

5G 海面超远覆盖解决方案研究

黄海旭

(北京长焜科技有限公司, 北京 100088)

摘要: 将 5G 移动通信技术应用于海面覆盖, 不仅仅要解决建站困难的问题, 还要解决海面超远覆盖下的参数配置及覆盖距离估算。首先对海面超远覆盖进行信道建模, 考虑空气介电常数变化对无线电波传播的影响, 给出了等效的地球模型; 其次, 对 5G 中影响小区覆盖半径的几个关键参数进行了详细分析; 最后, 分别对三大运营商的主流频段进行仿真, 给出了不同频段下最大覆盖距离与路径损耗的关系曲线。

关键词: 5G; 海面覆盖; 小区覆盖半径; 路径损耗

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211562

中文引用格式: 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.

英文引用格式: Huang Haixu. Research on 5G sea surface ultra-far coverage solution[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 22-25.

Research on 5G sea surface ultra-far coverage solution

Huang Haixu

(Beijing Changkun Technology Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: When 5G mobile communication technology is applied to sea coverage, it is not only to solve the problem of difficult station construction, but also to solve the parameter configuration and coverage distance estimation under ultra-far sea coverage. In this paper, firstly, the channel model of sea surface ultra-far coverage is built, and the equivalent earth model is given considering the influence of air permittivity change on radio wave propagation. Secondly, several key parameters affecting cell coverage radius in 5G are analyzed in detail. Finally, the main frequency bands of the three operators are simulated, and the relationship curves between the maximum coverage distance and the path loss in different frequency bands are given.

Key words: 5G; sea coverage; cell coverage radius; path loss

0 引言

随着海洋资源开发进程的加快及 5G 技术的飞速发展, 沿海区域、海面航线及海上岛屿等场景的无线通信需求越来越强烈。海面覆盖与陆地上的无线覆盖相比, 具有用户密度低、容量需求小、无线电波传播条件简单、多为视距传播等特点, 属于超远覆盖场景中的典型应用^[1]。在海面上建站, 存在难度大、成本高、不易维护等问题^[2], 运营商通常会选择使用陆地上的基站对海面进行超远覆盖。因此, 研究海面无线信号的超远覆盖具有十分重要的意义^[3]。

本文首先对海面超远覆盖进行信道建模, 并给出了可用于计算覆盖距离的等效地球模型; 其次, 对 5G 中影响小区覆盖半径的几个关键参数进行了详细分析; 最后, 分别对三大运营商的主流频段进行仿真, 给出了不同频段下最大覆盖距离与路径损耗的关系曲线。

1 海面覆盖信道建模

海面覆盖属于超远覆盖的一种典型场景, 在进行海

面覆盖规划时, 基站通常选址在岸边地势较高的地方, 基站天线正对海面进行覆盖, 由于海面无遮挡, 无线电波传播条件好, 视距内近似自由空间传播, 通常只有通过空气传播的直视径和经过海面反射的反射径^[4]。在进行信道建模分析时, 将地球看作球面, 需要考虑地球曲率对无线电波传播的影响, 还应考虑海面上的礁石、岛屿及船只对无线电波传播的影响。

无线电波在空气中的速率和方向还与空气介电常数有关, 空气介电常数与海拔高度成反比关系, 海拔越高, 空气介电常数越小, 电波在空气中传播时, 空气的折射率和电波传播速率会随着空气介电常数的变化而变化, 从而导致原本直线传播的电波将随地球表面发生弯曲, 进而增加了无线电波传播的可视距离^[5]。因此, 电波在海面上的实际传播距离要比直线路径距离远, 如图 1(a) 所示, 假设基站的高度为 h , 电波在空气中的直线路径为 l , 曲线传播路径为 d , 则 $d > l$ 。

为了计算方便, 需要设计一个等效的地球模型, 在

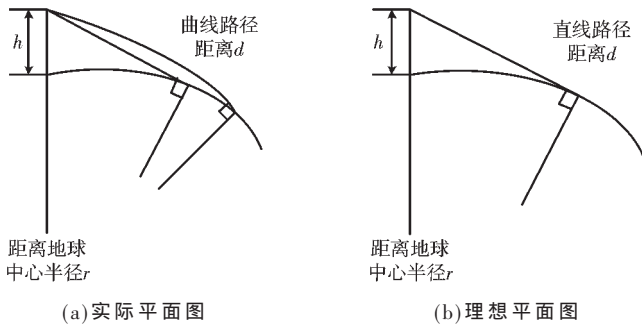


图1 海面覆盖信道建模

基站高度不变的情况下,使得基站到用户的最远可视直线路径距离为 d ,如图1(b)所示,可以推导得出,等效的地球半径 $a=4/3ra=8\,493\text{ km}$,其中 $r=6\,370\text{ km}$ 为地球实际半径。可以看出, d 和 a 是直角三角形的两条直角边长度,斜边长度为 $a+h$,由此可得^[6-7]:

$$d=\sqrt{(a+h)^2-a^2}\approx\sqrt{2ah}\quad(1)$$

2 海面覆盖半径影响因素分析

2.1 子载波间隔

与4G不同,5G NR中定义多种子载波间隔(SCS),SCS的大小与OFDM符号长度成反比,每个OFDM符号中循环前缀(CP)的长度也与SCS成反比。在每个OFDM符号前面引入CP的目的是消除传输过程中多径时延造成的符号间干扰(ISI),对于连续广覆盖场景,为了支持更大的小区半径,CP长度越长越好。因此,较小的SCS更适用于连续广覆盖场景^[8]。

对于海面覆盖场景,建议选择15 kHz或30 kHz的子载波间隔。

2.2 GP

5G NR为TDD系统,为了避免下行对上行干扰,在下行子帧/符号和上行子帧/符号之间引入了保护时隙GP,GP越大,小区覆盖范围就越大^[9]。

$$\text{最大覆盖距离}=\text{传输时延}\times c=(\text{GP}-\text{转换时延})\times c/2$$

(2)

其中, c 为光速;转换时延为下行发送到上行接收的转换时间,典型值为10~40 μs ,这里假定为20 μs 。子载波间隔为15 kHz时,一个OFDM符号的长度为66.7 μs ;子载波间隔为30 kHz时,一个OFDM符号的长度为33.35 μs 。GP配置为不同OFDM符号长度时,最大覆盖距离如表1所示。

2.3 PRACH

物理随机接入信道(Physical Random Access Channel, PRACH)作为非同步用户和无线接入的正交传输方案的接口,主要用于网络接入的初始化,为未得到上行同步或已经失去上行同步的用户实现上行定时同步。

5G NR支持两长度的PRACH preamble格式,一种是长度为839的长Preamble格式,支持1.25 kHz和5 kHz两种SCS,用于6 GHz以下频段、较大的小区覆盖场景;

表1 GP符号数与最大覆盖距离的关系

GP 符号数	最大覆盖距离/km	
	SCS=15 kHz	SCS=30 kHz
1	7	2
2	17	7
3	27	12
4	37	17
5	47	22
6	57	27
7	67	32
8	77	37
9	87	42
10	97	47
11	107	52
12	117	57

另一种是长度为139的短Preamble格式,支持15 kHz、30 kHz、60 kHz和120 kHz 4种SCS,用于较小的小区覆盖以及基站采用波束扫描的场景。由于海面覆盖范围广、视离条件好,因此应该配置为长Preamble格式^[10]。

如图2所示,PRACH Preamble由一个循环前缀(CP)和一个或多个Preamble序列组成,每个Preamble序列占用一个PRACH OFDM符号,保护时间(GT)在协议中没有显式地定义,而是通过PRACH Preamble所在的时隙和其他时隙对齐,隐含地包含在PRACH preamble格式中。

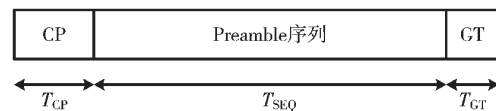


图2 PRACH Preamble 组成

终端用户在发送PRACH Preamble序列时,与基站之间还没有建立上行同步,为了避免对其他终端用户的干扰,在PRACH Preamble序列之后引入了保护时间(Guard Time, GT),GT的大小和小区覆盖半径强相关,GT越大,小区覆盖半径就越大^[11]。

PRACH Preamble格式中的CP、GT和最大传输时延之间的关系如图3所示,UE发送PRACH的定时参考点是UE的下行接收定时,可知基站的上行接收定时与UE的PRACH信号到达基站的时间之差为最大多径时延和2倍最大单向传输时延的累加和。由于基站的PRACH检测窗口是在固定位置进行去CP操作,因此要求PRACH的CP长度不小于最大多径时延和2倍最大单向传输时延的累加和。PRACH所在时隙的下一个时隙的上行或者下行信道包含了CP来对抗多径时延^[12]。因此,只要PRACH的GT长度不小于2倍最大单向传输时延,PRACH不会对下一个时隙的接收和发送产生影响。

GT长度决定了能够支持的接入半径:

$$\text{小区覆盖距离}=\text{GT}\times c/2\quad(3)$$

其中, c 为光速。

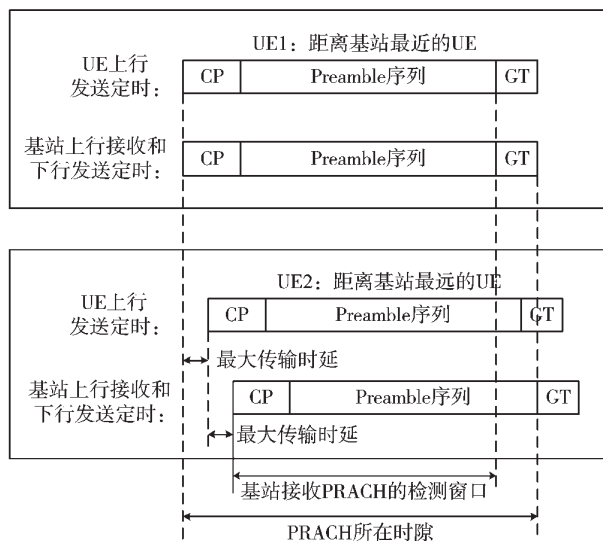


图3 PRACH Preamble 格式中的 CP、GT 与最大传输时延之间的关系

根据上述条件限制,表2给出了长度为839的长PRACH Preamble格式所能支持的最大小区半径。其中, L_{RA} 为PRACH Preamble序列的长度, Δf^{RA} 为PRACH Preamble的子载波间隔, N_u 表示Preamble序列长度, N_{CP}^{RA} 为PRACH Preamble循环前缀(CP)的长度, κ 表示5G时间单位系数。对于海面覆盖场景,建议配置为长PRACH Preamble格式1。

表2 长度为839的长PRACH Preamble格式所能支持的最大小区半径

格式	L_{RA}	$\Delta f^{RA}/\text{kHz}$	N_u	N_{CP}^{RA}	最大覆盖半径/km
0	839	1.25	24 576 κ	3 168 κ	14.53
1	839	1.25	2×24 576 κ	21 024 κ	107.34
2	839	1.25	4×24 576 κ	4 688 κ	97.11
3	839	5	4×6 144 κ	3 168 κ	14.53

3 海面覆盖距离估算

无线电波在海面传播时,主要有通过空气传播的直射径和经过海面反射的反射径,对于某个终端用户,可以近似认为只能接收到一条直射径和一条反射径,如图4所示。

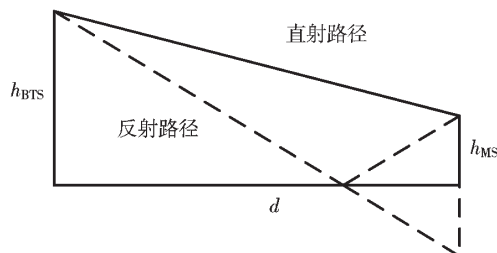


图4 无线电波在海面传播示意图

假设通过空气传播的直射路径增益为 PG_1 , 通过海面反射的反射路径增益为 PG_2 。则该电波传播的路径

增益为两者之和,即该路径增益 PG 为:

$$PG = 10\lg PG_1 + 10\lg PG_2 \quad (4)$$

其中:

$$PG_1 = \left(\frac{\lambda}{4\pi \sqrt{(h_{BTS} - h_{MS})^2 + d^2}} \right) \quad (5)$$

式中, λ 为传播电波波长。

一般情况下,电波经过海面反射后相位会发生 180° 翻转,则反射路径增益可以表示为:

$$PG_2 = |1 - e^{-j2\pi\Delta L/\lambda}|^2 \quad (6)$$

式中, ΔL 表示反射路径与直射路径的距离差,其中反射路径长度为:

$$L_1 = \sqrt{(h_{BTS} + h_{MS})^2 + d^2} \\ = d \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(h_{BTS} + h_{MS})^2}{d^2} - \frac{1}{8} \frac{(h_{BTS} + h_{MS})^4}{d^4} + \dots \right) \quad (7)$$

直射路径长度:

$$L_2 = \sqrt{(h_{BTS} - h_{MS})^2 + d^2} \\ = d \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(h_{BTS} - h_{MS})^2}{d^2} - \frac{1}{8} \frac{(h_{BTS} - h_{MS})^4}{d^4} + \dots \right) \quad (8)$$

由于 h_{BTS} 、 h_{MS} 远远小于 d , 为了得到路径差, L_1 和 L_2 可近似为:

$$L_1 \approx \sqrt{(h_{BTS} + h_{MS})^2 + d^2} \\ = d \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(h_{BTS} + h_{MS})^2}{d^2} - \frac{1}{8} \frac{(h_{BTS} + h_{MS})^4}{d^4} \right) \quad (9)$$

$$L_2 \approx \sqrt{(h_{BTS} - h_{MS})^2 + d^2} \\ = d \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(h_{BTS} - h_{MS})^2}{d^2} - \frac{1}{8} \frac{(h_{BTS} - h_{MS})^4}{d^4} \right) \quad (10)$$

则路径差为:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \frac{2h_{BTS}h_{MS}}{d} \quad (11)$$

则进一步可得反射路径增益为:

$$PG_2 = 2 \left(1 - \cos \left(\frac{4\pi h_{BTS}h_{MS}}{\lambda d} \right) \right) = 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_{BTS}h_{MS}}{\lambda d} \right) \quad (12)$$

因此可以得到海面无线电波传播总的路径增益 PG , 将 PG 取负值即可得到电波传播路径损耗 L_p 。

$$L_p = 20\lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) - 10\lg \left(2 - 2\cos \left(\frac{4\pi h_{BTS}h_{MS}}{\lambda d} \right) \right) + a \\ = 32.45 + 20\lg f + 20\lg d - 10\lg \left(2 - 2\cos \left(\frac{4\pi h_{BTS}h_{MS}}{\lambda d} \right) \right) + a \quad (13)$$

式中, d 表示基站与用户之间的传播距离; λ 表示传播电波的波长; a 为修正因子,在本文中,为了方便起见, a 取0。

综合其他电波传播的损耗影响,可以得到海面无线电波传播损耗模型如下式^[13-14]:

$$L_p = 32.45 + 20\lg f + 20\lg d - 10\lg \left(2 - 2\cos \left(\frac{4\pi h_{BTS}h_{MS}}{\lambda d} \right) \right) + a + L_b + L_e \quad (14)$$

其中, L_p 表示路径损耗,单位为 dB; h_{BTS} 表示基站天线的挂高, h_{MS} 表示终端用户的天线挂高; d 表示电波的传播距离; a 为修正因子; λ 表示电波的波长; L_b 表示船体穿

透损耗,取值取决于船只的具体类型^[15]; L_e 表示地球曲率引起的绕射损耗,当电波未超出最大无线视距时, L_e 取 0 dB,反之 L_e 根据电波绕射情况取值^[16]。

无线电波的实际覆盖距离还与频率有关系,目前 5G NR 常用的频率有 700 MHz、2.6 GHz 和 3.5 GHz,图 5 给出了 3 种常用频率下的小区覆盖距离与路径损耗的关系曲线。

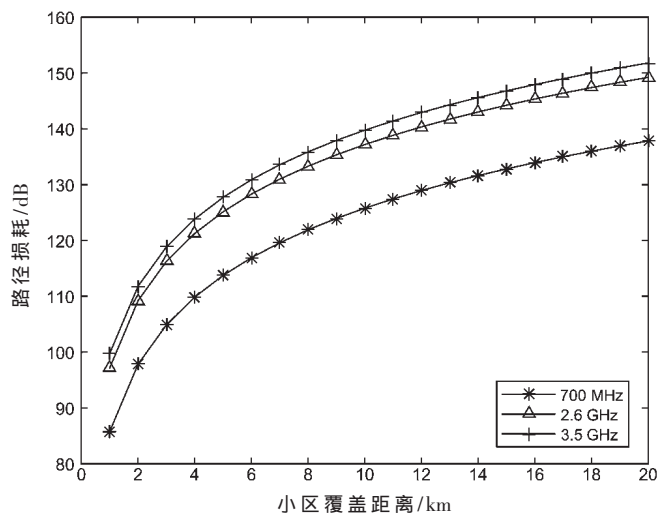


图 5 小区覆盖距离与路径损耗的关系曲线

由图 5 可以看到,2.6 GHz 和 3.5 GHz 的覆盖距离相差不大,而 700 MHz 的覆盖距离远大于 2.6 GHz 和 3.5 GHz。以 130 dB 的路径损耗为最远覆盖距离计算,700 MHz 大约可以覆盖 60 km,而 2.6 GHz 和 3.5 GHz 只能覆盖 30 km 左右。

4 结论

随着海洋资源开发进程的加快及 5G 技术的飞速发展,将 5G 技术应用到海面覆盖的需求日趋强烈。本文通过分析 5G NR 中影响小区覆盖半径的几个关键因素,给出了超远覆盖参数的配置建议,并使用典型的海面覆盖信道模型分别对 700 MHz、2.6 GHz 和 3.5 GHz 进行了仿真分析,给出了各频段的覆盖距离分析。但本文的分析还不足以支撑实际建站布网的应用,还需要进一步研究,并结合现场的实际部署情况进行优化。

参考文献

- [1] BARB G, OTESTEANU M. 5G: an overview on challenges and key solutions[C]//2018 International Symposium on

Electronics and Telecommunications(ISETC). Timisoara: IEEE Press, 2018: 1-4.

- [2] 苑海靓,彭丽叶.浅谈移动通信无线传播[J].计算机光盘软件与应用,2010(7):58-59.
- [3] 尤肖虎,潘志文,高四奇,等.5G 移动通信发展趋势与若干关键技术简介[J].中国科学:信息科学,2014(5):551-563.
- [4] HAAS E. Aeronautical channel modeling[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2002, 51(2): 254-264.
- [5] 魏玲,杨汇军.移动通信中电波传播损耗的预测模型[J].辽宁工学院学报,2003,23(2):27-28.
- [6] 古新.超远覆盖技术手段浅析[J].通信与信息技术,2012(4):44-45.
- [7] 王祖良,樊文生,郑林华.海面电波传播损耗模型研究与仿真[J].电波科学学报,2008,23(6):1095-1099.
- [8] 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.
- [9] IJAZ A, Zhang Lei, GRAU M, et al. Enabling massive IoT in 5G and beyond systems: PHY radio frame design considerations[J]. IEEE Access, 2016, 4: 3322-3339.
- [10] SCHREIBER G, TAVARES M. 5G new radio physical random access preamble design[C]//2018 IEEE 5G World Forum(5GWF). Silicon Valley, CA: IEEE Press, 2018: 215-220.
- [11] 3GPP TSG RAN1 #49. Details on RACH sequence design[Z]. R1-072012, Kobe, Japan, 2007.
- [12] 3GPP TR38.802 V0.0.3. Study on new radio(NR) access technology: physical layer aspects[S]. 2016.
- [13] 何群,黄云鹏.关于海面无线传播模型的探讨[J].邮电设计技术,2004(2):36-39.
- [14] ANDREWS J G, BUZZI S, CHOI W, et al. What will 5G be?[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(6): 1065-1082.
- [15] 韩斌,彭木根. TD-LTE 链路预算研究[J].数据通信,2011(1):39-42.
- [16] 宋玮,凌隼. TDD-LTE 无线网络覆盖特性及链路预算研究[J].通讯世界,2014(18):20-21.

(收稿日期:2021-03-26)

作者简介:

黄海旭(1981-),男,硕士,通信工程师,主要研究方向:移动通信、无线通信系统。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所