



5G 室内新型覆盖方案对比与分析

陈燕雷¹, 孟俊仙², 刘玮¹, 王勋¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080; 2. 首钢工学院, 北京 100144)

摘要: 5G 进入规模部署阶段, 室内是重点场景之一。随着新技术的演进, 新型室分建设方案层出不穷, 如 RRU/pRRU+射频功率放大设备、多通道联合收发技术、变频系统等, 相较于传统室分覆盖方案, 具有成本低、性能好的特点, 可以在相应场景作为 5G 室内建设可选覆盖方案。创新性地综合分析了上述新型室分方案的技术原理、基本性能、关键问题和产业现状, 并通过实际试点验证, 总结对应的目标场景与部署建议, 为 5G 室内建设工作提供有力支撑。

关键词: 室内新型覆盖方案; 射频功率放大设备; 多通道合并; 变频

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021069

Comparison and analysis about 5G indoor new coverage solutions

CHEN Yanlei¹, MENG Junxian², LIU Wei¹, WANG Xun¹

1. China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

2. Shougang Institute of Technology, Beijing 100144, China

Abstract: 5G has entered the stage of scale deployment, and indoor is one of the key scenes. With the evolution of new technology, indoor new coverage solutions emerge in endlessly, such as RRU/pRRU+RF power amplifier, multi-channel joint transceiver technology, frequency conversion system, etc. Compared with the traditional compartment coverage scheme, new coverage solutions have the characteristics of low cost and good performance. The technical principle, basic performance, key problems and industrial status of the new coverage solutions were innovatively and comprehensively analyzed, and the corresponding target scenarios and deployment suggestions were summarized through actual pilot verification.

Key words: indoor new coverage solution, RF power amplifier, multi-channel combining, frequency conversion

1 引言

5G 时代, 将有 80% 的业务发生在室内, 2.6 GHz 和 3.5 GHz 频段信号穿透能力有限, 依靠室外宏基站进行室内覆盖区域有限、性能也有限, 因此, 5G 室内覆盖建设对 5G 网络快速、规模化的落地

显得尤为重要。虽然由于频段较低、穿透能力的提升使得 700 MHz 频率的发放能够适当缓解 5G 室内覆盖建设的规模压力, 但是 700 MHz 的 5G 产业链成熟需要时间推动, 况且深度覆盖问题依然需要依靠 5G 室内分布系统解决。

当前, 5G 室内覆盖方案大多采用两种: 一种



是直接依赖原有 4G 无源室内分布系统进行 5G 信号的馈入,简称传统 DAS 馈入系统,单馈线场景即获取单流的性能,双馈线场景即获取双流的性能;另一种是针对新建场景,部署分布式皮基站,能够获取 4 流的 5G 性能,但其成本却是传统 DAS 馈入系统的近 5 倍。

随着新技术的演进,新型室分建设方案层出不穷,如 RRU/pRRU+射频功率放大设备、多通道合并、变频系统等,相较于传统 DAS 馈入、分布式皮基站等传统室分覆盖方案,具有成本低、性能好的特点,可以在相适配的场景作为可选覆盖方案。为此,本文通过对比与分析,指出上述每种新型室分方案的技术原理、关键问题、产业现状、在实际落地中需要关注的问题和部署建议,从性能、成本、部署施工难易度方面做了优劣势分析,见表 1。

- RRU/pRRU+射频功率放大设备少量增加投资,无法提升业务速率,可以在仅对覆盖有要求的室分场景使用,已应用于运营商某些省份的 5G 室内建设工作中。
- 多通道合并的改造可以在少量增加投资以及施工难度的基础上提升业务速率,在楼板隔断损耗不大的情况下使用,已大规模应用于运营商的 5G 室内建设。
- 变频系统可以有效提升单路布线系统的覆盖效果,但是由于需要全量替换原有布线系统的天线和耦合器,施工难度较大,而且存在造价偏高的问题,已应用于运营商某些省份的 5G 室内建设工作中,特别是使用 3.3~3.5 GHz 频段的场景。

2 RRU/pRRU+射频功率放大设备基本性能与部署关键问题

2.1 技术原理与基本性能

射频功率放大设备(radio frequency power amplifier, RFPA)本身是 RRU 的重要组成部分,在 RRU 的数字前端电路中,调制振荡电路所产生的射频信号功率很小,为了顺利将信号送到天线上进行辐射,需要通过一系列的 PA 进行功率放大。评估 PA 的关键性能指标包括工作频率和带宽、输出功率及效率、线性度邻道泄漏比(adjacent channel leakage ratio, ACLR)等。与 4G 相比,5G 大带宽条件下如何保障线性度 ACLR 指标,对 PA 的设计具有一定挑战性,需引入性能较高的数字预失真(digital predistortion, DPD)算法才能解决。

目前,5G 射频单元的产品规格包含针对宏基站的 2T2R RRU 和针对皮基站的 2T2R/4T4R pRRU,前者单通道发射功率 100 W,后者单通道发射功率 250 mW/400 mW。根据常规室分场景(每层楼宇 1 000 m³)的传播模型计算及实际外场经验来看,2T2R RRU 能够覆盖 15 层,2T2R/4T4R pRRU 能够覆盖 300 m³。以一栋 30 层楼、总面积 35 000 m³的大楼、双馈线场景(不考虑电梯)为例,如果仅解决覆盖问题,则需要 2 台 2T2R RRU,或者 116 台 2T2R/4T4R pRRU。为了延伸 RRU、pRRU 的覆盖范围,降低室内覆盖的总体造价,可外接射频放大设备,进行二次功率放大,

为验证该方案的技术可行性,选取某楼宇中的 4 层作为试点验证场景,该场景为双馈线场景,且每层 1 000m³,信源仅为 1 个 4T4R pRRU,外接 2 台 2 W 射频功率放大设备,以保障每层楼宇

表 1 新型室分建设方案优劣势对比

建设方式	系统性能	投资	可管可控	施工难度
RRU/pRRU+射频功率放大设备	中	低	低	低
多通道合并	较高	较低	低	较低
变频系统	高	中	中	高

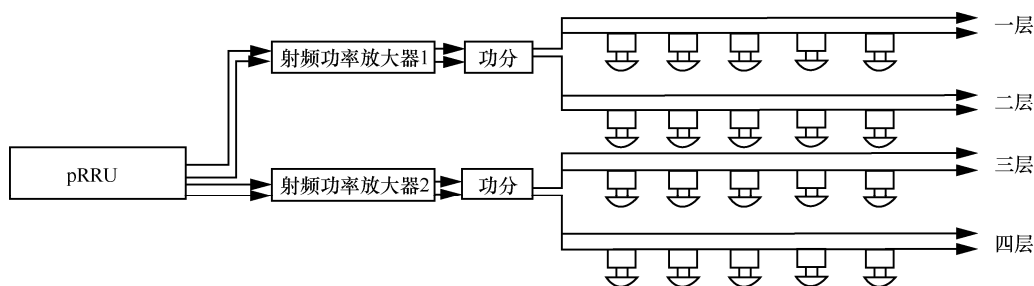


图1 pRRU+射频功率放大设备测试验证组网拓扑

每路输出 30 dBm，组网拓扑如图 1 所示。

在 4 层中随机选择多个测试点进行上、下行吞吐量测试，并与单站验证的性能指标要求进行对比，对比结果如图 2 所示；同时对 4 层进行覆盖遍历测试，平均 SSB RSRP 可达-80 dBm。综上所述，pRRU+射频放大设备方案确实可有效扩大 pRRU 覆盖范围，将原来无法被 5G 覆盖的楼层达到平均 RSRP 为-80 dBm 的 5G 覆盖效果，且上、下行吞吐量满足室内覆盖单站验证指标要求。该方案同样适用于 RRU 作为信源场景，以扩大 RRU 的覆盖范围。

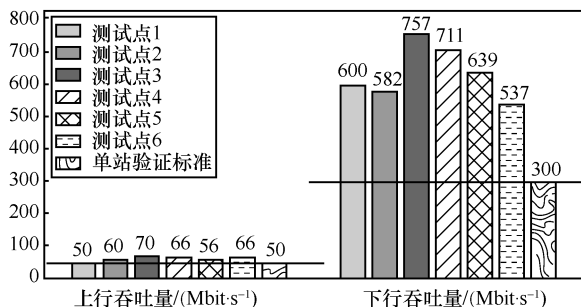


图2 pRRU+射频功率放大器的性能对比分析

2.2 关键问题

该方案在实际部署过程中，需要重点关注如下两个问题。

(1) 射频指标保障与成本之间的平衡问题

射频功率放大设备内部 PA 电路对输入功率

有一定要求，如输入功率为 0 dBm，则为了满足 RRU 50 dBm（100 W）/pRRU 24 dBm（250 mW）到射频功率放大设备的 0 输入之间的转换，除了馈线本身的馈线损耗之外，在 RRU/pRRU 到射频功率放大设备之间还需引入至少 12 dB 的衰减器，这之后再通过射频功率放大设备内部的 PA 将信号放大至 33 dBm，以满足楼层的 5G 覆盖性能，如图 3 所示。如第 2.1 节所述，5G 大带宽条件下，该方案这种仅在射频域进行信号衰减和放大的方法对线性度 ACLR 等指标的满足提出了很高的挑战，如果 ACLR 指标下降，会直接引起 EVM 指标下降、上下行吞吐量性能下降。为了解决该问题，就需要射频功率放大设备中引入性能较高的 DPD 算法，以保障 ACLR、EVM 等性能指标不下降，此时射频功率放大设备的成本会有所提高，DPD 算法对研发人员的能力也有一定要求，这也是当今 5G 射频功率放大设备行业较为冷淡的原因之一。

(2) 控制底噪问题

引入射频功率放大设备必然会引入底噪，底噪大小由射频功率放大设备噪声系数、放大增益、级联方式 3 个因素决定。RRU/pRRU 外接一个射频功率放大设备的底噪抬升计算如式（1）和式（2）所示。

$$NF_{eNodeB} = 10 \log \left[1 + 10^{\frac{N_{rise}}{10}} \right] \quad (1)$$

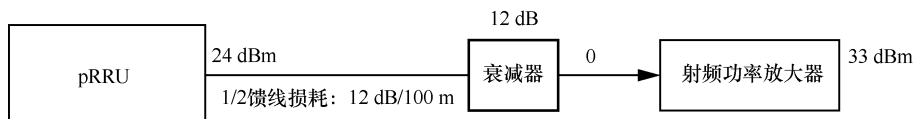


图3 pRRU+射频放大设备方案的关键参数典型配置



$$N_{\text{rise}} = N_{\text{REF}} + (G_{\text{REF}} - L_{\text{eNodeB-REF}}) \quad (2)$$

$$NF_{\text{eNodeB}} = NF_{\text{REF}} + 10 \log \left[N + 10^{-\frac{N_{\text{rise}}}{10}} \right] \quad (3)$$

其中, NF_{eNodeB} 为底噪抬升程度, N_{REF} 为射频功率放大设备噪声系数, G_{REF} 为射频功率放大设备上行放大增益, $L_{\text{eNodeB-REF}}$ 为 RRU/pRRU 到天线头端的馈线损耗。可以看出, 上行放大增益如果只是弥补 RRU/pRRU 到天线头端之间的馈线损耗, 那么底噪抬升程度最低, 且只依赖于射频功率放大设备本身的噪声系数。若 RRU/pRRU 外接 N 个射频功率放大设备, 且多个射频功率放大设备之间采用并联的方式, 如图 4 所示, 则底噪抬升计算式如式 (3) 所示。

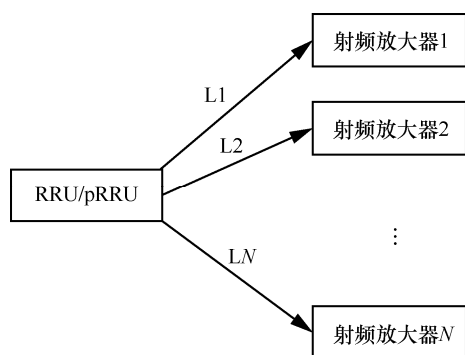


图 4 RRU/pRRU 外接多个并联射频功率放大设备的组网架构

通过上述分析可以看出, 为最小化底噪抬升, 射频功率放大设备噪声系数需要尽量低, 控制在 3 dB 以内, 且上行增益需要可调并只用来弥补 RRU/pRRU 到天线头端之间的馈线损耗。当然, 室内场景不同于室外场景, 天线之间距离较近, SSB 平均 RSRP 较高, 覆盖性能较好, 该场景下对底噪的敏感程度较室外场景低, 一定程度下的底噪抬升不会对用户的上、下行吞吐量产生影响。此外, 还可通过同时调整射频功率放大设备的上行放大增益和基站 P0 参数解决底噪问题。

2.3 产业现状与部署建议

由于 5G 大带宽要求射频功率放大设备中需引入 DPD 等算法才能保障射频指标和吞吐量性能, 导致射频功率放大设备研发难度加大、成本

增加, 因此, 5G 时代的射频功率放大设备产业较为冷淡。

通过第 2.1 节的测试结果可知, RRU/pRRU+ 射频功率放大设备方案可用于室内覆盖场景, 延伸 RRU 和 pRRU 的覆盖范围, 适用于解决覆盖问题。但是, 实际部署时: (1) 体现低成本优势, 特别是与传统 DAS 直接馈入 5G 信源方案相比; (2) 要严格对射频功率放大设备的产品指标进行检测; (3) 依据实际室分场景, 调整射频功率放大设备内部的上、下行放大增益、衰减器增益, 以满足覆盖要求; (4) 特殊情况下, 为降低底噪抬升问题, 基站需配合修改 P0 等参数, 以保障该方案的实际落地的覆盖和吞吐量效果。

3 多通道联合收发技术基本性能与部署关键问题

3.1 技术原理与基本性能

4G 时代试图通过错层制造空分复用, 即 Rank=2 的无线环境下在单馈线场景实现双流 MIMO 的技术, 但受限于终端无法保障双路功率差异较大时的解调性能, 室内场景又无法做到错层覆盖功率差严格控制在 3 dB 以内, 因此, 该方案没有被大规模推广应用。

3GPP 标准的演进 (手机多通道接收差异在 30 dB 以内时均需要正确解调)、终端解调能力的提升 (经调研, 2019 年 2 月份之后发布的手机均符合 3GPP 规范要求), 使得通过错层制造空分复用无线环境实现多流 MIMO 的技术具备了大规模推广应用的前提, 为了最大化体现通过错层制造空分复用无线环境实现多流 MIMO 的性能, 还需要基站侧进行一系列的软件优化工作。错层制造空分复用无线环境实现多流 MIMO 和基站侧一系列的优化技术可统一称为多通道联合收发技术。

为验证该方案的技术可行性, 依然选取某楼

字中的8层作为试点验证场景,采用NSA架构,其中4层为单馈线场景,通过多通道合并技术实现双流,测试结果与DAS双流方案进行对比;另外4层为双馈线场景,通过多通道合并技术实现四流,测试结果与4T4R分布式皮基站方案进行对比。单馈线场景4层楼的组网拓扑如图5所示,双馈线场景4层楼的组网拓扑如图6所示,测试验证效果如图7所示。

可以看出,单馈线场景下可通过多通道合并技术达到传统双路DAS方案的覆盖与吞吐量性能;双馈线场景下可通过多通道合并技术达到4T4R分布式皮基站方案的覆盖与吞吐量性能。然而,该室分场景SSB平均RSRP较强,大约为 -70 dBm,而多通道合并技术的关键却是在弱场,如SSB RSRP为 $-100\sim-90$ dBm的环境下不能出现负增益,且需要进一步验证多通道功率不同差异大小

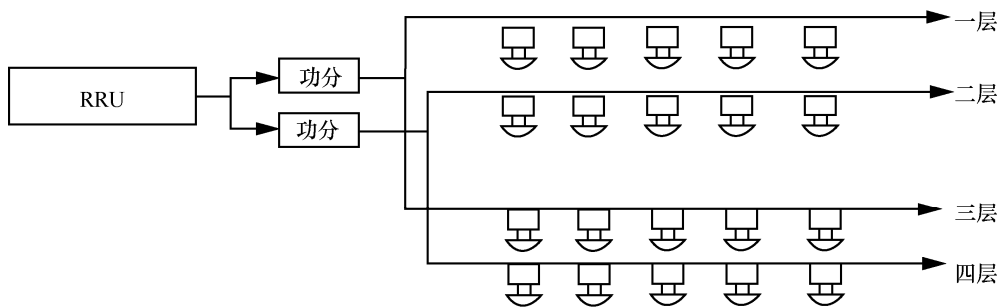


图5 单馈线场景下多通道合并技术试点验证组网拓扑

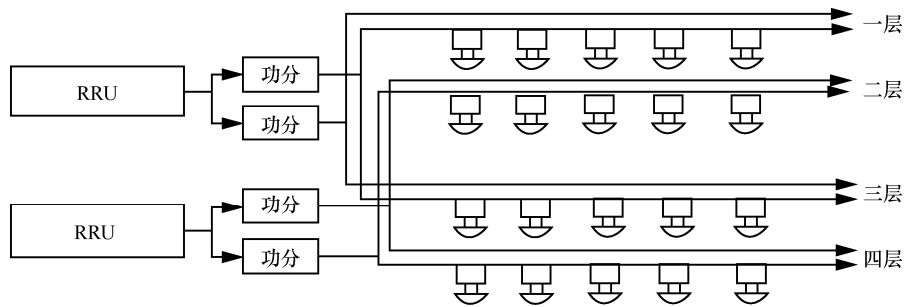


图6 双馈线场景下多通道合并技术试点验证组网拓扑

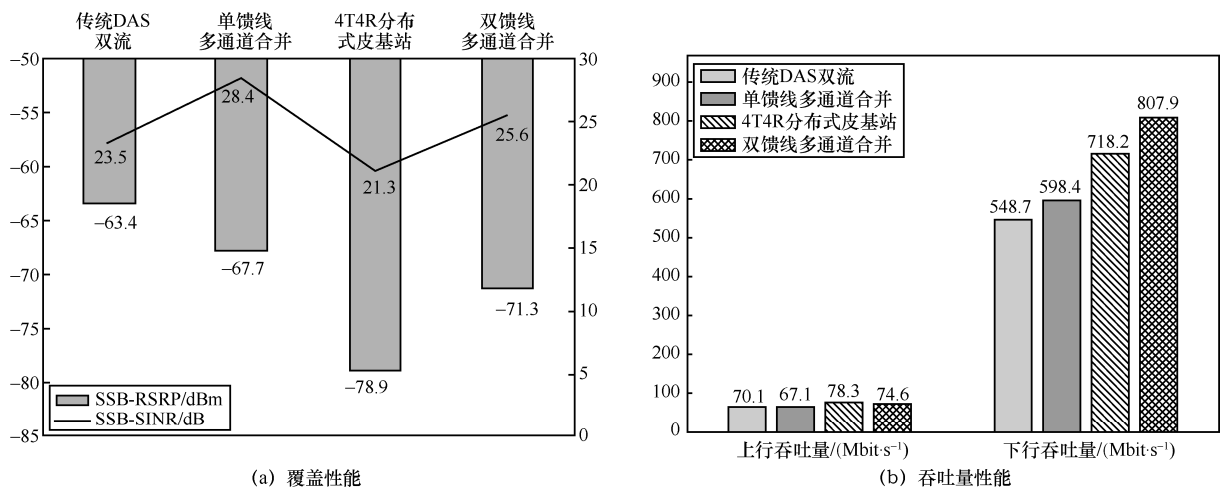


图7 多通道合并技术试点验证效果



时的性能。

3.2 关键问题

该方案在实际部署过程中,需要重点关注如下两个问题。

(1) 多流并不一定等同于高吞吐量

多通道合并技术的本质是最大化发挥无线场景中的多径特性(即多流),使多径特性的利用不受限于馈线数目的条件限制,然而,场景中的多径特性只是高吞吐量的影响因素之一,其他因素还包括信号强度、干扰程度、调制编码方式等。因此,多流并不直接等同于高吞吐量,如一个双流 256QAM 场景下的吞吐量可能会优于三流 64QAM 场景下的吞吐量,多通道合并技术也只是提高了高吞吐量的发生概率。

(2) 在强场且多通道间功率差控制在一定范围内,才有性能优势

现有基站在决策用户传输数据使用的流数时,信号强度是关键因素之一,当信号强度较弱或者干扰较大时,一般只会用单流传输,此时多通道合并技术便会失去作用。同样的原理,当多通道功率差较大时,如两通道功率分别为 -95 dBm 和 -125 dBm 时,其中一个通道已经到达手机解调门限的临界点,则此时多通道合并技术也会失去作用,如果处理不好还会损失一部分吞吐量性能,即带来一定的负增益。

3.3 产业现状与部署建议

从前文可以看出,多通道合并技术可最大化发挥无线场景中的多径特性(即多流),使多径特性的利用不受限于馈线数目的条件限制,从而提高了高吞吐量的发生概率。因此,目前主流设备厂商均在积极研发相关算法,进展顺利,算法研发工作主要包括:(1)使多通道合并技术适配不同使用场景,如覆盖弱场、多通道功率差较大时的场景,确保多通道合并技术的系统增益大于或等于 1;(2)实现多 RRU 间的单用户多流传输(SU-MIMO)技术,类似于小区合并技术。

该方案可有效提升用户吞吐量,适用于对速率有要求的室分场景,在该方案实际部署中,需要:(1)按照 3GPP 规范给出的标准,为了适配目前手机终端的解调能力,部署过程中需确保多通道功率差在 30 dB ,即两层楼之间的楼板穿透损耗和空间损耗小于 30 dB ,以享受多通道合并技术带来的性能增益;(2)验证主设备厂商多通道合并技术的研发完整性,以免在覆盖较弱场景或者多通道功率差异大于 30 dB 的场景下引入性能负增益。

4 变频系统基本性能与部署关键问题

4.1 技术原理与基本性能

变频系统通过新增近端机、远端机,利用原有单路馈线 DAS 系统实现 5G 2T2R 室分覆盖。其中,近端机包括变频器功能:将 5G 双路中的一路 2.6 GHz 信号变频至 600 MHz ,另一路 2.6 GHz 信号不变;数字同步功能:保证 5G 变频实现上下行时隙转换;直流供电功能:用于远端机供电。远端机包括变频器功能:将 600 MHz 的输入信号还原成 2.6 GHz 信号,与原来一路 2.6 GHz 信号组成两路信号进行输出,实现 2T2R;底噪消除功能,用于 1 个近端机拖带 N 个远端机时的底噪消除,组网架构如图 8 所示。工程建设内容包括替换无源天线为有源天线、替换部分现有合路器/耦合器。

为验证该方案的技术可行性,按照图 8 所示,选取一栋单馈线场景,NSA 架构进行试点验证,验证效果如图 9 所示。可以看出,变频系统可在传统单路 DAS 场景下实现 5G 2T2R 覆盖:下行平均速率为 650 Mbit/s ;与传统单路 DAS 系统相比提升 80%,达到双路馈线 DAS 的效果。

4.2 关键问题

变频系统的关键问题在于以下几点。

(1) 引入额外施工工作量,且质量要求较高主要来源于替换无源天线为包含有源天线在

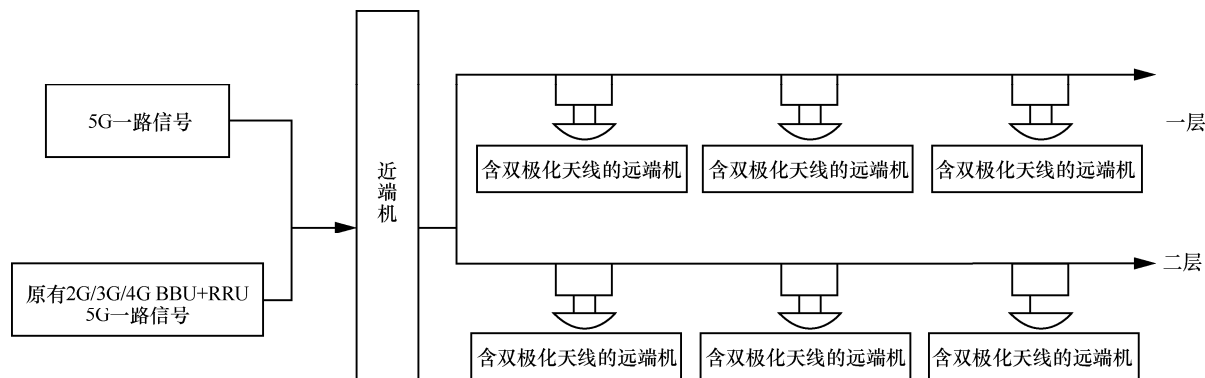


图8 变频系统组网架构

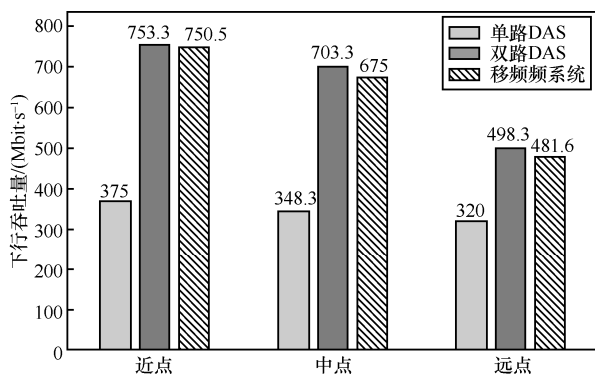


图9 变频系统试点验证效果

内的远端机、替换近端机到远端机之间的耦合器为过电耦合器，以满足给远端机供电的需求；由于为有源系统，所以在施工过程中需重点关注短路问题，需要一次性对原有室分系统的无源天线进行替换，以免出现短路问题；同时，由于需要替换天线及耦合器，所以要求原有室分设计图纸清晰准确。

(2) 同步模块上、下行时隙切换准确、高效

由于5G是TDD模式，所以变频路也需要进行上、下行时隙切换，需满足时隙切换准确要求，如灵活适配UL:DL=2:8或者UL:DL=3:1的场景；且上、下行时隙切换要求快速、高效，100 ns以内能够确保不损失上、下行吞吐量性能，如果切换过慢会影响若干symbol数据无法正常接收，从而影响吞吐量性能。

(3) 底噪问题

底噪问题同pRRU+射频功率放大设备方案，要求放大增益只补偿馈线损耗，且噪声系数不宜

过大，尽量保证在5 dB以内。

4.3 产业现状与部署建议

变频系统在4G时代即已成熟，区别在于不同厂商之间成本差异较大，而成本若高于传统单路DAS系统通过新增一路馈线实现双路方案，则竞争力会明显下降。

该方案同样可有效提升用户吞吐量，适用于对速率有要求的室分场景，在实际部署过程中，需注意要一次性替换原有室分系统中的所有无源天线为有源天线，所有耦合器为过电耦合器，以免出现短路问题。

5 结束语

RRU/pRRU+射频功率放大设备、多通道合并、变频系统3个方案均属于5G室内新型方案，其中，RRU/pRRU+射频功率放大设备方案主要解决覆盖问题，多通道合并、变频系统方案主要适用于对速率有要求的场景。3种方案目标场景不同，彼此之间互不冲突，且能彼此融合使用，进一步提升吞吐量性能，如RRU/pRRU+射频功率放大设备和多通道合并技术融合使用，可在单馈线场景实现5G双流的覆盖效果；变频系统和多通道合并技术融合使用，可在单馈线场景实现5G四流的覆盖效果。

上述3种方案在施工部署过程中均有需要关注的问题，如第2.3节、第3.3节、第4.3节所述，旨在给5G室内建设工作提供有力支撑，同时建议后续研究多种室内新型覆盖方案的融合管控手



段,做到统一可视化管理。

参考文献:

- [1] 潘毅,李晖晖,曾磊,等. 5G 室内场景多通道联合收发技术性能与关键问题[J]. 电信科学, 2020(36): 168-174.
PAN Y, LI H H, ZENG L, et al. Performance and key issues of 5G multi-channel joint transceiver technology[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 168-174
- [2] 杨旭,张书铭,高博,等. 基于 5G 2.6 GHz 频段的室分系统演进策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2019(10): 1-4, 9.
YANG X, ZHANG S M, GAO B, et al. Research on evolution strategy of room division system based on 5G 2.6 GHz band[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019(10): 1-4, 9
- [3] 李京辉,张中平. 5G NR 室分共享覆盖解决方案[J]. 移动通信, 2020, 44(5): 7-10.
LI J H, ZHANG Z P. 5G NR indoor sharing and coverage solution[J]. Mobile Communications, 2020, 44(5): 7-10.

[作者简介]



陈燕雷(1980-),男,中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师,主要研究方向为无线通信、ICT 产品研发等。

孟俊仙(1979-),女,首钢工学院高级工程师,主要研究方向为无线通信。

刘玮(1986-),女,中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师,主要研究方向为无线通信、ICT 产品研发等。

王勋(1985-),男,中国移动通信集团设计院有限公司工程师,主要研究方向为 ICT 产品研发等。

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

