



研究与开发

25.25~27.5 GHz 频段卫星间业务 与 IMT 系统兼容性研究

钱肇钧¹, 王坦¹, 康龙², 李博³

(1. 国家无线电监测中心, 北京 100037; 2. 华北电力大学, 北京 102206;
3. 北京邮电大学, 北京 100876)

摘要: 基于现有技术参数, 研究了 25.25~27.5 GHz 频段国际移动通信(IMT)系统与卫星间业务数据中继卫星(DRS)系统间的干扰共存情况。采用集总干扰评估方法, 比较了数据中继卫星经度分别在 59°、85°、113°时, IMT 基站对其造成干扰的情况。此外, 还通过固定干扰余量, 推导了 IMT 基站总数及其与 IMT 发射功率之间的关系。研究结果可为未来 25.25~27.5 GHz 频段 IMT 系统设计与部署、5G 频率规划提供借鉴。

关键词: 卫星间业务; IMT 系统; 兼容性; 干扰共存

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016320

Compatibility study between IMT and inter-satellite service systems in 25.25~27.5 GHz frequency band

QIAN Zhaojun¹, WANG Tan¹, KANG Long², LI Bo³

1. State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

2. North China Electric Power University, Beijing 102206, China

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

Abstract: Based on the existing technical parameters, the interference coexistence of 25.25~27.5 GHz band international mobile communication (IMT) system and inter-satellite service data relay satellite (DRS) were studied. Based on the aggregate interference assessment, the interference between IMT base station (BS) and inter-satellite service DRS receiver where the DRS orbit at 59 degree, 85 degree and 113 degree longitude were comparatively studied. In addition, the tradeoff between the total number of IMT BS and its transmission power was analyzed with certain interference margin. These results are useful for designing and deployment of IMT systems in 25.25~27.5 GHz band 5G spectrum planning in the future.

Key words: inter-satellite service, IMT system, compatibility, interference coexistence

收稿日期: 2016-08-15; 修回日期: 2016-12-13

通信作者: 康龙, 1243792870@qq.com

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(IMT-2020 候选频段分析与评估)(No.2015ZX03002008)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Special Project of China (IMT-2020 Candidate Frequency Bands Analysis and Evaluation) (No.2015ZX03002008)

1 引言

2015 年 WRC-15 大会确定了 WRC-19 会议 1.13 议题,即根据第 238 [COM6/20]号决议(WRC-15)^[1],审议为国际移动通信(IMT)的未来发展确定频段,包括为作为主要业务的移动业务做出附加划分的可能性。议题将开展频率相关问题研究,为国际移动通信确定频段,包括可能在 24.25~86 GHz 频率范围内的部分频段(11 个候选频段)为移动业务做出附加主要业务划分,以完成 IMT 在 2020 年及之后的未来发展。简言之,该议题的主要职责是确定 5G 候选频段或相邻频段内现有业务的技术特性(包括保护标准),研究 5G 系统与相关无线电业务系统的兼容性。其中,25.25~27.5 GHz 频段由于频率较其他 5G 高频候选频段相对较低、器件成熟度较高,已成为全球 IMT 阵营极力争取的频段,该频段 5G 系统与卫星间业务的兼容性分析也成为相关频率规划研究的热点。

数据中继卫星(data relay satellite, DRS)系统是卫星间业务最主要的系统^[2],是在航天器与地球站之间提供实时测控和数据中继服务的系统。DRS 一般位于地球静止轨道,从上向下覆盖用户航天器。DRS 从根本上解决了测控、数据传输的轨道覆盖率(用户航天器可建立无线联系的轨道弧段占总弧段的百分比)和实时信息传输的问题,经济效益很高。此外,美国等主要国家 DRS 系统

纷纷提高了高速数据传输的能力^[3],大大增加了 Ka 频段的使用。

在国际卫星频率及空间轨道位置资源竞争日趋激烈的今天,适合我国建立全球卫星移动系统的优质频率资源已少之又少^[4],但我国还需要加紧部署高速率、高可靠和低时延的地面系统。业界早已开展了卫星和地面系统间的干扰共存研究,然而涉及卫星间的研究很少,因此研究该频段卫星间业务 DRS 系统与同频的 IMT 系统之间的兼容性十分必要。本文针对 25.25~27.5 GHz 频段中继卫星系统与 5G 系统同频干扰问题展开了研究,以期为我国无线电管理部门对相关频段的业务规划提供理论支撑。

2 干扰场景

根据国际电信联盟《无线电规则》^[5],频谱划分情况见表 1,25.25~27.5 GHz 频段全球有统一划分,主要业务包括移动业务、固定业务以及卫星间业务等。该部分的卫星间业务,在欧洲、日本、美国和中国,主要用于低轨道空间飞行物到数据中继卫星之间的星间链路单向无线通信使用。

在该频段卫星间业务与 IMT 系统之间,主要的无线通信链路有 4 类,如图 1 所示,包括空间飞行物到数据中继卫星的单向链路、空间飞行物到基站的单向链路、移动端到基站的双向链路、基站到数据中继卫星的单向链路以及移动端到数据中继卫星的单向链路,虚线为干

表 1 频谱划分情况

频段/GHz	业务类型	1 区	2 区	3 区
24.75~25.25	固定业务	固定		固定
	卫星间业务	卫星固定(地对空)5.532B	卫星固定(地对空) 5.535	卫星固定(地对空)5.535
	移动业务			移动
25.25~25.5	固定业务	固定		
	卫星间业务	卫星间 5.536		
	移动业务	移动卫星标准频率和时间信号(地对空)		
25.5~27	卫星间业务	卫星地球探测(空对地)5.536B		
	固定业务	固定		
	卫星间业务	卫星间 5.536		
	移动业务	移动		
	卫星间业务	空间研究(空对地)5.536C		
	卫星间业务	卫星标准频率和时间信号(地对空)5.536A		
27~27.5	固定业务	固定	固定	
	卫星间业务	卫星间 5.536	卫星固定(地对空)卫星间 5.536、5.537	
	移动业务	移动	移动	

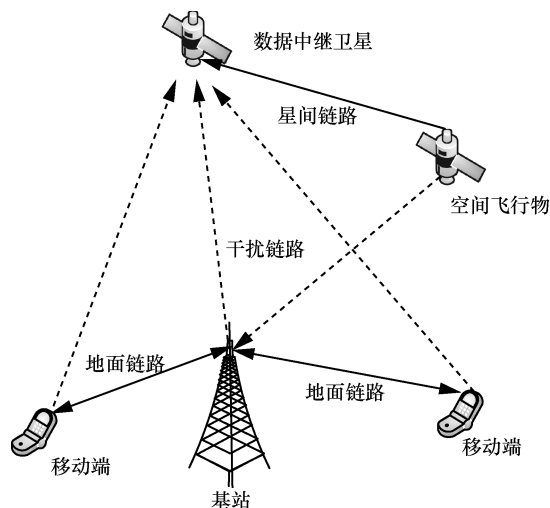


图1 干扰场景

扰链路。

考虑到 25.25~27.5 GHz 频段和 6 GHz 以下频段相比,在 2G/3G/4G 移动通信中所使用的频率较高,因此在该频段上,IMT 系统将主要部署在密集城区,以室内/外小基站的形式提供大带宽和高容量业务。假设未来 IMT 终端用户发射功率较低且采用了功率控制,在集总干扰分析中可以忽略不计。

此外,空间飞行器采取了窄波束及方向性较强的星载天线,当空间飞行器在南北极上空时,其与数据中继卫星通信指向方向和其与地面 IMT 基站通信指向方向之间的角度最小,约为 5° 。根据参考文献[6],空间飞行器朝向地面 IMT 的旁瓣增益要比主波束小至少 30 dB,加之空间飞行物的发射功率本身就很很小,最大功率谱密度只有 -50 dBW/Hz。在 IMT 基站接收带宽取 20 MHz,噪声系数取 5 dB 的情况下,系统噪声为 -126 dBW。实际干扰大约为 -80 dBW/Hz,合 -7 dBW/(20 MHz),取路径距离为 1 000 km,以频率 26 GHz 为例,自由空间路损约为 180 dB,这样实际接收到的干扰约为 -187 dBW。此时计算的 $I/N=-61$ dB,远低于一般的干扰保护标准(-12.2 dB 或 -6 dB)。因此,空间飞行器对 IMT 的干扰可以忽略不计。况且由于实际的星载天线带宽应该小于 20 MHz,星载天线到地面的损耗还应包括大气衰减和雨衰减等以及极化差异这 3 个因素,也会导致对 IMT 基站实际干扰影响很小,可以忽略不计。

根据上述研究以及国际上后入业务应保护先有业务的要求,本文仅将 IMT 基站对数据中继卫星的干扰作为重

点。另外,由于室内小基站涉及楼宇的穿透损耗,集总干扰水平显著低于室外基站,本文将重点分析室外 IMT 小基站与 DRS 间的干扰问题。

根据国家统计局城市社会经济调查司发布的《中国城市统计年鉴》(2015 年版),本文选取纬度较高的北京、天津和河北 3 地(总面积 20 万 km^2)建成区作为地面区域来计算该区域内部署的 IMT 小基站对 DRS 卫星的干扰。北京、天津和河北的建成区面积约为 3 480 km^2 。因为 Ka 频段卫星点波束主瓣覆盖面积约为 10 万 km^2 ,集总干扰计算更加恶劣;IMT 小基站纬度越高,天线仰角越小,对 DRS 卫星的干扰程度更大;建成区是指市行政区范围内经过征用的土地和实际建设发展起来的非农业生产建设地段,更加符合市区密集场景。

3 关键参数

3.1 基站密度

假设小基站小区间隔为 200 m,小区为六边形结构,每个小区 3 个扇区,每个扇区 3 个小基站,这样一个小区有 9 个小基站。可以计算一个小区面积为 0.034 6 km^2 ,那么 1 km^2 内可以部署 $1/0.034\ 6=29$ 个小区,从而可以部署 $29\times 9=261$ 个小基站。

3.2 集总干扰时基站天线模型

集总干扰时的 IMT 小基站天线配置 4 列 8 行的面阵天线,天线间距 0.5 倍波长。每个天线阵的增益为 6 dBm。每个天线阵子的天线方向图^[7]为:

$$A_{E,H}(\varphi'')=-\min\left[12\left(\frac{\varphi''}{\varphi_{3\text{dB}}}\right),A_m\right],\varphi_{3\text{dB}}=65^\circ,A_m=30 \quad (1)$$

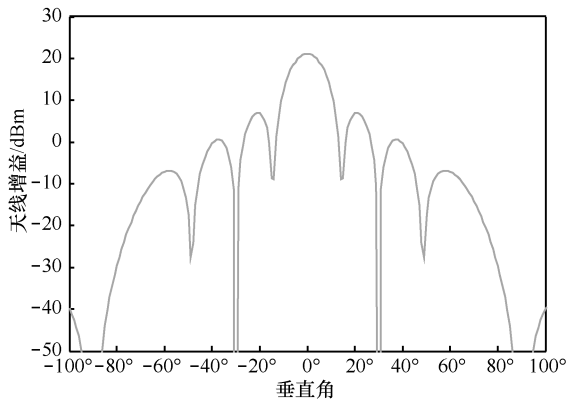
$$A_{E,V}(\theta'')=-\min\left[12\left(\frac{\theta''-90^\circ}{\theta_{3\text{dB}}}\right),SLA_v\right],\theta_{3\text{dB}}=65^\circ,SLA_v=30 \quad (2)$$

$$A_E(\varphi,\theta)=G_{E,\text{max}}-\min\{-[A_{E,H}(\varphi)+A_{E,V}(\theta)],A_m\} \quad (3)$$

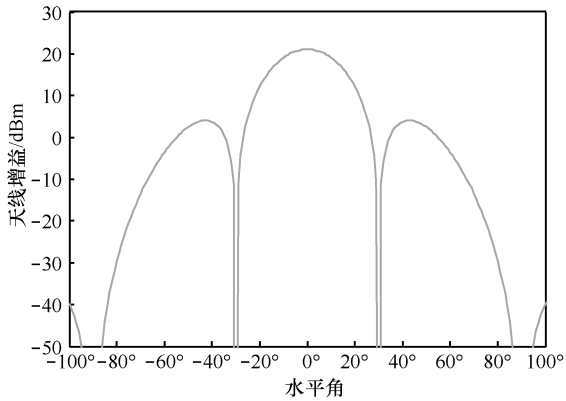
得到小基站天线的垂直和水平方向增益如图 2 所示。

图 2(a)和图 2(b)中的纵轴表示的是天线增益,横轴表示的是天线方向偏离主轴的角度。由天线方向图可得到 IMT 具体仰角下的增益,见表 2。

本文中天线增益等于天线垂直增益加水平增益,垂直增益和水平增益都是相对于最大值的一个值。从表 2 的参数情况看,在天线增益最大情况下,垂直增益为 -6 dBm,水平增益为 0 dBm,总增益为 -6 dBm;在天线增益为中值情况下,垂直增益为 -27 dBm,水平增益为 -2.5 dBm,总增益为 -29.5 dBm;在天线增益最小情况下,垂直增益为 -6 dBm,



(a) IMT基站天线垂直方向增益



(b) IMT基站天线水平方向增益

图2 IMT 基站天线垂直和水平方向增益

水平增益为-45 dBm,总增益为-51 dBm。

4 链路预算

确定性分析、仿真以及外场测试是无线通信系统共存干扰研究的常用方法。仿真有链路级仿真和系统级仿真,链路级仿真是建立一条点到点的无线链路;而系统级仿真是通过关注整个系统内的多条链路来检验系统的特性。在无线通信系统中,系统之间的共存干扰通常是由从无线电链路预算分析得到的干扰余量决定的。本文研究了IMT集总干扰数据中继卫星的分析方法。

4.1 单点干扰

卫星接收到的IMT干扰功率 I 为:

$$I=P_T+G_T(\theta)+G_R-PL_0-L_T-L_{\text{rain}}-L_P \quad (4)$$

其中, I 为卫星接收机输入端接收到的干扰功率(单位为dBm), P_T 为IMT系统发射功率(单位为dBm); $G_T(\theta)$ 和 G_R 分别是发射端和接收端的天线增益,由于 G_R 与卫星覆盖面积有关,在Ka频段,DRS主要是点波束覆盖,增益较高; L_T 是IMT发射机馈线损耗(单位为dBm), PL_0 是自由空间路径损耗, L_P 是极化损耗,此外还应考虑地物损耗、大气衰落损耗等。

4.2 集总干扰

在集总干扰的情况下,需要考虑的是在卫星太空站所覆盖的地面区域内包含的所有地面IMT基站对于卫星的干扰总和。需要说明的是,虽然涉及多个不同干扰信号,在传输过程中势必存在相位差,但根据ITU-R相关研究报告[89],集总干扰计算基于功率叠加进行分析,一般不考虑相位这一因素,通常只考虑最坏的情况。因此,在计算集总干扰功率之前需要知道地面区域内所有同时对卫星产生干扰的IMT基站的数目以及它们的位置。假设在集总干扰条件下,每一个IMT基站对于卫星的干扰相同,则在单个IMT的干扰 I 基础上,卫星覆盖范围内, M 个基站的集总干扰为:

$$I_{\text{aggregate}}=I+10\lg M \quad (5)$$

卫星覆盖面积下的IMT基站的数目主要取决于3个因素:卫星覆盖面积、城市百分比、每平方千米基站数基站的散布因子,将上述3个因子相乘便可得到卫星覆盖下IMT基站总数为:

$$M=K_{\text{area}} \cdot K_{\text{urban}} \cdot K_{\text{density}} \quad (6)$$

根据干扰保护准则 $10\lg I/N=-10$ dBm以及卫星的噪声功率可以计算出卫星接收机能够允许的最大干扰功率 I_{max} 。 $I_{\text{max}}=I/N+N$,其中噪声水平 $N=KTB$, K 、 T 和 B 分别是玻尔兹曼常量、噪声温度和卫星接收机带宽。干扰余量 I_{Δ} 由最大干扰功率 I_{MAX} 和集总干扰功率 $I_{\text{aggregate}}$ 的差值计算得到:

$$I_{\Delta}=I_{\text{max}}-I_{\text{aggregate}} \quad (7)$$

通过比较允许的最大干扰功率 I_{max} 和集总干扰功率 $I_{\text{aggregate}}$ 的大小判断地面部署IMT是否会对卫星固定业务上行产生干扰。

表2 IMT 基站天线增益

天线增益	仰角									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
垂直天线增益/dBm	21	12	7	4	0	-5	-7	-14	-30	-45
水平天线增益/dBm	21	19	12	7	4	2	-3	-12	-30	-45



5 IMT 和卫星系统共存干扰

5.1 仿真参数

如果最后的结果显示 $I_A > 0$ dBm, 则说明 IMT 的聚合干扰低于卫星的抗干扰门限, 共存可行。IMT 小基站参数采用参考文献[11]定义的小站参数; 卫星方面, 相关资料表明^[12], 数据中继卫星的轨道位置有 35 个, 其中在我国上空的有 9 个, I/N 干扰准则为 -10 dBm, 数据中继卫星接收参数参考 ITU 建议书^[13]。

由于卫星在近 3.5 万 km 的静止轨道上远行, 因此干扰路径与地面水平方向夹角较大。实际的 IMT 系统会分布在一个较大的卫星点波束覆盖区域内, 每个 IMT 干扰的仰角会略有不同, 而仰角与卫星经度和天线垂直下倾角有

关, 每一个天线垂直下倾角对应一个天线增益。在多种 IMT 天线增益情况下, 仅给出在天线增益最大情况下, IMT 对卫星经度分别为 113°、85°、59°不同天线仰角下的 DRS 卫星干扰情况, 具体确定性计算结果见表 3。

表 3 在不同仰角情况下综合考虑多种传播衰减采用集总干扰分析方法进行了系统间链路预算和仿真。对于 10 GHz 以上的电磁波, 雨衰减的影响非常明显, 在链路计算中必须考虑雨衰减的影响。根据 ITU 建议书^[14], 中等降雨强度 (12.5 mm/h) 下该频段雨衰减为 2 dBm/km, 通过降雨区域的路径长度为 10 km, 因此表 3 中考虑雨衰减为 20 dBm。从表 3 可以看出集总干扰功率低于卫星的最大允许干扰, 说明 IMT 系统在该频段对 DRS 系统的干扰在 DRS 系统允许范围之内, 系统间可共存。

表 3 IMT 对 DRS 卫星确定性干扰计算过程表结果 (部分)

站点	参数设置	卫星经度为 113°	卫星经度 85°	卫星经度 59°
接收站	接收站经度		116°	
	接收站纬度		40°	
	天线仰角 θ	44.592 554 2°	36.830 104 5°	19.525 067 7°
IMT 发射端	IMT 带宽/MHz		600	
	发射功率/dBm		33	
	天线高度/m		6	
	天线垂直下倾角		10°	
	考虑下倾角的仰角	43.457 520°	35.892 680°	19.028 126°
	天线增益/dBm		-6.00	
	馈线损耗/dBm		-3	
	极化隔离/dBm		-3	
	城市基站激活率		50%	
	接收天线增益/dBm		57.5	
卫星接收端	带宽/MHz		600	
	噪声温度/K		1 000	
	保护要求 (I/N)/dB		-10	
	噪声水平 (N)/(dB·MHz ⁻¹)		-108.60	
	工作频段/MHz		26 375	
	传输距离/km	37 501.006 0	38 244.261 3	39 844.091 6
	路径损耗/dBm	212.30	212.48	212.83
	雨衰减/dBm		20	
	卫星覆盖面积/km ²		214 989	
	城市百分比		1.619%	
	建成区面积/km ²		3 480.671 91	
	建成区覆盖百分比		80%	
	基站密度/(个·km ⁻²)		261	
	部署的 IMT 基站总数/个		726 764	
	集总干扰功率/(dBm·MHz ⁻¹)	-125.97	-126.14	-126.50
	最大允许干扰 (I)/(dBm·MHz ⁻¹)		-118.60	

根据适当的干扰余量,在相同情况下当卫星经度为 113° 、 85° 、 59° 时,反推得到的基站总数分别约为 3 969 224、4 128 120 和 4 480 718 个。

5.2 仿真结果及分析

在考虑雨衰减和不考虑雨衰减两种情境下,干扰余量随天线仰角的变化是不同的,如图 3 所示。可以看出当干扰余量大于 0 时,说明集总干扰小于卫星的抗干扰门限,因此在该频段 IMT 与数据中继卫星系统的共存是可行的。比较两条曲线可以看出,考虑雨衰减的情况干扰余量较大。这是因为在链路预算中,考虑雨衰减时,地面 IMT 系统衰减更多因此对卫星造成的干扰更小,而在不考虑雨衰减时地面 IMT 系统衰减更少因此对卫星的干扰更大。

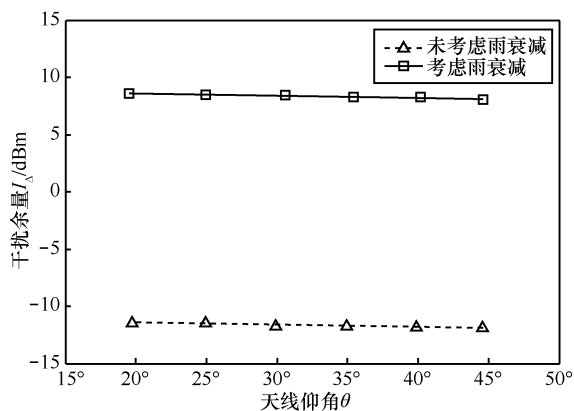


图 3 干扰余量随天线仰角变化

上述计算和仿真结果是在假设 IMT 发射功率和部署的 IMT 基站总数都是定值的前提下得出的,实际上,基站发射功率、基站总数都不是固定值,其中任一值改变都会影响最终结果,而且二者之间存在一定的关系。以卫星经度为 113° 为例,干扰余量取为 5 dBm,IMT 传输功率在 24~43 dBm 变化。根据本文采用的集总干扰链路预算方法,可以得到二者之间的关系曲线如图 4 所示。由于固定干扰余量,所以 IMT 基站发射功率越大,可部署的 IMT 基站总数越少。

6 结束语

本文研究了 25.25~27.5 GHz 频段 IMT 与 DRS 的干扰共存场景。基于实际卫星轨道位置和卫星下点覆盖面积,使用集总干扰计算方法,比较了 DRS 卫星经度分别在 59° 、 85° 、 113° 时,IMT 基站对其干扰情况。在上述系统参数条件下,在 IMT 发射增益最大并考虑雨衰减时,干扰余量大于 0,说明集总干扰小于卫星的抗干扰门限,有一定的

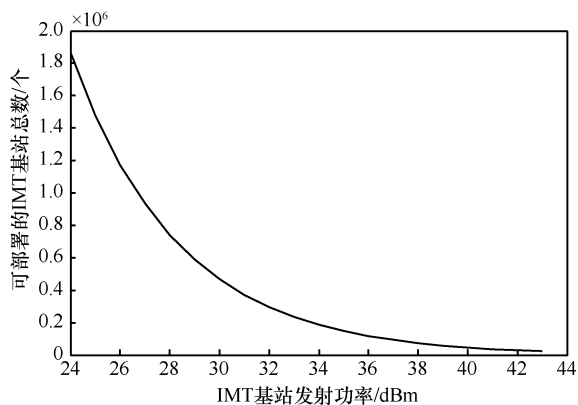


图 4 可部署的 IMT 基站总数与 IMT 基站天线发射功率的关系

共存余量。本文研究结果可为将来在该频段的 IMT 基站设计和部署、5G 频率规划时提供借鉴。

参考文献:

- [1] 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[R]. [S.l.:s.n.], 2015.
- [2] 王家胜. 中国数据中继卫星系统及其应用拓展 [J]. 航天器工程, 2013 (1): 1-6.
WANG J S. China data relay satellite system and its application[J]. Spacecraft Engineering, 2013(1): 1-6.
- [3] 冯贵年, 于志坚. 跟踪与数据中继卫星系统的现状和发展[J]. 中国航天, 2004(1): 16-19.
FENG G N, YU Z J. Current status and development of tracking and data relay satellite system [J]. China Aerospace, 2004 (1): 16-19.
- [4] 韩锐, 张晓燕, 刘畅, 等. IMT 系统对 1 518~1 525 MHz 频段卫星移动系统的干扰[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 99-104.
HAN R, ZHANG X Y, LIU C, et al. Interference from IMT system and satellite mobile system in 1 518~1 525 MHz band[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 99-104.
- [5] ITU-R. Radio regulations 2012 [R]. [S.l.:s.n.], 2012.
- [6] ITU-R. Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellites: S.672-4[R]. [S.l.:s.n.], 1997.
- [7] ITU-R. Working document towards preliminary draft new recommendation ITU-R M: document 5D/TEMP/52-E[R]. [S.l.:s.n.], 2016.
- [8] ITU-R. Draft new report ITU-R: FSS-IMT C-band downlink [R]. [S.l.:s.n.], 2014.
- [9] ITU-R. Draft new report ITU-R: FSS-IMT C-band uplink[R]. [S.l.:s.n.], 2014.
- [10] ITU-R. Protection criteria related to the operation of data relay satellite systems: recommendation ITU-R SA.1155-1[R].



[S.l.:s.n.], 2013.

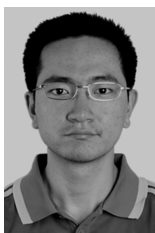
[11] ITU-R. Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses: recommendation ITU-R M.2292-0[R]. [S.l.:s.n.], 2013.

[12] ITU-R. Orbital locations of data relay satellites to be protected from the emissions of fixed service systems operating in the band 25.25~27.5 GHz: recommendation ITU-R SA.1276-4[R]. [S.l.:s.n.], 2013.

[13] ITU-R. Characteristics of data relay satellite systems: recommendation ITU-R SA.1414-1[R]. [S.l.:s.n.], 2013.

[14] ITU-R. Specification attenuation model for rain for use in prediction methods: recommendation ITU-R P.838-2[R]. [S.l.:s.n.], 2003.

[作者简介]



钱肇钧(1984-),男,国家无线电监测中心工程师,主要研究方向为无线电波传播、系统间电磁兼容、5G 新技术发展、大规模 MIMO 相关技术等。



王坦(1985-),男,博士,国家无线电监测中心高级工程师,主要研究方向为频率规划、频率评估和 5G 频率管理研究等。



康龙(1989-),男,华北电力大学硕士生,主要研究方向为无线通信网络与新技术、5G 无线通信系统频谱兼容性等。



李博(1993-),女,北京邮电大学硕士生,主要研究方向为系统间干扰共存、频谱管理等。