

# 5G 分布式 Massive MIMO 在大型冬奥体育场馆中的应用研究

Application of 5G Distributed Massive MIMO in Large Winter Olympic Stadium

曾伟, 钟检荣, 范君, 肖瑞 (中国联通北京分公司, 北京 100038)

Zeng Wei, Zhong Jianrong, Fan Jun, Xiao Rui (China Unicom Beijing Branch, Beijing 100038, China)

## 摘要:

大型冬奥体育场馆面临多项 5G 通信挑战, 其中容量和干扰最为突出。分布式 Massive MIMO (DMM) 是应对高密重载场景的有力武器, 可以显著降低室内干扰、改善用户感知、提升系统容量。介绍了 5G DMM 的特性和关键技术, 阐述了 5G DMM 在大型冬奥体育场馆中的规划方法、设计思路和组网方案。

## 关键词:

5G; 分布式 Massive MIMO; 容量

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.07.009

文章编号: 1007-3043(2022)07-0044-06

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:

The large-scale Winter Olympic stadiums are facing many 5G communication challenges, among which the capacity and interference pressure are the most prominent. Distributed massive MIMO (DMM) is a powerful weapon to deal with high density and heavy load scenarios, which can significantly reduce the room interference, improve user perception and enhance system capacity. It introduces the characteristics and key technologies of 5G DMM, and expounds the planning method, design idea and networking scheme of 5G DMM in large-scale Winter Olympic Stadium.

## Keywords:

5G; Distributed massive MIMO; Capacity

引用格式: 曾伟, 钟检荣, 范君, 等. 5G 分布式 Massive MIMO 在大型冬奥体育场馆中的应用研究[J]. 邮电设计技术, 2022(7): 44-49.

## 1 概述

2022 年 2 月中国承办举世瞩目的第 24 届冬季奥林匹克运动会, 全世界冰雪运动员和冰雪爱好者齐聚一堂, 共享冬奥盛事。在竞技和观赛之余, 运动员和观众使用各类手机软件对外分享赛事盛况。5G 网络作为数据业务的重点承载网络, 具有高速率、短时延、大连接的特点。在冬奥体育场馆中, 人员的高密集性和业务的强并发性产生超强的容量压力, 使 5G 网络面临建网以来的一次大考。冬奥体育场馆的 5G 通信保障受到各方面的高度重视。5G 分布式 Massive MIMO (DMM) 室分系统, 其头端为分布式架构, 调制解调是

集中式处理, 通过多天线联合收发、联合调度、多用户资源复用等技术提升用户性能和小区容量, 是应对高密重载场景的有力武器。本文介绍了 5G 分布式 Massive MIMO 系统的特点, 提出了分布式 Massive MIMO 小区规划方法, 探讨了分布式 Massive MIMO 在大型冬奥体育场馆中的应用组网方案。

## 2 大型冬奥体育场馆 5G 通信面临的挑战

为提供优质的 5G 通信服务, 大型冬奥体育场馆的 5G 网络面临多项挑战, 包括但不限于以下几点。

a) 容量的压力。典型的大型冬奥体育场馆, 一次性容纳人数达十万人。由于处于同一空间, 关注的是同一赛事, 因此业务并发性强。目前各类手机 APP 尤其是视频类 APP 被广泛使用, 例如微信、抖音、快手

收稿日期: 2022-05-06

等。常用的各类视频软件速率要求较高,一般下行达到4 Mbit/s、上行达到2 Mbit/s才能实现较好的业务体验。这几个因素相叠加,给网络容量带来超强压力。

b) 干扰的平衡。由于冬奥赛事的重要性,要求对体育场馆进行全覆盖。同时,为了实现良好的业务感知,在进行全覆盖的前提下,还要实现5G同频系统的低干扰。多数体育场馆结构复杂,空旷区域较多,干扰控制难度大,因此需要在全覆盖与低干扰间进行平衡。

c) 赛事转播的高需求。在2018年的韩国平昌冬奥会上,媒体利用5G网络进行了赛事的高清转播。在2022年北京冬奥会,中国的5G网络提供了优质的赛事高清转播。赛事高清转播对5G网络有进一步的要求,包括更高的速率、更短的时延、更稳定的网络等。

### 3 5G分布式Massive MIMO特性介绍

#### 3.1 分布式Massive MIMO概述

当前5G室分在小区分裂方面存在几大挑战。从LTE异频间隔组网到NR同频组网,小区分裂后网络干扰进一步增大,新型室分pRRU极限分裂时,交替严重;同时同频组网带来性能严重恶化。另外,相对于LTE,5G空载时峰值提升明显,但分裂后峰均比落差大,经过仿真,极限劈裂后,单小区容量下降90%。

在此基础上,5G Lampsite发展了分布式Massive MIMO技术,分布式Massive MIMO小区是工作在相同

频段上的射频模块所覆盖的(2~16)个4T4R小区合并成的一个逻辑小区。

#### 3.2 DMM关键技术及增益

分布式Massive MIMO小区的特点是头端为分布式架构,调制解调集中式处理(见图1)。

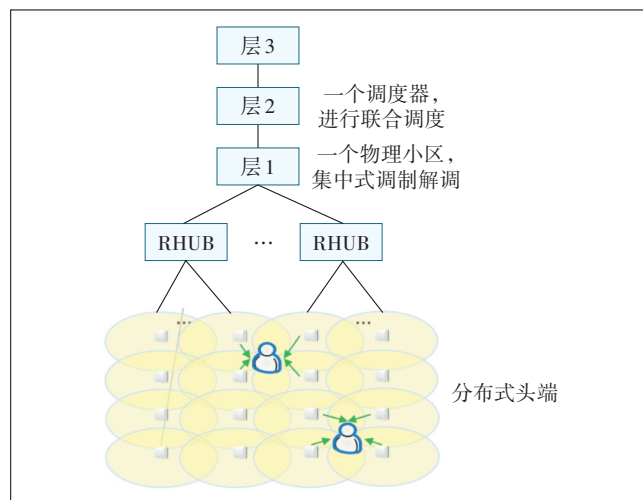


图1 分布式Massive MIMO原理图

此架构关键技术如下。

a) 消除了小区边界,用户移动无切换,实现UCNC (User Centric, No Cell)体验。普通小区间移动,需要硬切换,导致业务中断;分布式Massive MIMO小区单小区覆盖,无切换(见图2)。

b) 通过多天线联合收发,提升单用户性能。普通

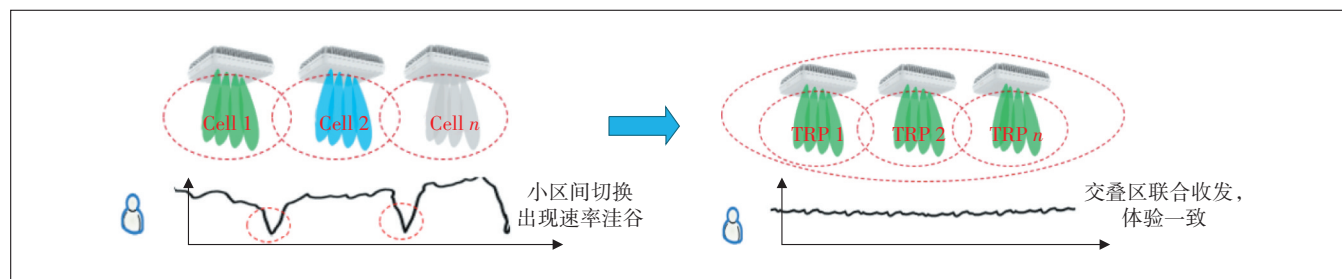


图2 分布式小区无切换

射频合路小区,下行复制发送,有效天线数始终为“4”;分布式Massive MIMO小区,每个TRP对应4根有效天线,TRP交叠区用户可见8~16根天线,能使用更准确的权值,用户性能更优(见图3)。

c) 通过联合调度,彻底消除小区间干扰,提升边缘用户性能。普通小区间独立调度,边缘用户受到邻区干扰,无法使用高RANK、高调制,性能差;分布式Massive MIMO小区统一进行调度,消除干扰,用户可

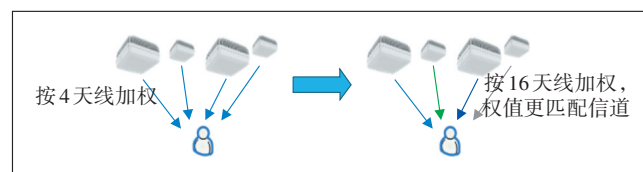


图3 分布式小区多天线联合收发

以使用高RANK、高调制,性能大幅提升(见图4)。

d) 通过MU-MIMO(多用户资源复用)技术,提升

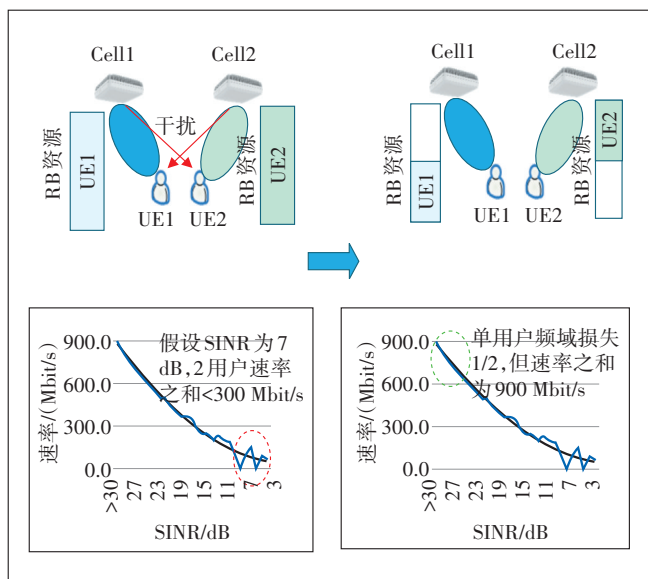


图4 分布式小区联合调度

小区容量。普通小区分裂,可以实现资源复用,但小

区间独立调度、独立权值设计,干扰严重;分布式 Massive MIMO 小区,对多个用户进行联合权值设计,通过权值优化降低用户间干扰,实现更优性能(见图5)。分布式 MIMO 的增益主要表现在非交叠区,实现空分复用 MU-MIMO 增益,大幅提升 Cell 容量;在交叠区域,获得联合 Beamforming 增益,大幅提升用户体验。

### 3.3 分布式 Massive MIMO 适用场景及组网方式

基于分布式 Massive MIMO 小区的关键技术及增益,分布式 Massive MIMO 特性适用于高密重载场景,例如相对空旷的机场值机、到达、安检厅、大型场馆等人流稠密,频繁出现业务高峰的场景。

分布式 Massive MIMO 有 2 个典型部署方案。

方案 1: 相同 TRP 下的 pRRU 覆盖区间隔部署,增大各 TRP 间交叠区占比,多 TRP 下 pRRU 联合波束赋型,提升交叠区用户体验速率和单用户上网速率。

方案 2: 相同 TRP 的 pRRU 覆盖区连续覆盖,减少

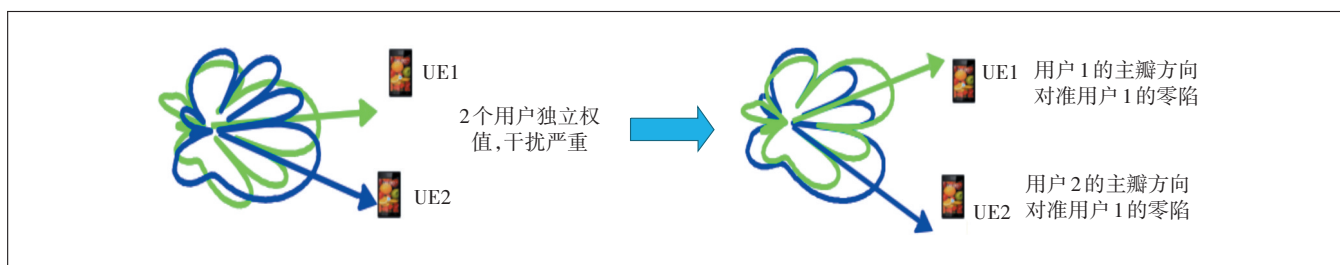


图5 分布式小区多用户资源复用

TRP 间交叠区占比;不同 TRP 内的多个用户间通过 MU-MIMO 技术复用相同的射频资源,大幅提升小区容量。对于冬奥大型体育场馆,更关注区域总容量,即单位面积最大化,因此推荐采用方案 2 来进行组网规划。

以极限容量阶段为例,每 4 个 pRRU 上的 1 个 NR TDD 载波组成 1 个分布式 Massive MIMO 小区,每 pRRU 上的 1 个 NR TDD 载波独立划分为 1 个 TRP。体育场馆场景为容量场景,位置相邻、覆盖连续的 pRRU 划分到同一个分布式 Massive MIMO 小区。体育场馆极限容量场景,每个 pRRU 划分为 1 个 TRP,外接定向天线覆盖。以单个 NR TDD 载波组网、RHUB5965 为例,每个 RHUB 可以支持 4 个 TRP,如果考虑预留扩容至第 2 载波能力,建议的组网拓扑如图 6 所示。

由于每 RHUB 和每个 25G 光口均只支持 4 个 NR TDD 100M 4T4R TRP,考虑预留第 2 载波扩容能力,因此需要双链+2 级 RHUB 级联组网。

## 4 大型冬奥体育场馆 DMM 组网方案介绍

### 4.1 DMM 小区规划

利用 DMM 特性,容量规划的方法与普通小区规划的方法流程相同,差异点主要在于单小区容量的预估。

对于新建局点的高密重载场景区域,建议全部按照分布式 Massive MIMO 特性进行组网规划,确保即使初始开通时未开启分布式 Massive MIMO 特性的局点,也支持后续在不更改组网拓扑的前提下,平滑升级开通 Massive MIMO 特性。

从容量角度,建议每一个分布式 Massive MIMO 小区内 TRP 数 $\geq 4$ ,以充分发挥单个分布式 Massive MIMO 小区支持上行 8 流、下行 16 流的规格能力。

当随着小区劈裂,一个分布式 Massive MIMO 小区内 pRRU 数减少达到 4 个时(配置 4 个 TRP),整体达到极限容量,不建议继续劈裂小区,否则会导致小区容

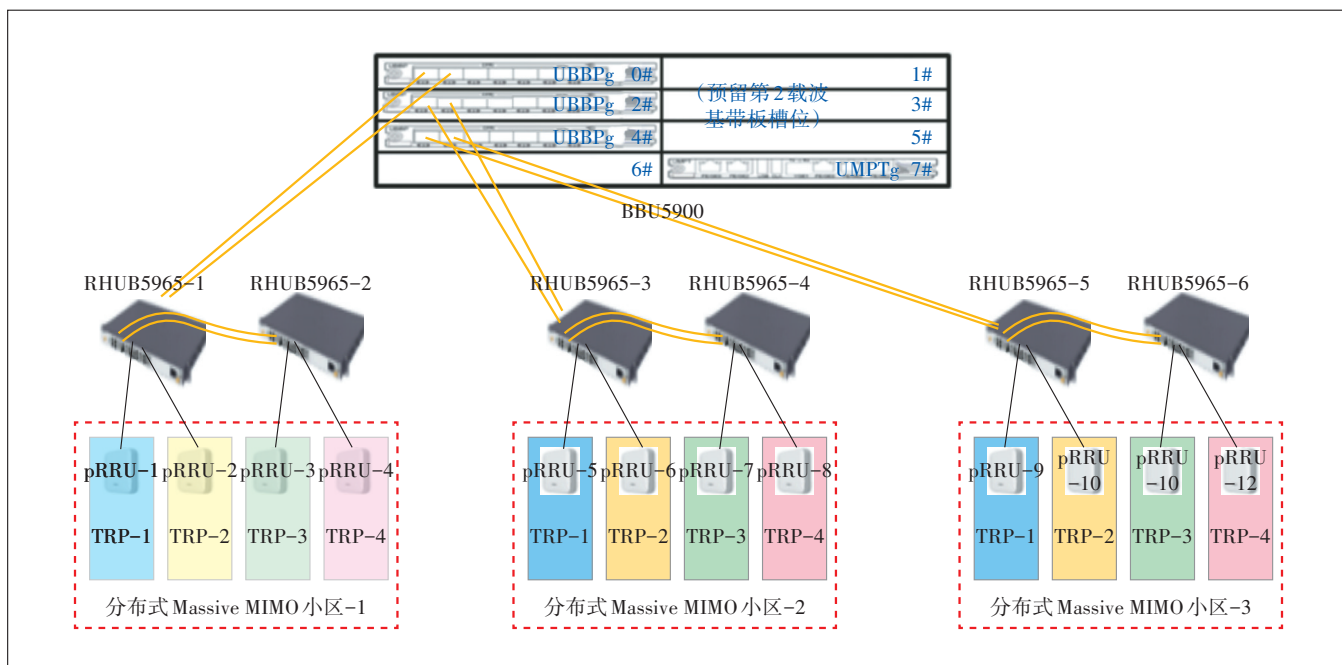


图6 分布式 Massive MIMO 特性建议组网拓扑图

量下滑的幅度超过小区数增加的幅度,总容量不升反降。在此基础上,扩容应通过增加载波(频谱)或更换高性能窄波束天线进一步劈裂单头端覆盖范围的方式。

初期低容量阶段,如8个及以上pRRU共1个分布式 Massive MIMO 小区,TRP数 $\geq 4$ (在基带板、CPRI带宽规格限制下,TRP数越多越好),单小区下行为245 Mbit/s,上行为105 Mbit/s。

后续容量需求持续增加,扇区极限劈裂至4pRRU共小区、对应4个TRP组网(受限于单小区仅支持上行8流、下行16流规格),单小区容量下行为150 Mbit/s,上行为68 Mbit/s。

RRC用户数规格:单分布式 Massive MIMO 小区为1200(20 MHz/30 MHz支持用户数为400)。

表1给出了DMM小区数量评估方法。

#### 4.2 TRP/pRRU小区个数规划

##### 4.2.1 分布式 Massive MIMO 小区内 TRP 个数对小区容量影响

一个分布式 Massive MIMO 小区可以配置2~16个TRP,每个TRP对应一个射频合路组,每个TRP内pRRU个数 $\leq 16$ 。在头端个数一定的情况下,通过减少每TRP内头端个数,增加TRP个数,可以增加多用户配对概率,提升小区容量。

基于覆盖规划确定的目标区域pRRU个数和分布

表1 DMM小区数量评估表

类别	参数	参数值
输入	总移动用户数	$a$
	XXX运营商市场占有率	$b$
	5G渗透率	$c$
	5G连接态用户比例	$d$
	5G忙时下行激活比	$e$
	5G忙时上行激活比	$f$
	5G下行用户平均速率	$g$
	5G上行用户平均速率	$h$
	5G单小区下行容量(Mbit/s)	$i$
	5G单小区上行容量(Mbit/s)	$j$
输出	5G下行小区数量	$=a \times b \times c \times d \times e \times g \times i$
	5G上行小区数量	$=a \times b \times c \times d \times f \times h \times j$

式 Massive MIMO 的小区个数,可以得到每个分布式 Massive MIMO 小区的 pRRU 个数,则1个分布式 Massive MIMO 的 TRP 可规划个数 $\geq$ 总 pRRU 个数 / 分布式 Massive MIMO 小区个数 / 16。

##### 4.2.2 组网拓扑和产品规格对最大可规划 TRP 数目约束

对可规划 TRP 个数产生约束的产品规格包括:

a) CRPI 带宽,如 NR TDD only 组网下,1个25G光口可以承载最大4个 NR TDD 4T4R 100M 带宽的 TRP。

b) RHUB 支持的 TRP 规格,如移动和电联版 RHUB5963 支持的 NR TDD 射频合路 TRP 个数分别为

4个和6个。

c) pRRU 载波能力和 pRRU 个数, 对于单个 NR TDD 载波, 可规划的 TRP 个数  $\leq$  pRRU 个数。

### 4.3 分布式 Massive MIMO 实际组网方案

#### 4.3.1 总体设计思路

该体育场馆分为普通区域和看台区域。普通区域包括办公室、会议室、洗手间、休息区、场馆通道等, 这类区域人员较为分散, 用普通新型室分进行覆盖即可。看台区域为观众观看比赛的区域, 人员密度大,

业务并发性强, 为高密重载区域, 需要重点保障容量, 建议使用分布式 Massive MIMO 组网覆盖。以 1 层看台区域为例说明分布式 Massive MIMO 组网方案。假设 1 层看台容纳人员数量预估为 23 000 人, 以上行 1 Mbit/s 速率要求和 2.5 Mbit/s 速率要求分别估算。

#### 4.3.2 看台区域分布式 Massive MIMO 组网方案

在此高密重载场景下, 配置 LampSite 同频段 NR 3 载波, 分布式 Massive MIMO 小区组网拓扑——双 CPRI 链组网, NR Only。组网拓扑图如图 7 所示。

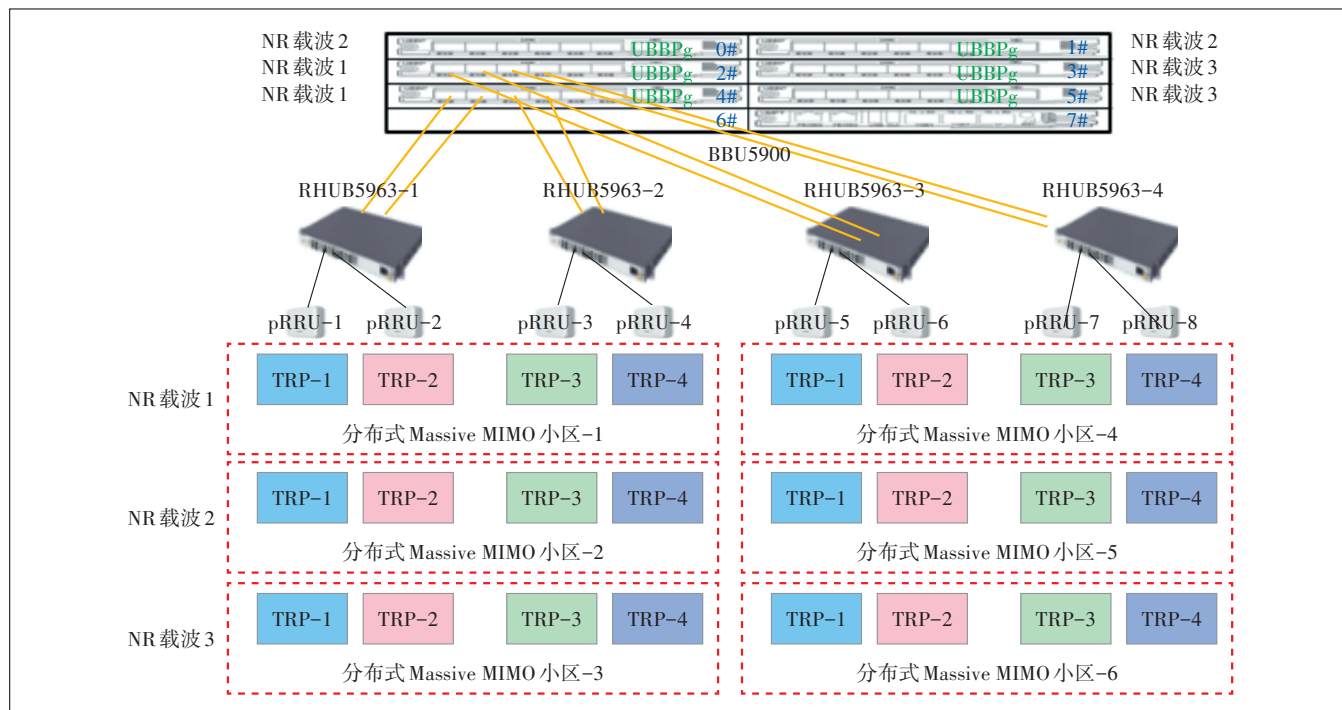


图7 极限容量, 同频段 3 载波, 4pRRU 共分布式 Massive MIMO 小区, 双链组网拓扑示意

按照同频段 3 载波配置, 极限容量场景, 每 BBU 仅支持 2 扇区  $\times$  3 载波 = 6 个分布式 Massive 小区。高密重载场景, 建议 1 pRRU 为 1 TRP。极限劈裂至 4 pRRU 共 1 个分布式 Massive MIMO, 下行总容量为 150 Mbit/s, 上行总容量为 68 Mbit/s。

表 2 给出了 1 层看台区域分布式 Massive MIMO 小区数估算。1 层看台区域预估 23 000 人, 按照上行 1 Mbit/s 估算为 17 个分布式 Massive MIMO 小区, 按照 3 载波计算 17/3 约为 6 个分布式 Massive MIMO 扇区, 建议每分布式 Massive MIMO 小区 TRP  $\geq$  4, 达到分布式 Massive MIMO 效果。

按照上行 2.5 Mbit/s 估算为 30 个分布式 Massive MIMO 小区, 按照 3 载波计算 30/3 为 10 个分布式 Massive MIMO 扇区, 建议每分布式 Massive MIMO 小区

TRP  $\geq$  4, 达到分布式 Massive MIMO 效果。

#### 4.3.3 看台区域天线选型

在普通区域人员较为分散, 用普通新型室分进行覆盖即可, 直接采用内置型 pRRU, 在看台区域由于用户密度大、干扰控制要求高, 需采用外置型 pRRU+赋型天线的模式。

看台区域包括重点密集区域和非重点密集区域。在重点密集区域, 人员分布和业务分布比其他区域更为集中, 需要重点保障。为保障容量需求, 确保用户感知受影响不严重, 在重点密集区域部署  $20^\circ \times 60^\circ$  赋型天线, 在非重点密集区域部署  $30^\circ \times 30^\circ$  赋型天线。 $20^\circ \times 60^\circ$  的赋型天线其水平波束更窄, 适合用户更加密集, 小区划分更小的情况, 因此在重点密集区域部署 (见图 8)。

表2 1层看台区域分布式Massive MIMO小区数估算表

输入参数	计算	1层看台区域		1层看台区域	
		下行	上行	下行	上行
可容纳人数	$A$	23 000		23 000	
市场占有率/%	$B$	50		50	
NR终端用户渗透率/%	$C$	50		50	
NR用户数	$D=A \times B \times C$	5 750		5 750	
连接态用户比例/%	$E$	70		70	
连接态用户数	$F=D \times E$	4 025		4 025	
用户忙时平均激活比/%	$G$	15	20	15	20
忙时平均激活用户数	$H=F \times G$	603.75	805	603.75	805
NR用户平均速率/(Mbit/s)	$I$	4	1	4	2.5
总容量需求/(Mbit/s)	$J=H \times I$	2 415	805	2 415	2 012.5
小区平均吞吐率/(Mbit/s)	DMM小区	150	68	150	68
	普通小区	57	22.5	57	22.5
小区数Max(DL小区数, UL小区数)	DMM小区	17		30	
	普通小区	43		90	

## 5 结束语

在冬奥大型体育场馆中用户和业务密集的看台区域部署5G分布式Massive MIMO,是应对高话务、高干扰的有效方案。分布式Massive MIMO系统通过多天线联合收发、联合调度、多用户资源复用等技术提升用户性能和小区容量。本文提出的方案中1个pRRU作为1个TRP,4TRP作为1个分布式Massive MIMO小区,最大限度利用DMM性能,提升系统容量和用户速率。为配合容量提升和干扰控制,在看台重点密集区域部署 $20^\circ \times 60^\circ$ 天线,非重点密集区域部署 $30^\circ \times 30^\circ$ 天线。本方案可以借鉴到类似的5G高密重载场景中,为用户提供满意的5G业务体验。

## 参考文献:

[1] 张军民,金超,蒋伯章. 5G网络优化与实践进阶[M]. 北京:人民邮电出版社,2021:221-229.

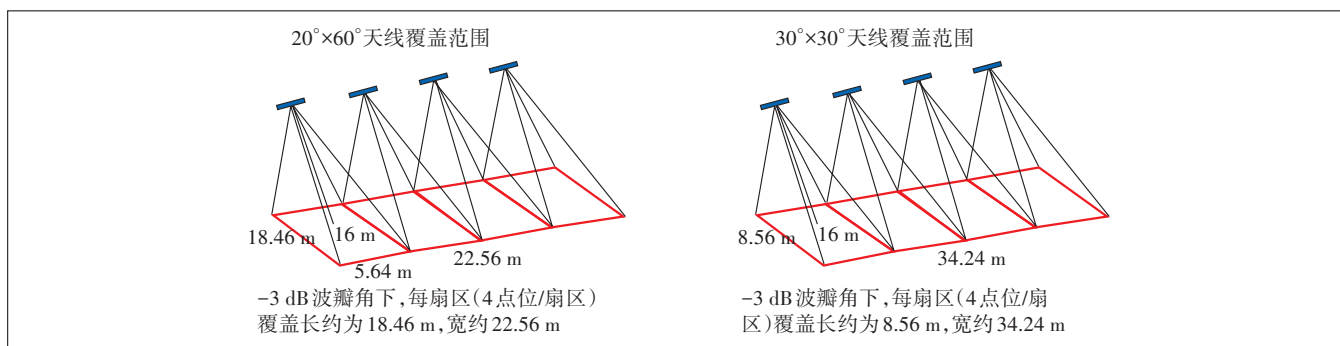


图8 看台区域2种赋型天线覆盖范围

[2] 沈嘉,杜忠达,张治,等. 5G技术核心与增强:从R15到R16[M]. 北京:清华大学出版社,2021:375-382.

[3] (斯洛伐)克里斯托弗·拉尔森. 5G网络规划设计与优化[M]. 北京:机械工业出版社,2020:232-238.

[4] 陈强. 基于5G通信时代的高新视频业务发展研究[J]. 卫星电视与宽带多媒体,2020(13):109-110.

[5] 吴涛,曹菲菲,吴悦明,等. 智慧体育场馆的建设与运营[J]. 智能建筑,2020(2):17-21.

[6] 朱梦雨,黄海燕. 5G技术在体育场馆智慧化建设中的应用研究[J]. 体育科研,2020,41(5):1-9.

[7] 冯子宁,陈俊青. 5G移动通信技术在体育事业应用的可能性探究[J]. 当代体育科技,2020,10(30):181-183.

[8] 吕楠,相梅. 科技冬奥助推视听产业智慧冬奥传递情感交融——论5G+8K视听新技术在奥运转播中的应用前景[J]. 广播电视信息,2021,28(2):19-26.

[9] 杨泽生,阮洋. 奥运会赛事传播中5G应用实践及启示[J]. 青年记者,2020(36):97-98.

[10] 杨东来. 5G增强移动宽带的massive-MIMO技术性能分析[J]. 数字通信世界,2020(5):62.

[11] 冯选,李永萍,李鑫,等. 冬奥5G智慧场馆研究[J]. 邮电设计技术,2020(12):18-21.

[12] 陈坚,王慧锋,梁成业. 面向5G演进的数字化室内分布系统研究[J]. 广西通信技术,2018(2):13-15.

[13] 徐法禄. 5G室内分布:数字化转型之道[J]. 中兴通讯技术,2020,26(6):43-49.

[14] 富越,张振. 面向5G的新型室分建设方案研究[J]. 广东通信技术,2020,40(5):43-45,49.

[15] 许长峰,刘淑凡. 5G特殊场景数字化室分建设方案研究[J]. 中国勘察设计,2020(9):90-92.

[16] 梁娟,赵沛,姜芳芳,等. 5G网络分布式皮基站建设方式探讨[J]. 信息与电脑(理论版),2020,32(8):141-143.

### 作者简介:

曾伟,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;钟检荣,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;范君,工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;肖瑞,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化。