

特大型城市分层立体组网方案探讨

王 华

中国移动通信集团上海有限公司

摘要 目前, TD-LTE网络已形成较完善的广覆盖宏蜂窝组网架构, 但单一网络架构下深度覆盖及容量的瓶颈逐渐显现。未来无线网络将向功能更加细分、设备类型更加丰富的分层立体组网架构演进。文中围绕特大型城市面临的深度覆盖、局部容量和频率干扰三大问题, 对分层立体网综合方案进行深入探讨。

关键词 分层网 立体组网 覆盖 容量 干扰

1 分层立体组网规划对大型城市网络规划的意义

1.1 分层立体组网网络架构概述

分层立体组网的引入可以很好地匹配特大城市组网需求。通过功能的分层, 明确不同网络分层对应的规划目的, 制定相应的标准; 通过梳理不同网络分层对应的设备形态和建设方式, 更好地指导现网的网络建设落地。分层立体组网网络架构说明见表1。

1.2 分层立体组网规划针对特大型城市规划挑战的应对方法

(1) 覆盖问题

功能分层: 通过连续覆盖层的规划快速解决连续覆盖及近道路的浅层覆盖问题, 通过深度覆盖层的识别和规划进一步完善深度覆盖, 有层次地解决深度覆盖问题。

建设分层: 杆站、微站的建设方式针对碎片化的弱覆盖区域, 近距离覆盖, 降低对宏站的依赖, 减少对网络性能的冲击, 定点针对性地解决深度覆盖问题。

(2) 容量问题

随着业务量的持续增长, 宏站面临着频率资源快速消耗的问题, 对于局部小范围的热点, 可以通过分层网小微站设备定点补充容量, 提升频率资源利用率。对于宏站频率资源受限, 可以采用多个小微站建设以空间换容量的方法, 快速提升单位面积内的总容量。

(3) 干扰问题

分层立体组网可以根据宏微站点不同的覆盖特性部署对应的特性如DMIMO、COMP等提升网络性能。由于小微站

覆盖范围小型化, 频率应用策略更加灵活, 同时小微站的引入可以在一定程度上减轻宏站覆盖压力, 宏站功率的降低, 现网干扰的优化将变得更加便捷。

2 覆盖规划和解决手段

2.1 覆盖标准制定

2.1.1 基于上网业务感知的规划目标

(1) 理论链路预算分析

通信网络常温下的热噪声功率谱密度为 -174dBm/Hz , 考虑终端噪声接收信号系数为 7dBm , 则 15kHz 带宽对应的最低接收信号噪声大小为 $-174+10\lg 15000+7=-125\text{dBm}$ 。因此用户驻留所需最低信号强度为 $-125\text{dBm}@15\text{kHz}$ 。

人体损耗取 3dBm , 干扰余量取 3dBm , 终端损耗取 6dBm , 可以得出用户业务最低信号电平要求为 $-125\text{dBm}+3\text{dBm}+3\text{dBm}+6\text{dBm}=-113\text{dBm}$ 。因此在LTE建网初期, 采用的室外规划标准为 -113dBm 。

(2) 基于终端实验室研究结果

终端用户对于有信号的直观体验就是终端信号格数, 通过多款终端验证显示, 终端信号电平在低于 -115dBm 时会显示无信号, 因此数据业务感知标准必须高于 -115dBm 。

(3) 建筑物穿透损耗分析

室内通信大多发生在穿透多堵墙之后, 进入房间的信号与室内纵深关系密切。按照UE最小接收电平 -113dBm , 穿透损耗为 $17\sim 23\text{dBm}$, 则满足室内深度覆盖的电平要求为 $-113\text{dBm}+(17\sim 23\text{dBm})=(-96\sim -90\text{dBm})$ 。工程上允许一定通信概率的信号低于最小验收电平, 一般取值为 5% 。因此, “室外 $R_SRP > -95\text{dBm}$ 且 $SINR > -3\text{dBm}$ 的满足度为 95% ”作

为室内深度覆盖标准，保证数据业务要求边缘速率为1Mbit/s时，SINR为-3dB。试验表明，单载波时50%加载下，SINR与下载速率的关系相对稳定。SINR与下载速率验证结果具体见表2。

2.1.2 基于VoLTE业务感知的规划目标

(1)理论链路预算分析

VoLTE业务为对称业务，从覆盖的角度上行覆盖受限，上行覆盖半径即最终的小区半径。根据理论计算，高清语音编码AMR23.85对应的下行边缘RSRP电平门限为-115dBm。该结果为理想环境下的边缘RSRP电平，代表保持VoLTE语音基本业务需求的电平要求。实际场景下无线环境较为复杂，需要基于MOS感知的要求对网络的真实覆盖水平进行评估。

(2)VoLTE高清语音业务规划要求分析

在VoLTE商用的前提下，目前已具备进行大规模VoLTE MOS测试的条件，基于感知的规划标准研究可以通过大数据的方式进行。大数据分析的优势真实地反映了在相应感知需求下网络的覆盖水平。具体规划要求如下。

- 高清语音业务感知要求MOS大于等于3.5

取24个网格的拉网MOS测试数据，匹配相应MOS感知要求对应的覆盖标准，从RSRP与MOS的对应关系图中可以发现，对应MOS感知大于等于3.5的高清体验要求，RSRP电平值在-112~-108dBm，取中值MOS 3.5对应的RSRP要求为-111dBm。

- 高清语音接通率要求（大于等于99%）、掉线率要求（小于等于1%）

取网格内VoLTE无线相关的KPI指标及MR数据，从接通率、掉线率与边缘电平的关系可以得到，接通率99%对应

的边缘RSRP电平为-110dBm，掉线率1%对应的RSRP电平门限为-111dBm。

综上，要达到良好的高清语音感知要求（MOS大于等于3.5，接通率要求大于等于99%，掉线率要求大于等于1%），RSRP电平要求为-110dBm。

(3)连续覆盖层规划电平要求

VoLTE建网初期的规划标准仅考虑最低的终端驻留电平要求（-125dBm），并没有从业务感知的角度出发制定相应的室内标准。VoLTE高清语音业务对室内的覆盖提出新的要求（-110dBm），因此室外规划标准需要进行一定的调整，同时当前规划标准仅考虑13dBm的穿透损耗（浅层覆盖），针对目前业务的深度覆盖需求考虑不足。

从价值区域楼宇的穿透损耗统计结果来看，至少需要考虑15dBm的穿透损耗需求。由VoLTE的规划要求可以直接得到室内高清语音对应的电平要求，通过穿透损耗的估计，室外连续覆盖层规划要求为-95dBm。

(4)深度覆盖层规划电平要求

为保证室内良好的语音体验，室内规划电平要与VoLTE高清语音感知规划要求保持一致，即深度覆盖层规划电平要求为RSRP=-110dBm。

2.2 弱覆盖识别及方案匹配

2.2.1 连续覆盖层规划方案

基于DT数据，通过工具对道路覆盖数据进行栅格化，针对不同道路弱覆盖分布特征以及连续的道路弱覆盖路段长度匹配对应的规划方案，弱覆盖判断标准与前述结论保持一致为-95dBm。连续覆盖层规划思路如图1所示。

2.2.2 深度覆盖层规划方案

基于现网的MR数据对连续弱覆盖栅格进行分析，对不同的连续弱覆盖栅格匹配对应的站点解决方案。深度覆盖MR评估标准与前述结论保持一致为-110dBm。深度覆盖层规划思路如图2所示。

2.2.3 楼宇级的立体覆盖识别方案

在规划楼宇覆盖时需要针对区域内的楼宇进行测试以确定楼宇内的覆盖需求。通过积极探索，确定以下基于高清图的楼宇识别规划方案：首先，高精度地图提供楼宇级场景信息，联合地图厂商针对高精度的地图补充规划所需的楼宇及信息，为地图识别提供数据输入；其次，基于MR定位信息及室内外识别算法结合高精度地图的建筑信息，对建筑物级别的覆盖进行评估。

2.3 网络仿真方案

由于无线传播环境的复杂性，通常无法使用统一模型准确描述某一场景下的无线传播特性。传播模型仅是通过多种

表1 分层立体组网网络架构说明

分层维度	分层明细	分层描述
功能分层	连续覆盖层	网络的基础能力，满足连续覆盖的基本业务需求
	深度覆盖层	网络的扩展能力，满足一定业务标准要求的室内深度的覆盖需求
	容量层	网络的承载能力，满足业务提升对网络容量的需求
建设分层	宏站层	标准的三扇区蜂窝组网架构，满足连续覆盖、浅层覆盖和基本的载波扩容需求
	道路杆站	快速完善室外连续覆盖和局部深度覆盖；同时补充室外热点和分担室内话务
	微站层	通过室外覆盖室内的方式，完成室内深度覆盖和局部热点的话务分担
	室分层	聚焦价值区域，通过室内站点的建设直接满足室内的覆盖及容量需求

表2 SINR与下载速率验证结果

RS-SINR (dB)	-5	-3	-2	-1	0	3	6	9
下载速率 (Mbit/s)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.5	8.5	12.5

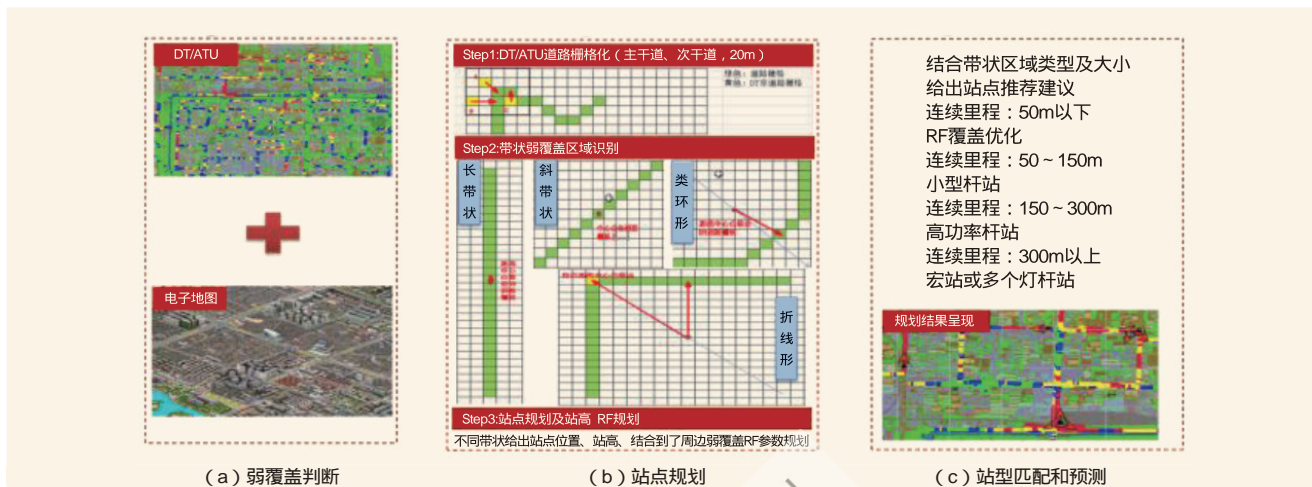


图1 连续覆盖层规划思路



图2 深度覆盖层规划思路

参数对复杂的无线电波传播环境进行提炼总结，以及对不同场景下无线传播范围进行的估算。

目前常用的传播模型有Okumura-Hata、COST231 Hata和SPM通用模型等几种，其中宏蜂窝可采用进行参数修正后的COST231 Hata模型。但由于上述几种模型都一定程度忽略了详细的地物特征，因此对于复杂的密集城区场景，小范围的站点覆盖估算存在一定局限性。针对这样的问题，对于密集城区的小基站仿真采用Walfisch-ikegami模型。

Walfisch-ikegami传播模型分为LOS直视径传播模型与NLOS非直视径传播模型。

直视径指的是在发送端及接收端间无障碍物：

$$L_{LOS} = 42.64 + 26 \times \lg d_{km} + 20 \times \lg f_{MHz}, d_{km} \geq 0.02$$

对于非直视径有如下公式：

$$L_{NLOS} = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{mds}, & L_{rts} + L_{mds} \geq 0 \\ L_{fs}, & L_{rts} + L_{mds} < 0 \end{cases}$$

其中 L_{fs} 为自由空间损耗， L_{rts} 为屋顶对街道的绕射和散射损耗， L_{mds} 为多次屏蔽绕射损耗。

非直视径需要考虑的参数有： H_b ，基站天线有效高度；

H_m ，终端天线有效高度； H_B ，周边建筑楼顶高度； $\Delta h_b = H_b - H_B$ ，基站相对于楼顶的高度差； $\Delta h_m = H_B - H_m$ ，终端相对于楼顶的高度差。

如下参数与环境强相关，为提升仿真效率和准确度，根据上海市建筑分布给出如下参数建议： b ，建筑物间隔，建议取值40m； ω ，街道宽度，建议取值25m； ϕ ，街道走向和直射波方向上的夹角，符合数学期望为43.1的高斯分布，建议取值43°。

2.4 覆盖增强特性

为了缓解深度覆盖和性能的瓶颈，可使用软劈裂、FD互助等覆盖增强特性。其中软劈裂充分利用智能天线的波束赋形能力，在不新增设备的情况下，将传统单站三扇区模式转变为6扇区模式，最大程度提升单站覆盖能力。软劈裂示意如图3所示。

FD互助是指针对FAD宽频天线，实现16R联合接收，在新建D频段站点的同时提升原F频段的上行覆盖性能。FD互助原理如图4所示。

3 数据和语音混合业务容量研究

3.1 扩容标准

随着VoLTE用户数的增加，VoLTE业务对于扩容评估的各个维度资源都有一定比例的消耗，因此对于不同的VoLTE渗透率，混合业务小区可以支持的数据用户数和语音用户数可以通过以下方法计算：

(1)按照典型VoLTE业务模型计算出单VoLTE业务资源消耗值；

(2)根据已有数据业务扩容标准推导出数据业务单用户资源消耗值；

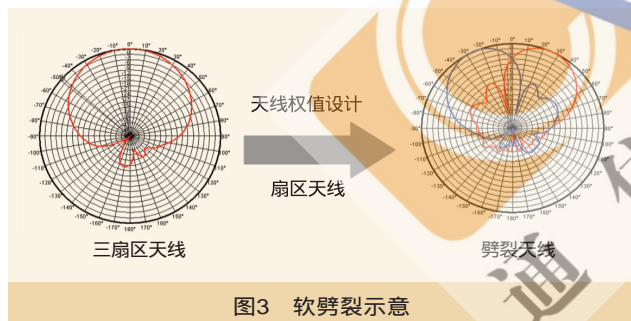
(3)将第(1)、(2)步计算结果合并得到混合业务资源消耗值计算公式；

(4)根据VoLTE用户占比，结合混合业务资源消耗值计算公式，可以得出不同VoLTE用户占比下混合业务小区可以支持的数据用户数和语音用户数，以及各资源的瓶颈门限。

3.2 容量提升特性

3.2.1 3D-MIMO

利用大规模天线阵列，3D-MIMO可以提供更多的空间自由度，增强多用户配对能力，大幅提升频谱效率。同时用户级窄波束，能量更加集中，提升终端接收信号质量，



从而提升用户速率。自动跟踪识别用户，更精确的波束赋性，改善边缘用户体验。根据不同的广播波束权值设置，3D-MIMO可以针对不同场景匹配不同的广播波束方案，满足不同的覆盖需求。

3.2.2 上行4流V-MIMO

LTE的上行传输可采用基于空分复用的虚拟MIMO。在上行虚拟MIMO调度模式下，基站同时调度多个单天线用户在相同的时频资源上传输数据。基站侧的调度器通过最佳配对策略灵活地调度各个用户，并选择适宜配对的UE进行配对传输，从而在保持链路鲁棒性的前提下提高系统吞吐量和频谱效率。4流V-MIMO特性，即高阶V-MIMO，允许最多4个用户进行配对，进一步提升系统容量，每一层的配对算法仍采用增强V-MIMO算法。

3.2.3 上行数据压缩

上行数据压缩 (Uplink Data Compression, UDC) 特性在上行数据传输时底层进行智能压缩，即在空中接口上行信道仅传输原始数据中不常重复的内容，使需要经空中接口传输的数据变少，相同空中接口资源能传输更多应用层数据，提高上行应用层传输速率。上行数据压缩技术能压缩大量基于文本的HTTP Get和ACK，从而减少网页加载时间，大幅增强包括网页加载加速等各类应用的用户体验。

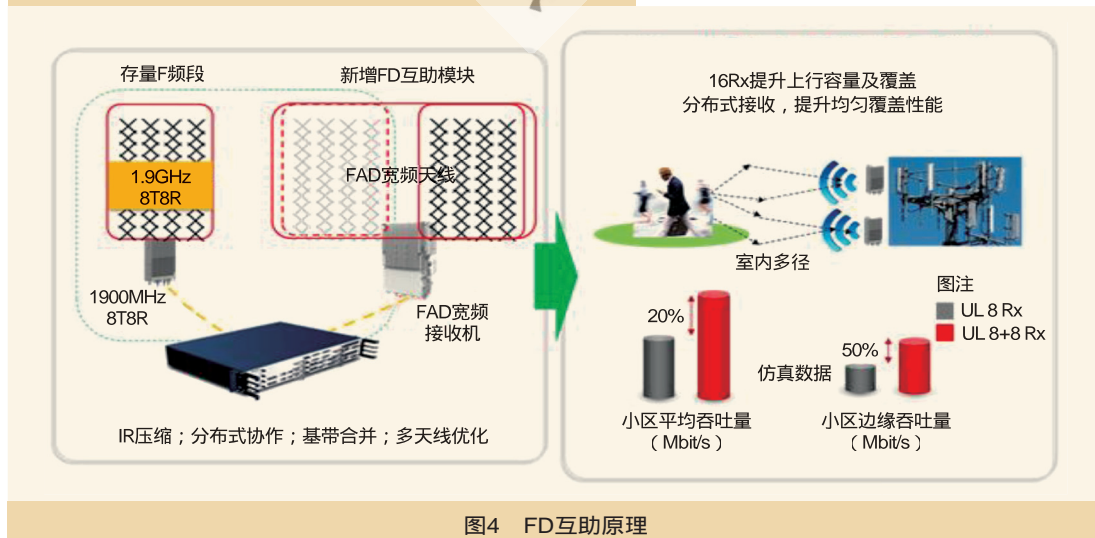
3.2.4 高阶调制技术

上行64QAM通过增加每个符号所承载的比特数，提升小区吞吐量和单UE峰值速率。相对16QAM，64QAM理论峰值速率提升47.7%。

下行256QAM，相对现有下行64QAM，支持更大TBS传输，理论峰值速率提升约33%，并具有高阶低码率优势。下行256QAM主要提升近点用户的下行频谱效率及吞吐率，增益受无线信道质量、射频EVM影响。

3.2.5 载波聚合

为了提供更高的业务速率，通过将同频带、异频带不同的成员载波聚合成更大带宽，成倍地增加用户峰值速率。目前移动TD-LTE系统可使用的频率资源为140MHz，其中TD-LTE室外站主要承载在F频段和D频段上，室内



站点采用E频段。目前可以进行载波聚合的场景从频段上来看有如下4种：F频段&D频段、D频段&D频段、E频段&E频段、F频段（20MHz）&F频段（10MHz）。

以上4种载波聚合方式在上海移动均有应用，可大幅提升用户下载速率。对于个别热点区域，应用上行二载波、下行三载波载波聚合。

4 分层立体组网干扰抑制特性

4.1 宏微干扰抑制特性——DMIMO

DMIMO原理即多个重叠覆盖严重的基站形成一个DMIMO簇。簇内每个基站对每个用户进行联合发送，变干扰为能量。 K 个基站和 K 个用户的收发系统组成一个 K 维的矩阵， K 维收发矩阵可形成最多 K 个正交发送向量，每个正交发送向量服务一个用户，因此正交的用户数据联合并行发送互不干扰。

4.2 干扰抑制特性——CoMP

DL CoMP主要应用于下行边缘干扰受限场景，其中联合发送指服务小区和邻区（干扰小区）在相同的时频资源上同时发送有用信号，使干扰变成信号，同时信号得到加强；协作调度算法即邻区（干扰小区）静默时，服务小区在邻区静默时频资源上服务用户，消除干扰；波束协作指邻区（干扰小区）通过波束赋型技术使零陷对准服务小区的用户，从而消除干扰。

UL CoMP主要应用于上行边缘受限场景。其中，联合接收算法通过联合服务小区和邻区共同接收用户信号，获得阵列增益；干扰抑制算法通过联合服务小区和邻区对干扰信

号进行抑制，获得更好的干扰抑制增益。

5 结束语

分层立体组网在采用宏、杆、微等不同建设类型解决覆盖、容量需求的基础上，结合多种功能特性，进一步增强网络覆盖，提升网络容量，降低网络干扰，改善用户体验。

目前，移动互联网业务呈现高速发展趋势，2017年移动用户DOU将翻番，2020年DOU将达到5GB，业务热点对网络提出大容量高标准诉求。以当前技术，实现大容量的RRU、天线等设备规格型号较大，而业务热点往往在寸土寸金的城市核心地带，例如外滩景区、迪士尼旅游度假区、京沪高铁沿线等，这些区域在物业协调、机房和天面选址、通信设备与周边环境景致和谐统一等诸多因素上，均对设备小型化以及伪装技术提出更高要求。通过将上述分层组网综合方案于外滩、虹桥火车站、上海迪士尼、新国展、老式居民区等典型性场景进行应用，在覆盖、容量及性能提升上均取得令人满意的效果。

参考文献

- [1] 肖清, 汪丁鼎, 许光斌, 等. TD-LTE网络规划设计与优化[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [2] Ashraf Tahat, Mohammad Taha. Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Propagation Model Using Particle Swarm Optimization[S]. 2012.
- [3] Edilberto O. Rozal, Evaldo G. Pelaes. Statistical Adjustment of Walfisch-Ikegami Model based in Urban Propagation Measurements[S]. 2007.

如对本文内容有任何观点或评论，请发E-mail至ttm@bjxintong.com.cn。

中国联通与华为携手打造国内物联网公共事业平台

2017年5月22日，在中国联通NB-IoT网络试商用发布会上，中国联通与华为携手，共同推出了物联网公共事业管理平台，旨在实现物联网的产业智能化，共建生态。中国联通集团副总经理姜正新、上海市经济和信息化委员会副主任邵志清、上海通信管理局局长陈皆重出席并为大会致辞，华为公司中国区运营商业务部总裁曹既斌、华为中国联通系统部部长高翔等出席并一同见证了公共事业平台的发布。

中国联通物联网业务部总经理陈晓天和华为中国联通系统部解决方案部部长常成共同签署了双方就公共事业服务平台战略合作的协议。陈晓天在发言中表示：基于华为平台打造的公共事业服务平台契合中国联通在NB-IoT

领域的业务发展策略，不仅提供了170多种开放API和系列化Agent帮助伙伴加速应用上线，而且简化终端接入，实现与上下游伙伴产品的无缝联接。通过华为擅长的网络通信能力、设备接入能力、数据分析能力开放给产业伙伴，拉通行业上下游，开放共赢，可以更好地服务行业伙伴，一起推动物联网产业的发展。

华为云核心网融合数据产品线总裁张熙伟对公共事业服务平台的特点做了进一步解读，以表具为例，通过该平台，不仅可以实现快速敏捷的抄表服务，同时为水务公司提供网络保障、云服务、设备管理、故障定界、漏水监测等。

当前，NB-IoT产业从终端、芯片、网络到行业应用均已支持规模商用，随之而来的是物联网安全问题。华为IoT解决方案总裁蒋旺成表示，华为计划在三季度推出安全监测工具，模拟黑客攻击，帮助终端厂家检测安全漏洞。