

31.8~33.4 GHz 频段 5G 系统与无线电导航业务共存分析

刘艳洁, 陈 媛, 赵延安

(国家无线电监测中心 陕西监测站, 陕西 西安 710200)

摘要: 为确定在 31.8 GHz~33.4 GHz 频段为移动通信做出附加主要业务划分的可行性, 对该频段第五代移动通信(5G)系统与无线电规则频率划分表中的主要业务无线电导航业务间的同频共存问题进行了系统间同频共存分析。采用最新的 5G 系统技术参数以及典型的无线电导航业务系统参数, 通过仿真 5G 系统基站对无线电导航业务干扰功率密度, 计算不同场景下 5G 系统基站对无线电导航业务的干扰概率。仿真结果表明, 5G 系统基站对无线电导航业务的同频干扰概率较大, 因此, 不建议在该频段引入移动通信系统。

关键词: 5G 系统; 无线电导航业务; 共存分析

中图分类号: TN929

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191299

中文引用格式: 刘艳洁, 陈媛, 赵延安. 31.8~33.4 GHz 频段 5G 系统与无线电导航业务共存分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(7): 104~107.

英文引用格式: Liu Yanjie, Chen Yuan, Zhao Yan'an. Co-existence analysis between 5G system and radionavigation service in 31.8~33.4 GHz[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(7): 104~107.

Co-existence analysis between 5G system and radionavigation service in 31.8~33.4 GHz

Liu Yanjie, Chen Yuan, Zhao Yan'an

(Shaanxi Monitoring Station, the State Radio Monitoring Center, Xi'an 710200, China)

Abstract: In order to determine the feasibility of additional allocations to the mobile services on a primary basis in the frequency band 31.8~33.4 GHz, this paper analyzes the electromagnetic compatibility between the 5th Generation(5G) international mobile telecommunications system and radionavigation service, which is the principal services according to regulations on the radio frequency allocation in the frequency band. The paper simulates the aggregated interference from the 5G base stations, adopts the latest parameters and the typical characteristics of radionavigation service, and calculates the interference probability in different scenarios. The simulation results show that the 5G base stations may cause harmful interference to radionavigation service, so it is not recommended to introduce mobile communication system in this frequency band.

Key words: 5G system; radionavigation service; co-existence analysis

0 引言

31.8~33.4 GHz 是世界无线电大会 2019(WRC-19)议题 1.13 的重点关注频段之一^[1]。该议题主要目的是为国际移动通信(IMT)确定频段, 包括可能在 24.25~86 GHz 之间的部分频段为移动业务做出附加主要业务划分, 以实现 IMT 在 2020 年及之后的未来发展。该项研究涉及全球 5G 毫米波频段规划, 目前主要是考虑 5G 系统与各频段现有业务的电磁兼容性问题。

根据无线电规则, 31.8~33.4 GHz 频段目前已经划分作为主要业务的无线电导航等业务, 主要使用者是无线电导航机载雷达。此类雷达系统装置在全球的航空器上, 用于地面绘图、气象避险、为在恶劣条件下实施精确空投校准机载导航系统; 并向飞行员提供数据, 以降低恶劣气象条件下着陆阶段的决策高度。这是一种安全业务, 需要保证其不遭受有害干扰^[2]。

本文采用最新的 5G 通信系统参数和典型的无线电导航雷达参数, 仿真计算 5G 系统基站对无线电导航业务的干扰, 对两系统间的同频共存进行详细分析研究, 以确定在该频段为 IMT 业务做出附加主要业务划分的可行性。

1 系统典型技术参数

准确的系统技术参数是建立干扰仿真模型的必备要素, 大体分为三个部分, 分别是干扰源 5G 系统的参数、被干扰的无线电导航系统参数以及无线电波传播模型。

1.1 5G 系统参数

涉及的 5G 系统参数较多, 包含基站部署、天线类型和用户分布等参数, 均参考国际电联的相关建议书, 主要参数值列于表 1^[3~4]。5G 基站内用户的分布规律为: 用户与基站间的距离服从 $\sigma=32$ 的瑞利分布, 用户的方位角服从 $N(0^\circ, 30^\circ)$ 的正态分布, 且角度范围限制在 $\pm 60^\circ$ 内^[5]。

通信与网络

Communication and Network

根据 ITU-R M.2101, 仿真 5G 基站的 8×8 天线阵增益如图 1 所示, 最大增益为 23.1 dBi。

此外, 5G 系统有两种类型的网络结构, 同构网络由单一基站类型构成, 可以是宏、微或室内基站; 异构网络由多种基站类型组合而成, 如宏基站使用较低频段进行全覆盖, 微基站使用高频段进行小范围覆盖, 微基站位置可随机或固定, 多个位置接近的微基站可构成一个集群。

表 1 5G 系统参数列表

参数		数值
系统参数	双工方式	FDD
	信道带宽/MHz	200
	信号带宽	>90% 信道带宽
基站(BS)参数	基站密度/(BSs/km ²)	户外城市热点: 30 户外郊区热点: 10
	基站天线高度/m	6
	扇区	单扇区
	下倾角/(°)	10
	网络负载 ⁽¹⁾	20%, 50%
天线参数	基站 TDD 激活因子	80%
	天线类型	ITU-R M.2101 建议书
	阵元增益/dBi	5
	单个阵元水平/垂直 3 dB 波束宽度	65° 水平/垂直
	水平/垂直前后比	30 dB 水平/垂直
	天线极化方式	线极化 ±45°
	天线阵列规模	8×8
	水平/垂直辐射单元间距	0.5 倍波长
	天线阵欧姆损耗/dB	3
	阵元传导功率	10 dBm/200 MHz
用户终端(UE)参数	基站水平方向最大覆盖角/(°)	120
	室内用户比例	5%
	同时发射的用户设备密度/(UEs/km ²)	城市: 30 郊区: 100
UE TDD 激活因子	UE TDD 激活因子	20%

注: (1)20% 能代表整个网络的典型\平均网络负载, 因此在大区域分析中使用; 小范围分析时, 网络负载取值最大不超过 50%; 单个基站最恶劣场景分析时, 可取 100%。

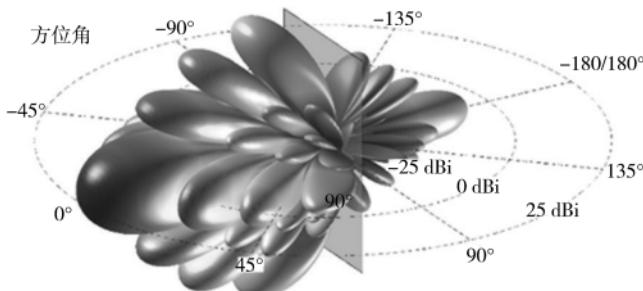


图 1 5G 基站天线增益图

1.2 无线电导航系统参数

根据 ITU-R M.1466 建议书, 31.8~33.4 MHz 频段的无线电导航业务, 主要使用者是 3 种机载雷达, 相关参数见表 2 和表 3。雷达天线在垂直方向的增益是不对称

表 2 31.8~33.4 GHz 无线电导航雷达参数(雷达 1、2)

参数	雷达 1	雷达 2
接收机噪声系数/dB	11	
天线类型	抛物面反射	
天线主瓣增益	44	41.1
天线扫描特点	水平: 360°, 7/12/21 rpm; 垂直: -30°~10°, 人工	水平: 360°, 12/45 rpm; 垂直: -30°~10°, 人工
作用高度/m		地面~9000

表 3 31.8~33.4 GHz 无线电导航雷达参数(雷达 3)

参数	雷达 3
接收机噪声系数/dB	6
灵敏度/dBm	-110
接收超载门限/dBm	-40
天线类型	线性阵列
天线最大增益	30
天线覆盖范围	水平: -30°~30° 垂直: -30°~5°
作用高度/m	地面~300

的, 详见建议书。

该频段的机载雷达有两种工作模式, 模式 1 在飞行过程中持续操作, 高度范围从刚离开地面到 9 000 m; 模式 2 仅在接近机场时操作, 高度范围从离开地面到 150 m(最高可到 300 m)。

存在多个干扰源时, 机载雷达的保护准则为 $I/N \leq -6$ dB。环境噪声 $N_0 = kTB$, 其中 k 为玻尔兹曼常数, 1.38×10^{-23} J/K; T 为热力学温度, 单位开尔文 K; B 为带宽, 单位 Hz。在常温(一般取 300 K)下, 带宽为 1 MHz 时 $N_0 = -114$ dBm/MHz。干扰门限的计算如下:

$$I_{\text{ref}} = N_0 + NF + I/N \quad (1)$$

其中, NF 为接收系统的噪声系数, I/N 为接收系统的干扰保护门限。根据表 2、表 3 中的参数计算, 雷达 1、2 的干扰门限为 -109 dBm/MHz; 雷达 3 的干扰门限为 -114 dBm/MHz。

1.3 无线电波传播模型

传播模型的选择要根据频率、距离、天线高度、地貌特征等综合选择, 地面 5G 基站与空间机载雷达之间的路径损耗要考虑降水、云和大气引起的衰减、闪烁和多径等带来的影响^[6-7]; 此外, 5G 系统的路径衰减还需考虑地物损耗(clutter loss)^[8]。

根据 ITU-R 相关建议书, 本文中选择 P.2041 传播模型计算地面电台与机载平台之间的路径衰减^[6-7], 机载平台和地表之间总衰减的计算公式为:

$$A_T^{\text{AE}}(p) = A_G^{\text{AE}}(p) + \sqrt{(A_R^{\text{AE}}(p) + A_C^{\text{AE}}(p))^2 + (A_S^{\text{AE}}(p))^2} \quad (2)$$

其中, p 表示超限概率, 在 0.001%~50% 之间; $A_R^{\text{AE}}(p)$ 、 $A_C^{\text{AE}}(p)$ 、 $A_G^{\text{AE}}(p)$ 、 $A_S^{\text{AE}}(p)$ 分别是降雨、云、水蒸气和氧气、

对流层闪烁导致的固定概率的衰减,单位为dB。每一项的计算均参考相应的建议书,涉及的气象参数均选择建议书中的典型参数。

地物损耗的计算参考ITU-R P.2108建议书,地面到机载平台,不超过p%位置的地物损耗由下式计算:

$$L_{\text{ces}} = \left\{ -K_1 \left[\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[A_1 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi \theta}{180} \right] \right\}^{[0.5(90-\theta)/90]} - 1 - 0.6 Q^{-1}(p/100) \quad (3)$$

其中, $K_1 = 93(f^{0.175})$, $A_1 = 0.05$, $Q^{-1}(p/100)$ 为逆补正态分布函数, θ 为地面基站到机载雷达传播路径的仰角。

2 干扰场景及分析方法

2.1 干扰场景

5G 移动通信系统对无线电导航机载雷达的集总干扰场景如图 2 所示。5G 系统基站部署于一个典型城市场景——半径为 35 km 的圆形区域,其中内部半径 15 km 按城市密度部署,30 BSs/km²;半径 15~35 km 按照郊区密度部署,10 BSs/km²,飞机飞过城市上方。宏基站范围内随机部署微站,微基站内用户分布如 1.1 节 5G 系统参数部分所述。雷达天线高度范围 2~9 000 m(假设飞机停在地面上,雷达天线高度为 2 m)。计算 IMT 微站服务各自相应的用户时,其天线旁瓣辐射对无线电导航机载雷达接收机造成的集总干扰。

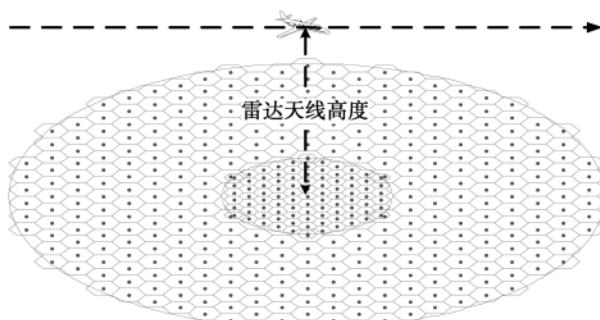


图 2 集总干扰场景图

单个 5G 基站对机载雷达的干扰场景如图 3 所示。其中, α 表示传播方向与基站天线主瓣的夹角, β 表示传播方向与雷达天线主瓣的夹角。

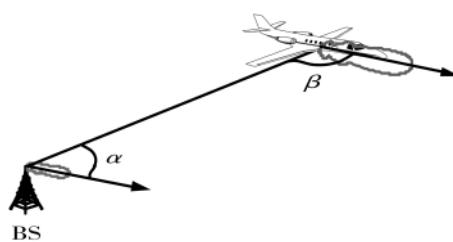


图 3 单个 5G 基站干扰场景图

2.2 干扰分析方法

单个 5G IMT 微站在无线电导航雷达处产生的干扰功率谱密度如下:

$$I_n = P_n + G_{\text{IMT}} - L_p + G_{\text{Radar}} - L_{\text{Array}} - L_c \quad (4)$$

其中, I_n 是第 n 个 IMT 微站在无线电导航雷达处产生的干扰功率谱密度,单位为 dBm/MHz; P_n 第 n 个 IMT 微站的发射功率,单位为 dBm/MHz; G_{IMT} 是 IMT 微站天线在传播方向上的增益,单位为 dBi; L_p 是 IMT 微站到无线电导航雷达的传播损耗(包含了地物损耗),单位为 dB; G_{Radar} 是无线电导航雷达在 IMT 微站发射方向的天线增益,单位为 dBi; L_{Array} 是 IMT 基站天线阵列损耗,仿真取 3 dB; L_c 是极化损耗。

所有 IMT 微站对无线电导航雷达造成的集总干扰功率密度 I_{agg} 为:

$$I_{\text{agg}} = 10 \log \left(\sum_{n=1}^N 10^{I_n/10} \right) \quad (5)$$

其中, I_{agg} 是无线电导航雷达接收到的集总干扰功率谱密度,单位为 dBm/MHz。

由于 5G 微基站的位置(异构网络中)及相应用户位置的随机性和天线的方向性等因素,基站对导航雷达造成的干扰也具有随机性。因此,本文采用蒙特卡洛仿真方法,每次仿真中随机部署 5G 基站,计算 5G 基站服务其用户时,发射功率通过天线旁瓣对无线电导航雷达造成的干扰功率密度,多次仿真,最终统计干扰功率密度及其累积分布函数(CDF)曲线,以判断 5G 基站是否会对机载导航雷达造成有害干扰以及干扰的概率。

3 仿真结果

3.1 仿真参数

考虑到高频段的 5G 网络多用于热点区域覆盖,对于大区域的 5G 基站建模,根据 ITU 给出的两个大规模部署时基站密度的加权系数 R_a 和 R_b 来确定基站实际部署密度:

$$D = D_s \times R_a \times R_b \quad (6)$$

其中, D_s 是表 1 中的基站密度, R_a 是指城市建成区的热点面积与建成区面积的比值, R_b 是城市建成区面积与城市行政面积的比值。根据建议,本文的仿真中, R_a 在城市和郊区的取值分别为 7% 和 3%; R_b 取值为 1。

仿真的中心频率为 32 GHz, 地物损耗中的位置百分比在每次计算中随机取值(1%~100%)。

由于雷达 1 和雷达 2 的干扰保护门限相同,作用高度范围相同,且天线最大增益较小,相同场景下,雷达 1 接收到的干扰功率会较大。因此,仿真计算中以雷达 1 和雷达 3 为例计算。

3.2 仿真结果

分别仿真计算无线电导航机载雷达在不同高度场景下,接收到的来自 5G 基站的干扰功率密度,统计最大干扰功率密度和干扰概率。典型高度时的干扰功率密度 CDF 曲线如图 4 所示。其他多种不同高度时雷达 1 和雷达 3 受到来自 5G 基站的有害干扰概率统计分别列于表 4 和表 5。

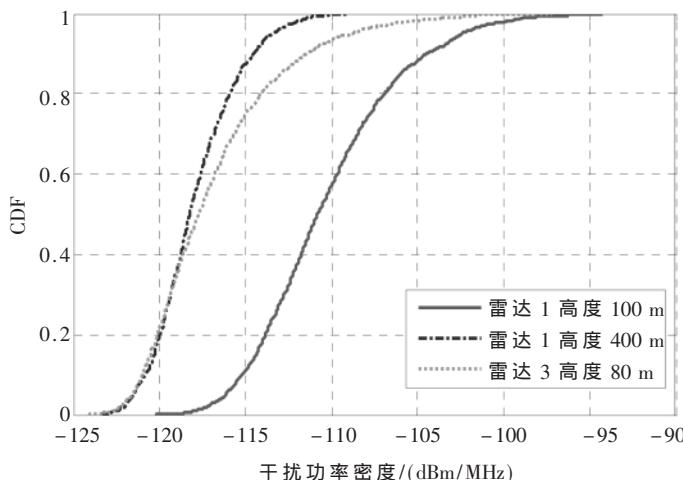


图4 干扰功率密度 CDF 曲线

表4 雷达1在不同高度时受到有害干扰的概率统计

高度/m	干扰门限/(dBm/MHz)	最大干扰功率密度/(dBm/MHz)	受到有害干扰的概率
100	-109	-94.29	0.34
200	-109	-99.20	0.095
400	-109	-108.97	0.005
800	-109	-116.56	0
1 600	-109	-124.68	0
3 200	-109	-125.81	0
9 000	-109	-126.48	0

表5 雷达3在不同高度时受到有害干扰的概率统计

高度/m	干扰门限/(dBm/MHz)	最大干扰功率密度/(dBm/MHz)	受到有害干扰的概率
10	-114	-84.02	0.1735
20	-114	-95.00	0.1910
40	-114	-92.19	0.1935
80	-114	-97.20	0.1950
150	-114	-96.05	0.1770
300	-114	-95.28	0.1485

从仿真结果统计图表中可以看出，机载雷达1随着高度的增加，接收到的来自5G基站的干扰功率密度和有害干扰概率均逐渐减小，在高度为400m及以下会受到有害干扰，高度100m时受到有害干扰的概率高达34%；雷达3受到的有害干扰的概率随高度增加先增加而后逐渐减小，在高度80m时受到有害干扰的概率最大，为19.5%，在仿真中的不同高度场景下均受到来自5G基站的有害干扰。

4 结论

本文通过仿真计算典型场景下31.8~33.4GHz频段5G系统基站对无线电导航机载雷达的干扰功率密度，统计有害干扰概率，确定了5G基站在机载雷达高度较

低时会对其产生较大的有害干扰，两系统不能同频共存。由于无线电导航业务涉及安全，应保护其不受有害干扰，因此不建议在31.8GHz~33.4GHz频段为移动通信做出附加主要业务划分，在该频段引入5G移动通信业务不可行。

参考文献

- [1] ITU-R.Final acts WRC-15[R].World Radiocommunication Conference , 2015 : 294–296.
- [2] Recommendation ITU-R M.466-1 , Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radionavigation service in the frequency band 31.8–33.4GHz[R].2017.
- [3] Recommendation ITU-R M.2101-0 , Modeling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies[R].2017.
- [4] 3GPP TR 37.840 , Study of radio frequency(RF) and electromagnetic compatibility(EMC) requirements for active antenna array system(AAS) base station[S].Release 12 , 2015.
- [5] System parameters and propagation models to be used in sharing and compatibility studies , Annex 1 to task group 5/1 Chairman's Report[R].TG5/1#2 , 2017.
- [6] Recommendation ITU-R P.1141-10 , Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz[R].2019.
- [7] Recommendation ITU-R P.2401-0 , Prediction of path attenuation on links between an airborne platform and Space and between an airborne platform and the surface of the Earth[R].2013.
- [8] Recommendation ITU-R P.2108-0 , Prediction of clutter loss[R].2017.

(收稿日期：2019-11-28)

作者简介：

刘艳洁(1988-)，女，硕士，工程师，主要研究方向：频率规划、系统间电磁兼容分析、移动通信技术。

陈媛(1989-)，女，硕士，工程师，主要研究方向：系统间电磁兼容分析、移动通信技术。

赵延安(1982-)，男，博士，高级工程师，主要研究方向：电磁兼容分析、信号处理、无线电新技术研究等。

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