

5G 高低频协同上行增强技术研究

Research on 5G High and Low Frequency Cooperative Uplink Enhancement Technology

龙青良,田元兵,李 菲(中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Long Qingliang,Tian Yuanbing,Li Fei(China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

摘 要:

时频双聚合技术用于SA网络架构,在载波聚合技术基础上,通过较低频的2.1 GHz FDD 载波来辅助较高频段的3.5 GHz TDD 载波来实现上行覆盖增强,同时下行容量也得到提升。FDD NR 和TDD NR 载波深度协同,支持轮发及并发模式,使得频谱资源利用率最大化,具备多种高低频融合手段能够灵活适配多种组网场景,满足终端差异化网络需求。

关键词:

时频双聚合;载波聚合;上行覆盖增强

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.002

文章编号:1007-3043(2023)03-0006-04

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:

Fusion Assisting Super TDD is mainly used in SA network architecture. Based on carrier aggregation technology, the lower frequency 2.1 GHz FDD carrier is used to assist the higher frequency 3.5 GHz TDD carrier to achieve uplink coverage enhancement, and the downlink capacity can also be promoted. It deeply cooperates with FDD and TDD NR carriers, and can support concurrent and round-robin modes to maximize the use of spectrum resources. It has a variety of high-frequency and low-frequency fusion methods and can flexibly adapt to various networking scenarios to meet the differentiated network requirements of terminals.

Keywords:

Fusion assisting super; Carrier aggregation; Uplink coverage enhancement

引用格式:龙青良,田元兵,李菲. 5G 高低频协同上行增强技术研究[J]. 邮电设计技术,2023(3):6-9.

1 概述

5G 商用初期主要聚焦于 eMBB 业务,满足大带宽移动互联网应用需求。同时随着移动互联网、物联网、云存储、智能监控等业务的多元化发展,海量数据的上传要求也快速增长,包括超高清视频通信、大数据采集、智能监控、AR/VR 视频直播等都对 5G 的性能,特别是上行容量、上行覆盖等提出了更高要求。

目前 5G 的主流商用频段(如 3.5 GHz)在 3GPP 中被定义为时分双工模式(TDD),是构建 5G 增强移动宽带(enhanced Mobile Broadband, eMBB)业务的黄金频

段,同时也是全球多数运营商 5G 首选频段。下行引入 Massive MIMO 技术,通过更为精准的波束赋形和波束扫描等技术极大地提升了下行方向的容量和覆盖能力。同时 TDD 模式上下行时隙配比不均,导致 C-Band TDD 系统上下行覆盖不平衡。受频段特性和 TDD 制式影响,3.5 GHz 的 5G 网络上行覆盖能力和上行容量不足,都亟需提升(见图 1)。

随着 NR 新频段的不断释放,以及现有 LTE 频段的重耕和频谱共享技术的成熟,5G 多频段协同组网将会成为常态化。3GPP R16 版本在上行载波聚合技术基础上,增加 Uplink Tx Switching,即本文所提的时频双聚合技术方案,在 TDD-NR 的上行时隙,终端可以利用 2 个发射通道同时发射数据,可以最大化使用频

收稿日期:2023-01-14

频段	C-band	Sub3G
制式	TDD	FDD
时隙配比	D D D S U D D S U U	D D D D D D D D D D U U U U U U U U U U
优劣对比	带宽大、下行时隙占比高, 适合下行大带宽业务; 频段高, 上行时隙占比低, 上行覆盖能力有限	带宽小, 不适合下行大带宽业务; 频段低, 穿透力强, 适合低时延业务; 上行全时隙, 适合上行大带宽业务

图1 5G 高低频段对比

谱资源,同时针对TDD-NR上下行覆盖不平衡问题,利用TDD-NR和FDD-NR的各自优势形成互补,提升上行覆盖和容量,满足视频回传、网络直播、智能制造等应用对5G大上行的需求。

2 5G 上行增强技术研究

2.1 R15 上行增强技术

3GPP R15引入3种上行增强技术:双连接(EN-DC)、补充上行(Supplementary Uplink, SUL)、上行载波聚合(Uplink Carrier Aggregation, UL CA),通过多个频段之间的协同实现上行增强。SUL和UL CA技术的本质是通过TDD/FDD、高频/低频协同互补对上行进行增强。传统的SUL和UL CA技术都有一定的不足,无法充分发挥FDD+TDD双载波协同的全部优势。其中SUL技术是利用FDD低频段的上行频段来弥补TDD高频段上行覆盖的不足,由于只有上行频段的特殊性,该技术的实现在逻辑上属于一个小区,只是在物理层面终端可以选择在2.1 GHz频段发射或在3.5 GHz频段发射,但不能同时在2个频段发射。同一时刻只能在1个载波上进行上行数据传输,且主要用于提升小区边缘速率,无法对上行近点容量进行提升。

而对于上行载波聚合UL CA技术,只有同时存在FDD和TDD 2个NR载波且覆盖都较好的区域,才能采用UL CA来提升频谱利用率,如图2中的区域(a)。而在只有1个载波覆盖的区域,如图2中的区域(b),上行链路仅使用NR carrier 2进行通信。

2.2 时频双聚合技术

考虑到天线设计复杂性、发射功率限制等因素,5G商用终端上行普遍为2个发射通道(2Tx),理想情况下采用上行双流方式传输,等效带宽翻倍。然而,由于通道数量的限制,使得在多频段组网时性能没有得到最佳利用,如果需要进行带外载波聚合,则其中每个载波都只能使用1个发射通道,因此TDD-NR载

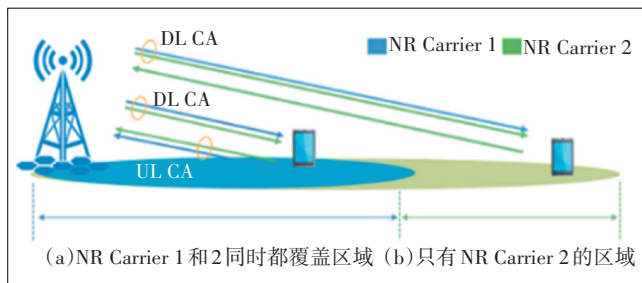


图2 UL CA的应用场景

波的上行无法使用双流传输,聚合后的上行容量可能反而不如不激活载波聚合。

3GPP R16标准中引入上行发射通道切换的机制(Uplink Tx Switching),即一个发射通道固定给载波2使用,另一个发射通道在载波1和载波2之间切换,在TDD-NR载波上最大限度保留上行双流能力,达到最大化利用多个频谱资源的目标。上行发射通道天线切换是指终端在SUL和上行CA模式下通过时分切换2个物理天线在低频实现单天线发射,在高频实现双天线发射的功能。如图3所示,终端在2.1 GHz频段发射时切换到2.1 GHz天线端;在3.5 GHz频段发射时,终端将原本2.1 GHz的射频前端和数模转化切换到3.5 GHz天线端,从而实现3.5 GHz双天线发射。该功能在SUL和上行载波聚合的时分发射模式下实现在近、中点大幅提升用户上行吞吐量。在上行业务需求比较大的2B场景有非常大的应用价值。

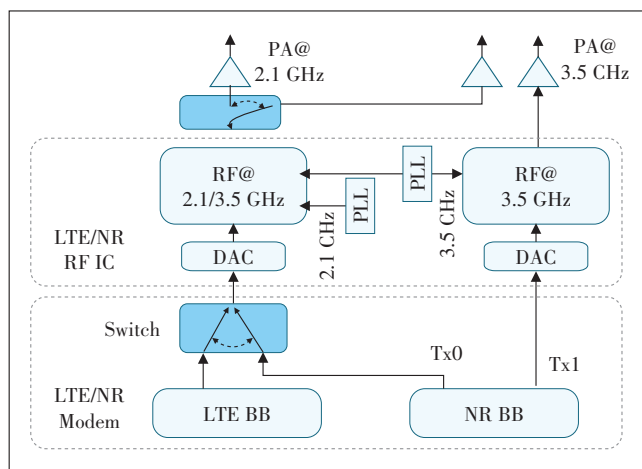


图3 上行发射通道切换方案

时频双聚合方案融合了上行载波聚合技术和上行发射通道切换技术,基站可结合终端能力、无线环境条件和业务性能需求等,兼顾频谱利用率最大化原则,为终端选择不同的工作模式(见图4)。

a) 在近中点,即3.5 GHz和2.1 GHz的覆盖都相对

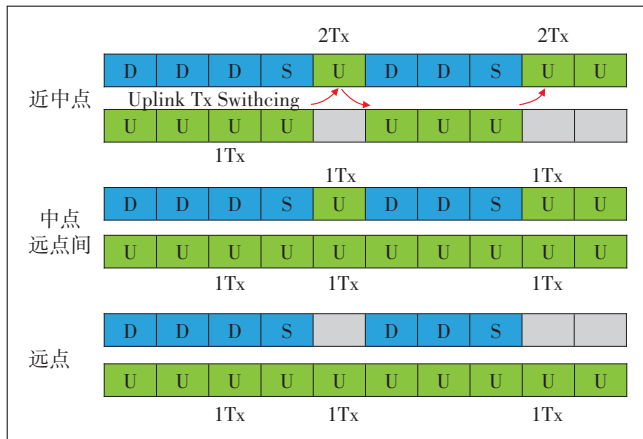


图4 支持Uplink Tx Switching(CA)的终端上行工作模式

较好,此时可实现3.5 GHz和2.1 GHz的TDM发送,即在3.5 GHz TDD上行时隙,终端的双发全部用于3.5 GHz上行2×2 MIMO传输,而在3.5 GHz TDD下行时隙,则终端立即切换到使用2.1 GHz FDD进行上行传输,这种快速切换机制不但使得上行方向可用时隙提升到接近100%,而且不牺牲TDD 2×2 MIMO能力,提升上行容量,获得大带宽和低时延能力。

b) 在中远点,终端在2.1 GHz和3.5 GHz各1T进行并发,提升上行速率。

c) 在远点,即3.5 GHz的上行弱覆盖区域,终端在2.1 GHz单载波发送,即把上行切换到FDD提升覆盖,下行保持FDD+TDD聚合,继续利用3.5 GHz在带宽、大规模阵列天线等方面的优势,使得业务体验速率得到提升。

在将上行载波聚合技术与Uplink Tx Switching融合后,克服了基于3GPP Rel-15 UL CA中不能利用TDD-NR双流导致容量损失的问题,从时域和频域2个方面对频谱利用率进行了增强,达到提升上行吞吐量和覆盖的目标。

2.3 产业链成熟度分析

目前主流设备厂商基本已支持3.5 GHz和2.1 GHz的UL CA和UL Tx Switching功能,并在实验室或外场开展了功能性测试。3.5 GHz和Sub 1 GHz的时频双聚合功能,在2022年Q3实现。

对于芯片和终端而言,目前高通、MTK、海思等芯片厂商均支持。已有商用终端支持DL CA,而上行载波聚合及时频双聚合在2022年Q2后商用终端逐步推出(见图5)。

3 性能提升分析

为评估5G时频双聚合技术相对于3.5 GHz单载波在上行覆盖和上行容量的提升效果,在某城市选取一个3.5 GHz NR和2.1 GHz NR共站址的环境进行测试对比分析,其中2.1 GHz NR带宽为100 MHz。为实现UL CA和UL Tx switching功能,基站需配置FDD-NR 2.1 GHz+TDD-NR 3.5 GHz频点和邻区关系、CSI-RS资源配置和报告等,以及FDD+TDD上行CA配置:开启UL Tx switch功能,需要把主辅载波的CA.ulTx-SwitchSwch、CA.ulTxSwitchPowerBoostSwch开关打开、打开辅载波TDD-NR下行SRS CarrierSwitching,确保

基于成熟的CA架构,CA技术在各个版本中持续增强				
	2019Q2 R15	2020Q2 R16	2022Q1 R17	2023Q1 R18
	<ul style="list-style-type: none"> DL/UL CA在R15协议中已经包括 	<ul style="list-style-type: none"> R16支持CA的能力增强 UL CA增强,支持上行通道切换(Uplink Tx Switching) 支持帧头非对齐 支持带外CA时3 dB Power Boosting 	<ul style="list-style-type: none"> R17支持CA的能力增强 上行双通道切换(Uplink Tx Switching) 	<ul style="list-style-type: none"> R18支持Multi-Carrier的能力增强 上下行自主聚合,匹配业务需求独立调度
		3.4 GHz+3.5GHz	2.1 GHz(20/40 MHz)+3.5 GHz	900 MHz(10 MHz)+3.5 GHz
芯片		DL CA: X60/X65 UL CA/TDM CA: X65	DL CA: X60/X65 UL CA/TDM CA: X65	DL CA: X60/X65 UL CA/TDM CA: X65
		DL CA: 麒麟9000 UL CA: 麒麟9000	DL CA: 巴龙5000/麒麟9000 UL CA/TDM CA: N/A	DL CA: 麒麟9000 UL CA/TDM CA: N/A
		DL CA: M70/80 UL CA: M70 UL CA/TDM CA: M80	DL CA: M70/80 UL CA: M80	DL CA: M70/80 UL CA: M70 UL CA/TDM CA: M80
终端	<ul style="list-style-type: none"> DL CA: 2020年底QC/海思 MTK 均已推出商用芯片,目前ZTE、小米、OPPO、VIVO等都已商用终端支持。 UL CA/TDM CA: MTK/QC都已经支持,商用终端预计将在2022Q2后陆续推出。 			

图5 终端芯片路标

功能生效。

3.1 上下峰值速率测试对比

在小区近点(即覆盖良好的区域)进行峰值速率的对比测试,测试结果如下。

a) 上行峰值速率。3.5 GHz(100 MHz 带宽)单载波下,上行峰值速率约为 383 Mbit/s。采用 R15 的上行 CA 技术时,3.5 GHz(100 MHz 带宽)+2.1 GHz(20 MHz 带宽)上行载波聚合的上行峰值速率仅有 312 Mbit/s,这是由于 R15 的上行 CA 时,3.5 GHz 和 2.1 GHz 的每个载波都只能使用 1 个发射通道,3.5 GHz 载波的上行无法使用双流传输,因此上行载波聚合后的上行容量反而不如 3.5 GHz 单载波。采用时频双聚合技术后,上行峰值速率达 441 Mbit/s,相比 3.5 GHz 单载波提升 15%,相比 R15 的上行 CA 提升了 41%。

b) 下行峰值速率。3.5 GHz(100 MHz 带宽)单载波下,下行峰值速率约为 1 565.5 Mbit/s。采用 3.5 GHz(100 MHz 带宽)+2.1 GHz(20 MHz 带宽)时频双聚合技术后,下行峰值速率达 2 013.6 Mbit/s,相比 3.5 GHz 单载波提升 29%。

3.2 上行平均速率测试对比

为更好评估 3.5 GHz+2.1 GHz 上行载波聚合和上行发射通道切换 2 种技术结合带来的增益,通过单小区拉网测试,在不同信号强度点分别记录 2.1 GHz 单载波、3.5 GHz 单载波、3.5 GHz+2.1 GHz UL TDM CA 的上行速率,其中 2.1 GHz 带宽为 20 MHz,测试结果如表 1 所示,从表 1 可以得出如下结论。

a) 在 3.5 GHz 和 2.1 GHz 的覆盖都相对较好区域,由于 3.5 GHz 的 100 MHz 带宽相对于 2.1 GHz 的 20 MHz 优势明显,此时采用时频双聚合技术相对于 3.5 GHz 的上行速率有 10%~20% 的增益。

b) 随着无线信号变差,3.5 GHz 受影响明显,速率明显下降,而采用时频双聚合技术能有效利用 2.1 GHz 上行信道提升上行速率。当 3.5 GHz 上行基本无覆盖时,上行主要靠 2.1 GHz 提供覆盖和业务速率保障。

c) 若以上行边缘速率门限为 25 Mbit/s 为例,3.5 GHz 单载波对应的 RSRP 约为 -109 dBm,采用时频双聚合技术对应的 RSRP 约为 -113 dBm,相当于上行覆盖延伸了约 4 dB。需说明的是,因测试数据样本较少,此数据仅供参考。

3.3 小结

测试结果表明,时频双聚合技术在融合 R15 的上行载波聚合及 UL Tx switching 技术后,能大幅度提升上

表 1 几种模式的上行平均速率对比

RSRP/ dBm	N1-PCC/ (Mbit/s)	N78- SCC/ (Mbit/s)	N1+N78 时 频双聚合/ (Mbit/s)	N1-单载 波/ (Mbit/s)	N78-单载 双流/ (Mbit/s)	时频双 聚合增 益/%
-66	43	308	351	104	315	11.5
-69	45	278	321	90	284	13.0
-70	42	283	328	89	289	13.5
-80	37	221	257	88	220	16.8
-85	35	202	237	79	199	19.3
-94	30	125	153	61	120	27.5
-99	20	92	105	44	94	11.7
-102	13	81	94	30	79	19.1
-103	15	78	96	33	79	22.7
-106	13	38	50	29	37	34.0
-109	12	26	38	26	26	46.7
-113	13	13	25	20	13	100.7
-115	13	6	19	11	7	168.8
-118	14	4	18	26	4	332.8

行速率和上行覆盖。3.5 GHz(100 MHz 带宽)+2.1 GHz(20 MHz 带宽)上行峰值速率相对于 3.5 GHz 单载波提升了 15%,边缘上行速率提升约 3.3 倍,下行峰值速率提升约 29%,上行覆盖延伸 3~4 dB,效果提升明显。

4 结束语

时频双聚合技术相对于 3.5 GHz 单载波,上行速率和上行覆盖上都有很大幅度的提升,在发挥低频段更优的覆盖能力,改善小区边缘的用户体验的同时,为行业用户大上行带宽需求提供新的选择。3GPP R17 版本对上行做了进一步增强,上行发射通道切换增加了 2Tx-2Tx 的切换。同时,随着 2G/3G/4G 更低频段的重耕,后续将按需灵活聚合碎片化频谱,采用时频双聚合技术,实现频谱价值最大化。

参考文献:

- [1] 3GPP. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone; 3GPP TS 38.101-1[S/OL]. [2022-05-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] 3GPP. NR; Physical layer procedures for control; 3GPP TS 38.213[S/OL]. [2022-05-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

龙青良,高级工程师,主要从事 LTE/VoLTE/5G 技术原理研究、网络评估与优化技术研究及 5G 共建共享方案等工作;田元兵,高级工程师,主要从事移动网规建维优相关工作;李菲,高级工程师,主要从事移动网优化工作。