

# 5G NR 载波聚合部署方案研究

## Research on 5G NR Carrier Aggregation Deployment Strategy

刘英男,张涛,王伟(中国联通研究院,北京 100176)

Liu Yingnan,Zhang Tao,Wang Wei(China Unicom Research Institute,Beijing 100176,China)

### 摘要:

载波聚合是5G SA组网部署方案中的重要领域之一,对于提升用户体验具有重要价值。尤其在网络共建共享的大环境下,可以有效整合各方频谱资源,形成极致体验和竞争优势。从5G NR载波聚合部署中涉及的主要特性入手,在高低频段融合组网的条件下,分析了驻留重选方案、主辅载波管理方案、移动性管理方案、FDD+TDD的载波聚合方案和困难挑战,最后结合一个典型的部署场景,给出了具体的部署方案建议。

### 关键词:

载波聚合;载波管理;移动性管理

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.04.011

文章编号:1007-3043(2021)04-0050-04

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:

Carrier aggregation is one of the important areas in 5G SA networking deployment plan, which is of great value for improving user experience. Especially under the environment of RAN co-construction and sharing, it can effectively integrate the spectrum resources of all parties and form the ultimate experience and competitive advantage. Starting from the main features involved in the carrier aggregation deployment of 5G NR, under the condition of high and low frequency networking, the cell selection and re-selection scheme, the primary and secondary carrier management scheme, the mobility management scheme, the carrier aggregation scheme of FDD+TDD and the challenges are analyzed. Finally, combining with a typical deployment scenario, the specific deployment scheme is proposed.

### Keywords:

Carrier aggregation; Carrier management; Mobility management

**引用格式:**刘英男,张涛,王伟. 5G NR载波聚合部署方案[J]. 邮电设计技术,2021(4):50-53.

## 0 前言

为了提供更高的业务速率,3GPP引入了载波聚合技术(CA),它把多个连续或者非连续的载波聚合成更大的带宽来满足3GPP的要求。载波聚合可以充分利用运营商的非连续频谱资源,提高离散频谱的利用率。在5G SA组网中,尤其是在运营商共建共享的大环境下,载波聚合技术能够充分利用各方的频谱资源聚合成更大的带宽,实现用户的极致体验,建立竞争优势,还能利用高低频组合有效扩展覆盖范围,缓解

覆盖瓶颈问题。

## 1 NR载波聚合基本原理

根据聚合载波所在的频段,载波聚合可以分为:频段内(intra-band)载波聚合和频段间(inter-band)载波聚合。同频段内的载波聚合,可以分为连续的和非连续的载波聚合。频段间的载波聚合是聚合2个或以上不同频段的载波,这会带来射频实现的复杂性。如果是不同制式的,比如TDD和FDD频段之间的载波聚合,实现会更为复杂。

载波聚合在协议架构上,每个无线承载只有一个PDCP和RLC实体,MAC层、物理层有多个分量载波;

收稿日期:2021-03-07

各个分量载波上 MAC 层的数据面独立调度;每个分量载波有各自独立的 Uu 接口传输信道以及独立的 HARQ 实体和重传进程(见图1)。

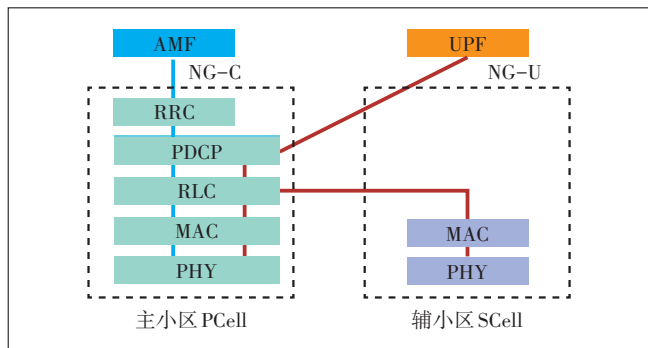


图1 载波聚合数据流示意图

## 2 NR载波聚合技术方案

### 2.1 驻留重选方案

小区重选(cell reselection)是指 UE 在空闲模式下通过监测邻区和当前小区的信号质量以选择一个最好的小区提供服务的过程。在5G SA组网中,存在C-band以及中低频段的多个载波,需要让终端驻留在业务体验最优的载波上。让终端优先驻留某些载波通常是通过设置小区公共重选优先级来完成的。

高频段、大带宽的载波作为网络中容量层,它的公共重选优先级设置成高优先级,这样终端会优先驻留在容量层,获得更好的用户速率和体验。中低频、小带宽的载波作为覆盖层,小区覆盖面积更大,公共重选优先级设置为低优先级,用户会在小区边缘驻留或重选到这个覆盖层载波上,保障业务覆盖和连续。

总体设计原则是,对于带宽、覆盖范围差距大的载波之间,适合采用高低优先级的设置,优先驻留在大带宽载频上。对于带宽、覆盖差别小的载波之间,比如在容量层或覆盖层内部的载波之间,建议采用相同优先级,终端可以随机驻留和分担负荷。

### 2.2 载波管理方案

#### 2.2.1 NR 主载波管理

CA终端和非CA终端都是基于小区的公共重选优先级优先驻留在高优先级的载波频点上,这通常是具有大带宽的载波。CA终端在接入网络或发起业务后,由于其支持CA频段组合的能力不同,可能在其他频点上做主载波所获得的载波聚合带宽和性能更好,因此为了获得更好的性能,需要基站把终端切换到更优的频点上做主载波。

选择流程的触发条件是CA终端初始接入、重建入、切换入时,基站判断小区所在频点不是该终端的最优载波聚合组合的主载波。然后,基站下发A1测量给终端,在基站收到A1测量报告后,开始根据终端的载波聚合组合支持能力,依据一定的算法选择更优的载波聚合主载波,并尝试切换到该主载波上。如果切换成功,在最优的主载波上做CA配置和发起业务,在完成业务后释放连接时,需要基站给终端下发专用的重选优先级,使终端在空闲态继续驻留在该最优的载波上,从而保证下次发起业务时不必再重新选择和切换主载波。

#### 2.2.2 NR 辅载波管理

载波聚合终端共有3种状态,SCell(辅小区)配置未激活,SCell配置且激活,SCell未配置,基站通过主载波上的RRC信令和MAC层控制单元进行统一管理。初始接入、切换入或重建入小区时会触发辅小区的配置,通过测量事件A4或者盲配置来完成。辅小区变更则是基站收到UE上报A6事件,即辅小区的同频邻区比辅小区的信号质量好,在不改变PCell(主小区)的情况下变更辅小区,以保证辅小区的信号质量(见图2)。

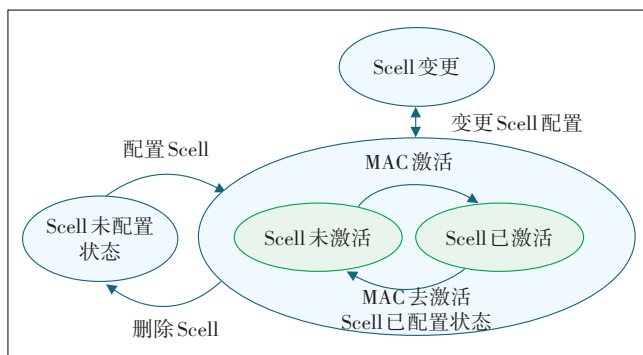


图2 辅小区状态转移图

盲配置方案是初始接入、切换入或重建入小区时,系统直接通过RRC信令消息为终端配置辅小区,在终端接入后直接配好主载波和辅小区资源。其特点是配置时延短,适用于多个成员载波覆盖相近的场景,可以快速实现NR载波聚合的功能配置。

基于测量的辅小区配置方案是CA终端需要进行异频测量,一般采用基于A4或A5事件的测量,gNodeB根据测量报告中候选辅小区的RSRP信号质量从高到低依次进行尝试配置辅小区。其特点是配置时延长,适用于多个成员载波不同覆盖的场景,优点是能够保证添加辅小区的可靠性,但缺点是需要Gap测量时间

和信令开销。

### 2.3 NR载波聚合的流动性管理方案

根据目标辅小区配置时刻的不同,载波聚合的切换可以有3种方案。

a) 带辅小区的切换方案。在切换过程中,在基站下发的RRC重配消息中添加和配置了目标小区的辅小区,因此在切换完成时,就已经配置好载波组合的辅小区。

b) 盲配置的切换方案。在切换过程中会先去配置原辅载波,回退到单载波状态,切换完成后由目标小区盲配置辅载波。该方案的切换时延较小,切换完成后也可快速恢复数据速率。

c) 基于辅载波A4事件的切换方案。在切换过程中会先去配置原辅载波,回退到单载波状态,切换完成后由目标小区根据A4测量结果配置辅小区。该方案相比前2个方案,增加了测量时间和测量上报的时间,导致时延大大增加,用户数据速率恢复时间较长。

在5G NR载波聚合场景下,基站还需要支持基于频段组合选择或者基于频率优先级的切换。在高低频组合的场景下,当载波聚合终端从小区边缘向小区中心移动时,原来是以覆盖更好的低频小区作为主载波的CA组合,在靠近小区中心的过程中,会有更多的高频段组合满足信号质量的要求,这就要求基站通过配置A1测量事件,当服务小区信号质量高于一定门限后,根据终端支持频段组合的能力,以及基站自身的载波聚合组合能力,通过基站算法判断终端应该切换到的最佳目标频点,从而及时切换到相应的频点完成载波聚合,使用户获得更好的业务体验。

### 2.4 TDD+FDD频段间下行载波聚合方案

3.5 GHz TDD频段大规模天线的使用,提供了高增益的下行波束赋形能力,其下行业务信道覆盖能力远远大于上行业务信道的覆盖能力,上行业务信道成为覆盖的瓶颈。在小区覆盖的边缘区域采用以2.1 GHz FDD频段为主载波的下行载波聚合,利用2.1 GHz的上行有效的增强了覆盖能力,同时利用2.1 GHz和3.5 GHz的下行载波聚合提供下行大带宽。上行的数据业务和反馈信息都通过2.1 GHz频段发送给基站,这样可以消除3.5 GHz的上行覆盖限制,扩展3.5 GHz的下行覆盖。载波聚合技术在实现下行容量提升的同时,通过主载波的变化,上行也可以在3.5 GHz和中低频的上行之间灵活切换,在小区非边缘区域获得更大的带宽和上行速率。

这种高低频组网载波聚合的容量增强主要体现在:近点用户可以利用TDD大带宽获得上下行的高容量,同时还可以聚合FDD的下行容量增强。远点用户可以利用FDD获得上下行的容量,同时还可以聚合TDD的下行容量增强,改善了远点用户的用户容量和体验。

FDD和TDD频段做频段间载波聚合也面临一些技术和实现的挑战。首先,FDD+TDD做载波聚合时,TDD作为CA主载波的情况,相比FDD频段做主载波时,上行时隙中对应的PUCCH反馈和调度更为复杂,实现难度更大,需要更多资源的PUCCH format3来完成HARQ反馈,系统的开销会增加。但相比2.1 GHz做主载波,3.5 GHz做主载波的载波聚合由于上行带宽和下行波束赋形等原因,上下行速率优势更大。

另外的一个重要挑战来自于在辅载波上做信道估计和波束赋形。TDD频段由于具有信道互易性,下行波束赋形主要有2种方式,一种是基于SRS终端在各个天线上发送Sounding参考信号,基站通过信道互易性获得下行信道的较精确的估计,进行波束赋形。另一种是基于PMI反馈,基站发送CSI-RS参考信号,终端侧反馈PMI信息,基站选择量化的码本进行波束赋形。在下行Massive MIMO中,信道条件较好时,TDD频段基于SRS的波束赋形性能远优于基于PMI的反馈,尤其是对于MU-MIMO,不需要基于PMI的复杂而性能受限的信道反馈。

在下行载波聚合方案下,如果采用FDD中低频段做主载波,上行将只通过中低频段一个小区进行发送,如果SRS不在3.5 GHz上发送的话,3.5 GHz TDD的下行信道就无法利用信道互异性基于SRS来进行波束赋形,下行性能会受到较大影响。为了解决这个问题,协议上定义了SRS carrier switching的方法来对UE进行配置,使得终端天线可以切换到辅小区发送SRS信号。这对终端能力以及基站实现提出了较高的要求。

在下行CA且无上行CA场景下,如果终端侧不支持SRS carrier switching的情况下,SCC上不会建立上行链路,基站无法根据上行链路获取终端在辅载波上的CSI-RS波束方向;在频段间载波聚合的情况下,主小区和辅小区通常不共射频模块部署,无法使用主载波上的波束方向,基站需要通过CSI-RS波束扫描获得终端在辅载波上波束方向,然后再进行基于PMI的波束赋形。总之,为了支持跨频段的载波聚合并获得更



好的性能,需要基站侧支持TDD和FDD作为主载波以及TDD辅载波基于SRS的下行波束赋形功能,以及终端侧需要支持SRS carrier switching的能力。

### 3 场景部署应用

本节以3个NR载波的部署场景为例,简要介绍采用的载波聚合部署方案。3.5 GHz TDD频段有2个100 MHz带宽的载波,2.1 GHz FDD频段有一个20 MHz带宽的载波,目前设备仅支持频段内和频段间的下行两载波CA。图3给出了驻留重选和载波管理策略的示意图,图4给出了移动性管理策略的示意图。

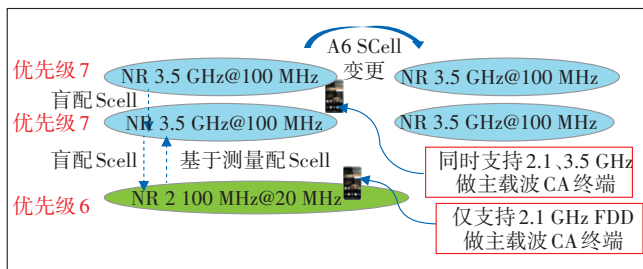


图3 驻留重选和载波管理策略示意图

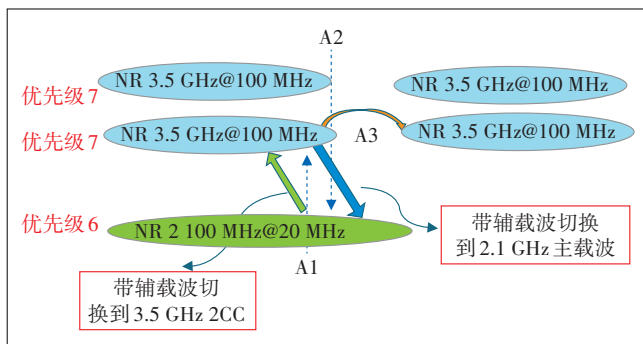


图4 移动性管理策略示意图

a) 驻留重选策略。

(a) 配置3.5 GHz的公共优先级高于2.1 GHz,非CA终端优先驻留在高容量的3.5 GHz频段。

(b) 配置主载波锚点优先级功能,依据终端CA组合能力,CA终端优先驻留3.5 GHz做主载波,其次驻留2.1 GHz做主载波。

(c) 配置CA专用重选优先级,CA终端连接释放到其相应的主载波上进行驻留。

b) 载波管理策略(见图3)。

(a) 辅载波配置:考虑到2.1 GHz覆盖大于3.5 GHz。建议主载波为3.5 GHz时,采用盲配置另一3.5 GHz辅载波(高优先)和2.1 GHz辅载波;建议主载波为2.1 GHz时,采用基于A4测量事件的辅载波配置方案。

(b) 辅载波删除:开启基于A2测量的辅载波删除功能。

(c) 配置A6事件支持SCell变更。

c) 移动性管理策略

(a) 小区中心到边缘,主载波从3.5 GHz切换到2.1 GHz时,采用带辅小区的基于覆盖A2和A4测量事件的切换方式。

(b) 小区边缘到中心,主载波从2.1 GHz切换到3.5 GHz时,采用带辅小区的基于频率优先级的切换方式,即基于A1事件(即服务小区信号质量高于某一门限)启动测量,基于A4事件切换,尽早返回大带宽频点。

(c) 配置基于A3测量的同频切换。

### 4 结束语

5G SA组网还处于部署发展初期, NR频段间的载波聚合在设备和终端实现上还存在一些挑战,厂家对于性能提升特性的支持还有待加强。网络部署中存在不同的频段组合以及不同支持能力的终端,这要求基站能够支持灵活的切换和驻留策略,保障更优的用户体验。目前NR载波聚合的频段组合相对有限,但随着网络中更多频段的引入,场景的复杂性的提升,要求基站具备更智能的主辅载波管理、切换能力,保证用户在最佳的载波组合下完成业务,提高整网的容量和性能。

### 参考文献:

- [1] 许国平,苗守野,张铎,等.载波聚合效能提升的现网实践研究[J].邮电设计技术,2017(8):57-60.
- [2] 黄勇. LTE-A载波聚合技术原理及应用场景[J].信息通信,2017(5).
- [3] 郭希蕊,王一,张涛. LTE载波聚合移动性方案及性能研究[J].邮电设计技术,2016(9):15.
- [4] 李治,张宇. 载波聚合的研究与应用浅谈[J].中国新通信,2016(22).
- [5] 沈爱国. 5G无线网络基站建设模式探讨[J].电信快报,2018(7).
- [6] 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).

### 作者简介:

刘英男,毕业于北京大学,博士,主要从事移动通信新技术和解决方案研究工作;张涛,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事移动通信新技术研究及新技术试验等工作;王伟,毕业于北京交通大学,硕士,主要从事移动通信新技术和解决方案研究工作。