



24.65~25.25 GHz 频段 IMT-2020 (5G) 系统 对卫星广播系统干扰分析

韩锐¹, 张磊¹, 李伟¹, 刘珊珊¹, 王冠², 刘春花³

(1. 国家无线电监测中心, 北京 100037;
2. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082; 3. 北京邮电大学, 北京 100876)

摘要: 基于 WRC-19 1.13 议题研究框架和国内 6 GHz 以上 IMT-2020 (5G) 候选频段的兼容性分析要求, 针对 24.65~25.25 GHz 频段 IMT-2020 (5G) 系统对卫星广播系统的干扰进行研究。采用蒙特卡洛的仿真方法, 比较了静止轨道卫星经度分别在东经 59°、85°、113°时, IMT-2020 (5G) 系统基站对卫星广播系统上行馈线链路的集总干扰情况。通过仿真分析, 评估了 5G 系统对不同轨位卫星两类载波的集总干扰水平。研究结果表明, 在该频段, IMT-2020 (5G) 系统不会对卫星广播系统产生有害干扰, 相关研究结果可为未来毫米波频段 IMT-2020 (5G) 系统频率规划以及保护卫星广播系统提供技术依据。

关键词: 通信技术; IMT-2020 (5G) 系统; 干扰分析; 卫星广播系统

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018137

Interference analysis between IMT-2020 (5G) system and broadcasting satellite service system in the band of 24.65~25.25 GHz

HAN Rui¹, ZHANG Lei¹, LI Wei¹, LIU Shanshan¹, WANG Guan², LIU Chunhua³

1. State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

2. Nuclear and Radiation Safety Center, MEP, Beijing 100082, China

3. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: Based on the Agenda Item 1.13 of WRC-19 and requirements for domestic compatibility analysis of 5G candidate frequency bands above 6 GHz, the interference from IMT-2020 system (5G) to broadcasting satellite service system in 24.65~25.25 GHz band was studied. The Monte Carlo simulation method was used to assess the aggregate interference from IMT base station (BS) to the up-link of feeder link of broadcasting satellite where the geostationary orbit satellite at 59°, 85° and 113° longitude. The aggregate interference level from 5G system to the two kinds of carriers of the satellite system with different orbits was evaluated via simulation analysis. Research results show that the IMT-2020 (5G) system will not cause harmful interference for broadcasting satellite services system. The results can provide technology basis for future planning of IMT-2020 (5G) system in millimeter wave and protecting of broadcasting satellite system.

Key words: communication technology, IMT-2020(5G) system, interference analysis, broadcasting satellite service system

收稿日期: 2017-11-23; 修回日期: 2018-03-21

通信作者: 王冠, wg_169@163.com

1 引言

作为未来全球宽带网络无缝覆盖的重要技术手段,5G系统是以信息化驱动现代化、建设网络强国、提供普遍服务的重要基础设施^[1]。为在全球5G发展占据有利先机,世界各国纷纷加大在5G技术、频谱、标准和产业化等方面的战略布局^[2]。我国在《国家信息化发展战略纲要》中提出,在2020年5G技术研发和标准应取得突破性进展,其中5G高频段资源是5G频谱战略的重要组成部分,相关频率规划以及支撑规划划分的兼容性研究也成为各国无线电管理机构面临的重要问题^[3]。

为满足覆盖、容量与性能等多方面的要求,5G系统的频率需求缺口较以往显著增加,考虑到在高频段范围内寻找连续大带宽具有更大的可能性,在2015年世界无线电大会(WRC-15)上,通过了WRC-19 1.13新议题,审议为国际移动通信的未来发展确定新频段^[4],该议题将针对24.25~86 GHz频段范围内的11个潜在候选频段开展分析研究,为5G系统的下一步发展寻找毫米波频段资源^[5]。

24.25~27.5 GHz频段是WRC-19 1.13议题候选频段中最低的一段,在国际电信联盟(ITU)《无线电规则》^[6]频率划分表中,虽然移动业务在此频段是主要划分,但同时也有卫星固定(地对空)、卫星地球探测(空对地)以及卫星间业务等主要划分共享该频段。研究地位的优先、复杂的划分、激烈的讨论,已经使得该频段成为5G系统最受关注的先锋频段,因此开展5G系统在该频段与其他主要业务的干扰分析显得尤为重要。

考虑到在24.65~25.25 GHz频段,卫星广播系统使用划给该频段的卫星固定业务作为上行馈线信号,因此未来5G系统如果在该频段部署,将有可能对卫星广播系统的卫星接收产生影响,亟须对系统间的兼容性进行分析。

本文通过分析6 GHz以上5G候选频段的需求,在研究WRC-19 1.13议题框架及ITU建议书与报告的基础上,参考5G系统与卫星广播系统的典型参数与部署场景,首次研究了5G系统在24.65~25.25 GHz频段同频部署时对我国广播电视卫星上行接收的影响,评估5G系统集成总干扰对卫星上行链路的影响。

2 系统描述

考虑到在卫星广播系统中,接收馈线上行信号的静止轨道(geostationary orbit, GEO)卫星位于赤道上空约36 000 km的高度,单颗卫星可视范围占地球表面积1/3以上,由于地球上不同的点对于静止轨道卫星的角与方位角都不相同,因此对卫星的干扰也不相同。

在我国境内,首先确定在城市微蜂窝部署场景下,单位面积内5G基站对GEO卫星产生的干扰;其次根据卫星馈线波束范围内所占的面积,计算出馈线波束覆盖范围内5G基站对GEO卫星的干扰;考虑到未来发展,我国在此频段范围内可能会部署多个馈线链路上行站,因此需要考虑我国境内所有5G基站对卫星接收端的集总干扰,最终通过干扰噪声比来判断是否满足对卫星广播系统的干扰保护要求。

2.1 5G系统技术与操作特性

由于24.25~27.5 GHz属于毫米波频段,电磁波的传播衰减较大,因此5G系统利用此频段作为低频段的补充,即在异构网络拓扑下,宏小区(macro cell)工作在低频段以满足覆盖需要,微小区(micro cell)工作在高频段用来提高系统容量,典型的应用场景包括城市微蜂窝和室内场景。由于GEO单个馈线波束覆盖直径高达800 km以上,因此5G系统在覆盖区域内为城市微蜂窝与室内场景混合组网模式,考虑到高频段室内场景穿透损耗较大,本文仅考虑波束覆盖范围内城市微蜂窝对卫星的集总干扰。



假设 5G 系统工作在 TDD 模式, 则基站/终端都将在相同的频段进行信号的收发操作。为了减少系统内部干扰以及集中能量传输, 工作在微小区的基站和终端天线采用波束成形技术, 因此基站发射天线的波束指向对集总干扰有直接影响。

对于城市微蜂窝场景, 在 1 km^2 的区域内确定 30 个的宏小区的拓扑 (站间距为 200 m), 每个宏小区包含 3 个相同的六边形扇区; 然后在每个宏小区范围内部署一个微基站, 并确保微基站之间的距离不小于 50 m, 网络拓扑如图 1 所示。

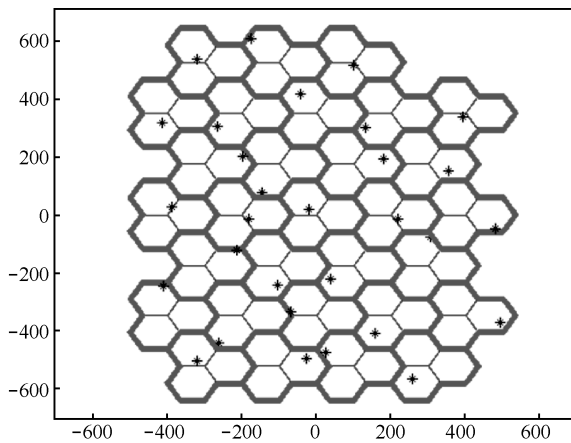


图 1 城市微蜂窝拓扑 (单位: m)

2.2 卫星广播系统技术与操作特性

24.65~25.25 GHz 频段主要用于卫星广播系统的上行馈线链路。此类系统在该频段有部署多个馈线链路上行站的可能, 因此考虑卫星在覆盖波束区以内都能够收到同频部署的 5G 系统干扰信号, 卫星对覆盖区域下处于不同地理位置的设备接收天线增益会有所差别。

通过 ITU 第四研究组发布的联络函^[7], 卫星广播系统馈线链路的典型参数涉及两类: 载波#1 的波束宽度为 0.65° , 卫星接收增益 51 dBi, 系统噪声温度 900 K, 带宽 30 MHz; 载波#2 的波束宽度和带宽与载波#1 相同, 卫星接收增益 46 dBi, 系统噪声温度 760 K。

本文关注中国范围内可视区域, 覆盖我国境

内。考虑单波束覆盖区域为直径 1 000 km 范围的圆, 考虑实际情况与仿真复杂度的折中, 将此圆均匀布满中国范围内可视区域 (海域除外), 每个圆内的 5G 基站对卫星的仰角不变, 不同圆内的 5G 基站对卫星的仰角根据地理坐标重新计算。

3 仿真模型

3.1 路径损耗模型

3.1.1 5G 系统路径损耗模型

仿真中 5G 系统基站与终端之间的链路损耗模型主要参照 3GPP TR38.900 中的 LOS 模型。对于城市微蜂窝:

$$PL(d) = 32.4 + 21 \lg d + 21 \lg f \quad (1)$$

其中, d 是终端与基站间的传播距离, 单位为 m; f 是载波频率, 单位为 GHz。

基站与终端之间的耦合路径损耗 CL 如式(2)所示, G_{BS} 与 G_{MS} 分别为基站和终端的天线增益, 路径损耗不低于基站与移动台之间的最小耦合损耗 (MCL), 此外还需附加对数正态阴影衰落 F 。

$$CL = \max(PL - G_{BS} - G_{UE} + F, MCL) \quad (2)$$

3.1.2 地对空路径损耗模型

5G 系统与 GEO 卫星的路径损耗采用自由空间模型:

$$L(d) = 92.5 + 20 \lg d + 20 \lg f \quad (3)$$

其中, d 为 IMT 基站发射端与卫星接收端的视距, 单位为 km; f 为工作频率, 单位为 GHz。

对于地物损耗, 采用 ITU 传播模型 P.2108^[8]:

$$L_{ces} = \left\{ -k_1 \left[\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[A_1 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi \theta}{180} \right] \right\}^{[0.5(90-\theta)/90]} - 1 - 0.6 Q^{-1}(p/100) \quad (4)$$

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 为卫星对于 5G 系统基站/终端的仰角, p 在 0~100 内取值。

3.2 5G 系统基站天线模型

5G 基站天线在高频段采用了波束成形技术，波束成形天线基于天线阵列，并且由位于 yz 平面中具有固定间隔距离的多个相同辐射阵元组成，所有阵元具有相同的辐射图案且“指向”（具有最大方向性）沿着 x 轴。加权函数用于在各个方向上引导波束。总天线增益是阵列增益和阵元增益的和（对数标度）。具体地，阵元增益的计算方式参考 ITU 建议书 M.2101^[9]：

$$A_E(\varphi, \theta) = G_{E, \max} - \min\{-[A_{E,H}(\varphi) + A_{E,Y}(\theta)], A_m\} \quad (5)$$

其中， $G_{E, \max}$ 最大阵元增益，单位为 dBi； $A_{E,H}$ 以及 $A_{E,V}$ 分别为水平和垂直方向的辐射图案， φ ($-180^\circ \sim 180^\circ$) 和 θ ($0 \sim 180^\circ$) 分别为接收机相对于发射天线的方位角和下倾角。考虑到天线具有欧姆损耗，因此实际的阵元增益应该由式 (5) 得到的阵元增益减去欧姆损耗得到。

$$A_{E,H}(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\varphi}{\varphi_{3\text{dB}}}\right), A_m\right] \text{dB} \quad (6)$$

$$A_{E,Y}(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3\text{dB}}}\right)^2, \text{SLA}_v\right] \text{dB}$$

对于特定的波束 i ，其阵列增益的计算方式如下：

$$A_{A, \text{Beam}_i}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10 \lg \left(\left| \sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right|^2 \right)$$

$$v_{n,m} = \exp(\sqrt{-1} \cdot 2\pi(n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos\theta + (m-1) \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi),$$

$$w_{i,n,m} = \exp(\sqrt{-1} \cdot 2\pi(n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin\theta_{i, \text{etilt}} + (m-1) \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos\theta_{i, \text{etilt}} \cdot \sin\varphi_{i, \text{escan}}),$$

$$n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H \quad (7)$$

其中， $\theta_{i, \text{etilt}}$ 和 $\varphi_{i, \text{escan}}$ 分别为波束相对于天线的下倾角（相对于天线垂直图案最大增益指向）和方位角。

3.3 GEO 卫星天线模型

采用 ITU-R S.672^[9] 建议书中推荐的卫星接收机天线模型。假设 5G 系统与卫星天线主瓣方向的离轴角为 φ （度），则卫星对 5G 信号的接收增益 $G(\varphi)$ 采用式 (8) 计算：

$$G(\varphi) = G_m - 3 \left(\frac{\varphi}{\varphi_b} \right)^a, \varphi_b < \varphi < a\varphi_b$$

$$G(\varphi) = G_m + L_N - 20 \lg Z, a\varphi_b < \varphi < 0.5b\varphi_b$$

$$G(\varphi) = G_m + L_N, 0.5\varphi_b < \varphi < b\varphi_b \quad (8)$$

$$G(\varphi) = X - 25 \lg \varphi, b\varphi_b < \varphi < Y$$

$$G(\varphi) = L_F, Y < \varphi < 90^\circ$$

$$G(\varphi) = L_B, 90^\circ < \varphi < 180^\circ$$

其中， $X = G_m + L_N + 25 \lg(b\varphi_b)$ ， $Y = b\varphi_b 10^{0.04(G_m + L_N - L_F)}$ ， $z=1$ 为圆主副轴比， G_m 为天线主瓣的最大增益， $\varphi_b = 0.65^\circ$ 。对于载波#1 与载波#2，分别为 51 dBi 与 46 dBi， $L_N = -20$ dB， $L_F = 0$ dBi， $L_B = \max(0, 15 + L_N + 0.25G_m + 5 \lg z)$ dBi， λ 为关注频率的波长， $a = 2.58 \sqrt{1 - \lg z}$ ， $\alpha = 1.5$ ， $b = 6.32$ 。

3.4 通信方位角计算

3.4.1 地对空

已知 5G 基站和卫星的位置，基站与卫星的仰角 H 和方位角 A 采用式 (9) 计算：

$$H = \tan^{-1} \frac{\cos(\varphi_s - \varphi_g) \cos \theta_g - \frac{6378}{6378 + 35786.6}}{\sqrt{1 - [\cos(\varphi_s - \varphi_g) \cos \theta_g]^2}}$$

$$A = \tan^{-1} \frac{\tan(\varphi_s - \varphi_g)}{\sin \theta_g} \quad (9)$$

其中， φ_g 、 θ_g 分别为基站的经度和纬度， φ_s 为卫星所在轨道位置经度。

3.4.2 5G 基站天线物理下倾后的仰角、方位角

为了减少小区间干扰，5G 系统基站天线一般会设置一个物理下倾角以控制天线主瓣的覆盖范围。然而一旦天线物理下倾后，在天线水平面测得的仰角和方位角就不再适用。实际上相对于天线的仰角和方位角应采用式 (10) 矫正：



$$\begin{aligned} \theta &= \arcsin(\sin \theta_h \cos \beta + \cos \theta_h \cos \varphi_h \sin \beta), \\ -90^\circ &< \theta < 90^\circ \\ \varphi &= \arccos\left(\frac{-\sin \theta_h \sin \beta + \cos \theta_h \cos \varphi_h \cos \beta}{\cos \theta}\right), \\ -180^\circ &< \varphi < 180^\circ \end{aligned} \quad (10)$$

其中, $-90^\circ \leq \theta_h \leq 90^\circ$ 为从天线位置处水平面测到的俯仰角; $-180^\circ \leq \varphi_h \leq 180^\circ$ 为从最大增益方位测量到的天线位置处水平面中的方位角; β 为物理下倾角。

4 仿真设置

由于实际 5G 系统中的终端是移动的, 为了更真实地模拟实际环境, 需要采用蒙特卡罗法仿真进行系统级仿真, 抓拍 (snap-shot) 取样, 最后用统计方法进行分析。由于每次取样服从均匀分布, 仿真次数足够多便可模拟实际系统中用户各种位置的可能性。

4.1 仿真步骤

仿真步骤如下所示。

步骤 1 按照图 1 的小区拓扑初始化基站参数, 每次抓拍前初始化用户参数。

步骤 2 计算各终端路径损失, 生成阴影衰落 F 。

步骤 3 计算终端与基站间的仰角和方位角, 得到耦合路径损失 CL, 针对每个终端, 找到 CL 最小的基站接入。

步骤 4 基站从接入它的终端中随机选择 K 个位于天线正前方 120° 范围内的终端进行调度。

步骤 5 根据负载因子确定基站的激活状态, 未激活的基站不参与以下步骤。

步骤 6 基站将波束对准调度的用户, 计算波束增益, 并保存波束的方向。

步骤 7 确定基站的发射功率 P_{IMT} 。

步骤 8 计算基站与卫星的仰角 H 和方位角 A 。

步骤 9 计算 5G 系统与卫星之间的耦合路径

损耗为 $GL_{\text{IMT-GEO}} = PL_{\text{IMT-GEO}} - G_{\text{IMT-GEO}} - G_{\text{GEO}}$, 其中 $G_{\text{IMT-GEO}}$ 是基站天线波束在卫星方向的发射增益, G_{GEO} 是卫星端的接收天线增益, $PL_{\text{IMT-GEO}}$ 是基站与卫星之间的路径损耗。

4.2 集总干扰

根据基站的发射功率、基站与卫星的耦合路径损耗, 计算出单个 5G 基站对 GEO 卫星的干扰。

$$I_i = P_{\text{IMT}}^i + G_{\text{IMT-GEO}}^i + G_{\text{GEO}} - CL_{\text{IMT-GEO}} \quad (11)$$

其中, i 为基站序号, I_i 为该基站对 GEO 卫星的干扰 (单位为 dBm)。

局部区域内的集总干扰为区域内所有激活基站产生的干扰和。在整个中国覆盖区域内 5G 系统对卫星的集总干扰, 可以根据波束的覆盖范围乘以局部区域所占的面积比 (R_a 和 R_b) 计算得出, 得到集总干扰 I_t 。

最后, 由于 5G 系统与卫星广播系统上行链路的工作带宽不对称, 因此要对集总干扰进行处理, 实际的集总干扰 I 计算如下:

$$I = I_t + 10 \lg BW_{\text{GEO}} / BW_{\text{IMT}} \quad (12)$$

根据 ITU-R S.1432-1^[10] 建议书, 当固定业务卫星作为被干扰系统且工作频率低于 30 GHz 时, 以 $I/N \leq -12.2$ dB 作为评估准则。

4.3 仿真参数

仿真中 5G 系统和卫星广播系统的主要参数^[12] 见表 1。

5 仿真结果与分析

5.1 相对仰角的影响

图 2 显示了不同仰角下 5G 基站与 GEO 卫星之间的地物损耗累计分布曲线。从图 2 中可看出, 仰角越低, 地物损耗越大, 因此基站部署位置指向位于轨道 GEO 卫星的仰角对干扰水平有较大影响, 本文也通过选取 3 个不同的轨道位置对比不同仰角下 5G 基站带来的集总干扰。

表 1 仿真参数设置

参数	数值	
5G 系统参数	频率/GHz	28
	工作带宽/MHz	200
	调度用户数 K	3
	天线高度/m	6 (高于地面)
	扇区	单扇区
	下倾角	10°
	网络负载因子	20%
	基站 TDD 激活因子	100%
	阴影衰落标准差/dB	4
	阴影衰落相关因子	0.5
	MCL	50
	基站最大发射功率/(dBm·200 MHz ⁻¹)	28
	城区因子 Ra	7%
	热点因子 Rb	5%
	天线模式	建议书 ITU-R M.2101
	阵元增益/dBi	5
	单阵元水平/垂直 3 dB 波束宽度	65°
	水平/垂直主后瓣比/dB	30
	天线阵列配置 (行×列)	8×8 阵元
	水平/垂直辐射阵元间隔	0.5 倍波长
阵列欧姆损耗/dB	3	
单阵元的传导功率/(dBm·200 MHz ⁻¹)	10	
基站在水平面上的最大覆盖角度	120°	
卫星广播系统参数	上行工作带宽/MHz	30
	卫星经度	59° E/85° E/113° E
	卫星接收机噪声温度/K	900/760
	卫星接收增益/dBi	51/46
	路径损耗	自由空间
	地物损耗 (clutter loss)	与仰角、 p 有关
	大气损耗	0

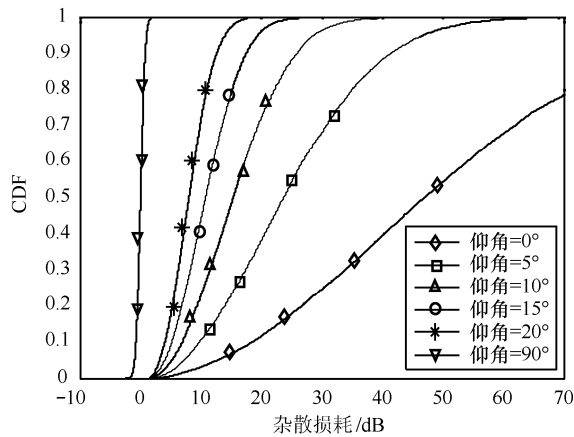


图 2 地对空杂散损耗累计分布曲线

5.2 5G 基站天线模式的影响

建议书 ITU-R M.2101 中给出 5G 基站天线阵列, 图 3 和图 4 分别给出了天线波束增益在垂直方向和水平方向的变化曲线。基站采用 8×8 阵元天线。

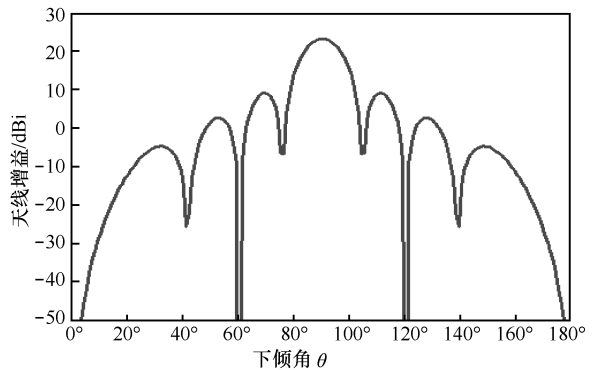


图 3 垂直天线增益 ($\varphi=0$)

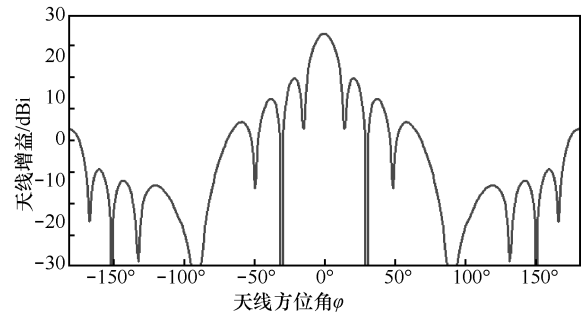


图 4 水平天线增益 ($\theta=90^\circ$)

图 5 给出了当 5G 系统部署在北京 (116°16'E、40°03'N), 卫星分别为 59° E、85° E 以及 113° E 时, 5G 基站波束指向卫星的天线增益累计分布曲线 (含欧姆损耗, 用户的撒放方式为在基站周围半径为 100 m 的圆内随机撒点)。显然, 当卫星轨位为 59° E 时, 基站对卫星的天线增益最大, 85° E 次之, 113° E 最小。卫星轨位为 113° E 时, 基站和卫星之间的仰角最大, 偏离波束的角度最大, 因此基站对 GSO 卫星的天线增益最小。

5.3 集总干扰

表 2 显示了 GEO 卫星在载波 1# 模式下, 在单位面积与所有覆盖面积下受到的集总干扰。



从仿真结果看,当卫星轨位为 59° E 时干扰最大,这是因为从图 5 的仿真结果得出该轨位 5G 基站对卫星的天线增益最大,因此对卫星接收的影响也最大。

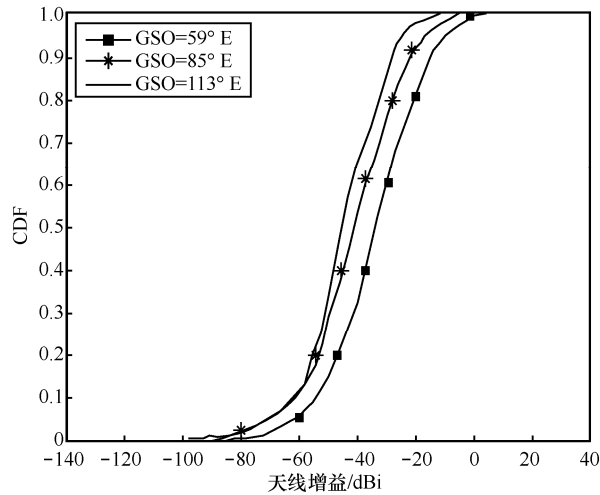


图 5 IMT 基站波束指向空间站的累计分布曲线 (8×8 天线)

表 2 载波 1#情况下 5G 基站对卫星的干扰

卫星经度	59° E	85° E	113° E
单位面积干扰/ ($\text{dBW}\cdot 30 \text{ MHz}^{-1}$)	-184.2	-186.8	-191.3
集总干扰/ ($\text{dBW}\cdot 30 \text{ MHz}^{-1}$)	-138.9	-141.6	-146.1
I/N/dB	-14.7	-17.3	-21.8

表 3 显示了 GEO 卫星在载波 2#模式下,在单位面积与所有覆盖面积下受到的集总干扰。从表 3 中可以看出,卫星受到的干扰趋势与载波 1#相同,在轨位为 59° E 时干扰最大。从具体干扰数值来看,由于载波 1#比载波 2#的接收增益大 5 dB,因此对卫星的干扰水平针对每个轨位也分别高 4~5 dB,符合理论预期。

表 3 载波 2#情况下 5G 基站对卫星的干扰

卫星经度	59° E	85° E	113° E
单位面积干扰/ ($\text{dBW}\cdot 30 \text{ MHz}^{-1}$)	-189.0	-191.8	-196.5
集总干扰/ ($\text{dBW}\cdot 30 \text{ MHz}^{-1}$)	-143.7	-146.6	-151.2
I/N/dB	-18.7	-21.3	-26.2

从上述仿真结果可以看出,考虑 5G 系统在全国范围内的部署情况,在现有部署参数下,卫星广

播系统在 3 个不同轨位的卫星针对两类载波受到的集总干扰都未超过保护要求,至少有 2.5 dB 的余量。

6 结束语

本文依据国际电信联盟 WRC-19 1.13 议题,研究 5G 系统与卫星广播系统同频部署时的兼容性。仿真研究表明,针对覆盖我国上空的 3 个静止轨道卫星,在全国范围内按照标准化参数部署 5G 系统不会对卫星广播系统产生有害干扰,最差情况也有 2.5 dB 的余量。相关研究结果可为 5G 系统在 27~29.5 GHz 候选频段与卫星广播系统的兼容性部署提供技术依据。

参考文献:

- [1] SEXTON C, KAMINSKI N J, MARQUEZ-BARJA J M, et al. 5G: adaptable networks enabled by versatile radio access technologies[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(2): 688-720.
- [2] AGI WAL M, ROY A, SAXENA N. Next generation 5G wireless networks: a comprehensive survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(3): 1617-1655.
- [3] 朱颖, 许颖, 方箭. 基于 WRC-19 1.13 新议题的 5G 高频段研究概况及展望[J]. 电信网技术, 2016(3): 5-10. ZHU Y, XU Y, FANG J. Outline and prospect on 5G high frequency band study based on the new agenda item 1.13 of WRC-15[J]. Telecommunications Network Technology, 2016(3): 5-10.
- [4] 方箭, 李景春, 黄标, 等. 5G 频谱研究现状及展望[J]. 电信科学, 2015, 31(12): 111-118. FANG J, LI J C, HUANG B, et al. Review and prospect on the research of 5G spectrum[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(12): 111-118.
- [5] ITU-R. Decision on the establishment and terms of reference of study group 5 task group 5/1 (TG 5/1) on WRC-19 agenda item 1.13: CPM19-1[S]. 2015.
- [6] ITU radio regulations (edition 2016)[M]. [S.l.: s.n.], 2016.
- [7] FSS/BSS technical parameters for sharing studies under, WRC-19 agenda item 1.13 liaison statement to task group 5/1[S]. 2016.
- [8] 3GPP. Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz: TR38.900 (V14.1.0)[S]. 2016.
- [9] ITU-R. Prediction of clutter loss: ITU-R P. 2018-0[S]. 2017.
- [10] ITU-R. Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellites: ITU-R S.672-4[S]. 1997.
- [11] ITU-R. Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interfer-

ence for systems operating below 30 GHz: ITU-R S.1432-1[S]. 2006.

- [12] ITU-R. Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies: ITU-R M. 2101-0[S]. 2017.

[作者简介]



韩锐(1984-),男,博士,国家无线电监测中心高级工程师,主要研究方向为无线通信和电磁兼容。



张磊(1989-),男,国家无线电监测中心助理工程师,主要研究方向为卫星频率轨道资源需求分析、系统间兼容共存。



李伟(1984-),男,博士,国家无线电监测中心高级工程师,主要研究方向为系统间干扰分析、卫星频率和轨道资源可行性论证、频谱需求预测等。



刘珊杉(1990-),女,国家无线电监测中心工程师,主要研究方向为卫星频率和轨道资源应用、卫星系统间兼容共存。

王冠(1985-),女,环境保护部核与辐射安全中心高级工程师,主要研究方向为电磁兼容与环境影响评价。

刘春花(1995-),女,北京邮电大学硕士生,主要研究方向为IMT系统之间的兼容性分析、5G系统的标准化、卫星系统与IMT系统间的兼容性分析。