

基于两级接力的 5G 海域超远覆盖创新实践


Innovation Practice of 5G Ultra-far Coverage of Sea Area Based on Two-site Relay

何明¹, 韩纬禧¹, 沈大鹏² (1. 中国联通广东分公司, 广东 广州 510630; 2. 中国联通阳江分公司, 广东 阳江 529500)
He Ming¹, Han Weixi¹, Shen Dapeng² (1. China Unicom Guangdong Branch, Guangzhou 510630, China; 2. China Unicom Yangjiang Branch, Yangjiang 529500, China)

摘要:

海洋覆盖的关键是站点的海拔高度, 对于沿海以平原为主的地区, 常规手段难以实现5G海域超远覆盖。提出一种基于两级接力的5G海域超远覆盖方案, 通过在海上平台部署海基站, 与陆地岸基站实现两级接力的方式实现海域超远覆盖, 并通过实测验证了方案的有效性。

关键词:

5G; 海域覆盖; 超远覆盖; 两级接力; 海基站
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.006
文章编号: 1007-3043(2024)01-0024-05
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:

The key factor of sea coverage is the altitude of the site. For coastal areas dominated by plains, it is difficult to achieve 5G ultra-far coverage by conventional means. A 5G ultra-far coverage scheme based on two-site relay is proposed, which realized ultra-far coverage of sea area by deploying sea-based station and realizing two-site relay with land-based stations. Finally, the effectiveness of the scheme is verified by tests.

Keywords:

5G; Sea coverage; Ultra-far coverage; Two-site relay; Sea-based station

引用格式: 何明, 韩纬禧, 沈大鹏. 基于两级接力的5G海域超远覆盖创新实践[J]. 邮电设计技术, 2024(1): 24-28.

1 概述

国家“十四五”规划提出加快建设海洋强国, 给海洋经济发展带来宝贵机遇。各运营商积极贯彻国家战略, 加快网络技术与应用场景创新, 满足海上能源、海洋牧场、渔船监管、海岛安全、海上搜救等相关领域5G网络需要, 如何结合实际地理环境制定网络覆盖方案具有重要意义。

业内对于如何通过陆地岸基站实现海洋5G超远覆盖进行了广泛的研究^[1-6], 包括频段选择、传播模型、站址及天线挂高、天线类型、基站及终端功率和

PRACH接入格式等方面。

除了从陆地进行海洋5G超远覆盖方案外, 业内对海洋立体覆盖方案也进行了探讨。文献[7-10]提出了利用海洋设备的覆盖解决方案、NTN技术与5G网络融合解决方案、星地协同智能海洋通信网络解决方案和空中基站等多中心组网等解决方案, 但因成本过高或技术条件不成熟等原因, 近期均不具备落地条件。

从陆地岸基站实现海洋5G超远覆盖的关键是站址高度, 但对于沿海以平原地形为主的区域, 因缺乏足够的高海拔站址, 如何进行5G海洋覆盖是亟待解决的难题。本文提出以陆地岸基站为主, 海洋相关平台的海基站为辅的两级接力方案, 并通过实测验证, 为相关省份实现5G海域覆盖提供参考。

收稿日期: 2023-11-24

2 5G 海域覆盖关键要素

现有研究成果将5G海域覆盖的关键要素归纳为基站天线高度、双工制式、频段站型、高增益天线四大类^[2,5-8,11],本文在现有研究成果的基础上补充了高性能终端要素,具体如下。

2.1 基站天线高度

无线电波在海平面传播时,传播信号主要包括经过空间传播的直达波和经过海平面反射的反射波,由于传播损耗小,不能继续将海平面看作平面,需要考虑地球曲率对信号传播的影响。在海域传播模型中,传播路径越大,受地球曲率影响越大,反之则越小。基站信号超过视距传播范围后,路径损耗会急剧增加导致通信中断。如图1所示,从A段到B段再到C段,信号衰减幅度逐步加大,因此,实现海域超远覆盖需要保证通信区域在基站视距范围内,即A段和B段范围内。

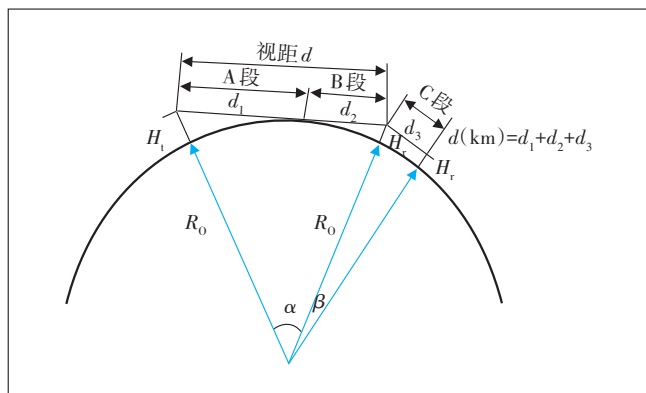


图1 地球曲率影响示意

根据传播理论可知,基站视距范围 d 可由式(1)来计算:

$$d = \sqrt{(H_1 + R_0)^2 - R_0^2} + \sqrt{(H_r + R_0)^2 - R_0^2} \quad (1)$$

其中, H_1 是基站天线高度,该高度为天线架设物高度加上所在建筑的海拔高度; H_r 是终端架设高度, R_0 是地球半径。由于 R_0 远大于 H_1 和 H_r ,基站视距范围 d 可简化为式(2):

$$d \approx \sqrt{2R_0} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_r}) \quad (2)$$

由于地球半径是常量,基站视距范围与基站天线高度和终端架设高度有关。一般来说,基站天线高度越高,视距范围越大,站点覆盖越远。可见基站天线高度是海域超远覆盖的首要关键因素,此外对于具备条件的船只,通过适量增加CPE终端高度也可以提升

覆盖范围。海域覆盖视距范围估算如表1所示。

表1 视距范围估算(单位:km)

天线高度/ m	终端高度				
	1 m	3 m	5 m	10 m	15 m
30	26.7	29.7	31.8	35.6	38.6
50	33.3	36.3	38.4	42.2	45.1
100	45.4	48.4	50.5	54.3	57.2
150	54.6	57.6	59.7	63.5	66.5
200	62.4	65.5	67.5	71.3	74.3
300	75.5	78.6	80.6	84.5	87.4

2.2 双工制式

由于TDD制式的上行和下行在同一个频段,NR/LTE系统影响因素主要有PRACH的循环前缀(Cyclic Prefix, CP)、保护间隔(Guard Period, GP)和序列码(Sequence, SEQ)。由于终端到网络的距离是不确定的,为了保证不同终端到达基站的上行同步,CP和GP的长度越长代表可容忍的时延越大,覆盖距离也就越远;SEQ越具备鲁棒性,覆盖距离也就越远。PRACH不同格式支持的覆盖半径如图2所示。

FDD由于上行频段和下行频段分离,在超远覆盖方面相比于TDD存在一定优势,可作为海域超远覆盖的首选制式。

2.3 频段站型

频段和带宽直接影响海域覆盖距离和容量,对低频、中频不同频段和设备类型对应的容量进行测算和覆盖距离进行链路预算,结果如图3和图4所示。

从图3和图4可以看出,2.1 GHz能够同时兼顾覆盖和容量,可作为海域覆盖的首选频段;3.5 GHz具有带宽大、系统容量高的特点,可作为近海区域或2B业务的容量补充;900 MHz覆盖距离远,但容量较小,可作为航线等超远距离覆盖的补充。

2.4 高增益天线

常规板状天线的水平波束宽度一般是 65° ,水平覆盖面积大但覆盖距离相对较近。而龙伯透镜天线和高增益板状天线水平波束变窄,垂直波束增加,对于线覆盖场景相比传统方案在法线方向覆盖更远;但龙伯透镜天线单波束水平覆盖范围较小,需要结合多波束和多RRU信源合并覆盖,单点建网成本高,需结合总体建网方案灵活选择。

2.5 高性能终端

相比于普通商用终端,专用的CPE终端可带来5 dB的天线增益,对应覆盖范围能扩展10 km左右,在

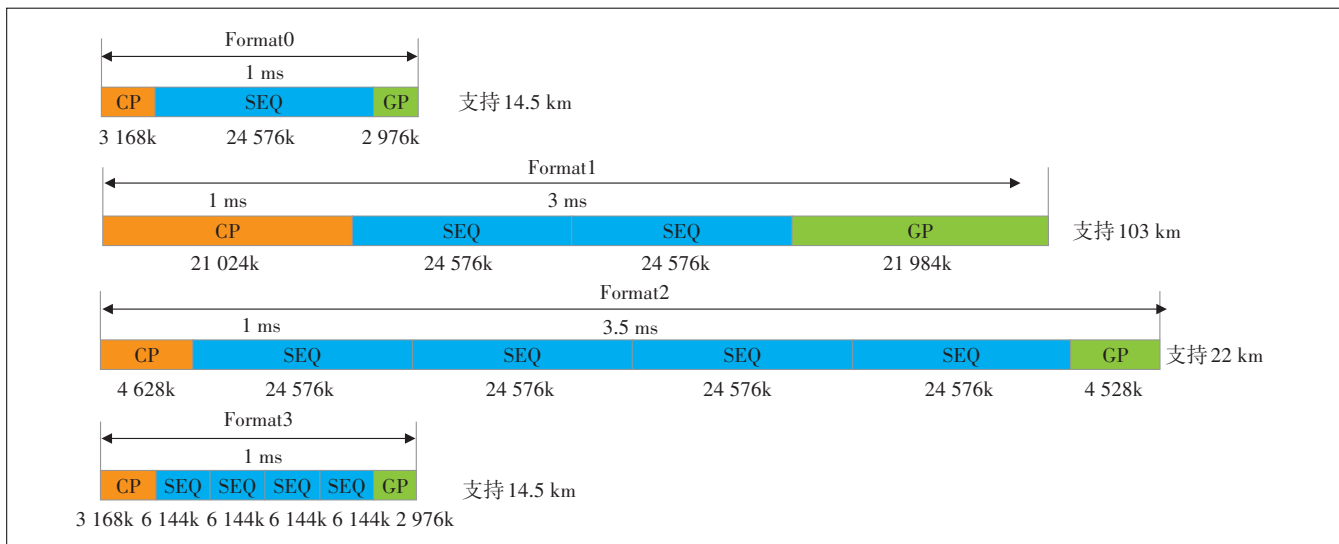


图2 PRACH不同格式支持的覆盖半径示意

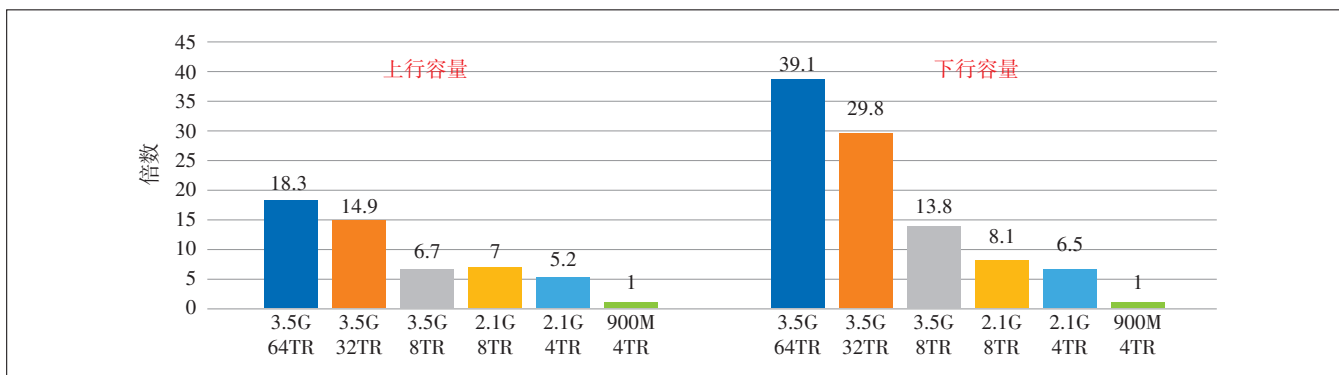


图3 不同频段和设备类型系统容量对比(系统仿真)(倍数)

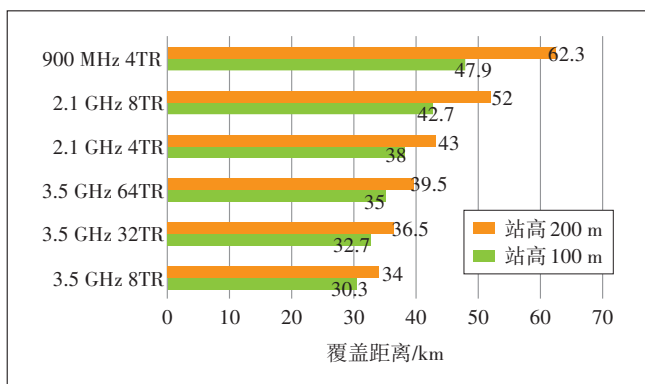


图4 不同频段和设备覆盖距离链路测算

2B 应用场景可以提升网络覆盖和服务能力。专用 CPE 终端在不同频段的能力如表 2 所示。

3 基于两级接力的5G海域覆盖方案

本文提出一种通过岸基站和海基站的两级接力

表2 专用CPE终端能力

频段	3.5 GHz	2.1 GHz	900 MHz
发射功率/dBm	26	23	23
发射天线	2T	1T	1T
接收天线	4T	4T	4T
天线增益/dB	5	5	5

实现5G海域超远覆盖的方案,而部署海基站的最大挑战是平台、引电和传输3个要素。

3.1 海上平台

海上风电需要通过风电升压平台,将风电机组的输出电压升高到更高等级电压方可运送至陆地。海上风电升压平台通常距岸边20~60 km,高度一般超过20 m,大型升压平台可超过40 m,具备220 V交流电接入条件,由于部署了海底光电复合缆,同时也具备传输接入条件,可作为部署海基站的理想平台。在海上风电升压平台部署海基站示意如图5和图6所示。



图5 海上风电升压平台示意

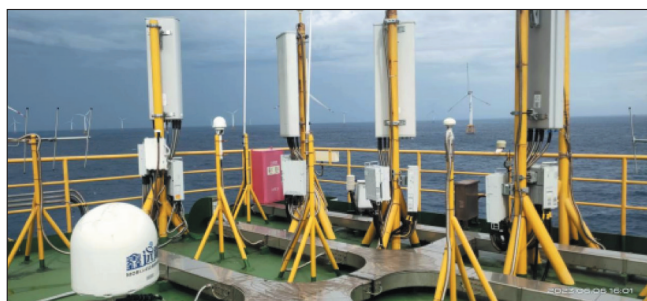


图6 海上风电升压平台部署海基站示意

风电升压平台海基站设备可以采用2.1 GHz+900 MHz协同组网,天线选型根据周边海域风电升压平台的密度,若单点覆盖距离在10 km以内,选取普通板状天线即可。

3.2 无人岛

对于未部署固定平台的海域,如果在15~30 km范围内的海域有无人岛或类似岛屿,可考虑将该岛屿作为海基站的部署平台,来满足如鹰眼监控等渔政、海巡的需求。

3.2.1 引电

无人岛一般不具备常规引电条件,建议通过太阳能供电加锂电储能的方案满足海基站的引电需求。引电解决方案包含基站耗电量预估、光伏系统和锂电储能系统3个部分。

无人岛海基站所需总耗电量 W_H 由式(3)计算:

$$W_H = W \times h \times (d + 1) \quad (3)$$

其中, W 为海基站所有设备负载功率之和, h 为一天工作时间, d 为最长连续阴雨天数。假设某海基站所有设备负载功率为800 W,一天工作时间为24 h,海基站部署区域最长连续阴雨天数为1天,无人岛海基站总所需耗电量 W_H 为38 400 Wh。

光伏系统需要的太阳能发电光伏组件数量 N 可由式(4)计算:

$$N = \text{Int} \left[\frac{W_H / (\eta \times h')}{W_p'} \right] + 1 \quad (4)$$

其中, W_H 为海基站所需总耗电量, η 为光伏发电的系统效率,当前一般为0.8, h' 为全年最差光照月份的每天平均值,即全天光照折算到满功率发电的时长,业界经验值为2.97, W_p' 为单块光伏组件的标准功率,单晶硅光伏组件转换效率比多晶硅光伏组件更高,业内标准水平为单块540 Wp,光伏组件数量需向上取整。上述例子中海基站所需总耗电量为38 400 Wh,代入式(4),可得所需光伏组件数量 $N=30$ 。一块刀片光伏控制器可管理8块光伏组件,则上述例子需要4个刀片光伏控制器。

锂电储能系统的锂电池数量 M 可由式(5)计算:

$$M = \text{Int} \left[\frac{(W_H - W \times h') / k}{48 \times A_{H'}} \right] + 1 \quad (5)$$

其中, W 乘以 h' 为极端条件下光伏系统日发电量,所需总耗电量与极端条件下光伏系统日发电量的差值就是锂电池需提供的电量, k 是锂电池的放电效率,一般取0.8, $A_{H'}$ 为一个锂电池的容量,一般取100 Ah。锂电池数量需向上取整,将 $W_H=38 400$, $W=800$, $h'=2.97$, $A_{H'}=100$ 代入式(5),可得所需锂电池数量 $M=10$ 。

在实际部署过程中,如海基站可部署光伏组件数量受限,则需根据式(3)~(5)测算对应所需总耗电量,以便选择对应无线及传输等有源设备。

3.2.2 传输

无人岛往往不具备光纤接入条件,而卫星传输带宽有限且建设运营成本高,建议通过微波方案来满足海基站的传输接入需求。微波传输根据所选工作频段和带宽容量分为长距离微波、中距离微波和短距离微波3类,如表3所示。

表3 微波分类

微波	长距离微波	中等距离微波	短距离微波
传输距离/km	10以上	5~10	2以内
工作频段/GHz	5~26	26~42	71~86
传输容量/(Gbit/s)	1~2	10	10~20

海上微波与陆地上微波不同,一是海上基本无阻挡物,二是海面反射系数较大,此外需考虑大气吸收损耗、云雾衰减及海面水汽蒸发的影响^[12]。如海基站与陆地微波传输视线良好,可选择视距(LOS)微波;如

海基站与陆地微波站的菲涅尔区可能存在障碍物, 为保证传输的稳定性, 需考虑非视距(NLOS)微波。

除基本的传输容量、带宽、时延和同步等要求外, 建议非视距微波设备满足以下功能要求, 以应对海洋传输环境的挑战。

a) 动态频谱选择和频谱优化, 可探测来自其他系统的干扰, 避免与干扰信道同频, 选取干扰水平最低的发射和接收信道, 根据电磁环境变化进行无损自动频率切换, 提升系统抗干扰能力。

b) 动态带宽分配, 为提高海上微波带宽利用率, 微波系统可以根据实际业务传输的需要, 进行动态的上下行带宽分配, 以达到业务所需带宽。

c) 支持空间分集技术, 能够克服海面风平浪静时形成的镜面反射干扰和波涛起伏时形成的多径干扰。

d) 支持高性能多路点对点连接模式, 单个中心站至少支持2个以上远端站接入。

4 测试结果验证

某岛是一个距陆地 20 km 的无人岛, 该岛再向远海方向 10~20 km 区域有风电升压平台, 风电业主方对附近海域有覆盖需求, 因此在该岛和中节能、中广核风电升压平台共部署 3 个海基站, 无线设备选取 2.1 GHz 4TR RRU, 天线选取常规板状天线, 5G 小区带宽配置为 20 MHz。3 个海基站的工参信息如表 4 所示。

因某岛为无人岛, 其海基站采用光伏组件阵列和锂电储能系统, 通过太阳能发电; 传输采用非视距微波设备(频段为 5.8 GHz, 传输带宽为 450 M), 具备动态频谱优化、动态带宽分配、空间分集技术 etc 能力。

表 4 海基站工参信息

站点名称	经度 $^{\circ}$	纬度 $^{\circ}$	天线型号	挂高/m	方向角 $^{\circ}$	站间距
中节能升压站	112.168 00	21.447 002	中低频 8 口天线 17.5 dBi	39	90/170/270	离中广核升压站 8.6 km, 离某岛 11.3 km
中广核升压站	112.236 58	21.490 860	中低频 8 口天线 17.5 dBi	39	120/200/330	离中节能升压站 8.6 km, 离某岛 8.9 km
某岛	112.181 55	21.550 900	中频 4 口天线 17.5 dBi	225	70/325	离中广核升压站 8.9 km, 离中节能升压站 11.3 km

海基站开通前, 该海域在某岛附近存在弱覆盖区域, 且无主小区覆盖, 信号质量较差。海基站开通后对该海域进行了 91 km 的详细海测, 全程 RSRP>-105 dBm 且 SINR>-3 dB 的良好采样点比例达 96.5%, 下行平均速率为 45 Mbit/s, 上行平均速率为 13 Mbit/s。该岛北侧海洋牧场区域和风电升压平台海域均实现良好覆盖。通过陆地岸基站加海基站两级接力方案, 该海域成功实现 40 km 以上的连续超远覆盖。

5 结束语

本文提出一种通过陆地岸基站和海上海基站的两级接力实现 5G 海面超远覆盖的方案, 通过研究解决海基站平台、引电和传输问题实现海基站的有效部署, 可成功实现 40 km 以上海域的连续良好覆盖。

海域覆盖还需考虑台风、高盐、高湿等恶劣环境影响, 需持续研究如何提升海洋覆盖网络设备的健壮性, 以便未来结合实际业务需要进行规模部署。

参考文献:

[1] 许瑜超. 广电 5G(700 MHz)海面超远覆盖关键技术与测试[J]. 广播与电视技术, 2021, 48(9): 21-26.
[2] 蒙波. 基于 2.1 GHz 频段的 5G 海面超远覆盖的探讨[J]. 广西通信技术, 2021(4): 49-52.

[3] 黄海旭. 5G 海面超远覆盖解决方案研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10): 22-25.
[4] 周善将. 基于 5G 超远覆盖技术的研究与实践[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(10): 34-40.
[5] 郑洪振, 高黎明. 多频多波束龙伯透镜天线在海域覆盖场景下的应用[J]. 移动通信, 2022, 46(3): 87-92.
[6] 马丹, 牟军, 马云刚, 等. 5G 网络海面超远覆盖技术分析及应用[J]. 邮电设计技术, 2022(10): 1-6.
[7] 潘都, 马向辰, 高松涛, 等. 5G 海域立体覆盖关键问题研究[C]. 5G 网络创新研讨会(2022)论文集. 2022: 211-215.
[8] 黄劲安, 黎德卿. 基于 5G 网络的超远覆盖方案探讨[C]. 5G 网络创新研讨会(2022)论文集. 2022: 343-348.
[9] 冯伟, 唐睿, 葛宁. 星地协同智能海洋通信网络发展展望[J]. 电信科学, 2020, 36(10): 1-11.
[10] 张海君, 苏仁伟, 唐斌, 等. 未来海洋通信网络架构与关键技术[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(4): 384-391.
[11] 冯焱彬, 温国曦. 智慧海洋, 通信先行——5G 海面超远覆盖技术及应用场景探究[J]. 通信世界, 2022(16): 47-49.
[12] 郑晖. 5G 承载带来的挑战与微波技术应对策略研究[J]. 通信与信息技术, 2020, 244(2): 50-53.

作者简介:

何明, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线网络规划建设工作; 韩伟禧, 工程师, 硕士, 主要从事无线及宽带接入网络规划工作; 沈大鹏, 工程师, 学士, 主要从事海洋专网规划建设等工作。