



研究与开发

4G 载波向 5G 重耕之前的 5G 业务覆盖能力研究

刘光海, 肖天, 李贝, 程新洲, 薛永备, 李一, 朱小萌, 郑雨婷
(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048)

摘要: 为了满足低成本建设 5G 广覆盖网络的需求, 需要提前研究低频 3G、4G 网络向 5G 重耕的最佳方案。在没有进行重耕, 因而没有理想的低频 5G 测试环境的情况下, 采用理论分析的手段进行重耕后的覆盖能力估算。以未来 L900 重耕用于 5G 广覆盖为例, 探讨了链路预算的关键设定、模型选择等问题, 并通过多个本地网实际测试数据间接验证估算结果的合理性。所得结论已实际应用于某大运营商对全国 900 MHz 网络的规划方案, 对于指导网络重耕具有重要的借鉴意义, 也为面向覆盖和感知的 6G 网络演进及重耕提供了参考模型。

关键词: 5G; 低频; 重耕; 覆盖能力; 间接验证

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023044

Research on 5G service coverage capability before 4G carrier re-farming to 5G

LIU Guanghai, XIAO Tian, LI Bei, CHENG Xinzhou, XUE Yongbei, LI Yi, ZHU Xiaomeng, ZHENG Yuting
Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100048, China

Abstract: In order to build a low-cost and high-efficiency 5G low-frequency network, it is necessary to study the best plan of plowing low-frequency 3G and 4G networks into 5G in advance. Under the condition of no ideal low frequency 5G test environment due to no re-farming, the coverage capacity after re-farming was estimated through theoretical analysis and was indirectly verified based on the current network test data. The key setting of link budget and model selection were discussed, the rationality of the estimation results was indirectly verified by the actual test data. The conclusion had been actually applied to the planning scheme of a major operator for the national 900 MHz network, which has essential reference significance to guide the network refarming.

Key words: 5G, low frequency, re-farming, coverage ability, indirect verification

0 引言

5G 网络已在全国城区广泛部署, 伴随 5G 终

端渗透率及用户规模持续上升, 尤其是 5G VoNR 新语音以及新型多媒体等对连续性要求较高的业务陆续商用, 对 5G 覆盖广度、深度提出了更高的

收稿日期: 2022-07-27; 修回日期: 2023-03-03

通信作者: 李贝, wsyb2004@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2018YFB1800800, No.2020YFB1806700)

Foundation Items: The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB1800800, No.2020YFB1806700)



要求,迫切需要将 5G 网络覆盖进一步延伸至乡镇、农村等广阔区域^[1]。然而,5G 高频段覆盖能力较弱,并不适合广覆盖部署,而覆盖能力强的低频资源正在运营 2G、3G、4G 网络^[2]。因此,在低频网络向 5G 重耕之前,需要先行分析预估其重耕之后的 5G 业务覆盖能力,从而支撑制定最佳的 5G 网络广覆盖方案。

1 5G 网络低频重耕背景

目前,中国三大运营商的 5G 网络均部署在 2.6 GHz、3.5 GHz 等较高频段^[3],目前国内 1 GHz 以下的 800 MHz、900 MHz 等覆盖能力较强的优质频段仍在运营 2G/3G/4G 网络^[4]。

一般地,在同等站址条件的乡镇、农村的广覆盖环境下,工作在 700 MHz /800 MHz /900 MHz 频段的 4T4R 5G 基站,其 VoNR 业务有效覆盖面积是 3.5 GHz 频段 64TR 5G 基站的 6~9 倍^[5],因而,低频 2G/3G/4G 网络择机向 5G 重耕是运营商网络演进、低成本 5G 网络建设的重要选择。

2 低频广覆盖 5G 网络链路预算方案

准确预估相关载波的业务覆盖能力,为不同方案的性能、成本对比提供关键依据,是 5G 低频广覆盖方案决策的重要环节。移动网链路预算是对发送端、通信信道、传播环境和接收端中所有

增益和衰减的核算,获得保持一定通信质量下链路所允许的最大可用传播损耗(MAPL),常用的覆盖能力预估方法是制作链路预算表,得到小区最大覆盖半径及最大站距。考虑到 4G 重耕 5G 的参照需求,以 900 MHz 为例进行 L900 与 NR900 的链路预算对比分析。

2.1 边缘覆盖水准设定

边缘覆盖水准取决于运营商的业务运营目标,首先需要保障语音业务和普通数据业务。对于长期演进语音承载(voice over long-term evolution, VoLTE)、5G 新通话(voice over new radio, VoNR)语音业务,通常要求满足一定语音平均意见得分(mean opinion score, MOS)值以上的业务覆盖概率,如 $MOS \geq 3.5$ 的概率不低于 95%^[6]。这一语音质量要求在链路预算中需要转换为对上下速率的要求。

表 1 给出了每 20 ms 传输一个 AMR-WB 23.85 kbit/s VoLTE/VoNR 数据包大小。若不进行分片传输,即要求一个发送时间间隔(transmission time interval, TTI)上发送万整个数据包。对于 L900、NR900 系统来说,一个 TTI 为 1 ms^[7],所要求的数据速率要求大约为 1 Mbit/s。实际网络中可能会采用鲁棒头压缩(robust header compression, RoHC)技术以及分片传输,以降低对数据速率的要求,但因为语音数据对时延要求比较高,过度分片会引起语音数据包传输时延及抖动指标恶化,从而导致语音 MOS 值

表 1 VoLTE/VoNR 语音数据包大小^[6-8]

协议层/子层	字段长度	
	未使用 RoHC 技术	使用 RoHC 技术
语音业务/20 ms	23.85 kbit/s→488 bit/s	23.85 kbit/s→488 bit/s
实时传输协议(real-time transport protocol, RTP)头	12 byte	40 bit
用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)头	8 byte	
网际互连协议(internet protocol, IP)头(IPv4/IPv6)	20 byte /40 byte	
分组数据汇聚协议(packet data convergence protocol, PDCP)序列号	12 byte	12 byte
非确认模式的无线电链路控制(radio link control, RLC)	2 byte	2 byte
媒体访问控制(media access control, MAC)子层	3 byte	3 byte
MAC 头(PHR+BSR)	48 bit	48 bit
包长度/20 ms (IPv4) (一般/最大)	864 bit/912 bit	584 bit/632 bit
包长度/20 ms (IPv6) (一般/最大)	1 024 bit/1 072 bit	

下降。对照 VoLTE 商用的工程经验, $MOS \geq 3.5$ 的概率不低于 95% 大约对应上下行速率 ≥ 1 Mbit/s 的区域覆盖概率不低于 95%。

普通数据业务包括网页浏览、微信、手游、视频下载、视频上传(直播类)等,从带宽需求角度来看,视频业务需求相对较高,分辨率为 720p 的视频,其视频码率为 1.5 Mbit/s,其理想、一般的网速需求分别为 3.0 Mbit/s、2.7 Mbit/s。分辨率为 1080p 的视频,其视频码率分别为 2.8 Mbit/s,其理想、一般的网速需求分别为 5.5 Mbit/s、5.0 Mbit/s,随着视频分辨率提高,其理想、一般的网速需求也不断提高,而由于不同场景下用户密度、基站覆盖距离等不尽相同,可以基于其需求规划网络边缘覆盖,推荐的市区、非市区的网络上行边缘速率为 5.0 Mbit/s、3.0 Mbit/s,网络覆盖概率均为 90% 以上。

2.2 上行业务信道受限分析

对于 5G SA 网络来说,首先完成物理随机接入信道(physical random access channel, PRACH)、物理上行链路控制信道(physical uplink control channel, PUCCH)、物理上行共享信道(physical uplink shared channel, PUSCH)以及物理广播信道(physical broadcast channel, PBCH)、物理下行控制信道(physical downlink control channel, PDCCH)、物理下行共享信道(physical downlink shared channel, PDSCH)等的链路预算,依据结果判断谁是最先受限的信道。但基于 4G 网络经验,与速率需求更高的业务信道相比,采用与低速率、高冗余编码的信令消息相关的信道,该信道不会最先受限。由于终端侧最大发送功率一般为百毫瓦级,而基站侧则为百瓦级,所以与下行业务信道相比,上行业务信道往往成为最先受限的信道^[8],除非下行边缘速率的要求非常高,而这种情况一般只出现在专网场景,此非本文关注的公众网部署场景。理论上,下行覆盖与网络负荷强相关,极限情况下,小区全部下行 PDSCH 时频

资源可以全部调度给同一边缘用户,这时的下行覆盖会远大于上行。因此,本文以上行受限的思路进行上行链路估算分析。

2.3 上行 PUSCH 链路预算分析

基于前述覆盖水准需求对 L900 和 NR900 进行了上行链路覆盖对照分析,本文上行链路覆盖计算时,设置子载波间隔为 15 kHz、系统带宽为 10 MHz、调制编码方式索引(MCS Index)为 3、终端发送功率为 23 dBm、终端天线增益为 0 dBi、终端天线高度为 1.5 m、人体损耗为 3 dB,基站天线增益为 16 dBi、上行干扰余量为 3 dB、线缆损耗为 0.5 dB、基站天线挂高为 35 m、平均建筑高度为 5 m、街道宽度为 20 m、基站噪声系数 2.8 dB、建筑物穿透损耗 6 dB、阴影衰落标准差 8 dB、天线竖向损耗为 3 dB,其他部分上行 PUSCH 链路预算参数见表 2。

结合链路预算影响因素,本研究几个重要设定描述如下。

(1) 覆盖场景:乡村广覆盖,对应平均建筑高度 5 m,建筑物穿透损耗 6 dB。

(2) 语音业务覆盖水准:1 Mbit/s@95% (表示达到 1 Mbit/s 的概率不低于 95%) 区域覆盖概率,87% 边缘覆盖概率(标准差为 8 dB)。

(3) 数据业务覆盖水准:3 Mbit/s@90% (表示达到 3 Mbit/s 的概率不低于 90%) 区域覆盖概率,75% 边缘覆盖概率(标准差为 8 dB)。

(4) 基站侧天线配置:L900 为传统的 2T2R 站型,升级为 NR900 时,若仅是软件升级,硬件仍为 2T2R,则覆盖能力不变;典型情况是改造为 4T4R 新站型,获得更强的覆盖性能:对于基站天线增益,同为 2R 时,天线不区分 L900、NR900,而是产生相同的增益(表 2 设定 16 dBi);但当 NR900 采用 4R 时,相对于 L900 的 2R 会增加 3 dB 的接收分集增益,表 2 将此分集增益通过“所需 SINR”体现,即 NR900 4T4R 所需 SINR 较 L900 2T2R 低 3 dB,由最低 0.24 dB 增



表 2 其他部分上行 PUSCH 链路预算参数

覆盖场景		乡村	乡村	乡村	乡村
覆盖水平		1 Mbit/s@95%	3 Mbit/s@90%	1 Mbit/s@95%	3 Mbit/s@90%
基站类型		L900 2T2R	L900 2T2R	NR900 4T4R	NR900 4T4R
链路预算信道		上行 PUSCH	上行 PUSCH	上行 PUSCH	上行 PUSCH
用户感知速率	Mbit/s	1	3	1	3
载波频率	GHz	0.915	0.915	0.915	0.915
基站侧天线配置	#	2T2R	2T2R	4T4R	4T4R
终端侧天线配置	#	1T2R	1T2R	1T4R	1T4R
所需 RB 数	#	10	30	10	30
调制方式		QPSK 0.25	QPSK 0.25	QPSK 0.25	QPSK 0.25
Tx 等效全向辐射功率 (equivalent isotropic radiated power, EIRP)	dBm	-0.79	-5.56	-0.79	-5.56
热噪声功率谱密度	dBm/Hz	-132.24	-132.24	-132.24	-132.24
所需 SINR	dB	0.24	0.24	-2.76	-2.76
基站接收机灵敏度	dBm	-129.20	-129.20	-132.20	-132.20
小区覆盖概率		95%	90%	95%	90%
边缘覆盖概率		87%	75%	87%	75%
阴影衰落余量	dB	9.0	5.4	9.0	5.4
切换增益/阴影衰落补偿	dB	3	3	3	3
最大可用传播损耗	dB	125.90	124.74	128.90	127.74

强至最低-2.76 dB。

(5) 终端发送功率：受 SAR 值限制，工作在 FDD 模式的 L900、NR900 终端最大发送功率都是 23 dBm。相比较而言，工作在 TDD 模式的 n78 终端，最大发送功率可达 26 dBm。

(6) 所需 SINR：考虑 4R 比 2R 接收能力更强，此处按照所需 SINR 差 3 dB 进行处理。

(7) 上行干扰余量：正常干扰水准下，取 2~3 dB 作为负荷引起的上行干扰余量。如果该区域还存在明显外部干扰，可酌情提高干扰余量至 6 dB、9 dB 等。

(8) 天线竖向损耗：天线竖向损耗计算有主瓣法线指向小区边缘和上主瓣边缘指向小区边缘两种方法，考虑实际网络中通常是天线上主瓣边缘而不是法线指向小区边缘，故链路预算中引入 3 dB 天线竖向损耗，其示意图如图 1 所示^[9]。

(9) 切换增益/阴影衰落补偿：在组网环境下，处在小区边缘的用户很大概率能同时接收到来自周围邻区的信号，选择其中覆盖条件较好的小区进行驻留，从而获得一定的衰落补偿，类似于切换增益^[10]。

与市区环境相比乡村覆盖场景下周边邻区数量相对较少，此处设定为 3 dB。

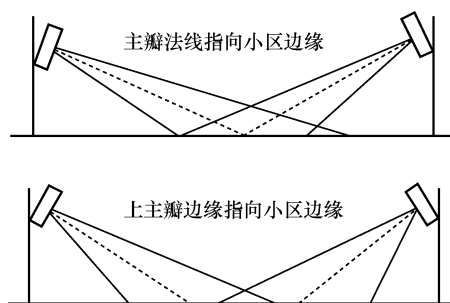


图 1 天线竖向损耗示意图

根据前述设定可以看出：

(1) L900、NR900 的主要差异在基站和终端天线类型方面，此处没有对接收机性能做进一步的差异化考虑（虽然 5G 基站射频接收机有可能性能更优），故二者最大可用传播损耗差异为 3 dB；

(2) 对比语音业务 1 Mbit/s@95%区域覆盖概率的要求，以及数据业务 3 Mbit/s@90%区域覆盖概率要求，在所述覆盖设定下后者的要求更高，可作为 NR900 覆盖规划的主要依据。

2.4 覆盖距离估算

基于链路预算得到的 MAPL, 结合传播模型可以估算覆盖距离。几种经典传播模型各有自己的适用范围, 也存在同时适用多个模型的场景。模型在使用之前需要针对相关区域进行模型校正, 通过部分系数的校正调整使之更好得匹配某一类型的环境。通常一个本地网需要校正多个场景化的模型用于覆盖估算、仿真等, 这就需要针对不同场景构造测试环境, 需要相当的人力和时间投入。尤其本文提到的 900 MHz 覆盖分析, 由于现网存在 900 MHz 网络, 很难在不影响现网的情况下构造测试环境进行常规模型校正。为进行全国性或多城市大范围估算, 不适用进行大量模型校正工作, 本文推荐多个经典适用模型相互对照, 加权求取期望值、预估范围值的处理方法, 在不进行大量校正的情况下提供较有参考价值的评估结果。下面以 900 MHz 乡镇覆盖为例进行说明。

(1) 参考模型 1: Okumura-Hata 郊区传播模型^[10]

Okumura-Hata 模型适用频率范围为 150~1 500 MHz, 郊区传播损耗计算式为:

$$PL_{\text{Okumura-Hata}} = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg H_b + [44.9 - 6.55 \lg H_b] \lg d + a_m(H_m) + L_{ps} \quad (1)$$

其中, $a_m(H_m) = [0.7 - 1.1 \lg f] H_m + 1.56 \lg f - 0.8$, 为终端高度修正因子; $L_{ps} = -2 \lg^2(f/28) - 5.4$, 为郊区地形修正因子; f 为工作频率, 单位为 MHz; H_b 为基站天线有效高度, 范围为 30~200 m; H_m 为终端天线高度, 范围为 1~10 m; d 为覆盖距离, 单位为 km。

(2) 参考模型 2: 3GPP TR36.873/38.901 RMa_NLOS 传播模型^[11-12]

3GPP TR 36.873 提供了 RMa_NLOS 传播模型 (3GPP TR 38.901 对其进行了完善), 传播损耗计算式为:

$$\begin{aligned} PL = & 161.04 - 7.1 \lg W + 7.5 \lg h - \\ & (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \lg h_{BS} + \\ & (43.42 - 3.1 \lg h_{BS})(\lg d_{3D} - 3) + \\ & 20 \lg f_c - (3.2(\lg(11.75 h_{UT}))^2 - 4.97) \end{aligned} \quad (2)$$

该传播模型适用频率范围为 0.5~100 GHz, 其中, W 为平均街道宽度, 取值为 20 m; h 为平均建筑高度, 取值为 5 m; h_{BS} 为基站天线有效高度, 取值为 35 m; h_{UT} 为终端天线高度, 取值为 1.5 m; f_c 为载波工作频率, 单位为 MHz; d_{3D} 为传播距离。

可以看到, 上述两种传播模型均涵盖 900 MHz 频段, 理论上均可用于覆盖距离估算, 但模型的差异会导致估算结果的差异, 在广泛进行传播模型校正之前难以取舍。本文基于多个可用模型的置信度进行权重分配, 通过加权计算获得不同场景、不同基站类型下的小区覆盖能力的期望值, 基于不同模型的置信度进行多模型加权处理估算小区最大覆盖半径见表 3。

比如, 若认为 Okumura-Hata 模型更可信 (因其针对 150~1 500 MHz, 更接近 900 MHz), 而 3GPP RMa_NLOS 模型可信度稍低 (因其适用 0.5~100 GHz, 可能在 900 MHz 上偏差稍大), 可以取置信度分别为 60%、40%, 按此分配权重加权计算得到表 3 中浅灰色底色结果; 若认为二者置信度相同, 得到表 3 中深灰色底色结果。更多可用模型时按需分配权重即可。

参考以上分析, 推荐的多传播模型加权合并处理过程为: 首先基于待分析城市规模 (大城市/中小城市)、待分析区域的地形地貌 (密集市区 (dense urban)/一般市区 (urban)/郊区 (surburb)/乡村 (rural))、直射/非直射 (LOS/NLOS) 场景以及信号工作频段, 从多个常用传播模型 (如 Okumura-Hata、COST231-Hata、Modified -Hata、3GPP 36.873、3GPP 38.901 等) 中过滤得到多个适用的传播模型, 然后基于各模型默认计算式分别计算, 最后根据适用模型的数量进行权重分配



表 3 基于不同模型的置信度进行多模型加权处理估算小区最大覆盖半径

覆盖场景		乡村	乡村	乡村	乡村
覆盖水平		1 Mbit/s@95% (达到 1 Mbit/s 的 概率不低于 95%)	3 Mbit/s@90% (达到 3 Mbit/s 的 概率不低于 90%)	1 Mbit/s@95% (达到 1 Mbit/s 的 概率不低于 95%)	3 Mbit/s@90% (达到 3 Mbit/s 的 概率不低于 90%)
基站类型		L900 2T2R	L900 2T2R	NR900 4T4R	NR900 4T4R
最大可用传播损耗/dB		125.90	124.74	128.90	127.74
基准覆盖能力/m	Okumura-Hata	1 966	1 821	2 398	2 222
	3GPP RMa-NLOS	1 530	1 428	1 829	1 707
不同模型加权后的覆盖能力估算结果/m	50% : 50%	1 748	1 625	2 114	1 965
	60% : 40%	1 792	1 664	2 170	2 016
	80% : 20%	1 879	1 742	2 284	2 119
	...	...	...	...	...

(权重总和为 1) 并加合。各模型权重依据其可置信度进行分配：越被认可、知名度越高的模型可置信度越高；可调配参数越多、越能精准匹配分析场景的模型可置信度越高；适用频率范围越窄的模型可置信度越高。频率适用范围宽通常意味着模型有更多的折中，而专门针对较窄频带的模型可以精确地适配这一小段频段，所以通常给予适用频率范围较窄的模型以较高的可置信权重。

2.5 重耕后 5G 网络的容量、上下行吞吐量探索

重耕后，5G 网络的单用户及小区峰值速率（容量）估算结果见表 4，其中单用户上行峰值速率基于 1T4R 终端、单小区上行峰值速率基于小区开启 MU-MIMO 功能进行估算。

在现网中用户均匀分布情况下，在小区近点/中点/远点区域预期的用户数占比、用户速率与峰值速率的比值、加权值分别为 30%/40%/30%、90%/50%/10%、27%/20%/3%，根据实际区域用户

数占比为近点用户数占比:中点用户数占比:远点用户数占比为 3:4:3，实际在该区域现网用户速率与峰值速率的比值也不同，则实际加权值不同，加权后的小区容量期望值与小区峰值速率的比值为 50%。

3 应用及验证

3.1 测试方法建模

针对前述方法得到 L900、NR900 覆盖能力估算结果，需要进行实际验证。但由于现网部署有 L900 2T2R 商用网络，因此采用基于现网进行拉网测试进行实际验证，具体测试方式为：将连接测试仪表的测试终端（含天线）固定于测试车内距地面 1.5 m 位置，车窗关闭，GPS 天线置于车顶。测试车遍历测试区域内多个小区的所有通车道路（含主干道、次级道路，以及街区内道路等）。

表 4 单用户及小区峰值速率（容量）估算结果

系统带宽	系统类型	单用户		单小区	
		下行峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)	上行峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)	下行峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)	上行峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)
10 MHz×2	2T2R	110.2	49.9	110.2	99.8
	2T4R	110.2	49.9	110.2	99.8
	4T4R	220.4	49.9	220.4	99.8
5 MHz×2	2T2R	52.6	20	52.6	40.1
	2T4R	52.6	20	52.6	40.1
	4T4R	105.2	20	105.2	40.1

为降低不同方向上天线增益差异对传播模型校正带来的影响,传统模型校正发射天线一般采用全向天线,但在 L900 实际商用网络中,绝大多数小区采用扇区天线,为此,现网测试验证中需要滤除天线主瓣之外的样本点,扇区天线滤出主瓣内样本点进行分析示意图如图 2 所示,基于小区天线 GPS 位置、天线挂高、方向角、天线水平及垂直 3 dB 瓣宽等信息,可以得到天线主瓣覆盖范围,再根据每个测试样本点的 GPS 信息即可判断其是否在主瓣覆盖范围内,进行相应的滤除。

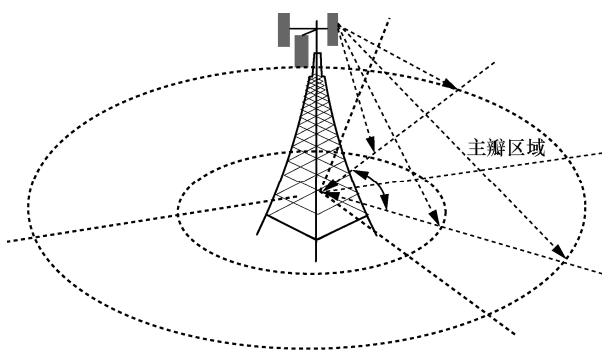


图2 扇区天线滤出主瓣内样本点进行分析示意图

3.2 基于大数据技术的数据分析

基于大量的有用样本点的 GPS 信息、主服小区物理小区标识 (physical cell identifier, PCI) 可以计算其到主服小区的距离,进而结合该点 RSRP 信号强度进行基于距离与信号强度的拟合曲线,如图 3 所示。不同小区的 CRS 参考符号 RS power 配置值可能有不同,需要先进行相应归一化处理,如统一按照 RS power=15.2 dBm 进行补偿;另外,还需要考虑测试环境与实际应用方式的差异,进行损耗补偿,包括人体损耗补偿 (路测时未涉及,但实际手持使用方式下会产生人体损耗,路测数据拟合划定对照 RSRP 门限见表 5,需额外增加 3 dB 人体损耗补偿)、穿透损耗补偿 (路测数据拟合划定对照 RSRP 门限见表 5,乡村环境下 900 MHz 载波的建筑物穿透损耗约为 6 dB,与车体损耗相当,所以本例中补偿值为 0) 等。

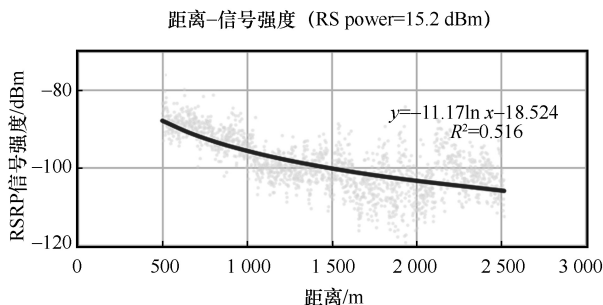


图3 距离-信号强度散点图及拟合曲线

3.3 验证及结论

基于 L900 2T2R 验证测试数据,基于链路预算数据可以计算各覆盖水平对应的边缘 RSRP 信号强度,再考虑 2 dB 额外的干扰余量 (测试环境与商用环境差异),并留出阴影衰落余量,可得到表 5 的路测数据拟合划定对照 RSRP 门限。

表5 路测数据拟合划定对照 RSRP 门限

覆盖场景	乡村	乡村
覆盖水平	1 Mbit/s@95%	3 Mbit/s@90%
基站类型	L900 2T2R	L900 2T2R
边缘信号强度	125.9	124.74
参考符号每 RE 功率/dBm	15.2	15.2
边缘信号强度 RSRP/dBm	-112.7	-108
干扰余量补偿/dB	2	2
阴影衰落余量/dB	9	5.4
路测数据对照门限/dBm	-101.7	-100.6

在广东、湖南、河北、江苏、山东等省份的典型乡镇进行了路测验证,为了避免不同区域样本数据由于数量、密度不同而产生不同权重,将各地测试数据进行了归一化分析,

五地进行试点验证测试及归一化加合如图 4 所示。

从 5 个试点地的测试验证结果看,乡村地区 L900 1 Mbit/s@95%以上覆盖概率对应的覆盖距离期望值约 1 800 m, 3 Mbit/s@90%以上覆盖概率对应的覆盖距离期望值约 1 680 m。实际测试结果与理论值对照见表 6,可知多地加合的 L900 覆盖能力分析结果与链路预算理论值匹配良好,且各地单独分析的结果均位于理论范围之内,说明本

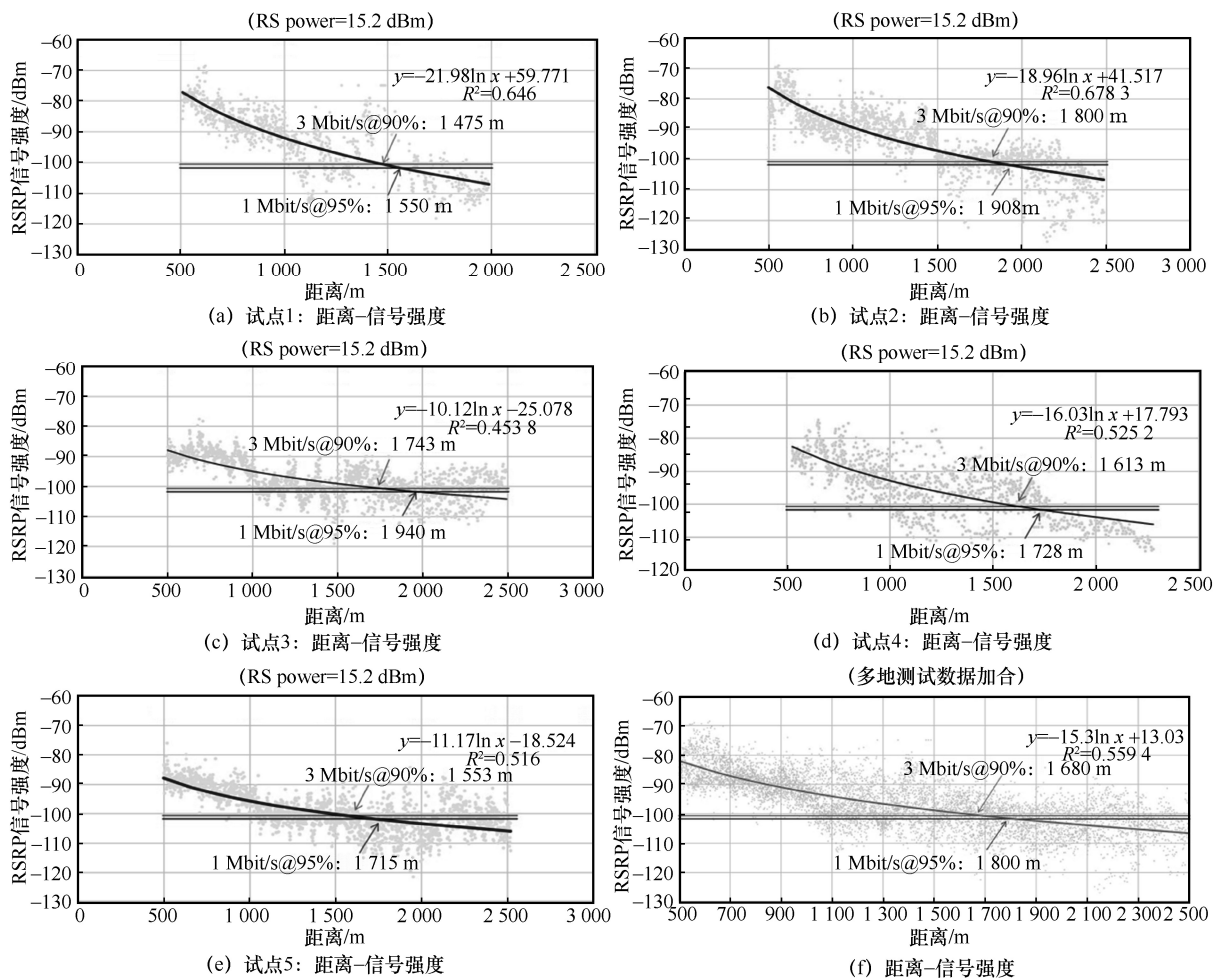


图4 五地进行试点验证测试及归一化加合

表6 实际测试结果与理论值对照

覆盖距离	试点1	试点2	试点3	试点4	试点5	多地加合	理论均值	理论范围
3 Mbit/s@90% 对应覆盖距离/m	1 475	1 553	1 613	1 743	1 800	1 680	1 625	1 428~1 821
1 Mbit/s@95% 对应覆盖距离/m	1 551	1 715	1 728	1 940	1 908	1 800	1 748	1 530~1 966

文所述分析方法、分析结果都与实际网络匹配良好,从而证明了表3中的NR900覆盖能力估算结果的置信度较高。

4 结束语

本文立足低频网络向5G重耕前的5G业务覆盖能力分析需求,结合实际业务特性、网络环境及设备能力进行了链路预算探索,针对多种传播

模型的差异,采用多模型加权的方式估算理论覆盖范围及期望值,通过基于位置的有效数据过滤、多小区不同RS power配置的归一化RSRP修正、各类损耗的合理化补偿、曲线拟合等一系列创新处理方法,实现了4G现网应用的试点测试验证,实际验证结果与理论分析相匹配,本文分析方法及结论的合理,可大幅减轻规划设计过程中传统的大量连续波测试、模型校正等繁重工作。随着

4G 载波向 5G 重耕不断发展, 相关结论已应用于某大运营商的全国规划方案, 相关创新分析方法可供其他各类覆盖场景、各载波的覆盖能力分析和测试验证中借鉴。在 5G 向 6G 等未来网络演进、重耕的过程中, 基于本分析方法并结合现网大数据可实现细分场景的网络覆盖和感知精准预测。

参考文献:

- [1] 中国通信建设集团有限公司, 中国通信学会通信建设工程技术委员会, 中国通信学会普及与教育工作委员会. 移动通信无线网络分析与深度优化[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020. China International Telecommunication Construction Corporation, Communication Construction Engineering Technical Committee of China Communications Society, China Institute of Communicationsetal. Analysis and deep optimization of mobile communication wireless network[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2020.
- [2] 许国平, 刘宏嘉, 李贝, 等. 基于 NSA 架构的 4G/5G 协同优化研究[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 37-41.
XU G P, LIU H J, LI B, et al. Study on 4G/5G cooperative optimization under NSA architecture[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(3): 37-41.
- [3] 李贝, 胡煜华, 黎越, 等. 5G 网络无线切片资源管理研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(2): 12-17.
LI B, HU Y H, LI Y, et al. Research on wireless slice resource management in 5G network[J]. Jiangsu Communication, 2022, 38(2): 12-17.
- [4] 胡煜华, 蔡月清, 黎越, 等. 5G 网络无线切片技术研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(4): 15-18, 28.
HU Y H, CAI Y Q, LI Y, et al. Research on wireless slicing technology of 5G network[J]. Jiangsu Communication, 2022, 38(4): 15-18, 28.
- [5] 刘光海, 肖天, 许国平. 5G NSA 无线网性能验收指标及优化方法研究[J]. 邮电设计技术, 2020(6): 27-33.
LIU G H, XIAO T, XU G P. Research on performance acceptance index and optimization method of 5G NSA wireless network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(6): 27-33.
- [6] 李贝, 刘光海, 肖天, 等. VoNR 语音解决方案应用研究[J]. 电信科学, 2022, 38(5): 149-157.
LI B, LIU G H, XIAO T, et al. Research on VoNR solution application[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(5): 149-157.
- [7] 汤建东, 肖清华. 5G 覆盖能力综合分析[J]. 邮电设计技术, 2019(6): 28-32.
TANG J D, XIAO Q H. Comprehensive analysis of 5G coverage capability[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(6): 28-32.
- [8] 3GPP. NR, radio resource control (RRC) protocol specification: TS 38.331[S]. 2021.
- [9] SIWIAK K. Radiowave propagation and antennas for personal communications: 2nd ed[M]. Boston: Artech House, 1998.
- [10] XIAO T, LIU G H, XU G P, et al. Research on coverage ability assessment of high and low frequency based on machine learning[C]//Proceedings of 2021 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM). Piscataway: IEEE Press, 2022: 86-92.
- [11] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: TS 38.901[S]. 2022.
- [12] 3GPP. Study on 3D channel model for LTE: TS 36.873[S]. 2018.

[作者简介]



刘光海 (1972—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为无线网络规划建设及智能运营。

肖天 (1991—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

李贝 (1983—), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能运营。

程新洲 (1978—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师、享受国务院政府特殊津贴专家, 主要研究方向为网络智能运营。

薛永备 (1971—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能优化分析。

李一 (1990—), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络性能及差异化能力。

朱小萌 (1987—), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络性能评估。

郑雨婷 (1995—), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为网络性能仿真。