



研究与开发

国际海事卫星移动通信系统与 下一代 IMT 系统在扩展 C 频段的共存

张晓燕, 杨夏青, 韩锐

(国家无线电监测中心, 北京 100037)

摘要: 根据《中华人民共和国无线电频率划分规定》和国际电信联盟《无线电规则》的相关规定可知, 在我国第四代国际海事卫星移动通信系统的空对地(下行)链路与下一代 IMT 系统存在频率重叠。为了保证第四代国际海事卫星移动通信系统与下一代 IMT 系统在扩展 C 频段的共存, 给出了使上述两系统正常工作的前提条件或保护措施。通过理论分析、仿真计算以及调研厂商的制造水平, 给出了关于第四代国际海事卫星移动通信系统与下一代 IMT 系统在扩展 C 频段共存的建议。

关键词: 第四代国际海事卫星移动通信系统; IMT 系统; 频率共享; 兼容共存; 保护距离

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016087

Frequency sharing of the international maritime satellite mobile communication system and the next generation IMT system

ZHANG Xiaoyan, YANG Xiaqing, HAN Rui

State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

Abstract: According to the “Table of Frequency Allocations of People’s Republic of China” and the relevant provisions of the “Radio Regulations”, it is shown that there are frequency overlap between the space to ground (down) link of the fourth-generation international maritime satellite (INMARSAT) mobile communication system and the next generation international mobile telecommunication (IMT) system in China. In order to guarantee the coexistence of the fourth-generation INMARSAT mobile communication system and the next generation of IMT system, the operation prerequisites or protection distances were analyzed. Based on the theoretical analysis, the simulation and survey of production level of equipment company, some suggestions on how to make the above two systems coexist were presented.

Key words: the fourth-generation international maritime satellite mobile communication system, IMT system, frequency sharing, coexistence, protection distance

收稿日期: 2015-11-05; 修回日期: 2016-03-02

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No. 2015ZX03002008)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project (No. 2015ZX03002008)

1 引言

中国是国际海事卫星组织 (INMARSAT) 的创始成员国,并于1979年、1986年、1996年分别签署了《国际海事卫星组织公约》、《〈国际海事卫星组织公约〉修正案》及《国际海事卫星组织业务使用协定》,将海事卫星的业务范围逐渐扩大,现已扩展到航空领域和陆地领域。在海上,国际海事卫星移动通信系统是国际海事组织(IMO)唯一强制性的海上遇险安全通信系统,是被纳入《国际海上生命安全公约(SOLAS)》的移动卫星通信系统,是国家履行水上交通安全监管和搜寻救助服务职能的重要依托和保障,是海上船舶航行安全的必要设施;对于民航而言,国际海事卫星通信系统是国际民航组织(ICAO)批准的、全球最重要的、基于卫星通信的航空安全通信系统,用于民用航空飞行器的安全应急和调度指挥;在陆地上,由于国际海事卫星通信系统系统的突出作用,现已被纳入多国的国家应急通信平台体系中,是国家应急通信平台体系的重要组成部分。

我国的海事卫星移动通信系统自1991年投入运行以来,不仅为国家党政军及社会各界提供了长期、可靠、高质量的常规通信服务,更在国家机要通信、自然灾害(如冰雪灾害、汶川地震等)、安全应急(如索马里护航、利比亚撤侨、海地地震、巴基斯坦水灾、马航客机失联等)、社会事件和社会活动(如奥运会等)、科学实验(如神舟飞船、南北极

科学考察等)等重大保障活动中发挥了关键和突出的作用,良好地维护了国家形象。为了不断提升海事卫星移动卫星通信系统的可靠性和运行质量,当前海事卫星移动通信系统已经发展到第四代,其主要架构和组成如图1所示。

2 第四代海事卫星移动通信系统及其面临的干扰分析

由于我国国土面积较大,且受关口站地理位置的限制,使用一颗海事卫星无法满足覆盖全国的要求,因此向我国境内提供业务的卫星位于东经143.5°(143.5°E)的INMARSAT 4F1和东经25°(25°E)的INMARSAT 4F2。在INMARSAT 4F1无法覆盖区域内的用户,须使用INMARSAT 4F2完成通信接续。INMARSAT 4F2的信号,首先落地至境外(荷兰)关口站,然后通过租用国内运营商的物理专线,将数据信息按照国内的相关要求转接至国内关口站。其他在INMARSAT 4F1覆盖区域内的用户,都由该卫星和国内关口站提供通信服务。

第四代海事卫星移动通信系统与第三代移动卫星通信系统几乎一样。使用包括C频段的馈电链路频率:6 425~6 575 MHz(上行链路)和3 550~3 700 MHz(下行链路)以及L频段的用户链路频率:1 525~1 559 MHz(下行链路)和1 626.5~1 660.0 MHz(上行链路)。具体使用方式如图2所示,C频段用于关口站与海事卫星之间的馈电链路,L频段用于终端用户与卫星之间的用户链路。

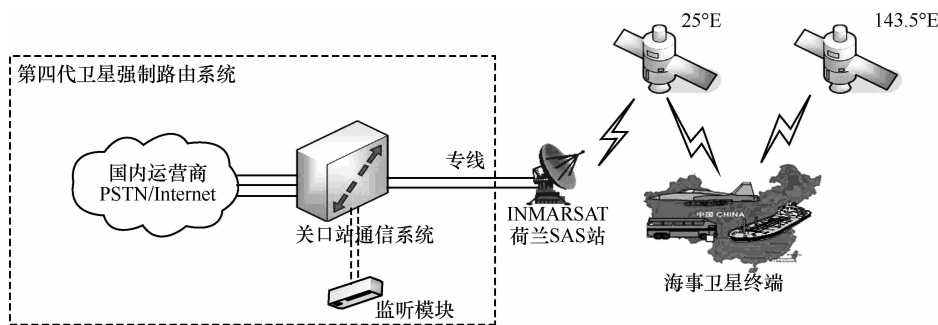


图1 第四代国际海事卫星移动通信系统架构

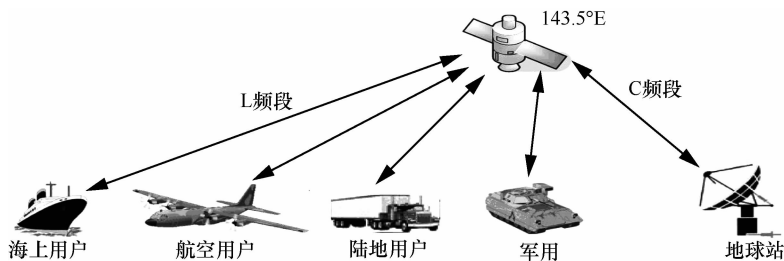


图2 海事卫星移动通信系统用频设置

虽然第四代海事卫星移动通信系统使用的频率与目前我国使用的第三代海事卫星移动通信系统(业务期限最少至 2020 年)的频率完全一致,但是由于受近几年 IMT 系统的飞速发展和用频需求的剧增,在 2014 年 2 月 1 日实施的《中华人民共和国无线电频率划分规定》^[1]中,已经将 3 550~3 600 MHz 频段划分给下一代 IMT 系统。也就是说,海事卫星第四代移动通信系统馈电链路的下行链路将与下一代 IMT 系统间存在频率重叠,重叠的频率为 3 550~3 600 MHz。随着 IMT 系统的迅猛发展和其用频短缺问题的日益突出,甚至已经出现将空间业务扩展 C 频段(3 400~3 700 MHz)全部用于 IMT 系统的声音。可见在不久的将来,下一代 IMT 系统与海事卫星第四代移动通信系统关口站间的干扰共存问题会变得异常严峻。对两者间存在的干扰进行分析变得尤为重要。

在对海事卫星关口站(如图 3 所示)面临的最坏干扰情况进行分析之前,先来看一下上述两个系统间的典型技术参数,也为随后的干扰分析做准备。

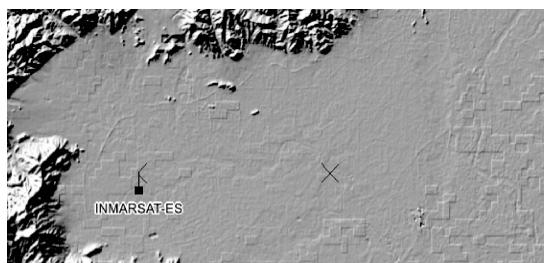


图 3 海事卫星移动通信系统关口站(INMARSAT-ES)周边环境

海事卫星第四代移动通信系统关口站的典型技术参数见表 1。其中卫星发射功率、卫星发射天线增益等信息来自于国际电信联盟(ITU)国际频率信息总表(MIFR)中海事卫星第四代卫星的网络资料 INMARAST-4 143.5°E。

下一代 IMT 系统的典型技术参数为目前在用的 IMT 系统基站(BS)的典型技术参数^[2-4],使用的频段与海事卫星关口站相同,具体技术参数见表 2。若干扰对象为 IMT 系统的移动台站(MS)时,其干扰能力远小于 IMT 系统基站对海事卫星移动通信系统关口站的影响,因此,本文只需分析基站与关口站间的共存问题,就可以给出两系统间共存的建议。

3 海事卫星移动通信系统关口站与 IMT 系统共存情况分析

根据上述已知技术参数,首先需要计算出关口站的干

表 1 第四代海事卫星移动通信系统
关口站的典型技术参数

参数	指标
卫星输出功率/dBW	0
卫星发射波束 CRD 的天线增益/dBi	22
海事卫星和关口站间的自由空间损耗/dB	195.26
关口站接收系统的等效噪声温度/T/K	72
关口站接收天线的最大增益 $G_{\max}$ /dBi	54.03
到达关口站接收天线面的最小可识辨功率谱密度 PFD	-174 dBW/(m ² ·Hz ⁻¹) (由生产厂商提供)
干扰保护准则 I/N /dB	-10 ^[5]
接收频率/MHz	3 550~3 700
信号带宽/kHz	189 和 42
接收天线距地面高度/m	15.9
天线尺寸/m	16
天线仰角	33.2°~38.2°
接收天线方位角 θ	139.6°~143°
极化方式	圆极化
关口站的信噪比/dB	9.03
关口站干扰保护门限 (由式(1)得)/(dBm·MHz ⁻¹)	-130
关口站干扰保护门限 (由式(2)得)/(dBm·MHz ⁻¹)	-106.6

表 2 下一代 IMT 系统基站典型技术参数

参数	基站指标
输出功率/dBm	46
信号带宽/MHz	20
发射天线高度/m	30
天线增益(含线缆损耗等)/dBi	15
邻道泄漏/dBc	45
频率/MHz	3 550~3 700

扰保护门限,有两种计算方法。

(1)根据关口站的接收机等效噪声温度导出
关口站允许的最大干扰功率为:

$$P_i(p) = K + B + T + \frac{I}{N} \quad (1)$$

其中, $P_i(p)$ 为在不超过 p (根据参考文献[5], $p=20\%$) 的时间内,接收站接收机输入端所允许的在参考带宽中的最大干扰功率。当干扰发射机功率过大,引起接收机阻塞时,应取接收机的阻塞电平值。 K 为玻尔兹曼常数的对数表示,为 -228.6; B 为参考带宽 1 MHz 的对数表示; T 为关口站接收系统等效噪声温度; $\frac{I}{N}$ 为关口站的干扰保护准则。

(2)通过关口站接收机的最小可识辨功率导出
已知关口站接收机的最小可识辨功率谱密度 PFD ,那

么关口站接收机允许的最大干扰功率为:

$$P_i(p) = PFD - 10 \lg \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) + B - \frac{I}{N} \quad (2)$$

其中, λ 为波长。得出关口站的干扰保护门限后, 通过式(3)可计算产生干扰的发射机(基站)和受到干扰的接收机(关口站)间需要的最小总传输损耗^[6]。最后将该理论计算值与实际地理环境相结合, 仿真得出 IMT 基站与海事卫星关口站间需要的最小隔离距离。

$$L_b(p) = P_i + G_i + G_r - P_r(p) \quad (3)$$

其中, $L_b(p)$ 为在 p 的时间内可容许的最小基本传输损耗, 仅在 p 的时间内实际传输损耗不得超过此值; P_i 为干扰发射机天线输入端参考带宽的发射功率电平; G_i 为干扰发射机在接收站方向的天线增益; G_r 为接收站天线在干扰发射机方向的天线增益。本文中接收站天线旁瓣增益采用 ITU-R S.580^[7] 天线的旁瓣增益进行计算, 即:

$$G(\varphi) = \begin{cases} 29 - 25 \lg \varphi \text{ dBi}, & \varphi_{\min} \leq \varphi < 20^\circ \\ -3.5 & \text{dBi}, 20^\circ \leq \varphi < 26.3^\circ \\ -10 & \text{dBi}, 26.3^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (4)$$

其中, φ 为偏轴角度, D 为天线直径, λ 为波长。

$$\varphi_{\min} = \begin{cases} \max \left(1, 100 \left(\frac{\lambda}{D} \right) \right), & \frac{D}{\lambda} \geq 50 \\ \max \left(2, 114 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-1.09} \right), & \frac{D}{\lambda} \geq 50 \end{cases} \quad (5)$$

天线在接收方位角 $\theta \in [139.6^\circ, 143^\circ]$ 时的接收增益为天线的最大接收增益 54.03 dBi (见表 1), 也就是偏离此接收范围后, 在其他接收方向上的增益为天线的旁瓣增益。因此, 接收天线增益为:

$$G_r(\theta) = \begin{cases} 54.03 \text{ dBi}, & 139.6^\circ \leq \theta \leq 143^\circ \\ G(\varphi) \text{ dBi}, & 139.6^\circ - \varphi \leq \theta \leq 143^\circ + \varphi \end{cases} \quad (6)$$

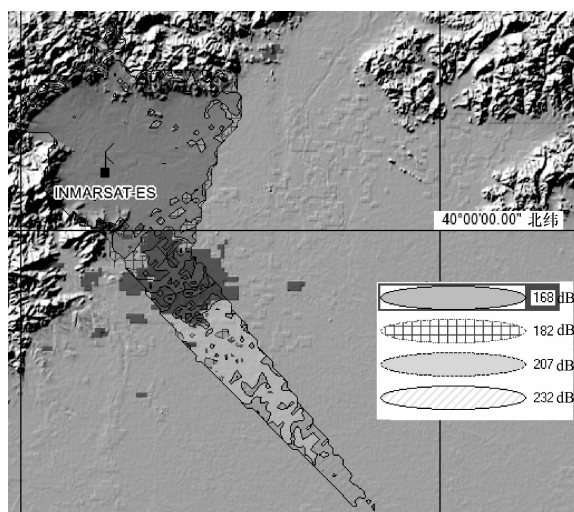
其中, 当 $139.6^\circ - \varphi \leq \theta \leq 143^\circ + \varphi$ 的值超过 $[0^\circ, 360^\circ]$ 时, 根据周期自动调整接收方位角度。下面分别用式(1)和式(2)计算并分析海事卫星移动通信系统关口站与其周围 IMT 系统间的共存问题。

3.1 海事卫星关口站与 IMT 系统同频共存分析

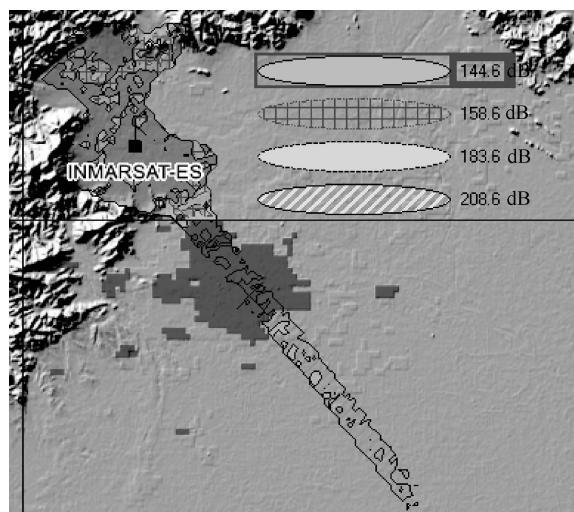
当海事卫星移动通信系统关口站与其周围的 IMT 系统基站的发射频率相同时, 经式(3)计算, 两系统间不存在有害干扰所需要的最小损耗, 具体见表 3。下一代 IMT 系统的基站发射的信号与关口站天线接收方向相同时, 需要经过至少 232 dB (用 -130 dBm/MHz 的干扰保护门限计算出的结果) 或 208.6 dB (用 -106.6 dBm/MHz 的

干扰保护门限计算出的结果) 的传输损耗后, 才不会对海事卫星移动通信系统关口站的接收链路产生有害干扰。在关口站的其他接收方向上, 由于接收站天线旁瓣增益迅速降低, 将式(4)带入式(3)计算知, 至少需要 168 dB (用 -130 dBm/MHz 的干扰保护门限计算出的结果) 或 144.6 dB (用 -106.6 dBm/MHz 的干扰保护门限计算出的结果) 的传输损耗才不会对海事卫星移动通信系统关口站的接收链路产生有害干扰。

用电磁环境仿真软件 WRAP 进行仿真, 得出的结果如图 4 所示。图 4(a) 仿真后的全部覆盖区域是传输损耗小于 232 dB 的隔离域, 图 4(b) 仿真后的全部覆盖区域是传



(a) 干扰保护门限为 -130 dBm/MHz



(b) 干扰保护门限为 -106.6 dBm/MHz

图 4 海事卫星移动通信系统关口站与 IMT 系统基站同频时的隔离距离仿真结果

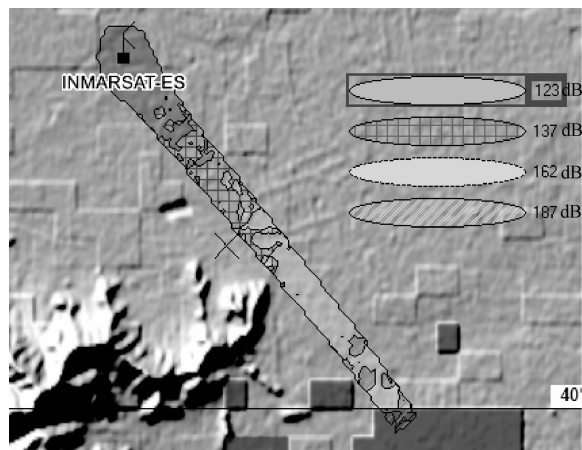
输损耗小于 208.6 dB 的隔离域。即海事卫星关口站需要在周围预留的隔离保护域,此区域以外,两系统间将不会产生有害干扰。关口站周围不同的接收方向需要的隔离距离不同。图 4(a)和图 4(b)对应的最大隔离距离分别为 87 km 和 71 km。随着偏轴角 φ 的不断增大,接收天线旁瓣增益明显降低,因此,越偏离接收天线的主接收方向,两系统间需要的隔离距离越小。当偏离主接收方向超过 26.3° 后,两系统间需要的最小隔离距离分别约只有 13 km (用 -130 dBm/MHz 的干扰保护门限仿真出的结果)和 6 km (用 -106.6 dBm/MHz 的干扰保护门限仿真出的结果),两系统间只需要不小于 168 dB (通过 -130 dBm/MHz 的干扰保护门限计算出)或 144.6 dB (通过 -106.6 dBm/MHz 的干扰保护门限计算出)的总传输损耗,即可实现两系统间的共存。具体隔离距离见表 3。

按现有技术指标,在两系统同频的情况下,只有当隔离距离达到几十公里后才能实现两系统间的共存。但是在这么大的区域内不设置下一代 IMT 系统显然是不可能的,因此,同频时两系统难以共存。

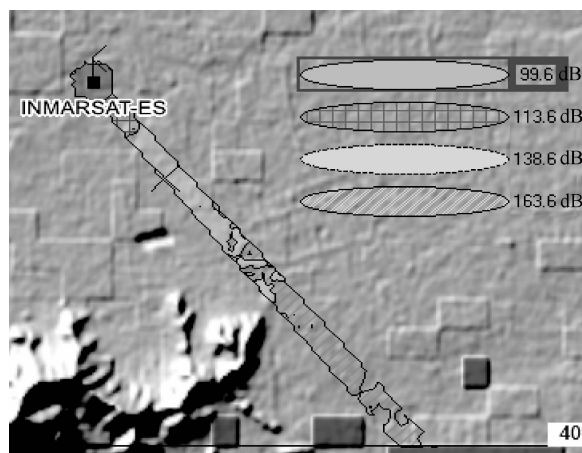
3.2 海事卫星关口站与 IMT 系统邻频共存分析

假设下一代 IMT 系统的发射频率与地球站的接收频率邻频,按照式(3)计算出的系统间所需的最小损耗见表 4,仿真出的隔离距离如图 5 所示。

与上面同频时的分析一样,图 5 的区域为 IMT 系统需要在海事卫星关口站周围,为关口站预留的隔离保护区域,此区域以外的两系统间不会产生有害干扰。图 5(a)和图 5(b)对应的最大隔离距离分别约为 16 km 和 15 km;对应的最小隔离距离分别约为 1 km 和 0.7 km,详见表 4。图 5 中的传输损耗 162 dB 和 138.6 dB 分别对应的是干扰保护门限为 -130 dBm/MHz 和 -106.6 dBm/MHz,且偏轴角度为 1° 。同理,偏轴角度为 10° 时,两种干扰保护门限下,对应的传输损耗为 137 dB 和 113.6 dB;偏轴角度大于



(a) 干扰保护门限为 -130 dBm/MHz



(b) 干扰保护门限为 -106.6 dBm/MHz

图 5 海事卫星移动通信系统关口站与 IMT 系统基站邻频时的隔离距离仿真结果

26.3° 时,两种干扰保护门限下,对应的传输损耗分别为 123 dB 和 99.6 dB。

3.3 海事卫星关口站与 IMT 系统具有一定保护带宽时的共存分析

如果两系统间有一定的频率隔离,其带外无用发射可

表 3 海事卫星关口站与 IMT 系统同频共存

BS 发射功率 /(dBm·MHz ⁻¹)	BS 泄漏功率 /(dBm·MHz ⁻¹)	BS 发射增益/dBi	关口站接收增益 /dBi	干扰保护门限 /(dBm·MHz ⁻¹)	所需的最小损耗/dB	隔离范围/km
33	33	15	式(4)	-130	178+式(4)	13~87
				-106.6	154.6+式(4)	6~71

表 4 海事卫星关口站与 IMT 系统邻频共存

频率隔离/MHz	ACLR/dB	基站 EIRP	基站泄漏功率/(dBm·MHz ⁻¹)	干扰保护门限/(dBm·MHz ⁻¹)	所需的最小损耗/dB	隔离范围/km
0	45	48	-12	-130	133+式(4)	1~16
				-106.6	109.6+式(4)	0.7~15

以进一步限制,选择无用发射为-65 dBm/MHz(5 MHz 保护带可实现)和-86 dBm/MHz(10 MHz 保护带可实现),且设备厂商可实现上述指标,则海事卫星关口站和 IMT 系统间所需的最小损耗,具体见表 5。

有一定隔离频带时,海事卫星移动通信系统关口站与 IMT 系统基站的隔离距离仿真结果如图 6 所示。

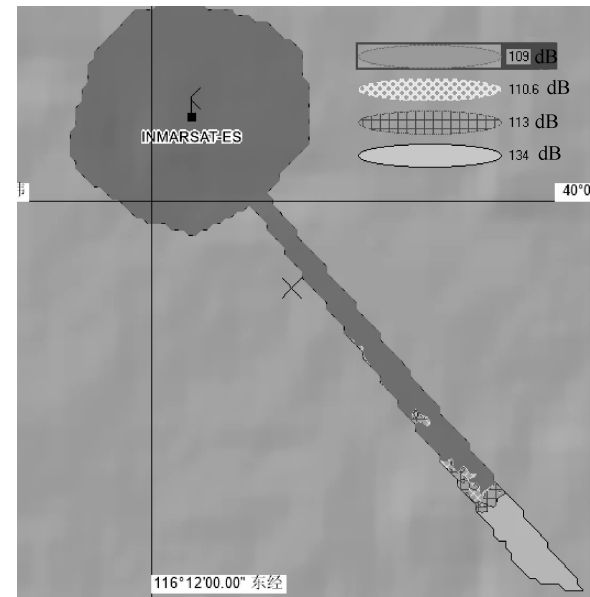


图 6 有一定隔离频带时,海事卫星移动通信系统关口站与 IMT 系统基站的隔离距离仿真结果

其中,实心所围区域为具有 5 MHz 频率隔离带宽时,海事卫星关口站在-130 dBm/MHz 的干扰保护门限下,仿真出的保护隔离区域,该区域的传输损耗 ≤ 134 dB;网格区域为具有 5 MHz 频率隔离带宽时,海事卫星关口站在-106.6 dBm/MHz 的干扰保护门限下,仿真出的保护隔离区域,该区域的传输损耗 ≤ 110.6 dB;竖格区域为具有 10 MHz 频率隔离带宽时,海事卫星关口站在-130 dBm/MHz 的干扰保护门限下,仿真出的保护隔离区域,该区域的传输损耗 ≤ 113 dB。在这些区域外,可以布置下一代 IMT 系统,两系统间可以实现共存。可见,在两系统间有一定保护

频带时,若对 IMT 系统的发射指标进行合理限制,并在关口站天线主接收方向周边确定保护区(如 1 km),就可以有效地实现两系统在室外的共存。同理,如果在海事卫星关口站周围设置一定的电磁环境保护措施,如增加屏蔽网等,则更容易在更小的范围内实现两系统间的共存。

4 结束语

本文对第四代海事卫星移动通信系统和下一代 IMT 系统间的共存进行了理论分析和仿真,得出的结果对设置海事卫星关口站和其周边的 IMT 系统具有较强的指导意义。即当系统同频时,两系统间无法实现共存;当系统邻频时,两系统间的隔离距离需超过 10 km,才可实现共存;进一步增大两系统间的隔离带宽,当隔离带宽为 5 MHz 时,两系统间的隔离距离达到 1 km 以上可共存;当隔离带宽为 10 MHz 时,两系统不需要任何隔离距离就可实现共存。如果 3.5 GHz 频段 IMT 系统被用于室内通信,其无用发射功率传输到室外被海事卫星地球站接收到的概率很小,因此,室内无线接入系统和海事卫星地球站是可以实现共存的。相反,如果在设置海事卫星地球站时,为其站址周围设置电磁环境保护措施,那么两系统间的隔离距离可大大降低,频率利用度也可增加,这也符合将扩展 C 频段(3.4~3.7 GHz)划分为未来 IMT 系统和空间业务共用频段的规划。

参考文献:

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 中华人民共和国无线电频率划分规定[S/OL]. [2014-01-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12843926/n13917072/15865839.html>. Ministry of Industry and Information Technology. People's Republic of China Radio Frequency Allocation Provisions [S/OL]. [2014-01-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12843926/n13917072/15865839.html>.

表 5 海事卫星关口站与 IMT 系统有频带隔离时共存情况

频率隔离/MHz	无用发射功率/(dBm·MHz ⁻¹)	干扰保护门限/(dBm·MHz ⁻¹)	所需的最小损耗/dB	隔离范围/km
5	-65	-130	80+式(4)	0.5~2.5
		-106.6	56.6+式(4)	0~2
10	-86	-130	59+式(4)	0~2
		-106.6	35.6+式(4)	可以共存

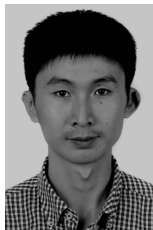


- [2] User equipment (UE) radio transmission and reception: 3GPP TS36.101:2012 [S/OL]. [2012-09-01]. <http://www.3gpp.org/DynaReport/36-series.html>.
- [3] Base station (BS) radio transmission and reception: 3GPP TS36.104:2013 [S/OL]. [2013-09-01]. <http://www.3gpp.org/DynaReport/36-series.html>.
- [4] Radio frequency (RF) system scenarios: TS36.942: 2010 [S/OL]. [2010-12-01]. <http://www.3gpp.org/DynaReport/36-series.html>.
- [5] Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz: ITU-R S.1432-1: 2006[S/OL]. [2006-01-01]. <http://www.itu.int/pub/R-REC>.
- [6] 李景春, 黄标, 黄嘉, 等. 电磁频谱工程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
LI J C, HUANG B, HUANG J, et al. Electromagnetic spectrum engineering[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2008.
- [7] Radiation diagrams for use as design objectives for antennas of earth stations operating with geostationary satellites: ITU-R S. 580-6:2004 [S/OL]. [2004-01-01]. <http://www.itu.int/pub/R-REC>.

[作者简介]



张晓燕(1982-),女,博士,国家无线电监测中心工程师,主要研究方向为电波传播、无线通信和电磁兼容。



杨夏青(1988-),男,国家无线电监测中心助理工程师,主要研究方向为无线通信。



韩锐(1984-),男,博士,国家无线电监测中心工程师,主要研究方向为无线通信。