



# 5G 网络设计与规划优化探讨

## Optimization of 5G Network Design and Planning

韩玮/HAN Wei  
江海/JIANG Hai  
李晓彤/LI Xiaotong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201904011  
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20190708.1517.002.html>

网络出版日期: 2019-07-09  
收稿日期: 2019-05-23

**摘要:** 基于4G时代丰富的组网经验,中兴通讯研究适用于5G高性能组网的技术方案,包括覆盖容量关键指标分析、多场景下波束配置优化、精细化网络规划、智能化网络优化等,同时依托全球数十张规模试验网络,使得这些技术方案不断演化生长,进一步促进5G的商用发展。

**关键词:** 大规模多输入多输出(MIMO);网络规划;智能网络

**Abstract:** Based on the rich networking experience of the 4G era, ZTE researches the technical solutions applicable to 5G high-performance networking, including analysis of key capacity indicators, beam configuration optimization in multiple scenarios, refined network planning, and intelligent network optimization. Relying on dozens of scale test networks at home and abroad, these technical solutions have been continuously evolved to further promote the commercial development of 5G.

**Key words:** massive multiple-input multiple-output (MIMO); network planning; intelligent network

## 1 5G 网络设计面临的挑战

### 1.1 丰富的应用场景

4G改变生活,5G改变社会。5G具有鲜明的场景应用特征,它围绕人们居住、工作、休闲、交通以及垂直行业的需求展开商用部署。这些场景需求分别具有超高速率、超高容量、超高可靠低时延、超高密度、超高连接数、超高移动性等一系列特点<sup>[1-2]</sup>。

(1)增强移动宽带(eMBB)场景。该场景指面向移动通信的基本覆盖环境,可为用户随时随地提供100 Mbit/s以上的体验速率。在室内外、局部热点区域的覆盖环境,甚至可提供1 Gbit/s的用户体验速率

和10 Gbit/s以上的网络峰值速率,满足10 Tbit/(s·km<sup>2</sup>)以上的流量密度需求。

(2)高可靠低时延通信(uRLLC)场景。该场景能够面向车联网、工业控制等物联网的特殊应用需求,为用户提供毫秒级的端到端时延和接近100%的业务可靠性保证。

(3)海量机器类通信(mMTC)场景。该应用场景具有小数据包、低功耗、低成本、海量连接等特点,并要求支持10<sup>6</sup>/km<sup>2</sup>以上的连接数密度。

其中,eMBB场景是当前商业模式最清晰的业务场景,也是运营商重点投入的领域。uRLLC、

mMTC类业务与垂直行业紧密相关,随着5G生态的演进完善,必然将产生大量应用,并能改变社会生活方方面面。本文中,我们将以eMBB场景为核心,论述中兴通讯在组网性能、网络规划和优化等方面的研究成果与技术观点。

### 1.2 鲜明的技术特点

5G的技术特点的关键词是“灵活”和“复杂”。为了匹配未来社会的多变场景,新空口(NR)技术从协议设计之初就考虑灵活配置,不可避免地带来架构和实现细节上的复杂性。大规模多输入多输出(MIMO)、丰富参考信号、灵活多波束、独立组网(SA)/非独立组网

(NSA)架构等构成了NR最鲜明的技术特征。这些核心技术对NR组网提出了最大的挑战。

### (1)大规模MIMO技术。

大规模MIMO在4G长期演进(LTE)后期即出现在商用部署中,中兴通讯是该技术的领导者。在单链路香农限和噪声限被高度逼近的情况下,空分复用是唯一成倍提升频谱效率的方法。大规模MIMO就是用更多的空分复用增强空口流量,这一技术在NR中继续被发扬光大。

大规模MIMO设计复杂精密,其实质是基于探测参考信号(SRS)的波束赋形技术,利用上下行互易性降低资源开销,很好地实现MIMO的赋形和更高的空分倍数,还使得单用户MIMO、多用户MIMO的性能显著改善。同时,考虑到部分终端不支持SRS轮发功能而无法通过基于SRS的赋形实现单用户MIMO的情况,需要补充基于预编码矩阵指标(PMI)反馈方式赋形。2种波束赋形相结合的方式极具创新性,既能有效提高小区吞吐量,又能提升单用户体验。

### (2)丰富的参考信号设计。

NR的参考信号在LTE基础上做了大量扩展和改进,以适应于大规模MIMO的应用。小区参考信号(CRS)是LTE中最重要的参考信号,LTE的测量、数据解调均依赖于此,同时它也是LTE组网的重要参考指标,广泛用于网络规划和优化中。但CRS占用固定时频资源,并且随着天线端口增加而带来更大的系统开销,同时也会对邻区产生更

强的固定干扰等不利因素。需要在NR系统中删去CSR的设计,代之以更先进、更丰富的参考信号设计。LTE与NR参考信号的作用对比见表1。

NR在信道状态信息参考信号(CSI-RS)、解调参考信号(DMRS)、SRS等方面做了增强设计,包括灵活周期配置,减少系统开销等。NR的DMRS等可根据用户的移动速度灵活发送:在低速场景下以固定位置发送;在高速场景下可随着移动速度灵活地插入1~3个DMRS,以增强解调能力。SRS也可配置为更短周期,以适用无线信道的快速变化。NR协议对CSI-RS的设计发扬光大,可支持配置多种天线端口数目,并且还可配置为用户级CSI-RS,实现更精准的下行信道估计。此外,NR协议还设计了一系列测量参考信号,如跟踪参考信号(TRS)、相位跟踪参考信号 PTRS)等,为高质量的通信链路保驾护航。

第3代合作伙伴计划(3GPP)协议设计了如此纷繁复杂的参考信

号,但并未规定在实际建网中应该如何组合和使用。这显然对NR网络建设提出巨大挑战,需要在网络规划和优化中不断研究摸索。

### (3)灵活多波束设计。

NR基于大规模MIMO技术,采用多波束进行赋型、扫描、跟踪,提升了网络覆盖,减少干扰。相比LTE技术,NR在业务和控制信道、在水平和垂直维度均能提供动态窄波束,并且数目更多,配置更灵活。例如,同步/广播块(SSB)承载了同步和广播功能,是NR最重要的公共信道之一,也是网络性能设计的重要参考指标。SSB可实现时频域灵活配置,在空域还可采用时分波束扫描。由于增加了扫描维度,可选广播权数量增多,如何选优NR广播权成为影响NR网络建设首要解决的问题。

## 1.3 网络性能挑战

5G不仅仅是一张传统通信网络的升级演进,它带来的是信息生态的改变。从传统的人与人的链

▼表1 LTE与NR参考信号作用对比

参考信号	NR	LTE
CRS	N/A	RSRP/SINR 测量 CQI/PMI/RI 测量(TM2/3/7/8) 数据解调(TM2/3)
CSI-RS	RRM 测量 无线链路状态监测 CQI/PMI/RI 测量	CQI/PMI/RI 测量(TM9)
TRS	更精确的时域跟踪	N/A
PTRS	用于高频相噪补偿	N/A
DMRS(上下行)	公共/控制/业务解调,支持自包含帧	数据解调(TM7/8/9)
SRS(上行)	更高精度信道测量,用于预编码设计、上行波束管理;可具备轮发功能	为调度和链路适配进行信道测量

CQI: 信道质量指示

CRS: 小区参考信号

CSI-RS: 信道状态信息参考信号

DMRS: 解调参考信号

LTE: 长期演进

NR: 新空口

PMI: 预编码矩阵指示

PTRS: 相位跟踪参考信号

RI: 秩指示

RRM: 无线资源管理

RSRP: 参考信号接收功率

SINR: 信干噪比

SRS: 探测参考信号

TM: 传输模式

TRS: 跟踪参考信号

接,发展为人与物、物与物的链接。迄今为止,对于5G应用场景,还无法完全确定未来的真实需求到底是什么?会对无线网络形态带来哪些革命性冲击?

另外一方面,3GPP用极具灵活的协议设计应对未来组网的不确定。无论是大规模MIMO技术多种传输机制,灵活配置的参考信号和波束、帧结构,或SA/NSA的架构设计等,都使得NR网络灵活、复杂而难于驾驭。

中兴通讯依托于LTE时代Pre5G的成熟商用经验,在NR项目之初就组建了专注网络解决方案的专家团队,在NR组网技术研究、精细化网络规划、智能化网优等方面做了充足准备,形成整套方法论,并辅之以算法分析和外场验证、配套支撑工具等不断改进和优化。

## 2 5G 组网技术

自从3G时代引入高速共享下行包接入技术(HSDPA),采用共享信道资源来提升业务信道能力之后,覆盖、容量、性能就成为网络设计中相互制约和转换的铁三角<sup>[3]</sup>。

在5G NR中,波束选择方案、参考信号选择方案、终端能力等也是影响网络性能的关键因素,在组网设计中都需要重点被分析。

### 2.1 覆盖能力

覆盖能力是组网首先要解决的课题,包含3个关键点:首先找出NR上下行信道受限逻辑关系,确定网络建设的依据;其次,分析哪些技术对覆盖能力产生影响,以被列为组网调优储备手段;最后,确定关键信道配置和指标,实施具体网络规划设计。

#### 2.1.1 覆盖受限逻辑

我们将NR的上下行所有链路放在一张链路预算图中,如图1所示。从图中的对比关系可知,当边缘用户目标为2 Mbit/s时,物理上行共享信道(PUSCH)的覆盖最短;其次是采用单波束的公共物理下行控制信道(PDCCH)和广播信道(BCH)存在覆盖受限风险。因此, NR的覆盖短板是上行方向的PUSCH业务信道,该信道应成为组网设计的首要目标对象。

PUSCH成为首要受限目标的原因是:NR的上行承载业务需求高,通常是边缘1 Mbit/s或2 Mbit/s,但NR终端的发送功率有限,无法在大带宽上保持高功率谱密度。在NSA链路预算时还需考虑增加终端能力,因NSA终端的发送功率削减、预编码增益损失等因素都会对上行覆盖能力产生更大压力。其次, NR在下行可采用多波束方式,增强公共信道覆盖,缓解下行覆盖能力的压力,这使得下行信道不易成为覆盖受限瓶颈。以图1为例,如果下行从单波束改为4波束或者8波束,理论上又可增加5~8 dB的覆盖能力。因此,在通常配置情况下, NR网络是一个上行业务信道覆盖受限系统,应进行网络覆盖规划与站点规模估算;但依然要做完备性分析,例如通过分析基站下行发送功率、多波束等系统配置,判断是否会改变NR上行受限的逻辑。

#### 2.1.2 SSB波束选择

在NR系统中,SSB是由主同步信号(PSS)+辅同步信号(SSS)+系统信息块(SIB)3部分组成。用户

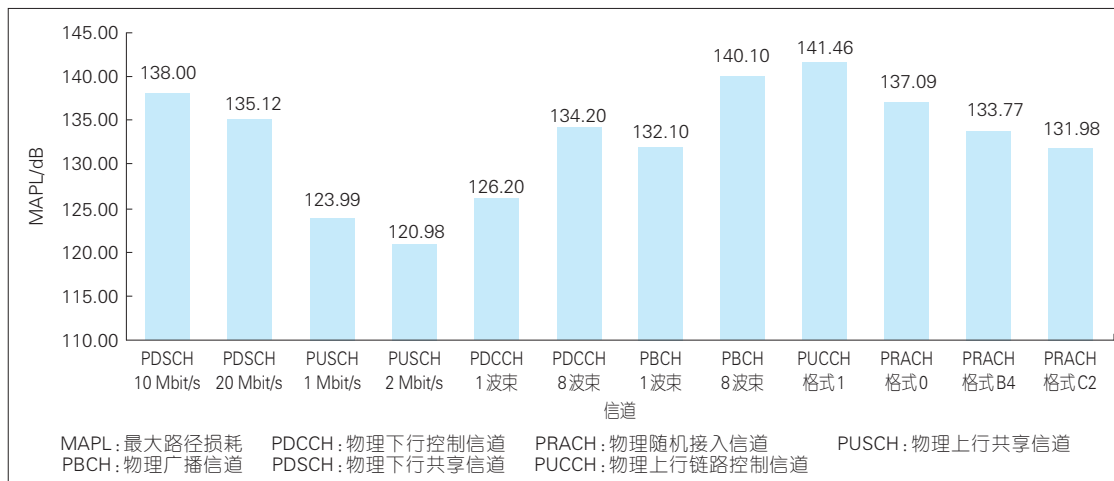


图1 新空口技术上下行信道链路预算对比关系



(UE)基于SSB的测量和解调,完成网络同步和读取广播,SSB因而成为NR系统中最基本覆盖质量参考。同步信道参考信号接收功率(SS-RSRP)、同步信道信干噪比(SS-SINR)是对SSB的测量值,该指标在衡量网络建设覆盖质量时具有重要意义,常被用于网络规划和优化的关键指标。

LTE采用CRS信号的RSRP/SINR作为网络评估参考指标,CRS采用宽波束时频错开的方式发送;而NR系统中SSB采用多波束技术,实现时、频、空域的精细化组网覆盖,具备更精细化的组网能力。

以NR系统5ms帧结构为例,系统可配置1~8个SSB波束。波束个数越多,单个波束越窄,覆盖能力越强。通过广播权值设计,这1~8个波束可分别覆盖小区内不同的方向,包括垂直维度,形成真正的3D网络波束扫描,有效地提升了在密集城区楼宇场景中的广播覆盖质量。

SSB在时频域对齐的配置下,对SS-SINR等同于网络在100%负荷下的干扰测量,可通过SS-SINR发现越区或重叠覆盖导致的同频干扰,适合在工程建设阶段发现干扰隐患。但是,SSB单波束会导致边缘某些位置点的SINR偏低,从而引起同步失败等问题。因此,需要结合广播权设计,根据不同场景设计SSB波束以及配置方案。

通过中兴通讯大量的外场实践,我们发现增加波束数目能明显提高弱场的RSRP以及SINR值,进而提升整个网络的覆盖率,如图2

所示;因此,在商用阶段需要尽量配置更多SSB波束,以实现广播信道的精细化覆盖。此外,通过广播权设计,可发挥SSB多波束垂直覆盖能力,尤其对于密集城区的高层建筑场景,需要增强UE接入和驻留能力。这些SSB相关的研究结论,对后续网络规划和优化工作方向至关重要。

## 2.2 容量能力

### 2.2.1 参考信号配置

相比于LTE网络,NR网络能获得更多的测量,并需要对广播信道和业务信道分别测量。SSB适合做广播公共信道覆盖的预测,而对用户容量的预测则需要另外一种重要参考信号——CSI-RS。CSI-RS主要用于信道质量指示(CQI)、PMI、秩指示(RI)等的测量。相比SSB,CSI-RS与用户容量性能有更大的相关度。在NSA系统中,由于部分终端不支持上行SRS轮发,因此CSI-RS承担着PMI测量值的重任,更是直接影响用户速率体验。

CSI-RS有2个关键配置:端口与预置波束。端口相当于等效天线,把多个物理天线映射为一个等效天线端口;预置波束则是通过每

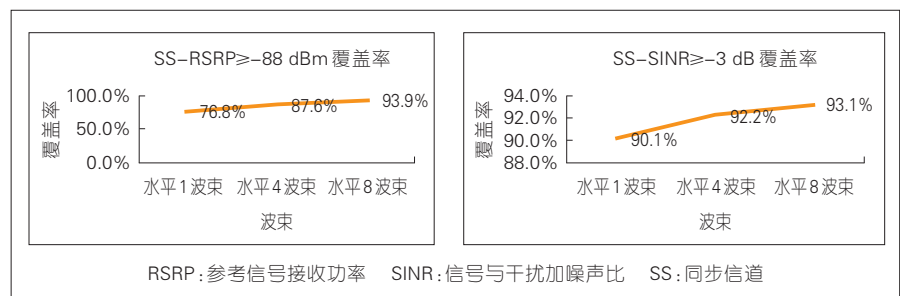
个等效天线端口实现轮扫波束,用于对信道进行探测。CSI-RS通过这2个设置,实现了对空间信道测量的量化,通过反馈方式获取信道信息,为实现以PMI方式的MIMO传输奠定基础。

理论上,CSI-RS端口越多,信道的量化精度越高,预编码增益越大,赋形性能越好;但随着CSI-RS端口数增加,需要的下行CSI-RS资源将更多,对UE测量能力的要求更高,上行反馈的开销更大。在确定的CSI-RS端口数下,预置波束越多,信道的量化精度通常越高,波束扫描增益越大,赋形性能越好;但随着波束数增加,需要的下行CSI-RS资源更多且波束扫描周期更长。另外,波束数增加还意味着波束变窄。由于窄波束内的多径数量变少,将会导致信道表现为缺秩,从而不利于多流传输。

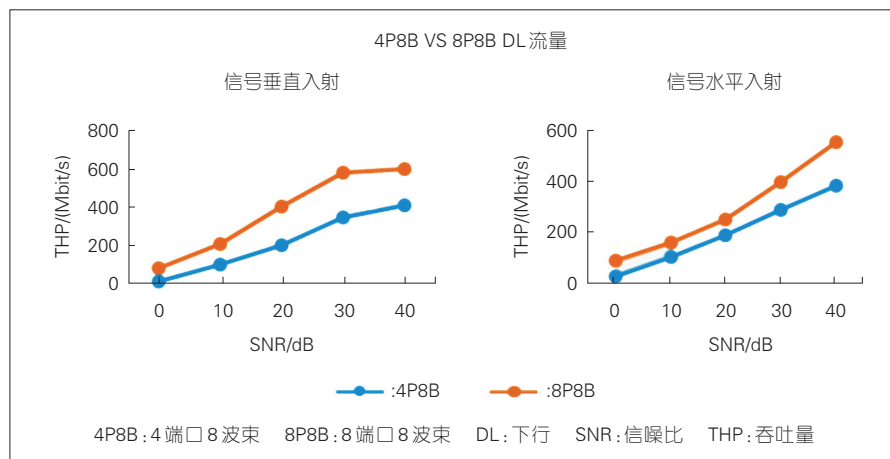
如图3所示,可以看出对于相同预置波束数目,8端口明显优于4端口。

如图4所示,可以看出对于相同端口数目,2波束相对1波束提升约10%。

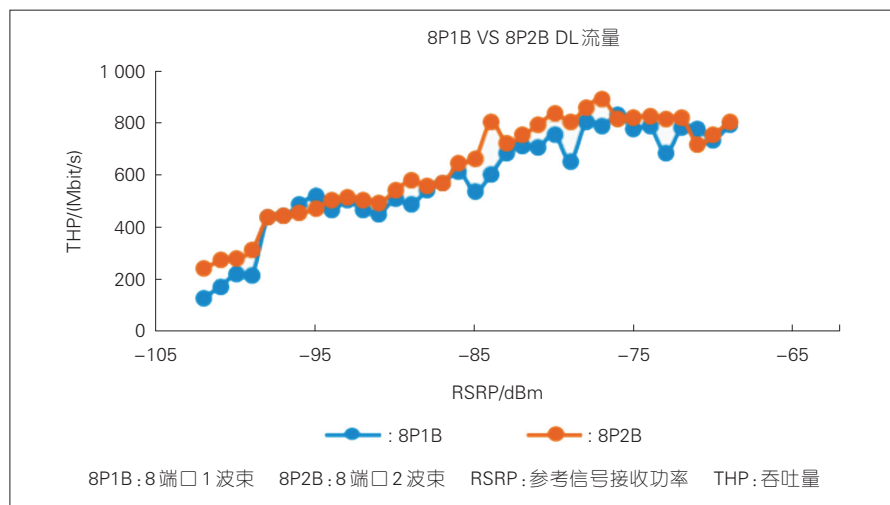
通过研究表明,CSI-RS与系统容量具备高相关性,适合在网络运维和优化阶段作为预测容量性能的



▲图2 不同波束下的广播覆盖质量



▲图3 4端口与8端口信道状态信息参考信号性能对比



▲图4 1波束与2波束信道状态信息参考信号性能对比

参考信号。此外, SRS、DMRS等参考信号也会不同程度上影响容量能力。在网络设计和后续优化中,需详细分析、优化配置系统侧与终端侧各类参数,提升网络容量能力。

### 2.2.2 设备能力

同LTE等通信系统一样, NR也会推出系列化设备,以适应不同场景和建网成本、体积、功耗等需求。在高层楼宇覆盖需求的密集城区,推荐采用64收发通道(TR)规格设备,在郊区或农村推荐采用低配置

规格设备。

在密集城区,复杂的无线环境导致干扰恶化,高楼林立导致垂直覆盖要求高、用户容量需求大。64 TR设备能提供更优的大规模MIMO的波束赋形,实现高流量的多用户MIMO传输,同时可显著提高垂直维度的覆盖。在郊区和农村, MU-MIMO配对成功率降低, 64 TR设备不能充分发挥其容量优势,因此可采用低配置规格设备。

除了宏站产品之外,室内分布系统、微基站等不同产品规格对应

不同的覆盖和容量能力,每种产品规格也都有各自适用的建网场景。在NR网络建设时需要进行综合考虑,选择对客户最优的配置和组网方案。

## 3 精细化网络规划

相比LTE网络规划, NR网络规划有3个方面的特点:首先其网络指标设定到较高性能水准,需要精密细致建模的网络规划工具;其次是能洞察LTE现网数据,有的放矢地进行NR网络精细化设计;最后是场景化组网解决方案。对于NR技术特征与组网特性,无一例外地需要在网络规划和优化中被研究和分析,并最终体现为网络性能指标。

### 3.1 NR网络规划工具

NR网络建设标准是LTE的数倍,并通过采用更复杂的空分传输、多波束、参考信号配置等技术来确保实现网络高性能。这对网络规划工具提出前所未有的高要求。

在通常情况下, NR网络规划边缘速率城区以上行(UL)2 Mbit/s、下行(DL)50 Mbit/s为基准,高热区域则以UL 5 Mbit/s、DL 100 Mbit/s为主要目标,郊区以UL 1 Mbit/s、DL 20 Mbit/s为基准。以上标准是基于对5G关键业务预测而推算得到,例如未来大视频业务会比4G更普遍,在城区场景下,上行2 Mbit/s可以支持720 P直播;下行50 Mbit/s可以支持2 K/4 K高清视频。为了确保对网络性能的准确规划,网络规划工具在无线环境、用户业务以及无线技术等方面的仿真建模的复杂度

都会非常高。

NR 的大规模 MIMO 在垂直维度最大有 4 层波束实现对建筑物等做垂直覆盖,能够大幅地提升通过室外宏站对高层楼宇的室内覆盖性能。这就需要网络规划工具能引入高精度 3D 电子地图,并具备行射线追踪仿真能力。NR 的核心之一——多天线技术的性能表现极度依赖于无线环境,只有基于准确的无线环境建模,才能最大限度模拟 NR 的网络性能,实现准确的网络规划设计。

除了 3D 电子地图、射线追踪建模之外,多天线技术建模是 NR 网络规划的核心发动机。各设备厂家的多天线算法不同,需抽象为指标列表与网络规划工具相接口,才能在把贴近真实的性能体现在规划结果中。这些重要的抽象指标有多天线的天线模型、最优权值、链路解调性能等。例如,对于 SSB 多波束轮扫,CSI-RS、DMRS、SRS 等参考信号配置等需在工具中预计抽象建模,这些重要配置是影响网络规划结果的重要因素。另外,由于 NR 系统过于庞大复杂,即使对核心算法指标做了抽象,其参数规划工作量依然巨大,需要诸如自动选站、射频参数自动寻优、弱覆盖区自动识别与加站等工作。并行计算、远程仿真等信息技术(IT)也被大量引入到 NR 网络规划工具中,以提升网络规划运行效率。

中兴通讯在网络规划工具方面已有数年准备,在其全球共享网络仿真中心已实现 NR 网络规划工具的规模部署,并在核心算法、复杂建

模、云仿真等方面走在业界前列。

### 3.2 网络规划方法论

“基于 4G live data 的 5G 网络规划”是中兴通讯的 NR 规划方法论。LTE 与 NR 在技术体系、应用场景、业务行为等有很多相似之处,用现网 LTE 数据分析来指导 NR 网络设计是最直接有效的方式。NR 独有的技术特点,如多天线、多波束、灵活参考信号配置等也会融合考虑到规划过程中,影响最终分析结论。

LTE 数据可直接帮助识别和锁定 NR 时代的价值区域,包括话务预测、热点评估、重点场景识别。采用人工智能(AI)技术,对现网的用户数、流量等多维数据进行自动价值聚类,快速抓住 NR 网络的规划重点,可以更有针对性地做精细化设计。源源不断的 LTE 海量活跃数据,是无线大数据分析的天然养料,能够帮助 NR 运营者在网络规划、性能优化到日常运维的各阶段都能在用户视角进行预测和决策。

基于 LTE 网络洞察的 NR 网络精细化规划分为 2 个阶段:预规划阶段、工程执行阶段。

在预规划阶段,需要基于 LTE 网络的覆盖/容量/价值/站点拓扑等多维综合分析,确定 NR 网络建设的区域以及站点预规划方案,并进行初步仿真验证,输出初始规划结果及广播权值配置建议。在此阶段,LTE 与 NR 的系统差异,如功率、频段、路损模型等都会融入进基于 LTE 现网数据分析过程中,进而获得准确的 NR 性能指标预测结果。

在工程执行阶段,需要输出工

勘确定站点规划落地方案,提供天面整合方案,并进行精细化仿真,以确定多天线广播权值规划、射频(RF)参数规划等无线参数规划。

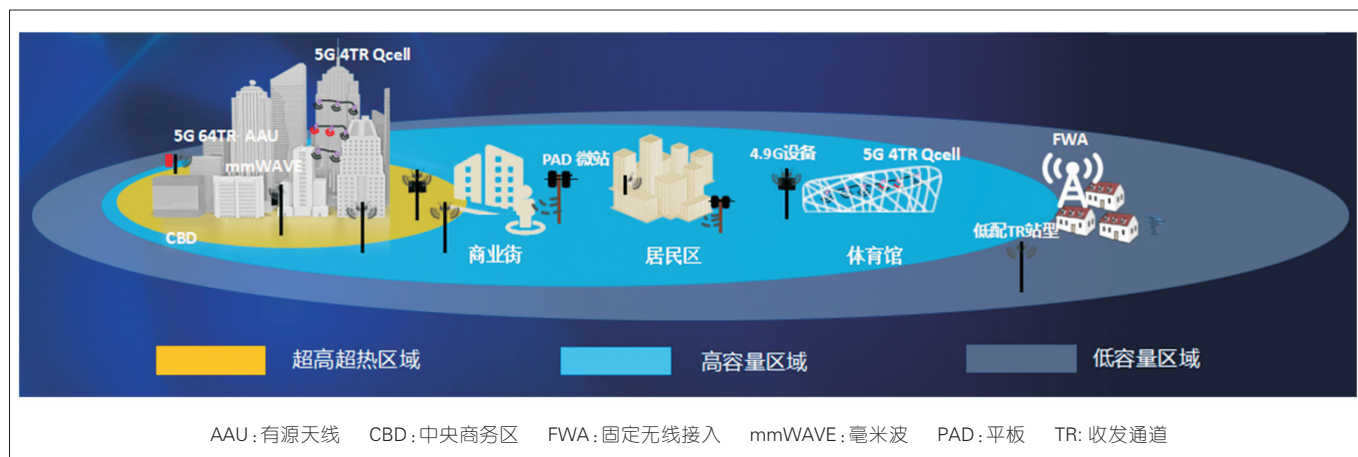
特别需要指出的是:在 NR 网络预规划以及后续优化阶段,AI 算法引入到传统规划流程之后,大幅提升了工作效率和规划效果。例如,热点站聚类算法实现对价值区域的甄别选取,机器学习方法提取相同环境指标预测覆盖效果,利用大数据平台工具对广播权进行优化等。AI 算法必将与无线通信算法一样,在网络性能规划与优化中持续占据重要地位。

### 3.3 场景化解决方案

中兴通讯在系列化宏站、室内分布系统、微站等方面进行组合,形成场景化解决方案(如图 5 所示),解决不同场景下的 NR 组网难题。宏站是最重要的产品形态,64 TR 产品解决 4G/5G 阶段持续高容量需求,用低配置规格产品解决 4G/5G 低流量区域、低成本建网需求。针对 NR 的大带宽使用策略以及 4G/5G 网络共享需求,宏站设备支持混模配置功能,能够支持在运营商在当期和未来的经营抉择。室内分布系统产品有 2 TR 和 4 TR 设备,利用现网无源室分系统或者新建等方式,解决高价值、高流量的室内场景。此外,微站也是必不可少的产品形态,4 TR 平板(PAD)射频单元(RRU)产品广泛应用于居民区、步行街等补忙补热场景。

随着市场需求和技术的不断发展,更多新设备会走向小型化、低功





▲图5 场景化新空口站点解决方案

耗、高性能,共同组成按需而动的NR网络。

#### 4 智能网络优化

NR时代,大规模MIMO等革命性技术不仅带来了网络性能的提升,同时使得网络优化的难度有所提升。另外uRLLC、mMTC的特性也与传统通信业务大相径庭,这些都使得NR网络优化的难度大幅增加。中兴通讯提出了网优“三化”思路以应对NR时代新课题,即网优工具的远程化、自动化、智能化,其中远程化、自动化是基础,智能化是核心。

云技术的广泛应用,使得网优工具远程化成为可能,无论是海量测量数据的收集筛选,还是网络性能仿真预测,都可在云端进行。同时,各种路测和分析软件日臻完善,可实时收集、上报分析数据,减轻了网优工程师日常工作量,实现自动化问题定位与解决实施,提升工作效率与质量。5G时代的参数组合高达上万种,如要匹配到最优参数组合,传统的网优专家系统分析已

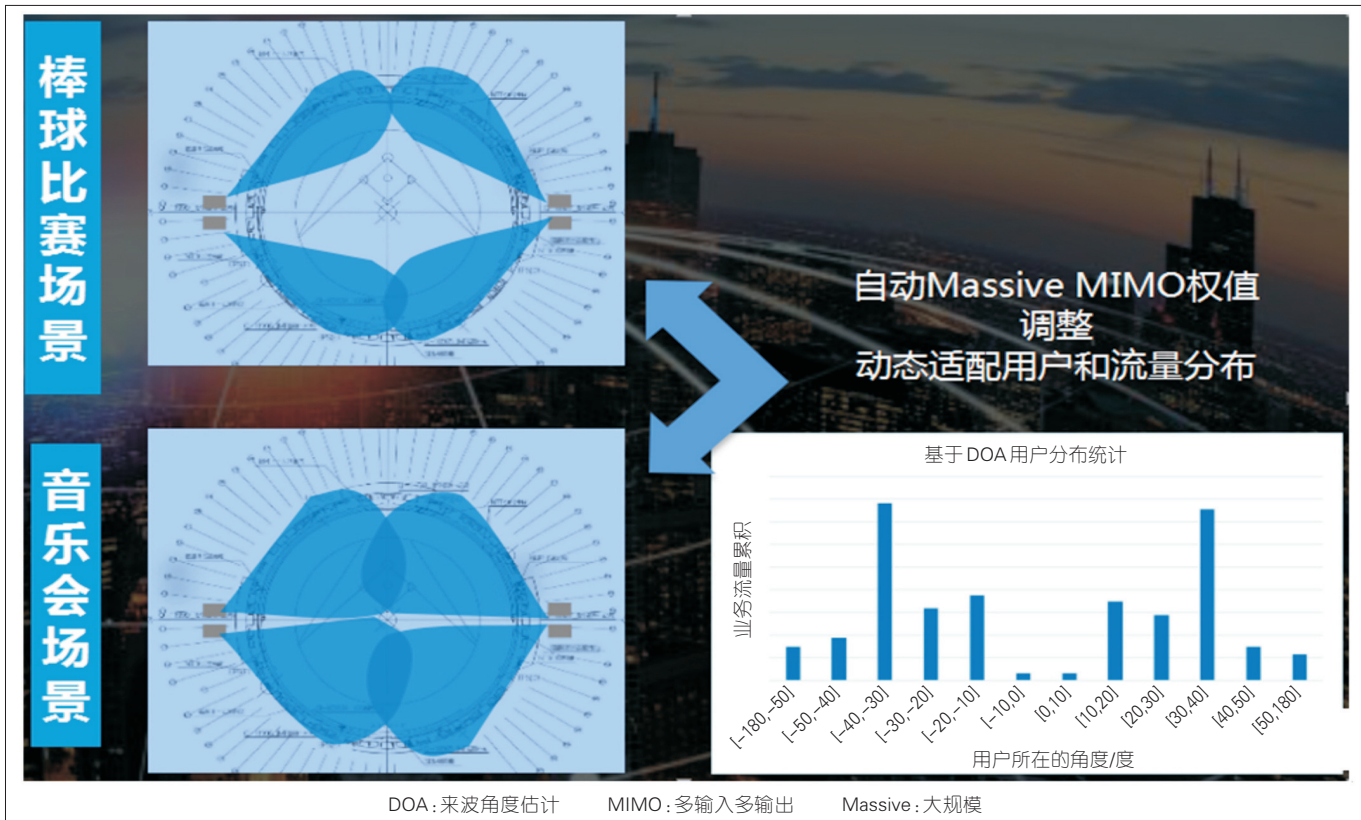
经无能为力。NR迫切需要实现更高层次智能化,AI必然在网优系统中扮演重要角色。

在网络层中,处于上层的网元更容易集中化,跨领域分析能力更强,适合对全局性的策略集中进行训练及推理,例如跨域调度、端到端编排等。通常对计算能力要求很高,需要跨领域的海量数据支撑,对实时性要求一般敏感度较低。越下层的网元,越接近端侧,专项分析能力越强,对实时性往往有较高要求,比如NR新空口的移动性策略移动边缘计算(MEC)的实时控制等<sup>[4]</sup>。基于这些分层智能化理念,中兴通讯设计推出了5G网优工具集,如价值专家分析系统(VMAX)、集中式自由化网络(C-SON)等工具,形成自环、小环、大环组合,引入AI算法,能够全方位对NR网络进行高效运维和性能优化。不同类型的AI算法被部署到不同的“环”中,以解决不同层面的优化难题<sup>[5]</sup>。

基于上述理论和工具,中兴通讯已在NR预商用外场成功验证了AI对天线权值的优化能力。利用

大规模MIMO波束调整原理,部署在各“环”中的AI算法组合协同工作,可针对高楼的垂直面、场馆、具备潮汐效应的区域等场景,分析用户的分布规律,灵活调整广播和控制信道的波束分布,达到覆盖和容量的最优,减少干扰。如图6所示的案例,针对固定场馆类的场景,由于人员分布在长时间内相对固定,可根据这一特点设计广播权值自适应来达到最优覆盖。基于网管、测量报告等数据,结合相关AI算法,进行场景识别,可判断是体育赛事场景还是演唱会场景,并计算出基于此场景和当前用户分布下的最优权值,以提升场馆区域内的CQI、SINR等指标。将权值组合与关键性能指标、用户分布等信息建立关联数据库,便于后期同类场景快速匹配获取优化权值,指导前瞻性运维策略。

每个网元在机器学习、推理自治路上不断进化,实现网络性能的智预测、智能优化、智能决策,其基础是强大的AI算法研究和应用能力。AI算法与通信算法是2个截然



▲图6 人工智能权值自适应的大规模 MIMO 网络

不同的技术概念,前者推崇逻辑相关,让数据说话;后者则较为注重理论推导,要自证严谨。这两者在 5G 网络优化中是必不可少,相辅相成,共同守护着一张高性能的无线通信网络。

### 5 结束语

5G 带来的是通信系统建设的全方位改变,无论是对 3GPP 协议的细节理解,还是组网技术的架构设计以及网规、网优的指标体系和工具平台,处处体现出灵活与变革。同时 5G 也是包容性很强的技术体系,融入 IT 云化、AI 等技术,构建高效系统。5G 也在不断加速发展,“无处不在,随需而动”的高性能无线通信网必然会给人们带来惊喜

体验。

### 致谢

在文章的撰写过程中,中兴通讯 5G 产品专家李玉洁、原均和、束裕、张文娟对提出很多卓有见地的修正建议,蒋新建、吴明皓等产品总工为提出大量而翔实的论证数据,在此对他们的专业精神和无私分享谨致谢意!

### 参考文献

- [1] 3GPP. System Architecture for the 5G System: 3GPP TS 23.501[S]. 2018
- [2] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2014,44(5):551-563.DOI:10.1360/N112014-00032
- [3] 徐志宇,蒲迎春. HSDPA 技术原理与网络规划实践[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007
- [4] 3GPP. Study of Enablers for Network Automation for 5G: 3GPP TR 23.791[S]. 2010
- [5] 张嗣宏,左罗. 基于人工智能的网络智能化发展探讨[J]. 中兴通讯技术, 2019,25(2): 45-48. DOI: 10.12142/ZTETJ.201902009

### 作者简介



韩玮,中兴通讯股份有限公司 5G 系统架构师;主要研究方向为 5G 产品算法仿真、性能设计与规划。



江海,中兴通讯股份有限公司 5G 产品无线总工;主要研究方向为 5G 产品外场性能分析、先进算法架构设计等。



李晓彤,中兴通讯股份有限公司 TDD 产品团队规划部部长;主要研究方向为 TDD/5G 产品软硬件以及新技术规划。