

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R S.2029 建议书
(12/2012)

**评估对地静止卫星固定业务网按多频时分
多址（MF-TDMA）方案操作的地球站
给对地静止卫星固定网络造成的
时变干扰的统计方法**

S 系列
卫星固定业务

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2014年，日内瓦

© 国际电联 2014

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R S.2029 建议书

评估对地静止卫星固定业务网按MF-TDMA方案
操作的地球站给对地静止卫星固定网络
造成的时变干扰的统计方法

(ITU-R第208/4号课题)

(2012年)

范围

本建议书提供了评估对地静止卫星固定业务网按MF-TDMA方案操作的地球站，给对地静止卫星轨道上的卫星固定业务网造成的时变干扰的统计方法。本方法考虑了可能给其它对地静止卫星固定业务（GSO FSS）网络造成的潜在干扰。此外，可用该方法调整产生干扰的终端的功率电平，以使受干扰的卫星网络的性能不受影响。

国际电信联盟无线电通信全会，

考虑到

- a) FSS GSO卫星非常适用于提供包括互联网和数据业务在内的宽带通信应用；
- b) 卫星网络使用了各种网络拓扑和多址方案，其中包括多频时分多址（MF-TDMA）方案；
- c) 通过使用高效的调制和编码，更高的卫星等效全向辐射功率（e.i.r.p.）电平和其它技术，有些网络使用小孔径终端全网状（点对点）连接；
- d) 有必要保护FSS网络免受来自这些终端的一切潜在干扰；
- e) 制定评估一个GSO FSS网给另一GSO FSS网造成时变干扰的方法非常有用；
- f) 制定评估使用MF-TDMA方案的地球站给卫星网络带来的干扰电平的评估方法十分有益；
- g) 这些会给性能及轨道频谱/使用造成影响的网络技术特性具备时变特征，且随机流程是为其建模的最佳方式，

注意到

- a) ITU-R S.1323建议书提供了同频操作的GSO网络给GSO/FSS网络所造成网间干扰的最高容许电平；
- b) ITU-R S.1323建议书提供了同频操作的非GSO系统给GSO/FSS网络所造成网间干扰的最高容许电平以及判定此干扰的方法；
- c) 非时变干扰通常使用ITU-R S.738建议书中介绍的 $\Delta T/T$ 方法评估；

d) ITU-R S.1857建议书提供了, 偏轴e.i.r.p.密度电平的估算以及因车载地球站指向差错而给相邻卫星造成的时变干扰的评估方法,

建议

- 1 应将附件中提供的方法用于评估因使用MF-TDMA方案的多个地球站而产生的时变干扰;
- 2 应将提供的方法用于判定产生干扰的地球站的偏轴发射电平, 以满足受干扰卫星网络的性能指标;
- 3 应当使用提供的方法, 这样本建议书所述MF-TDMA网络将不会给同频操作的其它FSS网络造成超出相关主管部门所能接受水平的干扰;
- 4 应将以下各注视作本建议书的组成部分。

注1 – 附件中给出的方法为评估MF-TDMAM网可能给相邻同频GSO FSS网造成的干扰提供了一种统计手段。

注2 – 附件中给出的参数和示例介绍了一种在20/30 GHz频段运行的假想系统。但是, 在对部分参数进行适当调整后, 该方法亦可用于其它频段。

注3 – 本建议书的方法不适用于使用码分多址 (CDMA) 方案操作的网络。

注4 – 为验证方法所述数学模型是否真能表述MF-TDMA网络的时变特性, 获得运行网络的统计特性可能是有用的。

注5 – 或可通过协调使各方同意本建议书中所考虑的MF-TDMA GSO/FSS网的短期干扰分配。

注6 – GSO/FSS网络的时间容限和短期干扰标准或可作为今后研究的主题。

附件

评估对地静止卫星固定业务网按MF-TDMA方案 操作的地球站给对地静止卫星固定网络 造成的时变干扰的统计方法

1 引言

近年来, 对卫星双向互联网业务的需求大幅上升。这些业务, 特别是对住宅用户和小企业用户而言, 主要是使用小孔径卫星终端提供。一般来讲, 单一的卫星网络可能包含广域部署的大量小孔径终端。根据卫星足迹内的位置, 气象条件的变化和用户数据速率的不同, 这些终端可能使用一系列不同的孔径尺寸并需要不同的发射功率电平。为有效使用网络资源,

这些网络可能会使用时分多址或码分多址的方法。小孔径终端的一个特殊性质是天线波束宽度大，因此如果发射功率调整不当，可能会给相邻卫星造成上行链路干扰。此外，一些安装于飞行器/海上船只、火车或地面车辆及静止终端的小型天线可能会出现天线指向差错，造成必须加以缓解的潜在干扰。这些综合效应将使终端网给另一卫星网络的接收机造成时变干扰。

本附件介绍了一种统计方法，用于判定一个由多台终端组成、使用时分多址方案并存在天线指向错误的GSO网络给另一GSO网络造成的干扰。附件探讨了长期干扰标准和满足短期性能指标的标准，提供了一些示例，用以展示其给相邻卫星网络造成的影响，同时介绍了一种计算最终干扰的分步算法。介绍的方法或可用于判定产生干扰的终端生成的偏轴发射电平，从而满足受干扰卫星系统的长短期性能指标。

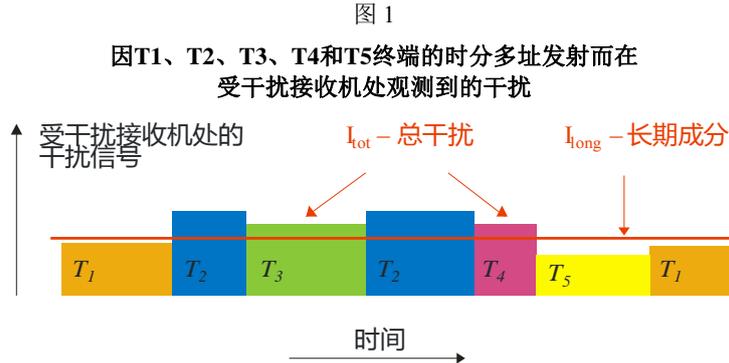
2 干扰的长期和短期成分

受干扰接收机的干扰信号包含属于产生干扰的单一网络的大量发射终端信号，这些终端使用时分多址协议。这些终端或使用不同型号的天线孔径，并根据卫星波束足迹内位置的不同以不同电平发射。此外，这些终端可能会存在轻微的天线指向错误。因此，当观测间隔大到足以容纳来自多个产生干扰的终端的发射时，受干扰接收机的干扰电平会随时间而变化。

在此情况下，为了展示的目的，受干扰接收机的干扰信号 I_{tot} ，可表示为长期干扰成分 I_{long} 与短期干扰成份 I_{short} 之和，因此 $I_{tot} = I_{long} + I_{short}$ 。长期干扰成分在短时间间隔内保持恒定，但如果长时间观测则会展现出轻微的变化（约几分钟）。这些变化属于统计性质，源自发射信号缓慢变化的特性。另一方面，短期干扰成分的产生是因为不同终端类型的发射，且在短时间间隔内就会变化，例如在几分之一秒内。请注意，短期和长期干扰成分仅用于展示的目的；干扰分析将针对总体干扰。

图1展示了因 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 和 T_5 终端发射而在受干扰接收机处产生的干扰电平。总体而言，如本图所示，干扰电平和发射时长取决于具体的终端。这里显示的长期成分表示干扰的平均电平，短期干扰成分为总干扰与相应长期干扰成分的差。

为了量化和限制干扰的影响，本附件给出了评估和限制长期干扰、短期干扰及总干扰的方法。具体而言，附件中列出了长期干扰和满足短期性能指标的标准，用于限制给受干扰接收机造成的影响。



3 长期干扰的标准

不随时间变化的干扰评估通常使用 $\Delta T/T$ 的方法，如ITU-R S.738建议书所述。为使用类似的方法，请考虑假设受干扰接收机处的干扰电平不随时间变化：即终端处的e.i.r.p.密度电平通过调整，能够利用长期干扰电平 I_{long} 给出受干扰接收机处的干扰电平。此外，这种情况下终端不会产生天线指向错误。这种情况下长期干扰的标准可表示为 $\Delta T/T$ 之比：

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{long} = \frac{\tilde{I}_{long} / k}{\Theta_v + \gamma_v \Theta_v^s} \quad (1)$$

式中 \tilde{I}_{long} 被定义为带宽为 W_{long} 的基础上计算出的总体平均干扰功率频谱密度， k 为波兹曼常数， Θ_v 是以天线输出端为参考点受干扰接收机的噪声温度， Θ_v^s 是天线输出端参考点受干扰卫星接收机的噪声温度， γ_v 是受干扰卫星输入天线给受干扰接收机天线输出端带来的发射增益。

很明显，当干扰的总体平均干扰功率为常数时，此假设中考虑的干扰功率噪声比不会随时间变化。

但实际操作中，通常能够得到长期干扰成分的时间平均值而不是总体平均值。在不同时间间隔中计算时，此时间平均值会展现出细微的变化。此时间平均值 \tilde{I}_{long} ，在长期时间间隔 T_{long} 下预测时会展现出明显变化，这是因为底层干扰属于一种统计程序。此外，终端统计特性在此间隔过程中可能改变，造成此平均值的轻微变化。按以下方式对变量的累计分布函数（CDF）加以限制，将能够限制这些变化：

$$\Pr\left\{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{long} > X\%\right\} < p_{long} \% \quad (2)$$

式中 X 、 p_{long} 和 T_{long} 为系统参数。

为展示的目的，ITU-R S.523-4建议书规定计算PCM编码电话系统干扰的平均间隔为10分钟。此外，ITU-R S.1432-1建议书的附件1规定了各月份高于信噪比（ I/N ）的最高电平：任何月份可有0.005%的时间， $(I/N) > 0$ dB；任何月份可有0.03%的时间， $(I/N) > -2.4$ dB；任何月份可有20%的时间， $(I/N) > -10$ dB；任何月份可有100%的时间， $(I/N) > -12$ dB。

4 满足短期性能指标的标准

上一节对长期干扰施加了限制。本节介绍了限制总干扰的标准，使其能够满足针对受干扰接收机短期性能的指标。总干扰在几毫秒内会发生变化。根据ITU-R S.1323-2建议书，受干扰的链路应包含充分的链路余量，以克服因传播和时变干扰共同造成的劣化。因传播影响造成的劣化不应超过短期性能指标所划分时间的90%。此外，本建议书声明，时变干扰“最多占目标网络短期性能指标BER（或C/N值）时间容差的10%，应与时间的最小百分比相对应（最低C/N值）。”本附件介绍了一个与上述标准类似的标准，用于指导短期干扰可接受的限值。

短期性能指标通常用误码率（BER）水平或载噪比（C/N）水平表示，这些数值在短期内可能不会下降。例如，针对给定的C/N比和时间百分比对， $((C/N)_j, p_j\%), j = 1, 2, \dots, J$ ，C/N比在任何一个月中可能都只有 $p_j\%$ 的时间小于 $(C/N)_j$ 。与ITU-R S.1323-2建议书中的考虑到o)类似，让我们考虑一下传播的影响，其每月造成的链路劣化最大为 $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%, j = 1, 2, \dots, J$ ，其中 p_{short} 表示划分给短期干扰的短期性能指标时间容差（例如， $p_{short} = 10$ ）。请注意，长期干扰按上一节的建议进行了限制，下式阐述了限制短期干扰并遵守短期性能指标的拟议标准：

- a) 在存在传播影响和长期干扰的情况下，任何一个月C/N比小于 $(C/N)_j$ 的时间不应多于 $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%, j = 1, 2, \dots, J$ （例如， $p_{short} = 10$ ）。
- b) 存在短期干扰的情况下，任何一个月C/N比小于 $(C/N)_j$ 的时间不应多于 $(p_{short}/100) \times p_j\%$ ，式中 j 与最小 $(C/N)_j$ 值相对应。
- c) 存在传播效应和总干扰的情况下，任何一个月C/N比小于 $(C/N)_j$ 的时间不应多于 $p_j\%, j = 1, 2, \dots, J$ 。

请注意，为遵守上述条件，受害链路应包含充分的链路余量来满足条件a)且干扰源的e.i.r.p.密度电平应加以限制，以满足条件b)和c)。另请注意，根据条件c)，在传播劣化和总干扰的组合影响下，C/N比仍能满足短期性能指标。

4.1 C/N比的表达

在已考虑到长期干扰成分的情况下，晴空C/N比可表达为：

$$(C/N)_{CS} = \frac{C_{CS}}{N_{CS} + I_{long}}$$

式中 C_{CS} 为晴空条件下的载波功率， N_{CS} 为为晴空条件下受干扰接收机的噪声功率， I_{long} 为晴空条件下长期干扰的功率成分。

接下来需要考虑雨衰条件下的 C/N 比。受干扰信号链路上行链路和下行链路雨衰因子分别用 A_{\uparrow} 和 A_{\downarrow} 表示。此类条件下受干扰接收机的载波功率将以 $F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$ 值因子的强度衰减，用 $C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$ 表示。接收机噪声功率用函数 $N(N_{CS}, A_{\downarrow})$ 表示。此函数包含因降雨以及有用和相邻卫星噪声成分产生的天空噪声。请注意，相邻卫星下行链路降低产生的衰减因子，可能与 A_{\downarrow} 不同。在此种情况下，噪声函数应当考虑这些不同的雨衰因子。雨衰条件下的长期干扰成分用 $I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})$ 表示，其中 $A_{\uparrow, i}$ 为产生干扰的终端给所需卫星造成干扰的上行链路雨衰因子。注意，产生干扰的不同终端的上行链路雨衰因子并不相同，此表达式中应考虑到这些不同的雨衰因子。此外，在相邻卫星和所需卫星下行链路雨衰成分不同时，应当考虑到相邻卫星的不同下行链路雨衰因子。综上所述，雨衰条件下的 C/N 比和长期干扰成分可表达为：

$$(C/N)_s = \frac{C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})} \quad (3)$$

最后，还要考虑到存在总干扰情况下的雨衰 I_{tot} 。 C/N 比可表达为：

$$(C/N)_t = \frac{C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})} \quad (4)$$

式中 $I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})$ 在降雨情况下的总干扰。

4.2 短期性能指标标准的表达

在这一小节内，第4节表述的满足短期性能指标的标准用 C/N 比的劣化加以表达。上文中的标准a)可表达为：

$$\Pr\{(C/N)_s < (C/N)_j\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j\%, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

为了分析，方便的做法是考虑相对晴空值的 C/N 比劣化。分别用 $Z_s = \frac{(C/N)_{CS}}{(C/N)_s}$ 和 $Z_t = \frac{(C/N)_{CS}}{(C/N)_t}$ 表示存在长期干扰成分和总干扰情况下的劣化。另外，还要定义 $Z_j = \frac{(C/N)_{CS}}{(C/N)_j}$, $j = 1, 2, \dots, J$ 。此后，上述内容便可用以相等的形式表达：

$$\Pr\{Z_s > Z_j\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j\%, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

与此相似，标准c)可表达为：

$$\Pr\{Z_t > Z_j\} \leq p_j\%, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

最后，当受干扰链路的设计可使传播效应在特定 C/N 比最小的情况下，最大限度地使用划分的时间时，标准b)可得到满足（用 $(C/N)_{jm}$ 表示）。因此，标准b)可表述为：

$$\Pr\{Z_s > Z_{jm}\} = (1 - p_{short}/100) \times p_{jm} \% \quad (7)$$

5 参数和标记清单

本节包含本附件所使用的参数和标记清单。

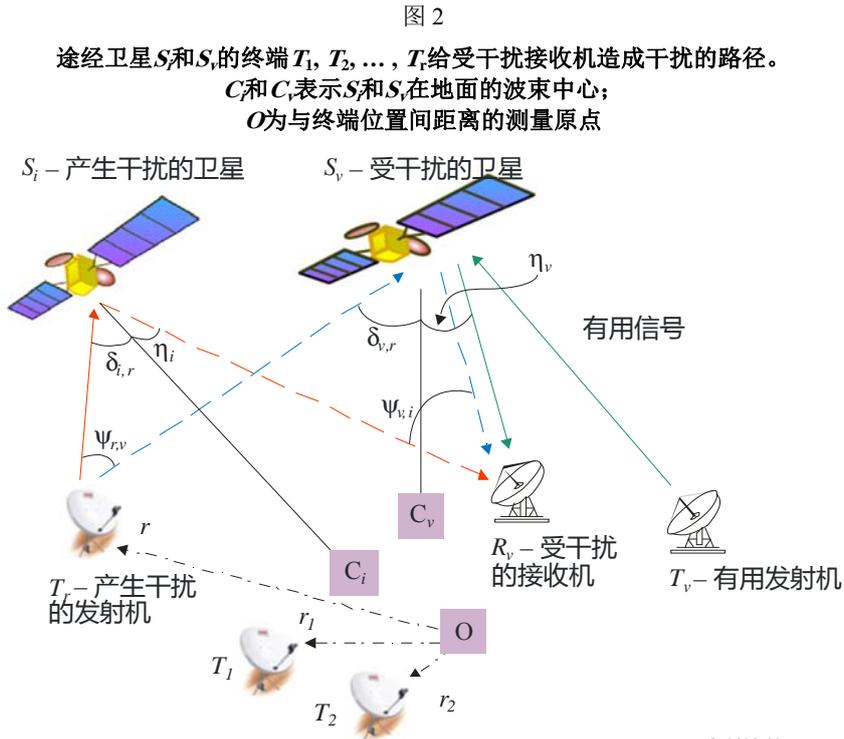
λ_w, λ_d (m):	分别为上行链路和下行链路方向的波长。
ϕ_r (度):	T_r 处的天线指向错误：天线视轴实际和期望方向之间的夹角。
$\phi_{r,\varepsilon}, \phi_{r,a}$ (度):	T_r 处仰角和方位角方向的天线指向错误：仰角和方位角间实际和所需值间的差异。
ψ (度):	从视轴方向测量出 T_i 偏轴角。
$\psi_{r,x}, x = i, v$ (度):	T_r 处视轴方向与 S_x 方向间的夹角。
$\psi_{v,i}$ (度):	R_v 处视轴方向与 S_i 方向间的夹角。
$\delta_{v,x}, x = i, v$ (度):	S_v 接收天线处视轴方向与 T_x 方向间的夹角。
$\delta_{i,r}$ (度):	S_i 接收天线处视轴方向与 T_r 方向间的夹角。
$\eta_x, x = i, v$ (度):	S_x 发射天线处视轴方向与 R_v 方向间的夹角。
$\gamma_x, x = i, v$:	S_x 接收天线输出端至 R_v 接收天线输出端测得的卫星下行链路发射增益。
θ_{space} (度):	卫星 S_v 与 S_i 的轨道间隔。
θ_r (K):	以接收天线输端出为基准， R_v 处降雨产生的天空噪声温度。
θ_v (K):	以接收天线输端出为基准， R_v 处降雨产生的系统噪声温度。
$\theta_x^s, x = i, v$ (K):	以接收天线输端出为基准， S_x 处降雨产生的系统噪声温度。
A_{\downarrow} :	下行链路 S_v 至 R_v 间降雨产生的衰减因子
A_{\uparrow} :	上行链路 T_v 至 S_v 间降雨产生的衰减因子。
$A_{\uparrow,i}$:	上行链路 T_r 至 S_v 间降雨产生的衰减因子。
$B_x, x = r, v$ (W/Hz):	T_x 处的视轴e.i.r.p.密度。
$B_x^s, x = r, v$ (W/Hz):	S_x 处的视轴e.i.r.p.密度。
C (W/Hz):	R_v 接收天线输出端处在晴空条件下的载波功率频谱密度。
C_{cs} (W):	R_v 接收天线输出端处在晴空条件下的载波功率。

C_i, C_v :	S_i 和 S_v 在地表的接收波束中心。
$(C/N)_j$:	短期目标中规定的 (C/N) 比。该 C/N 比的持续时长不应低于 $p_j\%$ 的时间。
$(C/N)_{cs}$:	晴空条件且存在长期干扰时受干扰接收机的 (C/N) 比。
$(C/N)_s$:	雨衰条件且存在长期干扰时受干扰接收机的 (C/N) 比。
$(C/N)_t$:	雨衰条件且存在总干扰时受干扰接收机的 (C/N) 比。
E (W/Hz):	T_r 处的偏轴e.i.r.p.密度模式。
EIRP (ψ) (W/Hz):	偏轴方向 ψ 处的e.i.r.p.密度。
$G_{t,r}$:	T_r . ($G_{t,r}(0) = 1$) 处归一化的发射天线增益。
$G_{r,v}$:	R_v 处的接收天线增益。
$G_{r,i}^S, G_{r,v}^S$:	分别为 S_i 和 S_v 处的接收天线模式。
$G_{t,i}^S, G_{t,v}^S$:	分别为 S_i 和 S_v 处归一化的发射天线增益。 $(G_{t,i}^S(0) = G_{t,v}^S(0) = 1)$
\tilde{I}_{avg} (W/Hz):	所有终端 T_v 在 R_v 处产生的干扰功率频谱密度总体平均值。
I_{long} (W):	所有终端 T_v 在 R_v 处产生的长期干扰。
\tilde{I}_{long} (W/Hz):	所有终端 T_v 在 R_v 处产生的长期干扰功率频谱密度。
I_{tot} (W):	所有终端 T_v 在 R_v 处产生的总干扰。
\tilde{I}_{tot} (W/Hz):	所有终端 T_v 在 R_v 处产生的总干扰功率频谱密度。
$\tilde{I}_{tot,0}$ (W/Hz):	在没有天线指向错误时, 所有终端 T_v 在 R_v 处产生的总干扰功率频谱密度。
$I_x(r), x = i, v$ (W/Hz):	T_r 产生并通过 S_x 接收的干扰功率频谱密度。
k :	波兹曼常数。 $k = 1.38065 \times 10^{-23}$ W/K/Hz。
L_d :	S_i 或 S_v 至 R_v 的下行链路路径损耗。 $L_d = (4\pi d_d / \lambda_d)^2$ + 其它损耗, 式中 d_d 为下行链路的范围。
$L_{u,x}, x = r, v$:	T_x 至 S_v 的上行链路路径损耗。 $L_{u,x} = (4\pi d_{u,x} / \lambda_u)^2$ + 其它损耗, 式中 $d_{u,x}$ 为上行链路的范围。
N_\uparrow (W/Hz):	R_v 接收天线输出端处的噪声功率频谱密度 S_v 。
N_\downarrow (W/Hz):	以接收天线输端出为基准, R_v 处的噪声功率频谱密度。
$N_{\uparrow,i}$ (W/Hz):	以 R_v 接收天线输端出为基准, S_i 处的噪声功率频谱密度。
N_{cs} (W):	R_v 接收天线输出端在晴空条件下的噪声功率。
N_r (W/Hz):	R_v 接收天线输出端因降雨而产生的天空噪声功率频谱密度。

p_X :	变量 X 的概率密度函数 (PDF)。
P_X :	变量 X 的积累分布函数 (CDF)。
$q_\tau(t)$:	矩形脉冲, $q_\tau(t) = 1$, 其中 t 的范围是 $(0, \tau)$ 且其它位置为零。
R :	产生干扰的终端分布的区域。
$r(m)$:	在原始位置测量的 T_r 的位置矢量 O 。
R_v :	受干扰的接收终端。
S_i, S_v :	分别为干扰源网络的卫星和受干扰的链路。
T_{long} (s):	长期干扰的平均间隔。
T_r, T_v :	位于 r 的干扰终端和有用发射终端。
W_{long} (Hz):	用于判定长期干扰功率频谱密度的带宽。
\bar{X} (dB):	以dB为单位的参数 X 数值, $10 \log_{10}(X)$ 。
Z_s :	$Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$, 存在长期干扰成分的雨衰造成的 C/N 比劣化。
Z_t :	$Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$, 存在总干扰成分的雨衰造成的 C/N 比劣化。

6 干扰分析的统计模型

产生和遭受干扰的卫星网络请参见图2。干扰网络的发射终端用 T_1, T_2, \dots, T_r 表示, 如下所示。此图展示了受干扰和产生干扰的卫星 S_v 和 S_i ; 有用终端 T_v 和受干扰接收机 R_v 。分析旨在量化 T_1, T_2, \dots, T_r 终端给受干扰卫星网络造成的干扰。产生干扰的终端以时分多址的方式操作, 在相关窄频段内特定的瞬时仅由一台终端发射。请注意, 终端可以使用宽频段和频分多址的方式操作; 此宽频内的干扰是将各窄频内的干扰相加得出。在图2中, 假设卫星 S_i 和 S_v 使用了与上行链路至下行链路相同的频率转换。



假设产生干扰的终端随机发射，特定干扰终端的发射瞬时可用不依赖位置的随机参数表示。此随机变量的概率密度函数（PDF）可用 p_r 表示。当所有产生干扰的终端均在区域 R 内时，其符合 $\int_R p_r(r) dr = 1$ 。

产生干扰的终端可能包含天线孔径规格不同的终端。位于 r 的通用终端偏轴 e.i.r.p. 密度模式可用 E 表示。当考虑到所有产生干扰的终端后，e.i.r.p. 密度模式的PDF用 p_E 表示。鉴于此为PDF，因此 $\int_E p_E(E) dE = 1$ ，其中整数为总体上可能出现的 E 值。

r 处终端的天线指向错误，即天线视轴期望与实际方向之间的夹角，用 ϕ_r 表示。这些天线指向错误可能会缓慢变化，其统计因终端不同而异。本附件假设天线指向错误的仰角和方位角成分用 $\phi_{r,\epsilon}$ 和 $\phi_{r,\alpha}$ 表示并且可用。此外，天线指向错误成分的PDF p_ϵ 和 p_α ，均假设为已知。

在长期干扰标准中，有必要计算干扰的时间平均值。为便于此计算，最好用图1所示方法表示产生干扰终端不依赖时间的发射模式。假设位于 r_n 的终端 T_{r_n} 发射间隔为 (t_n, t_{n+1}) 。那么，这些终端的发射顺序为 $T_{r_0}, T_{r_1}, T_{r_2}, \dots$ 且相应发射间隔顺序为： $(t_0, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3), \dots$ 。为用 $q_\tau(t)$ 表示此顺序且单位脉冲宽度为 τ ，从而使间隔 $(0, \tau)$ 内 $q_\tau(t) = 1$ 且此间隔之外为零。这样，终端独立于时间的传输模式可表述为： $\sum_n T_{r_n} q_{\tau_n}(t - t_n)$ ，其中 $\tau_n = (t_{n+1} - t_n)$ 。

7 判定长期干扰

在没有天线指向错误的情况下，长期干扰是时间间隔 T_{long} 内的时间平均值。穿越干扰卫星与受干扰卫星，从产生干扰的终端向受干扰的接收机发射信号的路径，请参见图2。如前

所述，在此分析解读中假设两颗卫星的上行链路和下行链路频率相同。经卫星 S_v 和 S_i ，由干扰终端 T_r 在受干扰接收机处产生的干扰功率频谱密度，可用卫星至受干扰接收机间的发射增益 γ_v 和 γ_i 以及以下链路参数来表示：

$$\begin{aligned} I_v(r) &= \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v \\ I_i(r) &= \frac{B_r G_{t,r}(0) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i \end{aligned} \quad (8)$$

其中卫星链路发射增益 γ_v 和 γ_i 表达为：

$$\begin{aligned} \gamma_v &= \frac{B_v^s G_{t,v}^s(\eta_v) G_{r,v}(0) L_{u,v}}{B_v G_{r,v}^s(\delta_{v,v}) L_d} \\ \gamma_i &= \frac{B_i^s G_{t,i}^s(\eta_i) G_{r,v}(\psi_{v,i}) L_{u,r}}{B_r G_{r,i}^s(\delta_{i,r}) L_d} \end{aligned} \quad (9)$$

请注意发射增益 γ_i 并不依赖于干扰终端的位置，因为此增益为卫星 S_i 接收天线输出端与受干扰终端 R_v 接收天线输出端之间的增益。

干扰条件 $I_v(r)$ 和 $I_i(r)$ 取决于 T_r 的具体位置，出现的概率很小 ($p_r(r)dr$)。鉴于产生干扰的终端可能以不同的偏轴 e.i.r.p. 密度电平发射，且位于不同的空间位置，因此由全部终端产生的综合干扰信号会随时间而变化。干扰功率频谱密度的总体平均值，在已考虑到目标地区 R 网络内所有产生干扰的终端的情况下，可表示为：

$$\tilde{I}_{avg} = \iint_{R,E} (I_v(r) + I_i(r)) p_E(E) p_r(r) dE dr \quad (10)$$

请注意，在后续章节内，干扰功率频谱密度为通过计算得出；与之对应的干扰功率可通过与相关的带宽相乘得出。

本节中，有必要计算干扰的时间平均值。因此，在没有天线指向错误时，有必要将干扰信号表示为时间函数。使用矩形函数 $q_\tau(t)$ ，可表示为：

$$\tilde{I}_{tot,0}(t) = \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n)$$

式中 r_n 为在时间间隔为 (t_n, t_{n+1}) 且 $\tau_n = (t_{n+1} - t_n)$ 时发射的干扰终端的空间位置。期望中的长期干扰成分为上述内容的时间平均值，可表示如下：

$$\tilde{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_t^{t+T_{long}} \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n) dt \quad (11)$$

如第3节所述，鉴于 $\tilde{I}_{tot,0}$ 是一种统计流程，上述数值 \tilde{I}_{long} 在不同时间间隔计算时会展现出轻微变化。第3节中介绍的长期干扰噪声比的CDF，给这些变化施加了限制。

8 短期性能指标标准的表达

以 C/N 比劣化变量衡量的短期性能指标标准，在第4.2节中给出了表述。本节将给出如何以卫星网络链路变量判定 C/N 比劣化的表达式，请参见图2。

8.1 雨衰在长期干扰的条件下产生的 C/N 比劣化

雨衰在长期干扰的条件下产生的 C/N 比劣化，在第4.1节中表达为： $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ 。在各分节中，将根据具体的链路变量计算劣化。

晴空条件下的 C/N 比可表达为：

$$(C/N)_{cs} = \frac{C}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}} \quad (12)$$

其中变量 C 、 N_{\downarrow} 、 N_{\uparrow} 和 $N_{\uparrow,i}$ 的得出是通过：

$$C = \frac{B_v G_{r,v}^s(\delta_{v,v})}{L_{u,v}} \gamma_v; N_{\downarrow} = k\Theta_v; N_{\uparrow} = k\gamma_v \Theta_v^s; N_{\uparrow,i} = k\gamma_i \Theta_i^s$$

请注意，在方程（12）和下文第8.2节中， C/N 比用载波、噪声和干扰功率频谱密度表述。与之对应的功率可通过与相关的带宽相乘得出。

接下来，应考虑雨衰情况下的 C/N 比

$$(C/N)_s = \frac{C/A_{\uparrow}A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_{\uparrow,i}/A_{\downarrow} + N_r(1-1/A_{\downarrow}) + \tilde{I}_{long}/(A_{\uparrow,i}A_{\downarrow})} \quad (13)$$

在此假设卫星 S_v 和 S_i 的轨道间隔很小，从而使来自这些卫星下行链路的衰减项也与此相同。此外，假设产生干扰的终端的上行链路衰减项也基本相同并用 $A_{\uparrow,i}$ 表示。对几百公里的覆盖范围，这是合理的。如果不是这样，分母的最后一项应适当调整，用以表示与位置相关的雨衰项 $A_{\uparrow,i}(r)$ 。

静止情况的 C/N 比劣化定义为 $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ 。用方程（12）和（13）的数值取代 $(C/N)_{cs}$ 和 $(C/N)_s$ 的数值，可得出：

$$Z_s = A_{\uparrow} \times (A_{\downarrow}d_1 + d_2 + d_3 / A_{\uparrow,i}) \quad (14)$$

式中变量 d_1 、 d_2 和 d_3 分别定义为：

$$d_1 = \frac{N_{\downarrow} + N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_2 = \frac{N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} - N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_3 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}$$

请注意 $(d_1 + d_2 + d_3) = 1$ 。为表示卫星变量的参数 d_1 、 d_2 和 d_3 ，引入了以下参数：

$$c_1 = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}}; c_2 = \frac{N_{\uparrow,i}}{N_{\downarrow}}; c_3 = \frac{N_r}{N_{\downarrow}}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow}}$$

替换上文 d_1 、 d_2 和 d_3 中的变量:

$$d_1 = \frac{1+c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_2 = \frac{c_1+c_2-c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_3 = \frac{c_4}{1+c_1+c_2+c_4}$$

c_1, c_2 和 c_3 变量可用卫星链路参数表示如下:

$$c_1 = \frac{\Theta_v^s}{\Theta_v} \gamma_v; c_2 = \frac{\Theta_i^s}{\Theta_v} \gamma_i; c_3 = \frac{\Theta_r}{\Theta_v}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{k\Theta_v}$$

鉴于雨衰通常用dB为单位提供, 方程(14)中变量 Z_s 的C/N比劣化在用对数单位表示时可以方便地加以分析。以dB为单位表示 Z_s 和雨衰:

$$\bar{Z}_s = \bar{A}_\uparrow + 10 \log \left(10^{\bar{A}_\downarrow/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_{\uparrow,i}/10} d_3 \right) \quad (15)$$

当雨衰因子 \bar{A}_\uparrow , $\bar{A}_{\uparrow,i}$ 和 \bar{A}_\downarrow 的PDF已知时, 可通过分析得出 \bar{Z}_s , $P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}) = \Pr\{\bar{Z}_s \leq \bar{z}\}$ 的CDF。另外, 也可以使用蒙特卡洛仿真评估 \bar{Z}_s 的CDF。

8.2 存在总干扰的情况下因雨衰造成的C/N比劣化

在本节中, 存在总干扰的情况下因雨衰造成的C/N比劣化为 $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$, 其判定使用了卫星链路参数。

产生干扰终端发射无天线指向错误时, 可以判定第7节的长期干扰成分。本节考虑了终端的天线指向错误。 T_r 处的天线指向错误用 ϕ_r 表示。方程(8)中存在天线指向错误时, 干扰项的表达为:

$$I_v(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}(\phi_r)) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v$$

$$I_i(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,i}(\phi_r)) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i \quad (16)$$

式中明确的展示了偏轴角 $\psi_{r,v}$ 和 $\psi_{r,i}$ 与 ϕ_r 的关系。存在天线指向错误时的总干扰为 $\tilde{I}_{tot} = (I_v(r) + I_r(r))$ 。天线指向错误通常表现为方位角和仰角 $\phi_{r,a}$ 和 $\phi_{r,\varepsilon}$ 方向的差错。ITU-R S.1857建议书的附件1阐述了使用可获得的方位角和仰角差错判定 $\psi_{r,v}(\phi_r)$ 和 $\psi_{r,i}(\phi_r)$ 的方法。

存在总干扰的情况下, 受干扰接收机处因雨衰造成的C/N比劣化为:

$$(C/N)_i = \frac{C/A_\uparrow A_\downarrow}{N_\downarrow + N_\uparrow/A_\downarrow + N_{\uparrow,i}/A_\downarrow + N_r(1-1/A_\downarrow) + \tilde{I}_{tot}/(A_{\uparrow,i} A_\downarrow)} \quad (17)$$

与上节推导类似, 此时的C/N比劣化 $\bar{Z}_t = 10 \log((C/N)_{cs}/(C/N)_i)$, 可表示为:

$$\bar{Z}_t = \bar{A}_\uparrow + 10 \log \left(10^{\bar{A}_\downarrow/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_{\uparrow,i}/10} \tilde{I}_{tot} d_3 \right) \quad (18)$$

式中的 $\tilde{I}_{tot} = \tilde{I}_{tot} / \tilde{I}_{long}$ 和变量 d_1, d_2 和 d_3 在上节中给出。当雨衰因子的PDF和第6节指出的PDF可用时, $\bar{Z}_t, P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}) = \Pr\{\bar{Z}_t \leq \bar{z}\}$ 的CDF可用分析的方法判定。另外, 也可以使用蒙特卡洛仿真评估 \bar{Z}_t 的CDF。

9 因短期干扰造成的链路劣化上升

第4.2节列出的短期性能指标标准, 用链路C/N比劣化变量的补充CDF $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}))$ 和 $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}))$ 来表示。假设存在总干扰的情况下因雨衰造成的C/N比劣化水平为 \bar{z}_j 。那么当链路劣化, 即 \bar{Z}_s 超过 \bar{z}_j 时, 时间比例为 $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ 。接下来, 我们考虑对此链路的总干扰。

链路劣化, 对 \bar{z}_j 的相同C/N比劣化电平而言为 $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ 。因此, 因存在短期干扰而产生的链路劣化相对增加为:

$$R_S \% = \frac{(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) - (1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j))}{(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j))} \times 100\% \quad (19)$$

例如, 假设卫星链路的设计旨在使链路和的C/N比仅在 $p_j\%$ 的时间内少于 $(C/N)_j$ 。根据第4.2节, 应纳入一条链路的余量, 从而将具有雨衰条件且存在长期干扰的劣化, 限制在最多在 $p_i\% \times (1 - p_{short}/100)$ 的时间出现。用以满足此条件的必要链路余量 \bar{z}_j , 可劣化变量的CDF用下述公式计算: $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100)$ 。接下来应限制短期干扰, 使 $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) \leq p_j$ 。从方程(19)可以看出, 针对这些值 $R_S \% \leq p_{short}\%$ 。

10 因天线指向错误造成的平均干扰上升

请注意长期干扰成分 \tilde{I}_{long} , 的计算中不存在天线指向错误, 但第8.2节的总干扰项考虑了天线指向错误。由于天线指向错误和终端的时分多址操作, 干扰出现了短期变化。如果用 $\langle \tilde{I}_{long} \rangle$ 表示并在方程(10)内用 \tilde{I}_{avg} 列出的 \tilde{I}_{long} 平均值得到了考虑, 则后者出现的变化可以忽略。当 T_{long} 相对各终端的平均发射时长很大时, 可实现此数值。下列测量可用于判定天线指向错误对平均干扰的影响:

$$R_L \% = \frac{\langle \tilde{I}_{tot} \rangle - \langle \tilde{I}_{long} \rangle}{\langle \tilde{I}_{long} \rangle} \times 100\% \quad (20)$$

式中 $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle$ 为总干扰的平均值。遵守此规则, 则在没有天线指向错误的情况下 $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle \approx \langle \tilde{I}_{long} \rangle$, 因此 R_L 可以忽略。

11 仿真示例

本节提供了根据本附件所述方法取得的说明性计算机仿真结果。图3展示了受干扰接收机和产生干扰的终端相对于 S_i 和 S_v 波束中心的位置。如本文所示，此计算机模拟中卫星波束中心同时出现且受干扰的接收机也位于此点。在分布有产生干扰终端的 R 区，可通过在以 C_v （或 C_i ）为圆心以100公里为半径的圆形区域内均匀布设发射终端实现。产生干扰的终端的孔径在集合 $\{0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4\}$ m内随机选择，且e.i.r.p.密度模式受到以下限制：

$$EIRP(\psi) \text{ dB(W/40kHz)} = \begin{cases} 19 - 25\log\psi + \tilde{E} \text{ dB} & 2^\circ \leq \psi \leq 7^\circ \\ -2 + \tilde{E} \text{ dB} & 7^\circ < \psi \leq 9.2^\circ \\ 22 - 25\log\psi + \tilde{E} \text{ dB} & 9.2^\circ < \psi \leq 48^\circ \\ -10 + \tilde{E} \text{ dB} & 48^\circ < \psi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (21)$$

式中 ψ 为偏轴角， \tilde{E} 为可增加或降低终端偏轴发射电平的参数。请注意，当 $\tilde{E} = 0$ 时，偏轴角的发射电平与ITU-R S.524-9建议书的建议4为在27.5-30 GHz频段发射的GSO网络卫星固定业务（FSS）作出的规定相对应。下述仿真结果是针对作为 \tilde{E} 函数的 $(\Delta T/T)_{long}$ 、 R_S 和 R_L 。计算机模拟所用卫星链路参数和统计参数分另在表1和表2中列出。

图3
遭受和产生干扰的卫星的足迹以及本仿真中产生干扰的终端的分布情况。
图中 C_v 和 C_i 重合且 R_v 亦假设与此点重合。

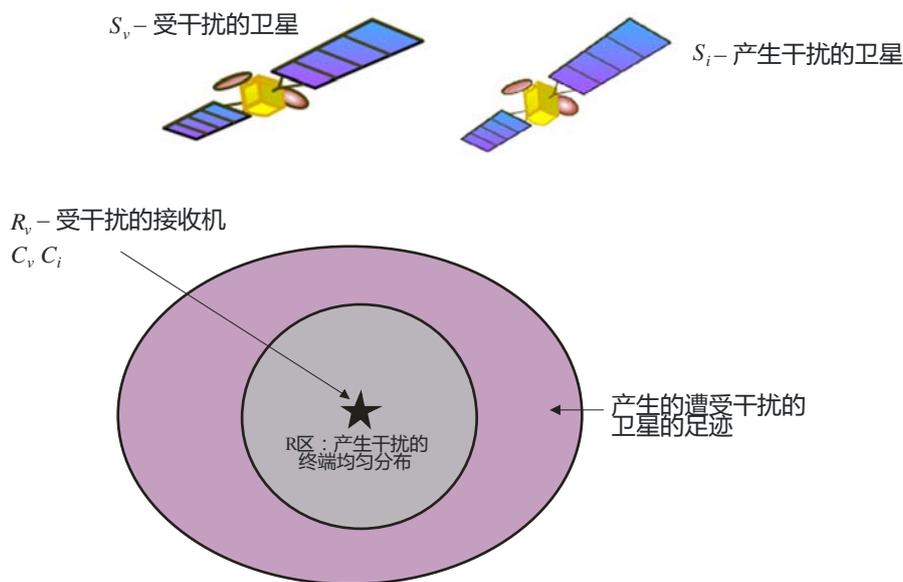


表1

计算机仿真中使用的卫星链路参数

上行链路频率	28.75 GHz
上行链路损耗	213.09 dB
受干扰的发射终端 T_v (纬度、经度)	(40 °N, 102.8 °E)
T_v 、 T_r 处站点的高度	位于平均海平面上200 m
T_v 、 T_r 处的降雨率和降雨高度	通过ITU-R P.837和ITU-R P.839建议书获得
卫星 S_v 、 S_i 的经度	102.8° E和 (102.8° + θ_{space}) E
卫星波束中心, C_v 和 C_i , (纬度, 经度)	(40 °N, 102.8 °E)、(40°N, 102.8 °E)
卫星的接收天线增益, $G_{r,v}^s$ 和 $G_{r,i}^s$	51.83 dBi
卫星的噪声温度, T_v^s 和 T_i^s	1 000 K
卫星的接收天线	使用抛物面照射的1.75 m圆孔径
卫星 S_v e.i.r.p.密度	30 dBW/40 kHz
下行链路频率	18.95 GHz
下行链路损耗	209.47 dB
受干扰接收机的天线增益 $G_{r,v}$	50.96 dBi (2.4 m)、44.96 dBi (1.2 m)
R_v 处站点的高度	位于平均海平面上200 m
R_v 处的降雨率和降雨高度	通过ITU-R P.837和ITU-R P.839建议书获得
卫星链路发射增益 s , (γ_v , γ_i)	(-7.25 dB, -76.62 dB), 针对 R_v 孔径为2.4 m的情况 (-13.27 dB, -64.49 dB), 针对 R_v 孔径为1.2 m的情况

表2

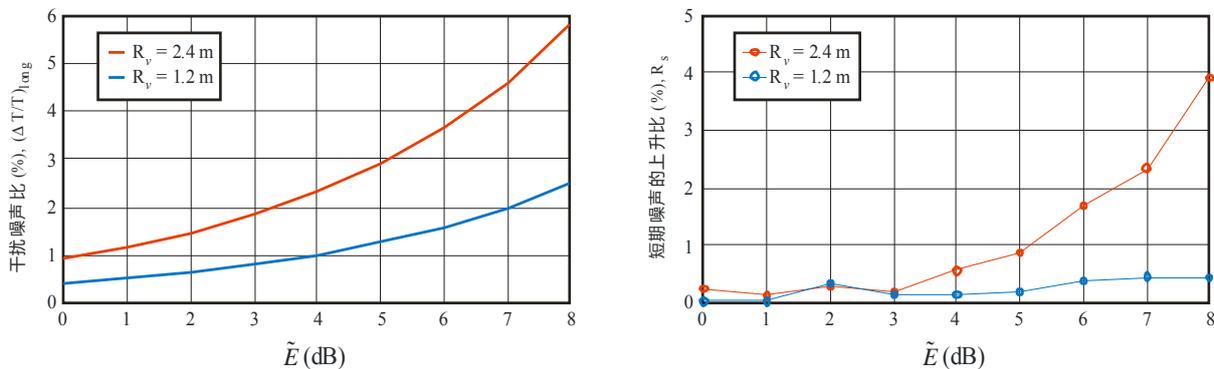
仿真使用的统计参数

R 区	以 C_v 、 C_i 为圆心以100公里为半径的圆形区域
p_r	在 R 区内均匀分布
p_E	孔径直径为{0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4} m, 均匀分布的终端, 其e.i.r.p.密度受方程(21)的限制
$\phi_{r,\epsilon}$ 和 $\phi_{r,a}$	平均值为零且标准偏差为 σ 的高斯随机变量

图4和5分别展示了方程(1)和(19)中的 $(\Delta T/T)_{long}$ 和 R_s 值。确定 $(\Delta T/T)_{long}$ 分子中的 \tilde{I}_{long} 值时, 假设 T_{long} 值很大。因 \tilde{I}_{long} 产生的统计变化可以忽略。可以看出, 对于表1和2中的示意参数, 当卫星轨道间隔为4°且e.i.r.p.密度电平 $\tilde{E} = 7.3$ dB时, 孔径直径为2.4 m的受干扰接收机 $(\Delta T/T)_{long} = 5\%$ 。如果轨道间隔为3°, 为保持相同水平的 $(\Delta T/T)_{long}$, 必须将 \tilde{E} 下调至-1.3 dB。这些图显示, 如果受干扰接收机的孔径直径为1.2 m, 则 $(\Delta T/T)_{long}$ 会更小。图4和图5亦展示了短期标准中使用的 R_s 值。在此情况下, $p_j\%$ 和 $p_{short}\%$ 被分别设置为2%和10%。此示例中考虑的参数, R_s 值小于4%。从方程(19)可以看出, 与之相对应的链路劣化水平小于1.88%。

图 4

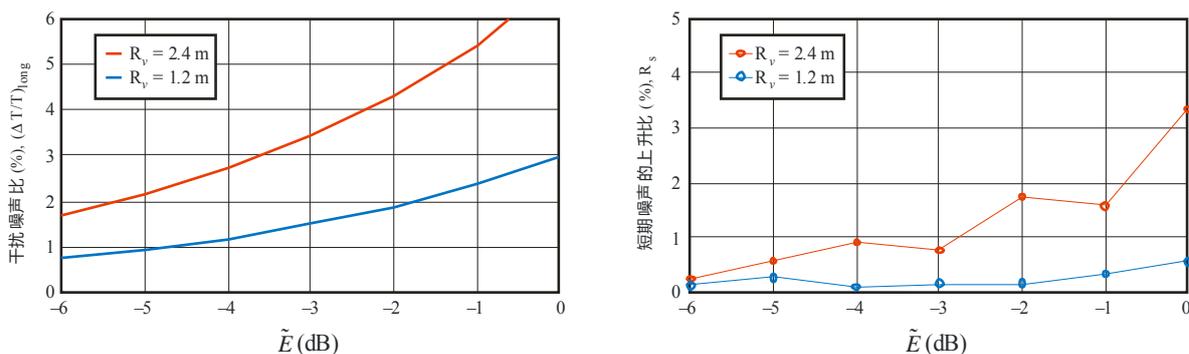
使用方程 (21) 中 \tilde{E} 时的 $(\Delta T/T)_{long}$ 和 R_s 变化, 其中 $\theta_{space} = 4^\circ$ 且 $\sigma = 0.5^\circ$



S.2029-04

图 5

使用方程 (21) 中 \tilde{E} 时的 $(\Delta T/T)_{long}$ 和 R_s 变化, 其中 $\theta_{space} = 3^\circ$ 且 $\sigma = 0.5^\circ$

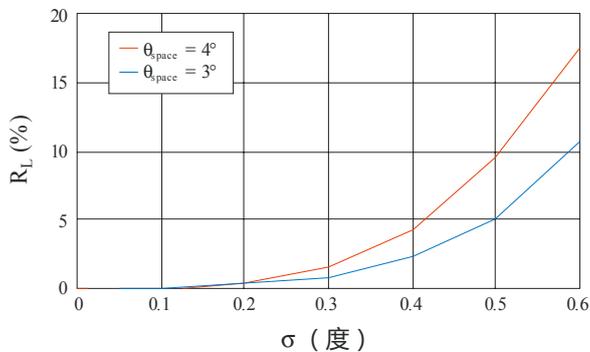


S.2029-05

方程 (20) 中针对不同 σ 值使用的 RL 值请参见图 6。如前所述, 当 Tlong 值足够大时, 如果没有天线指向错误, 则 RL 的变化可忽略不计。此图展示了 RL 随着 σ 值的上升而增长。

图 6

轨道间隔为 3° 和 4° 时, 存在天线指向错误偏差情况下的 R_L 变化



S.2029-06

12 结论

本附件介绍了一种新的统计方法，用于评估时分多址地球站网络产生的时变系统干扰。结果显示了受干扰的卫星网络可能产生的劣化，且干扰网络的终端可通过调整满足受干扰卫星系统对干扰容限和性能指标的要求。本附件的附录提供了一种展示性的分步程序，用以评估 $(\Delta T/T)_{long}$ 和 R_S 的CDF。

附录

用于评估 $(\Delta T/T)_{long}$ 和RS的CDF的展示性分布流程

本附录提供了说明性的分步流程，用于评估第3节 $(\Delta T/T)_{long}$ 的CDF和本附件方程(19)中表述的短期干扰 R_S 造成的劣化相对上升。这些数值针对给定的偏轴e.i.r.p.密度电平进行评估。本文介绍的方法是基于蒙特卡洛仿真。

1 评估流程的输入内容

输出内容1 卫星链路参数

上行链路和下行链路波长 λ_u, λ_d ； S_v, S_i 在 C_i, C_v 处的纬度和经度对；接收天线增益的模式 $G_{r,i}^s, G_{r,v}^s$ ；噪声温度 Θ_i^s, Θ_v^s ；发射增益 γ_i, γ_v 。

噪声温度 Θ_v 。

输出内容2 产生干扰的终端

终端空间分布的PDF值 p_r ；e.i.r.p.密度分布的PDF值 p_E 。请注意e.i.r.p.密度取决于终端的孔径尺寸和考虑的偏轴e.i.r.p.密度限值。

天线指向错误：方位角的PDF和天线指向错误的仰角成分 $p_{\phi_a}, p_{\phi_\epsilon}$ 。换言之，这些成分或可作为长度 N_{mc} 的矢量提供（参见输出内容5的定义）， $\{\phi_{r,a}\}, \{\phi_{r,\epsilon}\}$ 。

终端的发射模式：终端发射时长的PDF值 p_τ ，其中 τ 为第6节中讨论的终端发射时长。

输出内容3 降雨参数

降雨率，平均海平面高度和 T_v, R_v 处的降雨高度，以及通过 p_r 定义的 R 区具有代表性的中心。这些参数可参考ITU-R P.837和ITU-R P.839建议书加以计算。

因降雨 Θ_r 产生的天空噪声温度。

输出内容4 计算长期和短期干扰电平的参数

长期干扰的观测间隔 T_{long} ；短期性能指标中链路劣化的时间比例 $p_i\%$ ；以及短期干扰的最高时间比 $p_{short}\%$ 。

输出内容5 蒙特卡洛仿真参数：随机矢量 N_{mc} 的抽样规格。

2 评估 $(\Delta T/T)_{long}$ 的CDF

步骤1 生成干扰终端发射的次数

根据PDF值 p_τ ，生成 N_{long} 发射次数 $\{\tau_n\}$ ，使用的所有发射次数之和满足 $\sum_{n=1}^{N_{long}-1} \tau_n < T_{long} \leq \sum_{n=1}^{N_{long}} \tau_n$ 。

步骤2 生成干扰发射终端

- 根据PDF值 p_r 生成 N_{long} -三维位置矢量 $\{r\}$ 。
- 根据PDF值 p_E ，选择各位置点 r 的终端e.i.r.p.密度。

步骤3 计算干扰项 $I_i(r)$ 和 $I_v(r)$

- 角度 $\psi_{r,v}$ 。该角度用 S_i 和 S_v 处的纬度和经度计算。
- 角度 $\delta_{i,r}$ 和 $\delta_{v,r}$ 。这些角度使用 r, S_i, S_v, C_i 和 C_v 处的纬度和经度计算。
- 计算上行链路路径损耗 $L_{u,r}$ 。
- 使用公式(8)的干扰信号 $(I_i(r) + I_v(r))$ 。请注意， $B_r G_{t,r}(\psi_{r,v})$ 为 S_v 方向的e.i.r.p.密度且 $B_r G_{t,r}(0)$ 为 S_i 方向的e.i.r.p.密度。

N_{long} -通过计算所有 $\{r\}$ 点位置 $\{I_i(r) + I_v(r)\}$ 得出的三维矢量，给出了没有天线指向错误情况下的瞬时干扰值。

步骤4 计算长期干扰 \tilde{I}_{long}

- 构建干扰信号 $\tilde{I}_{tot,0}(t)$ ，作为第7节所述时间的函数。

$$\tilde{I}_{tot,0}(t) = \sum_{n=1}^{N_{long}} (I_i(r_n) + I_v(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n), \text{ 式中 } r_n \text{ 为 } \{r\} \text{ 的第 } n \text{ 个成分, } t_1 = 0 \text{ 且 } t_n = \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i.$$

- 计算 $\tilde{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_{t=0}^{T_{long}} \tilde{I}_{tot,0}(t) dt$ 。

步骤5 估算 $(\Delta T/T)_{long}$ 的CDF。

- 重复上述步骤1-4 N_{mc} 次，构建 N_{mc} -三维矢量 $\{\tilde{I}_{long}\}$ 。
- 使用(1)和 $\{\tilde{I}_{long}\}$ 矢量，构建 N_{mc} -三维矢量 $\{(\Delta T/T)_{long}\}$ 。
- 评估矢量 $\{(\Delta T/T)_{long}\}$ 的CDF。

3 估算 R_s

步骤1 生成产生干扰的发射终端。

- 根据PDF值 p_r 生成 N_{mc} -三维位置矢量 $\{r\}$ 。
- 根据PDF值 p_E ，选择各位置点 r 的终端e.i.r.p.密度。

步骤2 计算 N_{mc} -三维干扰矢量 $\{I_i(r) + I_v(r)\}$

使用上文第2节中的步骤。

步骤3 \bar{z}_s

- a) 利用卫星链路参数和上文第2节中的步骤5估算的 N_{mc} -三维矢量 $\{\tilde{I}_{long}\}$ ，确定第8.1节给出的 c_1, c_2 和 c_3 。
- b) 使用第8.1节给出的 c_1, c_2 和 c_3 确定 d_1, d_2 和 d_3 。请注意， d_1, d_2 和 d_3 是 N_{mc} -三维矢量。
- c) 使用ITU-R P.618-8建议书的建议生成 N_{mc} -三维雨衰矢量 $\{\bar{A}_\uparrow\}, \{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$ 和 $\{\bar{A}_\downarrow\}$ 。此处 $\{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$ 与PDF p_r 定义的 R 区单一典型位置相对应。
- d) 对各 $(\bar{A}_\uparrow, \bar{A}_{\uparrow,i}, \bar{A}_\downarrow)$ 和 (d_1, d_2, d_3) 的实现，请计算方程（15）表达的 \bar{z}_s 。这将给出 N_{mc} - \bar{z}_s 的三维矢量。
- e) 使用此矢量估算 $\bar{Z}_s, P_{\bar{Z}_s}(\bar{z})$ 的CDF。

步骤4 \bar{z}_t 的CDF

- a) 生成 N_{mc} -三维天线指向错误矢量 $\{\phi_r\}$
使用相应的PDF， $p_{\phi_a}, p_{\phi_\epsilon}$ 生成 N_{mc} -三维矢量 $\{\phi_{r,a}\}$ 和 $\{\phi_{r,\epsilon}\}$ 。对于每次实现 $(\phi_{r,a}, \phi_{r,\epsilon})$ ，请使用ITU-R S.1857建议书附件1所述程序计算 ϕ_r 。
- b) 生成 N_{mc} -方程（16）中的三维干扰矢量 $\{I_i(r) + I_v(r)\}$
为了实现 r 和 ϕ_r ，请计算方程（16）中给出的 $I_i(r)$ 和 $I_v(r)$ 。通过它构建 N_{mc} -三维干扰矢量。
- c) 计算 N_{mc} -三维矢量 \bar{z}_t ，按照方程（18）所述使用。
- d) 使用此矢量估算 $\bar{Z}_t, P_{\bar{Z}_t}(\bar{z})$ 的CDF

步骤5 估算 R_s

- a) 计算雨衰和长期干扰条件下的链路余量 \bar{z}_j ，从而使劣化允许的最长时间为：
 $p_j\% \times (1 - p_{short}/100)$

$$(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100)。$$

- b) 计算此链路余量中存在总干扰时的链路劣化时间 $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j))$ 。
- c) 使用方程（19）计算 R_s 。