

ITU-R S.1714 建议书

用于计算 $epfd_{\downarrow}$ 以便于按照《无线电规则》第 9.7A 和 9.7B 款
来协调非常大的天线的静态方法

(2005)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 为保护在 10.7-30 GHz 频率范围的有些部分中的 GSO FSS 和 GSO 卫星广播业务网络，WRC-2000 在《无线电规则》(RR) 的第 22 条中采纳了需要由非 GSO FSS 系统符合的等效功率通量密度 ($epfd$) 限制；
- b) WRC-2000 同意，超过由考虑到 a) 中的 $epfd$ 限制所提供的额外保护对于某些具有特定的接收地球站的 GSO FSS 网络来说是所要求的，这些地球站具有所有下列特性：
 - i) 对于频带 10.7-12.75 GHz，地球站天线最大各向同性增益是大于或等于 64 dBi，或者对于频带 17.8-18.6 GHz 和 19.7-20.2 GHz，地球站天线最大各向同性增益是大于或等于 68 dBi；
 - ii) 具有 44 dB/K 或更高的 G/T ；
 - iii) 对低于 12.75 GHz 的频带具有 250 MHz 或更大的辐射带宽或者对高于 17.8 GHz 的频带具有 800 MHz 或更大的辐射带宽；
- c) 为提供此额外的保护，WRC-2000 采纳了 RR 第 9.7A 和 9.7B 款，建立一个规程来实现在某些频带中 FSS 的一个对地静止网络中特定地球站和使用非 GSO 中卫星的 FSS 中的系统之间的协调；
- d) 按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款来触发协调的技术条件定义在 RR 附录 5 中，并且包括了考虑到 b) 中的门限，以及当天线指向需要的 GSO 卫星时，由非 GSO FSS 卫星系统对采用非常大天线的地球站所辐射的下列 $epfd_{\downarrow}$ ：
 - i) 在频带 10.7-12.75 GHz 中：
 - a) 对于任何时间百分比，对于所有卫星只工作在等于或低于 2 500 km 高度的非 GSO 卫星系统： $-174.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ ；或者
 - b) 对于任何时间百分比，对于只要有卫星工作在高于 2 500 km 高度的非 GSO 卫星系统： $-202 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ ；
 - ii) 在频带 17.8-18.6 GHz 或 19.7-20.2 GHz 中：
 - a) 对于任何时间百分比，对于所有卫星只工作在等于或低于 2 500 km 高度的非 GSO 卫星系统： $-157 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ；或
 - b) 对于任何时间百分比，对于只要有卫星工作在高于 2 500 km 高度的非 GSO 卫星系统： $-185 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ；
- e) 计算由一个非 GSO 卫星系统产生的、作为时间函数的 $epfd_{\downarrow}$ 要求使用一个适当的模拟软件工具；

- f) ITU-R S.1503 建议书对计算作为时间的函数的 $epfd_{\downarrow}$ 的软件模拟工具提供了一个规范，然而，它并没有考虑到 GSO 卫星的倾斜；
- g) 由于非常大的 GSO 地球站天线的高增益及 $epfd_{\downarrow}$ 等式的性质的影响，处在非常大 GSO 地球站天线旁瓣中的非 GSO 卫星并不对 $epfd_{\downarrow}$ 值有明显的贡献；
- h) WRC-03 采纳了第 85 号决议（WRC-03），在直到合适的软件可用之前的临时的基础上，它允许按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款只使用 GSO FSS 网络的特性来实现协调；
- j) 对于按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款进行的协调只有有限的指导，

建议

- 1 当天线是指向需要的 GSO 卫星时，本建议书附件 1 中的方法能够被按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款来实现协调的电信主管部门用来在一个特定的 GSO 地球站天线处计算来自一个非 GSO 系统的最坏情况的静态 $epfd_{\downarrow}$ 值。
- 2 从建议 1 得到的结果应该与 GSO 网络的 $epfd_{\downarrow}$ 保护准则和考虑到 d) 中引用的准则做比较以确定对于非 GSO 系统是否存在不满足此保护准则的可能性；
- 3 如果非 GSO 系统满足 GSO $epfd_{\downarrow}$ 保护准则和考虑到 d) 中引用的准则，则协调应该被认为是完成了；
- 4 如果非 GSO 系统不满足 GSO $epfd_{\downarrow}$ 保护准则或考虑到 d) 中引用的准则，则要求有更详细的分析。

附 件 1

1 方法的描述

第 CR/176 号通函中，依照第 59 号决议（WRC-2000）的做出决议 2，无线电通信局要求，对非 GSO 卫星系统负有责任的电信主管部门在某些频带中按照 $epfd$ 限制在从 2002 年 3 月 26 日起的 6 个月内向国际电联递交补充信息。此补充信息包含了有关卫星网络操作和计算由非 GSO 系统产生的 $epfd$ 电平所需要的 pdf 掩模的详情。本建议书中提出的方法利用了这个补充信息，并且不需要有任何其他额外的、涉及非 GSO 卫星系统的信息。

为了符合 $epfd_{\downarrow}$ 限制，非 GSO 卫星系统需要采用某种类别的缓解技术。最通常的技术之一是 GSO 弧段回避。通过用三种不同的方法来建立一个排他区的方式来采用 GSO 弧段回避：

- 排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧段的区域，当在排他区内时，非 GSO 卫星能够向位于距 GSO 地球站至少一个预先定义的距离的非 GSO 地球站发射；

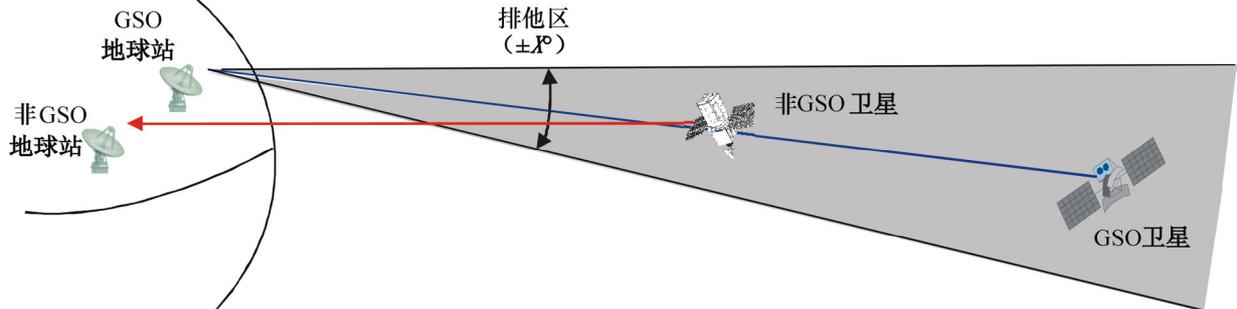
- 一 排除区的定义如图 1，然而，当在排除区内时，非 GSO 卫星不能发射；
- 一 排除区是由纬度来定义的，当其星下点纬度是在一个特定的 $\pm X$ 纬度范围之间时，非 GSO 卫星不能发射。

这三种 GSO 弧段回避技术中的每一种的示意图在图 1 至 3 中给出。

图 1

情形 1 排除区

情形 1: 排除区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X$ 的 GSO 弧段的区域，并且当非 GSO 卫星在排除区内时，非 GSO 卫星能够向位于距 GSO 地球站至少一个预先定义的距离的非 GSO 地球站发射。

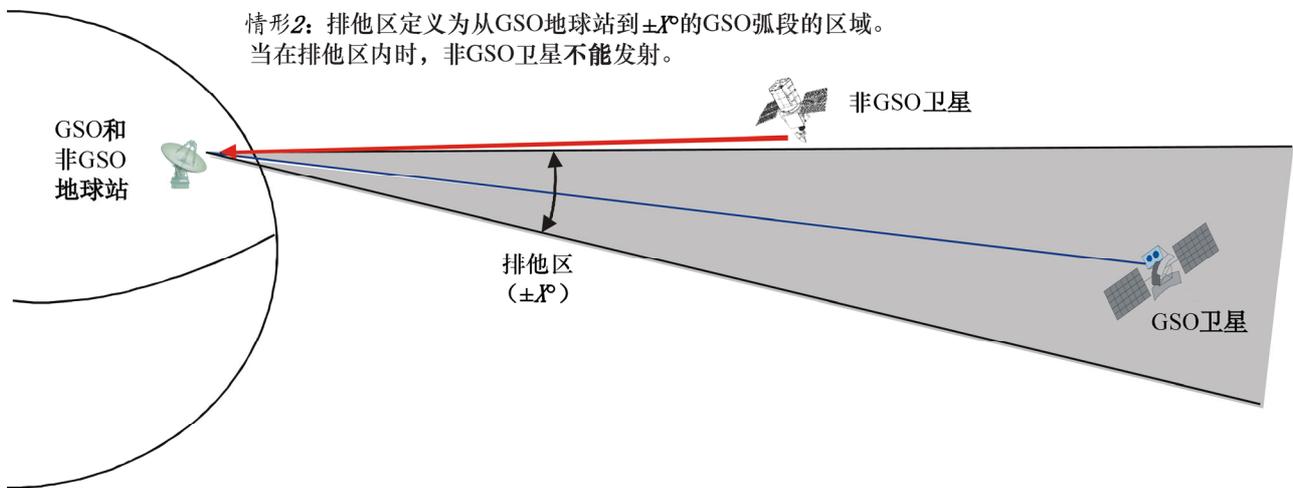


1714-01

图 2

情形 2 排除区

情形 2: 排除区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X$ 的 GSO 弧段的区域。当在排除区内时，非 GSO 卫星不能发射。

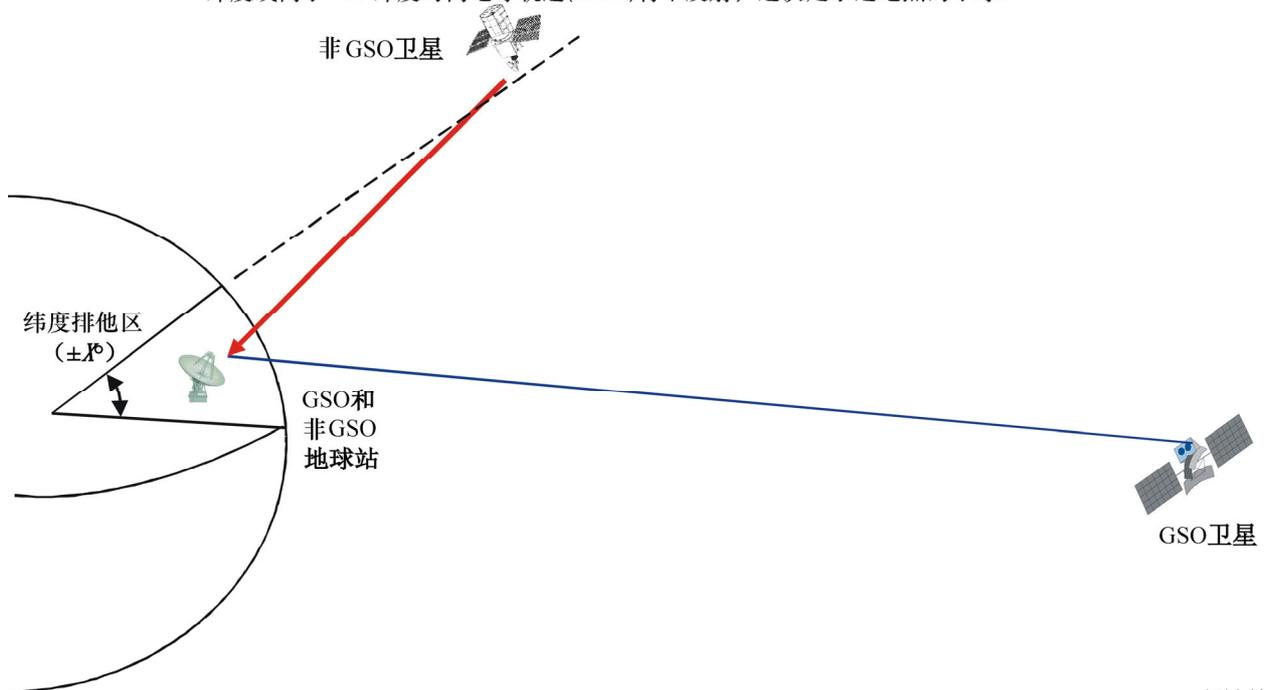


1714-02

图 3

情形 3 排斥区

情形 3: 当星下点纬度是在一个特定的纬度范围之间时, 非GSO卫星不能发射。例如, 星下点纬度在 $+X^\circ$ 和 $-X^\circ$ 纬度之间时, 中地球轨道(MEO)不能发射。在低于 $+X^\circ$ 纬度或高于 $-X^\circ$ 纬度时高地球轨道(HEO)将不发射, 这决定于远地点的半球。



1714-03

情形 1 和 2 描述了最可能被低地球轨道 (LEO) 星座所使用的 GSO 弧段回避的形式; 而情形 3 将最可能被 HEO 类型的星座所使用, 而所有三类弧段回避都能被 MEO 星座所使用。因为对于 HEO 不大可能使用情形 1 和 2 中描述的弧段回避, 这些方法中的计算限于圆轨道。只要当 HEO 卫星穿越接通/切断纬度时知道到 HEO 卫星的半径, 情形 3 的方法能被用于 HEO 星座。用于确定触发非 GSO FSS 系统与 GSO FSS 网络中特定地球站之间协调的技术条件的 RR 附录 5 中的 $epfd_{\downarrow}$ 门限是根据高度来定义的, 其中一个触发值用于所有卫星都工作在等于或低于 2500 km 高度的非 GSO 系统, 另一个触发值用于只要有卫星工作在高于 2500 km 高度的非 GSO FSS 系统。表 1 给出了非 GSO 轨道类型、RR 附录 5 协调触发及考虑用做缓解技术的情形之间的关系。

表 1

轨道类型、RR 附录 5 触发值及缓解技术之间的关系

轨道类型	附录 5 协调触发值 (km)	缓解技术
LEO	$\leq 2\,500$	情形 1 和 2
MEO	$> 2\,500$	情形 1、2 和 3
HEO	$> 2\,500$	情形 3

2 情形 1

情形 1 描述了当一个排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧段的场景。当非 GSO 是在此排他区内时，它能发射，但不是向 GSO 地球站的方向上。非 GSO 能够发射的、到 GSO 地球站的距离由非 GSO 的操作确定。对于此情形的最坏情况几何关系在图 1 中描述，其中非 GSO 是直接处在 GSO 卫星和 GSO 地球站之间的连线上，但非 GSO 是发向远离 GSO 地球站的一个地球站。此几何关系产生了一个非 GSO 旁瓣干扰 GSO 主波束的场景。此缓解技术典型地将与 LEO 星座一起使用，但也会适用于 MEO 星座。计算 $epfd_{\downarrow}$ 值的算法需要下列步骤：

步骤 1: 输入：地球半径，非 GSO 半径，非 GSO 倾角，GSO 半径，GSO 卫星经度，GSO 卫星倾角，GSO 地球站纬度，GSO 地球站经度。

步骤 2: 计算从 GSO 地球站到 GSO 卫星的方位角和仰角。

步骤 3: 对于与 GSO 卫星相同的方位角和仰角，计算非 GSO 的星下点纬度和经度。

步骤 4: 如果非 GSO pfd 掩模是以 α 对 δ 经度的形式来表示（关于 α 和 δ 经度的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。

- a) 对于 $\alpha = 0$ 或 $X = 0$ 及 GSO 和非 GSO 卫星之间的经度差，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
- b) 由于这是一个同轴事件，epfd 计算的 $G(\theta)/G(\max)$ 部分是等于 1 或 0 dB。
- c) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
- d) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 epfd。

步骤 5: 如果非 GSO pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示（关于方位角和仰角的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。

- a) 计算 GSO 卫星、地球站和非 GSO 卫星的地心固定 (ECF) 坐标。
- b) 把非 GSO 卫星与 GSO 地球站之间的矢量从 ECF 坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
- c) 计算从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角。
- d) 对于从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
- e) 由于这是一个同轴事件，epfd 计算的 $G(\theta)/G(\max)$ 部分是等于 1（数字表示）或 0 dB。
- f) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
- g) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 epfd。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 1 计算过程页的一个描述示于表 2 中。对于非 GSO 卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。

表 2

情形 1 Excel 电子数据表计算过程

情形 1: 排他区定义为从 GSO 地球站到 X° 的 GSO 弧段的区域		
非 GSO 卫星在排他区内能够发射, 但不能指向 GSO 地球站		
最坏情况: 非 GSO 卫星是与 GSO 卫星同轴的, 并且 $\text{Alpha} = 0$ 或 $X = 0$		
注: 此算法只适用于圆轨道的非 GSO 卫星		
输入		
地球半径 (km)	Re	6 378.15
非 GSO 半径 (km)	Rn	7 878
非 GSO 卫星倾角 (度)	i	55
GSO 半径 (km)	Rg	42 164
GSO 卫星经度 (度)	GSO Long.	-30
GSO 卫星倾角 (度)	ig	5
地球站纬度 (度)	ϕ	38
地球站经度 (度)	earth Long.	-77
计算过程		
GSO 卫星纬度 (度)	δg	5
地球站与 GSO 卫星经度之间的差 (度)	$\Delta \lambda g$	47
计算从地球站到 GSO 卫星的伽马 (gamma) 角 (度)	γg	53.91141
计算从地球站到 GSO 卫星的斜线距离 (km)	dg	$3\ 8751.35$
计算从地球站到 GSO 卫星的仰角 (度)	el	28.44516
计算从地球站到 GSO 卫星的方位角 (度)	az	115.6339
计算从地球站到非 GSO 卫星的伽马角 (度)	γn	16.16731
计算此方位角和仰角上非 GSO 卫星的星下点纬度 (度)	δ	29.76146
计算非 GSO 卫星和地球站之间的经度差 (度)	$\Delta \lambda n$	16.80892
计算此方位角和仰角上非 GSO 卫星的星下点经度 (度)	nGSO Long.	-60.1911

表 2 (续)

如果卫星 pfd 掩模是以 alpha 对 delta 经度的形式来表示				
计算 GSO 和非 GSO 卫星之间的 Δ 经度 (度)	delta	30.19108	GSO Long - nGSO Long	
对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度, 从掩模中选择 pfd, 因为 GSO 卫星 VLA 的频率是非常大的, 可能会有几套具有重叠频率的掩模, 所有这些都应当被加进来, 因为这是一个同轴事件, epfd 计算的 Gr(theta)/Gr(max)部分是等于 1 (数字表示) 或 0 dB。				
频率 1: 用 Alpha = 0 或 X = 0 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd1	-140	例子	
频率 2: 用 Alpha = 0 或 X = 0 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd2	-131	例子	
	...			
频率 n: 用 Alpha = 0 或 X = 0 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd (如果不适用, 输入 NA)	pfdn	-140	例子	
计算最坏情况的 epfd (dB(W/(m ² · MHz)))	epfd	-130.025	$10 \log(10^{(pfd1/10)} + 10^{(pfd2/10)} + \dots + 10^{(pfdn/10)})$	
如果卫星 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示				
计算 ECF 中地球站的 x, y, z 分量				
地球站 x 值 (km)	Xe	1 130.615	$Re * \cos(\varphi) * \cos(\text{earth Long.})$	
地球站 y 值 (km)	Ye	-4 897.23	$Re * \cos(\varphi) * \sin(\text{earth Long.})$	
地球站 z 值 (km)	Ze	3 926.781	$Re * \sin(\varphi)$	
计算 ECF 中非 GSO 卫星的 x, y, z 分量				
非 GSO x 值 (km)	Xn	3 399.674	$Rn * \cos(\delta) * \cos(\text{nGSO Long.})$	
非 GSO y 值 (km)	Yn	-5 934.02	$Rn * \cos(\delta) * \sin(\text{nGSO Long.})$	
非 GSO z 值 (km)	Zn	3 910.561	$Rn * \sin(\delta)$	
计算非 GSO 卫星和地球站之间的矢量				
矢量 X (km)	X	-2 269.06	$Xe - Xn$	
矢量 Y (km)	Y	1 036.788	$Ye - Yn$	
矢量 Z (km)	Z	16.21997	$Ze - Zn$	
计算升交点的经度				
卫星经度和升交点之间的差 (度)	del	23.6024	$\text{asin}(\tan(\delta) / \tan(i))$	
升交点的经度 (度)	an	-83.7935	nGSO Long. - del	

表 2 (完)

计算近地点辐角加上真近点角					
近地点辐角加上真近点角 (度)	arg	37.29943			$\text{asin}(\sin(\delta) / \sin(i))$
计算用于从地球站 XYZ ECF 坐标变换到 xyz sat (卫星中心) 坐标的变换矩阵的一些值					
升交点经度的余弦	cos_an	0.108113			cos(an)
升交点经度的正弦	sin_an	-0.99414			sin(an)
非 GSO 卫星倾角的余弦	cos_inc	0.573576			cos(i)
非 GSO 卫星倾角的正弦	sin_inc	0.819152			sin(i)
近地点辐角加上真近点角的余弦	cos_arg	0.79548			cos(arg)
近地点辐角加上真近点角的正弦	sin_arg	0.60598			sin(arg)
从卫星观察到的地球站 x 值 (km)	x sat	-194.273			$X[-\cos(\text{an}) * \sin(\text{arg}) - \sin(\text{an}) * \cos(i) * \cos(\text{arg})] +$ $Y[\cos(\text{an}) * \cos(i) * \cos(\text{arg}) - \sin(\text{an}) * \sin(\text{arg})] +$ $Z[\sin(i) * \cos(\text{arg})]$
从卫星观察到的地球站 y 值 (km)	y sat	1 752.088			$X[-\cos(\text{an}) * \cos(\text{arg}) + \sin(\text{an}) * \cos(i) * \sin(\text{arg})] -$ $Y[\sin(\text{an}) * \cos(\text{arg}) + \cos(\text{an}) * \cos(i) * \sin(\text{arg})] -$ $Z[\sin(i) * \sin(\text{arg})]$
从卫星观察到的地球站 z 值 (km)	z sat	1 765.294			$X[\sin(\text{an}) * \sin(i)] + Y[-\cos(\text{an}) * \sin(i)] + Z[\cos(i)]$
从卫星观察点到地球站的方位角 (度)	az	-6.32715			$\text{atan}(x \text{ sat}/y \text{ sat})$
从卫星观察点到地球站的仰角 (度)	el	45.04008			$\text{atan}(z \text{ sat}/(\text{sqrt}(x \text{ sat}^2 + y \text{ sat}^2)))$
对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度, 从掩模中选择 pfd, 因为 GSO 卫星 VLA 的频宽是非常大的, 可能会有几套具有重叠频率的掩模, 所有这些都应当被加进来, 由于这是一个同轴事件, epfd 计算的 Gr(theta)/Gr(max)部分是等于 0。					
频率 1: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd1	-140			例子
频率 2: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd2	-131			例子
	...				
频率 n: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfdn	-140			例子
计算最坏情况的 epfd (dB(W/(m ² · MHz)))	epfd	-130.025			$10 \log(10^{-(\text{pfd1}/10) + 10^{-(\text{pfd2}/10) + \dots + 10^{-(\text{pfdn}/10)})}$

3 情形 2

情形 2 描述了当一个排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧段的场景。当非 GSO 是在此排他区内时，它不能向任何地球站发射。对于此情形的最坏情况几何关系在图 2 中描述，其中向同位置的 GSO 和非 GSO 地球站发射的非 GSO 是在排他区的边缘。此几何关系产生了一个非 GSO 主波束干扰 GSO 旁瓣的场景。此缓解技术典型地将与 LEO 星座一起使用，但也会适用于 MEO 星座。计算 epfd_\downarrow 值的算法需要下列步骤：

- 步骤 1: 输入：地球半径，非 GSO 半径，非 GSO 倾角，GSO 半径，GSO 卫星经度，GSO 卫星倾角，GSO 地球站纬度，GSO 地球站经度。
- 步骤 2: 计算从 GSO 地球站到 GSO 卫星的方位角和仰角。
- 步骤 3: 由于非 GSO 卫星排他区是基于 0° 倾角的 GSO 弧段，计算从一个 GSO 地球站到位于 0° 倾角及受害 GSO 卫星的经度上的一颗 GSO 卫星的方位角和仰角。
- 步骤 4: 为了找到在排他区边缘上的非 GSO 卫星的位置，在与 0° 倾角的 GSO 卫星相同的方位角以及 X° (排他区角) 加上到 0° 倾角的 GSO 卫星的仰角上，计算非 GSO 卫星的星下点纬度和经度。
- 步骤 5: 计算轴外接收角 (到非 GSO 卫星的仰角与倾斜 GSO 卫星之间在最大振幅处的增量) 及在 GSO 地球站处相应的增益。
- 步骤 6: 如果非 GSO pfd 掩模是以 α 对 δ 经度的形式来表示 (关于 α 和 δ 经度的定义参见 ITU-R S.1503 建议书)。
- 对于 $\text{Alpha} = \text{Alpha}_0$ 或 $X = X_0$ 及 GSO 和非 GSO 卫星之间的经度差，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
 - 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
 - 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 epfd 。
- 步骤 7: 如果非 GSO 卫星 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示 (关于方位角和仰角的定义参见 ITU-R S.1503 建议书)。
- 计算 GSO 卫星、地球站和非 GSO 卫星的 ECF 坐标。
 - 把非 GSO 卫星与 GSO 地球站之间的矢量从 ECF 坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
 - 计算从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角。
 - 对于从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
 - 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
 - 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 epfd 。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 2 计算过程页的一个描述示于表 3 中。对于非 GSO 卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。

表 3
情形 2 Excel 电子数据表计算过程

情形 2: 排他区定义为从 GSO 地球站到$\pm X^\circ$的 GSO 弧段的区域		
非 GSO 卫星不能在排他区内发射		
最坏情况: 直接向 GSO 地球站发射的非 GSO 卫星是在排他区的边缘		
Alpha = a_0 或 $X = X_0$		
注: 此算法只适用于圆轨道的非 GSO 卫星		
输入		
地球半径 (km)	Re	6 378.15
非 GSO 半径 (km)	Rn	7 878
非 GSO 卫星倾角 (度)	i	55
非 GSO 排他区角 (度)	β	10
GSO 半径 (km)	Rg	42 164
GSO 卫星经度 (度)	GSO Long.	-30
GSO 卫星倾角 (度)	ig	5
地球站纬度 (度)	ϕ	38
地球站经度 (度)	earth Long.	-77
地球站天线最大增益 (dB)	G(max)	70
计算过程		
GSO 卫星纬度 (度)	δg	5
地球站与 GSO 卫星经度之间的差 (度)	$\Delta \lambda g$	47
计算从地球站到 GSO 卫星的伽马角 (度)	γg	53.91141 $\text{acos}[\sin(\phi) * \sin(\delta g) + \cos(\phi) * \cos(\delta g) * \cos(\Delta \lambda g)]$
计算从地球站到 GSO 卫星的斜线距离 (km)	dg	$38\,751.35$ $\text{sqrt}(\text{Re}^2 + \text{Rg}^2 - 2 * \text{Re} * \text{Rg} * \cos(\gamma g))$
计算从地球站到 GSO 卫星的仰角 (度)	el	28.44516 $\text{acos}[(\text{Rg}/\text{dg}) * \sin(\gamma g)]$
计算从地球站到 GSO 卫星的方位角 (度)	az	115.6339 $\text{if } (\Delta \lambda g > 0 \text{ and } \phi < 0) \text{ or } (\Delta \lambda g < 0 \text{ and } \phi < 0)$ $\text{then } \text{asin}[\cos(\delta g) * \sin(\Delta \lambda g) / \sin(\gamma g)]$ $\text{else } 180 - \text{asin}[\cos(\delta g) * \sin(\Delta \lambda g) / \sin(\gamma g)]$
计算从地球站到 0° 倾角的 GSO 卫星的伽马角 (度)	$\gamma 0$	57.49168 $\text{acos}[\cos(\phi) * \cos(\Delta \lambda g)]$
计算从地球站到 0° 倾角的 GSO 卫星的斜线距离 (km)	d0	39107.9 $\text{sqrt}(\text{Re}^2 + \text{Rg}^2 - 2 * \text{Re} * \text{Rg} * \cos(\gamma 0))$

表 3 (续)

计算从地球站到 0° 倾角的 GSO 卫星的仰角 (度)	eI0	24.60297	$\text{acos}[(Rg/d0)*\sin(\gamma0)]$
计算排他区边缘上到非 GSO 卫星的仰角 (度)	ngso_el	34.60297	$eI0 + \beta$
计算 GSO 地球站处的偏离视轴角	θ	6.157819	ngso_el - eI
计算地球站在偏离视轴 θ° 时的增益 (dB)	G(θ)	9.264328	ITU-R S.1428 建议书
计算从地球站到非 GSO 卫星的伽马角 (度)	γn	13.60588	$\text{acos}((Re/Rn)*\cos(\text{ngso_el})) - \text{ngso_el}$
计算在此方位角和新仰角处非 GSO 卫星的星下点纬度 (度)	δ	31.21079	若 $\varphi > 0$ 则 $90 - \text{acos}[\cos(90-\varphi) * \cos(\gamma n) + \sin(90-\varphi) * \sin(\gamma n) * \cos(\text{az})]$ 否则 $90 - \text{acos}[\cos(90+\varphi) * \cos(\gamma n) + \sin(90-\varphi) * \sin(\gamma n) * \cos(\text{az}+180)]$
计算非 GSO 与地球站之间的经度差 (度)	$\Delta\lambda n$	14.35798	若 $\Delta\lambda g > 0$ 则 $\text{acos}[(\cos(\gamma n) - \sin(\varphi) * \sin(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$ 否则 $-1 * \text{acos}[(\cos(\gamma n) - \sin(\varphi) * \sin(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$
计算在此方位角和仰角处非 GSO 卫星的星下点经度 (度)	nGSO Long.	-62.64202	earth Long. + $\Delta\lambda n$
如果卫星 pfd 掩模是以 alpha 对 delta 经度的形式来表示			
计算 GSO 和非 GSO 卫星之间的 Δ 经度 (度)	delta	32.64202	GSO Long. - nGSO Long.
对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度, 从掩模中选择 pfd, 因为 GSO 卫星 VLA 的频宽是非常大的, 可能会有几套具有重叠频率的掩模, 所有这些都应当被加进来。			
频率 1: 用 Alpha = a_0 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd1	-140	例子
频率 2: 用 Alpha = a_0 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd (如果不适用, 输入 NA)	pfd2	-131	例子
...			
频率 n: 用 Alpha = a_0 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd (如果不适用, 输入 NA)	pfdn	-140	例子
计算最坏情况的 epfd (dB/(m ² · MHz))	epfd	-190.7604	$10 \log(10^{-(\text{pfd1} + G(X) - G(\text{Max}))/10} + 10^{-(\text{pfd2} + G(X) - G(\text{Max}))/10} + \dots + 10^{-(\text{pfdn} + G(X) - G(\text{Max}))/10})$
如果卫星 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示			
计算 ECF 中地球站的 x, y, z 分量			
地球站 x 值 (km)	Xe	1 130.615	$Re * \cos(\varphi) * \cos(\text{earth Long.})$
地球站 y 值 (km)	Ye	-4 897.233	$Re * \cos(\varphi) * \sin(\text{earth Long.})$
地球站 z 值 (km)	Ze	3 926.781	$Re * \sin(\varphi)$

表 3 (续)

计算 ECF 中非 GSO 卫星的 x, y, z 分量			
非 GSO 卫星 x 值 (km)	Xn	3 096.342	$Rn * \cos(\delta) * \cos(nGSO \text{ Long.})$
非 GSO 卫星 y 值 (km)	Yn	-5 984.187	$Rn * \cos(\delta) * \sin(nGSO \text{ Long.})$
非 GSO 卫星 z 值 (km)	Zn	4 082.286	$Rn * \sin(\delta)$
计算非 GSO 卫星和地球站之间的矢量			
矢量 X (km)	X	-1 965.727	$Xe - Xn$
矢量 Y (km)	Y	1 086.953	$Ye - Yn$
矢量 Z (km)	Z	-155.5047	$Ze - Zn$
计算升交点的经度			
卫星经度和升交点之间的差 (度)	Del	25.10263	$\text{asin}(\tan(\delta) / \tan(i))$
升交点的经度 (度)	An	-87.74465	$nGSO \text{ Long.} - \text{del}$
计算近地点幅角加上真近点角			
近地点幅角加上真近点角 (度)	argptrue	39.24153	$\text{asin}(\sin(\delta) / \sin(l))$
计算用于从地球站 XYZ ECF 坐标变换到 xyz sat (卫星中心) 坐标的变换矩阵的一些值			
升交点经度的余弦	cos_an	0.039353	$\cos(\text{an})$
升交点经度的正弦	sin_an	-0.999225	$\sin(\text{an})$
非 GSO 卫星倾角的余弦	cos_inc	0.573576	$\cos(i)$
非 GSO 卫星倾角的正弦	sin_inc	0.819152	$\sin(i)$
近地点幅角加上真近点角的余弦	cos_arg	0.774486	$\cos(\text{arg})$
近地点幅角加上真近点角的正弦	sin_arg	0.632591	$\sin(\text{arg})$
从卫星观察到的地球站 x 值 (km)	x sat	-216.2066	$X[-\cos(\text{an}) * \sin(\text{arg}) - \sin(\text{an}) * \cos(i) * \cos(\text{arg})] +$ $Y[\cos(\text{an}) * \cos(i) * \cos(\text{arg}) - \sin(\text{an}) * \sin(\text{arg})] + Z[\sin(i) * \cos(\text{arg})]$
从卫星观察到的地球站 y 值 (km)	y sat	1 678.841	$X[-\cos(\text{an}) * \cos(\text{arg}) + \sin(\text{an}) * \cos(i) * \sin(\text{arg})] -$ $Y[\sin(\text{an}) * \cos(\text{arg}) - \cos(\text{an}) * \cos(i) * \sin(\text{arg})] - Z[\sin(i) * \sin(\text{arg})]$
从卫星观察到的地球站 z 值 (km)	z sat	1 484.749	$X[\sin(\text{an}) * \sin(i)] + Y[-\cos(\text{an}) * \sin(i)] + Z[\cos(i)]$
从卫星观察点到地球站的方位角 (度)	az	-7.338344	$\text{atan}(x \text{ sat}/y \text{ sat})$
从卫星观察点到地球站的仰角 (度)	el	41.25547	$\text{A}(\text{atan}(z \text{ sat}/(\text{sqrt}(x \text{ sat}^2 + y \text{ sat}^2))))$

表 3 (续)

对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度，从掩模中选择 pfd，因为 GSO 卫星 VLA 的频宽是非常大的，可能会有几套具有重叠频率的掩模，所有这些都应当被加进来。			
频率 1：用地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd1	-140	例子
频率 2：用地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd2	-131	例子
	...		
频率 n：用地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd	pfdn	-140	例子
计算最坏情况的 epfd (dB(W/(m ² · MHz)))	epfd	-191.2207	$10 \log(10^{10}(\text{pfd1} + \text{G}(\text{X}) - \text{G}(\text{Max}))/10) + 10^{10}(\text{pfd2} + \text{G}(\text{X})\text{G}(\text{Max}))/10 + \dots + 10^{10}(\text{pfdn} + \text{G}(\text{X})\text{G}(\text{Max}))/10)$

4 情形 3

情形 3 描述了当一个排他区是定义在非 GSO 星下点纬度点的 $\pm X^\circ$ 纬度内的场景。当非 GSO 卫星是在此排他区内时，它不能向任何地球站发射。对于此情形的最坏情况几何关系在图 3 中描述，其中向同位置的 GSO 和非 GSO 地球站发射的非 GSO 卫星是在排他区的边缘上。此几何关系产生了一个非 GSO 卫星主波束干扰 GSO 卫星旁瓣的场景。此缓解技术典型地将与 MEO 星座一起使用，但也会适用于 HEO 星座。计算 $epfd_{\downarrow}$ 值的算法需要下列步骤：

- 步骤 1: 输入：地球半径，非 GSO 半径，非 GSO 卫星倾角，非 GSO 卫星切断纬度，GSO 卫星经度，GSO 卫星倾角，GSO 半径，GSO 地球站纬度，GSO 地球站经度，GSO 地球站最大天线增益。
- 步骤 2: 计算从 GSO 地球站到非 GSO 卫星的最小偏轴角（此函数是在一个宏中执行的，它把非 GSO 卫星在经线上沿切断纬度移动并计算偏轴角，然后记录最小值）。
- 步骤 3: 计算非 GSO 在最小偏轴角处的星下点纬度和经度。
- 步骤 4: 计算 GSO 地球站处的偏轴接收角和增益。
- 步骤 5: 如果非 GSO pfd 掩模是以 α 对 δ 经度的形式来表示（关于 α 和 δ 经度的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。
- a) 对于 $\text{Alpha} = \text{Alpha}_0$ 或 $X = X_0$ 及 GSO 卫星和非 GSO 卫星之间的经度差，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
 - b) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
 - c) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 $epfd$ 。
- 步骤 6: 如果非 GSO pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示（关于方位角和仰角的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。
- a) 计算 GSO、地球站和非 GSO 的 ECF 坐标。
 - b) 把非 GSO 卫星与 GSO 地球站之间的矢量从 ECF 坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
 - c) 计算从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角。
 - d) 对于从非 GSO 卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角，从 pfd 掩模中选择最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
 - e) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
 - f) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算 $epfd$ 。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 3 计算过程页的一个描述示于表 4 中。对于非 GSO 卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。

表 4
情形 3 Excel 电子数据表计算过程

情形 3: 当高于或低于一个特定的纬度时, 非 GSO 卫星不能发射。在+或 -X 纬度之间时 MEO 不能发射。在低于 + X 纬度或高于 - X 纬度时 HEO 将不发射, 这决定于远地点的半球最坏情况: 非 GSO 卫星是处在直接向 GSO 地球站发射的规定纬度上			
Alpha = a_0 或 $X = X_0$			
注: 对于一颗 HEO 卫星, 对非 GSO 半径的输入值是指 HEO 在接通/切断纬度上的半径			
输入			
地球半径 (km)	Re	6 378.15	
GSO 半径 (km)	Rg	42 164	
非 GSO 卫星倾角 (度)	i	55	
非 GSO 半径 (km)	Rn	23 958	
非 GSO 卫星接通/切断纬度 (度)	β	-45	
是否切断纬度都是正或负? (1 = 是 或 2 = 否)		1	
GSO 卫星经度 (度)	GSO Long.	-30	
GSO 卫星倾角 (度)	GSO_inc	5	
地球站纬度 (度)	φ	38	
地球站经度 (度)	earth Long.	-77	
地球站天线最大增益 (dB)	G(max)	70	
计算过程			
计算最小偏轴角	β	44.09438	宏
最小偏轴角时的非 GSO 卫星经度	nGSO Long.	-32	宏
最小偏轴角时的非 GSO 卫星纬度	nGSO Lat.	45	宏
计算地球站在偏离视轴 θ° 时的增益 (dB)	G(β)	-15.33	ITU-R S.1428 建议书
如果卫星 pfd 掩模是以 alpha 对 delta 经度的形式来表示			
计算 GSO 和非 GSO 卫星之间的 Δ 经度 (度)	delta	2	

表 4 (续)

对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度，从掩模中选择 pfd，因为 GSO 卫星 VLA 的频宽是非常大的，可能会有几套具有重叠频率的掩模，所有这些都应当被加进来。			
频率 1: 用 $\text{Alpha} = a_0$ 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd1	-140	例子
频率 2: 用 $\text{Alpha} = a_0$ 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfd2	-131	例子
...			
频率 n: 用 $\text{Alpha} = a_0$ 或 $X = X_0$ 及 Delta 找到非 GSO 卫星的 pfd	pfdn	-140	例子
计算最坏情况的 epfd	epfd	-215.3562	$10 \log(10^{10} \times (\text{pfd1} + \text{G}(\text{X}) - \text{G}(\text{Max}))/10) + 10^{10} \times (\text{pfd2} + \text{G}(\text{X}) - \text{G}(\text{Max}))/10) + \dots + 10^{10} \times (\text{pfdn} + \text{G}(\text{X}) - \text{G}(\text{Max}))/10)$
如果卫星 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示			
计算 ECF 中地球站的 x, y, z 分量			
地球站 x 值 (km)	Xe	1 130.62	$\text{Re} * \cos(\varphi) * \cos(\text{earth Long.})$
地球站 y 值 (km)	Ye	-4 897.23	$\text{Re} * \cos(\varphi) * \sin(\text{earth Long.})$
地球站 z 值 (km)	Ze	3 926.78	$\text{Re} * \sin(\varphi)$
计算 ECF 中非 GSO 卫星的 x, y, z 分量			
非 GSO 卫星 x 值 (km)	Xn	14 366.67	$\text{Rn} * \cos(\delta) * \cos(\text{nGSO Long.})$
非 GSO 卫星 y 值 (km)	Yn	-8 977.29	$\text{Rn} * \cos(\delta) * \sin(\text{nGSO Long.})$
非 GSO 卫星 z 值 (km)	Zn	16 940.86	$\text{Rn} * \sin(\delta)$
计算非 GSO 卫星和地球站之间的矢量			
(km) 矢量 X (km)	X	-13 236.05	$\text{Xe} - \text{Xn}$
(km) 矢量 Y (km)	Y	4 080.057	$\text{Ye} - \text{Yn}$
矢量 Z (km)	Z	-13 014.08	$\text{Ze} - \text{Zn}$
计算升交点的经度			
卫星经度和升交点之间的差 (度)	del	44.44366	$\text{asin}(\tan(\delta) / \tan(i))$
升交点的经度 (度)	an	-76.44	$\text{nGSO Long.} - \text{del}$
计算近地点辐角加上真近点角			
近地点辐角加上真近点角 (度)	argprue	59.67984	$\text{asin}(\sin(\delta) / \sin(i))$

表 4 (续)

计算用于从地球站 XYZ ECF 坐标变换到 xyz sat (卫星中心) 坐标的变换矩阵的一些值		cos_an	0.234401	cos(an)
升交点经度的余弦		sin_an	-0.97214	sin(an)
升交点经度的正弦		cos_inc	0.573576	cos(i)
非 GSO 卫星倾角的余弦		sin_inc	0.819152	sin(i)
非 GSO 卫星倾角的正弦		cos_arg	0.504831	cos(arg)
近地点幅角加上真近点角的余弦		sin_arg	0.863218	sin(arg)
近地点幅角加上真近点角的正弦		x sat	-2 728.648	$X[-\cos(an)*\sin(arg)-\sin(an)*\cos(i)*\cos(arg)]+$ $Y[\cos(an)*\cos(i)*\cos(arg)-\sin(an)*\sin(arg)]+$ $Z[\sin(i)*\cos(arg)]$
从卫星观察到的地球站 x 值 (km)		y sat	18 668.32	$X[-\cos(an)*\cos(arg)+\sin(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-$ $Y[\sin(an)*\cos(arg)+\cos(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-$ $Z[\sin(i)*\sin(arg)]$
从卫星观察到的地球站 y 值 (km)		z sat	2 292.286	$X[\sin(an)*\sin(i)]+Y[-\cos(an)*\sin(i)]+Z[\cos(i)]$
从卫星观察到的地球站 z 值 (km)		az	-8.31573	atan(x sat/y sat)
从卫星观察点到地球站的方位角 (度)		EL	6.927433	atan(z sat/(sqrt(x sat^2+y sat^2)))
从卫星观察点到地球站的仰角 (度)		对于最靠近非 GSO 卫星星下点纬度的纬度, 从掩模中选择 pfd, 因为 GSO 卫星 VLA 的频宽是非常大的, 可能会有几套具有重叠频率的掩模, 所有这些都应当被加进来。		
频率 1: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd		pfd1	-140	例子
频率 2: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd		pfd2	-131	例子
		...		
频率 n: 用到地球站的方位角和仰角找到非 GSO 卫星的 pfd		pfdn	-140	例子
计算最坏情况的 epfd (dB(W/(m ² · MHz)))		epfd	-215.8165	$10 \log(10^{(pfd1+G(X)-G(Max))/10}+10^{(pfd2+G(X)-G(Max))/10}+\dots+10^{(pfdn+G(X)-G(Max))/10})$