HUAWEI

华为5G无线网络规划解决方案白皮书

目录 CONTENTS

01 5G无线网络规划面临的挑战

1.1 3GPP愿景和5G Use Cases

移动通信深刻地改变了人们的生活，面向2020年，为了应对未来爆炸式的流量增长、海量的设备连接和不断涌现的新业务新场景，第五代移动通信系统应运而生。

2015年6月ITU定义的5G未来移动应用包括以下三大领域：

» 增强型移动宽带 (eMBB)：人的通信是移动通信需要优先满足的基础需求。未来eMBB将通过更高的带宽和更短的时延继续提升人类的视觉体验；
» 大规模机器类通信(mMTC)：针对万物互联的垂直行业，IoT产业发展迅速，未来将出现大量的移动通信传感器网络，对接入数量和能效有很高要求；
» 高可靠低时延通信(uRLLC)：针对特殊垂直行业，例如自动驾驶、远程医疗、智能电网等需要高可靠性+低时延的业务需求。

与此同时，3GPP TSG SA（Technical Specification Group，Service and System Aspects）也研究了未来5G的潜在服务、市场、应用场景和可能的使能技术。在ITU定义的三大应用场景基础上，进一步归纳了5G主要应用范围，包括：增强型移动宽带、工业控制与通信、大规模物联网、增强型车联网等。

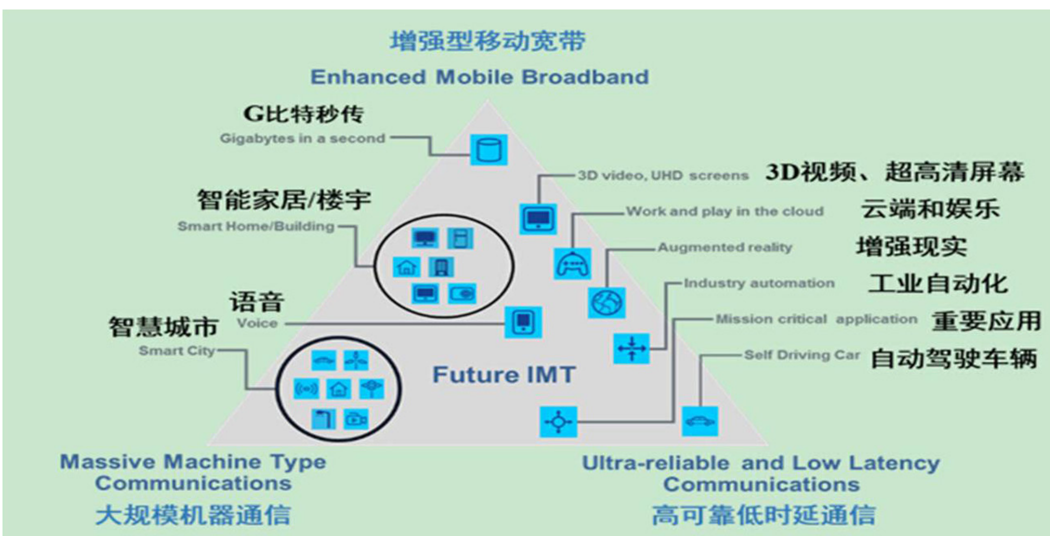


图1-1 5G的三大应用领域

1.2 5G无线网络规划面临的挑战

5G网络在频谱、空口和网络架构上制订了跨代的全新标准，以满足未来的应用场景。而这些新标准、新技术，给5G无线网络规划领域带来了很多挑战。

1.2.1 新频谱对网络规划的挑战

为满足海量连接、超高速率需求，5G网络可用频谱除了Sub6G，还包括业界高度关注的28/39G等高频段。与低频无线传播特性相比，高频对无线传播路径上的建筑物材质、植被、雨衰/氧衰等更敏感，比如经研究：

- LOS和NLOS场景下，高频相比低频，链路损耗将分别增加16~24dB和10~18dB；
- 同一频段，NLOS场景相比LOS场景，链路损耗将增加15~30dB；
- High Loss和Low Loss场景下，高频相比低频，穿透损耗将分别增加10~18dB和5~10dB；

另外，不同频段存在不同的使用规则和约束，包括licensed、unlicensed、授权准入等，这使得频谱规划也变得更加复杂。

综上所述，新频谱带来的挑战和新研究课题包括：

- 高频段的基础传播特性研究，构建高频的传播特性基础数据库和覆盖能力基线；
- 传播模型如何对千差万别的材质建模？如何对基于高精度电子地图的场景分类？
- 可应用在高、低频段的高准确性和高效率的射线追踪模型；
- 如何支持各种类型可用频谱资源的智能频谱规划？

另外，5G高频网络较小的覆盖范围对站址和工参规划的精度提出了更高的要求，采用高精度的3D场景建模和高精度的射线追踪模型是提高规划准确性的技术方向，但这些技术也会带来规划仿真效率、工程成本等方面的挑战。

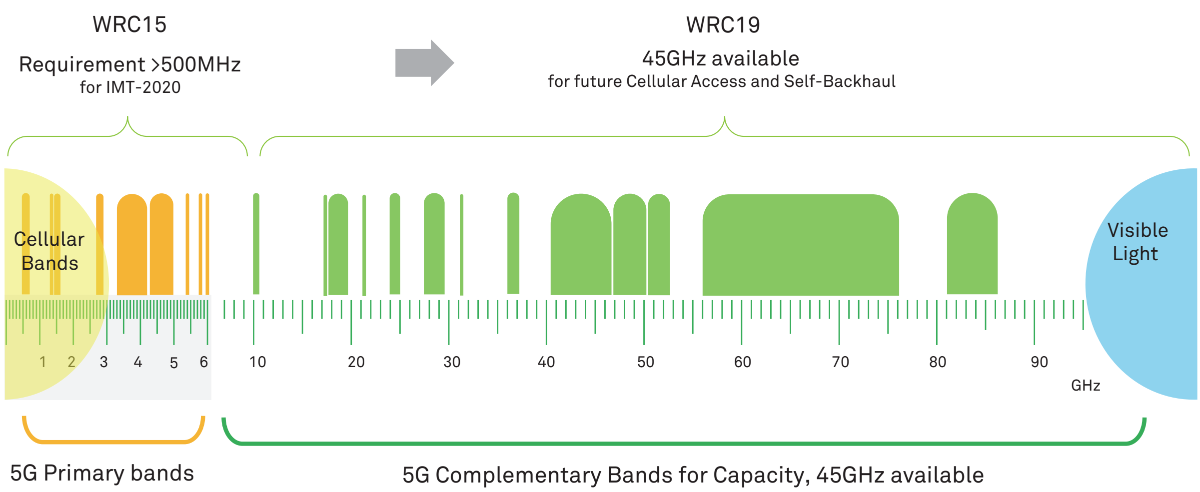


图1-2 5G的全频谱接入

1.2.2 新空口对网络规划的挑战

Massive MIMO是5G最重要的关键技术之一，对无线网络规划方法的影响也很大，将改变移动网络基于扇区级宽波束的传统网络规划方法。

Massive MIMO不再是扇区级的固定宽波束，而是采用用户级的动态窄波束以提升覆盖能力；同时，为了提升频谱效率，波束相关性较低的多个用户可以同时使用相同的频率资源(即MU-MIMO)，从而提升网络容量。

可见，传统的网络规划方法已无法满足Massive MIMO下的网络覆盖、速率和容量规划，需要开展很多有挑战性的课题研究，包括：

» MM天线的3D精准建模：SSB、CSI、PDSCH等信道的波束建模
» 网络覆盖和速率仿真建模：综合考虑电平、小区间干扰、移动速度、SU-MIMO等因素
» 网络容量和用户体验建模：用户间相关性及其对MU配对概率、链路性能的影响、多用户下的体验速率建模
» 场景化的MM Pattern规划与优化：通过最优Pattern提升网络性能

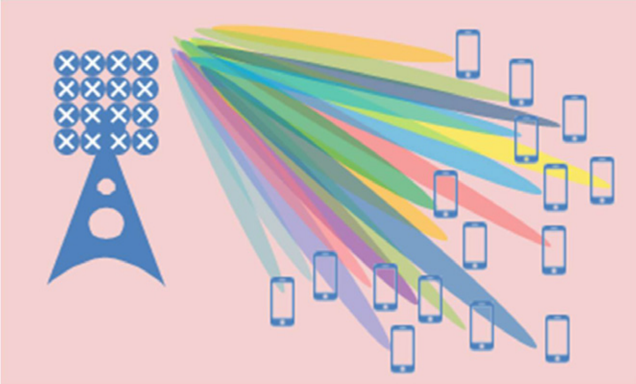


图1-3 Massive MIMO的波束示意图

1.2.3 新业务对网络规划的挑战

围绕业务体验进行网络建设已成为行业共识，xMbps、Video Coverage等体验建网方法在3G/4G网络中得到广泛应用。体验建网以达成用户体验需求作为网络建设的目标，规划方法涉及的关键能力包括：业务识别、体验评估、GAP分析、规划仿真等。根据业务类型的体验需求特征，不同的5G业务要求不同；

- uRLLC：对时延（1ms）和可靠性（99.999%）的要求很高
- mMTC：对连接数量和耗电/待机的要求较高
- eMBB：要求移动网络为AR/VR等新业务提供良好的用户体验

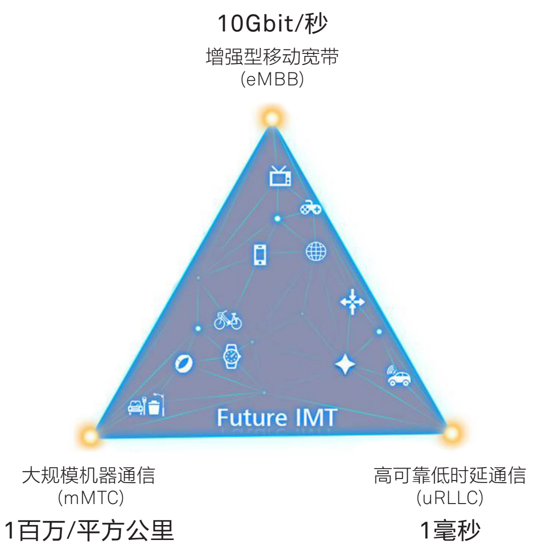
针对5G新业务在待机、时延、可靠性等方面的体验需求，当前在评估方法、仿真预测、以及规划方案等领域均处于空白或刚起步的阶段，面临非常大的挑战。

1.2.4 新场景对网络规划的挑战

因为大量新业务的引入，5G应用场景将远远超出了传统移动通信网络的范围，包括：

- 移动热点：eMBB业务速率向100Mbps发展，人群的聚集和移动会带来大量的移动热点场景，需要有超密组网场景的网络规划方案
- 物联网络：面向各种垂直行业的物联新业务，如智能抄表、智能停车、工业4.0等，其应用场景大大超出了人的活动范围
- 低空/高空覆盖：很多国家明确提出了通过移动通信网络为低空无人机提供覆盖和监管的需求；高空飞机航线覆盖，5G为飞机航线提供高速数据业务

对于这些应用场景，无论是相关的传播特性、还是组网规划方案，目前基本是空白，需要开展相关的课题研究。



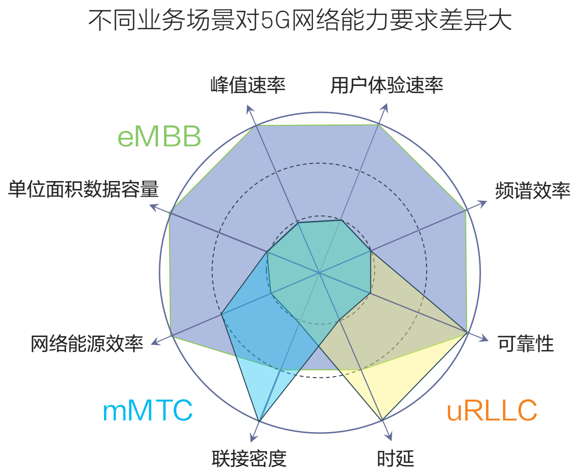


图1-4 5G的业务多样化带来的技术要求差异

1.2.5 新架构对网络规划的挑战

随着用户体验重要程度的持续提升，网络规划已从“以网络为中心的覆盖容量规划”走向“以用户为中心的体验规划”，网络架构也相应地走向云化。一方面，通过网络切片快速提供新业务编排和部署；另一方面，进行实时的资源配置和调度。这些也给网络规划领域提出了很多新的挑战。

» 基于网络切片的网络规划方法，单个切片和多个切片叠加的网络规划方法
» 以用户为中心的动态网络拓扑的组网设计与规划仿真
» 以用户为中心的信道资源云化建模、超密集网络的动态拓扑和协同特性规划

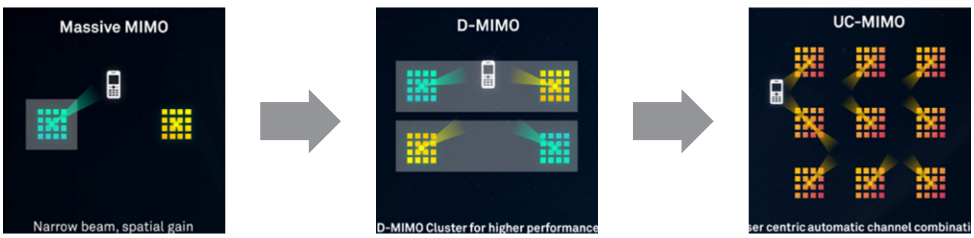


图1-5 以用户为中心的动态组网设计与规划

02 华为5G无线网络规划解决方案

2.1 5G无线网络规划解决方案

为支撑高效率、低成本的5G无线网络建设，华为展开了对5G网络新技术、新业务和新场景的研究，并构建了对应的5G无线网络规划解决方案和关键技术能力。

图2-1 华为5G无线网络规划解决方案

2.2 关键能力

2.2.1 高精度5G传播模型

1) 射线追踪传播模型

5G相比传统3G/4G而言，网络将更加复杂和立体。同时随着Massive MIMO天线、复杂天线赋形技术的出现，多径建模的重要性凸显，缺乏多径小尺度信息，将很难保证网络规划准确性。因此，基于高精度电子地图和具备多径建模的射线追踪传播模型在5G无线网络规划中具有不可替代的作用和地位。

华为自主研发的基于波束的射线追踪模型对于射线的建模包括以下几类：

1. 直视：发射机与接收机在第一菲尼尔区内没有建筑物或植被遮挡影响，直视径能量将成为接收信号主要能量来源，地面反射/墙面反射信号能量几乎可忽略。

2. 反射：发生反射时，入射射线、反射射线以及反射点都在同一个平面内，入射射线与反射点法线夹角等于反射射线与反射点法线的夹角，基于此建立射线追踪反射模型。

3. 衍射：衍射产生条件与电磁波波长以及障碍物棱边的大小相关。在Sub6G时衍射可以带来较大传播能量，但当频率上升至10GHz以上，能够产生衍射的棱边数变少，衍射带来的能量将变低。

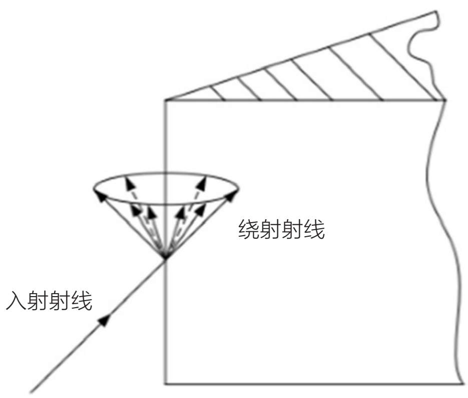


图2-2 射线追踪模型棱边衍射示意图

4. 信号透射：电磁波的透射与反射一样都是发生在两种介质的交界处，透射能量与被穿透材质介电常数，磁导率相关。

5. 组合径：反射之后绕射，绕射之后反射，组合径能量传播方式不可忽视，射线模型需考虑组合径能量传播方式。

华为射线追踪模型，可根据输入的高精度电子地图，以及接收机的位置，自动识别上述多种电磁波传播路径，从而使网络规划更加精准。

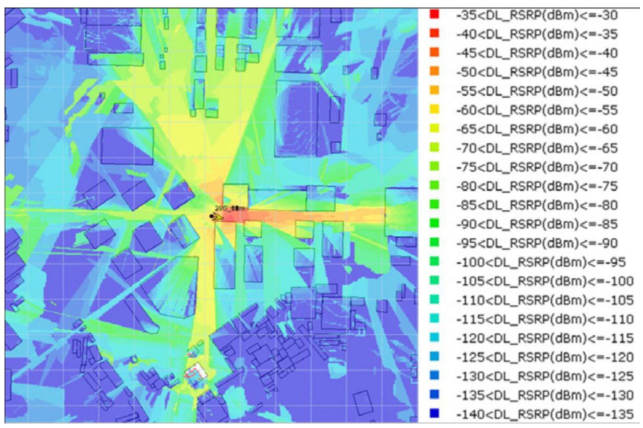


图2-3 华为自研射线追踪模型仿真效果图

2) 高低频经验传播模型

3GPP高频经验传播模型未包含发射机高度项、建筑物高度和路宽等环境特征项，以及树损、氧衰、雨衰等因素，同时接收机高度范围也较小。

华为根据对不同频段不同场景的无线传播特性进行测量和研究，在3GPP高频经验传播模型基础上，增加收/发信机高度系数、接收机所在位置环境特征以及O2I的穿透损耗，研发出兼顾仿真效率和准确性的高频经验传播模型，从而提升网络规划准确度。

2.2.2 产品特性的高保真建模

1) Massive MIMO建模

Massive MIMO作为5G主要特性之一，通过波束赋形形成极精确的用户级超窄波束，将能量定向投放到用户位置，从而提升覆盖和降低小区间用户干扰。华为通过深入研究，实现了Massive MIMO特性的高保真建模，使覆盖仿真结果尽量接近实际场景。

Massive MIMO天线波束分为静态波束和动态波束。对于静态波束，可根据产品天线结构、赋形权值提前生成波束，供规划仿真使用。

对于动态波束，可通过射线追踪模型实现多径识别，根据多径和测量量形成用户级的动态波束，接近实际场景：

- 多径识别：射线追踪模型计算收发信机之间的传播路径，实现多径识别，计算每条路径上的路径损耗；
- 动态赋形：根据多径上的测量量，计算动态权值矩阵，结合计算路径针对不同用户赋予不同波束；
- MU空分复用：Massive MIMO空分配对复用和相关性计算，最大化系统容量；

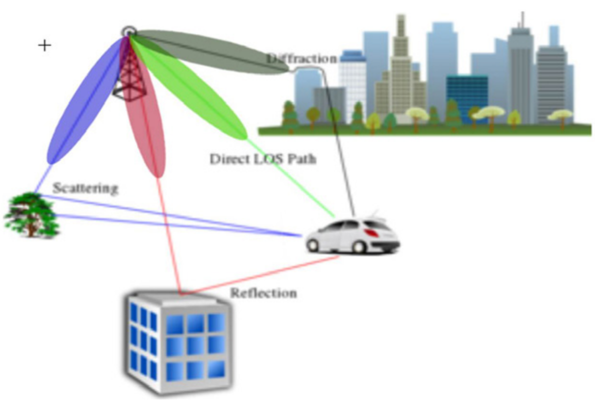


图2-4 动态波束

2) 上下行解耦特性建模

无线网络覆盖由上行链路和下行链路共同决定，需要达到上下行链路平衡。往往基站发射天线增益大和功放功率大，而终端由于体积受限，天线和功放不能做得很大，因此多数情况下上行覆盖受限。上下行解耦特性是针对5G的上行和下行链路所用频谱之间关系的解耦，5G上下行链路所用频率不再固定于原有的关联关系，而是允许上行链路配置一个较低的频率，以解决或减小上行覆盖受限的问题。

根据对上下行解耦特性的实际测量和研究，华为设计了完整的上下行解耦特性的覆盖仿真和RF参数规划方案。

2.2.3 精细化覆盖预测

1) 覆盖预测概述

覆盖预测是网络规划中最常用的评估网络覆盖的方法，也是网络规划的基础。

目前华为具备对eMBB等5G典型业务及场景进行覆盖仿真的能力，包括：

1. 支持频段包括3.5G/4.5G/28G/39G
2. 支持WTTx、室外热点等场景

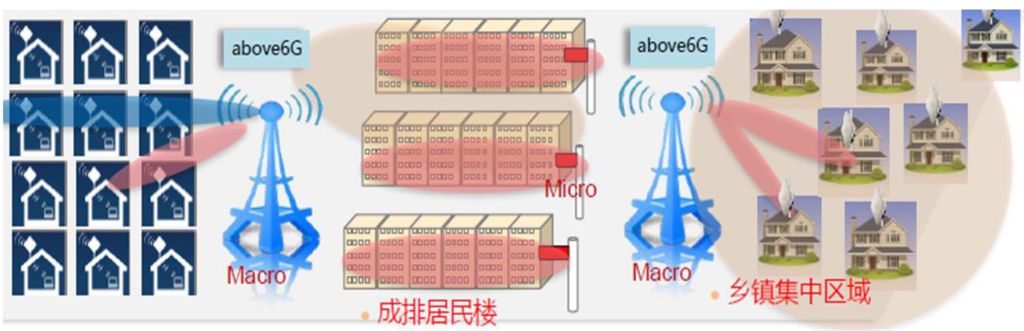


图2-5 WTTx场景

3. 支持华为射线追踪模型、华为高低频经验模型、UMA和UMI等传播模型
4. 支持Massive MIMO静态波束赋形和动态波束赋形的仿真
5. 支持对导频、广播、控制及业务等信道的电平、干扰、信号质量及上下行速率进行仿真

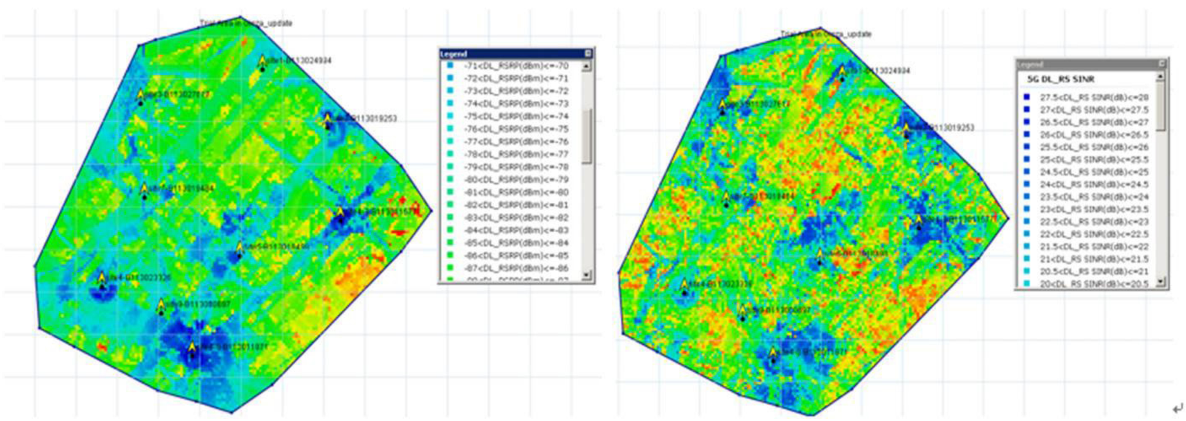


图2-6 U-Net RSRP、RS SINR覆盖预测结果图

» 支持对小区不同上下行配比带来的基站与基站、UE与UE之间的干扰进行仿真

» 考虑不同材质的穿透损耗（Pentration Loss）和人体损耗的覆盖仿真

2) 3D覆盖预测

未来，越来越多的流量将发生在室内，所以3D规划仿真技术对于5G网络建设将至关重要。因此，华为3D覆盖预测功能将仿真区域从传统2D平面扩展到3D立体空间，仿真建筑物内不同楼层高度下的各个覆盖指标，能力包括：

» 3D空间建模：使用带建筑物信息（位置、轮廓和高度）的电子地图构建3D模型；

» 3D传播模型：3D仿真与传统2D室外仿真在无线信号的传播环境上差异很大，无法沿用以前的传播模型，需要对“无线信号穿透”和“接收机高度”建模；

» 支持3D场景下导频、业务信道电平值、干扰、信号质量和速率等指标的预测；

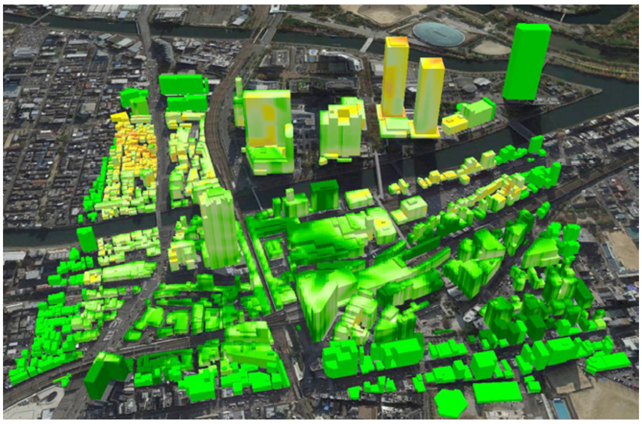


图2-7 华为5G 3D覆盖预测效果图

2.2.4 精准RF参数规划ACP（Automatic Cell Planning）

Massive MIMO作为5G的主要特性之一，精准的RF和BF参数规划对5G网络的建设也很重要。

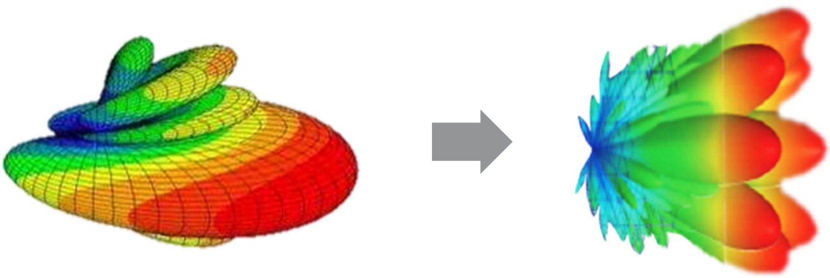


图2-8 传统天线方向图与Massive MIMO天线方向图

Massive MIMO天线波束分为静态波束和动态波束。静态波束采用窄波束轮询扫描覆盖整个小区的机制，选择合适的时频资源发送窄波束，可以根据不同场景配置不同的广播波束，以匹配多种多样的覆盖场景，这里就涉及到如何根据不同场景规划合适波束的问题；

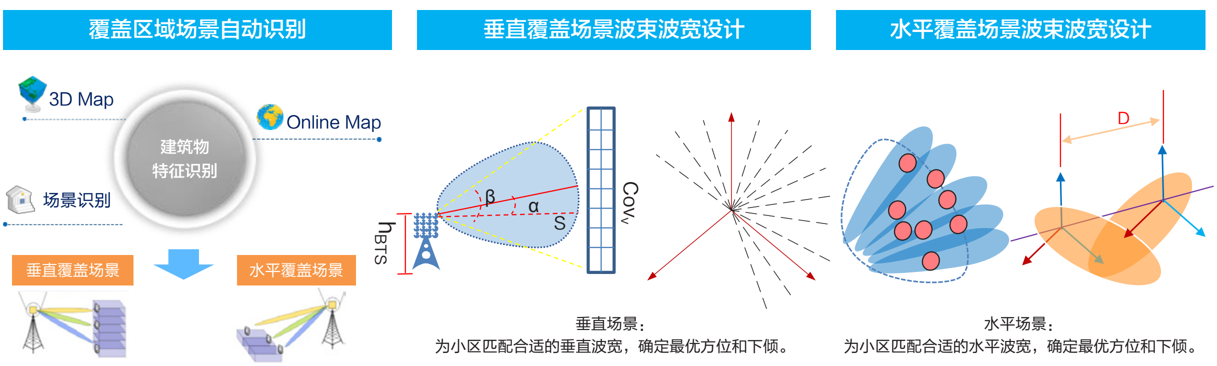


图2-9 华为5G精准RF参数规划ACP功能示意图

华为精准参数规划ACP具备规划Massive MIMO天线的RF和BF参数的能力，包括：

» 具备基于高精度数字地图或在线地图（可选）等信息的精准识别建筑物场景的能力；
» 具备基于特有弧度汇聚方法和依据建筑物高度判断是否阻挡方法，规划Massive MIMO天线最佳高度、方位角和下倾角的能力；
» 具备根据建筑物轮廓及高度和话务分布信息匹配垂直波宽和水平波宽，确保话务在水平波束上分布均匀的能力；
» 具备在站点规划过程中对新增站点进行RF和BF参数迭代规划的能力；
» 具备依据规划结果进行覆盖仿真和栅格级地理化呈现的能力；

2.2.5 精准站址规划ASP（Accurate Site Planning）

5G时代，站点部署越来越密，客户需要精准的站址规划方案以降低建网成本。在建网初期，优先推荐使用已有3G/4G站址作为5G站点候选站址，根据建网目标使用价值识别方法选择候选站址。对于通过选站无法达到建网要求的区域，再进一步规划新建站址。

华为5G精准站址规划ASP功能支持基于客户的建网目标（覆盖、速率），实现利旧站址选择、新建站址的规划，能力包括：

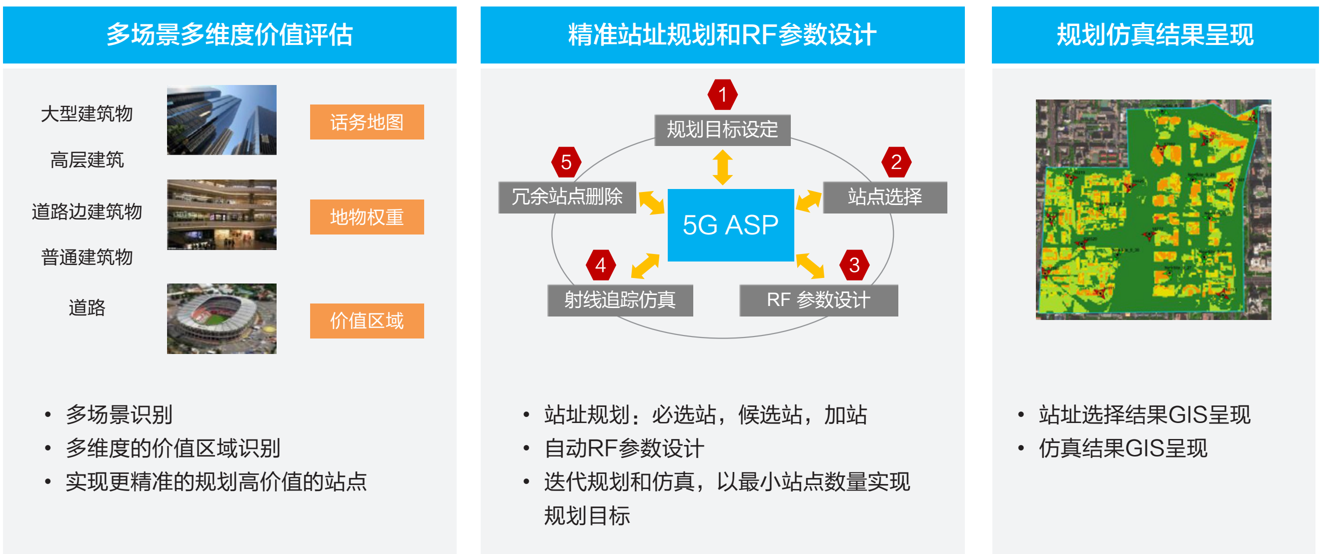


图2-10 华为5G精准站址规划ASP功能示意图

- » 具备从3G/4G候选站址中基于精准场景和价值识别的扇区级/站点级选站的能力；
- » 具备基于精准场景和价值识别的扇区级/站点级新建站址规划的能力；
- » 具备5G新建站上下行解耦增益预估及小区的解耦门限规划设计的能力；

2.2.6 新业务体验网络规划研究

根据3GPP的定义，未来5G将涌现出eMBB、mMTC、uRLLC 3大类体验需求不同的业务类型。uRLLC类业务对时延和可靠性的要求很高，mMTC类业务对连接数量和耗电/待机的要求较高，eMBB类业务对速率的要求较高。

针对5G新业务在待机、时延、可靠性和大连接等方面的体验需求，华为对VR、智能驾驶和无人机等新业务特征及其对无线网络的需求展开了研究。

1) VR业务特征及其对无线网络的需求

360° VR业务可以为观众提供多路实时视频，根据不同的体验等级，要求的网络带宽也稍有不同，在极致体验速率的情况下，要求的网络带宽高达4.2Gbps。VR对网络带宽的技术要求如右表：

如何确保5G网络室内覆盖能满足360° VR的用户体验需求，将成为未来5G网络规划和建设的重要课题之一。

	初级体验	基础体验	极致体验
单眼分辨率	5037x5707ppi	5037x5707ppi	5037x5707ppi
帧率	25~30 fps	50~60 fps	100~120 fps
比特/像素	8 bit	10 bit	12 bit
半屏	~70Mbps	~175Mbps	~350Mbps
360° VR	~840Mbps	~2.1Gbps	~4.2Gbps

表2-1 VR对网络带宽的需求

2) 智能驾驶业务特征及其对无线网络的需求

智能汽车和驾驶是新一轮科技革命背景下的新兴技术，智能驾驶在减少交通事故、提高道路及车辆利用率、降低运营费用等方面具有巨大潜能，已成为未来5G网络很重要的新业务场景。根据不同的自动化驾驶等级，要求的E2E传输时延也不尽相同，具体KPI如右表所示：

智能驾驶对5G网络的传输时延、可靠性、速率要求均非常高，而在智能驾驶场景下，5G网络覆盖受道路、车辆本身、车辆速度等众多因素影响，这就需要更加精细的场景化规划解决方案。

车辆自动化等级	自动化程度	传输时延 (ms)	传输速率/车 (Mbps)
1	驾驶辅助	100-1000	0.2
2	部分自动化	20-100	0.5
3	条件自动化	10-20	16
4&5	高级自动化/全自动化	1-10	100

表2-2 智能驾驶的技术需求

03 华为5G无线网络规划解决方案应用案例

中国、韩国、北美、日本、欧盟等区域，对5G规模商用非常积极，部分运营商已启动小规模预商用网络的建设和验证。作为主要的5G设备商，华为与这些运营商客户在5G无线网络规划领域也开展了广泛的合作。

3.1 低频组网和网络规划案例

客户面临的挑战

在4G时代，客户通过快速提供4G服务，市场份额获得显著增长。在5G时代，希望保持先发优势，提前其他运营商部署5G连续覆盖网络，提供高速率5G eMBB体验，继续提升网络品牌和市场地位。由于5G相比4G有大量的改进，传统的4G网络规划技术已不能满足5G网络诉求，客户亟需获得5G网络规划的经验和方法。客户高层表示：网络规划技术是当前最关注的两个领域之一，希望与华为一起研究和推进。

华为为客户提供的5G网络规划能力和方案

在实验网建设中，华为提供了5G无线网络规划解决方案及软件平台U-Net支撑客户快速进行网络建设：

- 基于华为自研的高精度射线追踪模型以及覆盖预测功能，准确仿真CBD、密集城区、普通城区居民区、沿江高速路等环境下的覆盖效果，帮助客户评估不同规划方案的网络性能，大大降低了客户的网络规划成本；
- 使用华为精准站址规划ASP功能，基于建网目标，从4G候选站址中选择出最佳的5G站址，并提供最佳方向角和下倾角配置建议，保证最佳拓扑和最佳覆盖；
- 依托U-Net软件平台的分布式计算技术，完成1m高精度地图+射线追踪传播模型+MassiveMIMO窄波束+波束间干扰等复杂密集计算场景下的网络规划和仿真，运算效率大大提升，从而支撑客户建网效率提升。

2018年1月，客户与华为联合启动100个AAU C-Band实验网络建设，确定3大区域5大场景的网络规划和部署。依托华为5G无线网络规划解决方案及软件平台U-Net，完成了试验区域的5G站点选择、RF参数规划和对应的覆盖评估，并完成了20+ AAU的开通测试。经过试验网的测试验证，华为5G无线网络规划解决方案的准确性得到认可。基于密集城区已建设的5G站点的测试结果对比，华为5G覆盖预测结果与实测RSRP的均值误差和标准差均满足预期，准确性领先。

3.2 高频组网和网络规划案例

客户面临的挑战

客户网络中一个典型的MDU(Multi Dwelling Unit，多用户单元)区域如下图所示，用户密度约为400户/一栋，楼宇通常为10~30层，每层6~20户。这类高容量价值的楼宇，基本都有DSL/Cable覆盖，但光纤入户由于物业协调困难，光纤无法进入，采用无线WTTx将是非常好的替代方案。

客户要求网络建设好后，用户体验速率能达到：下行峰值速率1000Mbps；在忙时，用户的平均吞吐量需要达到下行25Mbps。

图3-1 Multi Dwelling Unit覆盖场景

华为为客户提供的5G网络规划能力和方案

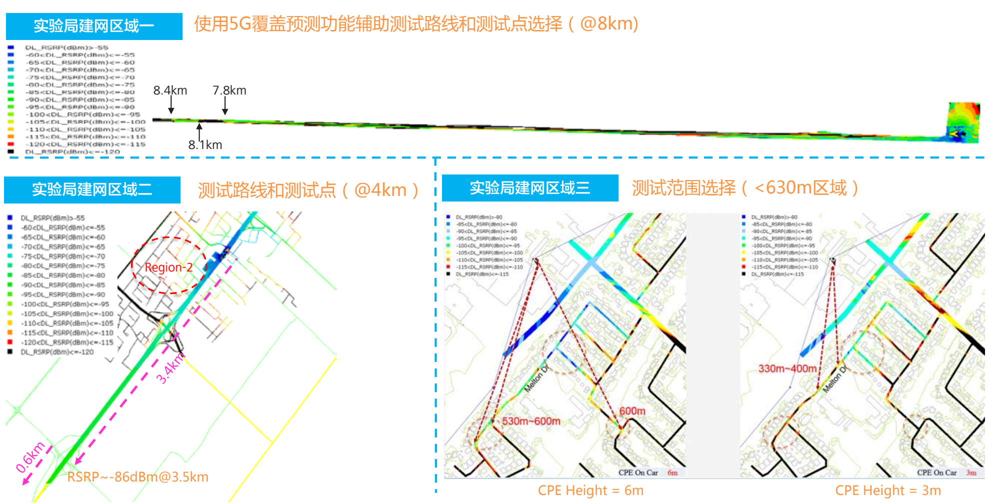
» 建网前，根据建网目标规划站址和RF参数，并提供覆盖仿真结果，大大降低客户实验网建设成本：

基于客户建网目标的站址规划（ASP）和覆盖仿真

精细的RF参数规划（ACP）和覆盖仿真

» 网络建设完成后，华为提供覆盖仿真能力，辅助客户选择测试路线或测试点，减少客户无效测试验证，降低了实验网测试成本：

华为5G网络规划解决方案覆盖预测功能让外场测试做到“有的放矢”



» 网络建设完成后，华为提供5G覆盖仿真能力帮助客户识别可放号友好用户，和客户规划友好用户CPE安装位置，将单个CPE安装耗时从3小时减少到0.5小时：

04 结语

未来的5G业务是多样化的，既要为用户提供超高的峰值速率接入，以支撑WTTx、移动UHD、移动AR/VR等业务需求；又要满足“零”时延的使用体验，以支撑智能驾驶、自动工业控制等业务场景；同时5G还需具备海量的连接能力，以满足智慧城市和智能电表等应用。

为满足多样化的业务需求，5G网络将在帧结构、多址接入、信道编码、频谱和架构演进等方面进行全面的创新，从而对5G网络规划提出了巨大的挑战。

2017年~2018年，5G第一波实验网络在中国、加拿大、韩国等国家开始建设。华为通过长期的技术研究，已经掌握了5G网络规划相关的传播特性、覆盖仿真和组网规划等核心技术。并通过运营商5G实验网络的建设，积累了丰富的组网与规划经验，已经可以提供业界领先的5G无线网络规划解决方案。

随着5G协议标准、产品演进、业务应用场景探索和发展，华为5G无线网络规划解决方案团队也将持续创新，不断提升关键技术能力，向客户提供最完善、最高效、最精准的解决方案。

05 术语表

术语/缩略语	描述
eMBB	Enhance Mobile Broadband，增强移动宽带
mMTC	massive Machine Type of Communication，海量机器类通信（大规模物联网）
uRLLC	The Ultra Reliable Low Latency Communication，超可靠、低时延通信
LOS	视距，Line Of Sight
NLOS	非视距，Non Line of Sight
MM	Massive MIMO，大规模多天线阵列系统
O2I	Output to Input，室外覆盖室内
RF	Radio frequency，射频
WTTx	Wireless To The x，无线宽带到户
BF	Beamforming，一种波束赋形技术
VR	Virtual Reality，虚拟现实
CBD	Central Business District，中央商务区
AAU	Active Antenna Unit，天线和射频模块的集成体
UHD	ultra high definition，超高清
AR	Augmented Reality，增强现实技术

华 为 技 术 有 限 公 司
深圳市龙岗区坂田华为基地
电话: (0755) 28780808
邮编: 518129

www.huawei.com