



专题：海洋互联网

近海 TD-LTE 网络覆盖优化方法与应用

蓝俊锋, 牛冲丽, 余国辉

(广东省电信规划设计院有限公司, 广东 广州 510630)

摘要: 海域数据通信需求随着沿海渔业、海上旅游业发展变得日益迫切。对近海覆盖的业务特点、覆盖规划难点、覆盖优化技术与方法以及实际应用场景进行分析研究, 提出综合采用 TD-LTE 系统特殊参数配置、优化海面无线传播链路预算、优化海面覆盖基站站址规划以及覆盖增强等技术。提出的优化方法在上川岛和下川岛进行了实际应用。仿真结果和实测数据表明, TD-LTE 网络覆盖优化方法的实施, 明显提高了网络覆盖率和通信服务质量。

关键词: 近海无线覆盖; TD-LTE; 链路预算; 覆盖增强

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018195

Offshore coverage optimization and application of TD-LTE networks

LAN Junfeng, NIU Chongli, YU Guohui

Guandong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: With the development of coastal fisheries and marine tourism, the demand for wireless coverage on offshore is becoming more and more urgent. Based on the analysis on the characteristics of the mobile communication business, the difficulties of offshore coverage planning, coverage optimization techniques for the actual application scenarios of coastal areas, a TD-LTE network coverage optimization method which made comprehensive use of the following technologies including special TD-LTE system parameter configuration, optimization of wireless communication link budget, optimization of the base station site planning and coverage enhancement technologies was proposed. The proposed optimization method was practically implemented in the Shangchuan Island and Xiachuan Island. The simulation results and measured data in the project field show that the implementation of TD-LTE network coverage optimization method has obviously improved the network coverage rate and communication service quality.

Key words: wireless coverage on offshore, TD-LTE, link budget, coverage enhancement

收稿日期: 2018-05-01; 修回日期: 2018-06-09

基金项目: 广东省省级科技计划基金资助项目 (No.2013B010101009); 广州市科技计划基金资助项目 (No.201508010008)

Foundation Items: Science and Technology Planning Project of Guangdong Province (No.2013B010101009), Science and Technology Planning Project of Guangzhou (No.201508010008)

1 引言

随着国家经济的发展及 TD-LTE 网络建设的不断扩大深入,沿海渔业、海上旅游业也迅速壮大,海域数据通信需求日益增多。海面存在轮渡、旅游、水上比赛项目、海面搜救、渔政、海巡、缉私等无线数据通信的需求。本文对近海覆盖的业务特点、覆盖规划难点、覆盖优化技术与方法以及实际应用进行分析研究。

海面覆盖场景包括近海区域和远海区域^[1]。近海区域是指距离海岸 30 km 以内的海面区域,平行于海岸线的近海覆盖是最常见的一种覆盖场景。近海区域的用户以渔民和货轮工作人员为主,其次为海上作业人员(从事海上集装箱货运、近海海水养殖等)以及客轮旅客。远海区域主要是指距离海岸 30 km 以外、80 km 以内的海面区域,垂直于海岸线的远海广域覆盖是另外一种常见的海面覆盖场景。远海区域内的用户群以海中正在作业的渔民和国际航运旅客为主,另外还包括远海海域内一些岛屿上的居民。

近海覆盖特点是地形简单、区域辽阔平坦、无线传播环境较好;业务特点是人口分布分散、用户密度低、ARPU 值较低、基站周围话务量无明显变化、热点地区不明显、对网络系统容量要求不高、信号传播以视距为主。

2 近海 TD-LTE 网络覆盖规划难点

近海网络的有效覆盖范围取决于多种因素^[2],如基站发射功率、终端发射功率、综合路径损耗(包括空间传播损耗、天线增益、馈线损耗、衰落余量)、基站接收灵敏度、终端接收灵敏度等,同时与无线传播环境(如地理环境、基站布局)有着密切的关系。近海网络覆盖规划的难点在于以下几点。

(1) 海上信道特征复杂不稳定

导致海面 LTE 信号的覆盖质量性能指标比较

难保证。多径效应、“乒乓”效应等会导致已经覆盖的区域 SINR 值变差,下行、上行速率不稳定。海面无线信号传输会出现慢衰落等现象,信号稳定性也会降低。另外,还有地球曲率和海浪、船只遮挡等问题的影响。综合来说是电波在传播过程中所产生的反射效应、大气中水蒸气和氧气对电波的损耗及船只的电波消耗。这些问题在进行链路预算时都必须考虑。

(2) 海岸线地貌、岛屿与航线的因素

海岸线的地形对基站的布局有较大影响,同时海岸线地形是随着时间不断发生变化的。由于船只只是近海领域中运行的主体,航道线路对于基站的布局也起着至关重要的作用,航线距离过远,基站覆盖难度较大。岛屿是除海岸之外布局基站最多的地方,岛屿的位置给基站的布局造成很大的限制。以上均为近海水域无线网络规划的特殊性体现。

3 近海 TD-LTE 网络覆盖规划优化技术与方法

对于近海 TD-LTE 网络规划覆盖的难点,相对应的具体解决措施有:TD-LTE 系统特殊参数配置;海面无线传播信道模型分析及链路预算;海面覆盖的基站站址规划;频段、天线选择及覆盖增强技术的使用。

3.1 TD-LTE 系统特殊参数配置

(1) 循环前缀配置

TD-LTE 系统为消除多径时延,在每个 OFDM 符号之前加入循环前缀(CP)。CP 长度大于无线信道的最大时延扩展,即可消除多径带来的符号间干扰(ISI)。CP 的类型、特点见表 1。

(2) 保护间隔配置

由 TD-LTE 无线帧结构可知^[3],DwPTS、保护间隔(GP)和 UpPTS 3 个特殊时隙构成一个 TD-LTE 特殊子帧,三者总长度保持 1 ms 不变。

TD-LTE 系统是依靠时间上的间隔完成双工转换



的, GP 即为规避干扰而预留的保护间隔, GP 的大小与系统覆盖距离有关, GP 越大覆盖距离也越大, 同时 DwPTS 越小, 系统容量下降。

表 1 CP 的类型、特点

CP 类型	特点
正常 CP	7 个 OFDM 符号, 第 1 个符号的 CP 长度为 5.21 μ s, 第 2~7 个符号的 CP 长度为 4.69 μ s
扩展 CP	6 个 OFDM 符号, 每个 OFDM 符号的 CP 长度均是 16.67 μ s

由于 $GP=2 \times \text{传输时延} + \text{转换时延}$, 故最大覆盖距离 = 传输时延 $\times c = (GP - \text{转换时延}) \times c/2$ 。其中, c 为光速, 转换时延为 UE 从下行接收到上行发送的转换时间, 其典型值是 10~40 μ s, 此处假定为 20 μ s。不同的特殊子帧配置对应不同的 TD-LTE 覆盖距离, 具体见表 2。

(3) 随机接入突发信号格式

在 TS26.211^[4]中定义了 5 种随机接入突发信号格式。物理层随机接入突发信号由 3 部分组成: CP、前导序列和 GT 保护时间。由于接入时隙需要克服上行链路的传播时延以及用户上

行链路带来的干扰, 因此需要在时隙设计需预留足够的保护时间 (GT)。GT 长度决定了能够支持的接入半径, 因为预留的 GT 需要支持传输距离为小区半径的两倍, 以保证小区边缘的用户获得下行同步后, 能够有足够多的时间提前发送。随机接入前导信号格式和覆盖距离的对应关系见表 3。

3.2 海面无线传播信道分析及链路预算

无线电波在海面传播时, 收发端在可视距离以内, 接收端接收到的信号包括直达波和经海面反射的反射波。在计算海面电波传播损耗的时候应该分别考虑直射路径和反射路径的信号损耗 (PL_1), 同时也不能忽略大气吸收损耗 (PL_2) 这一因素, 最后需要加上电波穿透船体的损耗 (PL_3)。

根据参考文献[5]可得到自由空间的传播损耗 PL_0 为:

$$PL_0 = 32.45 + 20 \lg f + 20 \lg d \quad (1)$$

其中, f 是载波的工作频率, d 是收发天线之间

表 2 特殊子帧配置对应的 TD-LTE 覆盖距离

特殊子帧配置	正常 CP				扩展 CP			
	DwPTS	GP	UpPTS	最大覆盖距离/km	DwPTS	GP	UpPTS	最大覆盖距离/km
0	3	10	1	104.11	3	8	1	97
1	9	4	1	39.81	8	3	1	34.5
2	10	3	1	29.11	9	2	1	22
3	11	2	1	18.41	10	1	1	9.5
4	12	1	1	7.7	3	7	2	84.5
5	3	9	2	93.41	8	2	2	22
6	9	3	2	29.11	9	1	2	9.5
7	10	2	2	18.41				
8	11	1	2	7.7				

表 3 随机接入前导信号格式和覆盖距离的对应关系

前导信号格式	覆盖距离/km	适用场景
0	14.53	正常覆盖小区
1	77.34	大的覆盖小区
2	29.53	较大覆盖小区以及 UE 移动速度较快的场景
3	107.34	海面和沙漠等超远距离覆盖
4	1.41	室内和室外密集市区

的距离。根据参考文献[6]可得到 PL_1 、 PL_2 ：

$$PL_1 \approx 10 \lg \left[4 \sin^2 \left(\frac{4\pi h_t h_R}{\lambda d} \right) \right] \quad (2)$$

其中, h_t 、 h_R 分别为收发天线高度, λ 为电波波长。

$$PL_2 = (\gamma_o + \gamma_w) d \quad (3)$$

其中, γ_o 氧分子损耗率, γ_w 为微波能量的大气吸收损耗率。

$$\gamma_o = \left[0.00719 + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2} \right] \times f^2 \times 10^{-5} \quad (4)$$

$$\gamma_w = \left[6.73 + \frac{300}{(f - 22.3)^2 + 7.3} \right] \times f^2 \rho \times 10^{-9} \quad (5)$$

其中, ρ 为水蒸气密度, 取值为 7.5 g/m^3 。

借鉴大连进行的海上移动通信实验^[7], 根据测试数据可得:

$$PL_3 = 15 \text{ dB} \quad (6)$$

综上可知近海领域通信的路径损耗的总计算式为:

$$PL = PL_0 + PL_1 + PL_2 + PL_3 \quad (7)$$

3.3 近海覆盖的基站站址规划

近海覆盖基站站址规划的原则如下。

(1) 因地制宜, 新旧基站结合

实现覆盖及投资效益最优。近海基站规划, 应采取老站改造兼顾海面覆盖、适当增加新站的策略。新建的近海覆盖系统, 需根据陆地覆盖规划的结果, 结合海面覆盖的需求进行选址。

(2) 力求近海无线信号连续覆盖

实现海面远距离覆盖的一个前提是海面具备良好的无线传播条件, 因此, 海面远距离覆盖基站的适宜站址应满足: 靠近岸边, 传播环境尽量在海面; 覆盖目标区域与基站之间无大片陆地区域; 覆盖方向无明显遮挡物; 结合实际覆盖需求, 海拔高度尽量较高; 考虑海域场景的变化。

(3) 根据目标覆盖区域选取合适高度的站点设计天线挂高时需尽量保证目标覆盖区域处于

视距范围内, 否则由于地球曲率的影响, 非视距区时信号迅速衰减。根据测试结果, 覆盖半径在 30 km 左右的, 基站高度一般在 50 m 左右; 覆盖半径为 45~70 km 的, 基站高度一般为 80~150 m; 覆盖半径要求在 70 km 以上的, 基站高度选择在 150 m 以上。

3.4 频段、天线的选择

为避免海面覆盖与公网交叉时隙干扰, 海面覆盖与公网覆盖建议异频。农村、乡镇 TD-LTE 公网一般采用 F 频段建设, 也有采用 D1 频段的情况。考虑到公网扩容及现有设备对 D 频段的支持能力, 海面覆盖首选 D2 频段。D2 频段与 D1 频段属于邻频, 较易满足系统间隔度要求, 规避海面覆盖与公网间的干扰。

海面场景覆盖的天线选择^[8]需要根据不同场景和项目特殊需求来考虑: 广阔远距离海面覆盖, 建议选用垂直单极化天线; 近海海域覆盖, 可以根据目标覆盖区域分布情况选用水平面半功率角为 120° 或 65° 的高增益天线; 为避免严重的“塔下黑”, 需选择具有良好零点填充和上副瓣抑制的天线; 海面远距离覆盖场景容易上行受限, 故海面广覆盖时建议使用 8 通道智能天线, 航道等线状覆盖时建议采用 2 通道高增益天线。

3.5 覆盖增强技术

在 TD-LTE 的网络建设中, 为了满足海域基站低成本广覆盖的主要诉求, 采用覆盖增强技术提升站点单站的覆盖距离。针对不同场景特点, TD-LTE 覆盖增强型方案包括 8T8R、高增益天线、16T16R 等。

其中, 16T16R 方案是一种创新解决方案, 其技术核心是: 采用两个相同的 8 通道 RRU (远端射频单元) 和两副相同天线做同覆盖实现, 原理上两个 RRU 做超级小区合并, 上行相比单个 8 通道 RRU 覆盖理论上有 3 dB 的合并增益, 下行根据现网覆盖的需求实现功率增强、两个 RRU 齐发, 即构成 16T16R。图 1 为 16T16R 方案实现示意。

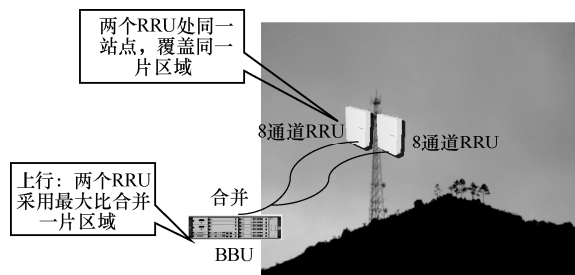


图1 16T16R 方案实现示意

从部署成本角度考虑，优先采用高增益天线同时进行上下行覆盖提升，其次考虑新增一套设备进一步做单上行或上下行覆盖提升。因此，对于现网覆盖增强的方案，应综合考虑 8T8R+普通天线、8T8R+高增益定向天线、16T16R+高增益定向天线的实测覆盖能力，根据现网站间距情况逐点做细致规划：

- 当下行存在弱覆盖时，优选采用大功率 RRU，进行 CRS 导频功率提升以及总功率提升，比如功率配置由（15.2 dBm，-3/1）提升至（18.2 dBm，-3/1）；
- 上行存在弱覆盖时，考虑在原 8T8R 基础上替换为高增益定向天线解决，即 8T8R+高增益定向天线方案，广播成形增益由 14.5~15 dBi 提升至 17 dBi，上下行同时提升 2~2.5 dBi；
- 部署高增益天线后若仍无法满足覆盖，在站点加载一套相同 RRU 和高增益天线实现同覆盖增强，即 16T16R+高增益定向天线的方案：优先考虑上行受限，即仅开启上行 16R 做上行覆盖增强，同覆盖 RRU 做上行联合接收，则上行最多提升 3 dB；上行完成覆盖提升后，若下行存在弱覆盖，考虑下行功率增强、下行两 RRU 齐发等进一步提升下行覆盖；当 TD-LTE 需要扩载波时，开启 16T16R，优选载波分别在两个 RRU 上独立发射。
- 组网部署时，采用覆盖增强技术后，需要及时根据现网的覆盖情况进行网规的调整和优化。若仍然存在弱覆盖，再考虑进一

步的增强手段。在采用 16T16R 技术时，应注意控制 RRU 功率。如果下行功率设置过大，比如原 8T 时下行覆盖已经连片，叠加 16T16R 时新增一套天面设备，两套设备下行功率相同，相当于下行功率提升 3 dB，则可能导致下行干扰，此时建议适当减小 RRU 下行发射功率。

4 实施案例

上、下川岛是江门台山重要的旅游景区，通过前期对内航道信号的测试，2G 网络能满足用户语音需求，3G 网络覆盖存在弱覆盖空洞，TD-LTE 网络由于覆盖距离限制及站点缺乏，内航道基本没有信号覆盖。具体覆盖场景如图 2 所示。

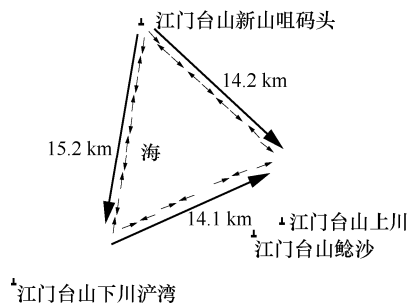


图2 具体覆盖场景

为提升内航道 4G 覆盖，计划采用新建基站加改造原有基站的策略。新建江门台山下川浚湾基站，对江门台山上川、江门台山鲮沙、江门台山新山咀码头 3 个基站进行工程改造。4 个站点具体小区参数见表 4。

表4 站点参数

基站名称	天线挂高/m			小区方向角		
	cell1	cell2	cell3	cell1	cell2	cell3
江门台山下川浚湾	61	61	61	38°	140°	230°
江门台山上川	63	63	63	70°	260°	320°
江门台山鲮沙	47.7	47.7	47.7	50°	220°	330°
江门台山新山咀码头	80	80	80	30°	180°	270°

基站系统参数配置为：采用正常 CP、特殊子帧配置 7（10:2:2）、随机接入前导信号格式 2，

同时选用 D2 频段, 并采用 16T16R 新技术、增强 RRU 设备功率和使用 FA/D 8 通道智能内置合路器独立电调板状高增益天线的方式加强航道 TD-LTE 网络覆盖。16T16R 覆盖增强技术采用两个 8 通道 RRU 和两副高增益天线进行同覆盖, 两个 RRU 合并成一个超级小区, 上行相比单个 8 通道 RRU 可获得 3 dB 的合并增益, 能有效提升航道主服务小区的覆盖距离。内航道大多站点所用天线同时支持 TD-LTE 与 TD-SCDMA 网络, 本方案通过单独使用 TD-LTE 高增益天线来加强基站覆盖能力。改造前高增益天线为 17 dBi, 更换后预计提升 2.5 dB。

通过采用 16T16R+高增益天线对打、更换高功率 RRU 提高 RS 功率的方案, 上下行增益可提升 8.5 dB 以上。由于目前单小区覆盖距离约 2 km, 根据自由链路损耗公式, 距离增加 1 倍, 信号衰减 3 dB, 则两个 16T16R 小区对打覆盖提升至 16 km 以上, 可以较好地满足覆盖要求。建设前后的指标对比见表 5, 建设前后的 RSRP 及 SINR 覆盖对

比如图 3 所示。

表 5 建设前后的指标对比

门限	建设前	建设后	差异对比
RSRP>-110 dBm 的比例	89.28%	99.13%	9.95%
SINR>-3 dBm 的比例	88.30%	96.66%	8.36%

5 结束语

本文在分析近海 TD-LTE 网络规划覆盖难点的基础上, 通过 TD-LTE 系统特殊参数配置、优化海面无线传播链路预算、优化海面覆盖基站站址规划以及覆盖增强等技术的综合应用, 形成较为完善的近海 TD-LTE 网络覆盖优化方案, 有效提升网络覆盖质量。上述技术方法在上、下川岛景区 TD-LTE 景区具体实施, 仿真测试结果显示效果较好, 满足覆盖质量要求。本文研究的近海 TD-LTE 网络覆盖优化方法及应用案例对我国后续海域移动通信网络建设与优化工作具有较为重要的参考意义。

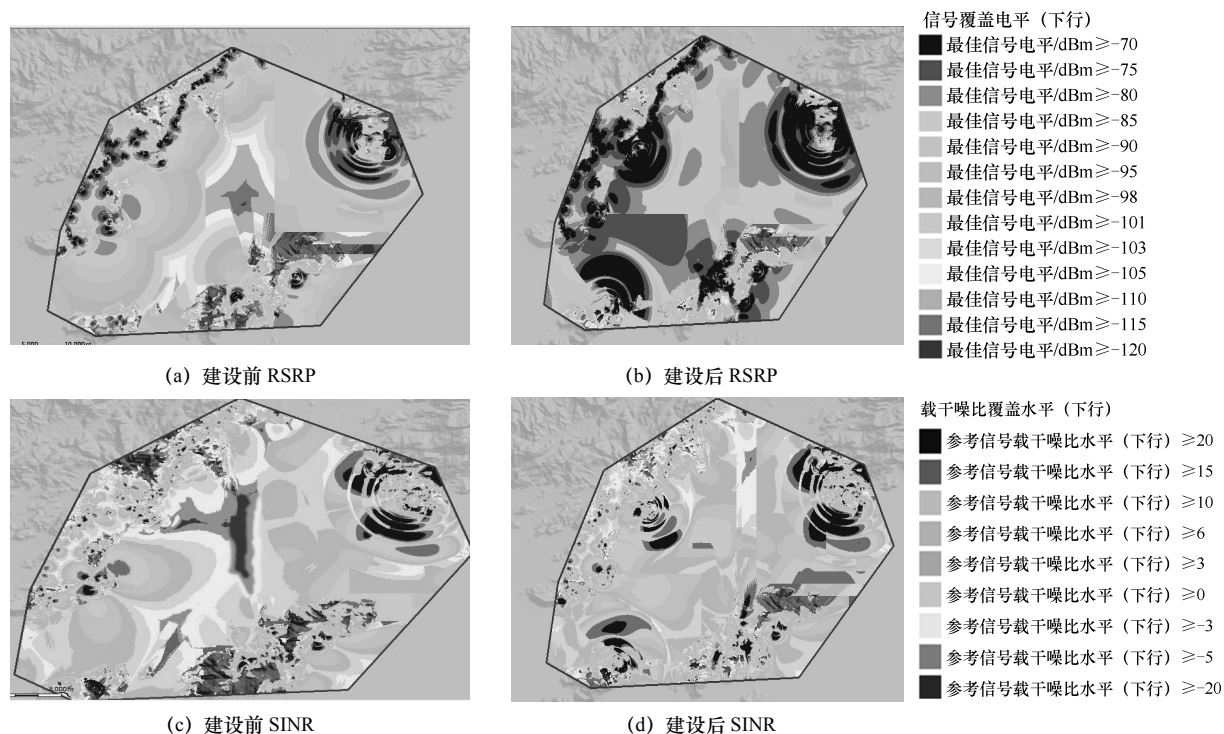


图 3 建设前后的 RSRP 及 SINR 覆盖对比



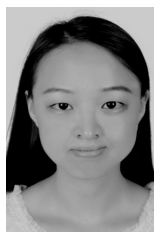
参考文献：

- [1] 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.
OUYANG H S, LV H M, GAO F, et al. Key technology analysis of long distance coverage in LTE sea[J]. Data Communications, 2014(1): 32-36.
- [2] 于力, 赵旭淞, 郑志刚, 等. LTE FDD 与 TD-LTE 海域覆盖对比测试[J]. 电信科学, 2015, 31(Z1): 53-57.
YU L, ZHAO X S, ZHENG Z G, et al. LTE FDD and TD-LTE sea area coverage test[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(Z1): 53-57.
- [3] 苏子民, 李凤花. 16T16R+Relay 技术提升 TD-LTE 海面超远覆盖[J]. 山东通信技术, 2017, 32(2): 31-34.
SU Z M, LI F H. 16T16R+Relay technology improves TD-LTE sea surface ultra long-range coverage[J]. Shangdong Communication Technology, 2017, 32(2): 31-34.
- [4] 张冬晨, 李行政, 汪汀岚, 等. TD-LTE 系统上行干扰问题研究[J]. 电信科学, 2016, 32(Z1): 52-57.
ZHANG D C, LI X Z, WANG T L, et al. Study on the uplink interference problem of TD-LTE system[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(Z1): 52-57.
- [5] 程日涛, 徐德平, 张炎炎. LTE FDD 网络规划原则及部署策略[J]. 电信科学, 2015, 31(Z1): 11-16.
CHENG R T, XU D P, ZHANG Y Y. LTE FDD network planning principles and deployment strategies[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(Z1): 11-16.
- [6] 张建国. TD-LTE 系统覆盖距离分析[J]. 移动通信, 2011(10): 26-29.
ZHANG J G. TD-LTE system coverage distance analysis[J]. Mobile Communications, 2011(10): 26-29.
- [7] 3GPP. 3rd generation partnership project, technical specification group radio access network, evolved universal terrestrial radio access(E-UTRA), physical channels and modulation: TS26. 211[S]. 2009.
- [8] 黄芳. 海上无线电波传播特性与信道建模研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.
HUANG F. Research on radio wave propagation characteristics and channel modeling at sea[D]. Haikou: Hainan University, 2015.
- [9] 马帅. 基于 WiMAX 和 LTE 的近海水域无线网规划研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
MA S. Research on wireless network planning of offshore waters based on WiMAX and LTE[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [10] 朱命怡, 牛全营. 海面电波传播损耗模型研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2010, 38(3): 161-163.
ZHU M Y, NIU Q Y. Radio-wave transmission loss model research on sea[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science), 2010, 38(3): 161-163.
- [11] 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.
LIU F S, WU X, LI F C, et al. Research and test on TD-LTE ultra-long range coverage on the sea[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015, 28(8): 39-42.

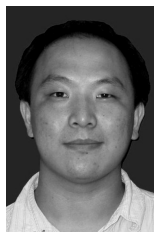
[作者简介]



蓝俊锋(1974-), 男, 广东省电信规划设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为移动通信网络咨询、规划、设计和优化。



牛冲丽(1986-), 女, 广东省电信规划设计院有限公司工程师, 主要研究方向为移动通信网络规划、设计和优化。



余国辉(1979-), 男, 广东省电信规划设计院有限公司工程师, 主要研究方向为移动通信网络规划、设计和优化。