

# 室分系统奇偶错层实现 5G MIMO 应用研究

## Research on Implementation of 5G MIMO Using Odd-Even Cross-Floor Distribution Systems

芮华平, 荣晓环, 卫 琴 (中国联通南京分公司, 江苏 南京 210000)

Rui Huaping, Rong Xiaohuan, Wei Qin (China Unicom Nanjing Branch, Nanjing 210000, China)

### 摘 要:

在5G时代, 2T4R终端演进成为主流, 室外宏站RANK3、4比例大幅提升, 与传统室分单路的RANK1存在感知差异问题, 严重影响用户体验。针对新建室分和存量室分的改造, 在传统单天馈DAS结构基础上提出“奇偶错层覆盖方法”, 即在RRU连接室分系统时, RRU两路通道错层连接, 利用层间信号泄露, 实现低成本建设5G室内分布系统中的MIMO双流传输效果, 提升双流数据占比和业务下载速率, 达到降本增效目的。

### 关键词:

5G室分DAS; 双流; MIMO; 奇偶错层

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.01.008

文章编号: 1007-3043(2026)01-0035-04

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

In the 5G era, the evolution of 2T4R terminals has become mainstream, leading to a significant increase in the proportion of RANK 3 and 4 connections on outdoor macro stations. There is a perception difference compared with the RANK 1 connections of traditional SISO indoor distribution systems, severely impacting user experience. To address this issue in both new and existing indoor systems, it proposes the “Odd-Even Cross-floor Coverage Method” based on the conventional single-feeder DAS structure. This method involves connecting the two radio frequency paths from the RRU to different floors (odd and even) within the indoor distribution system. By leveraging the intentional inter-floor signal leakage, it inexpensively achieves the effect of MIMO dual-stream transmission in 5G indoor distribution systems. This enhances the proportion of dual-stream data and improves service download speeds, ultimately achieving the goal of reducing costs and increasing efficiency.

### Keywords:

5G indoor DAS; Dual-stream; MIMO; Odd-even cross-floor

引用格式: 芮华平, 荣晓环, 卫琴. 室分系统奇偶错层实现5G MIMO应用研究[J]. 邮电设计技术, 2026(1): 35-38.

## 1 概述

运营商在5G发展建设过程中, 若要实现MIMO功能, 就要部署2套支路以实现2T2R; 为充分发挥MIMO的性能, 还需要保证传输信道的不相关性, 并保证2条线缆的隔离距离要达到1~2 m。所以, 无论是改造室内分布系统, 还是新建室内分布系统, 这都将使建设

成本过高, 且施工难度变大。某市联通目前存量的4G/5G传统DAS室内分布系统基本以单条支路为主流, 并且连续几个楼层使用相同的信源。

5G室内分布系统主要有传统DAS分布系统和数字化分布系统<sup>[1-2]</sup>。5G数字化室分相对传统DAS分布组网更加灵活, 部署更加简单、快捷。同时数字化室分在性能上也优于传统室分, 可以实现多流MIMO。数字化室分性能明显优于传统室分, 从不同的pRRU数量合路场景进行对比, 覆盖增益为0.7~16.1 dB。

收稿日期: 2025-11-03

各个运营商经过2G/3G/4G大规模建设和发展,已部署规模庞大的2G/3G/4G单线缆DAS室内分布系统,如果全部进行5G数字化室分改造,虽然可以提升网络性能,实现MIMO多流,但改造成本过高。若是利用当前存量的DAS分布系统强行进行合路,短期来看可能会降低改造成本,快速部署5G信号;但长期来看在5G用户速率的体验上会明显存在劣势,为高质量的网络发展埋下诸多问题。

因此,某市联通提出了错层MIMO的创新方案,利用传统DAS室内分布系统,用存量RRU设备的不同射频通道进行接收和发送联合,在空间维度上利用上下楼层的不同信号达到多收多发的方式,达到传统DAS系统支持5G双流或四流效果,以最低的成本和最优的性能快速提升5G用户的速率体验。

## 2 原理分析

### 2.1 MIMO原理分析

MIMO是在发射端和接收端分别采用多个发射和接收天线,使信号通过发射端与接收端的多个天线传送和接收,达到改善通信质量的目的。并且还能利用空间资源,在不增加其他频谱资源和天线发射功率的情况下,谱效率和信道容量也会成倍的提高<sup>[3]</sup>。

最早的多天线技术是一种接收分集技术,用于提高上行无线传输的可靠性。在多天线正交性问题被攻克后,多天线技术被用于实现发送分集来提高下行传输可靠性,至此MIMO技术成熟。

如图1所示,根据工作模式的不同,MIMO可分为

上行和下行2种类型;根据实现方式的不同,MIMO可以分为空间复用、空间分集、波束成形等类型;根据接收端是否反馈信息状态信息,MIMO可以分为闭环和开环2种类型;依据相同时频资源块上同时传输的数据流归属,划分为单用户与多用户2种类型。

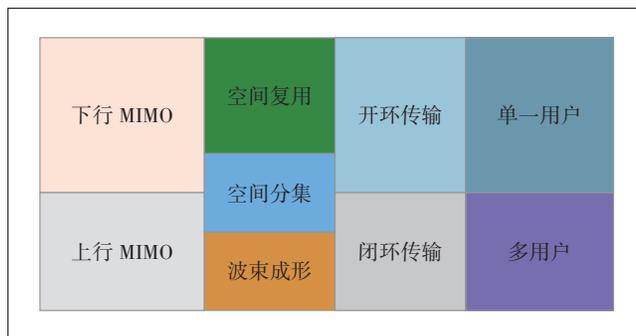


图1 MIMO分类

### 2.2 上下楼层信号差值分析

#### 2.2.1 链路预算理论分析

一般评估室内信号环境时,常参考《ITU-RP.1238建议书》进行链路预算覆盖能力分析,具体如式(1)所示:

$$L = -28 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d) + L_f + X_\sigma \quad (1)$$

其中, $L$ 为路径损耗; $f$ 为频率(MHz); $d$ 为距离(m); $L_f$ 为墙壁、楼层等的穿透损耗; $X_\sigma$ 为慢衰落余量,取值与覆盖概率要求和室内慢衰落标准差有关,参考取值为8 dB。

#### 2.2.2 穿透损耗理论分析

各种物体对信号的传播损耗如表1所示。

表1 各种物体对信号的传播损耗(单位: dB)

墙体的类型	混凝土墙体(堵)	砖墙(堵)	玻璃(扇)	钢筋混凝土(堵)	混凝土地板(块)	电梯箱体(个)	石膏板吊顶(块)	铝质板吊顶(块)
900 MHz穿损	8~15	6~10	3~7	13~20	6~10	20~30	1~3	12~16
1 800 MHz穿损	13~20	8~15	6~12	20~40	8~12	30~40	3~5	14~20
2 100 MHz穿损	15~23	10~18	8~15	25~45	10~15	35~45	5~8	15~22
3 500 MHz穿损	20~27	15~23	10~18	30~50	13~20	40~50	8~12	18~25

#### 2.2.3 信号差值与下载速率提升关系分析

对2路信号差值的论证结果表明,当2路信号差值大于30 dBm时,错层MIMO改造前后下载速率提升比例基本为零。因此,在设计错层MIMO组网时,应将错层组网的2路信号的差值设计控制在30 dBm以内。

验证结果显示,错层MIMO要达到较好的效果,需同时满足如下4个条件。

a) 每楼层需采用独立室分RRU覆盖。

b) 实现MIMO效果,必须共小区。

c) 主楼层及泄露层信号强度均需大于-105 dBm。

d) 2路信号强度差值需在30 dBm内。

基于以上考量,该场景单路室分为多RRU场景,且楼层间非完全封闭,可尝试利用不同RRU覆盖重叠产生MIMO效果,现场通过依次闭塞RRU进行遍历测试,不同RRU覆盖重叠区域达到60%以上,满足错层MIMO方案试点条件。错层MIMO改造效率高,可快

速满足业务需求, 无需协调施工立项, 节约成本投入。

### 3 奇偶错层 MIMO 方案

#### 3.1 组网方案分析

如图2所示, 将传统的双线缆 DAS 室分系统, 改造为垂直面的隔层双线缆, 进而实现 MIMO 多收多发的效果<sup>[4-7]</sup>。RRU 的 B 口连接最上面的 4 层和 5 层, A 口连接下面连续的 1 层、2 层和 3 层, 而错层 MIMO 就是将 A 口连接偶数楼层, B 口连接奇数楼层, 无需增加额外的线缆辅材, 也不会增加任何连接器件, 只需要将 A、B 口所连接的楼层错开即可。

#### 3.2 改造成本分析

如图3所示, 采用的错层 MIMO 的 5G 室分系统, 改造施工基本没有难度, 同时也基本不会增加施工改造的成本, 不会增加器件和辅材的损耗。

### 4 奇偶错层 MIMO 应用

为了验证错层覆盖方法实现 5G 双流传输的实际效果, 对某大学宿舍楼 5G 传统 DAS 进行了双主干改造, 将原先覆盖第 5 层和第 2 层功分器端口进行互换, 使得 PA 和 PB 端口的覆盖区域形成奇偶错层。

#### 4.1 前端 KQI 指标分析

通过传统室分与奇偶错层室分测试对比发现, 传统室分单缆方案平均速率为 59.7 Mbit/s, RANK2 占比

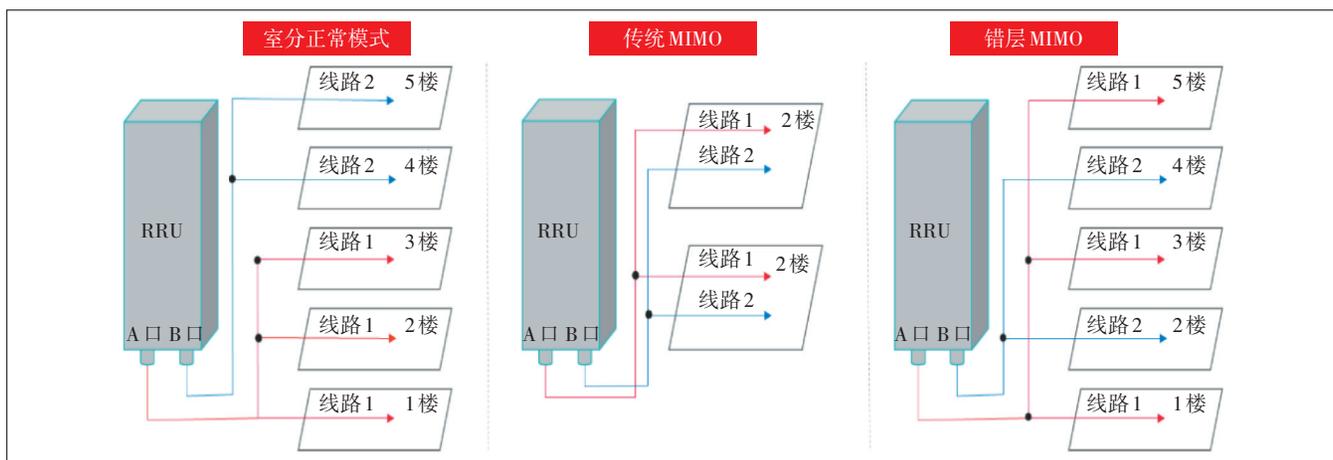


图2 室分系统与错层 MIMO 对比示意

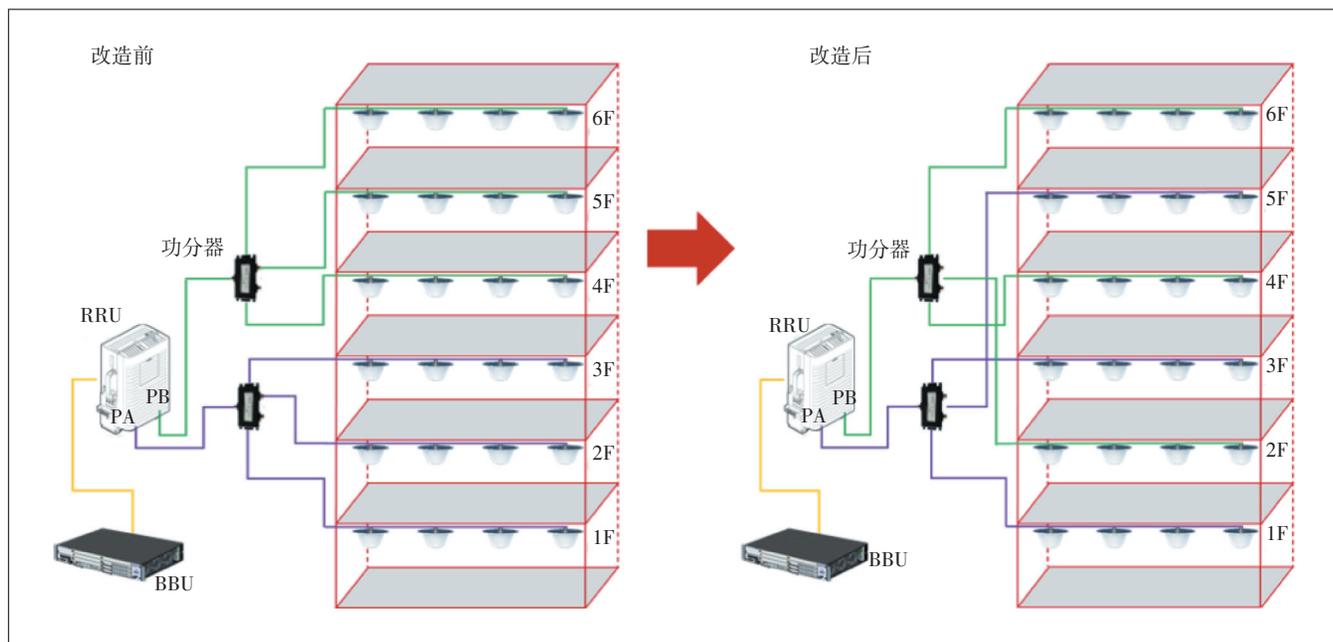


图3 错层 MIMO 改造成本示意

为 10.6%, 奇偶错层后速率达 106.3 Mbit/s, 提升约 78%, RANK2 占比为 70.5%, 双流模式占比明显提升。为验证错层 MIMO 2 路信号绝对强度与下载速率

提升的关系, 以及 2 路信号差值与下载速率的提升关系, 分别对 2 路信号的绝对强度和差值进行了精细化验证, 结果如表 2 所示。

表 2 错层信号差值与速率体验关系表

主楼电平强度/dBm	-75	-75	-75	-75	-75	-95	-95	-95	-105	-105	-105
泄漏信号强度/dBm	-85	-75	-95	-105	-115	-95	-105	-115	-105	-115	-125
功率差值/dBm	10	0	20	30	40	0	10	20	0	10	20
下载速率提升比例	69%	79%	48%	-1%	-2%	50%	18%	16%	7%	2%	-2%

从表 2 可以看出, 当主楼电平强度 < -105 dBm 时, 或泄漏信号 < -105 dBm 时, MIMO 的增益明显下降; 当 2 路信号差值 > 30 dB 后, MIMO 的增益明显下降。

2%, 平均下行 MCS 提升 30.47%, 平均下行 RANK 稳定在 1.6 左右, NSA 掉线率改善 86.90%, SA 掉线率改善 100%。

#### 4.2 后端 KPI 指标分析

如表 3 所示, 与传统室分相比, 错层 MIMO 的流量提升 2.19%, 下行速率提升 77.41%, CQI 优良率提升

## 5 总结

### 5.1 综合成本分析

表 3 传统室分与错层 MIMO 前后指标对比

日期	总流量/GB	下行用户平均速率/(Mbit/s)	CQI 优良率/%	平均下行 RANK	平均下行 MCS	NSA 添加成功率/%	NSA 掉线率/%	SA 接入成功率/%	SA 掉线率/%
传统室分	4 492.92	85.22	96.96	1.09	5.58	99.91	0.23	99.66	0.03
错层 MIMO	4 591.42	151.20	98.89	1.62	7.28	99.93	0.03	99.70	0.00
提升幅度	98.50	65.97	1.94	0.53	1.70	0.02	-0.20	0.04	-0.03
提升比例	2.19%	77.41%	2.00%	48.60%	30.47%	0.02%	-86.90%	0.04%	-100%

本文提出的奇偶错层覆盖方案, 既能快速实现传统 DAS 室内分布系统的 5G MIMO 双流传输方式, 又保证了较低的改造成本(仅增加 2% 左右的建设成本)。

#### 5.2 实施可行性分析

本文提出的奇偶错层覆盖方案, 仅在弱电井道内进行线缆的连接互换, 或只在部分区域增加少量的连接线缆, 不影响物业单位内的正常生产和办公, 所以可实施性极强, 基本不会造成物业单位的反对或其他因素的阻碍, 施工难度也较小。

#### 5.3 复制推广范围

本文提出的奇偶错层覆盖方案, 将 2 条主干线缆进行错层覆盖, 同时结合楼层顶部的全向天线辐射方向垂直特性, 形成较为稳定的 MIMO 多流无线信号, 从而达到提升用户体验速率的效果, 所以可复制性强, 比较适用于校园宿舍、商务楼宇、医疗机构等楼层结构平整, 楼层间距规范的场景。

#### 参考文献:

[1] 赵承祖, 唐青, 许伟东. 基于错层的 5G 室分 MIMO 双流方案研究

[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(9): 74-80.

[2] 陆璐, 钱国宝. 5G 传统双流室分实现下行四流 MIMO 方案研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(4): 23-28.  
[3] 侯彦庄, 和静, 毕猛, 等. 5G 无源室分场景下的分布式 MIMO 研究与应用[J]. 邮电设计技术, 2021(12): 50-53.  
[4] 门少杰, 刘博光, 柳少良, 等. 基于多通道联合收发技术的 5G 传统室分系统错层部署方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(10): 47-50.  
[5] 王勋, 程科. 关于室分系统创新错层运用 MIMO 提升用户感知速率[J]. 江西通信科技, 2021(1): 13-16, 19.  
[6] 彭湘衡, 吴祖辉, 杨一帆. 基于错层的 5G 传统室内分布系统 MIMO 方案研究[J]. 广东通信技术, 2021, 41(1): 33-36.  
[7] 徐凯, 罗涛, 尹长川, 等. 发送天线选择对 MIMO 系统性能的影响[J]. 重庆邮电学院学报: 自然科学版, 2005, 17(1): 6-10.

#### 作者简介:

芮华平, 毕业于北京邮电大学, 工程师, 学士, 主要从事无线网络规划、建设、优化、运营工作; 荣晓环, 毕业于西安工程大学, 工程师, 硕士, 主要从事无线网络规划、建设、优化、运营工作; 卫琴, 毕业于河海大学, 工程师, 学士, 主要从事无线网络规划、建设、优化、运营工作。