/0/0 调整为 152/-3/1、6 个基站由型号 UBBPd5 基带板更换为型号 UBPPe16 基带板、LTE/NR 开通动态同频共享, L2100、NR2100 各带宽为 20 MHz, 以下载为例进行路测和关键绩效指标 (key performance indicator, KPI) 分析, 图 7~图 9 为 2.1 GHz 动态同频共享开通后路测指标, 图 10~图 11 为 2.1 GHz 动态同频共享 KPI 趋势, 经软、硬件改造实施动态同频共享后, 在无 NR 区域通过共享现有 LTE 频谱快速实现了 5G 部署, 本次试验区域与运营商 B LTE 2.1 GHz 异频, 但动态同频共享开通后 LTE 上行干扰仍抬升约 2 dBm, 长期演进语音承载 (voice over long-term evolution, VoLTE) 上行丢包率恶化约为 3%, 需要对开通同频共享的小区进行丢包率等优化。因本次试验带宽窄, 实际 4G/5G 性能折损严重, 例如, 本次试验 NR 下行吞吐率仅为 21.1 Mbit/s, 后继运营商共建共享 2.1 GHz 进行频率重耕后, 带宽增大应用动态同频共享实现良好用户感知。

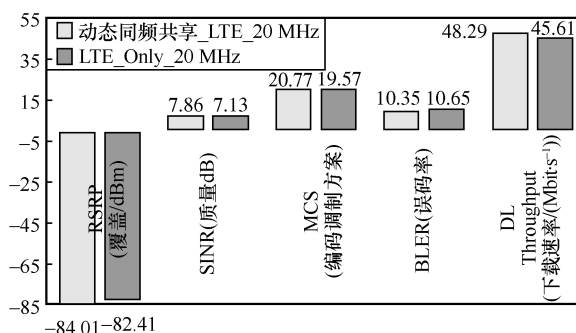


图8 2.1 GHz DSS 开通前后的 LTE 路测指标 (RSRP、SINR、MCS、BLER、下行吞吐率)

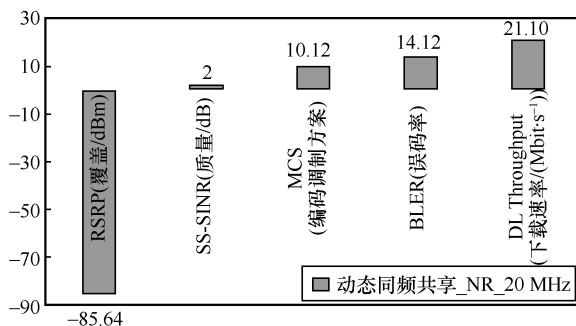


图9 2.1 GHz DSS 开通后的 NR 路测指标 (SS-RSRP、SS-SINR、MCS、BLER、下行吞吐率)

5 动态同频共享方案的挑战与展望

(1) 动态同频共享影响带来底噪的抬升。需要注意同一频段带来的干扰问题, 部署 DSS 的 4G 基站对现网 4G 基站的干扰, 同地址部署动态同频

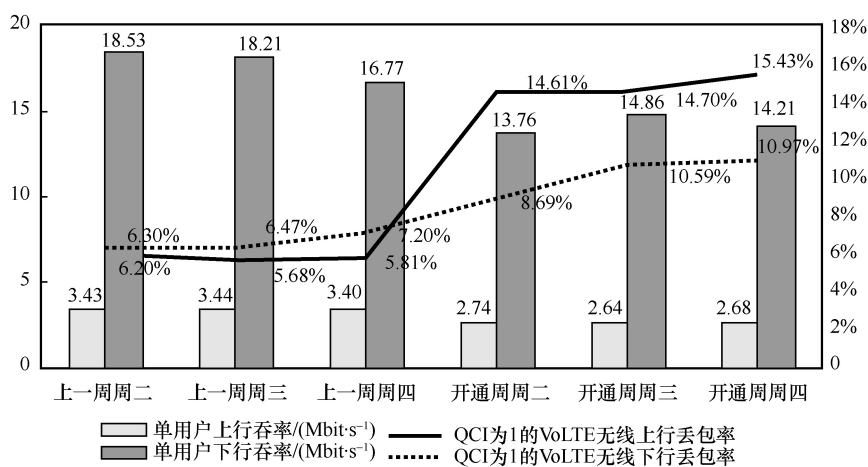


图 10 2.1 GHz DSS 开通后单用户吞吐量、VoLTE 无线丢包率趋势

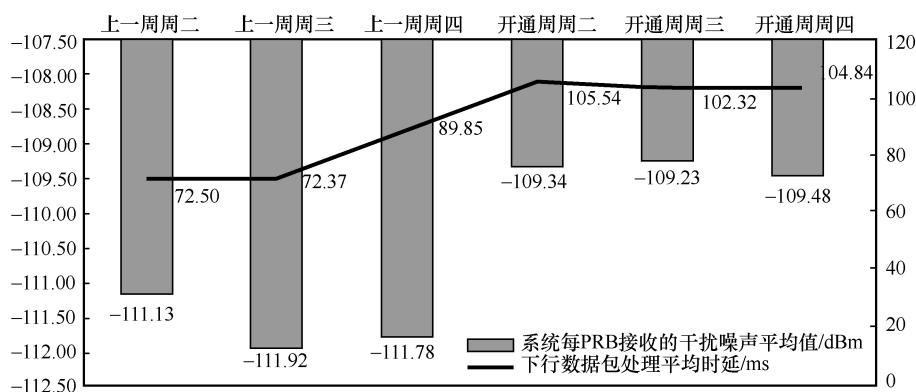


图 11 2.1 GHz DSS 开通后干扰噪声、时延趋势

共享的基站不能与现网 4G 采用相同的频率,异地地址部署动态同频共享时需要综合考虑与周边 4G 基站频率干扰的问题。从试验可知,在动态频谱共享技术下,4G 信令和 5G 信令共存会带来一定的信道容量损失,因此 2.1 GHz 20 MHz 下动态同频共享的 NR 下行性能较 DSS 部署前性能有损失,成片部署 DSS 有利于大规模降低由 DSS 部署所带来的干扰。另外,在 2.1 GHz 重耕后,带宽由 20 MHz 增加至 40 MHz,需要考虑包括共享频谱的系统间共存、各场景下的组网方案设计、多系统集成带来的安全和监管等挑战,例如,国家无线电行政管理部门对相关频谱资源的协调、授权,以及频谱资源使用情况数据库的建立与维护。

(2) DSS 时频谱状态动态变化,阴影衰落、多径衰落等原因在时域和频域上会带来频谱空洞,使用频谱感知技术实现用户可以动态接入频

谱空洞。具体实现过程是频谱感知可以检测频谱情况和授权用户的信号,当检测到空闲频谱时,非授权用户可使用这段暂时空闲的频谱,但由于非授权用户的优先级低,非授权用户必须及时检测到授权用户的出现以避免对授权用户的干扰。在检测到授权用户到达后,可以及时进行频谱切换或减小传输功率。频谱感知技术具有实时性的优点,同时也消耗时间资源,会降低资源利用率^[23]。

(3) 网络架构与接口演进。面向未来通信,6G 频谱的研究方向应聚焦在动态频谱效率共享共存,在网络架构上,6G 会长时间与 4G、5G 共存,因此多频率融合共享将是 6G 系统设计的革新。另外,在现有网络结构上考虑新增高级频谱管理节点,通过频谱精细化管理,可以在频域、时域、空域多个维度实现频谱动态共享以进一步提高频谱利用率。

(4) 高层技术演进。研究大量零散频谱资源进行高效分析与管理、接入控制等, 并分析对现有的网络接入、移动性能等影响, 解决频谱共享导致的频谱资源动态变化和多优先级网络共存问题。

6 结束语

本文对频谱共享技术进行深入剖析, 探索了动态同频共享实现的关键因素, 给出了动态同频共享实现方案、现网应用配置建议, 以及该方案仿真及现网应用的效果验证, 动态同频共享在进行现网 LTE 软、硬件等改造后实现了 5G 快速部署, 提升了频率利用效率, 同时也看到该技术存在底噪抬升等限制, 随着移动网络共建共享进度不断加大, 建议通信运营商在现网结合实际应用场景、频谱条件酌情应用。

参考文献:

- [1] 李贝, 胡煜华, 黎越, 等. 5G 网络无线切片资源管理研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(2): 12-17.
LI B, HU Y H, LI Y, et al. Research on 5G network wireless slicing resource management[J]. Jiangsu Communications, 2022, 38(2): 12-17.
- [2] 3GPP. NR; base station (BS) radio transmission and reception: TS 38.104[S]. 2018.
- [3] 3GPP. NR; physical channels and modulation: TS 38.211[S]. 2018.
- [4] 3GPP. Physical layer procedures for control: TS 38.213[S]. 2018.
- [5] 3GPP. NR; physical layer procedures for data: TS 38.214[S]. 2018.
- [6] 3GPP. NR; user equipment (UE) radio access capabilities: TS 38.306[S]. 2020.
- [7] 3GPP. NR; radio resource control (RRC) protocol specification: TS 38.331[S]. 2018.
- [8] 3GPP. X2 application protocol (X2AP): TS 36.423[S]. 2018.
- [9] 3GPP. Xn application protocol (XnAP): TS 38.423[S]. 2018.
- [10] 李培. 5G 载波聚合和双连接及提前测量上报技术研究[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 23-27.
LI P. Research on 5G carrier aggregation, double connection and early measurement report technology[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(3): 23-27.
- [11] 孙一, 赵静, 吴威, 等. ULNR 三网动态频谱共享方案研究[J]. 电声技术, 2021, 45(10): 117-119.
SUN Y, ZHAO J, WU W, et al. Research on dynamic spectrum sharing scheme of ULNR on three networks[J]. Audio Engineering, 2021, 45(10): 117-119.
- [12] 胡煜华, 赵伟, 李贝. 5G 网络地铁场景覆盖方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(8): 40-44.
HU Y H, ZHAO W, LI B. Research on 5G network subway scene coverage scheme[J]. Telecommunications Engineering Technology and Standardization, 2020, 33(8): 40-44.
- [13] 钱会. 动态频谱共享 DSS 技术关键问题分析[J]. 数字通信世界, 2020(9): 16-18.
QIAN H. Analysis of key problems of dynamic spectrum sharing DSS technology[J]. Digital Communication World, 2020(9): 16-18.
- [14] 王映民, 孙韶辉, 等. 5G 移动通信系统设计与标准详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
WANG Y M, SUN S H, et al. Detailed explanation of 5G mobile communication system design and standards[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2020.
- [15] 刘博光, 柳少明, 门少杰, 等. 基于 SA 的 NSA 移动 5G 网络部署探讨[J]. 移动通信, 2019(8): 20.
LIU B G, LIU S M, MEN S J, et al. SA-based NSA mobile 5G network discussion on network Deployment[J]. Mobile Communications, 2019 (8): 20.
- [16] 刘晓峰, 孙韶辉, 杜忠达, 等. 5G 无线系统设计与国际标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
LIU X F, SUN S H, DU Z D, et al. 5G wireless system design and international standards[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2019.
- [17] 朱晨鸣, 王强, 李新. 5G2020 后的移动通信[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
ZHU C M, WANG Q, LI X. Mobile communications after 5G 2020[M]. Beijing: Post and Telecommunications Press, 2016.
- [18] 埃里克·达尔曼, 斯特凡·巴克浮, 约翰·舍尔德, 等. 5G NR 标准: 下一代无线通信技术[M]. 朱怀松, 王剑, 刘阳, 译. 北京: 机械工业出版社, 2019.
ERIC D, STEFAN B, JOHN S, et al. 5G NR standard: next generation wireless communication technology[M]. ZHU H S, WANG J, LIU Y, translated. Beijing: Machinery Industry Publishing Society, 2019.
- [19] 商挺. 频谱动态共享技术在 900M 低频网建设中的应用[J]. 中国新通信, 2019, 21(23): 95.
SHANG T. Application of spectrum dynamic sharing technology in the construction of 900M low-frequency network[J]. China New Telecommunications, 2019, 21(23): 95.
- [20] 付秀花. 蜂窝网络中频谱分配和干扰控制研究[J]. 科技视界, 2019(31): 67-68.
FU X H. Study on spectrum allocation and interference control in cellular networks[J]. Science & Technology Vision, 2019(31): 67-68.
- [21] 张海涛, 王星. 基于分簇的 5G 超密集组网软频率复用方案研究[C]//5G 网络创新研讨会(2019). 北京: 移动通信杂志社, TD 产业联盟, 2019.
ZHANG H T, WANG X. Research on soft frequency reuse scheme of 5G ultra-dense networking based on clustering[C]//5G Network Innovation Seminar (2019). Beijing: Mobile



Communications Magazine, TD Industry Alliance, 2019.

[22] MathWorks. Dynamic spectrum sharing for 5G NR and LTE coexistence[R]. 2022.

[23] 王学灵. 频谱共享技术及其在 5G 网络中的应用建议[J]. 邮电设计技术, 2019(12): 52-55.

WANG X L. Study on spectrum sharing and its application in 5G network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(12): 52-55.

[作者简介]



李贝(1983-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能运营。



胡煜华(1973-), 男, 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司高级工程师, 主要研究方向为无线网络规划建设。



刘光海(1972-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

肖天(1991-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

宋春涛(1982-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

张屹(1990-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

王波(1984-), 男, 博士, 中国联合网络通信集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为网络规划及保障。

王群青(1975-), 女, 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司高级工程师, 主要研究方向为 5G 创新网络和差异化业务的端到端解决方案、5G 专网和 MEC。