

动态频谱共享技术在 5G 中的应用

罗显兵

(北京中网华通设计咨询有限公司 北京 100070)

摘要 移动通信是一个资源受限性系统,而频谱是非常关键的资源和要素。目前,移动通信已经进入 5G 时代,而 5G 的主力频谱是 3.5 GHz,频率越高,覆盖能力就越弱,因此其很难实现城区的深度覆盖及农村的广覆盖,且实现的建设成本也会非常高。目前,中低频谱资源几乎被 3/4G 占据,且无法全部重耕这些优质的低频段资源。5G 与 3/4G 共用中低频段,由于每张网络承载用户是一个动态变化的过程,若采用固定分配频谱的策略,则会出现网络忙闲不均的现象,从而不能完全发挥中低频谱的利用率。动态频谱共享技术可有效解决上述问题,提高频谱利用率。文中在介绍技术原理的前提下,对该技术实现方式以及部署方式进行了介绍,最后通过测试数据证明了该技术的有效性。

关键词: 频谱重耕;频谱共享;静态分配;动态频谱共享

中图分类号 TN929.5

Application of Dynamic Spectrum Sharing Technology in 5G

LUO Xianbing

(Beijing ChinaComm Design & Consulting Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract Mobile communication is a resource constrained system, and spectrum is a crucial resource and element. At present, mobile communication has entered the 5G era, and the main spectrum of 5G is 3.5 GHz. The higher the frequency, the weaker the coverage ability, making it difficult to achieve deep coverage in urban areas and wide coverage in rural areas, and the construction cost will also be very high. At present, the mid to low frequency spectrum resources are almost occupied by 3/4G, and it is not possible to fully cultivate these high-quality low-frequency resources. 5G and 3/4G share the mid to low frequency bands. As each network carries users in a dynamic process, if a fixed spectrum allocation strategy is adopted, there will be uneven network busy and idle, which will not fully utilize the utilization of mid to low frequency bands. Dynamic spectrum sharing technology can effectively solve the above problems and improve spectrum utilization. On the premise of introducing the technical principles, this paper introduces the implementation and deployment methods of the technology, and finally proves the effectiveness of the technology through test data.

Key words Spectrum rearming, Spectrum sharing, Static allocation, Dynamic spectrum sharing

1 技术背景

我国的移动通信经历了跨越式发展,从 2G 时代的跟随发展到 5G 时代全球领跑,在此过程中,频谱资源发挥了重要的作用。由于用户对原有网络的依附性,导致新网络已经应用,而旧网络仍无法退网的现象,每种网络制式都固定占有一个甚至多个频段,从 2G 时代的 800/900 MHz、3/4G 时代的 1.8/2.1 GHz,逐步发展到现在 5G 使用的 3.5 GHz 及后续的 6 GHz、毫米波等。

通信技术日新月异,频谱效率也得到极大提升,相比 2/3G,5G 频谱效率提升了几十倍,详细对比数据如表 1 所列。目前,5G 建设正在进行,由于现有中低频段都部署在 2/3/4G,不具备在 5G 使用的条件,因此 5G 采用 3.5G 频段。由

于频率越高、覆盖能力越差,导致 5G 难以在短时间内实现连续的广域覆盖及城区的深度覆盖。为解决上述问题,需对提升频谱效率,提高 5G 覆盖能力两方面的中低频谱进行重耕。但在真正实施频率重耕的过程中,涉及巨量的网络调整、用户迁移工作,因此在目前这种多制式并存的局面下,将中低频全部重耕给 5G 使用是不现实的。在此背景下,频谱共享技术(包括静态共享、动态共享)得以提出并发展。动态频谱共享(DSS)技术在 R15 版本中提出,采用该技术,可以动态共享 LTE 和 NR 频谱,加强了 R17 版本中 NR 副载波调度 NR 主载波的跨载波调度功能,降低了 NR 主载波控制信道拥塞^[1]。

为了提高 5G 覆盖性能,需建设一张低频打底网。目前,三大运营商都在对 800\900\2 100 M 等中低频谱进行重

作者简介: 罗显兵(1978—),工程师,从事政府企业信息化咨询设计工作。

耕。随着标准的进一步完善,在现阶段 2/3/4G 不能完全退网的前提下,动态频谱共享技术将得到大力应用。

表 1 2/3/4/5G 频谱效率统计表

网络制式	载波带宽	调制方式	每载波峰值速率	频谱效率 /bit/s/Hz
GSM(EDGE)	200 KHz	8PSK	473.6 kbit/s	2.4
WCDMA	5 MHz	64QAM	21 Mbit/s	4.2
LTE	20 MHz	256QAM	150 Mbit/s	7.5
5G(3.5G)	100 MHz	256QAM	10 Gbit/s	100

2 频谱重耕、频谱共享技术

频谱重耕(Spectrum Refarming)与频谱共享(Spectrum Sharing)可以理解为用户将其可用无线频谱进行重新分配应用的两个阶段。频谱重耕就是从一部分频谱中消除原来无线技术的应用(如 WCDMA),然后将其分配给新技术应用(如 5G)。频谱重耕后,为了保证每种制式的网络保持原有的承载能力,需利用频谱共享技术,来解决频谱资源分配不均的问题。该技术的实质就是在原来制式不能全部退网的情况下,利用多种制式,如 3/4G、4/5G 共享同一段频谱,频谱共享又分为静态共享、动态共享两种方式^[2]。静态、动态频谱共享示意如图 1 所示,静态频谱共享技术相对简单。在 4G+5G 部署中,虽然共用基站硬件设备,但各自使用的频谱是独立、固定的,两网之间不能互用。

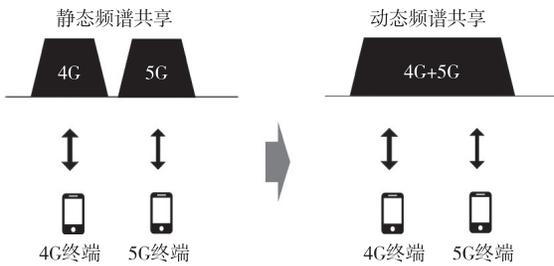


图 1 静态、动态频谱共享示意图

以联通 4G/5G 900M 频谱共享为例,总计 11M 带宽,可选择的静态分配方式包括 LTE0M+NR10M, LTE5M+NR5M, LTE5M+NR6M 等 3 种方式,方式的选择主要考虑 4/5G 业务占比、终端支持率等因素,但静态频谱方式存在以下弊端。(1)在 5G 初期,4G 业务占比较大,最初采用的基本是 LTE5MH+NR5/6M 的分配方式,可能造成 4G 业务量大,但由于频谱资源被分割,导致用户感知下降,而 5G 由于终端支持率不高、5G 业务较少,使分配的频谱被浪费。(2)4/5G 承载业务量是动态变化的,有明显的潮汐特性,且各自业务波峰、波谷出现时机不统一。但由于资源的固定分配,互相之间不能调用,否则可能造成两张网忙闲不均的现象。

从上述两种情况可以看出,静态频谱分配存在频谱资源利用率不高的问题。静态频谱共享的频谱利用效率提升是有限的甚至会下降,为了提升频谱利用效率,提出了动态频谱共享技术。通过该技术,可以实现不同制式的网络根

据业务需求,动态申请、使用、释放资源,使得频谱利用率大幅上升。

2.1 动态频谱共享技术原理

动态频谱共享可以在同一频段内为不同制式的网络进行动态、灵活的时频资源分配。由于是动态共享,可以有效提升频谱效率,且利于 4G 和 5G 之间的协同配合。导频和同步信号的主要作用是保证终端接入网络以及网络保持,由于 5G 物理层设计与 4G 类似,因此两网之间可以实现动态频谱共享。动态频谱共享技术的基本思路就是在 LTE 子帧中调度 NR 用户,同时确保同步和下行链路测量的参考信号不会发生冲突,不会对 LTE 用户产生任何影响。具体而言,实现动态频谱共享技术的关键点如下。(1)在时频资源分配过程中,保证 5G NR 的参考信号(SSB 或 DMRS)与 LTE 的参考信号(CRS)不发生冲突。(2)在不发生冲突的前提下,将 5G NR 信号插入 LTE 子帧。

确保 4/5G 各自的同步信号和下行链路测量的参考信号等小区公共信道不发生冲突是实现动态共享的关键,解决思路是以 5G 灵活配置去适应 4G 的固定分配。(1)4G LTE 固定性。包括 LTE 参考信号,所有信道的时频资源位置都是固定的。(2)5G NR 灵活性。定义了各种 numerologies,物理层设计灵活可扩展,可根据不同的频段分配为数据信道和同步信道提供不同的子载波间隔。NR 的参考信号、数据信道、控制信道都具有极高的灵活性,允许进行动态配置。

利用 NR 物理层的动态灵活性去适配静态的 LTE,可避免两种技术之间发生冲突。具体实现方式包括以下 3 种。

(1) 基于 MBSFN 实现

MBSFN 的定义是在特定时刻,以相同频率,对多个小区进行同步信号传输,实现了跨越多个小区的广播功能。采用这种传输方式能节约频率资源,从而提升频谱利用效率。在 LTE 中,MBSFN 被应用于广播、多播传输,如 eMBMS 多媒体广播、多播服务。在子帧用于传输 MBSFN 时,前两个正交频分复用符号(OFDM symbols)被用于传递基站参考信号,而剩余的 12 个 OFDM 符号则专门保留以用于 eMBMS 广播服务,这部分资源无法用于其他 LTE 用户的数据传输。MBSFN 动态频谱共享技术的思想是通过已存在且保留的 OFDM 符号来传输 5G NR 信号,而不再发送 eMBMS 广播信号,从而规避了与 LTE 冲突的问题。

(2) 基于 5G 的“mini-slot”实现

OFDM 符号可以通过 mini-slot 技术在 NR 1ms 时隙中的任意位置布置,此技术与帧结构无固定关联,因而不受帧结构约束,实现了直接调度。通过缩短持续时间,可以实现 5G 同步符号(SSB 符号)的压缩,从而避免与 LTE CRS(小区参考信号)符号的冲突,优化空闲符号在 NR 传输中的调度。

(3) 基于 NR CRS RM

在非 MBSFN 子帧中,CRS RM(Rate match 速率匹配)常用于 NR 数据信道。通过在 UE 执行 LTE CRS 使用的 RE 打孔,可以让 NR 调度程序明确哪些 RE 无法在 PDSCH 上进行 NR 数

据调度。这个选项可以是RB级别的,也可以是RE级别的。

2.2 动态频谱共享部署方式

动态频谱共享主要包括以下两种方式,具体如图2所示。

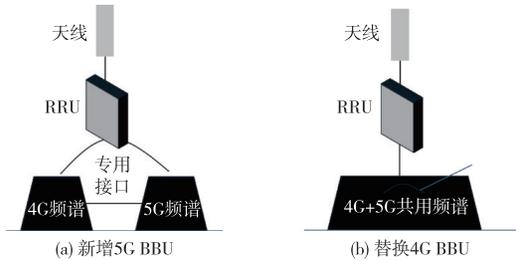


图2 动态频谱共享部署方式

(1)射频单元。在现有的4G RRU基础上升级成支持4G+5G动态频谱共享的RRU。通过新增5G BBU或基带板,在4G和5G BBU之间增加共享时频资源PRB的调度信息。需要注意的是,用于在4G LTE与5G NR之间的交换PRB调度信息是厂家专有接口,其是不开放的,因此动态频谱共享技术不支持在不同供应商设备间的部署。

(2)基带单位。通过新增或替换BBU的方式实现。即将原有4G BBU通过升级或替换的方式,支持4G+5G的BBU。

本文介绍了一个外场测试案例,通过实测数据对动态、静态两种频谱共享的方式进行比较,并对在实际工程中部署动态频谱共享技术注意事项进行了介绍^[3]。

3 测试案例

根据联通集团900M DSS外场测试规范要求,某地市联通与厂家联合进行了DSS动态频谱共享技术的外场测试验证。测试区域位于一个中等县城,共14个站点组成测试区域,区域内站间距约500~800 m,在测试区域内测试了3种900M组网环境,即LTE10M, LTE5M+NR 5M, DSS10M(LTE和NR同时开通10M带宽共享频谱),对语音、视频及数据业务的组网DT性能、定点性能,以及DSS插花组网的移动性等各项业务进行了验证和对比测试。

3.1 部署方式

本次测试涉及到的基站通过利旧现有BBU及主控板UMPTg3(NR)、主控板UMPTb(LTE),进行软件升级,以全部支持动态频谱共享技术。具体部署方式如图3所示。

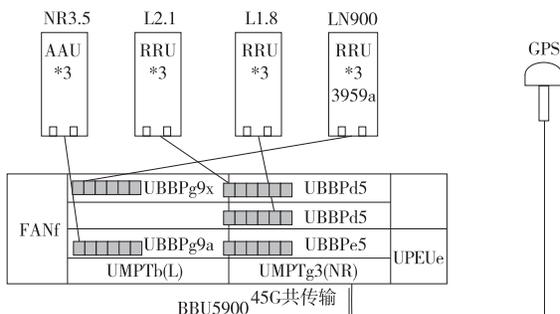


图3 测试区域动态频谱共享部署方式图

3.2 动态共享频谱分配策略

本测试方案中遵循DSS资源分配原则,即采用资源动态共享+优先比例,优先比例设定为8:2(LTE:NR),这可根据预估双方资源占比进行灵活调整。设置优先比例的目的是在合理预估资源占比的前提下,当双方资源需求之和在某一时刻超过总资源(资源碰撞)时,对一方基础资源占用的保护。该分配策略在资源不碰撞时,LTE和NR能同时满足,在资源碰撞时,LTE和NR轮流调度,使用RB数收敛于配置比例^[4]。

3.3 测试结论

(1)室外组网测试

在3种组网配置下,覆盖、干扰及上下行数据业务速率统计如表2所列。通过3种不同组网配置的速率对比可以看出,在站间距约500~800 m的DT场景中,DSS10M性能表现良好,性能高于L5M+N5M模式。

表2 室外组网测试结果统计表

测试环境	RSRP/dBm	SINR/dB	Pdcp下行速率/Mbps	Pdcp上行速率/Mbps
LTE 10M	-82.13	17.10	26.09	17.97
DSS 10M—LTE	-83.59	12.92	23.73	17.75
L5M+N5M—LTE	-78.73	17.47	13.81	9.29
DSS 10M—NR	-80.38	8.40	21.96	23.70
L5M+N5M—NR	-77.13	8.38	18.85	13.97

(2)室外插花组网测试

选取2个站点开通DSS10M配置,区域内其他站点开通L5M+N5M配置以及L10M配置两种组网环境下进行验证,验证结果如表3所列。通过插花组网场景测试结果可以看出,插花场景性能与L5M+N5M基本近似,速率比L5M+N5M稍高,并未见明显降低;同时,在L10M, DSS10M, L5M+N5M插花场景中,LTE和NR的移动性都正常。

表3 室外插花组网测试结果统计表

测试环境	LTE业务		移动性验证
	Pdcp下行速率/Mbps	Pdcp上行速率/Mbps	
L5M+N5M 插花DSS	15.21	10.74	L5M+N5M站点与DSS站点间切换正常
L10M 插花DSS	19.35	15.71	L10M站点与DSS站点间切换正常

(3)室内外定点测试

选取基站并在室内外近点、中点、远点3种典型覆盖点位,分别测试上下行数据业务、语音业务、视频播放(3分钟1080P视频播放)业务,测试结果如表4所列。1)室内场景测试结果。下行性能符合预期,DSS的LTE only与LTE10M性能近似,NR only比LTE10M高20%,DSS的LTE和NR都明显好于L5M+N5M。上行性能符合预期,DSS的LTE only与

LTE10M性能近似, NR only比LTE10M高30~40%, DSS10M总体情况好于L5M+N5M。2)室外场景测试结果。下行性能符合预期, DSS10M的NR高于L10M, 无论L10M还是DSS都好于L5M+N5M; 上行性能符合预期, LTE和NR间干扰较小,

NR效率更高, 性能好于LTE。3)语音业务、视频播放业务测试结果。从测试结果看, 室内外定点测试, 在各种测试环境下, 主被叫语音MoS值在4.0以上, 3分钟1080P视频播放流畅无卡顿和掉线, 初始缓冲时延基本在0.3s以下。

表4 室内外定点测试结果统计表

测试环境	测试点位	室内定点				室外定点			
		RSRP/dBm	SINR/dB	Pdep下行速率/Mbps	Pdep上行速率/Mbps	RSRP/dBm	SINR/dB	Pdep下行速率/Mbps	Pdep上行速率/Mbps
LTE 10M	近点	-81.3	20.87	22.45	25.71	-68.01	31.08	59.78	26.77
	中点	-100.92	15.44	18.53	10.6	-91.23	14.27	26.22	16.09
	远点	-116.2	9.13	12.94	3.23	-103.34	7.14	6.59	7.48
DSS 10M—LTE	近点	-80.76	17.5	21.24	25.41	-73.88	26.81	51.38	23.73
	中点	-98.56	15.99	15.56	9.79	-93.96	24.49	24.7	15.03
	远点	-112.44	11.66	10.28	2.45	-105.51	7.23	6.4	7.65
L5+N5—LTE	近点	-78.41	16.61	15.33	11.35	-71.47	27.47	28.25	11.2
	中点	-100.5	18.26	13.1	3.62	-89.03	18.9	13.31	9.4
	远点	-112.83	13.15	4.83	0.63	-101.04	13.44	6.3	2.05
DSS 10M—NR	近点	-82.51	21.72	26.22	35.56	-69.58	39.71	62.61	38.17
	中点	-98.48	16.56	23.12	14.03	-90.08	6.99	24.73	20.94
	远点	-112.37	10.61	11.62	4.44	-102.18	7.01	8.06	16.28
L5+N5—NR	近点	-78.41	16.61	15.33	14.64	-68.83	23.18	43.34	18.99
	中点	-101.28	18.58	14.81	2.77	-91.52	4.4	18.9	10.07
	远点	-114.03	11.05	7.74	0.95	-104.3	1.7	7.96	4.28

综合上述测试结果可看出, DSS 10M组网方案的性能表现良好, 上下行速率优于L5M+N5M组网, 动态频谱共享方式相比静态方式提高了频谱利用率, 且网络性能良好, 没有出现严重干扰的现象, 即使在插花组网条件下移动性能也十分良好^[5]。

4 结语

通过分析, 动态频谱共享技术可以有效提升频谱利用率。目前, 运营商都在进行中低频谱重耕, 以及5G打底网的建设, 但由于2/3/4G业务依然存在, 且网络不能关停, 在此应用场景中, 动态频谱共享技术具有用武之地。在5G发展的不同阶段, 通过该技术可以动态调整不同的网络频谱占比。随着5G的发展, 当所有的4G用户都转为5G用户

时, 就能将整段频谱资源转给5G, 该技术也就退出舞台。

参考文献

- [1] 李新玥, 王伟, 张涛. 4G和5G频谱共享技术[J]. 移动通信, 2021, 45(2): 89-94.
- [2] 芦佐楠, 谭康, 张钊伟, 等. DSS技术在联通电信5G基站建设规划中的应用及发展[J]. 中国新通信, 2022(5): 24.
- [3] 梁健生, 王月珍, 陈晓冬. LTE与NR动态频谱共享关键技术与性能[J]. 移动通信. 2022(10): 22.
- [4] 岳磊磊, 朱健, 王孝周. DSS技术在5G工程建设中的部署与应用[J]. 通信与信息技术, 2021(2): 3.
- [5] 李晓凤, 戚文敏, 李莉, 等. LTE FDD与NR动态频谱共享实验浅析[J]. 山东通信技术, 2023, 43(1): 8-12.