



2.6 GHz 下的 5G NR 覆盖能力分析

崔新凯¹, 李豪², 高向川², 杨欢¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080;

2. 郑州大学信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 当前关于 5G 新空口的研究主要集中在中高频段, 4G 使用的低频段重耕对于 5G 规模连片组网意义重大, 但对此研究较少。在讨论影响无线电传播能力因素的基础上, 选取 3GPP TR38.901 中城区室外非视线传播模型, 使用当前主流空口参数, 进行多系统主要物理信道传播能力的仿真。通过对比 4G 和 5G NR 各频段相同物理信道的覆盖能力, 得到 2.6 GHz 频段下的 5G NR 主要信道覆盖能力可在现有 4G 基础上实现连片覆盖。

关键词: 5G NR; 2.6 GHz; 无线链路预算; 覆盖能力; 性能评估

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019181

Analysis of 5G NR coverage capability at 2.6 GHz

CUI Xinkai¹, LI Hao², GAO Xiangchuan², YANG Huan¹

1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

2. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

Abstract: The current research on 5G new air interface is mainly concentrated in the middle and high frequency bands. The low frequency band re-cultivation used by 4G is of great significance for 5G-scale contiguous networking, but there are few studies. On the basis of discussing the factors affecting the radio transmission capability, the urban outdoor non-line-of-sight propagation model of 3GPP TR38.901 was selected, and the current mainstream air interface parameters were used to simulate the multi-system main physical channel propagation capability. By comparing the coverage capabilities of the same physical channels in the 4G and 5G NR bands, the 5G NR primary channel coverage capability in the 2.6 GHz band can achieve contiguous coverage on the existing 4G basis.

Key words: 5G NR, 2.6 GHz, wireless link budget, coverage ability, performance evaluation

1 引言

随着移动互联网的不断发展和工业 4.0 的持续推进, 移动通信正迈入万物互联的时代。智能

终端设备接入数量和无线数据流量均呈几何式增长, 用户所需要的低时延、大容量、大连接对现有的无线通信技术形成巨大挑战。为此, 通信行业全面展开了面向 2020 年及未来的 5G 通信系统

的研究工作。为了最终满足国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）对 5G 在峰值速率、用户体验速率等方面的指标要求，提高信号的传输带宽是最为直接和有效的方式^[1]。3GPP 受国际电信联盟委托，对 5G 进行了标准化制定工作，并于 2018 年确定了 5G 使用全新的空中接口，即 5G NR。

在 5G NR 可使用的频段中，低频段资源已经分配给 4G 等用户，带宽资源严重受限。因此中高频段是 5G NR 的主力频段，特别是毫米波频率资源充足，是当前行业研究的热点。但毫米波频段无线传播损耗大，连片组网所需投入资源过大，导致短时间内不会成为 5G 部署的主力工作频段。中频段频率资源相对宽裕，但运营商现有的站址资源依然不能满足其连片组网的需求。因此对低频段进行频率重耕，对于 5G 规模组网具有重大意义。

2 研究背景

2.1 全球 5G 研究进展

3GPP 受 ITU 委托制定 5G 标准协议，已于 2017 年年底发布第一版 5G 标准协议支持非独立

（non-stand alone, NSA）组网架构的 5G 网络，2018 年 6 月发布第二版 5G 标准协议支持独立（stand alone, SA）组网架构的 5G 网络，并在协议中定义了 5G 新空口 NR 为增强移动宽带场景，并引入众多新技术。同时启动第三阶段 5G 标准化制定，将于 2019 年 12 月完成研究工作，在 2020 年 3 月形成完整的 5G 标准。3GPP 5G 标准制定进程如图 1 所示。

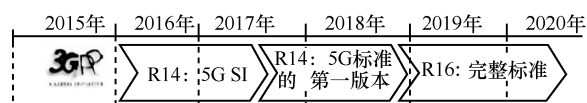


图 1 3GPP 5G 标准制定进程

为规范 5G 频率使用，3GPP 将 5G 频段范围定义为 FR1 和 FR2，并确定了 5G NR 基站的最低射频特性和最低性能要求^[2]。FR1 中 NR 的工作频段见表 1，FR1 为中低频段，即 sub-6 GHz 频段。FR2 中 NR 的工作频段见表 2，FR2 为高频段，即毫米波频段。5G NR 工作频段包括部分 LTE 频段，同时新增了部分频段。根据 GSA 发布的最新频谱分配报告，截至 2018 年 7 月，全球已有 42 个国家或地区正式考虑为地面 5G 业务引入某些频段，该报告显示 700 MHz、3 400~3 800 MHz 和

表 1 FR1 中 NR 的工作频段

NR 频段号	上行频段基站接收/UE 发射	下行频段基站发射/UE 接收	双工方式
n38	2 570~2 620 MHz	2 570~2 620 MHz	TDD
n77	3 300~4 200 MHz	3 300~4 200 MHz	TDD
n78	3 300~3 800 MHz	3 300~3 800 MHz	TDD
n79	4 400~5 000 MHz	4 400~5 000 MHz	TDD

表 2 FR2 中 NR 的工作频段

NR 频段号	上行频段基站接收/发射	下行频段基站发射/UE 接收	双工方式
n257	26 500~29 500 MHz	26 500~29 500 MHz	TDD
n258	24 250~27 500 MHz	24 250~27 500 MHz	TDD
n260	37 000~40 000 MHz	37 000~40 000 MHz	TDD
n261	27 500~28 350 MHz	27 500~28 350 MHz	TDD



24~29.5 GHz 为目前 5G 频谱相关活动的热点频段^[3]。

2.2 我国 5G 进展

2018 年 12 月 6 日,工业与信息化部向 3 家运营商正式发放 5G 中低段试验频率使用许可证,其中,中国电信和中国联通获得 3 500 MHz 频段试验频率使用许可,中国移动获得 2 600 MHz 和 4 900 MHz 频段试验频率使用许可^[4],标志着我国正式进入 5G 部署阶段。

而 3.5 GHz 和 5 GHz 频段相比国内运营商已商用的移动通信频率而言,无线传播能力明显不足,根据业界市区环境通用的 COST.231-Hata 无线传播模型计算,3.5 GHz 与 1.8 GHz 在链路预算上相差近 10 dB,即在现有的站址规模下无法连片覆盖。因此对 4G 已使用频率 2.6 GHz 频段重耕可弥补中高频无线覆盖能力不足的劣势,达到使用现有站址资源即可达到连片组网的目的。

3 5G 覆盖能力分析

为全面评估 5G 覆盖能力,首先从传播能力、关键技术、终端能力 3 个方面分析影响 5G 覆盖能力的因素,从而得到覆盖性能评估模型。

3.1 5G 覆盖能力因素

(1) 传播能力

对移动通信而言,对系统覆盖范围和受干扰的影响进行分析时,电磁波传播损耗是非常关键的因素。已知电磁波自由空间传播损耗数学模型为^[5]:

$$L_{fs} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2 \quad (1)$$

其中, d 为传播距离,单位为 km; λ 为工作波长; f 为电磁波频率,单位为 GHz; c 为自由空间穿的光速,单位是 m/s。

转化为以频率为参数的 dB 形式,即:

$$L_{fs,dB} = 92.65 + 20 \lg d + 20 \lg f \quad (2)$$

由式 (2) 可看出,当电磁波频率 f 增大或传

播距离 d 增加时,自由空间的传播损耗 $L_{fs,dB}$ 就越大^[6],导致接收端收到的信号功率非常小。

但现实环境并不满足电磁波自由空间传播的条件,在实际环境中,影响系统覆盖能力地因素除路径损耗外,还有穿透损耗、人体损耗等。因此为评估 5G NR 的覆盖能力,首先需要建立合适的传播模型。

由于 4G 移动通信系统使用 3GPP TR36.873 的传播模型针对的是 2~6 GHz,而 5G 移动通信系统使用 3GPP TR38.901 的传播模型针对的是 0.5~100 GHz,均与传统的 COST231-Hata 传播模型在系统适用频段存在较大差异,且传播模型不同。对比分析 3 种传播模型的路径损耗可评估系统传播能力。

据统计,当前 4G 业务中超过 70% 的业务发生在城区室内场景,但室外宏基站是 5G 初期组网的重点对象,因此对比 3 种模型在非视距 (non-line of sight, NLOS) 下的传播能力意义更强。仿真对比 3 种模型在 2.6 GHz 频段下的路径损耗,结果如图 2 所示,3 个场景的路径损耗基本一致^[7]。

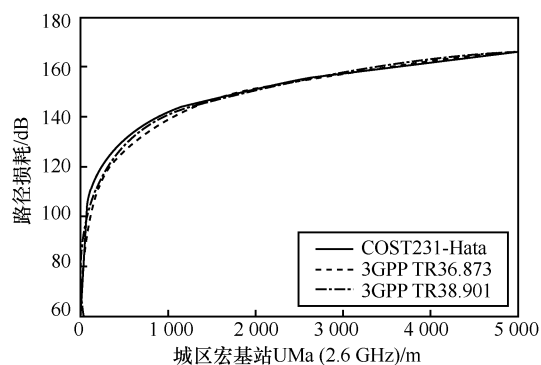


图 2 2.6 GHz 下 3 种传播模型路径损耗对比

由于 3GPP TR38.901 协议中各种场景均在 0.5~100 GHz 频率范围内,因此分析 5G NR 传播模型选取的是 3GPP TR38.901 协议中的 UMa-NLOS,即城区宏基站模型^[8]:

$$PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08 \lg d_{3D} + 20 \lg f_c - 0.6(h_{UT} - 1.5) \quad (3)$$



图3 下行控制信道波束扫描方式

其中, $1.5 \text{ m} \leq h_{\text{UT}} \leq 22.5 \text{ m}$, $h_{\text{BS}} = 25 \text{ m}$, f_c 为工作频率, 单位为 GHz; d 为距离, 单位为 km。

阴影衰落 (shadow fading) 是指通信过程中障碍物阻挡造成的阴影效应, 导致终端接收信号强度下降, 是除路径损耗外, 影响通信系统覆盖能力的重要因素之一。当前 5G NR 链路预算中阴影衰落余量为 9 dB, 较 4G 系统高 1 dB。

(2) massive MIMO 天线技术

5G NR 系统为提升系统因工作在高频段而带来的高路径损耗, 采用了诸如 massive MIMO 等技术, 通过 massive MIMO 技术可实现下行控制信道波束成形和波束扫描, 从而达到下行信道覆盖增强的目的。下行控制信道波束扫描方式如图 3 所示。

在 5G NR 与 4G 天线存在很大差异的情况下, 以 64T64R 天线为例, 每个 X 标识一对采用交叉极化方式安装的阵子, 如图 4 所示, 每个框代表多个阵子链接一个功放 (power amplifier, PA)。在双极化因素下, 64T64R 天线包含 64 个 PA, 每个 PA 连接 3 个阵子。

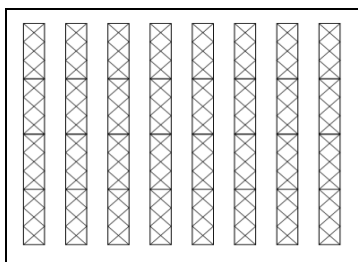


图4 5G NR 中 64T64R 天线模型

由此得到天线增益计算式为:

$$G_{\text{Ann}} = \text{PA} + 10 \lg N_{\text{PA}} + G_{\text{HP}} + G_{\text{DP}} \quad (4)$$

其中, N_{PA} 代表垂直 PA 个数, G_{HP} 代表天线水平成形增益, G_{DP} 代表天线双极化增益。

由于 5G NR 系统中控制信道与业务信道均采用波束成形的方式发送, 控制信道采用波束成形, 并采用不同的权值对 PBCH 和 PDCCH 进行波束成形, 使得每个波束朝向小区不同方向发射, 进行波束扫描。通过安排合理的邻小区波束扫描方案, 而达到改善干扰的目的; 业务信道使用“3D”波束成形, 成形更精准, 对小区内业务信道干扰的改善作用明显。因此 5G NR 链路预算中上下行干扰余量较当前的 4G 系统低 2 dB。

(3) 终端能力

由于载波带宽与天线尺寸成反比, 5G NR 带宽在 100 MHz 情况下, 基站侧和终端侧天线尺寸均较小。因此 5G 系统终端采用不同于 4G 系统终端 1T2R 的天线形态, 而是采用 2T4R 的天线形态, 在每根发射天线的最大功率为 23 dBm 的基础上, 使得终端的最大发射功率达到 46 dBm, 从而很大程度上增强了系统上行覆盖能力。

3.2 5G 覆盖性能评估

经过分析影响 5G 覆盖的 3 方面因素, 结合 5G NR 链路预算, 可得到覆盖距离模型, 即 5G 覆盖性能评估模型为:

$$\begin{cases} \text{PL} = \text{TxPower} + G_{\text{Ann}} - \text{Loss} - (\text{SNR} + N) \\ d = 10^{\frac{\text{PL} - 13.54 - 20 \lg f_c}{39.08}} \end{cases} \quad (5)$$



其中, Loss 损耗包括穿透损耗、人体损耗、阴影衰落等, N 表示噪声功能。

以此模型为基础, 尝试通过 5G NR 和 4G 系统主要信道覆盖距离与站间距之间的关系以及在特定站间距下采用 64T64R 的 5G NR 与 4G 各系统之间的覆盖能力, 评估 2.6 GHz 频段下 5G NR 的覆盖能力。为即将来临的 5G 实验网和 5G 商用中频率使用策略提供参考^[9-10]。

4 仿真结果与分析

基于第 3.2 节中得到的 5G NR 覆盖能力评估模型, 利用表 3 中的主流空口和天线参数进行覆盖能力仿真。

5G NR 主要采用 64TR 的 massive MIMO 技术, 重点评估 192TRx 下的 5G NR 覆盖能力。

经过 4G/5G 多系统仿真, 结果显示仿真中的

5G 系统与 4G 系统一样均受限于行控制信道 PRACH 的传播能力。5G NR 仿真覆盖站间距对比结果如图 5 所示, 5G NR 系统中 2.6 GHz 和 4.9 GHz 受限站间距分别为 924 m 和 344 m; 2.6 GHz 下的 5G NR 系统控制信道覆盖能力强于 1.9 GHz 下的 4G 系统, 可实现 5G NR 控制信道连续覆盖。

在独立组网 (SA) 条件下, 2.6 GHz 的上行业务信道可实现边缘速率 1 Mbit/s。5G NR 系统上行业务信道覆盖能力仿真如图 6 所示, 2.6 GHz 下的 5G NR 在 SA 条件下的上行业务信道覆盖能力优于 1 800 MHz 和 1.9 GHz 频率下的 4G 系统; 300 m 站间距下 2.6 GHz SA 下的 5G NR 系统边缘速率达到 1 Mbit/s, 无需部署 SU; 若采用非独立组网 (NSA) 方案, 由于终端配置降低为 23 dBm+1T4R, 其上行边缘速率降低到 1.9 GHz TD-LTE、2.6 GHz 3D-MIMO 水平。建议使用 SA

表 3 覆盖能力评估仿真参数

	1.8 GHz LTE FDD	1.9 GHz LTE TDD	2.6 GHz NR 128TRx	2.6 GHz NR 192TRx	3.5 GHz NR 192TRx	4.9 GHz NR 192TRx
天线增益/dB	17	16	15	16	16	16
阴影衰落/dB	8	8	8	8	9	9
干扰余量/dB	10/5	10/5	8/3	8/3	8/3	8/3
穿透损耗/dB	13	13	16	16	19	22
系统天线	4T4R	8T8R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R
系统功率/W	40	40	200	200	200	200
终端天线	1T2R	1T2R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R
终端功率/dBm	23	23	26	26	26	26
噪声系数/dB	7/3.5	7/4	7/4	7/4	7/4.5	7/5

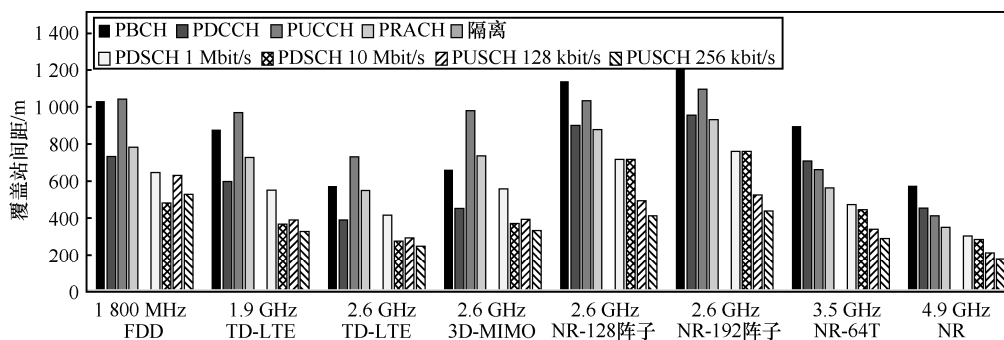


图 5 5G NR 仿真覆盖站间距对比结果

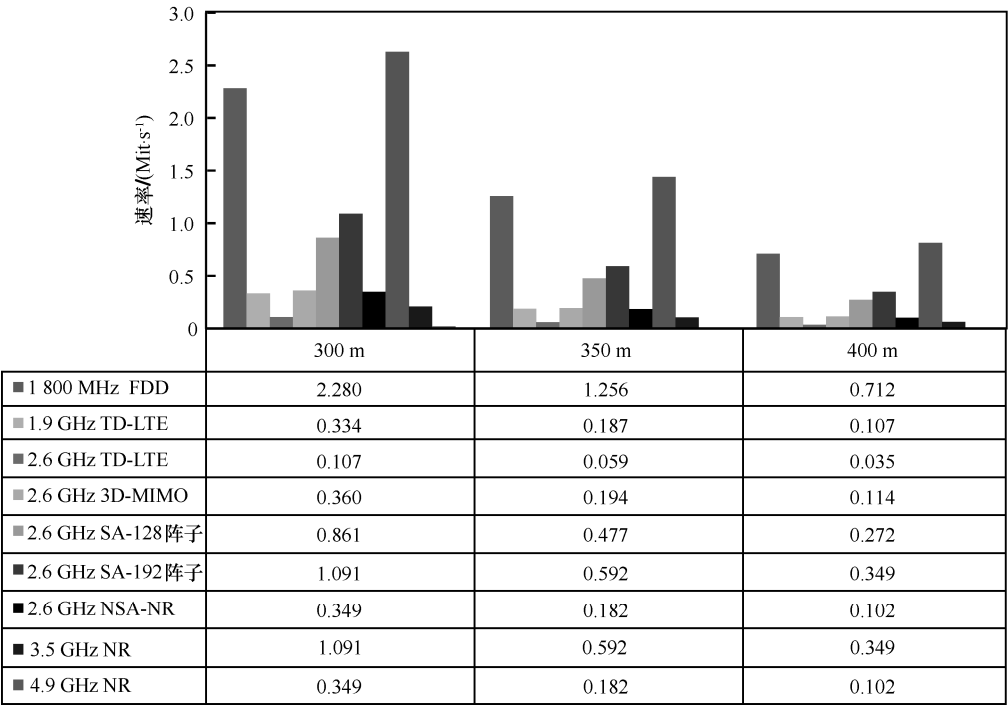


图 6 5G NR 系统上行业务信道覆盖能力仿真

进行组网以得到更好的上行业务体验。

2.6 GHz 下的 5G NR 系统下行业务覆盖能力
强。5G NR 系统下行业务信道覆盖能力仿真如图 7

所示,由于下行带宽优势和终端 4R 接收能力的提
升,2.6 GHz 下的 5G NR 系统速率较 LTE 系统显
著提升,在 300/350 m 站间距下,边缘速率可达

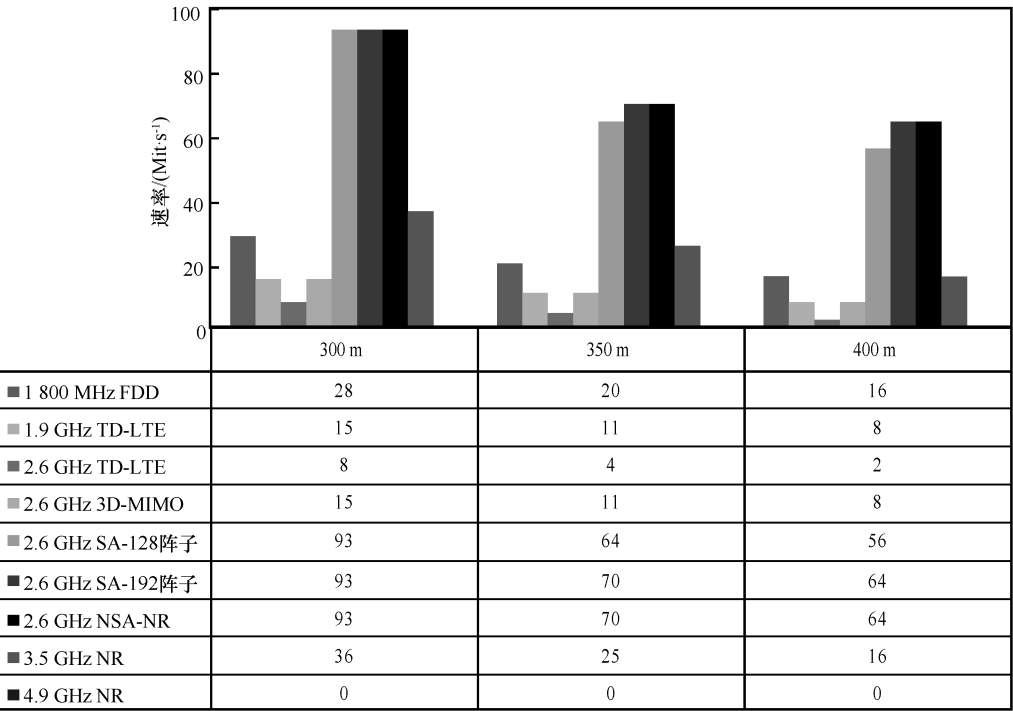


图 7 5G NR 系统下行业务信道覆盖能力仿真



到 93 Mbit/s 和 70 Mbit/s。2.6 GHz 的覆盖能力较强, 且带宽充足, 5G NR 可使用 2.6 GHz 进行室外基础覆盖。

5 结束语

本文讨论了影响 5G 覆盖能力的因素, 在对比了 3 种传播模型路径损耗后, 选取了 3GPP TR38.901 中城区室外非视线传播模型, 使用当前主流空口和天线参数进行了多系统仿真。通过对比多系统主要信道覆盖能力, 旨在为即将到来的 5G 网络建设提供网络规划的理论论证, 评估 2.6 GHz 在 5G NR 系统中的作用。根据仿真结果, 2.6 GHz 频段下的 5G NR 在控制信道方面, 覆盖能力达到 924 m, 站间距可达 948 m, 在现有站址规模情况下满足连续覆盖需求, 且带宽满足使用需求, 可用作 5G 室外覆盖的基础层。虽然 2.6 GHz 能够解决 5G 连续覆盖问题, 但其建设涉及现有网络清频和 4G 系统容量压缩等问题。频率资源相对宽松的中高频段在 5G 网络中的建设方式以及与 2.6 GHz 互操作等问题仍是未来网络实际工作中需要面临的课题, 对 5G NR 的研究将持续跟进。

参考文献:

- [1] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2014(5): 551-563.
YOU X H, PAN Z W, GAO X Q, et al. 5G mobile communication development trend and several key technologies[J]. Scientia Sinica (Informations), 2014(5): 551-563.
- [2] 3GPP. Base station (BS) radio transmission and reception: TR38.104[S]. 2018.
- [3] 李清莲. 全球 5G 频谱许可进展[J]. 广东通信技术, 2018, 38(10): 41-44.
LI Q L. Global 5G spectrum licensing progress[J]. Guangdong Communication Technology, 2018, 38(10): 41-44.
- [4] 工业和信息化部. 工业和信息化部向基础电信运营企业发放 5G 系统试验频率使用许可[EB]. 2018.
Ministry of Industry and Information Technology. Ministry of Industry and Information Technology issues 5G system test frequency license to basic telecommunications operators[EB]. 2018.
- [5] FRIISS H T. A note on a simple transmission formula[J]. Proceedings of the IRE, 1946, 34(5): 254-256.
- [6] 王璇. 5G 地面移动通信系统中电波传播若干问题[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
WANG X. Several problems of radio wave propagation in 5G terrestrial mobile communication system[D]. Xi'an: Xidian University, 2015.
- [7] 杨光, 陈锦浩. 5G 移动通信系统的传播模型研究[J]. 移动通信, 2018, 42(10): 32-37.
YANG G, CHEN J H. Research on propagation model of 5G mobile communication system[J]. Mobile Communications, 2018, 42(10): 32-37.
- [8] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: TR38.901[S]. 2017.
- [9] 杜滢, 朱浩, 杨红梅, 等. 5G 移动通信技术标准综述[J]. 电信科学, 2018, 34(8): 1-9.
DU Y, ZHU H, YANG H M, et al. Review of 5G mobile communication technology standard[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 1-9.
- [10] 朱浩, 项菲. 5G 网络架构设计与标准化进展[J]. 电信科学, 2016, 32(4): 126-132.
ZHU H, XIANG F. Architecture design and standardization progress of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(4): 126-132.

[作者简介]



崔新凯 (1985-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司注册咨询工程师, 主要研究方向为无线通信技术和物联网应用。



李豪 (1993-), 男, 郑州大学信息工程学院硕士生, 主要研究方向为可见光通信理论技术。

高向川 (1981-), 男, 博士, 郑州大学信息工程学院副教授、硕士生导师, 主要研究方向为面向新一代宽带移动通信系统的新理论及技术、可见光无线通信理论及定位技术、人工智能(机器视觉、机器人和医学图像处理与分析)技术。

杨欢 (1985-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为无线通信技术和物联网应用。