

5G 网络海面超远覆盖技术 分析及应用

Analysis and Application of 5G Sea Surface Ultra Far Coverage Technology

马 丹¹,牟 军²,马云刚³,马广辉⁴(1. 中国联通山东分公司,山东 济南 250001;2. 中国联通日照分公司,山东 日照 276800;3. 山东省邮电规划设计院有限公司,山东 济南 250003;4. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)
Ma Dan¹,Mou Jun²,Ma Yungang³,Ma Guanghui⁴(1. China Unicom Shandong Branch,Jinan 250001,China;2. China Unicom Rizhao Branch,Rizhao 276800,China;3. Shandong P&T Planning and Designing Institute Co.,Ltd.,Jinan 250003,China;4. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China)

摘 要:

随着 5G 在全国的规模部署,城市、乡镇和农村的 5G 覆盖正在不断完善,在海面、沙漠、草原等特殊场景的 5G 覆盖要求也越来越迫切。如何用较少的资源和投资就能完成特殊场景的 5G 覆盖已成为目前关注的重点。以海面超远覆盖为例,介绍了适用于这些特殊场景的 5G 超远覆盖的实现原理、关键技术等内容,并通过在某市进行的海面 5G 超远覆盖的案例进行测试验证,得出相应的关键数据,为后续 5G 海面超远覆盖的商用部署提供了技术支撑。

关键词:

5G;海面覆盖;超远覆盖

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.10.001

文章编号:1007-3043(2022)10-0001-06

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:

With the large-scale deployment of 5G in China,5G coverage in cities,towns and rural areas is constantly improving. 5G coverage requirements in special scenes such as sea,desert and grassland are becoming more and more urgent. How to complete 5G coverage in special scenarios with less resources and investment has become the focus of attention. Taking the ultra far coverage on the sea surface as an example,it introduces the implementation principle and key technologies of 5G ultra far coverage suitable for these special scenes. And the verification test of 5G ultra far coverage on the sea surface is carried out in a city,and the corresponding key data are obtained,which provides technical support for the subsequent commercial deployment of 5G sea surface ultra far coverage.

Keywords:

5G;Sea surface coverage;Ultra far coverage

引用格式: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.

1 5G 超远覆盖方案背景

5G 超远覆盖是指在海面、大草原、沙漠等广大、开阔特殊地区,实现超过普通宏站的 5G 大范围覆盖。从技术层面来说,超远覆盖技术对于海面、草原、沙漠都是适用的,只是对于海面、草原、沙漠场景来说,不同的地形地貌对于无线信号的传播模型存在影响,存在细微差异但不影响超远覆盖方案。

随着国家经济发展,沿海渔业、海上旅游业迅速壮大,海域数据通信需求日益增多。除近海存在轮渡、旅游、水上闭塞项目等通信需求外,还有海水养殖、渔政、海面搜救、海巡、缉私等更远距离专用无线数据通信的需求。传统海域通信采用卫星通信服务,资费昂贵。海面 5G 超远覆盖的应用,可以保障渔民生活和生产劳动通信,为海洋渔业和港口作业提供高质量的 5G 服务,解决了海域卫星通信服务单一、资费昂贵等问题,推进信息技术与海洋经济深度融合。某省联通一直致力于海洋等环境超远覆盖的研究,并获取

收稿日期:2022-08-16

了大量的实际海测数据,对海洋覆盖模型进行了修正,建立了相应的海洋覆盖模型库,积累了丰富的规划优化经验。

本文介绍了5G海面超远覆盖方案的实现原理及关键技术,并结合某市的覆盖案例进行验证,验证了5G海面超远覆盖方案的可行性,为后续进行5G海面超远覆盖的商用部署提供了技术支撑。

2 5G超远覆盖方案技术简介

超远覆盖是以最少的站点达到最大的覆盖距离,在满足边远用户数据通信需求的同时大幅节省投资成本。从实现上来说,需要多种手段配合来实现超远覆盖。

2.1 频段选择

对5G超远覆盖中的频段选择进行了仿真分析,结果如图1所示。在自由空间场景下,以700 MHz为基准,2.1 GHz较700 MHz的路损增加9.5 dB左右,2.6 GHz较700 MHz的路损增加11.4 dB左右,3.5 GHz较700 MHz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,因此700 MHz是超远覆盖的最佳频段选择。针对中国联通的频率资源现状,在使用2 100 MHz频段进行超远覆盖时,建议采用高增益天线。

2.2 站址选择

海面传播特性决定了海面传播模型的渐变特征,对应三段式传播模型。如图2所示。从A段到B段再到C段,信号衰减速度逐步加快。建议系统工作在A

段或B段,避免工作在C段。在超远覆盖区域,通过传播模型的分析可知,在地球曲率影响下,终端一旦进入阻挡阴面路损会迅速增大,基本上很快就无法进行通信。因此即使超远覆盖也需要在视距范围内通信。

根据传播模型理论可知:

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

式中:

H_t ——基站天线挂高

H_r ——移动台高度

R_0 ——地球半径

地球半径取6 370 km,对式(1)化简可得:

$$d = \sqrt{17} \left(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r} \right) \quad (2)$$

由此可见,可视距离与基站天线高度和终端天线高度有关。站址选择时需要保证天线挂高与覆盖目标之间有良好的无线传播环境;即“站的高看的远”,一般来说,遵循下面几个原则。

a) 如果要求基站覆盖半径在30 km左右,通常选择在比较平坦的地点建立铁塔,塔高一般在50 m左右。

b) 如果要求基站覆盖半径在45~70 km的范围,通常选择在比较高的山丘、沿海边山顶的地方建立铁塔,高度在100~200 m不等。

c) 如果要求基站覆盖半径在70 km以上,通常站高选择在200 m以上,需要借助山体、热气球等。

视距能力理论计算如表1所示。

2.3 天线选型及组网

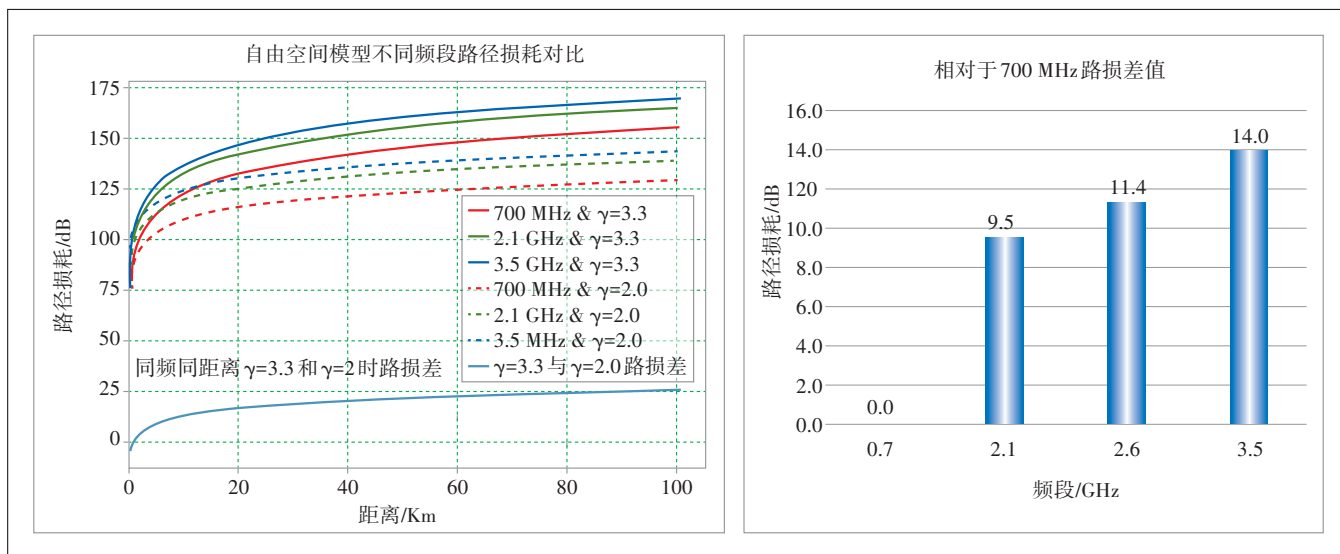


图1 不同频段相对于700 MHz的路损差值

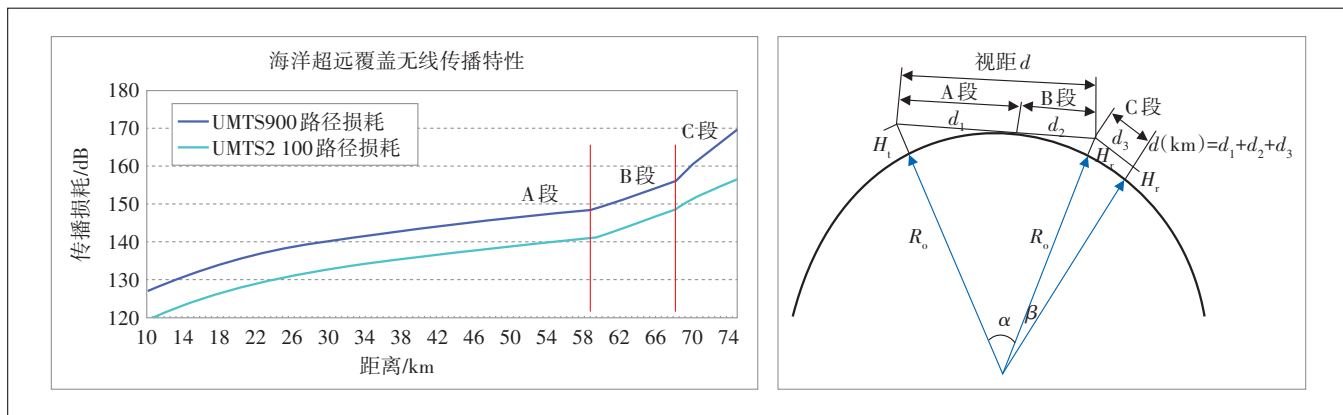


图2 海洋超远覆盖无线传播特性及海面传播模型

表1 视距能力理论计算

基站高度/m	终端高度/m	视距距离/km	基站高度/m	终端高度/m	视距距离/km
30	5	31.80	200	5	67.53
50	5	38.37	250	5	74.41
80	5	46.10	300	5	80.63
100	5	50.45	350	5	86.36
150	5	59.72	400	5	91.68

在5G超远覆盖方案中,天线选用原则如下。

a) 推荐垂直单极化天线,垂直极化方式不易产生极化电流,从而避免了能量的大幅衰减,保证了信号的有效传播。由于垂直于地面的手机更容易与垂直极化信号匹配,所以也有利于地面上手机天线接收。

b) 对于近海海域覆盖可以根据目标覆盖区域分布情况选择水平面半功率角为 120° 或 65° 的高增益天线。对于远海海域覆盖场景,通常建议选择 65° 高增益天线。

c) 天线型号选择时,需要选择具有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。

d) 在海面超远覆盖场景下,FDD NR建议使用4天线设备组网,以增强基站覆盖能力;TDD NR建议使用8天线设备组网,以增强基站覆盖能力。

天线倾角设置建议如下。

a) 要确保能够覆盖到远端目标区域;同时对于超基站,可通过设置适当的电下倾和机械下倾来调整远端覆盖。

b) 海域、沙漠等区域可能存在强风,应尽量选择表面积小的天线。

现在一般使用的相控阵天线是利用接收端的移相单元实现对来自特定方向上信号的提取。但在通

信链路建立之前,需要首先确定发射信号的方位角,并且根据这个设定移相器的参数,再对信号进行接收,这个在实际通信环境,特别是信道变化特别快的情况下,会带来显著的时延。目前有一种新型龙勃透镜天线,顾名思义它可以像光学透镜一样实现对信号的聚焦(通过相控阵来实现)(见图3)。这个过程中不需要移相,信号会在接收天线阵列上某个单元实现相干叠加完成相控阵的任务。这样可以大大简化信号估计过程中的算法复杂度,降低时延。它可以将入射的特定波长的电磁波汇聚到球面上的某一个点,同样它也可以将电磁波沿着原方向反射回去。

相同增益下龙勃透镜天线比平板天线的垂直面更宽,水平波束更窄,天线增益更大,更适用于带状覆盖(比如航线),在组网上更有优势,节约站点资源。它还具有重量轻、增益高、波束指向性好、旁瓣抑制高等特性,且能显著降低风阻。

2.4 基站功率及配置建议

建议基站下行采用大功率RRU设备进行组网,可从根本上提升信号的功率,经过同样的空间衰减,终端(终端发射功率一般23~26 dBm)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。一般建议采用通道功率为80 W的设备。在5G超远覆盖方案中,基站建议配置塔顶放大器(Tower Mounted Amplifier, TMA)。移动通信系统中,基站RRU和天线之间的馈线距离过长,为了保障整个基站的接收灵敏度,在基站RRU和天线之间增加TMA来弥补馈线损耗,系统上行的噪声系数会得到较好的改善。如果站点铁塔条件允许,RRU可以上塔安装,仅使用2~3 m的跳线和天线对接,这种情况下可以不配置TMA设备。

2.5 PRACH格式和Ncs配置选择

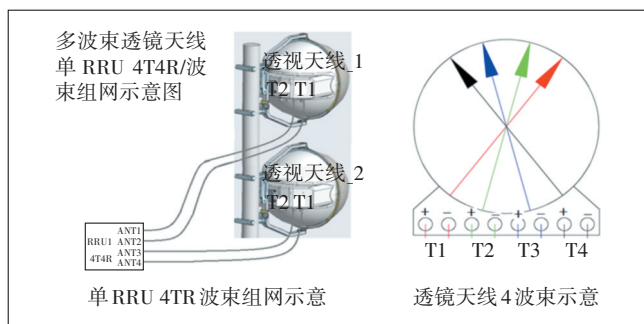


图3 新型龙勃透镜天线波束示意图

在5G系统中,为了保证上行信号传输正交性,避免小区内干扰,基站要求来自同一子帧但不同频域资源的不同UE的信号到达基站的时间基本上对齐。因此,终端需要在接收到下行同步后提前发送上行数据,时间提前量(TA)为2倍单向时延,如图4所示。上行时间提前量是通过随机接入过程获取,理论上只要有上行数据就可以获取TA。在5G网络部署时,需根据覆盖范围选择适当的PRACH格式。

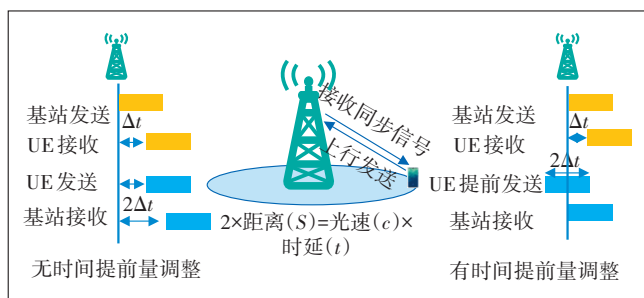


图4 无线信号空口时延调整及超远覆盖距离计算

NR/LTE系统为了对抗多径干扰,保证子载波间正交性,避免符号间干扰,引入了循环前缀(CP);因此,基站在CP范围内接收到UE所发送的上行数据能够正确地解码上行数据,即可以容忍一定的时延,这个时延乘以光速就是UE到基站的距离的2倍(见图4),所以可以看出通过这种方式,只要容忍的时延越大,基站能覆盖的距离就越远。

由于终端的移动使得终端和网络之间的距离是不确定的,所以如果终端需要发送消息到网络,则必须实时进行上行同步的维持管理。PRACH的目的就是要达到上行同步,建立和网络上行同步关系以及请求网络分配给终端专用资源进行正常的业务传输。

协议中规定了多种PRACH格式,如图5所示的长序列格式。其中CP表示循环前缀,SEQ表示前导序列,即PRACH发送内容,GP是保护间隔。

对于同一个前导,不同格式间主要差异为:

- a) 时域长度不同:1 ms、3 ms、3.5 ms。
- b) CP、GP长度不同。

为了保证不同的UE到达基站的时刻是相同的,那么CP、GP的长度越长代表可容忍的时延就越大,也就是传播距离就越大。

可以看出,PRACH的Format 1的CP长度和GP长度最长,因此其覆盖距离也就越远,小区半径= $\min(\text{CP}, \text{GP})$;根据图4,PRACH的Format 1支持的半径计算如下:(其中480代表子载波间隔为480 kHz,4 096代表FFT点数,NR上报 $\text{TA}=64\text{T}_s$)

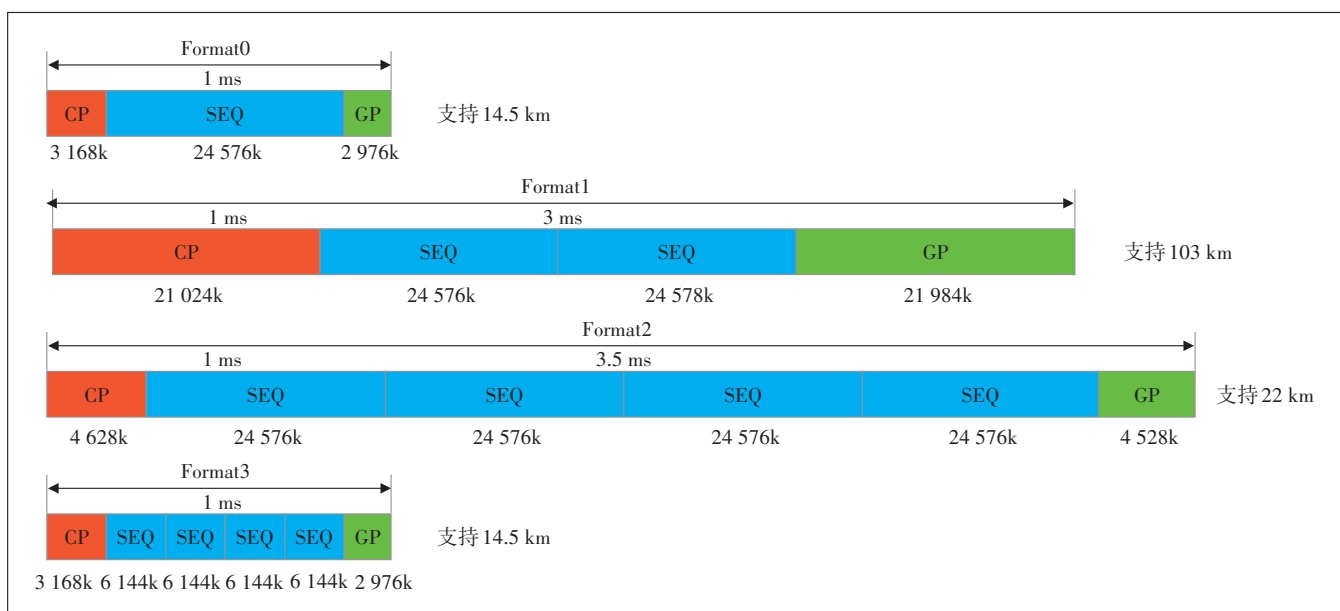


图5 PRACH格式与最大小区半径关系

CP长度决定的小区半径:

先计算容忍的最大时延为: $21\ 240 \times 64 \times [1/(480 \times 4\ 096)] = 684.9\ \mu\text{s}$,所以CP长度决定的小区半径= $(0.3 \times 684.9)/2 = 102.7\ \text{km}$ 。

GP长度决定的小区半径:

先计算容忍的最大时延为: $21\ 984 \times 64 \times [1/(480 \times 4\ 096)] = 715.6\ \mu\text{s}$,所以GP长度决定的小区半径= $(0.3 \times 715.6)/2 = 107.3\ \text{km}$ 。

因此,通过计算可得知,PRACH Format 1最大支持半径为102.7 km。

另外,PRACH参数的规划中还有一个比较重要的是:根据小区规划半径来确定Ncs值,然后确定每个小区需要多少个ZC根序列。Preamble信号就是由ZC根序列通过循环移位来产生的,移位的多少就是通过Ncs的值来确定。需要强调的是,ZC根序列是一个循环序列,其长度为839位,不同移位后产生的Preamble是相互正交的,这就意味着即使UE使用不同的Preamble同时接入网络,也能被基站分辨出来。Ncs循环移位参数与最大小区半径的对应关系如表2所示,从表2可以看出,不同的Ncs配置支持的小区半径也不同,若需要最大小区半径,需要Ncs配置为0。

通过Ncs值来确定小区半径:假设Ncs=11, Value=93,那么 $839/93=9$,代表一个根序列可以生成9个Preamble ID;那么64 Preamble ID需要通过8个序列循环移位生成(见图6)。

基站将接收到的PRACH数据与根序列逐个进行相关运算,在某一个Ncs窗口内检测到相关峰后,则即检测到Preamble ID,相关峰与窗口起始位置的长度即为TA值,因此可以看到Ncs Value的长度即为检测到的TA最大值,也即决定了小区半径。

下面分别针对FDD NR和TDD NR来分析小区覆盖半径的最大支持情况。

针对FDD NR,小区覆盖半径需要综合多个因素:

- PRACH格式:循环前缀(CP)、保护带(GP)。
- Ncs配置:Ncs不同支持的小区半径不同。

表2 Ncs循环移位参数与最大小区半径

Ncs	Unrestricted set (低速小区)		Ncs	Unrestricted set (低速小区)	
	value	小区半径/km		value	小区半径/km
0	0	120.00	8	46	6.58
1	13	1.86	9	59	8.44
2	15	2.15	10	76	10.87
3	18	2.57	11	93	13.30
4	22	3.15	12	119	17.02
5	26	3.72	13	167	23.89
6	32	4.58	14	279	39.90
7	38	5.44	15	419	59.93



图6 根序列及检测示意

即:小区半径= $\min(\text{CP}, \text{GP}, \text{Ncs})$;因此,从前述信息可以看到,要支持超远覆盖需要支持PRACH Format 1格式,且最大覆盖距离为102.7 km。

如图7所示,2.5 ms双周期帧结构,每5 ms里面包含5个全下行时隙、3个全上行时隙和2个特殊时隙。Slot3和slot7等为特殊时隙,配比为10:2:2(可调整)。所以对于TDD NR,由于存在上下行的转换,因此还需要考虑上下行转换保护间隔GP,即:小区半径= $\min(\text{CP}, \text{GP}, \text{Ncs}, \text{上下行转换保护间隔GP})$ 。

从PRACH Format 1格式可知,其在时域上持续时间为3 ms,而TDD NR每个Slot为0.5 ms,若TDD NR支持PRACH Format 1需要连续6个上行Slot,对于大多

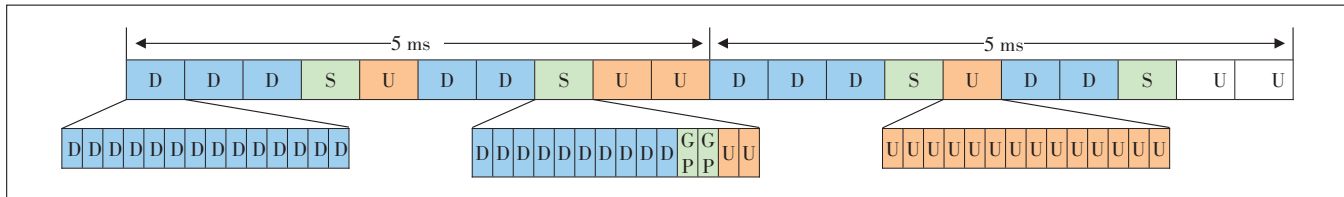


图7 2.5 ms双周期帧结构

数应用场景,这样会牺牲用户下行体验,因此TDD NR当前暂不支持100 km超远覆盖,当前PRACH Format 0最大仅能支持15 km,后续会考虑通过算法优化等方案实现大于15 km的可能性。

2.6 技术原理总结

通过上面的超远覆盖原理介绍可知,要实现超远覆盖需要多种手段一起配合来实现。

- a) 尽量选择低频段。频段越高,路损增加越大。
- b) 合理选择站址。尽量提高基站天线高度,同时终端高度也尽量提高。
- c) 天线选型建议使用高增益天线。比如在线状覆盖时使用龙勃透镜天线,相较普通板状天线,龙勃透镜天线的主要性能表现更胜一筹。
- d) 建议使用大功率多通道产品来增强基站覆盖能力。如果基站RRU和天线之间的馈线距离过长,建议基站配置塔放。
- e) 要根据不同的场景,选择合适的PRACH格式及Ncs配置,因为PRACH格式和Ncs配置共同决定了小区半径大小。

3 某市海面5G超远覆盖测试验证

为了验证5G海面超远覆盖的实际效果,某省联通在海洋发展局的大力支持下选择了在沿海海拔较高位置使用2.1 GHz NR基站对海面进行了超远覆盖测试。实际测试验证了此种条件下覆盖性能的连续性和稳定性以及覆盖距离、业务距离。这为后续海面5G超远距离覆盖商用实施提供了基础数据支撑。

3.1 测试站点及测试设备情况

本次测试站点是位于海岸边,山丘海拔70 m,天线悬高35 m,海拔高度105 m。站点经度为xx.xxx,纬度为xx.xxx,下倾角为0°,方位角为100°,朝向海面覆盖。

测试设备包括鼎力狗、3套GPS、多部商用终端AXON 10S Pro、防水用具、塑料支杆、3 m数据线、测试船(测试时人和电脑在2层甲板,手机固定在2层船头的灯杆上)。

3.2 测试结果

本次在船舶行进的过程中,做了基于普通商用终端的FTP数据拉远测试,测试使用的普通商用终端达到了100%的接入成功率。本次主要对距离海岸线48 km处以及极限拉远位置做了数据测试,结果如图8所示。

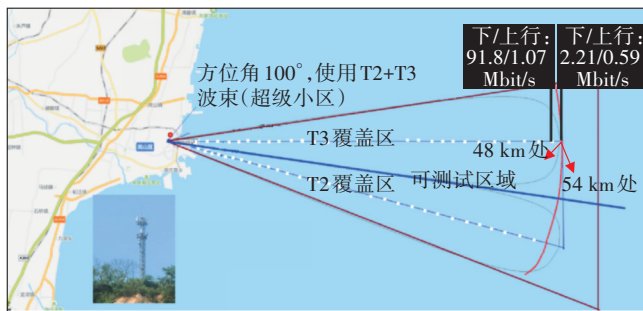


图8 测试结果

从图8可以看出,在距海岸边48 km处仍然能达到91.8 Mbit/s的数据下载速率;在极限拉远位置54 km处,也仍然能达到2.21 Mbit/s的下载速率。

在测试行进过程中也多次做了视频通话验证,视频通话顺畅无卡顿,用户体验良好。

4 结束语

随着5G网络的规模部署,5G信号在城市、乡镇和农村的覆盖都在不断完善,海面覆盖如海岛旅游、海洋渔业等人员的5G覆盖需求也越来越迫切。本文对5G海面超远覆盖关键技术进行了研究分析,并在某市开展了5G海面超远覆盖的实际验证测试,为海面超远覆盖提供了有效的支撑。某省联通愿与合作伙伴一起充分共享优势资源共建“智慧海洋”,加快在诸如智能船舶等各方面的智能化,一起利用5G为国家乡村振兴战略添砖加瓦。

参考文献:

- [1] 古新. 超远覆盖技术手段浅析[J]. 通信与信息技术, 2012(4): 44-45, 58.
- [2] 魏龙飞. LTE-A超远覆盖下时间提前量的估计研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [3] 欧阳红升, 吕贺敏, 高峰, 等. LTE海面超远距离覆盖关键技术分析[J]. 数据通信, 2014(1): 32-36.
- [4] 刘方森, 武霞, 李方村, 等. TD-LTE海面超远覆盖研究与测试[J]. 电信工程技术与标准化, 2015, 28(8): 39-42.
- [5] 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): 6.

作者简介:

马丹, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事移动网络规划建设工作; 牟军, 毕业于山东大学, 工程师, 学士, 主要从事移动网络规划建设工作; 马云刚, 毕业于山东理工大学, 高级工程师, 学士, 主要从事移动通信工程规划、设计工作; 马广辉, 毕业于武汉大学, 工程师, 学士, 从事移动通信工程规划、设计工作。