

对地静止轨道卫星网络间的频率干扰分析计算问题

刘 畅, 魏文康, 李 伟

(国家无线电监测中心, 北京 100037)

摘 要: 梳理全球对地静止轨道(GSO)卫星网络的申报情况、协调数量以及GSO实际在轨卫星情况, 研究GSO卫星网络间干扰分析国际计算规则、协调弧和 $\Delta T/T$ 两种判断是否需要开展协调的计算方法、在不同干扰场景下 C/I 的计算方法以及各输入参数的获取方式, 介绍Visualyse GSO和国际电信联盟GIBC两种GSO卫星网络干扰仿真分析软件, 用Visualyse GSO软件分析不同轨位间隔情况下GSO卫星网络间的干扰程度。为卫星操作单位进行GSO卫星网络间干扰分析计算、保障卫星频率切实可用提供参考。

关键词: 对地静止轨道; 卫星网络; 干扰分析

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021007

Frequency Interference Analysis and Calculation of Geostationary-Orbit Satellite Network

LIU Chang, WEI Wenkang, LI Wei

The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

Abstract: The status of the submission and coordination of the global geostationary-orbit (GSO) satellite networks, GSO satellites in orbit were reviewed. The international rules of interference analysis and calculation between GSO satellite networks, two calculation methods of judging whether the coordination was needed coordination arc and $\Delta T/T$, the calculation method of C/I and the access of the input parameters under different scenarios were studied. The softwares of Visualyse GSO and ITU GIBC were introduced. The interference using the Visualyse GSO software between GSO satellite networks with different orbital separations was analyzed. It provides a reference for satellite operators to analyze and calculate the interference between GSO satellite networks and ensure the practical availability of satellite frequencies.

Keywords: geostationary-orbit, satellite network, interference analysis

1 引言

对地静止轨道(Geostationary-Orbit, GSO)卫星是指轨道高度位于35 786 km的地球同步轨道卫星, 其具有覆盖广、地球站天线易跟踪、信号稳定等优点。静止轨道频率资源十分有限, 且在国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)遵循先登先占的原则, 多年来成为各国抢占的焦点^[1]。

对地静止轨道卫星网络间的协调一直是卫星网络频率协调的重点。近年来, 随着非对地静止轨道(Non-Geostationary-Orbit, NGSO)卫星网络资料申报数量增多, NGSO卫星网络之间、NGSO与GSO卫星网络间的干扰计算

成为研究的热点问题。但在双边协调会谈中, 95%以上的议题涉及的仍然是GSO卫星网络间的协调问题, 仍然有很多卫星操作单位对GSO卫星网络间的干扰计算问题掌握的不全面。因此, 本文从GSO卫星网络协调对象、涉及的干扰评价指标、干扰保护标准、干扰计算输入参数等方面对GSO卫星网络间的干扰分析计算问题进行全面而系统的分析, 为GSO频率协调人员更好地开展协调工作提供技术依据。

2 GSO卫星网络和在对地静止轨道卫星网络资料申报情况

根据国际电信联盟SRS数据库, 截至2020年12月底,

收稿日期: 2021-02-02; 修回日期: 2021-03-08

通信作者: 李伟, liwei@src.org.cn

基金项目: 国家重点研发计划(No.2020YFB1807900)

Foundation Item: The National Key R&D Program of China(No.2020YFB1807900)

全球共申报GSO卫星网络资料3 412份,涉及65个国家^[2]。美国是申报GSO卫星网络资料数量最多的国家,共申报504份。根据美国UCS在线数据库,截至2020年12月底,全球共有GSO在轨卫星560颗,涉及102个国家或组织^[3]。美国是拥有GSO在轨卫星数量最多的国家,GSO在轨卫星共157颗。由此可见,无论是在卫星网络资料层面还是在实际在轨卫星层面,GSO数量众多,GSO卫星网络间的协调具有十分重要的意义。

根据国际电信联盟SRS数据库,2015–2020年GSO卫星网络资料的申报情况见表1。

表1 2015–2020年GSO卫星网络资料的申报情况

年份	GSO卫星网络资料申报数量/份
2020	199
2019	382
2018	338
2017	358
2016	464
2015	397

由表1可以看出,除2020年GSO卫星网络资料申报数量有所下降外,其余年份申报数量都在三四百份。这说明虽然近些年GSO卫星频率和轨道资源日益紧张,NGSO卫星受到各卫星运营商普遍关注,但GSO卫星网络资料申报的热度依然不减。

下面以全球“四大”商业卫星运营商之一的SES申报的几份GSO卫星网络资料在Ku和Ka频段的协调量为例,评估每申报一份GSO卫星网络资料需要协调的国家数量、GSO卫星网络资料数量以及轨位数量,具体见表2。

表2 申报GSO卫星网络资料协调量

卫星网络名称	轨位	频段	需协调国家数量/个	需协调卫星网络资料数量/份	需协调轨位数量/个
LUX-G10-108.2E	108.2 °E	Ku	48	2 019	559
		Ka	56	2 058	566
LUX-G14-7	23.5 °E	Ku	103	2 259	591
		Ka	69	1 998	562
LUX-G12-45	87 °W	Ku	47	1 581	495
		Ka	66	1 685	507

由表2可以看出,SES近期申报的几份LUX系列GSO卫星网络资料在Ku和Ka频段需要协调的国家数量基本为几十个,需要协调的卫星网络资料数量为几千份,需要协调的轨位数量为几百个。通过LUX系列GSO卫星网络资料的协调量可以看出,虽然每份卫星网络资料具体协调量与申

报的时间、包含的频段、选择的轨位、涉及的业务等因素相关,数量不尽相同,但总的来说协调量还是巨大的。

3 GSO卫星网络间干扰计算相关国际规则

GSO卫星网络与GSO卫星网络建立协调关系的条款是《无线电规则》第9.7款。根据《无线电规则》第9.36.2款,国际电信联盟无线电通信局(ITU BR)将根据第9.7款确定需要协调的GSO卫星网络清单,并根据第9.38款公布在国际频率信息通报(周报)CR/C特节中。是否纳入卫星网络协调清单的计算依据将在下一节详细介绍。根据第9.51款或第9.52款,其他主管部门要在CR/C特节公布的4个月内提交周报意见,如果未按时提交,将视为同意国际电信联盟的判定。此外,根据第9.41款,在上述4个月内,若主管部门不完全同意国际电信联盟公布的受影响卫星网络清单,还可以通过SpaceCom向国际电信联盟提出在CR/C特节协调清单基础上增加或删除卫星网络的意见,但必须同时提供技术依据。意见一旦被采纳,将公布在CR/E特节中。也就是说,某一卫星网络根据第9.7款需协调的GSO卫星网络名单是CR/C和CR/E特节中的总和。根据第9.41款要求增加或删除卫星网络的技术依据也将在下一节详细介绍。

在卫星网络通知资料(N资料)阶段,走C–N协调程序的卫星网络要经过国际电信联盟对卫星网络协调开展情况的审查。主管部门在第一次提交卫星网络通知资料时,国际电信联盟根据第11.32款进行审查:如果卫星网络资料的协调全部完成,则频率指配登记进入总表;如果卫星网络资料的协调没有全部完成,则国际电信联盟会根据第11.37款将卫星网络资料退回。主管部门在第二次提交卫星网络通知资料时,国际电信联盟根据第11.32A款进行审查:如果卫星网络资料的协调全部完成,则频率指配登记进入总表;如果卫星网络资料的协调没有全部完成,则国际电信联盟会根据第11.38款将卫星网络资料退回。被退回的卫星网络资料可以根据第11.41款第三次提交,但需要提供根据第11.38款做出协调努力的证明。不同的是,走A–N程序的卫星网络在提交通知资料时,国际电信联盟不会根据第11.32款和第11.32A款审查其协调情况。鉴于所有GSO卫星网络都走C–N协调程序,因此从国际电信联盟的要求来看,都应当开展必要的协调,进行协调努力。特别是那些计划报送通知资料的GSO卫星网络,更应该重视国际协调,以应对国际电信联盟的协调情况审查^[4]。

4 GSO卫星网络间是否需要协调的判断方法

4.1 协调弧

国际电信联盟在WRC–2000首次引入了协调弧的概

念^[5], 目前最新的协调弧规则是在WRC-19大会上修订的。协调弧的轨位间隔从6°到16°不等, 主要取决于协调双方使用的频段和业务。最常用的是C频段7°、Ku频段6°以及Ka频段8°的协调弧。《无线电规则》附录5给出了3 400 MHz以上频段, 卫星固定业务(Fixed-Satellite Service, FSS)、卫星广播业务(Broadcast Satellite Service, BSS)、卫星移动业务(Mobile Satellite Service, MSS)、空间研究业务(Space Research Service, SRS)、卫星气象业务之间协调弧的大小。具体见表3。

表3 不同频段和业务之间协调弧大小

序号	频段	业务	轨位间隔
1	3 400 ~ 4 200 MHz 5 725 ~ 5 850 MHz (1区) 5 850 ~ 6 725 MHz 7 025 ~ 7 075 MHz	FSS与FSS间	± 7°
2	10.95 ~ 11.2 GHz 11.45 ~ 11.7 GHz 11.7 ~ 12.2 GHz (2区) 12.2 ~ 12.5 GHz (3区) 12.5 ~ 12.74 GHz (1区和3区) 12.7 ~ 12.75 GHz (2区) 13.75 ~ 14.8 GHz	非规划FSS/BSS与非规划FSS/BSS间	± 6°
3	14.5 ~ 14.8 GHz	非规划FSS/SRS与非规划FSS/SRS间	± 6°
4	13.4 ~ 13.65 GHz (1区)	FSS/SRS与FSS/SRS间	± 6°
5	17.7 ~ 19.7 GHz (2区和3区) 17.3 ~ 19.7 GHz (1区) 27.5 ~ 29.5 GHz	FSS与FSS间	± 8°
6*	19.7 ~ 20.2 GHz 29.5 ~ 30 GHz	FSS/MSS与FSS/MSS间	± 8°
7	17.3 ~ 17.7 GHz (1区和2区)	FSS与BSS间或BSS与FSS间	± 8°
8	17.7 ~ 17.8 GHz	FSS与BSS间或BSS与FSS间	± 8°
9	18.0 ~ 18.3 GHz (2区) 18.1 ~ 18.4 GHz (1区和3区)	FSS/卫星气象业务与FSS/卫星气象业务间	± 8°
10	17.3 GHz以上(序号5、6、9规定的频段除外)	FSS与FSS间	± 8°
11	21.4 ~ 22 GHz (1区和3区)	BSS与BSS间	± 12°
12	17.3 GHz以上(序号7、8、11规定的频段除外)	非规划FSS/BSS与非规划FSS/BSS(FSS与FSS间情况除外)间	± 16°

注: *在19.7 ~ 20.2 GHz和29.5 ~ 30 GHz频段, FSS/MSS与FSS/MSS间的协调弧是WRC-19新修改内容

当两个GSO卫星网络频率重叠且轨位间隔在协调弧以内时, 如本文第3节所述, 国际电信联盟根据《无线电规则》第9.7款判定其需要协调, 并将地位优先的卫星网络公布在地位落后卫星网络CR/C特节协调清单列表中, 表中“BR28项”将标注“A”。例如东经108.5°的F-SAT-N4-108.5E卫星网络位于东经108.2° LUX-G10-108.2E卫星网络协调弧以内, 可以看到在LUX-G10-108.2E卫星网络CR/C/4845特节协调清单中包含F-SAT-N4-108.5E卫星网络。

4.2 $\Delta T/T$

在协调弧不适用的情况下, 采用 $\Delta T/T$ 的计算方法判断两个GSO卫星网络是否需要协调^[6]。当 $\Delta T/T \geq 6\%$ 时, 存在潜在干扰, 需要开展协调; 当 $\Delta T/T < 6\%$ 时, 不存在潜在干扰, 无需开展协调。 $\Delta T/T$ 的计算结果是除协调弧外卫星网络是否纳入协调清单的另一个重要判断指标。此外, 主管部门在根据《无线电规则》第9.41款要求增加或删除卫星网络时, 也需要提交 $\Delta T/T$ 计算结果作为技术依据。

$\Delta T/T$ 的计算方法在《无线电规则》附录8中给出。下面对计算方法进行简要介绍。

(1) 干扰卫星网络和被干扰卫星网络同频同向传输

干扰场景为干扰卫星网络和被干扰卫星网络频率重叠且同向传输, 干扰卫星网络的上行链路干扰被干扰卫星网络的上行链路, 或者干扰卫星网络的下行链路干扰被干扰卫星网络的下行链路, 具体如图1所示。

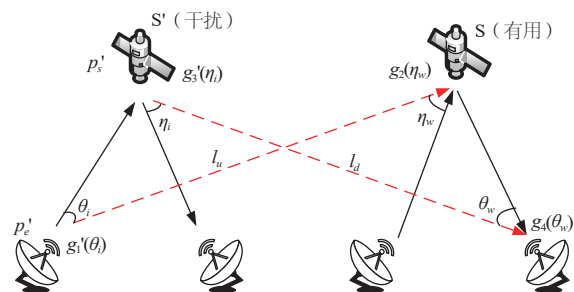


图1 计算 $\Delta T/T$ 的同频同向传输干扰场景

对于同频同向传输干扰的情况, 上行干扰 $\Delta T_s/T_s$ 由式(1)给出

$$\Delta T_s / T_s = \frac{p_s' g_s'(\eta_i) g_e(\eta_w)}{k l_u T_s} \quad (1)$$

下行干扰 $\Delta T_e/T_e$ 由式(2)给出

$$\Delta T_e / T_e = \frac{p_s' g_s'(\eta_i) g_d(\theta_w)}{k l_d T_e} \quad (2)$$

全链路干扰 $\Delta T/T$ 由式(3)给出

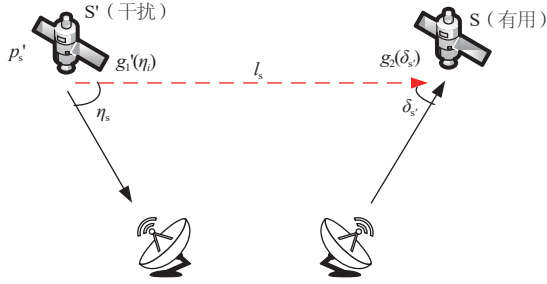
$$\Delta T / T = (\gamma \Delta T_s + \Delta T_e) / T \quad (3)$$

其中, p 为功率密度, g 为天线增益, k 为波尔兹曼常数, l 为自由空间传输损耗。

(2) 干扰卫星网络和被干扰卫星网络同频反向传输

干扰场景为干扰卫星网络和被干扰卫星网络频率重叠且反向传输, 干扰卫星网络的下行链路干扰被干扰卫星网络的上行链路, 具体如图2所示。

对于同频反向传输干扰的情况, 由式(4)和式(5)给出

图2 计算 $\Delta T/T$ 的同频反向传输干扰场景

$$\Delta T_s / T_s = \frac{p_s' g_s'(\eta_s) g_s(\delta_s)}{k l_s T_s} \quad (4)$$

$$\Delta T / T = \gamma \Delta T_s / T \quad (5)$$

其中, p 为功率密度, g 为天线增益, k 为波尔兹曼常数, l 为自由空间传输损耗。

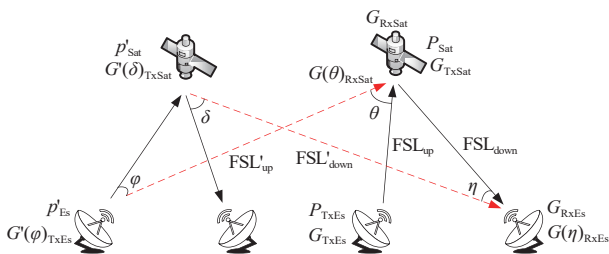
5 GSO卫星网络间开展详细协调的计算方法

在GSO卫星网络间开展详细协调时, 评价干扰程度最常用的方法是计算被干扰卫星网络和干扰卫星网络间的载波干扰比 (C/I)。该方法适用于所有信号类型和调制类型。根据《无线电规则》, 计算 C/I 是完成卫星网络频率协调的一个重要环节。 C/I 的计算方法主要由ITU-R S.740建议书给出, 保护标准由ITU-R S.741-2建议书和《程序规则》B3部分表2给出。当然, 经双方主管部门协商, 还可以采用其他的GSO卫星网络干扰计算方法, 例如ITU-R S.740建议书附件3和附件4中的方法。本文仅对 C/I 的计算方法进行简要介绍^[7-10]。

5.1 C/I 的计算方法

(1) 干扰卫星网络和被干扰卫星网络同频同向传输

干扰场景为干扰卫星网络和被干扰卫星网络频率重叠且同向传输, 干扰卫星网络的上行链路干扰被干扰卫星网络的上行链路, 或者干扰卫星网络的下行链路干扰被干扰卫星网络的下行链路, 具体如图3所示。

图3 计算 C/I 的同频同向传输干扰场景

对于上行干扰的情况, $C/I_{\uparrow}$ 的计算由式(6)~式(12)给出

$$C \uparrow = P_{TxEs} + G_{TxEs} + G_{RxSat} - FSL_{up} \quad (6)$$

$$I \uparrow = P'_{Es} + G'(\varphi)_{TxEs} + G(\theta)_{RxSat} - FSL'_{up} \quad (7)$$

$$C/I \uparrow = C \uparrow - I \uparrow \quad (8)$$

对于下行干扰的情况, $C/I_{\downarrow}$ 的计算由下列公式给出

$$C \downarrow = P_{Sat} + G_{TxSat} + G_{RxEs} - FSL_{down} \quad (9)$$

$$I \downarrow = P'_{Sat} + G'(\delta)_{TxSat} + G(\eta)_{RxEs} - FSL'_{down} \quad (10)$$

$$C/I \downarrow = C \downarrow - I \downarrow \quad (11)$$

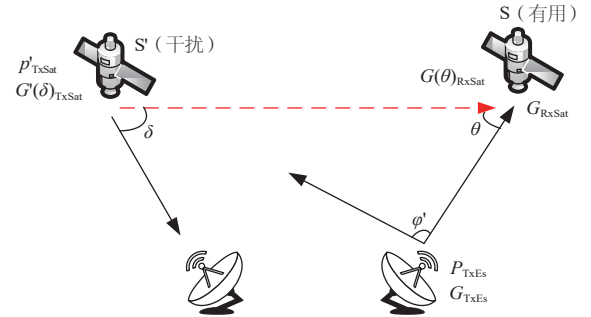
其中, P 为功率, G 为天线增益, FSL 为自由空间传输损耗。

全链路的 C/I 用式(12)计算

$$C/I = -10 \log \left[10^{\frac{(C/I)_U}{10}} + 10^{\frac{(C/I)_D}{10}} \right] \quad (12)$$

(2) 干扰卫星网络和被干扰卫星网络同频反向传输

干扰场景为干扰卫星网络和被干扰卫星网络频率重叠且反向传输, 干扰卫星网络的下行链路干扰被干扰卫星网络的上行链路, 具体如图4所示。

图4 计算 C/I 的同频反向传输干扰场景

$$C/I = P_{TxEs} + G_{TxEs} + G_{RxSat} - P'_{TxSat} - G'(\delta)_{TxSat} - G(\theta)_{RxSat} + 20 \log \varphi' - 35.2 \quad (13)$$

其中, P 为功率, G 为天线增益, φ' 为干扰卫星和被干扰卫星间的顶心角。

5.2 确认是否存在干扰

计算出来的 C/I 的值要与被干扰卫星接收系统所能允许的最小载波干扰比 ($C/I_{required}$) 进行比较才能确认是否存在干扰^[11]。

(1) 计算 $C/I_{required}$ 的值

被干扰卫星接收系统 $C/I_{required}$ 值与系统的 C/N 值和单入干扰 (SEI) 保护标准有关, 如式(14)所示

$$C/I_{required} = C/N + K \quad (14)$$

C/N 的值由《无线电规则》附录4第C.8.e.1项给出。 K 的值取决于不同的干扰载波类型和被干扰载波类型的组合以

及载波带宽，一般为12.2 dB或14 dB，具体见表4。

表4 单入干扰（SEI）保护标准

干扰载波 有用载波	TV/FM或其他	数字系统	模拟系统 (非TV/FM)
TV/FM	$C/N+14$ (dB)		
数字系统	如果 $BW_w \leq BW_{eq}$, 那么 $C/N+5.5+3.5\log(BW_w)$ (dB)	$C/N+12.2$ (dB)	
	如果 $BW_w > BW_{eq}$, 那么 $C/N+12.2$ (dB)		
模拟系统 (非TV/FM)	$11.4+2\log(BW_w)$ (dB)	$C/N+12.2$ (dB)	
其他	$11.4+2\log(BW_w)$ (dB)	$C/N+14$ (dB)	

其中， BW_w 为有用载波的必要带宽， BW_{eq} 为干扰载波的等效带宽。载波类型可以在《无线电规则》附录4第C.7.a项找到，第C.7.a项各数字或字母代表的含义详见《无线电规则》附录1。

(2) 计算干扰余量值

干扰余量值 M 由式(15)给出

$$M=C/I-I_{\text{required}} \quad (15)$$

当 M 为正或0时，表示系统间不存在有害干扰；当 M 为负时，表示系统间存在有害干扰。

6 计算输入参数的获取

GSO卫星网络干扰计算所需的各项参数主要从《无线电规则》附录4各数据项以及GIMS数据库中获取。《无线电规则》附录4各数据项可以通过国际电信联盟SpaceCap软件查看。主要参数如下。

(1) 同频同向上行干扰场景

同频同向上行干扰场景输入参数见表5。

表5 同频同向上行干扰场景输入参数

干扰/ 被干扰 链路	参数	数据项	备注
被干扰 链路	地球站发射功率	附录4第C.8.c.1项	最小发射功率
被干扰 链路	地球站发射天线增益	附录4第C.10.d.3项	最大增益
被干扰 链路	卫星接收天线增益	附录4第B.3.a.1项	最大增益
被干扰 链路	接收系统噪声温度	附录4第C.5.a项	—
干扰 链路	地球站发射功率	附录4第C.8.a.1/C.8.b.1项	最大发射功率
干扰 链路	地球站发射天线增益	附录4第C.10.d.5.a.1项	地球站天线方向图
干扰 链路	卫星接收天线增益	GIMS数据库天线方向图	卫星天线方向图

假设地球站位于星下点，在最坏干扰情况下，被干扰链路上行地球站发射功率选择最小发射功率值，地球站发射天线增益和卫星接收天线增益选择最大增益值，

接收系统噪声温度使用附录4第C.5.a项数值；干扰链路上行地球站发射功率选择最大发射功率值，干扰链路地球站发射天线增益和卫星接收天线增益根据天线方向图使用带有方位角的离轴天线增益。

(2) 同频同向下行干扰场景

同频同向下行干扰场景输入参数见表6。

表6 同频同向下行干扰场景输入参数

干扰/ 被干扰 链路	参数	数据项	备注
被干扰 链路	卫星发射功率	附录4第C.8.c.1项	最小发射功率
被干扰 链路	卫星发射天线增益	附录4第B.3.a.1项	最大增益
被干扰 链路	地球站接收天线增益	附录4第C.10.d.3项	最大增益
被干扰 链路	接收系统噪声温度	附录4第C.10.d.6项	—
干扰 链路	卫星发射功率	附录4第C.8.a.1/C.8.b.1项	最大发射功率
干扰 链路	卫星发射天线增益	GIMS数据库天线方向图	卫星天线方向图
干扰 链路	地球站接收天线增益	附录4第C.10.d.5.a.1项	地球站天线方向图

假设地球站位于星下点，在最坏干扰情况下，被干扰链路上行卫星发射功率选择最小发射功率值，卫星发射天线增益和地球站接收天线增益选择最大增益值，接收系统噪声温度使用附录4第C.10.d.6项数值；干扰链路上行卫星发射功率选择最大发射功率值，干扰链路卫星发射天线增益和地球站接收天线增益根据天线方向图使用带有方位角的离轴天线增益。

(3) 同频反向干扰场景

同频反向干扰场景输入参数见表7。

表7 同频反向干扰场景输入参数

干扰/ 被干扰 链路	参数	数据项	备注
被干扰 链路	地球站发射功率	附录4第C.8.c.1项	最小发射功率
被干扰 链路	地球站发射天线增益	附录4第C.10.d.3项	最大增益
被干扰 链路	卫星接收天线增益	附录4第B.3.a.1项	最大增益
被干扰 链路	接收系统噪声温度	附录4第C.5.a项	—
干扰 链路	卫星发射功率	附录4第C.8.a.1/C.8.b.1项	最大发射功率
干扰 链路	卫星发射天线增益	GIMS数据库天线方向图	卫星天线方向图
干扰 链路	卫星接收天线增益	GIMS数据库天线方向图	卫星天线方向图

假设地球站位于星下点,在最坏干扰情况下,被干扰链路上行地球站发射功率选择最小发射功率值,地球站发射天线增益和卫星接收天线增益选择最大增益值,接收系统噪声温度使用附录4第C.5.a项数值;干扰链路上行卫星发射功率选择最大发射功率值,干扰链路卫星发射天线增益和卫星接收天线增益根据卫星天线方向图使用带有方位角的离轴天线增益。

7 GSO卫星网络间干扰仿真分析软件

7.1 Visualyse GSO软件

Visualyse GSO软件^[12]是由英国Transfinite Systems公司开发的一款专门用于GSO卫星网络间干扰仿真分析的软件,是一款付费软件,可以直接导入国际电信联盟ITC和SRS数据库,方便查看卫星网络协调弧、计算 $\Delta T/T$ 以及 C/I 的值。

Visualyse GSO软件需要输入的参数非常简单,只需要被干扰卫星网络名称、干扰卫星网络名称、干扰方向、干扰门限值等几个简单参数即可。在计算结果的可视化界面,可以看到干扰卫星网络和被干扰卫星网络重叠的频段、每一个重叠频段上的协调弧情况(是否存在协调弧、协调弧大小、是否位于协调弧以内), $\Delta T/T$ 计算结果等。单击软件中的“Detailed Coordination”按钮,可以查看每一组载波的参数和 C/I 计算结果。

7.2 GIBC软件

GIBC (Graphical Interface for Batch Calculations) 软件是国际电信联盟推出的一款帮助各主管部门和卫星操作单位进行卫星网络干扰分析计算的软件,是一款免费软件。它可以计算功率通量密度以及《无线电规则》附录8($\Delta T/T$)、附录30&30A、附录30B、附录7中涉及的内容,但不能计算 C/I 。

用GIBC计算 $\Delta T/T$ 的操作流程如下:首先在“Tools/Options”选项卡中添加卫星网络数据库和GIMS数据库;然后在“Appendix 8”选项卡中选择要计算的具体卫星网络名称;单击开始,即可以开始计算。 $\Delta T/T$ 的计算结果可以通过“View Results”查看。与Visualyse GSO软件不同的是,GIBC软件只提供干扰的主管部门名称,并不给出 $\Delta T/T$ 的具体数值。

8 基于协调弧的干扰仿真分析

在GSO卫星网络开展国际协调时,经常会遇到一些卫星操作单位建议通过协调弧来完成协调的情况。为验证协调弧的可靠性,下面用Visualyse GSO软件仿真分析不同协调弧上的GSO卫星网络间的干扰情况。

8.1 位于协调弧以外的GSO卫星网络间的干扰分析

选取N-SAT-Y19-72E为干扰卫星网络,轨位为东经72°;NSS-G2-18为被干扰卫星网络,轨位为东经95°。两个卫星网络轨位间隔为23°,重叠频段包含12段。以下行12.2~12.255 GHz频段为例,分析两个网络的干扰情况,结果如图5和图6所示。

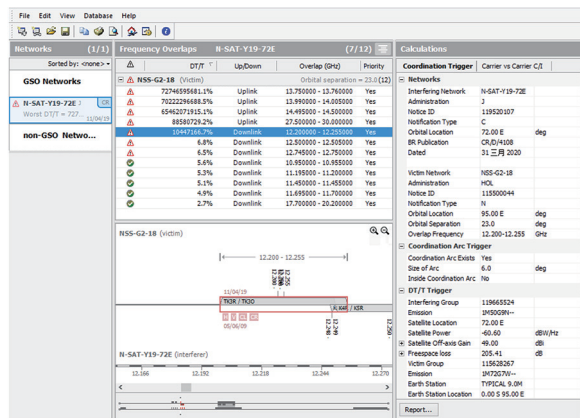


图5 N-SAT-Y19-72E和NSS-G2-18卫星网络在12.2~12.255 GHz频段干扰仿真分析——协调弧和 $\Delta T/T$ 计算结果

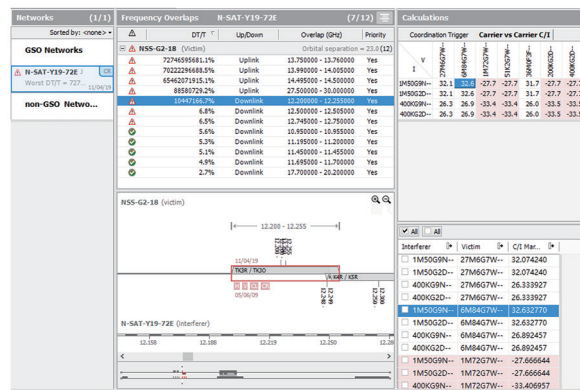


图6 N-SAT-Y19-72E和NSS-G2-18卫星网络在12.2~12.255 GHz频段干扰仿真分析—— C/I 计算结果

由图5和图6可以得出,在12.2~12.255 GHz(下行)频段,N-SAT-Y19-72E和NSS-G2-18卫星网络协调弧、 $\Delta T/T$ 以及 C/I 的计算结果如下。

(1) 存在6°间隔的协调弧概念,但干扰卫星网络N-SAT-Y19-72E没有位于被干扰卫星网络NSS-G2-18的协调弧以内。

(2) $\Delta T/T$ 计算结果为10 447 166.7%,大于6%,存在潜在干扰,这也是NSS-G2-18卫星网络被国际电信联盟列入N-SAT-Y19-72E卫星网络协调列表中的原因。

(3) Visualyse GSO软件对12.2~12.255 GHz(下行)频段上每一组载波都给出了 C/I 的值。在干扰最小的

情况下, C/I 余量为32.6 dB, 满足保护标准; 在干扰最大的情况下, C/I 余量为-33.5 dB, 不满足保护标准。

通过上述仿真分析结果可以看出, 虽然N-SAT-Y19-72E和NSS-G2-18卫星网络轨位间隔大于协调弧, 但仍然有一些载波组合的 $\Delta T/T$ 和 C/I 值是超限的。这种情况的发生一方面与卫星网络资料中的参数填写不实有关; 另一方面说明协调弧之外的卫星网络不是绝对没有干扰的。这是一些国家如美国、日本等不承认协调弧概念的原因之一, 他们一般不同意其他国家提出的基于协调弧签署大轨位协议的建议。对于承认协调弧概念的国家, 在使用协调弧开展频率协调时应该注意在协调弧之外增加限制条件, 如可对功率通量密度或等效全向辐射功率密度加以限制等。

8.2 位于协调弧以内的GSO卫星网络间的干扰分析

选取N-SAT-Y19-72E为干扰卫星网络, 轨位为东经72°; KAZSAT7S为被干扰卫星网络, 轨位为东经77.5°。两个卫星网络轨位间隔为5.5°, 重叠频段包含3段: 27.5~31 GHz (上行)、17.7~21.2 GHz (下行) 和3.4~3.45 GHz (下行)。对上述两个卫星网络在重叠频段进行仿真, 结果如下。

(1) 在27.5~31 GHz (上行) 频段的干扰仿真分析

N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在27.5~31 GHz频段干扰仿真分析结果如图7~图8所示。

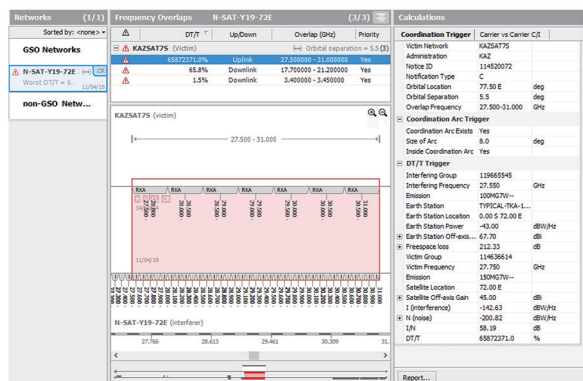


图7 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在27.5~31 GHz频段干扰仿真分析——协调弧和 $\Delta T/T$ 计算结果

①在该频段, 存在8°间隔的协调弧概念, 干扰卫星网络N-SAT-Y19-72E位于被干扰卫星网络KAZSAT7S的协调弧以内。

②在该频段, $\Delta T/T$ 的计算结果为65 872 371%, 大于6%, 即存在潜在干扰。

③该频段干扰情况较重, 所有载波组的 C/I 余量均为

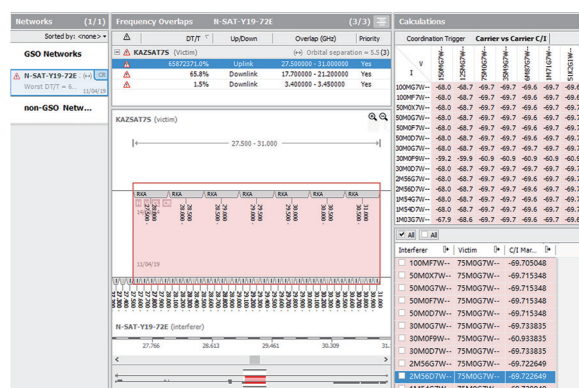


图8 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在27.5~31 GHz频段干扰仿真分析—— C/I 计算结果

负值, 不满足保护标准。

(2) 在17.7~21.2 GHz (下行) 频段的干扰仿真分析

N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在17.7~21.2 GHz频段干扰仿真分析结果如图9~图10所示。

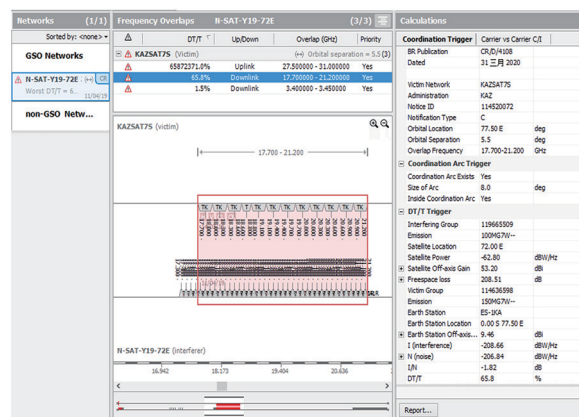


图9 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在17.7~21.2 GHz频段干扰仿真分析——协调弧和 $\Delta T/T$ 计算结果

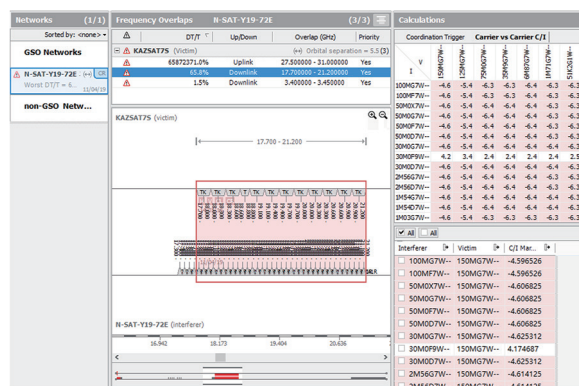


图10 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在17.7~21.2 GHz频段干扰仿真分析—— C/I 计算结果

①在该频段,存在8°间隔的协调弧概念,干扰卫星网络N-SAT-Y19-72E位于被干扰卫星网络KAZSAT7S的协调弧以内。

②在该频段, $\Delta T/T$ 的计算结果为65.8%,大于6%,即存在潜在干扰。

③该频段干扰情况较重,95%的载波组C/I余量为负值。在干扰最小的情况下,C/I余量为4.2 dB,满足保护标准;在干扰最大的情况下,C/I余量为-6.4 dB,不满足保护标准。

(3) 在3.4~3.45 GHz (下行) 频段的干扰仿真分析

N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在3.4~3.45 GHz频段干扰仿真分析结果如图11~图12所示。

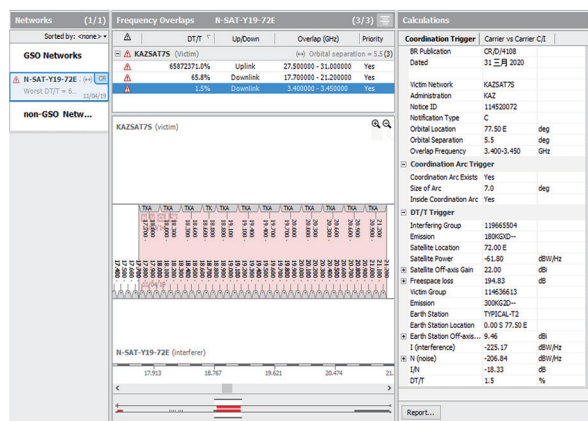


图11 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在3.4~3.45 GHz频段干扰仿真分析——协调弧和 $\Delta T/T$ 计算结果

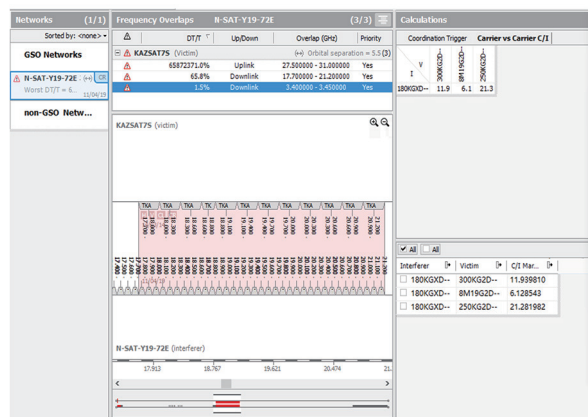


图12 N-SAT-Y19-72E和KAZSAT7S卫星网络在3.4~3.45 GHz频段干扰仿真分析——C/I计算结果

①在该频段,存在7°间隔的协调弧概念,干扰卫星网络N-SAT-Y19-72E位于被干扰卫星网络KAZSAT7S的协调弧以内。

②在该频段, $\Delta T/T$ 的计算结果为1.5%,小于6%,即不存在潜在干扰。

③在该频段,所有载波组C/I余量均为正值,满足保护标准。

通过上述仿真分析结果可以看出,即使两个卫星网络轨位间隔位于协调弧以内,也不能确认干扰一定存在,还要具体情况具体分析。就上述两个卫星网络来看,在27.5~31 GHz (上行)和17.7~21.2 GHz (下行)频段干扰情况较重, $\Delta T/T$ 超限,几乎所有载波组的C/I值都不满足保护标准;而在3.4~3.45 GHz (下行)频段不存在潜在干扰, $\Delta T/T$ 和C/I均满足保护标准。因此,GSO卫星网络在开展国际协调时,不应仅在卫星网络层面进行讨论,还应分频段、分传输方向进行深入分析。根据以往的经验,在有些情况下,一些国家或卫星操作单位会建议基于比协调弧小的轨位间隔无限制条件完成协调,最终双方达成了协议。

9 结束语

GSO卫星网络间的干扰协调工作是一项长期而重要的工作,只有熟练掌握国际规则、干扰分析计算方法才能在干扰协调中获得主动权,取得频率资源合法使用地位,保障卫星工程的顺利实施。

参考文献：

- [1] 赵竹新, 张宇喆, 李志欣. 东经115°~125°静止轨道轨位频率资源分析[J]. 无线电工程, 2020, 50(11): 985-988.
- [2] ZHAO Z X, ZHANG Y Z, LI Z X. Analysis of GEO orbits and bands situation between 115° E and 125° E[J]. Radio Engineering, 2020, 50(11): 985-988.
- [3] International Telecommunication Union. BR IFIC 2936[Z].
- [4] UCS Satellite Database[Z].
- [5] International Telecommunication Union. Radio regulations[R]. 2020.
- [6] 张海燕, 潘冀. 协调弧的概念及其应用[J]. 中国无线电, 2015(9): 43-46.
- [7] ZHANG H Y, PAN J. The concept and application of coordination arc[J]. China Radio, 2015(9): 43-46.
- [8] International Telecommunication Union. Procedure for determining if coordination is required between geostationary-satellite networks sharing the same frequency bands: ITU-R S.738[S]. 1992.

(下转68页)