



5G 室内场景多通道联合收发技术性能与关键问题

潘毅¹, 李晖晖¹, 曾磊², 蔡伟文¹

(1. 中国移动通信集团广东有限公司, 广东 广州 510623; 2. 中兴通讯股份有限公司, 上海 201203)

摘要: 随着数据业务的爆发式增长, 室内覆盖成为 5G 时代的重要场景, 部署 5G 室分系统是解决 5G 室内覆盖问题的重要手段之一。室分系统部署面临两大场景: 新建场景与改造场景。针对室内改造场景, 如何保护投资、低成本建设 5G 网络, 同时让用户获得 5G 多流 MIMO 体验是目前最关注的问题点。介绍了一种基于多通道收发技术的 5G 网络创新室分升级改造方案。该方案通过增加竖井线缆、合路器、耦合器等方式, 在不改变平层传统室分网络结构的前提下, 能够快速在单路馈线场景下实现 2 流、双路馈线场景下实现 4 流效果, 激发了传统室分网络的 5G 潜能, 从而实现低成本、高效的 5G 创新室分解决方案。

关键词: 5G 多通道联合收发; 低成本; 易推广; 感知优

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020201

Performance and key issues of 5G multi-channel joint transceiver technology

PAN Yi¹, LI Huihui¹, ZENG Lei², CAI Weiwen¹

1. China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Guangzhou 510623, China

2. ZTE Technology Co., Ltd., Shanghai 201203, China

Abstract: With the explosive growth of data services, 5G indoor coverage has become the top priority. Deploying 5G indoor subsystem is one of the important means to solve the problem of 5G indoor coverage. An upgrading scheme of 5G indoor subsystem based on multi-channel transceiver technology was introduced. This scheme can achieve double flow with single feeder and four flow with double feeder, and improve the performance of 5G with low cost. The main construction of the scheme includes: adding shaft cable, adding combiner, adding coupler, without changing the flat floor network structure.

Key words: 5G multi-channel joint transceiver technology, low cost, easy to promote, perceptual excellence

1 引言

5G 时代, 室内场景是移动数据业务的主力区域, 丰富的资费套餐以及海量的应用将驱动移动

数据业务飞速增长。因此, 良好的室分覆盖是运营商 5G 时代决胜的关键因素。5G 时代的室内覆盖方案需主要考虑以下 3 个方面: 功能, 需支持多流 MIMO; 成本, 室内场景在满足需求的前提

下,成本要尽可能地降低;节能,4G 时代电费在运营商网络 OPEX 中占较大比例,5G 设备带宽的提升导致设备功耗的增加,因此,需要考虑有效的节能手段。

部署 5G 室分系统是室内覆盖建设的主流方案,建设过程中会面临两大场景,一是新建场景,二是改造场景。其中,室内改造场景中有 70% 为单馈线场景,5G MIMO 功能无法充分地得到发挥,用户也只能体会单流即最大 400 Mbit/s 的下行速率。

本文介绍了一种多通道联合收发技术,仅需要通过系统侧软件功能的部署和对分布系统的少量改造,即可在传统单馈线场景下实现 2 流 MIMO,用户的下行体验速率由 400 Mbit/s 提升至 800 Mbit/s,同样地,也可在传统双馈线场景下实现 4 流 MIMO,将用户 700~800 Mbit/s 的下行体验速率提升至 1 Gbit/s 以上。本文全方位阐述了多通道联合收发技术的技术原理、结合实际测试验证分析了应用效果,介绍了目前的产业研发进展,综合分析了多通道联合收发技术的成本与适用场景,旨在为多通道联合收发技术的推广与应用提供支撑。

2 多通道联合收发方案和实现原理

2.1 方案介绍

用户速率与流数、资源调度参数、HARQ 参数等息息相关。其中,流数受无线信道秩(Rank)和无线信道质量(SINR)的影响(如当 SINR 到达一定门限,且 Rank=2 时即可实现 2 流 MIMO 的传输)。

4G 时代,室分系统为了实现 2 流传输,需要建设双馈线分布系统,每根馈线连接单极化天线,通过调整两个单极化天线之间的物理间隔使其形成稳定的相关性较小的两路无线信道,即人为制造 Rank=2 的无线环境。但是,两根馈线两个单极化天线的天线口输出功率需要尽量保持 3 dB 以内的功率平衡,才能实现稳定的 2 流传输,如果双路功率差异较大(超过 6 dB),下行终端、上行基

站的解调能力受限会直接影响 2 流速率效果。

5G 时代,终端对于多天线和解调能力均实现了提升,对多通道不平衡性差异的容忍门限有显著提升,特别是在基站侧采用多通道联合解调时,可最大支持 30 dB 以内的通道差异性解调。

此时,无需建设双馈线分布系统,通过错层制造空分复用无线环境即可在单馈线分布系统中实现 2 流,此时,用户接收的两路信号分别来源于本层天线与上层/下层天线。同时,也可在双馈线分布系统中实现 4 流。

2.2 实现原理

多通道联合收发技术是利用虚拟大天线多端口联合收发、细化多通道联合收发码本算法、采用信道预估 RI 能力等多项技术原理进行叠加,从而实现的一项创新的技术方案。

(1) 虚拟大天线多端口联合收发

通过把分布式的多个 TRP(收发节点)联合组成一个更大天线维度 TRP,通过多天线分集增益和提高空间自由度的方式来实现系统性能提升。将 2 台 2T2R RRU 各自发送的两端口 CSI-RS,实现联合 4 端口 CSI-RS 发送,终端侧收到 4 端口 CSI-RS 资源,从而获得联合 PMI。主要优势体现在两个方面。

- 实现 CSI 端口的扩展,提升码本的信道匹配度,获得用户赋形增益;2Port 总共只有 6 个码本,4Port 总共有 32 个码本,可更好地匹配信道空间特性。
- 对于 2T 的 TRP 来说,存在 RI 最大限制为 2 的情况,通过多个 TRP 联合组成的“大天线”,能够充分利用空间丰富的多径特性提升秩 RI,在终端能力不受限的情况下实现最大 RI 的突破,实现下行 3 流或者 4 流。

(2) 细化多通道联合收发码本算法

2Port 对应的码本,其码本的设计比较粗,颗粒度为 $\pi/2$,1 层总共有 4 个码本,2 层总共有 2 个码本。



4Port 对应的码本, 其设计相比 2Port 的码本更精细, 颗粒度在 $\pi/4$, 总共有 32 个码本; 能够选取更准确的码本匹配信道空间特性。

传统室分采用 2Port 码本, 多通道联合收发技术采用 4Port 码本, 因此在 4Port 码本基础上, 终端能够选取更准确的码本匹配信道空间特性, 从而进一步提升速率。

(3) 采用信道预估 RI 能力

联合收发场景下, 终端按照合并后的端口进行 PMI 检测。终端收到两个 TRP 的信号, 对应的信道响应表示为 H , 单个 TPR 对应的信道响应表示为 H_1 。

$$H_1 = \begin{bmatrix} H_{11}^{\text{TRP0}} & H_{12}^{\text{TRP0}} & H_{13}^{\text{TRP0}} & H_{14}^{\text{TRP0}} \\ H_{21}^{\text{TRP0}} & H_{22}^{\text{TRP0}} & H_{23}^{\text{TRP0}} & H_{24}^{\text{TRP0}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \begin{bmatrix} H_{11}^{\text{TRP0}} & H_{12}^{\text{TRP0}} & H_{13}^{\text{TRP0}} & H_{14}^{\text{TRP0}} \\ H_{21}^{\text{TRP0}} & H_{22}^{\text{TRP0}} & H_{23}^{\text{TRP0}} & H_{24}^{\text{TRP0}} \\ H_{11}^{\text{TRP0}} & H_{12}^{\text{TRP0}} & H_{13}^{\text{TRP0}} & H_{14}^{\text{TRP0}} \\ H_{21}^{\text{TRP0}} & H_{22}^{\text{TRP0}} & H_{23}^{\text{TRP0}} & H_{24}^{\text{TRP0}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过奇异值分解, 计算出特征向量:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \lambda_3 & \\ & & & \lambda_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的取值相差越大, 越难实现多流。联合收发的 DAS RRU 通道间的功率差反映在 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的取值上。当终端收到的两个 TRP 的信号功率存在差异时, 只要接收的 TRP 的功率相差不是很大, 通过算法优化, 两者信号差在 30 dB 以内, RI 就有可能取大于 2 的值, 下行就可以实现超过 2 流的多流传输。目前多通道联合收发算法能无限接近 3 流水平, 后续会继续通过算法优化和改进进一步提升 RI 水平, 从而实现接近四流的性能。

2.3 可行性分析

多通道联合收发技术同时适用于单馈线和双馈线场景, 具体包含以下 3 种组网方案。

(1) 单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流

MIMO

该组网方案针对单馈线 DAS 升级改造场景, 在升级改造过程中, 将 5G 2T2R RRU 的两个通道 A 和 B 分别接入相邻楼层, 通道 A 端口跟奇数楼层的天馈分支相连, 通道 B 跟偶数楼层的天馈分支相连。升级改造后, 应用两通道多通道收发合并技术, 就可在单馈线场景实现 2 流 MIMO, 如图 1 所示。

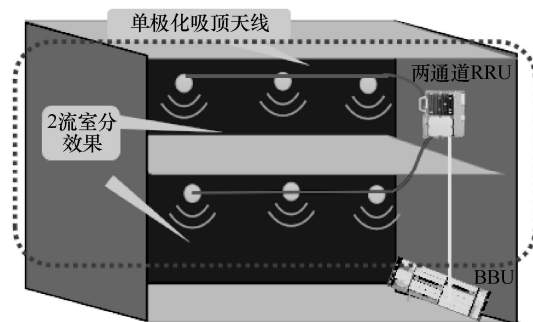


图 1 单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO 组网架构

(2) 双馈线场景跨楼层部署实现 4 流 MIMO

该组网方案针对双馈线 DAS 升级改造场景, 且至少有 2 台或者偶数个 5G 2T2R RRU。将第 i 台 RRU 的 A、B 两个端口分别接功分器覆盖第 $2i-1$ 层和第 $2i$ 层, 通过配置这些 RRU 开启多通道收发合并技术, 即可在双馈线场景实现 4 流 MIMO, 如图 2 所示。

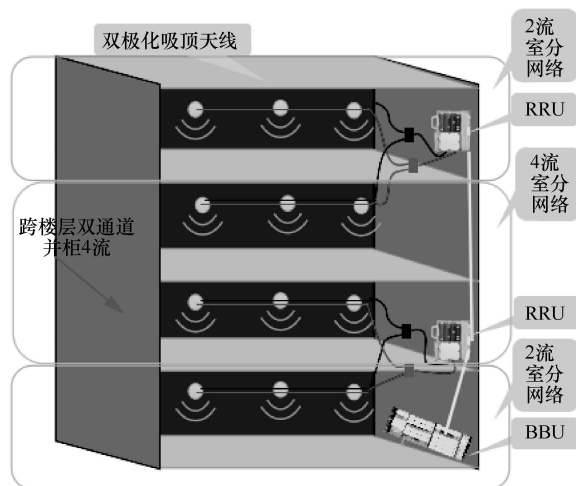


图 2 双馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO 组网架构

(3) 双馈线场景跨楼层交叉部署实现 4 流 MIMO

该组网方案同样针对双馈线 DAS 升级改造场景, 实施方案相对前一种较复杂。将第 i 台 RRU 的 A 通道和第 $i+1$ 台 RRU 的 B 通道同时覆盖奇数层, 将第 i 台 RRU 的 B 通道和第 $i+1$ 台 RRU 的 A 通道同时覆盖偶数层, 通过配置这些 RRU 开启多通道收发合并技术, 即可在双馈线场景实现 4 流 MIMO, 如图 3 所示。

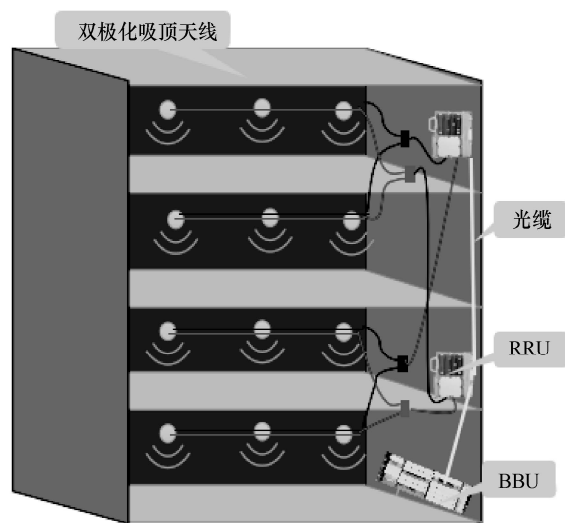


图 3 单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO 组网架构

3 基本性能研究与验证

3.1 试点验证场景说明

为验证多通道收发合并技术的实际效果, 选取某楼宇的上、下两层, 分别进行单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO、双馈线场景跨楼层部署实现 4 流 MIMO、双馈线场景跨楼层交叉部署实现 4 流 MIMO 的测试验证工作。原始场景的组网架构和天馈系统如图 4 所示。该场景 5G RSRP 平均可达 -70 dBm。

3.2 单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO 验证效果

应用两通道多通道收发合并技术, 同点位性能较单流有明显提升, 较低楼层的效果更为明显:

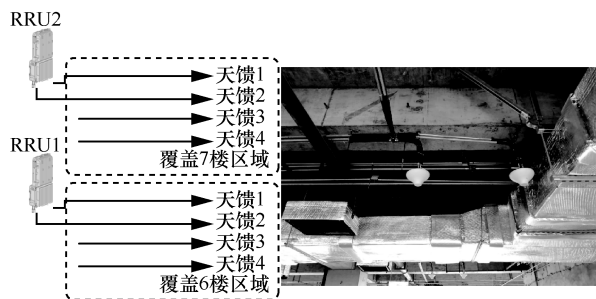
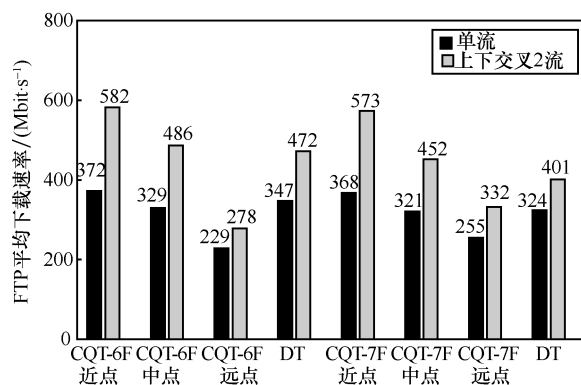
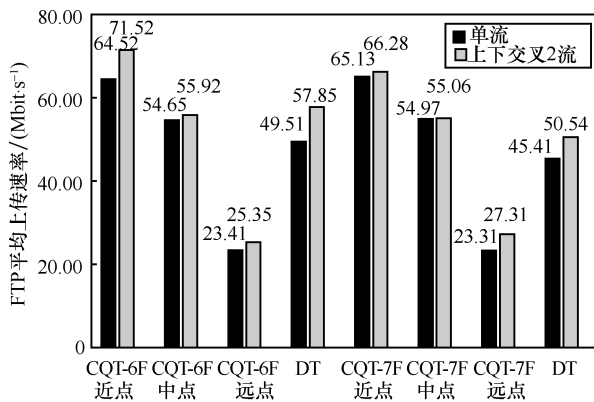


图 4 试点验证场景组网架构和天馈系统

CQT 下行速率提升 56.36%, DT 速率提升 35.79%; 上行速率提升 10% 左右。较高楼层的效果偏低, 主要原因是全向天线背瓣穿透能力较主瓣弱, 具体地, 下行 CQT 有平均 55.98% 的提升, 上传 CQT 有平均 17.12% 的提升, 如图 5 所示。



(a) FTP 下载速率对比



(b) FTP 上传速率对比

图 5 单馈线场景跨楼层交叉部署实现 2 流 MIMO 效果

3.3 双馈线场景跨楼层部署实现 4 流 MIMO 验证效果

通过 FTP CQT 和 DT 测试, 开启多通道联合



收发技术后,上、下行吞吐量均有明显提升。低楼层提升效果更为明显,近点 CQT 下行速率提升 26.11%,DT 下行速率提升 6.48%;上行在中、远点效果较好,提升约 7%。高楼层下行近点仍有 28%的提升,如图 6 所示。

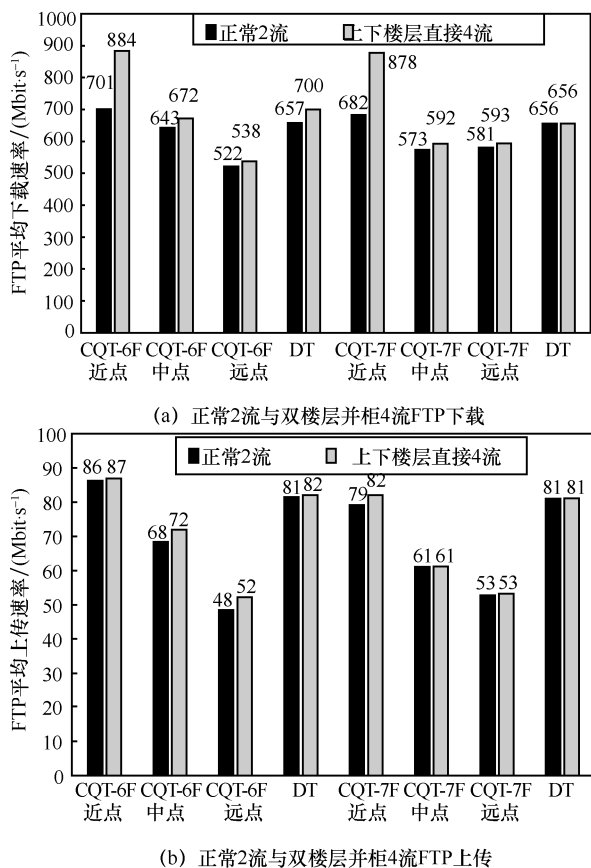


图 6 双馈线场景跨楼层部署实现 4 流 MIMO 效果

3.4 双馈线场景跨楼层交叉部署实现 4 流 MIMO 验证效果

开启多通道联合收发技术后,上、下行性能均有明显提升,其中低楼层的效果更为明显,近点 CQT 下行速率提升 31.57%,DT 下行速率提升 11.99%;上行分别在中、远点提升 2.69%和 6.21%,如图 7 所示。

3.5 Rank 分析

通过试点验证可以看出,多通道联合收发技术可在单馈线场景和双馈线场景分别达到 2 流 MIMO 和 4 流 MIMO 效果,对上、下行吞吐量均

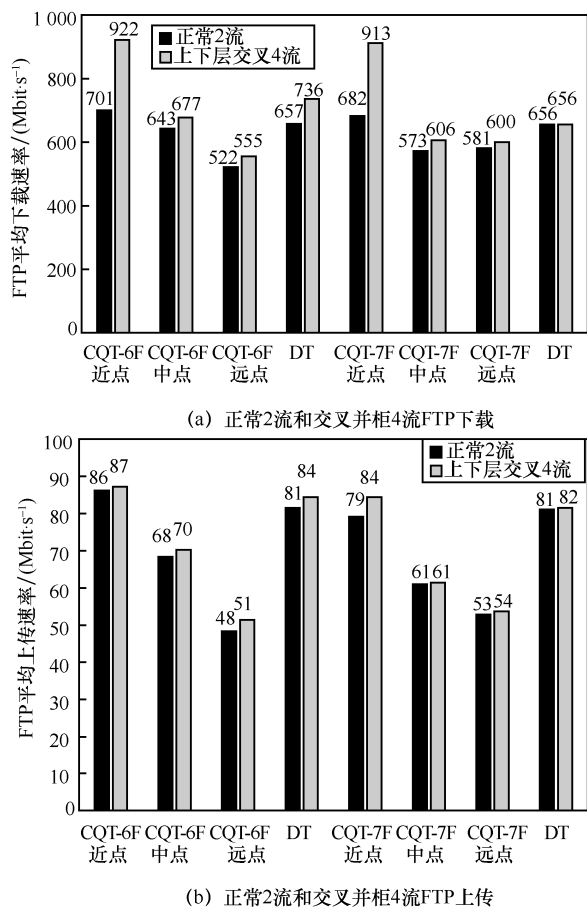


图 7 双馈线场景跨楼层部署实现 4 流 MIMO 效果

有所提升,这一点也可从启用多通道联合收发技术前后的 Rank 变化情况看出。

具体地,单馈线场景跨楼层交叉部署时的平均 Rank 可达到 1.99,与原有的 Rank 等于 1 相比,提升了近 1 倍,接近同楼层 2 流效果;受限于无线环境多径条件,双馈线场景跨楼层部署与交叉部署时的平均 Rank 分别为 2.95 和 3.03,较传统双馈线场景组网时的 Rank 提升 1.5 倍,提升程度低于单馈线场景跨楼层交叉部署,所以吞吐量性能提升程度也低于单馈线场景跨楼层交叉部署场景,如图 8 所示。

4 部署关键问题分析

4.1 产业成熟度

目前,5G 终端已经大面积具备下行多通道不平衡(多通道接收功率差异小于 30 dB)时的解调

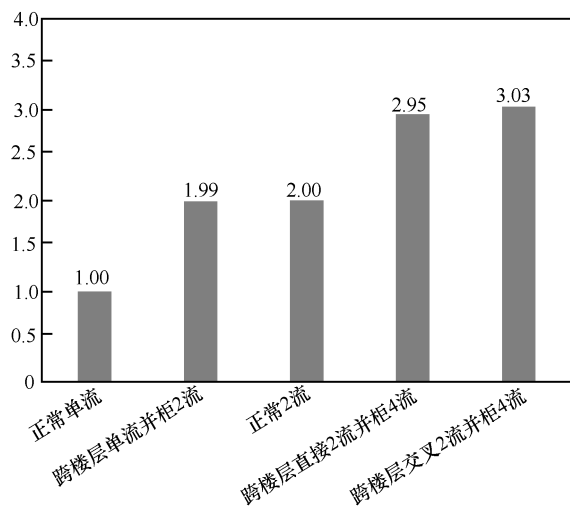


图8 不同场景开启多通道联合收发技术前后 Rank 对比

能力。但是主设备上行解调算法支持成熟度较低，且算法仍在优化，特别是在弱场时对多通道功率不平衡的适配能力。建议后续通过 3GPP 标准、设备规范等方式推动产业链成熟。

4.2 适用场景

虽然在 5G 阶段，终端与基站对多通道功率不平衡的接受程度较 4G 已有大幅度提升，但是从理论上很容易理解，多通道联合收发技术对上、下行吞吐量的提升效果会随着强场的提升、多通道功率差异的缩小而增大，如图 9 所示。因此，在实际落地部署时，需要有效选择室内场景，并通过调整天线口的发射功率，尽量确保上、下行多通道接收功率差异控制在 30 dB 以内，才能体会到多通道联合收发技术带来的性能提升效果。当然，由于主设备基站算法的不断优化，在 5G 覆盖效果较差，多通道功率不平衡差距较大时，开启多通道联合收发技术后的上、下行吞吐量不会低于开启该技术前。

具体地，在多通道联合收发技术启用时，可根据目标楼宇各楼层的建筑构造、装修布局，合理设计室内天线的布放位置和天线口射频输出功率，使每楼层 5G 用户主要活动范围内的区域接收的来自不同楼层的 5G 信号强度能同时满

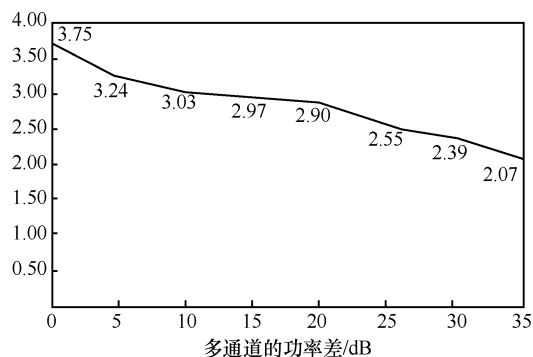


图9 不同多通道功率差异时的 Rank 区别

足终端解调门限的前提下，功率差进行控制在 30 dB 以内。

4.3 成本分析

根据测算，以一栋 35 000 m² 的双馈线高层楼宇为例，若要实现 4T4R 的效果，采用 5G 信源直接馈入传统 DAS 室分系统外加开启多通道联合收发技术，总投资造价约 13 万元；相应地，若完全新建 5G 室分皮/飞基站的投资成本约 67.9 万元。可见，实现相同的效果，多通道联合收发技术的成本仅为皮/飞基站成本的 19% 左右，真正做到了低成本高性能。

5 结束语

本文介绍了一种多通道联合收发技术，通过系统侧软件功能的部署快速在传统单馈线场景下实现 2 流 MIMO，在传统双馈线场景下实现 4 流 MIMO，在部分场景中可以有效降低 5G 网络建设成本，同时该方案还可以使用户获得 5G 多流 MIMO 体验。

该技术在部署过程中，需要重点关注以下问题：

- (1) 施工现场增加的工作量主要集中在弱电井道内；
- (2) 方案适用于商务办公楼、酒店、医院、校园宿舍等典型普通场景，适用单馈线、双馈线场景。这些场景中，LTE 小区主要采用垂直分区而非水平分区，楼层结构布局及层高比较规范，



错层覆盖结构结合全向吸顶天线辐射方向特性,可实现 5G 流数和下载速率的明显提升;

(3) 通道收发合并技术要求进行室分方案设计时,上下楼层的信号穿透楼板隔离后依然具备一定的信号强度,以便达到多流形成的解调门限。根据实际测试结果,建议合理设计,尽量确保上、下行多通道接收功率差异控制在 15 dB 以内,保证性能增益最大化;

(4) 在室分施工中,如果两路主干跟分支天馈没有严格按照奇偶交错方式连接,会导致部分楼层无法实现多通道收发合并功能。因此,在天馈施工完成和开通后,要使用测试工具对每层楼进行遍历测试,逐层核实判断多通道收发合并功能是否正常,发现问题及时排查、优化;

(5) 部署场景的容量问题,由于多通道联合收发技术应用后覆盖小区内虽然用户感知有显著提升,但小区容量并未发生改变,对于需要大容量的室内场景,依然需要依赖小区分裂或者载波扩容等手段进一步提升小区容量。

参考文献:

- [1] 刘玮,董江波,任治冰.面向商用的 5G 网络关键问题研究及验证[J].电信科学,2018,34(8): 56-61.
LIU W, DONG J B, REN Y B. Research and verification of key issues in 5G network[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 56-61.
- [2] 方绍湖,李馨,卜斌龙.基于开放平台小基站的 5G 数字室分解决方案[J].电信科学,2019,35(7): 69-77.
FANG S H, LI X, BU B L. 5G digital wireless indoor coverage solution based on open platform small cell[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 69-77.
- [3] 高光辉,李勇,卫钰,等.DAS 系统在 5G 室分建设中的融合与发展[J].电信工程技术与标准化,2019(10): 10-14.
ZHANG G H, LI Y, WEI Y, et al. Fusion and development of

DAS system in the construction of 5G room branch[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019(10): 10-14.

- [4] 龚戈勇,丁远.浅析传统 DAS 室分系统在 5G 时代的应用[J].信息技术与信息化,2019(6): 165-167.

GONG G Y, DING Y. Application of traditional DAS indoor distribution system in 5G era[J]. Information Technology & Informatization, 2019(6): 165-167.

[作者简介]



潘毅(1972-),男,中国移动通信集团广东有限公司规划技术部副总经理、高级工程师,主要从事移动通信网络规划管理方面的工作。



李晖晖(1975-),男,中国移动通信集团广东有限公司工程师,主要从事 4G/5G 移动通信网络方面的新技术研究及网络规划工作。



曾磊(1982-),男,中兴通讯股份有限公司总工程师,主要从事 4G&5G 室分网络规划、建设、优化和运维方面的技术研究工作。



蔡伟文(1967-),男,中国移动通信集团广东有限公司副总经理、教授级高级工程师,主要从事移动通信网络规划方面的战略研究、网络建设管理工作。

收录声明

本刊已被中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)全文收录,被本刊录用的文稿,将一律由编辑部统一纳入中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)。若作者不同意被收录,将在来稿时向本刊说明,本刊将做适当处理。若无特别声明,视同将录用文稿的电子网络版、汇编或合订本的使用权授予本期刊社,本刊支付的稿费中已包含上述费用。

The articles of *Telecommunications Science* have been embodied by WANFANG DATA and CNKI. The accepted articles will be unified into WANFANG DATA and CNKI. If the author does not agree to his or her article to be included, the author must illustrate when the article is submitted. The editorial department will properly handle. If the authors do not give a special announcement, the editorial department believes that the authors have granted the right of their articles to *Telecommunications Science*. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的文稿是作者独立取得的原创性研究成果,无一稿多投;文稿内容不涉及国家机密;未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过;文稿内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题,文稿作者将承担全部责任。

The authors of *Telecommunications Science* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Telecommunications Science*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is in no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

电信科学

Telecommunications Science



邮发代号：2-397 国外代号：M841 定价：68.00元

ISSN 1000-0801



9 771000 080200