

5G农村广覆盖低成本建设方案研究

Research on Low-cost Construction Scheme for 5G Rural Wide Coverage

范天伟¹,王慧东²,王 森²,尤 扬²,郭希蕊³(1. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;3. 中国联通研究院,北京 100048)

Fan Tianwei¹, Wang Huidong², Wang Sen², You Yang², Guo Xirui³(1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 3. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

5G网络覆盖的快速扩张对国内运营商的建设投资带来了巨大的压力,农村地区普遍存在业务收入不高、投资回报低等问题,因此在农村场景推进低成本建设是必由之路。从广覆盖频谱策略出发,结合低成本技术手段提出了低成本完善5G农村广覆盖的建设方案,为各运营商5G网络建设提供参考。

关键词:

5G;广覆盖;低成本;基站功分;基站劈裂;直放站
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.10.002
文章编号:1007-3043(2023)10-0006-06
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:

The rapid expansion of 5G network coverage has brought enormous pressure to the construction investment of domestic telecom operators, while there are common problems in rural areas such as low income and insufficient investment returns. Therefore, low-cost construction is necessary in rural areas. From the tactic of wide coverage spectrum and combining low-cost technological means, a low-cost and comprehensive construction scheme for 5G rural wide coverage is proposed, which provides reference for the 5G network construction for various operators.

Keywords:

5G; Wide coverage; Low cost; Base station power division; Base station splitting; Repeater station

引用格式:范天伟,王慧东,王森,等. 5G农村广覆盖低成本建设方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(10):6-11.

0 前言

随着5G网络建设迈入第5个年头,中国5G用户数实现了飞速增长,5G的覆盖需求正逐步由人口密集的城市区域向着地域广阔、人口分散的农村场景延伸;此外农村区域5G行业应用也在快速推广,数字农业助力农民亩产增收,远程医疗为留守老人、儿童寻医问药提供了便捷通道,农村电商直播振兴了乡村经济、扶助脱贫。但我国农村地域广大,丘陵、山区等地形条件复杂,农村5G网络建设存在建设投资大、维护成本高等问题,且农村业务收入普遍不高,投资回报

低。运营商作为数字基础设施建设的国家队,不能因为这些问题忽视农村的5G覆盖需求,因此低成本建设对完善农村广覆盖、补齐5G覆盖“短板”至关重要。

1 5G农村广覆盖低成本建设思路

1.1 频谱策略

为建设覆盖广、能力强、体验优、效能高的5G网络,需要根据场景特点选择差异化的频谱策略,通过做好频率协同来降低网络建设投资。国内主要运营商在5G网络上都拥有多个频段的频率资源,但在农村广覆盖场景都选择通过低频完善打底覆盖+中高频吸热的网络架构,通过频率协同来降低网络成本。

低频较中高频而言在网络覆盖方面有着天然优

收稿日期:2023-09-01

势,具有传播损耗低、穿透能力强的优质特性,因此覆盖同样的区域面积,中高频基站所需规模达到了低频基站的3~4倍(见图1)。

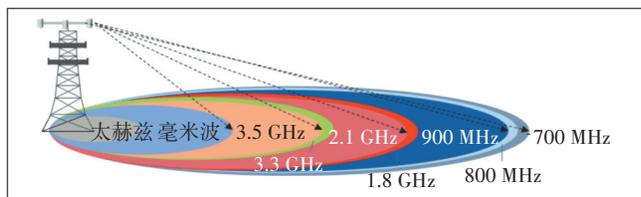


图1 移动通信不同频率覆盖效果对比

但低频也有其缺陷,由于国内主要运营商低频频谱资源有限,相较中高频的5G网络而言,低频5G的缺点就是速度“慢”、容量“小”。也正是源于此,从节省投资的角度来说,低频更适合覆盖需求更广、业务需求较低的农村区域的大范围连续组网。图2所示为国内运营商5G低频频谱资源现状。

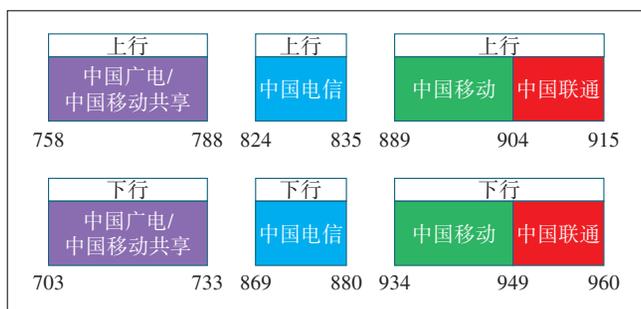


图2 国内运营商5G低频频谱资源现状(单位:MHz)

1.2 建设思路

农村5G网络的低成本建设在充分考虑频谱策略的基础上,还应立足于网络精准规划,采用场景化的低成本技术手段进一步降低投资。在规划目标的指引下,综合考虑单站覆盖效果评估、现网站址资源获取等因素,通过单站造价的精准计算和网运成本的精确测算,围绕“TCO最优”的目标确定站点建设方式,灵活选择多样化的低成本建设方式。

低成本建设要关注低成本技术手段带来的单站覆盖收缩及网络容量减少,避免一味使用低成本手段却增加了站点建设规模,在带来单站投资节省的同时,却使得网运成本增长或网络质量下降,造成整网TCO实际上的增加。

2 广覆盖场景低成本技术手段

2.1 基站功分

2.1.1 技术原理

针对用户数较少且容量需求较低的农村场景,可

结合周边用户分布及覆盖需求,将4T4R主设备RRU的每个通道通过功分器分成2路或3路,并将每一路分别接入一副低频4端口天线,使得单个RRU能够实现2个或3个扇区信号覆盖的效果,从而降低单站的设备投入。

后续随着覆盖区域业务负荷的不断提升,可通过新增RRU设备实现对站点的升级扩容(潜在扩容区域建议提前考虑无线配套利旧问题)。

2.1.2 覆盖效果

通过对主设备4T4R RRU的功分,可在逻辑小区数量不变的前提下通过连接多副天线实现多扇区覆盖效果,提升单RRU的覆盖范围;但受功分器引入的插损等因素影响,RSRP会下降4~7 dB,单小区的覆盖范围会收缩20%~40%。

基站功分后在近点处对用户速率感知影响较小,但在中远点由于RSRP的下降会引起用户速率感知下降,尤其是用户上行速率下降较多。因此需结合站点覆盖需要,有针对性地选择基站功分方案。同时,基站功分后对覆盖效果影响较大,建议在覆盖目标约500 m范围内采用三功分方案,在覆盖目标约1 000 m范围内采用二功分方案。图3所示为基站功分覆盖效果对比。

2.2 基站劈裂

2.2.1 技术原理

基站劈裂是指将4T4R RRU的4个收发通道分成2组,每组的2个通道分别接入一副2端口天线(部分潜在热点区域可预留4端口电调天线),从而通过单个RRU实现了2个2T2R物理扇区的信号覆盖效果,减少了单站的设备投入,降低工程造价。

将单个4T4R RRU劈裂为2个2T2R物理扇区,小区参数配置可采用如下2种方案。

方案1(推荐):在参数设置上,将4T4R的RRU配置为2个小区,每个小区1个TRP,每个TRP配置为2T2R。该配置方案后续可能会产生额外的2T2R小区载扇License费用。

方案2:在参数设置上,4TR RRU仍配置为一个4T4R小区,通过馈线交叉连接使1个RRU的信号通过2个天线覆盖2个扇区方向,这2个方向同为1个4TR小区,从而减少1个RRU的部署。因LTE终端对Port0和Port1测量RSRP,每个厂家算法都不一样,有的取最大值,有的取最小值,有的取平均值。如果采用该配置方案,终端测量到的RSRP有可能无法表征网络小

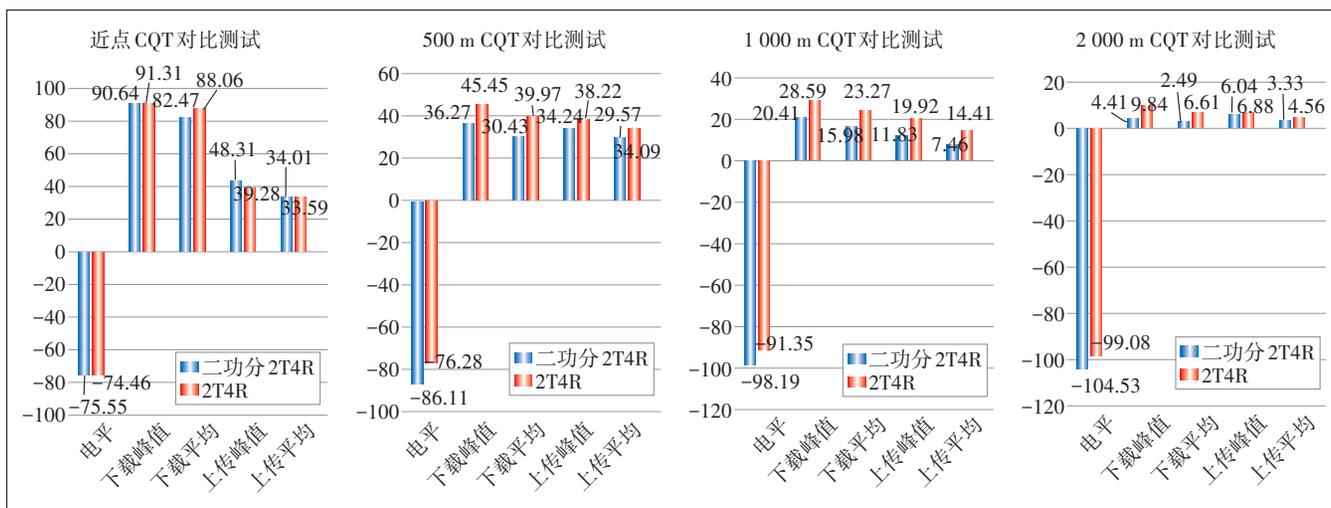


图3 基站功分覆盖效果对比

区实际的覆盖情况,从而导致移动性问题。

针对方案2需要说明的是,在LTE制式下,4T4R的RRU在配置成一个逻辑扇区的情况下,1/2/3/4这4个RRU通道所对应的天线端口模式按顺序为“0,1,2,3”(内部端口天线映射模式配置),当天线端口映射模式配置为0和1时,这个通道才会参与无线信号的解调;因此在实际部署中需调整参数,将RRU的4个通道(1/2/3/4顺序)的内部端口天线映射模式从默认的“0,1,2,3”更改为“0,3,1,2”,以使2个物理扇区能够实现正常覆盖。

后续随着覆盖区域业务负荷提升,可对站点进行升级改造,通过增加RRU来进一步提升覆盖和容量。

2.2.2 覆盖效果

将一个4T4R RRU劈裂成2个2T2R小区后,2T2R相比4T4R平均电平降低3 dB左右,同点位下行速率下降12%~44%,上行速率下降28%~50%。测试数据如表1所示。

2.3 低频光纤直放站

2.3.1 技术原理

光纤直放站由接入单元和远端单元组成。接入单元将NR信源的下行射频信号通过有线耦合方式接入数字光纤直放站系统,转换成数字信号后,经光电转换为光信号后传至远端单元。同时,将远端单元上传的数字信号转换成上行射频信号,通过有线方式传回信源。射频接入单元需支持对所属远端单元进行远程监控管理功能。

远端单元将射频接入单元下发的数字信号转成射频信号,实现5G的无线覆盖;同时将无线接收的上

表1 基站劈裂覆盖效果对比

测试情况	平均SS-RSRP/dBm	平均SS-SINR/dB	平均下行速率/(Mbit/s)	平均上行速率/(Mbit/s)
点位1-4T4R	-97	24	27.7	6.8
点位1-2T2R	-100.2	22.7	24.3	4.9
对比	-3.2	-1.3	-12.27%	-27.94%
点位2-4T4R	-102.9	18.9	23.8	4.2
点位2-2T2R	-105	16.9	20.6	3
对比	-2.1	-2	-13.45%	-28.57%
点位3-4T4R	-107.5	15.3	9.5	2.2
点位3-2T2R	-110	11.1	7.2	1.4
对比	-2.5	-4.2	-24.21%	-36.36%
点位4-4T4R	-112.7	12.7	7.2	1
点位4-2T2R	-116.2	9.5	4	0.5
对比	-3.5	-3.2	-44.44%	-50.00%

行射频信号转成数字信号传至接入单元。远端单元部署于塔顶(直流供电)或野外(交流供电),采用共小区的形式对信源基站附近的自然村落进行延伸覆盖。

2.3.2 覆盖效果

低频光纤直放站主要用于农村等低业务量场景,容量需求相对不大,因此2T2R可作为数字直放站最佳性价比上限规格。

双通道光纤直放站速率可以达到MIMO的性能,由于与宏网覆盖区共享容量,因此平均速率会比单纯宏网覆盖速率低。

2.4 低频无线直放站

2.4.1 技术原理

数字无线直放站将5G信源的下行射频信号通过无线耦合的方式接入无线直放站,低噪声放大之后转

换成数字信号进行数字化处理,再转换为射频信号经功率放大后实现5G信号的无线覆盖;同时用户信号通过无线接收的方式进入数字无线直放站系统,经数模转换/数字处理/功率放大后,经无线方式传回信源。

2.4.2 覆盖效果

低频无线直放站主要为1T1R 1×20 W单通道设备,通道功率低,覆盖距离有限,并不能作为广覆盖使用。同时,无线直放站存在固有干扰,易对大网维护优化带来风险。但对于光纤敷设难度大和成本高的偏远农村,偏远山区的学校、工厂、自然村等低业务量局部区域的单点覆盖,无线直放站性价比较高。

2.5 背包通道扩展设备

2.5.1 技术原理

背包通道扩展设备为一种功分与劈裂融合的技术方案,通道扩展采用多级电桥级联方式实现RRU四端口到天线六端口的映射;并能够根据不同小区话务负荷,各扇区间动态共享功率和天线端口资源。

基站建设时仅需1个4TR RRU、1套4进6出通道扩展背包单元和3副常规的2端口板状天线,就能够实现3个2T2R扇区信号覆盖的效果(见图4)。

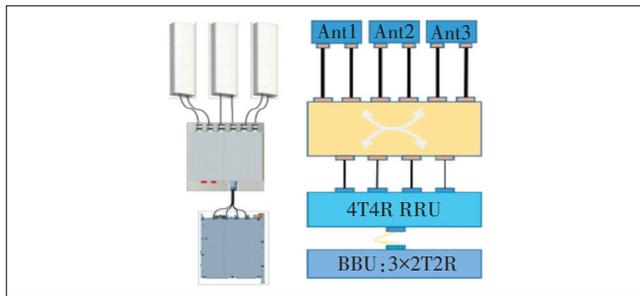


图4 背包通道扩展设备组网连接示意

扩展单元:基站输入端口4个,输出端口为6个,基站中的3个端口分别与3个天线的其中一个端口映射,基站的第4个端口,则根据业务情况和预测情况在3个天线的剩余端口灵活切换。

基站与扩展单元同步:切换信息的同步通过天线电调口与扩展单元相连,无需另外供电,扩展单元内部根据接收到RRU的信息来切换通道。

2.5.2 覆盖效果

背包通道扩展设备较传统4T4R设备三扇区组网上行覆盖减少约4.8 dB,覆盖收缩约为33%;容量上因为动态实现3×2TR,约为传统站型的66%(见图5)。

2.6 6TR RRU多扇合一

2.6.1 技术原理

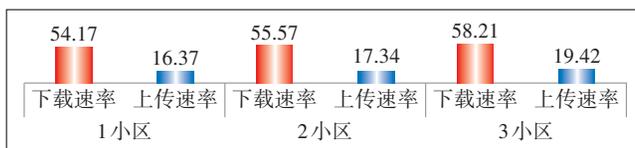


图5 背包通道扩展设备试点站测试用户体验速率(Mbit/s)

6TR RRU多扇合一技术支持将1个6TR RRU作为3个2TR使用,通过一个RRU即可实现3个扇区覆盖,每个扇区均可实现2TR。基站建设时仅需1个6TR RRU和3副常规的2端口板状天线,就能够实现3个2T2R扇区信号覆盖的效果。

2.6.2 覆盖效果

6TR RRU多扇合一技术方案较传统4T4R设备3扇区组网上行覆盖减少3 dB,覆盖收缩约为20%;容量约为传统站型的80%。

2.7 广覆盖场景技术手段对比

针对目前广覆盖场景的6种低成本建设技术手段,从覆盖效果、容量、造价3个维度与S111三扇区标准站进行对比分析,初步总结出各种技术手段的特点和关键指标,并给出了使用场景的初步建议(见表2)。

3 低成本建设工程应用建议

3.1 低成本手段建设站点选取

农村区域由于地形差异大、人口分布不均等原因,需要结合地域特点灵活选择建设方式。人口潜力较大的行政村覆盖需求优先使用S111标准站建设,人口较少、分布散落且地形较为复杂的区域应通过低成本手段提升投资效率,实现投资效益的最大化。

低成本建设主要针对低业务量农村及交通连接线,因此可从场景归属、覆盖目标、地形特点、业务量等维度进行分析,选取适合推广低成本手段的站点(见图6)。

场景归属:对“五高一地两美”(“五高”:高校区域、高速公路、高架桥区域、高铁区域、高层区域;“一地”:地铁区域;“两美”:美景区域、美食区域)等重保场景和厂矿、工业园区等高业务场景不考虑使用低成本建设。

覆盖目标:按照线覆盖和面覆盖分别梳理,针对线覆盖区分是否兼顾覆盖周边区域农村人口。

地形特点:平原和草原区域结构性站点不考虑低成本建设,仅对补点站考虑。

业务量:参考友商的业务量和覆盖区域人口数据进行业务预测,根据业务量门限选择是否进行低成本

表2 广覆盖场景低成本建设手段技术特性对比

对比项目	标准站 (S111, 3个4T4R扇区)	创新低成本手段			传统低成本手段		
		背包通道扩展设备 (3个2T2R扇区)	6TR RRU多扇合一 (3个2T2R扇区)	基站功分(三功分, 3个4T4R扇区)	基站劈裂(2个2T2R扇区)	光纤直放站(1拖3; 3个2TR覆盖扇区)	无线直放站(1个远端; 1个1TR覆盖扇区)
覆盖	基准覆盖:1	覆盖衰减4.8 dB 半径收缩33%	覆盖衰减3 dB 半径收缩20%	覆盖衰减4.8 dB 半径收缩33%	覆盖衰减3 dB 半径收缩20%	覆盖衰减3 dB 半径收缩20%	发射功率低,覆盖半径仅为300~500 m
容量	基准容量:1	容量减少为S111标准站的0.5~0.65	容量减少为S111标准站的0.8	容量减少为S111标准站的0.33倍	容量减少为S111标准站的0.5倍	复用主站容量(射频耦合)	复用主站容量(无线耦合)
单站造价	8.5万元(主设备6万元,配套及施工2.5万元)	预估≥6.5万元(主设备相比S111标准站节省2个RRU,约2万元;单个6TR RRU相比4TR RRU成本提高50%;配套及施工不变)	预估≥7万元(主设备相比S111标准站节省2个RRU,约2万元;单个6TR RRU相比4TR RRU成本提高50%;配套及施工不变)	5.5万元(主设备相比S111标准站节省2个RRU及2个载波License,共计约3万元;配套及施工不变)	5.3万元(主设备相比S111标准站节省2个RRU及2个载波License,共计约3万元;配套相比标准站从4端口减少为2端口,且少一副天线,约节省2000元)	2.93万元(按1拖3组网,近端机900元,远端机2800;配套及施工2万元,改用900 MHz低配2端口天线)	1.87万元(按1个1TR 900 MHz远端机3700元;配套及施工1.5万元,增加施主天线,发射天线改用900 MHz低配2端口天线)
适用场景	连片组网,广覆盖场景,常规城区乡镇农村	点覆盖,当前流量不高且有全向覆盖需求的农村场景	面覆盖,更广范围的低成本建网场景,如一般农村及离散行政村场景	点覆盖,用户少且容量需求低的点状覆盖农村场景	线覆盖,低业务量农村交通线路等,或带状分布农村覆盖场景	点覆盖,低业务量偏远农村场景(光缆传输资源已达的区域)	点覆盖,低业务量偏远农村场景(光缆铺设难度大、成本高的区域)

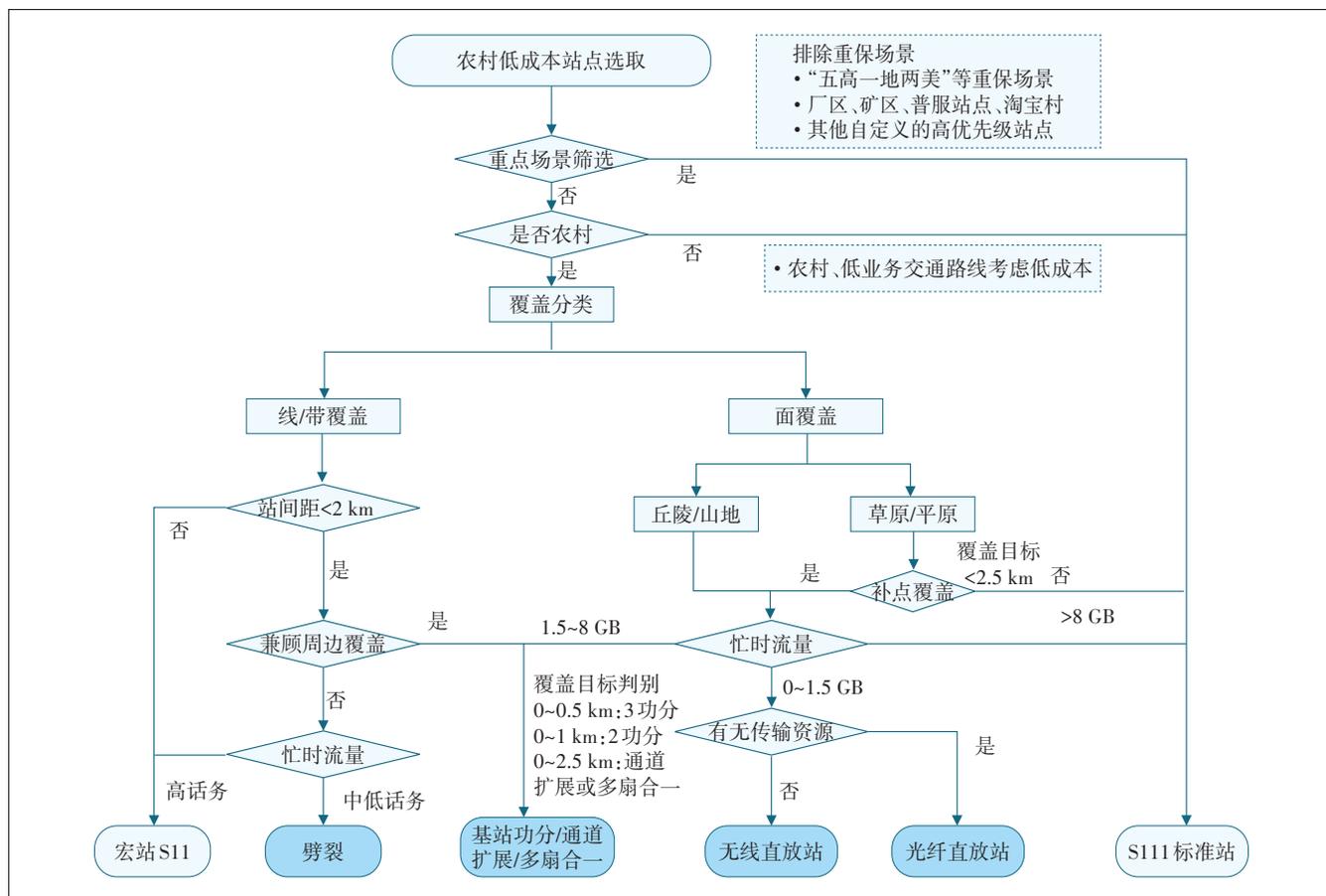


图6 广覆盖场景低成本建设站点选取思路

建设。

由于低成本建设方式是通过牺牲部分设备性能达到降低成本的目的,存在覆盖范围的收缩和网络容

量的缩减;因此站点选取应结合图6中的思路、现网铁塔站址资源储备和规划目标等因素综合考虑,避免因覆盖收缩造成广覆盖站址建设数量的增加,在节省投

资的同时造成了网络运行成本的增长,总体TCO不降反增。

3.2 低成本建设技术适用场景建议

在农村广覆盖场景低成本建设站点选取出来后,可根据站点周围人口分布、覆盖目标、传输资源是否到达等因素,灵活选择功分、劈裂和直放站等方案。

对于用户少且容量需求低的点状分布的行政村,一般考虑对覆盖行政村方向的扇区使用非功分RRU覆盖,满足人口相对聚集区域的容量需求;另外1个RRU二功分覆盖其他2个人口散落的扇区(见图7)。

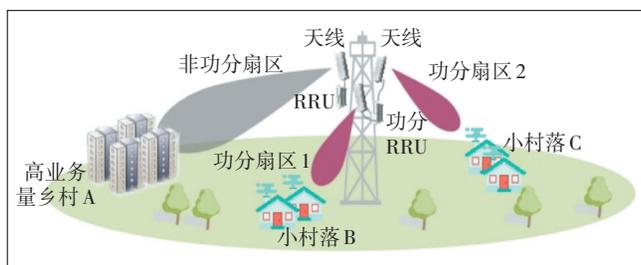


图7 基站功分方案组网示意

对于由于地形(狭长的山谷)等原因造成农村人口带状分布,或者业务量较低的交通连接线等场景,优先考虑通过基站劈裂进行覆盖(见图8)。

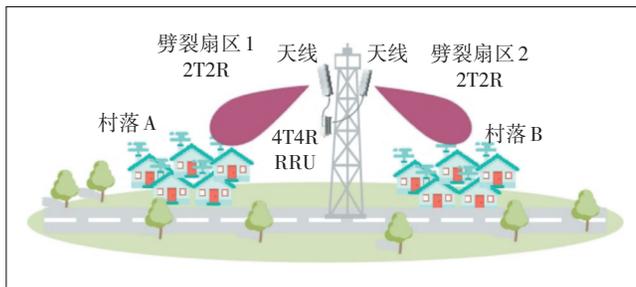


图8 基站劈裂组网覆盖示意

直放站由于自身无容量(复用主站容量),因此一般用于更为偏远、人口更为稀少的农村广覆盖场景,并结合光缆到达情况选择光纤直放站或无线直放站;无线直放站更适合用于受山体等地形阻挡因素形成的局部覆盖盲区的建设需求(见图9)。

背包通道扩展设备和6TR RRU多扇合一等创新

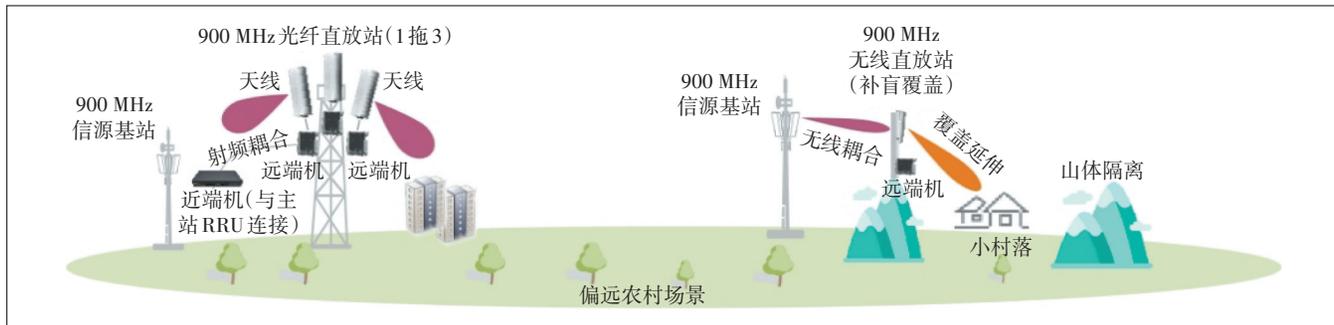


图9 光纤/无线直放站组网覆盖示意

的低成本设备技术,因为容量较传统的低成本技术手段有一定优势,但造价略高;因此可根据覆盖区域的用户规模、市场发展潜力等因素进行综合选择。

4 结束语

随着5G网络覆盖的不断延伸,低成本建网成为现阶段网络建设关注的重点,行业也不断有新型的低成本设备和技术推出。本文通过对传统低成本技术和新型低成本设备的对比分析,给出了场景化低成本完善农村广覆盖的建议,为运营商降低5G网络建设投资、快速完善5G网络覆盖提供了参考。

参考文献:

[1] 刘毅,刘红梅,张阳,等.深入浅出5G移动通信[M].北京:机械工

业出版社,2019.

[2] 何家爱.5G基站规划建设的难点探讨[J].信息通信,2018(11):226-227.

[3] 杨峰义,张建敏,王海宁,等.5G网络架构[M].北京:电子工业出版社,2017.

[4] 刘毅,刘红梅,张阳,等.深入浅出5G移动通信[M].北京:机械工业出版社,2019.

作者简介:

范天伟,工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划方面的研究工作;王慧东,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络规划设计方面的研究工作;王森,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划设计方面的研究工作;尤扬,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划设计方面的研究工作;郭希蕊,高级工程师,硕士,主要从事无线通信相关方面的研究工作。