

# 5G海面覆盖立体组网方案研究

## Research on Stereoscopic Networking Scheme of 5G Sea Surface Coverage

徐永杰, 吴玉华, 李思聪 (中国移动通信集团山东有限公司, 济南 250001)

Xu Yongjie, Wu Yuhua, Li Sicong (China Mobile Group Shandong Co., Ltd. Jinan 250001, China)

### 摘要:

国家高度重视海洋发展,海洋科技已成为主攻方向,蕴含着巨大潜力。结合电磁波海面传播的特点,研究了基于改进SPM模型的海面视距传播模型,分析了频率选择、站址及挂高、天线类型、基站功率和接入信道格式等影响海面传播的五维根因,提出了“高低频+高矮站”组合的立体组网方案,助力海洋经济数字化转型。

### 关键词:

无线通信;海面;5G;传播模型

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.005

文章编号:1007-3043(2023)03-0022-05

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 state attaches great importance to marine development. Marine science and technology has become the main direction and contains great potential. Combined with the characteristics of electromagnetic wave sea surface propagation, it studies the sea surface line of sight propagation model based on the improved SPM model, analyzes the five-dimensional factors affecting sea surface propagation, such as frequency selection, station location and hanging height, antenna type, base station power and access channel format, and puts forward the three-dimensional networking scheme of "high and low frequency + high and low stations" to help the digital transformation of marine economy.

### Keywords:

Wireless communication; Sea surface; 5G; Propagation model

引用格式:徐永杰,吴玉华,李思聪. 5G海面覆盖立体组网方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(3):22-26.

## 0 引言

700 MHz频段作为国内通信最低频段,具备传播损耗低、覆盖面广、穿透力强、组网成本低等优势<sup>[1]</sup>,且这些优势在5G时代尤为突出。与中高频段相比,700 MHz能够实现更广的5G信号覆盖。

中国是海洋大国,近年来沿海渔业、航运、海上旅游业发展迅速,海域数据通信需求日益增多。但因海

域辽阔,覆盖成为主要限制因素,用常规的网络建设手段难以实现良好的广域覆盖。700 MHz频段相比其他5G频段具有更低的频率,有更好的覆盖,700 MHz相比4G频段有更大的带宽,可以提供更高的容量和峰值速率。因此700 MHz频段更加符合海面超远覆盖需求。

## 1 传播模型建立

### 1.1 SPM模型

由于海面传播损耗很小,信号可以传播到很远的

收稿日期:2023-01-13

海面上。此时,地球不能再看作平面,即考虑地球曲率将对信号传播产生影响。对于海面超远覆盖,海面传播模型为如图1的分段模型,此模型即为视距模型<sup>[2]</sup>。其中, $H_t$ 为站点天线距离海平面高度, $H_r$ 为接收机距离海平面高度, $d_1$ 、 $d_2$ 和 $d$ 分别为海面传播模型A、B和C段距离,Re为地球等效半径(8 500 km)。

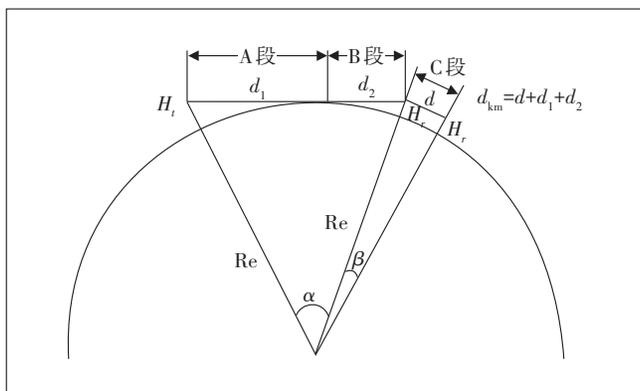


图1 海面视距模型

电波传播模型是用来预测电磁波传播损耗的模型,其参数受地貌、环境等因素影响很大,因此需要对不同区域使用不同的传播模型参数。常用的海面电磁波传播模型是基于 COST231-Hata 模型提出的 SPM 模型<sup>[3]</sup>,将模型中的各参数设置为经验值,并设置接收机天线高度 $H_m$ 为 5 m,电磁波频率 $f_c$ 为 700 MHz,SPM 模型在基站天线有效高度 $H_b$ 为 30 m 的条件下仿真结果和实际海面测试数据对比如图2所示。

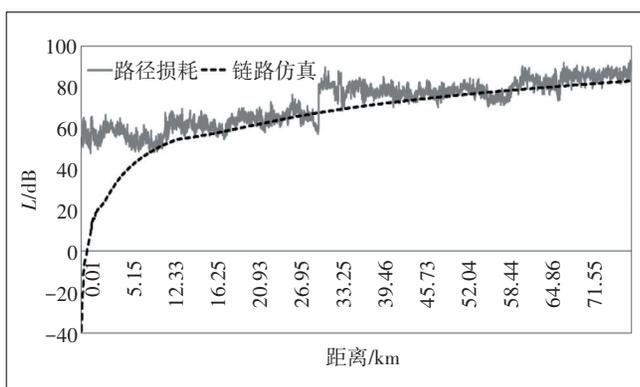


图2 SPM模型仿真结果与实际海面测试对比

从图2可以看出,SPM模型仿真曲线与海面实际测试损耗在前5 km的误差较大,在5 km后总体趋势相似,但是SPM模型仿真值略小于实际测试损耗。分析其中原因,可能是受海面特点影响。海上降雨较多,雨衰对电磁波的损耗比较严重;海面障碍物少,反射

系数大,电磁波反射损耗较大。因此,需要针对海面特点,改进传播模型。

## 1.2 改进 SPM模型

### 1.2.1 雨衰

雨衰是雨滴对电磁波的吸收与散射造成的电磁波衰减<sup>[4]</sup>。根据参考文献[5], $kR^\beta$ 为传播路线各点的降雨衰减率,传输距离为 $h$ ,其中指数 $\beta$ 和 $k$ 为HPM (High Power Microwave)模型<sup>[6]</sup>中的指数,降雨衰减与路线各点降雨衰减率 $kR^\beta$ 的关系为

$$L_h = \int_0^h kR^\beta dh \quad (1)$$

其中, $L_h$ 为雨衰, $R$ 为当地降雨强度。从式(1)可以看出,传播距离越大、降雨强度越大,雨水对电磁波的衰减就越大。

### 1.2.2 反射损耗

在海面电磁波传播的前段,海面上的信号可以看作由直射波和反射波组成,采用反射模型<sup>[7]</sup>来计算信号的反射损耗。设基站高度为 $H_b$ ,接收机天线高度为 $H_m$ ,基站和接收机间的直线传输距离为 $d$ ,电磁波波长为 $\lambda$ ,根据参考文献[5]可以得到反射损耗为:

$$L_r = 10 \lg \left\{ \frac{\left( \frac{4\pi}{\lambda} \right)^2}{2 - 2 \cos \left( \frac{4\pi H_b H_m}{\lambda d} \right)} \right\} \quad (2)$$

当 $H_b$ 为 30 m, $H_m$ 为 5 m时, $f_c$ 为 700 MHz和 $f_c$ 为 2.6 GHz反射衰落损耗仿真曲线如图3所示。由图3可以看出,700 MHz在前1 km的反射损耗较大,2.6 GHz在前3 km反射损耗较大。

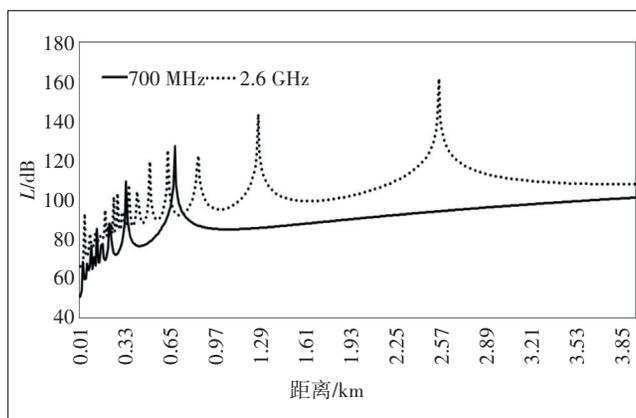


图3 海面反射损耗仿真

综上,在SPM的基础上,加入降雨衰减、反射损耗模型的影响,改进传播模型,如式(3)所示。

$$L = \begin{cases} L_s + L_h + L_r + a & 0 \text{ km} \leq d \leq 3 \text{ km} \\ L_s + L_h + b & d > 3 \text{ km} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $L$  为海面传播损耗,  $L_s$  为 SPM 传播损耗,  $L_h$  为雨衰,  $L_r$  为反射损耗,  $a$  和  $b$  为修正参数,  $d$  为基站与接收机的直线距离。

## 2 影响海面覆盖的因素

### 2.1 频段选择

频段越高路径损耗会越大, 因此, 应该尽可能采用低频段信号覆盖海面。基于中国移动目前用于 5G 建设的频段只有 700 MHz 和 2.6 GHz 2 个频段, 建议采用 700 MHz 频段作为 5G 海面覆盖的主频率。

### 2.2 站址及天线高度

由于海面电磁波传播基于视距模型, 因此从图 4 可以看出, 基站及天线高度对传播距离影响较大, 但过高则容易接收到广大区域内的电磁信号形成干扰。故实际挂高应根据具体情况, 权衡利弊。

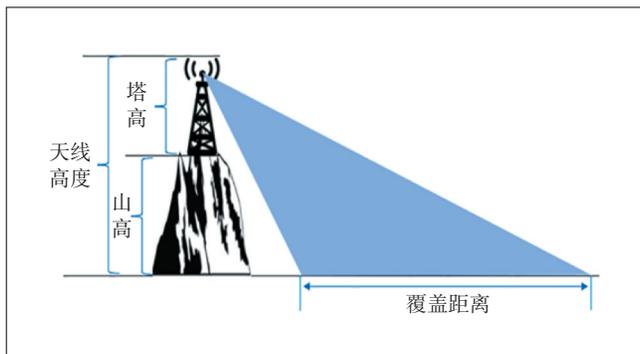


图 4 基站高度示意图

### 2.3 天线类型

对于近海海域连续覆盖的场景, 覆盖范围较大, 建议选择水平面半功率角为  $90^\circ$  的天线来覆盖。对于特定场合, 如航道覆盖等, 也可以根据目标覆盖区域分布情况选用  $65^\circ$  或更窄波束的天线。

海面覆盖站一般为大功率超高站点, 为减少对周围陆地站的干扰, 可选择前后抑制比高 (建议大于 30 dB) 的天线。天线型号选择时, 需选择良好零点填充和上副瓣抑制的天线, 以避免严重的塔下黑问题。

透镜天线是一种球对称的介质透镜, 折射率是渐变的, 馈源出射的球面波经透镜之后会成为一个平面波<sup>[8]</sup>。透镜天线与平板天线相比, 具备旁瓣和后瓣小、无馈电网络损耗、迎风面小等优势。因此透镜天线是比较适合做海面覆盖的天线类型。

### 2.4 基站功率

采用大功率信源设备组网, 可从源头提升信号的功率。经过同样的空间衰耗, 接收机的接收功率会相应增加, 从而能够达到增加下行覆盖的目的。5G 700 MHz 一般采用通道功率为 60 W 的信源设备, 天线下端可通过增加塔顶放大器来增大功率。

### 2.5 接入信道格式

#### 2.5.1 随机接入前导 (Preamble)

UE 进行随机接入时, UE 需要发送随机接入前导 (发射的信号称为 Preamble, 即前导), 基站通过测量 Preamble 获得其与 UE 之间的传输时延, 发送命令来对齐 UE 的发送定时, 从而实现基站与 UE 的同步过程。Preamble 为一个脉冲信号, 结构组成如图 5 所示。在时域上, Preamble 包括循环前缀  $T_{CP}$ 、前导序列  $T_{SEQ}$  和保护间隔  $T_{GT}$ 。

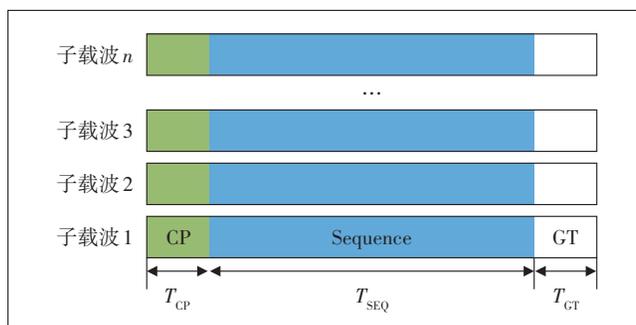


图 5 随机接入前导结构示意图

循环前缀  $T_{CP}$  时长可以用来消除多径传输引起符号间干扰; 前导序列  $T_{SEQ}$  的长度和重复次数的差异决定了 Preamble 解调性能; 保护间隔  $T_{GT}$  与小区的覆盖半径相关。

#### 2.5.2 Preamble 的格式类型

700 MHz 频率在协议中被规定为 FDD 双工模式, 为了满足无线网络不同的覆盖需求, 协议定义了随机接入前导格式, 不同的随机前导格式决定了一个随机接入信道占用的时域资源及小区的覆盖范围, 如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 短格式覆盖接入半径都较小, 对于海面超远覆盖需考虑使用长格式。NR FDD 不受上行时隙时长限制, 支持格式 1, 理论覆盖接入半径超过 100 km, 可以满足海面超远覆盖的场景。

## 3 组网规划

### 3.1 立体组网方案

表1 5G NR Preamble 格式支持小区半径列表

Format 格式	序列长度/符号	时域总/ms	最大小区半径/km
0	839	1	14.5
1	839	3	100.1
2	839	3.5	21.9
3	839	1	14.5
A1	139	0.14/2 <sup>μ</sup>	0.937/2 <sup>μ</sup>
A2	139	0.29/2 <sup>μ</sup>	2.109/2 <sup>μ</sup>
A3	139	0.43/2 <sup>μ</sup>	3.515/2 <sup>μ</sup>
B1	139	0.14/2 <sup>μ</sup>	0.585/2 <sup>μ</sup>
B2	139	0.29/2 <sup>μ</sup>	1.504/2 <sup>μ</sup>
B3	139	0.43/2 <sup>μ</sup>	1.757/2 <sup>μ</sup>
B4	139	0.86/2 <sup>μ</sup>	3.867/2 <sup>μ</sup>
C0	139	0.14/2 <sup>μ</sup>	5.351/2 <sup>μ</sup>
C2	139	0.43/2 <sup>μ</sup>	9.297/2 <sup>μ</sup>

在海岸线附近的沿海区域会有码头、沙滩、浴场等人流量密集的区域,海面覆盖还需考虑近海区域的高质量覆盖。因此提出近海远海立体规划方案,如图6所示,高站覆盖远海,矮站提升近海网络质量。

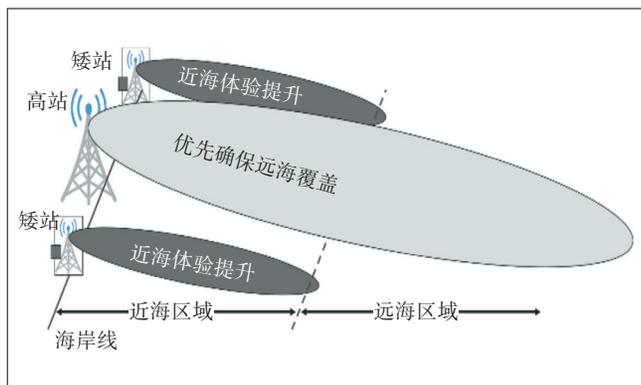


图6 立体组网方案示意图

### 3.2 立体组网规划流程

基站覆盖效果随距离会有较大差异,因定义近海范围,分层制定业务目标。对沿海基站的工程参数进行收集整理,筛选适合做海面覆盖的站点,并明确每个站点的覆盖范围,区分近海远海候选站址。距离陆地越远,覆盖能力越差,因此远海注定无法得到类似近海的体验。远海瞄准低数据量业务,需要保证覆盖和干扰,确保中长期VoNR可演进。针对近海区域,需要保证覆盖、干扰和体验,确保用户上网体验良好,可适当规划2.6 GHz频段确保容量和体验。规划后仿真考察近远海规划效果是否满足业务目标,不断迭代调整,寻找最优规划方案。立体组网规划流程如图7

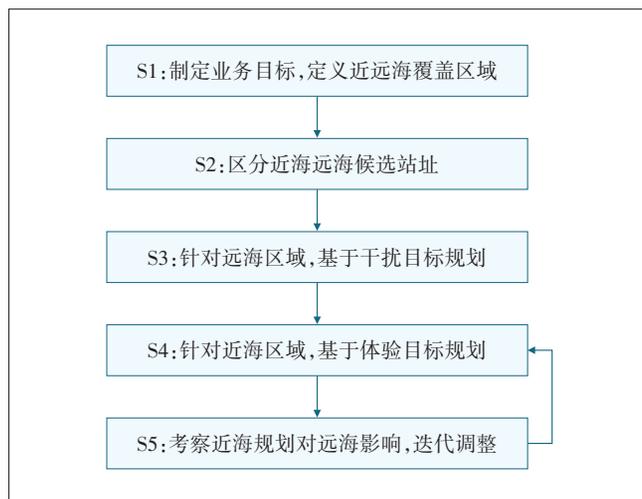


图7 立体组网规划流程

所示。

## 4 试点案例

### 4.1 覆盖仿真

在环境建模方面,采用具备海拔高度和建筑物高度的电子地图,在传播模型方面采用了改进的SPM模型进行模拟计算,在天线方面,采用了城区700 MHz窄波束天线,并采用700 MHz立体组网方案。

集合站点工参选取46处700 MHz站点,依据海域覆盖距离需求,精准评估选取合理站址高站(天线挂高+海拔大于100 m)站点10个,进行远海覆盖;一般站点(天线挂高+海拔小于100 m)36个,保障近海连续覆盖。仿真结果如图8所示。



图8 立体组网覆盖结果

### 4.2 设备及参数调整

依据站高及地形情况,调整天馈主瓣方向精准衔接,其中,10处远海覆盖站点,平均站高为216 m,机械倾角均为0°,电子倾角为0~2°;近海站点36处,平均站

高为58 m,平均倾角为2°。

在接入信道格式方面,在网管上将选取的46个站点的接入信道格式改为格式1,开启基站超远覆盖特性。更改前需检查依赖功能是否开启,互斥功能是否关闭;更改后需检查更改小区是否激活,小区半径取值是否大于14 500 m。

### 4.3 干扰应对

700 MHz频段上行干扰主要来源于中国广电的干扰,最高干扰值达-90 dBm左右,严重影响上行传输质量与覆盖距离。干扰的应对方法主要有以下2步。

干扰源确定:通过对后台数据波形分析和干扰小区分布,确定了干扰来源于中国广电的DS37干扰;有2个广电发射塔影响了测试区域的海面覆盖站点。通过后台分析结合前台扫频,确认干扰方向,协调降低中国广电电视塔的发射功率,减小对700 MHz基站覆盖影响。

干扰协调:优先协调中国广电关闭干扰源,在不能关闭的情况下,协调中国广电降低发射功率,中国广电的发射功率从1 000 W降低至300 W后,干扰强度从-90 dBm下降到-110 dBm。

### 4.4 测试结果

上网体验方面,定点平均下载速率223.28 Mbit/s,拉网平均下载速率198.45 Mbit/s。全程微信、短视频、浏览网页等业务体验流畅。语音通话方面,采用VoNR技术,定点语音接通成功率为100%,拉网语音接通成功率为100%,全程高清语音通话不掉线,通话质量清晰不卡顿。测试结果如图9所示。

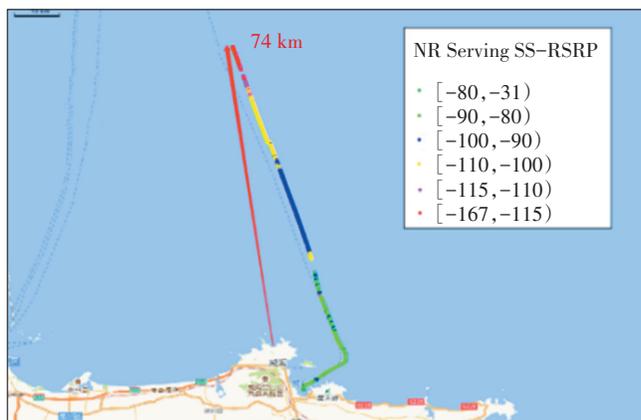


图9 海面覆盖测试结果

## 5 结束语

从海面的实测数据和试点案例的效果来看,改进

的SPM模型与实际结果拟合程度较高,并且从组网方案的实际实施结果来看,效果显著,可实现76 km海面超远覆盖效果,满足海面无线网络建设的基本需求,对之后近海海域5G网络全覆盖建设具有较大的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 胡刚,冯志强,杨柳. 700M NR覆盖能力分析[C]//5G网络创新研讨会(2020)论文集. 北京:TD产业联盟,2020:184-188.
- [2] 陈超. 海洋大气波导环境下电磁波视距传播特性研究[D]. 南京:南京邮电大学,2013.
- [3] POPOOLA S I, ATAYERO A A, FARUK N, et al. Standard propagation model tuning for path loss predictions in built-up environments [C]//Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017. Cham:Springer,2017:363-375.
- [4] CAPSONI C, LUINI L, PARABONI A, et al. A new prediction model of rain attenuation that separately accounts for stratiform and convective rain[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(1):196-204.
- [5] 胡正,陈褒丹,任佳,等. 基于改进SPM的海上NB-IoT覆盖研究[J]. 通信学报,2019,40(4):21-32.
- [6] BENFORD J, SWEGLE J A, SCHAMILOGLU E. High power microwaves[M]. New York:Taylor & Francis,2007.
- [7] KANG S F, WANG H G. Analysis of microwave over-the-horizon propagation on the sea[C]//2009 Asia Pacific Microwave Conference. Singapore:IEEE,2009:1545-1548.
- [8] 宋锴,王晓琦. 基于新型龙伯球多波束天线的高密度组网方法[C]//2018陕西省通信学会“学术金秋”年会论文集. 西安:陕西省通信学会,2018:163-167.
- [9] 陈杨,杨芙蓉,余扬尧. 5G覆盖能力研究[J]. 通信技术,2018,51(12):8.
- [10] 崔新凯,李豪,高向川,等. 2.6 GHz下的5G NR覆盖能力分析[J]. 电信科学,2019,35(8):104-110.
- [11] 许瑜超. 广电5G(700MHz)海面超远覆盖关键技术与测试[J]. 广播与电视技术,2021,48(9):6.
- [12] 陈会刚,梁文磊,马玉涵,等. 基于700MHz 5G技术实现近海覆盖探究[J]. 山东通信技术,2022,42(1):3.
- [13] 诸葛一鸣,冯光,刘敬刚,等. 中国广电700M频段5G近海覆盖项目实践[J]. 广播与电视技术,2021,48(1):4.
- [14] 孟书源,曾昭山,曹阳阳,等. SUL超级上行技术解决方案研究[J]. 移动信息,2021(4):0034-0035.
- [15] 卜斌龙,林学进,孙全有. 5G宏网天线覆盖解决方案及现网融合技术[J]. 移动通信,2019,43(4):5.

### 作者简介:

徐永杰,毕业于山东大学,高级工程师,主要从事无线网络规划优化工作;吴玉华,毕业于合肥工业大学,高级工程师,主要从事无线网络规划优化工作;李思聪,毕业于南京邮电大学,工程师,主要从事无线网络规划优化工作。