

## 5G 多频段组网和优化策略研究

袁 满, 刘晓燕, 王 科

(中国联通山东省分公司, 山东 济南 250001)

**摘 要:** 随着移动通信网络的不断发展, 运营商拥有高中低不同的频段资源, 无线电频段资源是宝贵的战略资源, 如何合理高效地利用频谱资源是目前运营商考虑的首要问题。在 5G NR 2.1 GHz 和 NR 3.5 GHz 频段的覆盖性能、业务承载等方面对比分析的基础上, 提出了不同场景下的组网建议和多载波间移动策略建议, 为后续 5G 网络建设提供重要依据。

**关键词:** 5G; NR 3.5 GHz; NR 2.1 GHz; 多频段组网; 多载波策略

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211784

中文引用格式: 袁满, 刘晓燕, 王科. 5G 多频段组网和优化策略研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10): 16-21.

英文引用格式: Yuan Man, Liu Xiaoyan, Wang Ke. Research on 5G multiband networking and optimization strategy[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 16-21.

## Research on 5G multiband networking and optimization strategy

Yuan Man, Liu Xiaoyan, Wang Ke

(China Unicom Shandong Branch, Jinan 250001, China)

**Abstract:** With the continuous development of mobile communication network, operators have different frequency band resources at high, middle and low levels. Radio frequency band resources are valuable strategic resources, and how to use spectrum resources reasonably and efficiently is the primary issue that operators consider at present. Based on the comparative analysis of the coverage performance and service bearing of 5G NR 2.1 GHz and NR 3.5 GHz bands, this paper puts forward suggestions for networking and inter-carrier mobile strategy in different scenarios, providing an important basis for the subsequent construction of 5G networks.

**Key words:** 5G; NR 3.5 GHz; NR 2.1 GHz; multi-bands network construction; multi carrier strategy

## 0 引言

5G 网络共建共享为移动网络发展和运营带来机遇的同时, 也带来诸多技术层面的挑战。以中国联通和中国电信 5G 共建共享网络为例, 目前两家运营商已经在 3.5 GHz 频段进行了网络共建共享, 同时又分别在 2.1 GHz 频段拥有 25 MHz 和 20 MHz 带宽。2.1 GHz 和 3.5 GHz 频段在 5G 网络中如何合理高效地利用是目前运营商考虑的重要问题。本文在对 5G NR 2.1 GHz 和 3.5 GHz 频段的覆盖性能、业务承载等方面进行对比分析的基础上, 对不同场景下的组网建议和载波间移动策略进行探索, 旨在为后续 5G 双频段组网规划提供重要依据。

## 1 5G NR 2.1 GHz 和 3.5 GHz 频段链路预算理论分析

根据自由空间传播模型<sup>[1]</sup>(式(1)), 传播距离( $D$ )越远, 路径损耗越大, 电磁波的频率( $F$ )越高, 路径损耗也越大。以 1.8 GHz 为基准, 2.1 GHz 比 1.8 GHz 的自由空间传播损耗多 1 dB, 3.5 GHz 比 2.1 GHz 的自由空间传播损耗多 5 dB。如果再考虑衍射和穿透损耗等因素, 总体传播损耗的差异还会增大。

$$\text{自由空间损耗} = 20\lg F + 20\lg D + 32.4 \quad (1)$$

链路预算是从理论上评估无线网络覆盖的有效手段, 通过对上下行信号传播途径中各种因素的综合理论考察, 对系统覆盖能力进行评估, 获得在保持一定的通信质量下链路所允许的最大传播损耗, 再使用相应的模型来计算出小区覆盖的半径<sup>[2]</sup>。链路预算流程如图 1 所示。

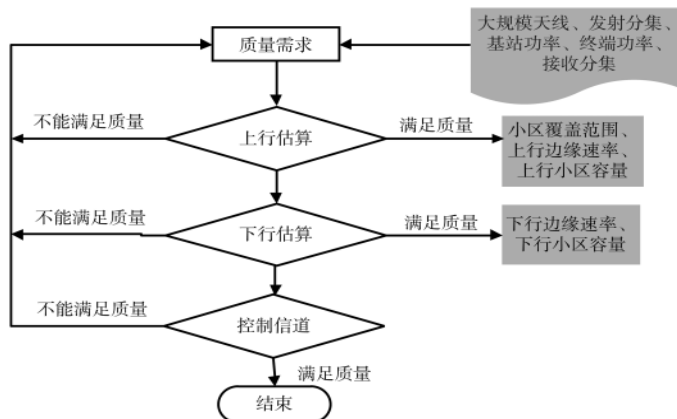


图 1 链路预算流程

链路预算质量需求如下:

(1)在网络中  $x\%$  概率保障  $y$  Mb/s 的感知,如 98% 的概率满足 25 Mb/s(下行)、5 Mb/s(上行)。

(2)满足上行业务容量需求,如上行每平方公里业务需求为 50 Gb/s。

(3)满足下行业务容量需求,如下行每平方公里业务需求为 100 Gb/s。

链路预算输入包含天线配置、RBS 功率(如 100 W 或 200 W)、UE 发射功率(如 23 dBm 或 26 dBm)、带宽、频段、上下行配置和特殊子帧配置等。

上行估算:逐渐增大站间距,确定满足质量需求的最大站间距;在给定站间距场景下,如果质量达不到要求,则需要放宽质量要求或更改输入条件。

下行估算:计算下行质量和容量满足情况,当不满足时,缩小站间距,直至满足设计目标。

控制信道:验证小区边缘的控制信道性能,如果控制信道不能满足要求,缩小站间距,直至满足设计目标。

以 3.5 GHz 上下行链路预算为例,3.5 GHz 下行性能明显优于上行性能,如图 2 所示;按照 5G 规划速率目标,上行覆盖范围明显小于下行,如图 3 所示。基于现网 4G 基站的平均站间距,下行连续覆盖可行性高,但上行连续覆盖挑战很大。

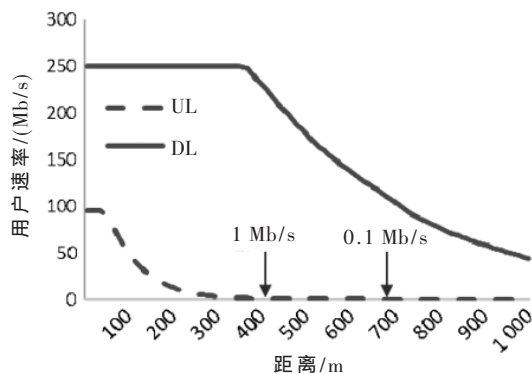


图 2 NR 3.5 GHz 上下链路预算分析



图 3 3.5 GHz 上下行链路估算差异示例

以现网 4G 1.8 GHz 频段为基准点,按照 1 Mb/s 上行边缘速率的基准规划标准<sup>[3]</sup>,链路预算结果显示,链路储备 2.1 GHz 4TR 优于 3.5 GHz 64TR 约 1.2 dB,优于 3.5 GHz 32TR 2.3 dB,如表 1 所示。

根据小区半径预算结果(如表 2 所示),考虑到实际部署中 3.5 GHz 天线挂高低于 1.8/2.1 GHz,而当前 3.5 GHz

表 1 链路预算结果

项目	1.8 GHz 2TR	2.1 GHz 4TR	3.5 GHz 64TR	3.5 GHz 32TR	3.5 GHz 8TR
终端发射功率/dBm <sup>[4]</sup>	23	23	26	26	26
调度 RB 数	22.9	28.5	48.5	48.5	48.1
发射功率/子载波/dBm	-1.4	-2.3	-1.6	-1.6	-1.6
基站接收天线增益/dBi	18	18	25	23.5	17.5
跳线及连接损耗/dB	0.3	0.3	0	0	1
阴影衰落余量/dB <sup>[5]</sup>	6	6	6	6	6
干扰余量/dB	3	3	2	2	2
建筑物穿透/dB <sup>[5]</sup>	21	22	26	26	26
系统余量汇总/dB	12.3	13.3	9	10.5	17.5
接收机噪声系数/dB	2.8	2.8	3.5	3.5	3
接收机底噪电平/dBm	-130	-130	-126	-126	-126
SINR 门限值	-3	-7	-4.5	-5	-11
接收机灵敏度	-132	-136	-130	-131	-137
最大链路储备	119	121	120	119	118
相对 1.8 GHz 差异	0	2.1	0.9	-0.2	-0.6

表 2 小区半径结果

项目	1.8 GHz LTE FDD2T2R	2.1 GHz NR FDD4T4R	3.5 GHz NR TDD64T64R	3.5 GHz NR TDD64T64R
最大链路储备	118.7	120.8	119.6	119.6
传播模型	Cost-231/ TS36.873 <sup>[7]</sup>	Cost-231/ TS36.873	TS36.873	TS36.873
天线高度/m	30	30	30	25
道路宽度/m			10	10
平均楼高/m	Urban	Urban	30	30
小区半径/m	269/294	276/314	217	174
站间距/m	404/441	414/471	325	261

大都是与 4G LTE 共站址建设,因而 5G 上行覆盖挑战较大<sup>[6]</sup>,需要进一步增加站址才能满足连续覆盖的要求。

## 2 多场景组网方案

### 2.1 5G 网络高低频协同共建共享模式

NR 2.1 GHz 和 NR 3.5 GHz 双频搭配组网不仅可以提升 5G 网络容量和覆盖,还能够降低因互操作带来的业务感知时延,提高 5G 网络对高速移动用户的支持能力<sup>[8]</sup>。NR 2.1 GHz 可以低成本部署,进行广覆盖和深度覆盖,快速实现大片区域连续覆盖<sup>[9-10]</sup>。而 3.5 GHz 频段网络原则上可以先在热点区域按需部署,根据数据流量需求情况逐步拓展到更多的区域。移动策略上,在业务需求不高时,可以将 5G 终端切换到 2.1 GHz 网络,视具体情况选择关闭 3.5 GHz 载波、通道和天线,以降低网络能耗;2.1 GHz 网络不满足需求时,按需开启 3.5 GHz 高频段网络。在 5G 网内两个频段间切换可以达到毫秒级响应,时延比在 4G 和 5G 系统之间切换要小得多。

统筹考虑技术演进、市场需求、竞争态势、经济效益四要素,利用 2.1 GHz 打造高低频协同,3.5 GHz 以 64TR 宏蜂窝站型为主,同时 2.1 GHz 5G 网络提供基础覆盖,避免大规模增补 3.5 GHz 新站带来的投资压力。同时,

对电联来说 3.5 GHz 的共享载波模式可以利用双方的 200 MHz 带宽实现灵活组网,5G 容量按需部署。以终为始,规模部署 NR 2.1 GHz 与 3.5 GHz 合力打造有竞争力的 5G 全覆盖网络,整体原则如图 4 所示。

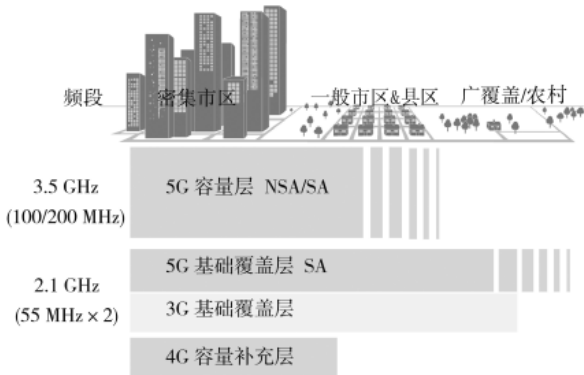


图 4 NR 3.5 GHz 和 NR 2.1 GHz 组网整体原则

2.2 室外各种场景组网建议

在上述分析基础上结合现网实际情况,有如下分场景部署建议:

(1)在发达县城以上,优先采用 3.5 GHz 进行覆盖,2.1 GHz 用于补充深度覆盖,密集城区优先采用 3.5 GHz 64TR 组网;对于高负荷、高价值商务区、高密度住宅区三高场景,采用 3.5 GHz 64TR 200 MHz 双载频覆盖;对于高速、高铁等快速移动场景,采用 3.5 GHz 32TR 或 8TR 覆盖。对于像密集住宅等深度覆盖的需求场景,与 NR 3.5 GHz 共站叠加 NR 2.1 GHz,利用低频传播优势改善深度覆盖效果。

(2)一般城区根据容量和建筑物类型选择 3.5 GHz 32TR 或 64TR,发达县城或者县城核心区优先采用 3.5 GHz 32TR 组网。

(3)一般县城、乡镇及农村优先采用 2.1 GHz 组网覆盖,3.5 GHz 用作热点区域扩容。

3 不同场景下的多载波策略研究

3.1 5G 多载波策略

5G SA 组网空闲态多载波策略:5G SA 组网空闲态多载波策略是基于重选优先级的差异实现不同层次网络的驻留<sup>[11-12]</sup>。考虑到 NR 3.5 GHz 网络带宽资源丰富,终端成熟,共站双拼场景下建议 5G 终端优先驻留在 NR 3.5 GHz 网络,因此在配置重选优先级时需遵循重选优先级 NR 3.5 GHz>NR 2.1 GHz。当终端移出 NR 3.5 GHz 覆盖区,UE 将由高优先级 NR 3.5 GHz 重选到低优先级 NR 2.1 GHz,需满足 NR 3.5 GHz 小区电平低于服务门限且目标小区高于低优先级重选门限,才能重选到 NR 2.1 GHz 小区;而当 UE 移动到 NR 3.5 GHz 良好覆盖区时,UE 将由低优先级 NR 2.1 GHz 重选到高优先级 NR 3.5 GHz,根据重选策略,只需满足目标小区高于

高优先级重选门限即可。具体策略如图 5 所示,重选门限详见表 3。其中,S 和 N 分别表示同频重选过程中服务小区和目标小区的信号强度,S<sub>cell</sub> 和 N<sub>cell</sub> 分别指在异频重选过程中服务小区和异频目标小区的信号强度。

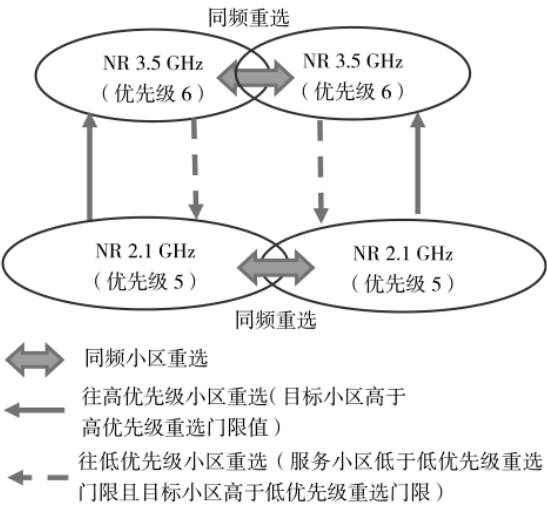


图 5 空闲态重选策略

表 3 空闲态多载波重选门限设置

邻区	驻留小区 NR 3.5 GHz			驻留小区 NR 2.1 GHz		
	重选优先级	测量启动门限	重选门限	重选优先级	测量启动门限	重选门限
NR 3.5 GHz	6	-62	$N>S+4\text{ dB}$	6	一直测量	$N_{\text{cell}}>-112$
NR 2.1 GHz	5	-108	$S_{\text{cell}}<-114$ $N_{\text{cell}}>-110$	5	-62	$N>S+4\text{ dB}$

5G SA 组网连接态多载波策略<sup>[13-14]</sup>:SA NR 为 3.5 GHz 频点时,在高穿损区域(例如建筑物密集区域)电平下降较快,此时终端需要回落到 NR 2.1 GHz 网络;如果 SA NR 用 NR 2.1 GHz 频点组网,覆盖可能好于 NR 3.5 GHz,可以将 NR 2.1 GHz 作为底层覆盖网络。结合 NR 3.5 GHz 和 NR 2.1 GHz 容量和覆盖性能,移动性切换策略总体思路如图 6 所示。

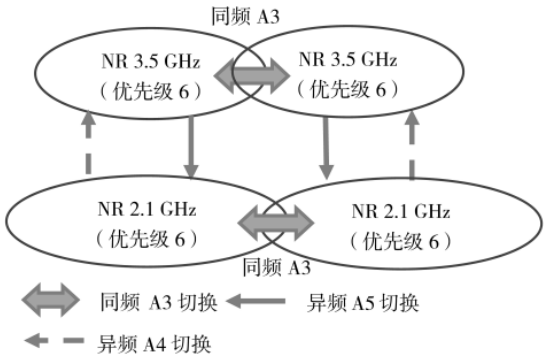


图 6 连接态移动策略

(1)各频段之间均开启双向切换。

(2)NR 3.5 GHz 频段向 NR 2.1 GHz 频段的切换采用 A5 事件(源侧差、目标好),通过设置 A5 门限,让用户尽量驻留在 NR 3.5 GHz 频段,在 3.5 GHz 信号差的情况下才切换到 2.1 GHz 频段。

(3)NR 2.1 GHz 向 NR 3.5 GHz 切换时采样 A4 事件,当 3.5 GHz 信号满足 A4 门限时,切换到 3.5 GHz 频段,让用户尽量使用频率资源丰富的 3.5 GHz 频段,以保障使用感知。

(4)相同优先级之间采用 A3 事件(相比最好),保证用户及时切换到信号好的小区。

5G SA 组网多载波语音策略:5G SA 网络下语音业务解决方案有两种方式:(1)SA 网络建网初期采用 EPS FB,(2)当 SA 网络成熟后采用 VONR。目前 5G 网络上使用的语音业务解决方案是 EPS FB。EPS FB 回落模式有 3 种<sup>[14]</sup>:盲重定向、基于测量重定向、基于测量 IRAT HO。回落方式选择还需要考虑 N26 支持情况。

(1)AMF 不支持 N26 接口:NG-RAN 只能采用重定向方式。

(2)AMF 支持 N26 接口:NG-RAN 可以采用切换或者重定向方式。

EPS FB 3 种回落方式各有利弊,表 4 从技术实现、回落时延及网络配置要求等三方面进行了对比。盲重定向的回落时延最短且技术实现最简单,回落稳定性(容错性)最高。在网络建设初期,覆盖不连续,邻区关系不稳定,建议 EPS FB 回落使用盲重定向方式。

表 4 3 种 EPS FB 回落方式对比

回落模式	技术实现	EPS FB	
		优点	缺点
盲重定向	只需配置频点; UE 无需测量直接接入 4G 接入	回落时延最短:较切换方式时延短 300 ms~400 ms	需加强单频连片 4G 打底网,周边 4G 需要单频覆盖优
切换	要配置邻区;UE 对邻区测量,上报最优邻区;需要核心网具备 N26 接口	回落时延居中:较重定向时延短 400 ms~500 ms	配置和优化工作量大;需要配置 4G 邻区,存在邻区漏配影响 fallback 成功率的问题
重定向	单个频点至少配置 1 条邻区;UE 测量报告会上报满足条件的频点,基站选择一个最好的频点在 RRC release 中下发	优化工作量大,成功率最高:只须配置 4G 频段, fallback 成功率高	回落时延最长:相对切换长 400 ms~500 ms, 用户感知不明显

### 3.2 不同场景的策略设置建议

#### 3.2.1 热点区域多层组网场景

在某些特殊场景如校园和工业园区,话务较为集中,100 MHz 带宽不足以满足用户需求,需要开通 NR 3.5 GHz 双载波,满足容量需求。而在住宅密集区域,为了保证深度覆盖效果,需 NR 2.1 GHz 和 NR 3.5 GHz 协同覆盖。

(1)NR 3.5 GHz 频段双载波覆盖区域:典型覆盖场景

有高校、交通枢纽、机场、地铁、大型活动保障场景(音乐节、体育赛事、啤酒节等)、三甲医院、大型购物中心、高档写字楼、聚类市场及大型酒店等。该类场景用户密集,话务量高,建议开通 NR 3.5 GHz 载波聚合功能<sup>[15]</sup>,有效提高用户感知速率。由于两个载波的带宽都是 100 MHz,覆盖性能相同。重选方面采用同优先级异频重选方案:两个 3.5 GHz 载波的优先级均为 6,异频启动门限(SNon-IntraSearch)为-110 dB~-105 dBm。连接态策略详见图 7,不同载波间采取异频 A3 事件(相比最好),保证用户及时切换到信号好的载波,两个同覆盖载波开通载波聚合功能,提升用户感知速率。

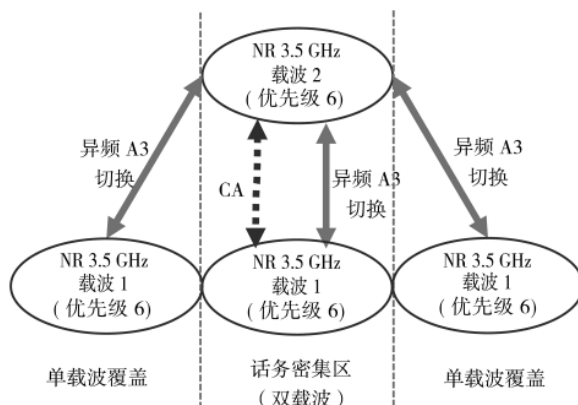


图 7 NR 3.5 GHz 频段双载波覆盖区域

(2)NR 3.5 GHz 和 NR 2.1 GHz 双频段覆盖区域:典型应用于 NR 3.5 GHz 深度覆盖不足、室分因各种原因无法建设的场景,如密集住宅、工业园区等。NR 3.5 GHz 小区在相同信号强度下速率优势明显,NR 2.1 GHz 载波覆盖效果更好,该场景下 NR 3.5 GHz 小区主用于吸收话务,NR 2.1 GHz 小区重点用于加强深度覆盖。考虑到用户业务多为下载类业务,所以重选方面采用不同优先级重选方案:NR 3.5 GHz 重选优先级为 6,NR 2.1 GHz 重选优先级为 5,NR 2.1 GHz 重选到 NR 3.5 GHz 载波,高优先级门限(ThreshXhigh)为-114 dBm~-110 dBm;NR 3.5 GHz 重选到 NR 2.1 GHz 载波,服务小区低优先级门限(threshServingLowP)为-114 dBm~-110 dBm,目标小区低优先级重选门限(ThreshXlow)为-110 dBm~-106 dBm。连接态策略参见图 8,NR 3.5 GHz 切换到 NR 2.1 GHz 采用 A2(即异频和异系统起测门限)+A5 方式,A2 门限为-106 dBm~-100 dBm,A5 本端门限为-114 dBm~-110 dBm,A5 对端门限为-110 dBm~-106 dBm;NR 2.1 GHz 切换到 NR 3.5 GHz 载波采用 A2+A4 方式,A2 门限为-95 dBm~-85 dBm,A4 门限为-110 dBm~-106 dBm。

#### 3.2.2 室内外异频组网场景

根据室分容量需求,室分频点分为 NR 3.5 GHz(建议与大网 3.5 GHz 异频)和 NR 2.1 GHz 两种情况。由于室分覆盖有限的区域,信号很干净,即使信号较弱时,也

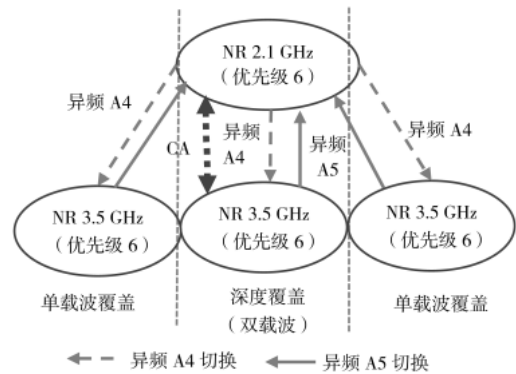


图 8 NR 3.5 GHz+NR 2.1 GHz 双载波覆盖区域

能保持较高 SINR 值,能保证较高数据下载速率,因而本文采用宏站与室分之间的重选和切换策略使宏站尽可能及时重选或切入室分小区,室分与小区在信号较弱时才重选或切入宏站。连接态移动性策略参见图 9,优先级设置及切换门限设置详见表 5。

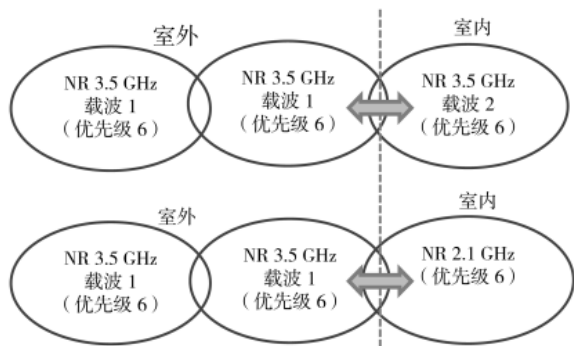


图 9 室内外组网策略

3.2.3 边界单层异频组网场景

典型应用场景:乡镇与农村边界场景。考虑 3.5 GHz 和 2.1 GHz 的带宽资源,建议 NR 3.5 GHz 往 NR 2.1 GHz 移动时切换采用 A2+A5 方式,NR 2.1 GHz 往 NR 3.5 GHz 移动时切换采用 A2+A4 方式,让用户尽量使用频率资

源丰富的 3.5 GHz 频段。连接态移动性策略参见图 10,优先级设置及切换门限设置详见表 6。

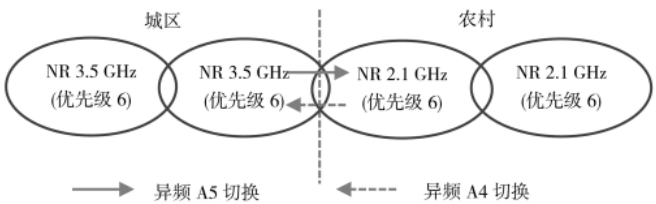


图 10 边界单层异频组网

4 结论

本文利用链路预算对比分析了 3.5 GHz 和 2.1 GHz 覆盖性能,结合 3.5 GHz 和 2.1 GHz 频率资源情况,给出了不同场景下的 3.5 GHz+2.1 GHz 高低频组网技术方案,并结合各种组网场景给出 NR 网络多载波间的互操作策略,为下一步 5G 网络扩展建设提供了重要依据。

参考文献

[1] RAPPAPORT T S.无线通信原理与应用[M].周文安,付秀花,王志辉,等,译.北京:电子工业出版社,2012.

[2] 王霄峻,曾嵘.5G 无线网络规划与优化[M].北京:人民邮电出版社,2020.

[3] 中国联通 2020 年 5G 无线网建设指导意见(试行稿)[Z]. 2020.

[4] 3GPP TS 38.101-1 V16.3.0.3rd generation partnership project;technical specification group radio access network; NR;user equipment(UE) radio transmission and reception; Part 1:range 1 standalone(Relase 16)[S].2020.

[5] 3GPP TR 38.901 V16.0.0.3rd generation partnership project;technical specification group radio access network;study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 16)[S].2019.

[6] 孙震强,许森,魏焱.基于 TDD/FDD 协同的 5G 上行增强方案分析[J].移动通信,2019(9):1-6.

[7] 3GPP TR 36.873 V12.7.0.3rd generation partnership project;technical specification group radio access network;study

表 5 室分 NR 3.5 GHz 异频组网参数设置

邻区		宏站 NR 3.5 GHz	室内 NR 3.5 GHz
驻留室外小区 NR 3.5 GHz	连接态优先级	6	6
	模式	同频切换	异频切换
	事件	A3	A2+A5
	参数	$N>S+4$ dB	A2 门限: -100~-95 dBm
			A5 本端门限: -105~-100 dBm A5 对端门限: -110~-106 dBm
驻留室内小区 NR 3.5 GHz	连接态优先级	6	6
	模式	异频切换	同频切换
	事件	A2+A5	A3
	参数	A2 门限: -110~-106 dBm A5 本端门限: -115~-110 dBm A5 对端门限: -105~-100 dBm	$N>S+4$ dB

表 6 边界单层异频组网参数设置

邻区	邻区 NR 3.5 GHz	邻区 NR 2.1 GHz
连接态优先级	6	6
模式	同频切换	异频切换
事件	A3	A2+A5
参数	$N>S+4$ dB	A2 门限: $-110\sim-106$ dBm A5 本端门限: $-116\sim-110$ dBm A5 对端门限: $-106\sim-100$ dBm
连接态优先级	6	6
模式	异频切换	同频切换
事件	A2+A4	A3
参数	A2 门限: $-106\sim-100$ dBm A4 对端门限: $-110\sim-106$ dBm	$N>S+4$ 4dB

on 3D channel model for LTE(Relase 12)[S].2017.

- [8] 郑玉琴, 方方, 周传伟. 基于 5G NR 的 TDD 与 FDD 的差异与融合研究[J]. 通信与信息技术, 2020(2): 66-68.
- [9] 曹广山, 马丹, 李凤花, 等. 2.1 和 3.5 GHz 频段在 5G 网络中的应用建议[J]. 邮电设计技术, 2020(6): 6-10.
- [10] 欧阳晖. NR FDD 2.1G 技术的研究和初步应用[J]. 移动通信, 2019(12): 10-15.
- [11] 3GPP TS 38.133 V16.3.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; requirements for support of radio resource management(Relase 16)[S].2020.
- [12] 3GPP TS 38.304 V16.2.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; user equipment(UE) procedures in idle mode and RRC inactive state(Relase 16)[S].2020.
- [13] 3GPP TS 38.331 V15.7.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; radio resource control(RRC) protocol specification

(Release 15)[S].2019.

- [14] 3GPP TS 23.502 V15.1.0.3rd generation partnership project; technical specification group services and system aspects; procedures for the 5G system(5GS); stage 2 (Release 15)[S].2020.
- [15] 3GPP TS 38.101-2 V16.3.1.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; user equipment(UE) radio transmission and reception; Part 2; range 2 standalone(Relase 16)[S].2020.

(收稿日期: 2021-05-22)

#### 作者简介:

袁满(1979-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网网规网优、无线网共建共享。

刘晓燕(1981-), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向: 移动网端到端优化。

王科(1980-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网优化。



扫码下载电子文档

(上接第 15 页)

系统中的可行应用研究[J]. 现代传输, 2021(1): 77-79.

- [6] Apple. 中国电信研究院创新提出基于 CWDm/环形器技术的 5G 多通道前传承载方案[EB/OL]. (2020-11-24)[2021-03-03]. [http://www.c-fol.net/news/7\\_202011/2020112416-3204.html?btwaf=17455352](http://www.c-fol.net/news/7_202011/2020112416-3204.html?btwaf=17455352).
- [7] 俞兴明, 徐冬梅, 李亮亮. 5G 前传技术及发展探讨[J]. 现代传输, 2019(6): 56-59.
- [8] 张昆. 基于光反射鉴别技术的回波损耗测量[J]. 电子质量, 2010(5): 16-17.
- [9] 陈更俭, 庄军. 光纤活动连接器的正确选用[J]. 中国有线电视, 2005(8): 759-761.
- [10] 杨伟娟. 光纤活动连接器的简介与维护[J]. 西部广播电视, 2015(23): 179.
- [11] 长濑亮, 岩野真一, 三田地成幸, 等. SC 型光连接器技术[J]. 四川通信技术, 1998(6): 42-46.
- [12] 李恩平. 光纤连接器产生反射的原因及其避免措施[J].

光通信研究, 1994(3): 42.

- [13] 吴亚玲, 程盛, 丁运生, 等. 光纤连接器端面防尘帽污染的成分检测及解决[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2017(5): 33-35.
- [14] 邓华秋, 邱东来. 光纤端面污染的清洁[J]. 光通信技术, 2008(7): 45-47.
- [15] 原荣. 光通信技术讲座——(十): 光纤通信系统设计[J]. 光通信技术, 2003(10): 49-51.

(收稿日期: 2021-03-03)

#### 作者简介:

杜喆(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 无源光网络技术、移动前传承载技术。

程明(1985-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动前传、光传输、量子保密通信技术。

张德智(1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 光接入、PON 综合业务承载、PON SDN、移动承载方面技术。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所