

3 400~3 600 MHz 频段 5G 系统与卫星固定业务共存研究

Research on Co-existence of 5G and Fixed-satellite Service in
3 400~3 600 MHz Band

周 瑶, 聂 昌 (中国联通网络技术研究院, 北京 100048)

Zhou Yao, Nie Chang (China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘 要:

5G 频谱中 3 400~3 600 MHz 是产业链聚集度最高的中频段,我国已发布该频段的 5G 规划。详细分析了在 3 400~3 600 MHz 频段部署 5G 系统与卫星固定业务(空对地)即 FSS 地球站之间的同频、邻频以及饱和干扰,并且基于分析结果提出了规避干扰的措施。

关键词:

3 400~3 600 MHz; 5G; 卫星固定业务(空对地); 共存; 同频; 邻频
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.05.009
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
文章编号: 1007-3043(2019)05-0037-06

Abstract:

3 400~3 600 MHz band in 5G spectrum has the highest industrial chain concentration, and China has released 5G spectrum plan of this band. It analyzes the inter-system interference including co-channel, adjacent-channel and saturated jamming between 5G and fixed satellite services (air-to-ground) in 3 400~3 600 MHz band. Based on the analysis results, it puts forward interference cancellation suggestions.

Keywords:

3 400~3 600 MHz; 5G; Fixed satellite services(air-to-ground); Co-existence; Co-channel; Adjacent channel

引用格式:周瑶, 聂昌. 3 400~3 600 MHz 频段 5G 系统与卫星固定业务共存研究[J]. 邮电设计技术, 2019(5): 37-42.

1 概述

近年来,智能终端的广泛应用以及移动互联网应用的多样化,促使全球移动数据业务进入高速增长模式。在全球 4G 商用方兴未艾之时,由产业界推动的第五代移动通信系统(5G)正在被如火如荼地研究。频谱作为无线通信的基础战略资源,对 5G 产业未来发展至关重要。为了引导 5G 产业发展,抢占市场先机,从 2016 年开始,包括美国、欧盟、韩国、日本等在内的全球主要国家及组织纷纷制定 5G 频谱政策,部分主要国家还提出了商用时间表并开展了前期技术试验,为 2018—2020 年 5G 的商用奠定基础。为适应和促进 5G

系统在我国的应用和发展,我国也于 2017 年底发布 5G 系统在 3 000~5 000 MHz 频段内的频率使用规划,规划明确了 3 300~3 400 MHz(原则上限室内使用)、3 400~3 600 MHz 和 4 800~5 000 MHz 频段作为 5G 系统的工作频段^[1]。

3 700~4 200 MHz 频段是固定卫星业务(FSS,空对地)的标准 C 频段,3 400~3 700 MHz 频段是 C 波段的扩展频段。根据相关数据统计,我国向国际电联申报含扩展 C 频段(3 400~3 700 MHz)的卫星网络资料 47 份,批准在我国境内使用 3 400~3 700 MHz 频段开展业务的空间电台(卫星)共 11 座,使用 3 400~3 600 MHz 频段为中星 6B 和中星 10 号,目前在用扩展 C 频段 FSS 地球站共 144 座。如果在 3 400~3 600 MHz 频段部署 5G 系统,将引入 5G 系统对 FSS 地球站的干扰问题。

收稿日期: 2018-04-07

本文详细分析了在 3 400~3 600 MHz 频段部署 5G 系统,与 FSS 地球站之间的同频、邻频以及饱和干扰,并且基于分析结果提出了规避干扰的解决措施。

2 3 400~3 600 MHz 频段 5G 系统与 FSS 地球站的共存分析

2.1 干扰场景

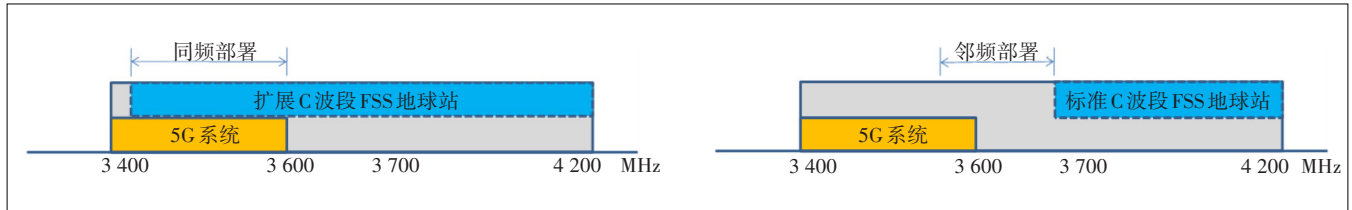


图 1 2 系统同频、邻频部署示意图

析。

因此,干扰共存场景如下。

- 对卫星固定业务地球站的同频干扰。
- 对卫星固定业务地球站的邻频带外辐射干扰。
- 对卫星固定业务地球站的饱和干扰。

2.2 系统参数

2.2.1 5G 系统参数

根据 ITU-R M.2292 建议书^[2],同时参考 ITU-R WP5D 发给 ITU-R TG51 的联络函给出的 5G 系统高频参数,假设 3~6 GHz 频段 5G 系统参数、部署模型如表 1 所示。

2.2.2 FSS 地球站参数

FSS 地球站的参数如表 2 所示。

2.3 仿真拓扑及干扰计算

2.3.1 仿真拓扑

假设 5G 系统宏蜂窝网络区域为一个基站簇,由 19 个基站(图 2 中的站点 0 至 18)组成,其中每个基站为 3 个扇区,为避免网络部署边缘效应,其他的基站簇以此簇为中心采用环绕方法(wrap-round)向四周延伸。

2.3.1.1 同频干扰分析

为了研究 FSS 系统和 5G 系统同频共存干扰情况,将 2 个系统部署在同一地理区域,采用“挖洞式”的拓扑模型,即假设存在 1 个 FSS 地球站,5G 系统部署于 FSS 地球站周围(见图 3)。

初始拓扑模型:FSS 地球站周围只部署 7 圈 5G 基站。FSS 地球站和 5G 基站不共站址(地球站和基站站址间至少有 1 个站间距的隔离,即城区场景 450 m,郊

FSS 地球站主要使用标准 C 波段 3.7~4.2 GHz,也存在部分的扩展 C 波段 3.4~4.2 GHz 频段范围的地球站。因此,5G 系统与 FSS 地球站共存时,主要考虑如图 1 所示 2 种情况。

在邻频共存场景中,由于发射机或接收机的非理想特性造成相邻系统间的干扰,分别从发射机的邻频带外辐射以及接收机的饱和干扰 2 个方面来进行分

表 1 3~6 GHz 频段用于干扰共存研究的 5G 系统参数

参数	郊区宏站	城区宏站
小区半径/km	0.6	0.3
ISD/km	0.9	0.45
天线高度/m	25	20
扇区化	3 扇区	3 扇区
下倾角/°	6	10
频率复用因子	1	1
天线模型	ITU-R M.2101 (3GPP TR 37.842 and section 5.4.4.1 of 3GPP TR 37.840)	
每根天线增益/dBi	5	
单天线的水平和垂直的 3dB 瓣宽/°	65	
水平和垂直方向的前后抑制比/dB	30	
天线极化	线性±45°	
极化损耗/dB	3	
天线结构	8×8	
欧姆损耗/dB	3	
传导功率(每个天线)/(dBm/100 MHz)	32	
平均激活率	50%(部署面积超过 50 km ² 的取 20%)	
用户密度/(个/km ²)	2.13	3
ACLR/dB	45	
用户最大功率/dBm	23	
天线增益/dBi	-4	
人体损耗/dB	4	

区场景 900 m)。

共存研究时的拓扑模型调整:如 2 个系统不能共存,删除 5G 最内圈基站,增加地理隔离距离后再次计算 2 个系统是否可共存。删除最内圈基站的同时在最外面增加 1 圈基站,始终保持 7 圈基站。直到 2 个系统

表 2 C 波段 FSS 地球站参数

参数	取值	
工作频段/MHz	3 400~4 200	
干扰门限/dB	I/N=-12.2(ITU-R S.1432-1)	
饱和电平/(dBm@100 MHz)	-60	
仰角/ $^{\circ}$	15/30/45	
天线方向图	ITU-R S.465	
噪声温度/K	100	
接收机噪声电平	-118.6 dBm /MHz(10logKTB)	
接收机保护门限/(dBm/MHz)	-130.8	
天线直径/m	2.4(城区)	1.8(郊区)
天线高度/m	10(城区)	3(郊区)
天线增益/dBi	38.2(城区)	35.7(郊区)

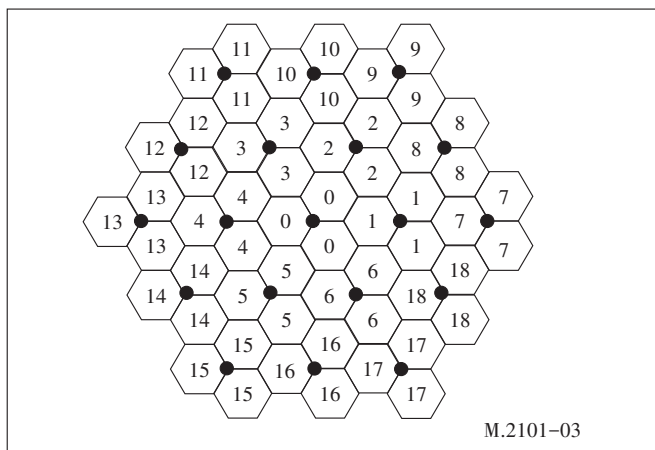


图 2 5G 系统宏蜂窝网络拓扑

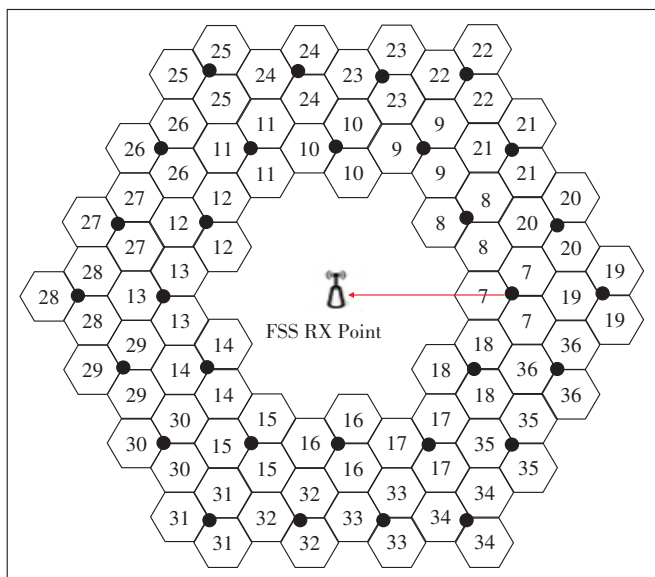


图 3 同频场景下 FSS(地对空)与 5G 网络宏小区共存拓扑

满足共存要求,此时地球站和 5G 当前最内圈的基站间

的距离为 2 个系统的地理隔离距离。

2.3.1.2 邻频干扰(邻频带外辐射及饱和干扰)分析

考虑到图 3“挖洞式”拓扑模型分析时,5G 基站与 FSS 地球站之间至少有 1 个站间距的隔离距离,而邻频场景时,通过改善发射机及接收机的指标,可以缩短隔离距离,即实际所需求的隔离距离可小于 1 个站间距,因此邻频场景采用如下的拓扑模式。

固定 FSS 地球站到 5G 基站的隔离距离,分析共存所需要的额外隔离度需求。假设 FSS 地球站与 5G 基站的隔离距离分别为 50、100 m。在仿真 50 和 100 m 隔离距离时,如图 4 所示。绿色实心圆代表 FSS 地球站,其在 0 号基站为圆心,半径为 50 m/100 m 的圆周上随机分布。FSS 地球站的方位角固定,FSS 地球站朝向正东方向,保证存在 FSS 地球站与 5G 基站最大方向完全正对的可能。

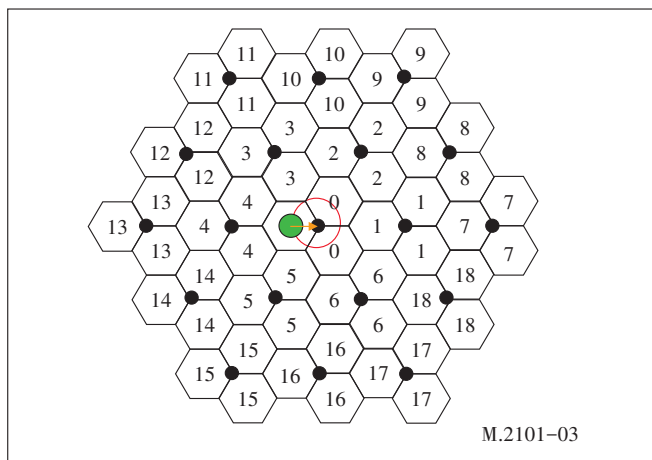


图 4 邻频场景下 FSS(空对地)与 5G 网络宏小区共存拓扑

2.3.2 干扰计算

仿真计算拓扑场景下的 5G 系统基站对 FSS 地球站的集中干扰水平。

2.3.2.1 单条链路干扰计算

单个 IMT 基站对 FSS 地球接收站的干扰模型如图 5 所示。

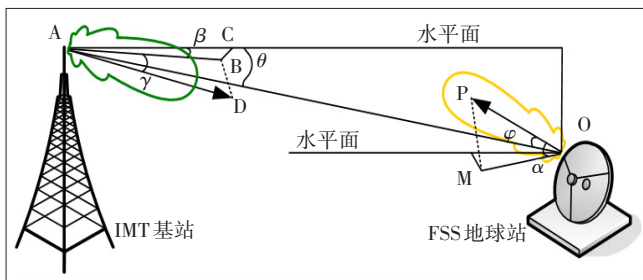


图 5 IMT 系统对 FSS 地球站的干扰模型

其中, O 为 FSS 地球站所在位置, OP 为地球站主轴方向, A 为 IMT 基站发射天线所在位置, AO 为 IMT 系统发射机对 FSS 地球站的干扰方向。 $\angle POM$ 为地球站天线主轴与其在水平面的投影构成的角度, 即地球站的仰角。 φ 为干扰方向与地球站主轴方向的空间离轴角。

若只考虑 1 个 IMT 基站的干扰时, 则地球站接收到的干扰功率可由下式计算:

$$I_{\text{IMT}} = P_{\text{IMT}} + G_{\text{IMT}}(\gamma, \beta) + G_{\text{FSS}}(\varphi) - L(f, d) - \text{CL}(d) - \text{ACLR} \quad (1)$$

式中:

I_{IMT} ——FSS 地球站接收机输入端接收到的 1 MHz 带宽内的干扰功率(dBm)

P_{IMT} ——IMT 系统每 MHz 带宽的发射功率(dBm)

$G_{\text{IMT}}(\gamma, \beta)$ ——IMT 基站的增益(dB)

$G_{\text{FSS}}(\varphi)$ ——FSS 地球站接收天线增益(dB)

$L(f, d)$ ——大范围的路径损耗(dB), 采用 ITU-R P.452 传播模型

$\text{CL}(d)$ ——周围物体的散射损耗, 采用 ITU-R P.2108 建议书给出的适用于地面传播环境的地物损耗模型(dB)

ACLR ——邻信道泄露比(dB), 0 代表同频干扰, 本报告中邻频时 ACLR 取 45 dB

卫星地球站天线的增益与离轴角的关系参考 ITU-R S.465 建议书,

$$\begin{cases} G_{\text{FSS}}(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi & 114 \times (D/\lambda)^{-1.09} < \varphi < 48^\circ \\ G_{\text{FSS}}(\varphi) = -10 & \varphi > 48^\circ \end{cases} \quad (2)$$

其中, 在 3.5 GHz 频点上, 天线直径 D 为 2.4 m 时 $\varphi > 3.0^\circ$, 而 D 为 1.8 m 时 $\varphi > 4.1^\circ$ 按前面公式计算。对于与地球站的偏轴角大于 48° 的干扰信号则天线增益均为 -10 dB, 如图 6 所示。

2.3.2.2 集总干扰计算

IMT 系统对卫星固定(空对地)业务的集总干扰计算公式如下:

$$I_{\text{agg}} = 10 \log \left(\sum_{n=1}^N 10^{I_n/10} \right) \quad (3)$$

式中:

I_{agg} ——到达卫星地球站接收机输入端的集总干扰功率谱密度(dBm/MHz)

I_n ——第 n 个 IMT 基站对卫星地球站的干扰功率谱密度(dBm/MHz)

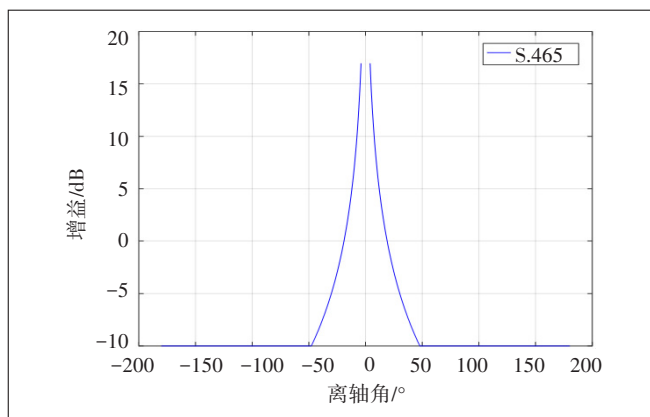


图 6 卫星地球站天线增益与离轴角关系

2.4 结果分析

2.4.1 同频干扰结果

仿真中, 假设 5G 系统与 FSS 地球站隔离 1、5、10、50 km, 传播模型时间概率取 1%, P.2108 地物损耗的位置百分比 P 在 0%~100% 随机取值, 得出共存所需要的隔离度如表 3 所示, 正值表示还需要提供额外隔离度, 负值表示可以共存。

表 3 同频干扰结果

隔离距离/km	仰角/°	城区额外隔离度/dB	郊区额外隔离度/dB
1	15	47.73	46.85
	30	43.44	41.44
	45	41.89	39.63
5	15	43.04	41.54
	30	39.05	37.54
	45	37.52	36.05
10	15	41.32	38.57
	30	37.28	34.68
	45	35.77	33.20
50	15	27.14	25.32
	30	23.22	21.41
	45	21.71	-19.95

由表 3 可知, FSS 地球站的仰角越高, 5G 系统与 FSS 地球站共存所需要的额外隔离度越小。距离增大, 在相同仰角情况下, 所需要的隔离度减小。结果显示, 仅当 2 个系统隔离 50 km, 且 FSS 地球站仰角 45° 情况下, 2 个系统不需要额外隔离度, 其他场景下, 2 个系统共存均需要额外隔离度。

2.4.2 邻频带外辐射结果

仿真中, 假设 5G 系统与 FSS 地球站隔离 1、5、10、50 km, 传播模型时间概率取 1%, P.2108 地物损耗的位置百分比 P 在 0%~100% 随机取值, 得出共存所需要的

隔离度如表 4 所示。

表 4 邻频带外辐射干扰结果

隔离距离 /km	仰角/ $^{\circ}$	所需额外隔离度/dB	
		城区	郊区
0.05	15	31.99	29.36
	30	26.03	31.38
	45	23.13	23.81
0.10	15	24.04	25.63
	30	18.51	20.10
	45	16.56	17.11

由表 4 可知,无论在 50 m 还是 100 m 隔离距离下,2 个系统共存均需要额外隔离度。距离增大,在相同仰角情况下,所需要的隔离度减小。50 m 情况下,2 个系统所需要的额外隔离度为 23.81~29.36 dB,100 m 情况下,2 系统所需要的额外隔离度为 17.11~25.63 dB。

2.4.3 饱和和干扰结果

仿真中,假设 5G 系统与 FSS 地球站隔离 1、5、10、50 km,传播模型时间概率取 1%,P.2108 地物损耗的位置百分比 P 在 0%~100% 随机取值,得出共存所需要的隔离度如表 5 所示。

表 5 饱和和干扰结果

饱和电平 / (dBm/100MHz)	隔离距离/km	仰角/ $^{\circ}$	额外隔离度需求/dB	
			城区	郊区
-60	0.05	15	34.53	20.57
		30	28.52	23.95
		45	25.79	15.54
	0.1	15	27.71	24.07
		30	22.30	19.56
		45	19.76	16.53

由表 5 可知,FSS 地球站抗饱和电平为 -60 dBm/100 MHz 情况下,无论在 50 m 还是 100 m 隔离距离下,2 个系统共存均需要额外隔离度。距离增大,在相同仰角情况下,所需要的隔离度减小。50 m 情况下,2 个系统所需要的额外隔离度为 15.54~20.57 dB,100 m 情况下 2 个系统所需要的额外隔离度为 16.53~24.07 dB。

3 干扰隔离措施分析及建议

3.1 常见干扰隔离措施

在网络规划和建设的过程中,从工程的角度采用一些优化办法改善无线干扰问题。这些方法主要有:增加频率保护带、提高滤波器精度、设备参数限制、站址部署调整、优化天线安装、站点屏蔽等。

3.1.1 增加频率保护带

增加频率保护带解决方案就是通过频率规划,使得干扰系统的发射频段和被干扰系统的接收频段在频域上得到一定的隔离。随着隔离的增大,干扰系统发射机信号落入被干扰接收机接收带宽内的分量减小,同时接收机接收滤波器对干扰系统发射信号的衰落加大,因此系统间干扰减小。

适当的频率保护带可以有效缓解邻频干扰问题。同时,在考虑使用附加滤波器来限制干扰信号时,由于理想线性的滤波器难以实现,因此也需要留一定的保护带为滤波器提供过渡带。但另一方面,由于频率资源的稀缺以及发射、接收滤波器频率响应特性的不同,使用保护带时也应综合考虑其他干扰解决方案,尽量减少保护带宽的大小。

3.1.2 提高滤波器精度

提高滤波器精度解决方案即在原有设备的无线收发系统的基础上,通过使用高精度滤波器或附加滤波器来进一步提高发射机或接收机的滤波特性,达到系统间共存所需的隔离度。在卫星固定业务地球站接收前端,加装滤波器可以降低来自 5G 系统的饱和干扰。提高滤波器精度是有效解决干扰的途径之一,但也意味着成本的增加。

3.1.3 设备参数限制

设备参数限制是规定足够的设备指标来保证收发频率相邻的共存问题,主要有严格限制 5G 基站设备的带外辐射指标、FSS 地球站的抗饱和和干扰指标等。这是国家无线电监管机构在具体频段规划后进行的设备限制。

3.1.4 站址部署调整

5G 系统站址部署调整可以有效地控制对卫星接收地球站的干扰,如 IMT 的部署位置与卫星接收地球站之间有天然屏蔽(如树木、建筑物、墙壁等)。同时,部署时考虑部署地点与卫星接收地球站站址的距离隔离、IMT 天线的方位角与卫星接收地球站波束主轴方向的隔离、调整 IMT 天线方向和天线波束宽度也可以达到降低 IMT 实际系统对卫星接收地球站干扰的目的。

3.1.5 优化天线安装

优化天线安装方案包括天线倾角、天线背板屏蔽等,通过采取一些优化措施,提高天线间的耦合损失,降低干扰。

a) 天线下倾:对于 3.5 GHz 5G 系统而言,通过调

整基站的天线倾角可以缩减 IMT 基站的覆盖范围,同时减小 IMT 系统主瓣对卫星接收地球站的干扰。

b) 天线背板屏蔽:IMT 天线背板屏蔽是一种降低 IMT 系统对卫星接收地球站的干扰的工程措施。考虑到所需的辐射覆盖范围和天线部署位置,可以通过在 IMT 天线增加背板来降低对卫星接收地球站的干扰;干扰降低量和背板材料有关,干扰降低量可达 10 dB 量级以上。该方式适用于卫星接收地球站不位于 IMT 系统天线主瓣方向的场景。

3.1.6 站点屏蔽

不同的站点屏蔽技术可以用来减轻来自 3.5 GHz 的 5G 系统的干扰,站点屏蔽技术不适用于所有卫星接收地球站场景,如天线场区面积受限、工程实施条件受限等情况,且需增加额外建设费用。

a) ITU-R SF.1486 建议书中描述了在卫星接收地球站周围采用物理或自然的屏蔽方法。

b) 带斜栅栏或吸收材料的双重栅栏。双重栅栏是一种有效对抗来自 2 个截然相反方向的干扰源的干扰减缓解决方案,具体如图 7 所示。

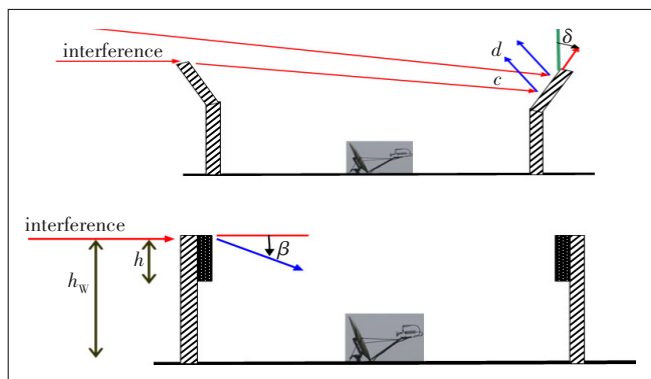


图 7 带斜栅栏吸收材料的双重栅栏

c) 网格屏蔽。网格屏蔽解决方案用于减轻在卫星接收地球站周围随机分布的 3.5 GHz 系统对 FSS 卫星接收地球站的干扰。一层网格带来的信号衰减可达 30 dB,10 cm 分隔距离的双层网格的信号衰减将高达 60 dB。

3.2 5G 与 FSS 地球站共存干扰规避措施建议

综上,将 3 400~3 600 MHz 频段规划用于 5G 系统,可以通过规范 5G 系统射频技术指标、加装卫星接收机高频头滤波器、站点屏蔽、站址隔离等措施实现 5G 系统与卫星固定业务的兼容共存,具体建议如下。

a) 同频干扰解决方案:从仿真结果看,两者需要几十 km 的隔离距离,但考虑实际传播特性、卫星地球

站接收能力等因素,2 个系统隔离度会进一步减小。由于 FSS 地球站部署的站址规模有限,可以通过上述工程措施,逐站协调解决,解决方案建议后续由国家主管机构总体牵头制定协调机制,解决运营商与卫星操作者频率使用协调问题。

b) 邻频和饱和干扰解决方案:考虑到 3 600~3 700 MHz 频段 FSS 地球站部署规模有限,可按照同频解决方案逐站协商解决。对于 3 700~4 200 MHz 频段 FSS 地球站,需要规范提高 5G 系统带外发射技术指标,提高 FSS 地球站接收前端能力,同时建议运营商在 3 400~3 600 MHz 频段部署 5G 基站时尽量避开 FSS 地球站天线净空前方。

4 结束语

当在某一频谱部署新的无线系统时,需要对新系统与现有频段上的业务以邻频段业务进行兼容性分析,得出系统共存时所需要的隔离距离以及额外隔离度需求的指标,从而为频段规划及分配提供必要的技术支撑。基于共存分析的结论,通过一定的措施可以实现 5G 系统与卫星固定业务(空对地)的兼容共存。

5G 系统是我国实施“网络强国”“制造强国”战略的重要信息基础设施,更是发展新一代信息技术的高地。频率资源是研发、部署 5G 系统最关键的基础资源。5G 频谱中 3 400~3 600 MHz 是产业链聚集度最高的中频段,也是最适合运营用于 5G 初期部署的频段。建议国家能够牵头制定协调机制,解决运营商与卫星操作者频使用协调问题,引导运营商进行 5G 部署,实现我国 5G 全球引领。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部. 5G 系统在 3 000~5 000 MHz 频段内的频率使用规划 [EB/OL]. [2018-12-16]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5906943/content.html>.
- [2] ITU-R-M.2292 Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing / interference analyses [EB/OL]. [2018-12-16]. <http://www.itu.int>.

作者简介:

周瑶,高级工程师,硕士,主要从事干扰共存、频率规划及申请以及频率相关国际国内标准组织研究工作;聂昌,高级工程师,学士,主要从事频率相关的国际国内标准组织以及无线新技术研究工作。

