



一种 5G 室内覆盖解决方案

许浩¹, 刘琛²

(1. 中国电信股份有限公司上海分公司, 上海 200120;
2. 中国电信股份有限公司研究院, 上海 200122)

摘要: 室内覆盖是 5G 网络部署中的重点和难点。通过分析 5G 大规模天线系统的技术特点以及对室内覆盖的性能提升, 提出室外宏基站仍是室内浅层覆盖的重要解决手段, 并根据外场测试结果对理论分析进行佐证。同时根据覆盖需求使用有源室分和小基站等手段, 构建完整的室分解决方案。

关键词: 5G; 室内覆盖; 大规模天线; 有源室分

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020166

A solution for 5G indoor coverage

XU Hao¹, LIU Chen²

1. Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200120, China
2. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China

Abstract: Indoor coverage is a very important and difficult problem for 5G network deployment. By analyzing the technical characteristics of 5G massive MIMO systems and solutions to improve the performance of indoor coverage. The most important way which the outdoor macro cells were still for basic coverage was proposed, proved by theoretical analysis based on the field test results. By the meantime using digital indoor distribution system and small cells according to scenarios requirement can provide an all-round solution for indoor coverage.

Key words: 5G, indoor coverage, massive MIMO, digital indoor distribution

1 引言

室内覆盖将是 5G 的重要应用场景。传统的语音和数据业务有超过 70% 的流量发生于室内区域, 而 5G 新增的智慧家庭包括 AR/VR 等应用以及智能制造类的新业务, 也基本都发生于室内。目前由于 4G 频段具备较好的穿透能力, 室外宏基站通过对室内浅层的覆盖仍然承担着大量的室内话务。但由于

5G 与 2G/3G/4G 相比使用更高的频段信号, 相对于 4G 1.8 GHz 的链路预算, 3.5 GHz 的传播损耗和单层外墙穿透损耗总计增加 15 dB, 因此 5G 宏基站信号是否仍能满足室内的浅层覆盖是一个待研究的问题。同时由于传统的室内分布系统无法支持 5G 的高频段和大规模天线等特性, 新型的 5G 室分产品也还未得到充分验证。因此解决室内覆盖问题, 真正使能创新应用, 是运营商推广 5G 的关键。

2 5G 大规模天线技术对 5G 室内覆盖的性能提升

2.1 5G 大规模天线技术

为实现国际标准组织 ITU 为 5G 制定的关键性能指标要求,包括峰值速率达到 10 Gbit/s、频谱效率比 IMT-A 提升 3 倍,除了使用更宽的系统带宽,更为关键的是 5G 使用了大规模天线技术。与目前 LTE 常用 4×4 的 MIMO 技术相比,5G 采用了更大规模的 Massive MIMO 技术,5G 大规模天线结构如图 1 所示。目前 5G 部署初期以覆盖热点区域为主,普遍使用 64TRx 以上大规模天线系统的宏基站,以解决覆盖和容量双重要求。以 192 阵子/64TRX 为例,采用正负 45° 交叉极化,每个极化方向上有 32 个 TRX,每个 TRX 分路到 3 个天线单元,总共对应 192 个天线单元。随着天线数目的增加,利用数字信号处理技术对信号进行加权以形成波束成形,把所传输的信号集中到指向用户的一个窄波束,能量更为集中则成形的增益越高,且提高了空间分辨率,因此可以有效改善用户信噪比并提升系统性能。由于垂直方向的阵子数增加,相对于传统波束成形,垂直方向也可以进行波束方向的调整,因此又称为 3D-MIMO,该项技术

也使得 5G 大规模天线垂直面波瓣宽度上有优势,对高楼可以更好地进行浅层覆盖。

由于 5G 业务信道更窄的波束成形与 4G 相比可以提供更高的覆盖增益。同时,4G 只能在业务信道提供波束成形,而对于广播和控制信道均采用全向发送。5G 在广播/公共控制信道引入了多波束扫描技术。5G 系统中的主同步信号 (PSS)、辅同步信号 (SSS) 和物理广播信道 (PBCH) 共同构成一个 SSB (SS/PBCH block),用于终端进行小区搜索和接入等,5G NR SSB 发射示意图如图 2 所示。SSB 在预定义的时间间隔,使用不同的静态波束扫描整个小区并进行数据传输。同时终端侧搜索并测量 SSB 波束,选择最好的波束进行接入。控制信道通常也使用静态波束,控制信道的初始波束也基于 SSB 测量进行训练,并通过系统的波束管理机制保障为各信道选择适合的波束。以国内普遍部署的 3.5 GHz 频段为例,根据 3GPP 标准,在该频段范围最大支持 8 个 SSB 的传输,而受 2.5 ms 双周期帧结构下中特殊时隙影响,SSB 最大数量为 7 个。目前各个厂商的实现有较大差异,主要有多波束扫描和宽波束两种方式,宽波束可以看成是波束数量为 1 的扫描方式,二者增益不同,可针对不同的场景进行选择。

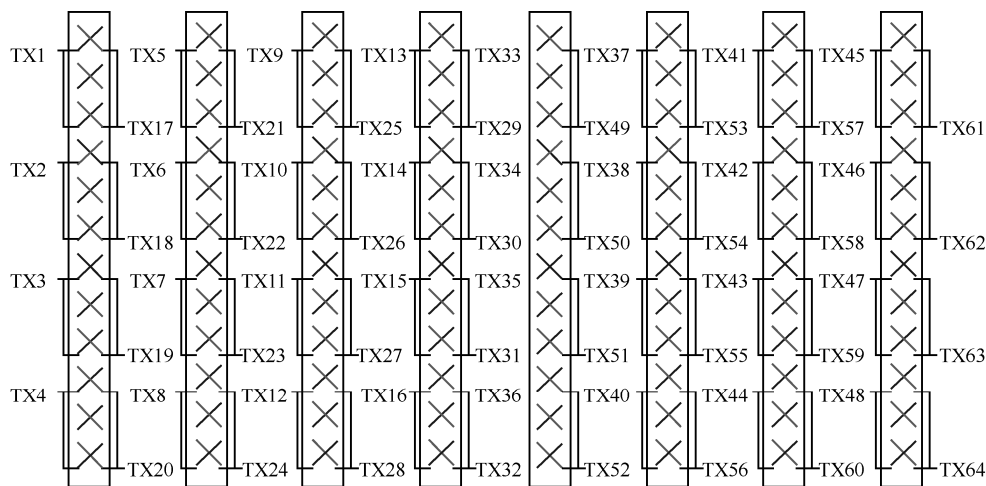


图 1 5G 大规模天线结构

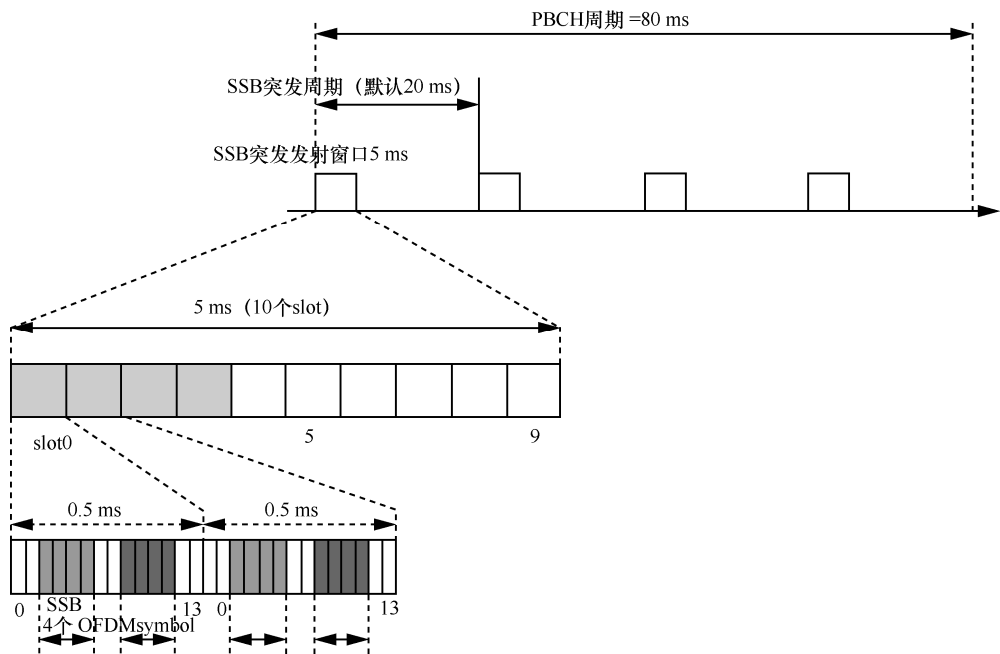


图2 5G NR SSB 发射示意图

2.2 大规模天线可有效增强覆盖并降低干扰

大规模天线是 5G 弥补覆盖能力不足的一个重要手段。64T64R 天线形成的业务信道波束增益约 25 dBi，其中天线振子固定增益约 10.5 dBi，成形增益约 15 dBi。而对于控制信道，按照协议规定，SSB 最大个数为 8 个：水平扫描波束配置 8 个时波束增益 25 dBi，与业务信道增益相近；波束数减半，水平波瓣增加 1 倍，增益约减 3 dB，例如水平扫描波束配置 4 个，减少约 3 dB。因为 5G 大规模天线的增益较 4G 天线有 7 dB 的增益。同时考虑终端进行了增强，最大可支持 26 dBm 的发射功率。因此整体系统增益 5G 较 4G 有 8.5 dB 的增益，可以有效缓解链路预算的不足。由于移动通信系统普遍上行链路预算更为受限，因此以上行链路预算为例进行 4G 和 5G 的增益比较，见表 1。

同时由于大规模天线所形成的控制信道和业务信道波束变窄，可降低站内和站间干扰，因此虽然在链路预算上 5G 与 4G 相比仍有一定差异，但实际系统内干扰降低对性能提升会有相当的效果，具体影响还有待于规模组网后进一步的测试验证。

表 1 上行为例，对比 5G 和 4G 的系统增益

上行增益估算	5G 3.5 GHz	4G 1.8 GHz (参考基准)	5G 优势
基站天线增益	25.5 dBi	18 dBi	7.5 dB
终端及天线增益	3 dB（大功率）	0 dB	3 dB
基站分集接收 64RX vs 2RX	3 dB	0 dB	3 dB
TDD vs FDD	0 dB	5 dB	-5 dB
系统增益对比	31.5 dB	23 dB	8.5 dB

2.3 定制波束进行针对性覆盖，提升室内覆盖效果

大规模天线的数字化波束成形可以根据待覆盖区域的特点以及用户的分布情况、小区的无线环境和干扰情况，设计规划不同的水平、垂直面扫描范围和下倾角，以进行灵活的、有针对性的覆盖。尤其针对目前 4G 网络规划和优化中很难进行覆盖的高层楼宇和居民小区。5G NR 波束定制示意图如图 3 所示，利用不同的波束配置来覆盖两种典型场景。目前不同厂商可给出不同的场景配置参数，场景划分可能更为细致，这里仅进行示例。

- 针对广场或者低层楼宇覆盖的波束设计如

图3所示,水平角度设计较大而垂直角度较小,以避免对别的小区尤其高层的干扰。比较典型的如垂直波瓣宽度 6° 或者 12° ,而水平面可以达到 $90^\circ \sim 120^\circ$ 。

- 针对高楼,可采用图3(b)的波束设计,水平角度较窄而垂直角度大,可以很好地解决高楼的浅层覆盖问题。以192阵子/64TRX天线形成的垂直面波束为例,数字波束成形下垂直角度覆盖约 26° ,水平面可以 45° 甚至 25° 。而4G天线系统垂直波瓣宽度小于 10° 。因此5G大规模天线

垂直宽度上有优势,对高楼可以更好的进行浅层覆盖。

3 外场验证结果分析

在外场进行的高楼覆盖测试验证中,用5G两种波束排列方式,与同站的4G基站对距离100m的26层高楼进行覆盖对比。测试天线阵水平方向角约 120° ,垂直方向角近 30° 。通过将天线阵进行横置和竖置,模拟如图4所示的波束排列方式。其中天线阵正常横置模拟水平面覆盖较大的场景,天线阵竖置模拟垂直面较大的场景。从测

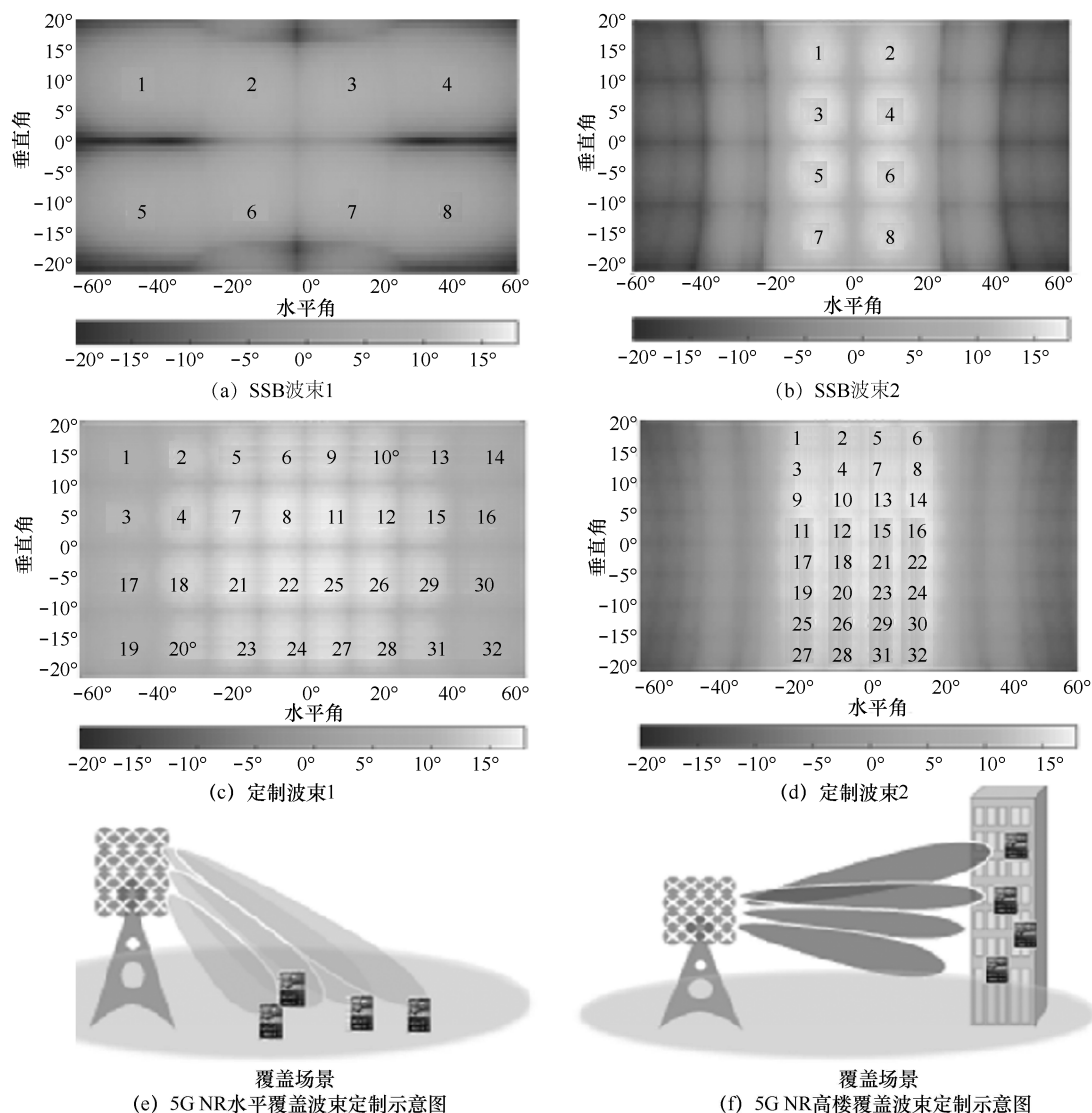


图3 5G NR 波束定制示意图

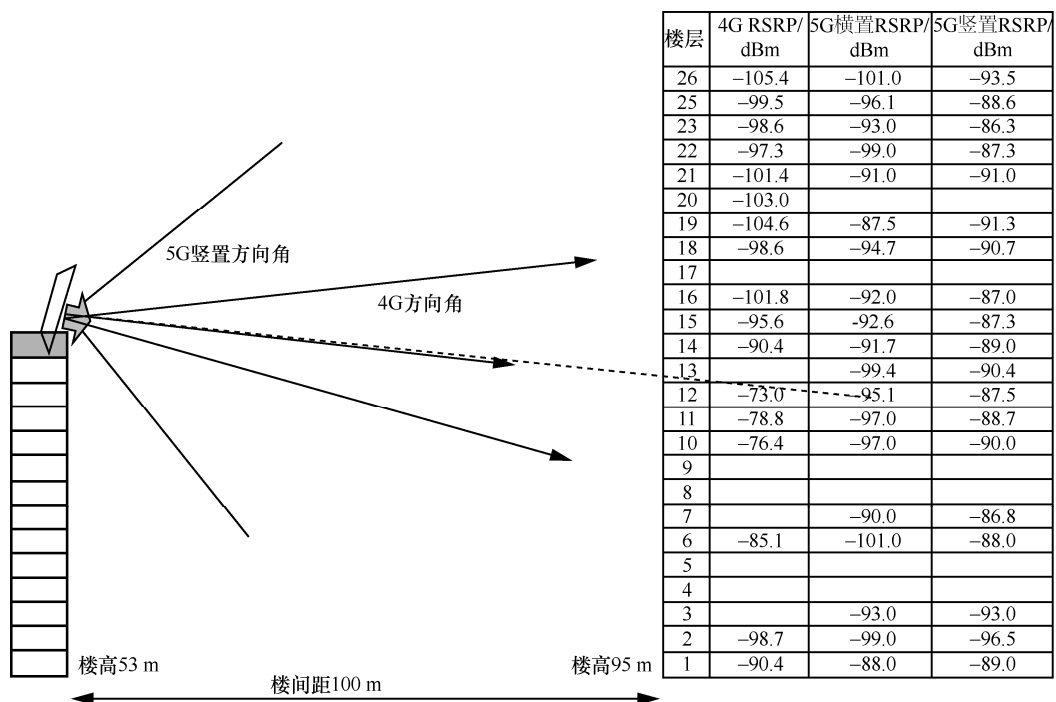


图 4 5G NR 和 4G 室外宏站覆盖室内浅层窗边对比

试结果看，5G 浅层覆盖电平各楼层覆盖面与 4G 相比较宽，天线阵横置情况下 1~22 层均可认为浅层可以覆盖，天线阵竖置则可以覆盖全部楼层并上下仍有一定覆盖空间，而 4G 主要覆盖 5~15 层的楼层中部位置，因此大规模天线垂直面波束浅层覆盖范围较 4G 有优势。

但由于 5G 所在 3.5 GHz 频段和 4G 的 1.8 GHz 频段有 15 dB 的损耗差异，从测试结果看深度覆盖 5G 较 4G 少穿透一堵轻质隔断墙（传统损耗约 8 dB），或深度约少 5 m。同时，天线方向图主瓣正对的中层覆盖深度比底层和高层好，如图 5 所示。而对 5G 天线阵竖置情况，由于垂直面方向角较宽，与天线横置相比对底层和高层的覆盖能力更强，因此底层和高层的覆盖深度也有所改善，如图 6 所示。

综合考虑 4G、5G 系统增益 8.5 dB 差值以及 1.8 GHz 和 3.5 GHz 频段约 15 dB 损耗差值，理论上 4G 平均电平会比 5G SSB 的平均电平值好 8 dB 左右。测试结果和表 1 所示理论预算结果一致。

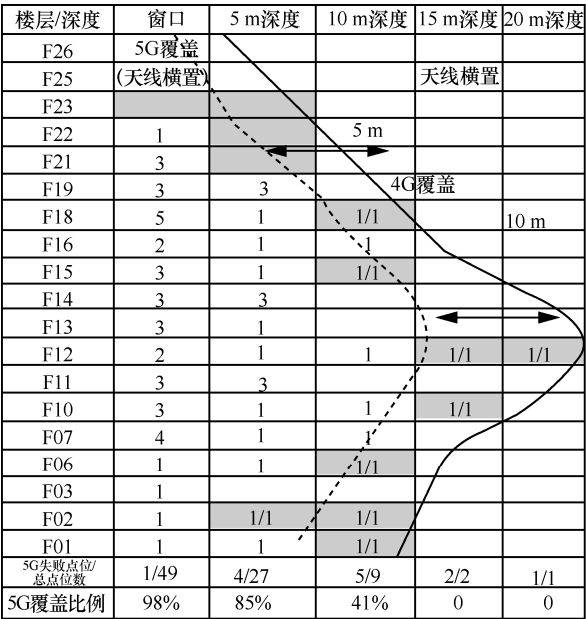


图 5 天线横置条件下 5G NR 和 4G 室外宏基站覆盖室内深度对比

室外宏基站由于大规模天线的使用，仍会是未来室内覆盖尤其是高层住宅楼的一个重要的解决方案。但对于室内深度覆盖场景，尤其针对大型建筑内部、地铁等，仍需要其他的室内覆盖方

案来解决。

楼层/深度	窗口	5 m深度	10 m深度	15 m深度	20 m深度
F26	2				
F25	5G覆盖	1	天线竖置		
F23	3	天线竖置			
F22	1	2			
F21	3				
F19	3			4G覆盖	
F18	3	1	1/1		
F16	2	1			
F15	3	1	1/1		
F14	3	3			
F13	3	1			
F12	2	1	1	1/1	1/1
F11	3	3			
F10	3	1	1	1/1	
F07	4	1	1		
F06	1	1	1/1		
F03	1				
F02	1	1/1	1/1		
F01	1	1	1/1		
5G失败点位/总点位数	0/47	3/27	5/9	2/2	1/1
5G覆盖比例	100%	89%	44%	0	0

图6 天线竖置条件下 5G NR 和 4G 室外宏基站覆盖室内深度对比

4 其他室内覆盖方案

对大型建筑引入 5G 有源室分系统,尤其对体育场馆、交通枢纽、校园、高端写字楼等需要较大容量的场景,可以考虑引入 4T4R 的有源系统确保容量要求。并且由于目前 4G 的有源室分系统刚刚引入,可以考虑在引入 4G 有源室分的同时,为后续 5G 有源系统的叠加预留资源,实现 4G、5G 同点位部署。而对于一些容量需求较低的室内建筑,可考虑一些有源加无源的部署方式,减少头端数量,扩大覆盖能力。

室内局部小面积场景下,如家庭或者小型办公室等,可通过 5G 小基站解决室内覆盖问题,提升业务体验。小基站通过公网回传接入 5G 核心网,并通过安全网关对接入的小基站设备进行鉴权和数据安全保障。

5 结束语

室外宏基站覆盖浅层、室内有源室分和室内小基站进行深度和容量补充,可初步构建一个室

内覆盖立体解决方案。大规模天线带来的系统增益可以有效解决 5G 室内尤其高层住宅的浅层覆盖问题,同时大规模天线提供的波束定制能力可以使得覆盖更有针对性、更为灵活,也大大降低了系统内的干扰。但定制波束的模板越灵活,对网络维护和优化的精准度也提出了更高的要求。5G 刚刚启动规模建设和组网,因此还需进一步对各种组网方案进行验证,以形成有效的网络部署和优化指导。

参考文献:

- [1] 3GPP. Physical channels and modulation (Release 15): TS 38.211 NR[S]. 2017.
- [2] 3GPP. Multiplexing and channel coding (Release 15): TS 38.212 NR[S]. 2019.
- [3] 许浩,张儒申,徐卸土. 3.5 GHz 频段电波传播特性研究[J]. 电信科学, 2018, 34(Z2): 140-145.
XU H, ZHANG R S, XU X T. Study on the propagation characteristics of radio waves in 3.5GHz band[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(Z2): 140-145.
- [4] 韩斌,蒋峥,陈鹏,等. FDD 系统大规模天线技术研究[J]. 电信技术, 2016, 2(4): 18-22.
HAN B, JIANG Z, CHEN P, et al. Research on FDD Massive MIMO System[J]. Telecommunications Technology, 2016, 2(4): 18-22.
- [5] 伍裕江. 有源天线及 massive MIMO 天线测试探讨[J]. 电信技术, 2016, 8(19): 100-103.
WU Y J. Discussion on active antenna and massive MIMO antenna test[J]. Telecommunications Technology, 2016, 8(19): 100-103.
- [6] 栾帅,冯毅,张涛,等. 浅析大规模 MIMO 天线设计及其对 5G 系统的影响[J]. 邮电设计技术, 2016(7): 28-32.
LUAN S, FENG Y, ZHANG T, et al. Analysis of massive MIMO antenna design and its influence on 5G system[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(7): 28-32.

[作者简介]



许浩(1981—),男,中国电信股份有限公司上海分公司高级工程师,主要从事移动网技术,包括 2G/3G/4G/5G 无线网、核心网的架构、参数,新技术应用等研究工作。

刘琛(1978—),女,中国电信股份有限公司研究院工程师,主要从事移动网技术,包括 2G/3G/4G/5G 无线网新技术、无线网参数优化、新技术应用等研究工作。