

5G 海域超远覆盖技术研究与实践

5G Maritime Ultra-long Range Coverage Technology Research and Practice

邱斌,梁宁(中国电信股份有限公司深圳分公司,广东深圳518029)
Qiu Bin,Liang Ning(China Telecom Co.,Ltd. Shenzhen Branch,Shenzhen 518029,China)

摘要:

主要研究了5G网络海域超远覆盖的关键技术,分析了海域超远覆盖中存在的主要问题、5G频段的传播差异性以及站址高度对覆盖距离的影响,着重研究了TDD时隙结构调整、T+F时频双聚合对基站覆盖能力、上行链路健壮性的提升等,提出并使用Longley-Rice模型对2.1 GHz和3.5 GHz进行了覆盖仿真,最后通过工程实践验证了方案的有效性,为海域覆盖场景提供了参考和借鉴。

关键词:

5G;海域覆盖;超远覆盖;超级上行;T+F时频双聚合;Longley-Rice
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.11.009
文章编号:1007-3043(2024)11-0050-08
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:

This paper mainly studies the key technologies required for 5G networks in ultra-long coverage scenarios in maritime areas. It analyzes the main challenges of ultra-long coverage in sea areas, including the propagation differences of 5G frequency bands and the influence of site height on coverage distance. In-depth research is conducted on the key technical points of adjusting the TDD time slot structure, expanding coverage capability through T+F time-frequency aggregation to improve uplink robustness, and coverage simulations were carried out based on the Longley-Rice model for 2.1 GHz and 3.5 GHz. Finally, the effectiveness of the solution was verified through engineering practice, providing experience and reference for the coverage scenarios in marine areas.

Keywords:

5G;Sea coverage;Ultra-long coverage;Uplink switching;Time-frequency aggregation;Longley-Rice

引用格式:邱斌,梁宁. 5G海域超远覆盖技术研究与实践[J]. 邮电设计技术,2024(11):50-57.

1 概述

随着国家经略海洋的提出以及“一带一路”中“21世纪海上丝绸之路”建设的推进,数字海洋、智慧海洋、智能航运等政策也陆续出台,海洋通信的需求与必要性也日益凸显。然而,现有的海洋通信主要还是由卫星来提供,存在时延大、速率低、终端普及率低等固有缺陷,而目前的移动通信网络又无法覆盖较远海域,因此亟需通过提升现有移动通信能力,在超远海域提供良好的无线信号覆盖,以满足日益增长的海洋

经济活动需求。

2 超远覆盖制约因素

2.1 远距离传播导致电波路损大

与陆地移动通信覆盖距离多在几公里范围内不同,海域超远覆盖距离往往高达数十公里。根据电磁波自由空间传播特性,远距离传播将导致更大的路径损耗,以2.1 GHz频率为例,覆盖距离为5 km时,路损为110 dB,而覆盖距离为50 km时,路损高达132 dB,一般的工程技术难以满足海域超远覆盖的要求。为了克服高路损,在海域覆盖时,需要在站址高度、基站功率、频段和天线选择等方面进行特殊的技术设计。

收稿日期:2024-09-10

2.2 链路不平衡对上行要求高

在移动通信中,由于基站和手机在发射功率、天线和射频器件性能等方面存在较大的差异,使得前、反向链路不平衡,手机到达基站的反向链路的健壮性往往要弱于基站到手机的前向链路。在评估系统所能覆盖的最大距离时,反向链路也就成为制约系统覆盖能力的短板。尤其是在5G网络中,基站功率成倍提高,但手机功率没有提升,使得上行链路覆盖范围进一步缩小。

2.3 传播时延制约TDD覆盖能力

与频分双工的FDD双工方式不同,TDD方式需要在上、下行时隙中插入保护时长,以避免上行接收机被下行信号所干扰,而保护时长的大小直接决定了基站的覆盖范围。一般而言,下行时隙转换为上行时隙前,为避免大功率的下行信号对高灵敏度的接收机形成干扰,需要中间插入特殊时隙,特殊时隙中有一段保护时长GP,用来隔离上行干扰。在目前运营商时隙配比中,GP符号一般设为4~6个,能支持的基站覆盖范围基本不超过15 km,这制约了TDD方式下基站的覆盖能力。

3 关键技术研究

3.1 主流频段传播特性研究

在自由空间场景下,以700 MHz频段为基准,2.1 GHz频段较700 MHz频段的路损增加9.5 dB左右,3.5 GHz频段较700 MHz频段的路损增加14 dB左右。不同的路径损耗斜率对路损影响也较大,频段越高路损越大。考虑到3.5 GHz和2.1 GHz在带宽和覆盖上各有优劣,在海域超远覆盖时,建议使用NR3.5 GHz和2.1 GHz频段双频组网方式,兼顾覆盖和容量。

3.2 站址选择与天馈技术研究

基站天线实际高度是影响海面覆盖距离的直接原因,天线高度设计时需要尽量保证目标覆盖区域处于视距范围内,否则由于地球曲率影响,远端区域处于NLOS区时,信号迅速衰减,覆盖难以保证。

3.2.1 可视距离与基站天线、终端天线高度的关系

如图1所示,假设基站天线高度为 H_t ,终端天线高度为 H_r ,则

$$d = d_1 + d_2 = \sqrt{(H_t + R_e)^2 - R_e^2} + \sqrt{(H_r + R_e)^2 - R_e^2} \approx \sqrt{2R_e} \left(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r} \right) \quad (1)$$

其中 R_e 为地球等效半径,在标准大气折射情况

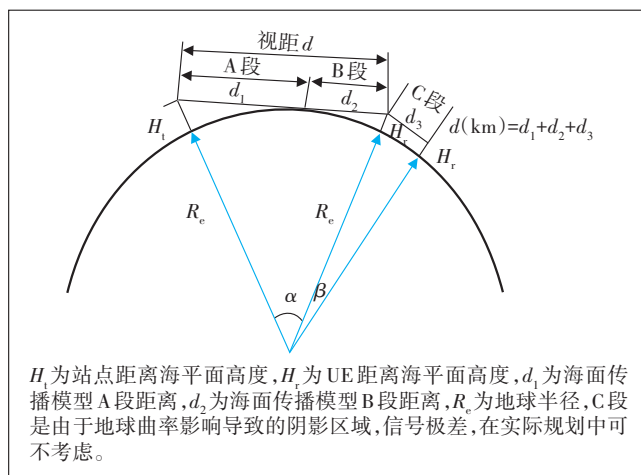


图1 视距与天线高度的关系

下, $R_e=8\ 500\ \text{km}$,则 $d = 4.12 \times \left(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r} \right) (\text{km})$ 。

3.2.2 站点高度设计

依据视距能力,要求站点高度不低于视距覆盖能力要求。针对距离公网较远的超远覆盖站点,站越高,远端覆盖越好,针对与公网接近的站点,建议略高于视距站高并预留少量余量,以降低与公网的干扰(见表1)。

表1 不同终端高度和天线高度对应的视距范围(单位:km)

天线海拔高度	终端高度				
	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m
20 m	18.4	27.6	31.5	36.9	41
30 m	22.6	31.8	35.6	41	45.1
50 m	29.1	38.3	42.2	47.6	51.7
80 m	36.9	46.1	49.9	55.3	59.4
100 m	41.2	50.4	54.2	59.6	63.8
150 m	50.5	59.7	63.5	68.9	73.0
200 m	58.3	67.5	71.3	76.7	80.8
250 m	65.1	74.4	78.2	83.6	87.7
300 m	71.4	80.6	84.4	89.8	93.9

3.2.3 基站布局选址

基站布局选址要考虑最大站崖距,避免塔下信号被遮挡。如图2所示,以法线覆盖为目标,计算对应的最大站崖距离(见表2)。

为规避崖下信号遮挡,考虑不同站高的最大站崖距,如表2所示,站点越矮,覆盖越近,距离要求越小。基于目标区域覆盖和减少遮挡,综合站点选择,建议站高小于80 m时,站崖距控制到90~270 m,对于高站(>80 m),站崖距可以适当放宽至300~450 m。

3.2.4 总倾角(机械+电子总倾角)设置

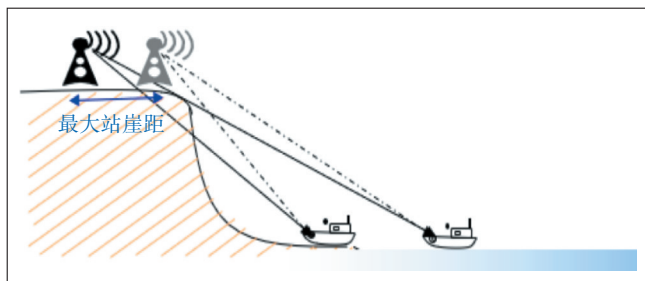


图2 站崖距与站高示意

表2 站崖距与覆盖距离的关系

最大站崖 距离/m	覆盖区域离站点距离								
	3 km	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km	50 km	
20 m	87.5	88.5	89.4	89.6	89.8	89.9	89.9	90.0	
40 m	169.7	173.8	177.1	178.2	178.7	179.1	179.3	179.7	
60 m	247.1	256.1	263.2	265.6	266.9	267.6	268.1	269.1	
80 m	320.2	335.4	347.7	352.0	354.1	355.5	356.4	358.1	
100 m	389.2	411.9	430.6	437.3	440.6	442.7	444.1	446.8	
200 m	683.3	757.5	823.8	848.4	861.3	869.2	874.5	885.4	

为保证超远覆盖区域效果,总倾角(机械+电子总倾角)建议统一设置为零度。

a) 已知下倾角,计算法线方向可覆盖的最远距离。

b) 当波束法线与地球表面切线重合时,此时为最小下倾角。

c) 当下倾角设置为 α 时,波束法线方向可覆盖的最远距离 d 可由式(2)计算:

$$d^2 + (h_{BS} + R_e)^2 - 2 \times d \times \cos(90^\circ - \alpha) \times (h_{BS} + R_e) = R_e^2 \quad (2)$$

其中 h_{BS} 为站高, R_e 为地球等效半径, α 为下倾角。

$$d) \alpha_{\min} = 90^\circ - a \sin\left(\frac{R_e}{h_{BS} + R_e}\right), \text{一般情况下倾角}$$

不应小于 α_{\min} (见图3)。

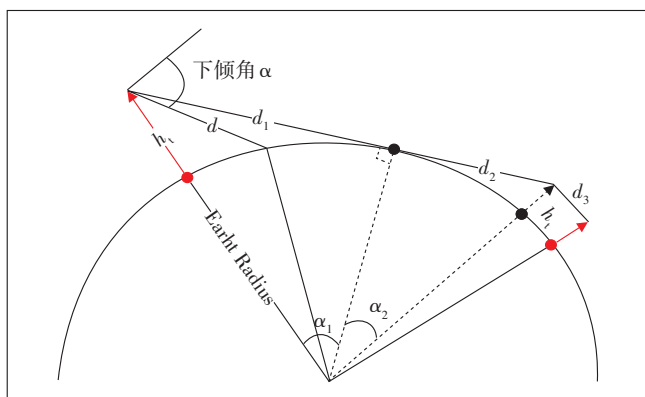


图3 下倾角的部署要求

3.3 时隙结构对覆盖距离的影响研究

5G 技术体系下,时隙结构对基站的覆盖半径的影响主要体现在以下2个方面。

- a) 接入信道格式中保护时长 GP 的长短。
- b) 特殊时隙中保护时长 GP 的长短。

其中,接入信道格式 GP 决定了接入状态下基站的接入最大半径;而特殊时隙的 GP 决定了连接状态下基站的接入最大覆盖距离。

3.3.1 GP 对接入距离的影响

PRACH 信道由 CP (Cyclic Prefix)、Preamble、GP (Guard Period) 3 个部分组成,其中 GP 为保护时长,不发送信号。基站只有在上行检测时间窗口内接收到完整的 Preamble 前导序列才能正确解调 PRACH 信息。

由于空口传播时延,终端检测下行同步信号 SSB 的时间比基站发送时间延迟了 Δt ,终端上行发送 Preamble 后到达基站时间也会延迟 Δt ,当 $2 \times \Delta t \leq GP$ 时,基站侧能正确接收 Preamble,此时对应基站支持的最大覆盖半径为: $GP/2 \times C$ (C 为光速)。

如图4所示,红色框为上行 Preamble 序列检测窗口,GP 长度大于 CP。

UE1: 基站侧上行检测到 UE1 的部分 Preamble 序列和部分 CP,合起来为一个完整的 Preamble 序列,基站侧可以成功检测。

UE2: 基站侧上行检测到 UE2 的部分 Preamble 序列和全部 CP,合起来为一个完整的 Preamble 序列,基站侧可以成功检测。

UE3: 基站侧上行检测到 UE3 的部分 Preamble 序列和全部 CP,但是合起来不是一个完整的 Preamble 序列,基站侧无法检测。

3GPP TS 38.211 定义了 NR PRACH 信道长序列的 4 种格式,因长序列的 GP 和 CP 较长,可支持更大的时延扩展和小区半径,主要用于宏站等场景。不同格式下支持的最大小区半径和典型场景如表3所示。

TDD 商用网络中,最多只有连续 2 个上行时隙,因此只能选用格式 0 进行接入,对应的小区半径为 14.5 km。

3.3.2 GP 对覆盖距离的影响

对于 TDD 系统而言,由于上下行信号均在同一频率上传播,为避免大功率的发射信号对小功率的接收信号造成干扰,采用如下 2 种机制。

a) 引入上行时间提前量 TA,保证了基站覆盖下的所有手机发送的信号都被控制在基站接收时间窗

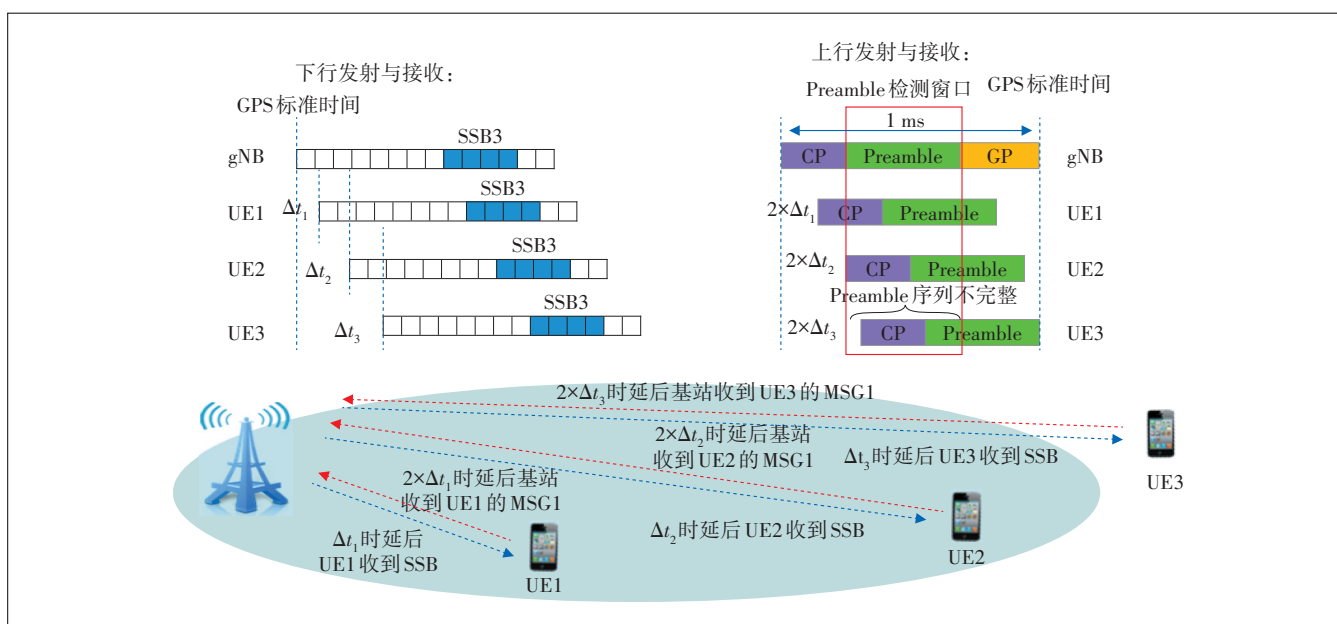


图 4 Preamble 序列检测窗口与 CP 的关系

表 3 NR Preamble 长序列格式

Format	序列长度	子载波间隔/ kHz	时域总 长/ms	占用带宽/ MHz	最大小区半 径/km
0	839	1.25	1.0	1.08	14.5
1	839	1.25	3.0	1.08	100.1
2	839	1.25	3.5	1.08	21.9
3	839	5.00	1.0	4.32	14.5

口内,不会与该基站发射的下行信号造成交叠而产生干扰。

b) 引入前反向保护间隔 GP,确保了基站在接收时间窗内,不会被周边基站的下行信号干扰,且处于覆盖边缘的手机提前发送的信号不会干扰基站发送的下行信号。

TDD 方式下双周期 7:3 时隙配比下,不同时隙结构对应的不同 GP 符号数如表 4 所示。

经计算,不同时隙结构下 GP 符号数对应的小区

最大覆盖半径如表 5 所示。

3.4 超级上行技术研究

3.4.1 基本技术原理

NR TDD 3.5 GHz 独立组网场景,因基站功率大而终端发射功率小,导致 TDD 上、下行覆盖不平衡,上行覆盖受限;同时 TDD 载波上行和下行时分复用频谱资源,用于上行的实际时频资源有限,导致用户上行体验不佳。

超级上行是 3GPP R16 版本引入的新特性,其基本原理是终端在 2 个载波(通常是低频+高频)进行上行传输的时候,通过时分的方式复用低频载波和高频载波,从而可以兼具低频穿透性好、全时隙可进行上行传输以及高频大带宽的优势,进而可以更加充分地利用上行资源,提升上行覆盖和吞吐率。

在中国电信和中国联通(下称“电联”)现网中,通过将上行数据分时复用在 SUL 频谱(2.1 GHz FDD)和

表 4 NR 时隙结构

时隙结构	NR D Slot															NR S Slot																
SS101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	U	U			
SS102	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	U	U		
SS103	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G	U	U		
SS104	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G	G	U	U	
SS105	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G	G	U	U	
SS106	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G	G	U	U	
SS1017	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U	U

表5 NR 时隙结构对应的最大覆盖半径

时隙结构	GP符号数	理论最大小区覆盖半径/km
SS101	1	1.4
SS102	2	6.8
SS103	3	12.2
SS104	4	17.5
SS106	6	28.2
SS1017	17	87.1

NUL(3.5 GHz TDD)发送。开通超级上行后,3.5 GHz+2.1 GHz 超级上行通过高低频时频联合调度,使能上行全时隙调度,使NR上行得到增强(见图5)。

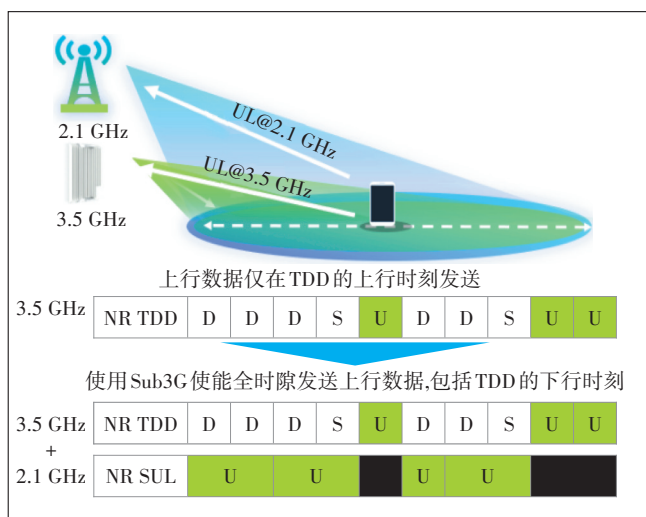


图5 超级上行工作原理

3.4.2 理论峰值对比

为了更好地评估T+F时频双聚合技术与现网普通配置的峰值,这里对基站与终端的相关参数作了普适性的规范(见表6)。

表6 增益分析条件

参数	NR TDD 3.5 GHz	NR SUL 2.1 GHz
基站天线	64T64R	4T4R
上行干扰(相对-120 dBm 抬升值)/dB	3	5
基站功率/W	200	160
带宽/MHz	100	20
终端天线	2T4R	2T
终端功率/dBm	26	23
调制阶数	256QAM	256QAM
FR1资源开销	0.08	0.08
子载波间隔/kHz	30	15
编码码率	0.926	0.926
时隙配比	7:3	-

在普通场景下,当NR TDD小区的时隙配比为7:3时,时隙结构为SS104时,由于SUL小区在TDD上行时隙不可调度,因此SUL每个子帧(10 ms)可调度的时隙只有6个(见表7)。计算得到的上行峰值速率如表8所示。

在超远覆盖场景下,当NR TDD小区的时隙配比为7:3时,时隙结构由原来的SS104变为SS1017,从而使slot3/ slot7/ slot13/ slot17的下行不可再下发DCI,减少了用户的调度机会(见表9)。

为保障TDD的调度机会,将slot6/slot16原本属于SUL的调度机会让给TDD,因此SUL每个子帧(10 ms)可调度的时隙只有4个(见表10)。SUL的满调度次数由原来的600次/s降为400次/s。则超远覆盖场景下,上行峰值速率如表11所示。

4 应用效果分析

4.1 仿真性能对比

表7 SUL普通场景下的调度

普通场景下SUL调度																				
帧号	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
TDD slot	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
NR TDD	D	D	D	S	U	D	D	S	U	U	D	D	D	S	U	D	D	S	U	U
SUL																				

表8 SUL场景下理论速率

方式	频段/GHz	带宽(使用LNR上行频谱共享)/MHz	SUL RRU	上行峰值/(Mbit/s)
TDD	3.5	100	不涉及	370
T+F	3.5+2.1	100+20	4R	500
			2R	450

海域超远覆盖选取临海山崖处部署站点,目标覆盖距离为25 km,站高为110 m,根据第3.2节的理论计算方法,该站址高度可满足该覆盖距离。

由于在海域超远覆盖场景中,电磁波传输距离远远超过城市、郊区等陆地场景,且海水的介电常数、海

表9 普通场景与超远覆盖场景下SUL调度对比

普通场景DCI调度																								
Subframe number	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		0		1	
TDD slot	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	0	1	2	3
NR TDD	D	D	D	S	U	D	D	S	U	U	D	D	D	S	U	D	D	S	U	U	D	D	S	S
NUL DCI					U ^①				U ^①	U ^①					U ^①				U ^①	U ^①				
SUL DCI																								
超远覆盖场景DCI调度																								
Subframe number	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		0		1	
TDD slot	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	0	1	2	3
NR TDD	D	D	S	S	U	D	S	S	U	U	D	D	S	S	U	D	S	S	U	U	D	D	S	S
NUL DCI					U ^①				U ^①	U ^①					U ^①				U ^①	U ^①				
SUL DCI																								

注①:PUSCH信道。

表10 超远覆盖场景下的SUL调度

超远覆盖场景SUL调度																								
Subframe number	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9					
TDD slot	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
NR TDD	D	D	S	S	U	D	S	S	U	U	D	D	S	S	U	D	S	S	U	U	D	D	S	S
SUL K2			0	1	2				3	4				5	6				7		8	9		

表11 超远覆盖场景下的峰值速率

方式	频段/GHz	带宽(使用LNR上行频谱共享)/MHz	SUL RRU	上行峰值/(Mbit/s)
TDD	3.5	100	不涉及	370
T+F	3.5+2.1	100+20	4R	413
			2R	396

面粗糙度与常规地貌相差甚远,因此,传统的电波传播模型并不适用于海域信号覆盖预测,表12为Okumura Hata模型、Egli模型和Longley-Rice模型比较。

表12 Okumura Hata模型、Egli模型和Longley-Rice模型比较

模型名称	适用频率/MHz	适用距离/km	收发天线高度/m	适用地形
Egli	40~1 000	视距	30/3	起伏波动较小的不规则地形
Okumura-Hata	150~1 920	1~100	30~200/1~10	郊区/丘陵/开阔地等
Longley-Rice	20~40 000	1~2 000	0.5~3 000	不规则地形

相对而言,Longley-Rice模型在传播距离、适用频段以及对介电常数等地貌敏感度方面具有较大优势,近年来越来越广泛地被应用于空天海这类非典型地貌的传播预测模型中。本文分别对2.1 GHz和3.5 GHz频率采用Longley-Rice模型进行覆盖仿真,结果如图6

所示。从图6可以看出,无论是3.5 GHz还是2.1 GHz信号,均能在目标海域内形成有效覆盖,相比之下,2.1 GHz的信号覆盖强度比3.5 GHz高出约5 dB。

4.2 覆盖能力对比

站点采用2.1 GHz 8T8R +3.5 GHz 64T64R AAU进行部署,BBU共框,同时配置超级上行相关策略和参数。

a) 时隙配置。TDD场景下,经特殊处理,PRACH解调增强且不修改终端,在调整时隙结构为SS1017后,小区半径最大可支持60 km。

b) 时频聚合。以FDD为SUL小区,在TDD下行时隙发送时,在SUL上同时传输上行数据,增强上行覆盖与速率。

c) 载波聚合。通过TDD+FDD下行载波聚合,在网络负荷低时提升用户下行速率。

测试结果表明,覆盖距离可达到25 km,在距离海岸15 km(深中海域交界)处,NR 3.5 GHz的信号强度约为-96 dBm, NR 2.1 GHz的信号强度约为-93 dBm,业务感知良好。在25 km(中山海岸)处, NR 3.5 GHz的信号强度约为-100 dBm, NR 2.1 GHz的信号强度约为-102 dBm,能够满足用户业务需求。

NR 2.1 GHz的测试结果如表13所示。

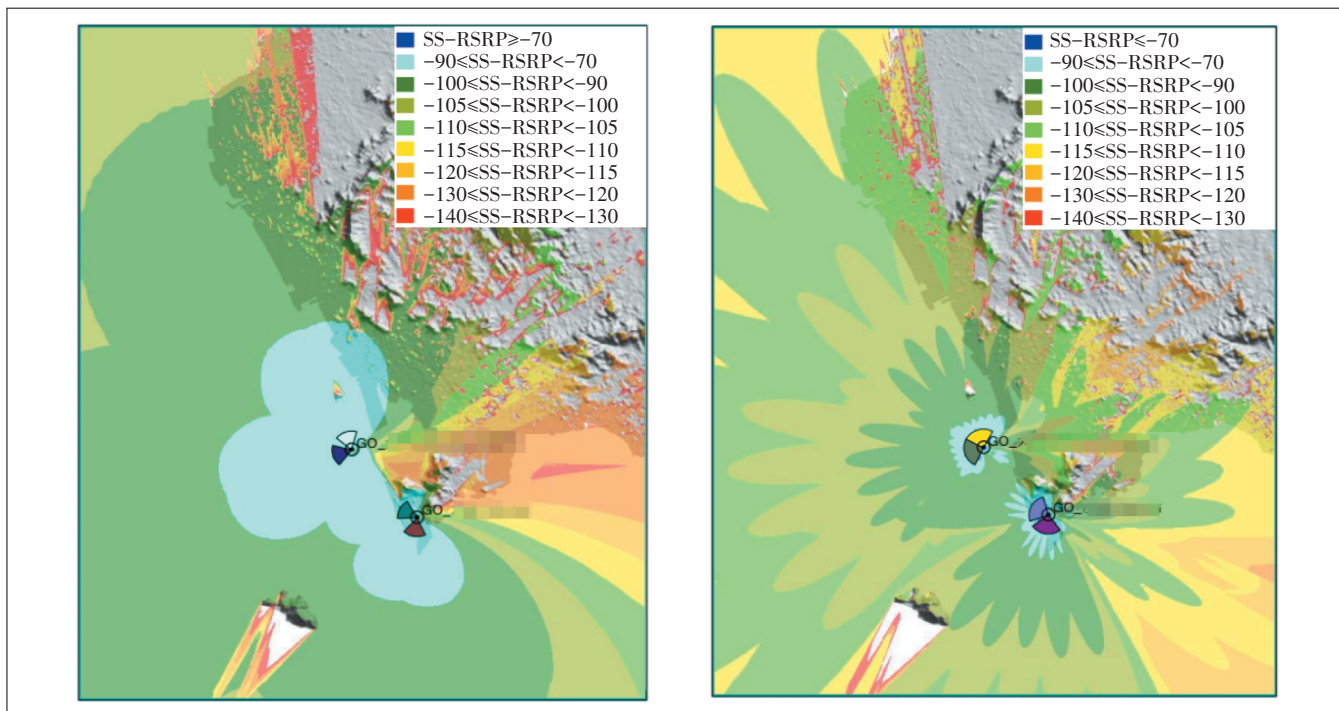


图6 Longley-Rice模型2.1 GHz和3.5 GHz NR覆盖仿真(单位: dBm)

表13 海域DT上传下载速率

KPI	NR-SS- RSRP/ dBm	NR-SS- SINR/ dB	NR覆盖率(RSRP ≥-105 dBm且 SINR≥-3 dB)/%	NR RLC DL/ (Mbit/s)	NR RLC UL/ (Mbit/s)
NR2.1 GHz 海域DT上传	-93.63	5.85	91.06	-	24.71
NR2.1 GHz 海域DT下载	-93.02	5.88	92.61	38.17	-

超远CQT覆盖测试,在距离站点25 km处做CQT定点测试,网络能满足用户业务需求(见表14)。

4.3 上行速率对比

超级上行通过高低频时频联合调度,使能上行全时隙调度,其速率对比趋势如图7所示。从图7可以看出,在全覆盖范围内,超级上行均优于常规3.5 GHz

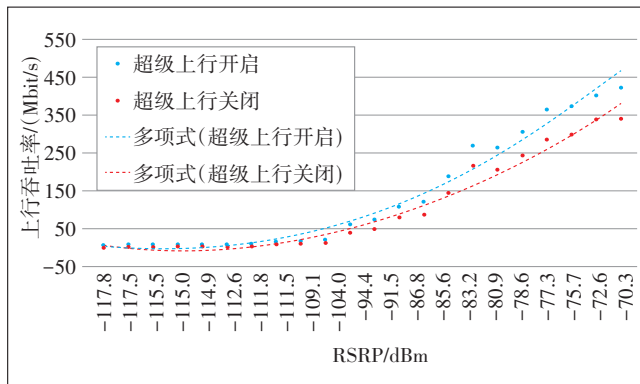


图7 RSRP与上行吞吐率的关系

单载波上行速率。

同时,超级上行与3.5 GHz相比,上行健壮性得到了提升。在开启超级上行后,相同边缘速率时,覆盖有明显提升,平均提升5 dB(见图8)。

根据实测与理论分析,T+F时频双聚合技术的增益如表15所示。

4.4 下行速率对比

对于峰值速率,开通频间下行CA,近点下行速率由897 Mbit/s提升到1133 Mbit/s,提升26%;对于边缘速率,在离站25 km处,NR2.1 GHz的平均下行速率为18.7 Mbit/s, NR3.5 GHz的平均下行速率20.5 Mbit/s, NR2.1+NR3.5时频聚合的平均下行速率为38 Mbit/s,

表14 海域25 km处CQT上传下载速率

KPI	NR-SS- RSRP/ dBm	NR-SS- SINR/ dB	NR覆盖率(RSRP ≥-105 dBm且 SINR≥-3 dB)/%	NR RLC DL/ (Mbit/s)	NR RLC UL/ (Mbit/s)
NR2.1 GHz CQT-上传	-102.40	0.91	97.39	-	1.65
NR2.1 GHz CQT-下载	-100.50	0.40	99.67	18.69	-
NR3.5 GHz CQT-上传	-99.43	12.14	100.00	-	0.43
NR3.5 GHz CQT-下载	-99.13	11.51	100.00	20.49	-

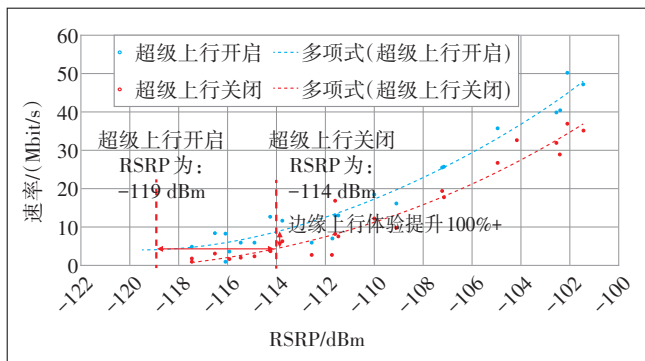


图8 远点 RSRP 与上行吞吐率的关系

表 15 SUL 的理论增益

NR TDD 小区 时隙配比	NR FDD 小区 SUL 子载波间隔/kHz	上行速率范围
双周期 7:3	15	$(A \times 100\% + B \times 36\%) \sim (A \times 100\% + B \times 56\%)$

注:A和B分别表示UE在NR TDD小区和NR FDD小区可获得的上行速率。

提升 89%。

4.5 Ping 时延对比

通过 Ping 测试,同站下 Ping 相同服务器,当锁 3.5 GHz 时,空口单程时延为 13 ms,当开通 SUL 时,空口单程时延为 8.5 ms,时延降低 34%(见表 16)。

表 16 SUL 开通后 Ping 时延增益

场景	4-NR-SS- RSRP/dBm	5-NR-SS- SINR/dB	Ping Round Trip Time Avg/ms	核心网 以上时 延/ms	空口单 程时延/ ms
SUL_Ping	-67.38	21.97	22.82	5.8	8.5
锁 3.5_Ping	-66.76	19.90	31.89	5.8	13.0

4.6 小结

通过合理的站址站高选择、高低频协同,可以使覆盖距离得到最大化延伸;同时采用 TDD+FDD 超级上行技术,辅于 TDD 帧结构调整,扩大上、下行保护时间,可克服因传播距离带来的干扰,有效解决了海面覆盖距离短、上行能力不足、边缘速率低等问题,在实际工程应用中,还可辅以网络参数调整,如与现网 SSB GSCN 同步栅格相互错开来降低干扰。表 17 给出了 SUL 与 T+F CA 的增益。

5 结束语

随着国家海洋战略的推进,5G 海洋覆盖也将被摆上越来越重要的地位,通过合理的站址站高选择、高

表 17 SUL 与 T+F CA 的增益

传播距离	上行速率			下行速率		
	NR3.5/ (Mbit/s)	超级上行/ (Mbit/s)	增益/%	NR3.5/ (Mbit/s)	T+F CA/ (Mbit/s)	增益/%
0.5 km 处	321.00	372.00	16	897	1 133	26
15 km 处	5.60	12.00	114	96	150	56
25 km 处	0.43	1.65	283	20	38	89

低频频率协同以及 T+F 时频域的聚合,加上时隙结构调整,能够较好地解决近、中海 5G 网络远距离覆盖难题。同时,随着 3GPP 协议的演进,更多的上行增强技术也将被引入,如 R17 版本的 2Tx-2Tx switching 机制,支持 2 套终端发射机在 2 个不同频带的动态切换;而 R18 正讨论 2 套终端发射机在多频段之间的切换以增强上行链路的健壮性,提升广域覆盖能力。

参考文献:

- [1] 赵喆,李惠君,黄志勇.基于沿海边境地区的 5G 网络超远覆盖能力探究[C]//5G 网络创新研讨会(2022)论文集.北京:中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社,2022:242-245.
- [2] 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.北京:中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社,2022:211-215.
- [3] 张彦红.利用超级上行和辅助上行解决 5G 上行受限的应用研究[J].中国新通信,2022,24(16):71-73.
- [4] 胡煜华,王鑫炎,李贝.5G 网络上行覆盖增强研究[J].电信科学,2021,37(7):134-141.
- [5] 徐红艳,尉明明,冯玉珉.海上移动通信预测模型的选择[J].北京交通大学学报,2005,29(2):65-68.
- [6] 李彪.基于 Longley-Rice 模型的海上无线电通信时间分析[J].科技创新与应用,2018(13):16-17.
- [7] 付斐,张国光,沈凌,等.5G 网络下的 3.5GHz+2.1GHz 站间 CA 载波聚合策略研究[J].江苏通信,2022,38(5):40-42,48.
- [8] 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.
- [9] 卢菲.5G NR 无线网络规划与组网策略[J].信息通信,2020(7):238-239.

作者简介:

邱斌,毕业于北京邮电大学,主要研究方向为 LTE/NR 无线网络规划优化;梁宁,毕业于大连海事大学,主要研究方向为 LTE/NR 无线网络规划优化。

