

# 基于TCO的5G室分场景化

Research on Scenario-based Solution for 5G  
Indoor Coverage Based on TCO

## 解决方案研究

吴晓乐<sup>1</sup>,张 鹏<sup>2</sup>,范天伟<sup>2</sup>,薛超粤<sup>2</sup>,陈 玲<sup>3</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;3. 中国联通研究院,北京 100048)

Wu Xiaole<sup>1</sup>,Zhang Peng<sup>2</sup>,Fan Tianwei<sup>2</sup>,Xue Chaoyue<sup>2</sup>,Chen Ling<sup>3</sup>(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 3. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

### 摘 要:

由于室分建设成本高、收益低,因此采用场景化的建设手段快速实现5G室内覆盖,是当前5G网络建设的重点。通过对比5G室分各类建设手段的总成本(TCO,含建设成本和运营成本),提出5G室分场景化的覆盖建议,并结合实际案例给出了实施效果。

### 关键词:

5G;室分;场景化解决方案

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.10.003

文章编号:1007-3043(2023)10-0012-05

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:

Due to the high cost and low profit, adopting scenario-based construction methods to quickly achieve 5G indoor coverage is the focus of current 5G network construction. By comparing the total cost (TCO, including construction cost and operation cost) of various construction methods, it proposes scenario-based coverage suggestions for 5G indoor coverage, and the implementation effect is given combined with cases.

### Keywords:

5G; Indoor coverage; Scenario-based solutions

引用格式:吴晓乐,张鹏,范天伟,等. 基于TCO的5G室分场景化解决方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(10):12-16.

## 1 概述

随着5G室外覆盖的不断完善,5G室内覆盖对用户感知的影响越来越大,5G室内覆盖质量已成为运营商的核心竞争力之一<sup>[1]</sup>。

一方面,5G室内分布系统(以下简称室分)建设规模大、投资大、运维成本高;另一方面,室分业务量分布极不均衡,根据某运营商的现网统计,25%的站点承载了80%的业务量,大部分室分小区为覆盖型小

区,在线用户数少,资源利用率低,整体投资效益低。因此,应基于5G网络频率部署、设备、天馈技术的特点,结合楼宇特征和业务需求,灵活选取室内覆盖技术手段,分场景差异化制定建设方案,降低TCO成本。

## 2 5G室内覆盖手段分析

### 2.1 5G室内覆盖手段概述

5G室内覆盖手段种类繁多、差异大,按照系统组网形态,主要分为数字化室分、无源DAS室分、移频MIMO室分、扩展型微分布系统、数字直放站、室内外协同等类型。

收稿日期:2023-08-21

a) 数字化室分。数字化室分系统架构由BBU、汇聚单元和pRRU单元组成,有内置天线和外接天线(多点位)2种形态,具备大容量、可监控、易安装等特点。

b) 无源 DAS 室分。无源室分(DAS)是由传统的信源(RRU)、无源器件(合路器、耦合器、功分器等)、馈线及天线组成。主要分为 3.5 GHz DAS 和 2.1 GHz DAS,现网应用的 2G/3G/4G 无源室分支持 2.1 GHz 设备,不支持 3.5 GHz NR 设备。

c) 移频 MIMO 室分。移频系统通过移频管理单元将 5G 信源一路信号下变频为传统分布系统支持的中频信号,另一路直接与 2G/3G/4G 射频信号进行合路,输出至原无源室分系统;通过移频覆盖单元接收无源室分系统内的变频信号并恢复至 3.5/2.1 GHz 频段信号,与 2G/3G/4G 信号同时在移频覆盖单元发射,达到利旧原有室分天馈系统,在单根馈线上实现 5G 信号 2x2 MIMO 覆盖的目的<sup>[2]</sup>。根据供电方式差异,移频方案分为 2 类,一类馈线供电,另外一类电源线或网线供电。内置供电方式,由近端机、远端机和管理平台等部分组成,替换掉原分布系统耦合器为过流耦合器,通过馈线为远端机供电;外置供电方式,由近端机、远端机、供电单元和管理平台等部分组成,不需替换原室分系统的无源器件,只在信源侧和室分天线侧新增一路电源线或网线为远端机供电。

d) 扩展型微站。扩展型微站(微分布)系统由接入单元、扩展单元和远端单元三级架构组成。建网初期,先采用光纤分布系统进行覆盖,耦合室外信号,快

速建网,实现低成本覆盖。随着容量提升,按需新增主机单元(带容量)替换接入单元,扩展单元和远端单元不需替换,实现容量平滑演进<sup>[3]</sup>。

e) 数字直放站。按照信源耦合方式,分为光纤直放站和无线直放站 2 类。数字光纤直放站由接入单元和远端单元组成,接入单元与信源的耦合方式是有线耦合,采用射频馈入方式,通过数字传输方式,将信号传输至远端单元进行无线覆盖。数字无线直放站与信源的耦合方式为无线耦合,采用无线馈入方式,实现无线转发,双向放大 2G/3G/4G/5G 基站上下行链路信号;无需机房等配套资源,无需光纤回传,部分厂家设备具备自激对消功能,部署灵活,用于扩展和填补无线覆盖盲区。

f) 室内外协同手段。对于部署室分系统困难或室分系统效果不好的楼宇,可通过室外基站、楼间对打等室内外协同手段,实现对地上楼层的 5G 室内浅层覆盖。根据某运营商的工程经验和测试数据,对于商务楼宇,300 m 内有基站,单层面积小于 1 000 m<sup>2</sup>或 10 层以下且单层面积小于 1 600 m<sup>2</sup>,无阻挡的地上楼层可通过室外进行覆盖;对于住宅小区,300 m 内有基站且无阻挡,楼宇高度低于天线挂高的地上楼层可通过室外基站覆盖(见图 1)。

## 2.2 5G 室分建设手段对比

根据某运营商的工程造价,估算出 5G 室分主要建设手段的单位面积 TCO(含建设成本和 10 年运营成本),具体如表 1 所示。

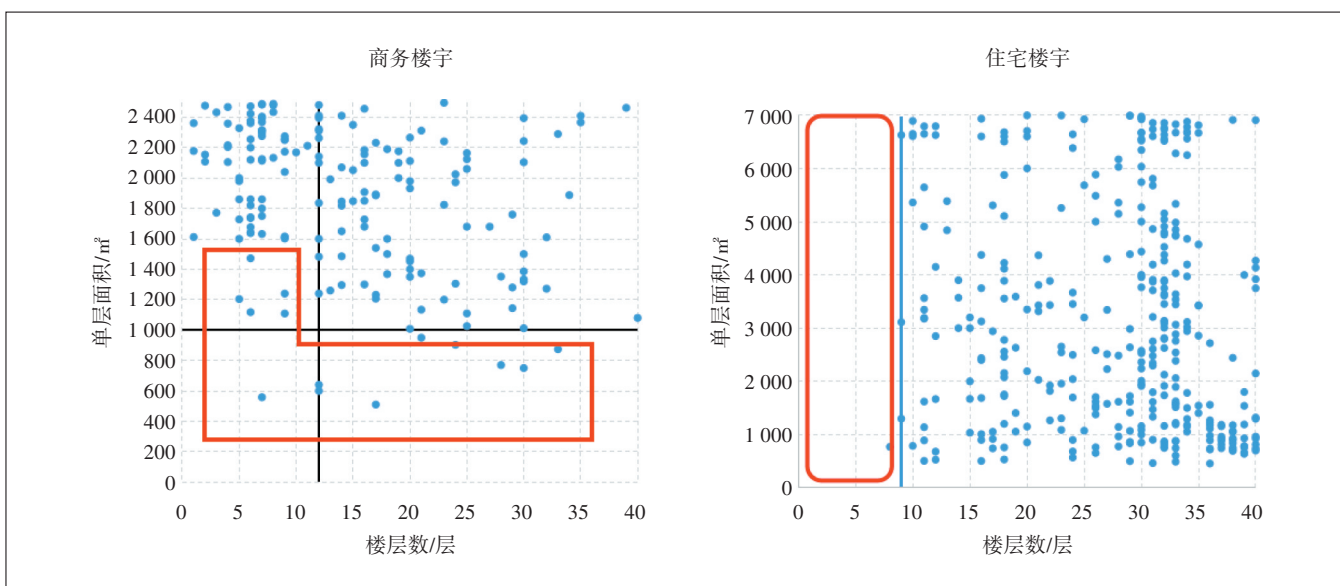


图 1 某地运营商已建室分楼宇楼层、面积分布

表1 5G室分建设手段的能力和成本对比

5G室分建设手段		频段/ GHz	通道 数	TCO成本估 算/(元/m <sup>2</sup> )	理论下行峰值 速率/(Mbit/s)	理论上行峰值 速率/(Mbit/s)	方案特点
数字化室分	100 MHz@4T4R	3.5	四流	29	1 500	375	感知好、成本高,适用于开阔的高业务场景
	100 MHz@2T2R(三点位)		双流	18	750	375	感知较好、成本较高,适用于多隔断的高业务场景
	100 MHz@4T4R(四点位)		单流	11	375	187.5	感知略差,成本较低,适用于中高业务场景
3.5 GHz DAS	100 MHz@2T2R		双流	17	750	375	感知较好,成本较高,适用于高业务场景
	100 MHz@1T1R		单流	10	375	187.5	感知略差,成本较低,适用于中高业务场景
移频MIMO 改造	内置供电或外置供电		双流	13	750	375	实施难度略大,成本较高,适用于利旧原有DAS的中高业务场景
扩展型微站	100 MHz@4T4R		四流	24	1 500	375	感知较好,成本较高,需引入新的厂家和网管,适用中高业务场景
	100 MHz@2T2R(三点位)		双流	14	750	375	
2.1 GHz DAS	新建1T1R天馈		2.1	单流	9	224	224
	合路原有1T1R天馈	单流		5	224	224	可快速部署5G,易实施,感知略差,适用于低业务场景
	原有2.1 GHz NR升级	单流		4	224	224	
5G直放站	新建1T1R天馈	3.5或2.1	单流	5	375/224	187.5/224	成本低,感知较差,适用于电梯车库等场景
楼间对打	RRU+射灯或板状天线	3.5或2.1	双流	1.7以下	750/448	375/448	成本低,感知较差,适用于住宅小区平层覆盖

从表1可以看出,5G室分系统的带宽越大、通道数越多,网络速率越高,单位面积的TCO成本越高。因此,应科学选取5G室内覆盖方案,在满足业务需求的前提下,降低TCO成本。

对于四流5G室分系统,扩展型微站的成本约为数字化室分的80%,有一定成本优势;对于双流5G室分系统,数字化室分(三点位)和3.5 GHz DAS成本基本相当,移频MIMO和扩展型微站有一定成本优势,楼间对打成本优势明显;对于单流5G室分系统,新建DAS和数字化室分(四点位)基本相当,2.1 GHz DAS合路或升级的成本优势明显;5G直放站系统的成本约为3.5 GHz DAS室分的50%以下,成本优势明显,是低业务室分场景的重要解决方案之一。

### 3 5G室分场景化覆盖方案

#### 3.1 住宅小区覆盖方案

##### 3.1.1 覆盖方案

住宅小区的深度覆盖问题对用户感知影响很大,是5G网络的投诉热点和建设重点区域。有研究表明,住宅场景下,用户使用5G网络70%以上的时间和80%以上的流量发生在家里<sup>[4]</sup>。由于住户内部隔断多,信号穿透衰耗大,从楼道内部安装天线覆盖室内效果差、投资大,但是住户外部大多是玻璃窗户或阳台,信号穿透衰耗小,因此通过室外基站或楼间对打方式解决住户室内的浅层覆盖,效果更好、投资更低,可根据业务需求,灵活选取3.5 GHz或2.1 GHz覆盖,解决住

宅小区的深度覆盖问题。

a) 高层小区内楼房布局多样,楼层一般在20层以上,高层信号杂乱、干扰严重,底层存在弱覆盖情况,电梯及地下室为信号盲区。建议小区外围以室外宏站覆盖为主,小区内部通过楼顶对打进行覆盖,采用RRU+射灯天线覆盖方式,在建筑物楼顶安装大张角射灯天线,由室外天线覆盖至室内,覆盖楼宇平层,地下停车场采用直放站+天线进行覆盖。

b) 多层建筑小区内楼房密集,布局基本整齐,一般楼高6~8层;绿化面积大,建筑物及绿化对信号衰减严重,尤其低层信号较差。建议以室外宏站覆盖为主,宏站无法覆盖的区域或无法建设宏站时,采用pRRU/RRU作为信源,通过光纤直放站+天线的方式进行覆盖。

c) 别墅区由成片住宅小区组成,以2~3层为主,单个房间面积较大且内部纵深较大,区域内楼宇排列相对整齐,楼间距一般较大。建议优先利用别墅区周边建筑物建设宏站进行覆盖,宏站无法覆盖的区域或无法建设宏站时,采用室外微站覆盖室内的方案。

d) 城中村建筑物密集,楼间距小,一般在2~8层,信号阻挡严重,室内一般为弱覆盖或覆盖盲区,物业协调难度极大。建议室外宏站进行上层区域的覆盖,下层区域采用RRU/微站+天线方式进行覆盖。

##### 3.1.2 应用案例

以某高档小区为例,该小区共有15栋楼,原有6个4G RRU和13个射灯天线,分别安装在6栋楼上,4G

室外覆盖情况良好,5G覆盖较差。5G覆盖采用射灯楼间对打方案,新增6个3.5 GHz RRU,在原4G射灯天线点位新放馈线、功分器、电源线、3.5 GHz 6端口射灯天线。5G设备开通后,低楼层存在阻挡导致的弱覆盖,中高楼层覆盖良好。具体覆盖测试结果见表2。

表2 某高档小区楼间对打覆盖测试数据(平均值)

测试位置	上传速率/(Mbit/s)	下载速率/(Mbit/s)	SS-RSRP/dBm
1层覆盖DT测试	10	184	-103
9层覆盖DT测试	27	374	-98
18层覆盖DT测试	50	417	-95

### 3.2 商务楼宇覆盖方案

由于需要室分覆盖的商务楼宇规模大、场景多、业务需求不均衡,如果全部新建3.5 GHz DAS或数字化室分等手段,则投资过大、效益较低。为了解决这个问题,可通过评估室分楼宇价值,针对不同价值等级的楼宇,制定差异化解决方案,使室分的建设更加精准高效<sup>[5]</sup>。

表3 某大型超市扩展型微站覆盖测试数据(平均值)

单用户下行峰值速率/(Mbit/s)	单用户上行峰值速率/(Mbit/s)	下行边缘位置			上行边缘位置			下行遍历(平均)			上行遍历(平均)		
		SS-RSRP/dBm	SS-SINR/dB	下行速率/(Mbit/s)	SS-RSRP/dBm	SS-SINR/dB	上行速率/(Mbit/s)	SS-RSRP/dBm	SS-SINR/dB	PDCP层速率/(Mbit/s)	SS-RSRP/dBm	SS-SINR/dB	PDCP层速率/(Mbit/s)
1 271	285	-111	5	185	-114	5	43	-77	27	824	-77	29	259

#### 3.2.2 现网有室分系统的楼宇

##### 3.2.2.1 覆盖方案

现网有室分系统的楼宇,适度控制3.5 GHz室分使用规模,采用DAS合路或升级方式,充分利用存量室分资源,大大降低网络建设成本。建议重点场景新建3.5 GHz室分系统,具备实施改造条件的中高业务场景使用移频MIMO系统,其他场景以2.1 GHz NR合路/升级为主,能升尽升,快速、低成本实现5G室内覆盖。

##### 3.2.2.2 应用案例

某地综合商务楼,集商务酒店、办公、金融通信、休闲娱乐及特色餐饮为一体,地上9层,地下2层,总建筑面积50 000 m<sup>2</sup>,现网已有4G DAS室分系统,业务密度中等偏上。本站采用移频MIMO改造方案,在原有单缆上实现5G双流效果,移频改造共新增了1台5G RRU、2台近端机、78个远端机(有源天线),原有(800~2 300 MHz)耦合器、功分器、天线更换为(800~3 600 MHz)馈电耦合器、功分器、远端机(有源天线),

#### 3.2.1 现网无室分系统的楼宇

##### 3.2.1.1 覆盖方案

对于现网无室分系统的楼宇,以3.5 GHz室分为主,适度控制4TR数字化室分的规模。对于机场、高铁站、地铁站、旗舰营业厅等业务量高、品牌重要性高的场景,以3.5 GHz 4TR数字化室分为主建设,按需部署200M/300M,保障用户感知;对于大型宾馆酒店、大型写字楼等中等业务密度的场景,以2TR/1TR为主,灵活采用扩展型微基站、3.5 GHz 1TR DAS等手段覆盖;其他中小型商务楼宇、电梯、地下停车场等场景,以2.1 GHz DAS或直放站等手段,低成本解决覆盖问题。

##### 3.2.1.2 应用案例

某地大型超市,共2层,建筑面积约为12 000 m<sup>2</sup>,现网无室分系统,业务密度较高。本站采用扩展型微站方案,设备数量包括5G主机单元2台、扩展单元2台、4T4R远端单元13台,基本实现了5G双流MIMO的指标性能,总体投资比新建4TR数字化室分节省20%~30%。具体覆盖测试结果见表3。

改造后上下行峰值速率可提升至5G单流的2倍,总体投资比新建数字化(三点位)系统节省25%~35%。具体覆盖测试结果见表4。

表4 某综合商务楼移频MIMO覆盖测试数据(平均值)

测试位置	上传速率/(Mbit/s)	下载速率/(Mbit/s)	SS-RSRP/dBm	SS-SINR/dB
2层覆盖DT测试	50.34	365.61	-89.51	19.81
7层覆盖DT测试	61.94	396.89	-84.40	20.35
9层覆盖DT测试	42.40	442.21	-73.83	27.89
B1层覆盖DT测试	52.53	572.85	-79.50	31.40

### 3.3 大型楼宇(群)分区覆盖策略及应用案例

对于同时具有多种功能的大型楼宇(群),各功能区的业务需求差异较大,应基于功能分区制定混合组网方案。

#### 3.3.1 高校校园混合组网方案

高校校园各功能区业务分布特点明显,根据某高校校园流量评估(详见表5),宿舍楼为超高负荷场景,教学楼业务需求其次,图书馆和食堂业务需求中等,

表5 某高校校园业务分布特点

区域	业务特点	4G日均流量/ GB	4G忙时流量/ GB
宿舍楼	工作日流量较多,11:00—13:00/20:00—24:00流量高,12:00/23:00/24:00为峰值时间段;周末从12:00—24:00一直维持较高负荷	13 608	1 643
教学楼	工作日09:00—12:00、13:00—18:00流量高,10:00/14:00为峰值时间段,潮汐明显,周末全天低负荷	2 102	433
图书馆	工作日流量15:00—21:00流量高,周末延展到09:00—22:00,每日峰值出现在19:00/20:00	706	104
食堂	每日11:00—13:00、17:00—19:00出现高流量,12:00/18:00为峰值时间段,峰值流量突高,潮汐明显	389	64
体育场馆/礼堂	全天低负荷,平日11:00—21:00有少量流量,但出现活动时会出现高流量,每周3~4次突发高负荷	87	15
办公楼/行政楼	全天低负荷,09:00—18:00有少量流量,且突发流量情况较少	8	3

办公楼/行政楼数据业务需求较低,礼堂和食堂在特定时间人员密集、数据业务需求较高。该校园采用混合组网方案,宿舍楼、教学楼、图书馆等高流量区域新建3.5 GHz数字化分布系统,办公楼等低流量区域采用2.1 GHz NR设备合路原有DAS系统。总体投资比全部新建数字化系统约节省20%~30%。

### 3.3.2 商业综合体混合组网方案

某大型商业综合体,B1F为商业区及地下停车场混合区,1F~8F为商业购物区,9F~39F为商务写字楼,总覆盖面积约为400 000 m<sup>2</sup>,已有4G室分覆盖。本站点采用混合组网方案,其中休闲娱乐区、餐饮区、购物区等热点区域新建3.5 GHz数字化分布系统;写字楼、电梯及车库采用2.1 GHz设备合路改造方案。总体投资比全部新建数字化系统约节省80%。具体覆盖测试结果见表6。

表6 某商业综合体混合组网覆盖测试数据(平均值)

楼层/区域	电平值/dBm	上传速率/(Mbit/s)	下载速率/(Mbit/s)
1F	-71.94	200.74	869.49
5F	-72.21	115.82	618.53
8F	-76.30	203.87	540.33
18F	-77.68	106.20	202.03
31F	-73.37	132.02	176.65

## 4 结束语

采用场景化的建设手段快速实现5G室内覆盖,是当前5G网络建设的重点。本文总结了当前主要的5G室分建设手段,并进行TCO成本和设备能力对比,提出了分场景的低成本应用策略:对于住宅场景,应通过室内外协同覆盖;对于商务楼宇,灵活选取室内覆盖技术手段,分场景差异化制定建设方案;对于同时具有多种功能的大型楼宇,应基于楼宇功能分区制定混合组网方案。本文给出的分场景实施建议,对后续

的5G室内覆盖建设有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 钟志刚,陈任翔,南作用.基于5G数字网络模型的室内外一体化覆盖规划方法研究[J].邮电设计技术,2021(6):5-11.
- [2] 查昊,朱巧玉.基于变频技术的传统室分在5G时代的演进[J].电信快报,2020(12):16-19.
- [3] 王东洋,郭希蕊,张涛,等.5G一体化微RRU系统性能研究[J].邮电设计技术,2020(3):19-22.
- [4] 余海波,蔡立昌,曾祥明.住宅小区5G室分系统低成本建设方案的探讨[J].广西通信技术,2021(4):37-40.
- [5] 陈玲,张鹏,龙青良,等.基于多维价值评估的楼宇分类体系及场景化解决方案[J].邮电设计技术,2023(2):54-57.
- [6] 韦炜.5G室内覆盖差异化部署策略研究与思考[J].电信科学,2023,39(Z1):99-103.
- [7] 许浩,李辰.5G室内覆盖规模部署研究与思考[J].电信科学,2020(S01):7.
- [8] 罗沛.广电5G室内覆盖网络建设研究[J].广播与电视技术,2022,49(11):36-40.
- [9] 李军.5G室内覆盖移频MIMO方案测试分析[J].通信世界,2022(19):37-39.
- [10] 张志荣,李焱,李志军,等.5G室内覆盖共建共享技术研究[J].电子技术应用,2020,46(7):6.
- [11] 汪洋.室内分布系统现状分析及5G室分建设方式探讨[J].数字通信世界,2020(5):1.
- [12] 董娟,贺鹏,张元龙.多场景5G室内覆盖建设方案研究[J].电信科学,2019,35(S1):37-45.
- [13] 林琳,王凯亮,罗康其.地铁站厅站台5G通信室内覆盖方案分析[J].电子技术(上海),2022(1):51.

### 作者简介:

吴晓乐,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作;张鹏,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划、移动通信新技术研究等工作;范天伟,工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作;薛超粤,工程师,学士,主要从事无线网络规划与优化、数字化平台架构设计、项目管理等工作;陈玲,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络规划研究工作。