

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R S.1857 建议书
(01/2010)

**估算14 GHz频段离轴等效全向
辐射功率(e.i.r.p.)密度电平和
评估因车载地球站指向误差
而对邻近卫星造成的
干扰的方法**

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
2010年，日内瓦

© ITU 2010

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.1857建议书

估算14 GHz频段离轴等效全向辐射功率（e.i.r.p.）密度电平和评估因车载地球站指向误差而对邻近卫星造成的干扰的方法

(ITU-R 第208/4号课题)

(2010年)

范围

本建议书介绍了配备有源天线跟踪系统的车载地球站的一般天线指向误差特性并为估算因指向误差造成的离轴e.i.r.p.的统计数据提供了方法。此外，本建议书为评估对工作在GSO、FSS系统中的邻近卫星可能造成的干扰提供了方法。

国际电信联盟无线电通信全会，

考虑到

- a) FSS GSO卫星通过多种网络配置非常适合于提供互联网和数据业务；
- b) 向最终用户提供用户移动性和宽带业务支持的需求与日俱增；
- c) 车载地球站（VMES）终端可通过14 GHz频段的FSS卫星提供多种通信业务；
- d) 有必要保护FSS网络免受上述VMES终端可能造成的任何干扰；
- e) VMES终端可利用针对离轴e.i.r.p.密度和防止此类终端干扰的模型实现对无线电频谱和GSO的有效使用；
- f) VMES有必要采用统计方式确定其离轴e.i.r.p.密度电平和对邻近卫星的干扰；
- g) 使用VMES的卫星网络在设计上可符合邻近卫星系统运营商要求的干扰限值；
- h) 有必要具备评估因VEMS天线的离轴e.i.r.p.密度电平变化而造成的对受到影响的卫星网络链路可用性的影响的方法，这些VMES天线直径过小，使用目前可用的方法无法进行有益的评估，

注意到

- a) ITU-R S.728建议书规定了甚小孔径终端（VSAT）最大允许离轴e.i.r.p.密度电平；
- b) ITU-R S.1323建议书规定了工作在同一频段内所有其它卫星网络的地球和空间电台发射造成的最大允许网络间干扰电平，

建议

- 1 可使用附件1给出的方法和相关模型估算因VMES天线指向误差造成的离轴e.i.r.p.密度电平；
- 2 可使用附件2给出的方法评估因VMES离轴e.i.r.p.密度电平变化造成的干扰电平；
- 3 可使用附件2给出的方法评估对受到干扰的系统的链路不可用性的影响，这些系统所处的条件是，注2所述类型的VMES天线时变天线指向误差明显；
- 4 注1至5应被视为本建议书的组成部分：

注1 – 附件2给出的方法可用来评估VMES可能造成的干扰影响。

注2 – 本建议书提出的方法针对VMES，其定向反射器的天线直径在0.3米至1.0米范围内，具有机械或电子跟踪系统，支持高达100公里/小时车速。然而，这些方法适用于其它天线尺寸和车辆速度。

注3 – 附件所提供的参数和示例代表工作在14 GHz频段范围内的一些系统。

注4 – 本建议书阐述的方法适用于VMES跟踪系统锁定于其目标卫星的情况。

注5 – 为使用本建议书，必须了解附件1第2节中使用的 α 和 c 的代表值。

附件1

估算因VMES天线指向误差造成的 离轴e.i.r.p.密度电平的模型

1 引言

最近对运动通信应用的需求使人们对一种新型卫星终端产生了兴趣。这些车载终端通常包含小型高性能天线、配有伺服控制器和定位器的跟踪系统以及相应的中频（IF）和射频设备。为在各种地形和操作条件下提供双向通信，可选择天线尺寸和其它传输参数。本建议书考虑的终端将工作在14 GHz频段的FSS中。目前这些终端正在测试之中，以便用于地面车辆和火车。

正如本文稿详细阐述的，车载终端由于运动导致的天线指向误差可对邻近卫星造成附加干扰。从卫星运营商角度而言，应尽可能降低该干扰。另一方面，服务提供商希望通过系统设计使终端提供充足的发射功率，从而以适当的数据速率提供最终用户应用。本附件将解决这些需求的矛盾之处，即一方面，有必要发射充足的功率以支持适当的数据速率，另一方面将干扰电平保持在卫星运营商可接受的水平。

在运动通信应用中，由于天线平台的运动，天线指向和跟踪系统误差可导致天线指向误差。通常，这些由于运动导致的天线指向误差较小而具有随机性，致使离轴e.i.r.p.密度随机发生变化。为评估干扰对其它卫星的干扰影响，有必要为这些终端的e.i.r.p.密度制定模型并予以量化。

本附件介绍了估算因天线指向误差而造成的e.i.r.p.密度电平统计模型的统计模型并介绍了制定离轴方向e.i.r.p.密度的示意性统计掩模的方法。这种示意性统计掩模考虑的是机载终端的典型操作，可用来限制这些终端的离轴发射。对于卫星地球终端，离轴方向的e.i.r.p.密度与视轴¹方向的e.i.r.p.密度直接成比例关系。本附件提供了确定适当视轴e.i.r.p.密度电平的方法，以便满足上述示意性统计掩模的需求。

2 运动导致的天线指向误差

在天线平台的某些运动条件下，天线视轴放置不当。天线指向误差可由随机变量 ϕ 代表，它是天线视轴实际和计划指向之间的角距离。在很多实际情况下，天线指向误差是用其构成元素表示的：仰角误差 ϕ_ϵ 和方位角误差 ϕ_a ，这些误差构成元素可用相互独立的随机变量表示，其统计分布由在代表性通道上进行的测量予以估算。 ϕ_x 的概率密度函数（PDF）用 f_{ϕ_x} 表示，其中 $x = \epsilon, a$ 。为方便示意，有必要用众人皆知的统计分布代表这些PDF。运动导致的天线指向误差的实验室测量显示，这些指向误差具有长尾特性，也就是说，PDF不会因为天线指向误差数值的加大而快速衰变。对称的 α -stable（ $S\alpha S$ ）分布[1993年，Shao和Nikias；1994年，Samorodnitsky和Taqqu]就是一个具有长尾特性的分布示例，它用来表示和说明仰角和方位角天线指向误差的PDF。 $S\alpha S$ 分布具有可用来生成不同PDF的很多参数，高斯分布是一种特殊情况。具有零位置参数的典型 $S\alpha S$ 分布函数如下：

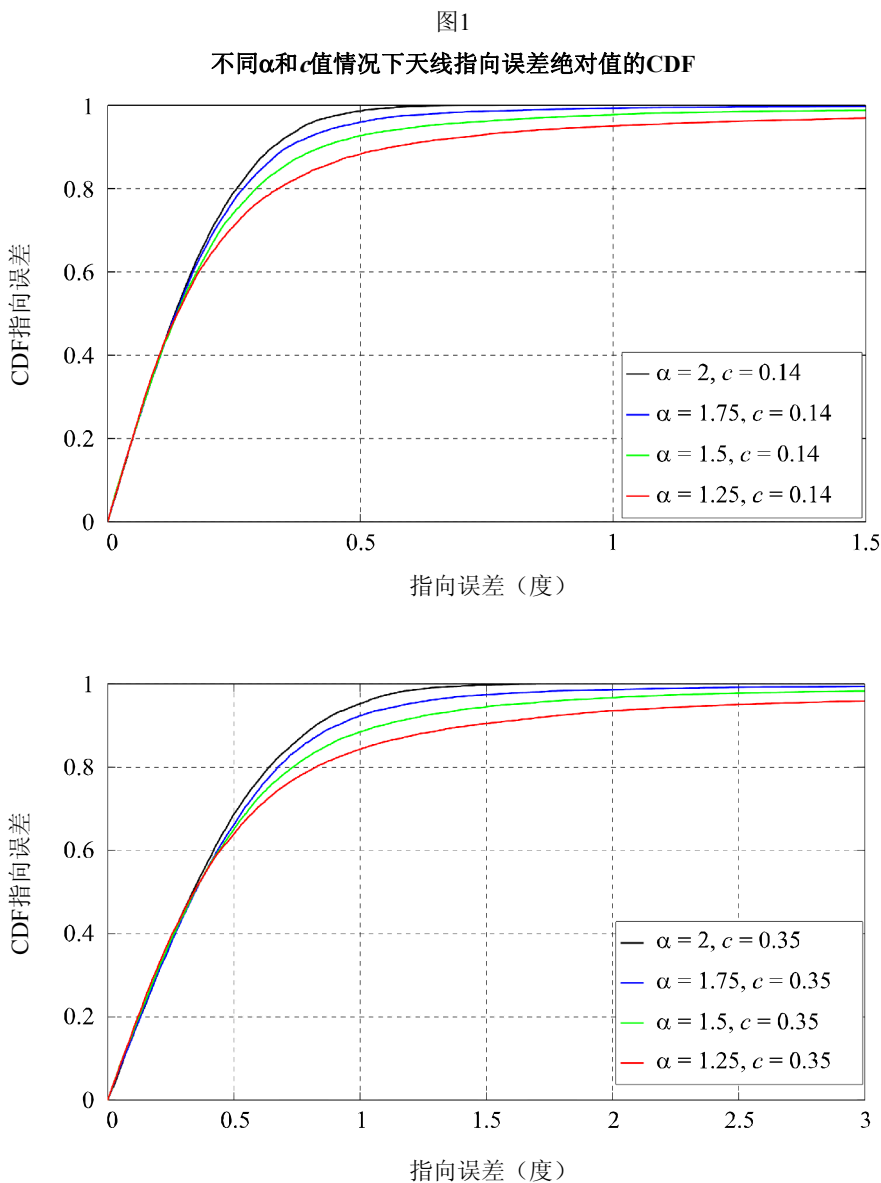
$$\psi(x) = e^{-|cx|^\alpha} \quad (1)$$

其中 $c > 0$ 是尺度参数或色散和 α ， $0 < \alpha \leq 2$ 是特性指数。分布之尾由 α 确定，数值越小，尾巴越长， c 与PDF的宽度成比例关系。请注意，当 $\alpha = 2$ 时，上述算式将给出高斯分布的特别情况，平均值为零，变量为 $2c^2$ 。图1显示了 $S\alpha S$ 分布在 $c = 0.14$ 和 0.35° 时的累计分布函数（CDF）以及 α 的不同值。可以看出，随着两个参数数值的变化，可以代表实际中可能遇到的多种类型的天线误差。

为制定运动导致的天线指向误差模型而选择 $S\alpha S$ 分布的直观判断如下文所述。所观测到的天线指向误差与很多参数相关，举例而言，天线特性、地形条件、天线平台速度、仰角和方位角、天线跟踪环、地点和位置估算量以及信号强度的测量数据。所有上述不同参数造成的误差可被认为相互独立。在此情况下，所生成的常用中值定理[1994年，Samorodnitsky和

¹ 视轴方向定义为天线增益最大的方向，是天线的轴。

Taqqu], 可用于为SoS分布造成的这些误差源的累计效应制定模型。请注意, 相似的中值定理一直用于长距离光纤链路, 以便为高斯分布的指向和跟踪误差建模[1989年, Chen和Gardner; 1996年, Correl]。然而, 与光应用不同的是, 本附件考虑的操作环境包括崎岖地形, 因此, 必须考虑具有长尾分布的各误差组成部分。



1857-01

3 离轴e.i.r.p.密度的统计特性

在前一节中, 天线指向误差被看作是随机变量, 这些随机的指向误差致使e.i.r.p.密度电平发生随机变化。在本节中, 离轴e.i.r.p.密度电平被看作是一个随机变量, 用来确定其CDF。

为确定离轴e.i.r.p.密度电平，为方便示意，考虑以下圆孔抛物面天线的归一化增益图 [2000年，Maral和Bousquet]：

$$G(\varphi) = \left(\frac{2^{n+1}(n+1)!J_{n+1}(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)}{(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)^{n+1}} \right)^2 \quad (2)$$

其中：

- φ : 离轴角
- J_{n+1} : 第一类贝塞尔函数 $(n+1)$ 阶
- d : 圆孔直径
- λ : 波长

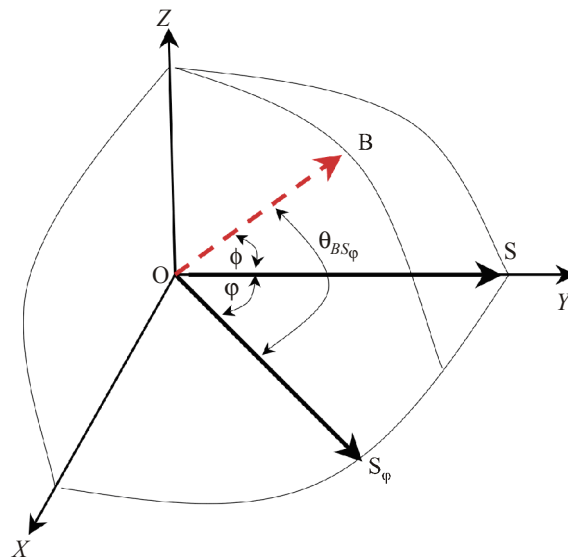
在上文中， n 是孔径示意参数，与以下孔径示意相对应：

- $n=0$ ，完美统一
- $n=1$ ，抛物面
- $n=2$ ，矩形抛物面

很多实际孔径系统的主瓣在归一化增益图之间，即 $n=1$ 和 $n=2$ 之间。请注意，实际天线的旁瓣可能无法用等式(2)准确表示。然而，这在分析中不会造成缺陷，因为，此项工作的重点在于超小孔径天线，其性能受到主瓣，而不是旁瓣的限制。

图2

表示天线方位误差 φ 的几何图形，表示方式如下：
地球站处于原点，O、S是预定卫星，OB是天线视轴方向， φ 是 S_φ 点的离轴角， θ_{BS_φ} 是视轴方向和 S_φ 方向之间的角距离



在出现天线指向误差时，考虑离轴e.i.r.p.密度电平 ϕ 。如第2节所述， ϕ 是天线视轴方向的误差。图2显示了在出现天线指向误差时天线视轴OB的几何图形。在此，地球终端处于O，S代表预定卫星的位置，因此，在没有指向误差的情况下，天线轴为OS。离轴角为 ϕ ，该方向显示为OS $_{\phi}$ 。在出现天线指向误差时，天线视轴和OS $_{\phi}$ 的角距离用 $\theta_{BS_{\phi}}$ 表示。注意，在没有天线指向误差 $\theta_{BS_{\phi}} = \phi$ 时，OS $_{\phi}$ 方向的离轴e.i.r.p.密度电平可表示为：

$$E_{\phi}(\phi) = E_B \left(\frac{2^{n+1}(n+1)!J_{n+1}(\pi d/\lambda \times \sin \theta_{BS_{\phi}})}{(\pi d/\lambda \times \sin \theta_{BS_{\phi}})^{n+1}} \right)^2 \quad (3)$$

其中 E_B 是视轴方向的e.i.r.p.密度。为确定 $E_{\phi}(\phi)$ 的CDF，有必要用可能的随机变量 ϕ_{ϵ} 和 ϕ_a 表示。注意， $\theta_{BS_{\phi}}$ 是 ϕ_{ϵ} 和 ϕ_a 的函数，使用图2中的几何图形，可用OB和OS $_{\phi}$ 方向的仰角和方位角表示如下：

$$\cos \theta_{BS_{\phi}} = \cos \epsilon_{BS_{\phi}}^{-} - (\cos \epsilon_{BS_{\phi}}^{+} + \cos \epsilon_{BS_{\phi}}^{-}) \times \sin^2 \frac{a_{BS_{\phi}}^{-}}{2} \quad (4)$$

其中 $\epsilon_{BS_{\phi}}^{-} = (\epsilon_B - \epsilon_{S_{\phi}})$ 和 $\epsilon_{BS_{\phi}}^{+} = (\epsilon_B + \epsilon_{S_{\phi}})$ 是OB和OS $_{\phi}$ 方向仰角之间的差与和，而 $a_{BS_{\phi}}^{-} = (a_B - a_{S_{\phi}})$ 是OB和OS $_{\phi}$ 方向方位角之间的差。对于地球终端位置的给定值和S和S $_{\phi}$ 点，可计算出以下仰角和方位角的函数： $\epsilon_{SS_{\phi}}^{-} = (\epsilon_S - \epsilon_{S_{\phi}})$ ， $\epsilon_{SS_{\phi}}^{+} = (\epsilon_S + \epsilon_{S_{\phi}})$ ，且 $a_{SS_{\phi}}^{-} = (a_S - a_{S_{\phi}})$ 。下一步，由于没有指向误差，天线视轴方向延OS方向， $\epsilon_B = (\epsilon_S - \phi_{\epsilon})$ 且 $a_B = (a_S - \phi_a)$ 。综合以下表达式：

$$\begin{aligned} \epsilon_{BS_{\phi}}^{-} &= (\epsilon_{SS_{\phi}}^{-} - \phi_{\epsilon}) \\ \epsilon_{BS_{\phi}}^{+} &= (\epsilon_{SS_{\phi}}^{+} - \phi_{\epsilon}) \\ a_{BS_{\phi}}^{-} &= (a_{SS_{\phi}}^{-} - \phi_a) \end{aligned} \quad (5)$$

对于地球终端和卫星S和S $_{\phi}$ 点的给定几何图形， $\epsilon_{SS_{\phi}}^{-}$ 、 $\epsilon_{SS_{\phi}}^{+}$ 和 $a_{SS_{\phi}}^{-}$ 的数量可以确定。之后，用等式(5)取代等式(4)， $\theta_{BS_{\phi}}$ 是仰角和方位角的误差函数，也是S和S $_{\phi}$ 点的预定仰角和方位角。

使用上述程序和等式(3)，离轴方向 ϕ 的e.i.r.p.密度电平 $E_{\phi}(\phi)$ 可用天线指向误差随机变量 ϕ_{ϵ} 和 ϕ_a 表示。 $E_{\phi}(\phi)$ 的PDF用 $f_{E_{\phi}}$ 表示。为方便示意， ϕ_{ϵ} 和 ϕ_a 的PDF用 $S\alpha S$ 分步表示， $f_{E_{\phi}}$ 可使用等式(3)、(4)和(5)加以确定。预期的PDF可使用分析手段或蒙特卡罗仿真确定。e.i.r.p.密度

的CDF为 $\Pr\{E_\phi(\phi) < y\} = F_{E_\phi}(y) = \int_0^y f_{E_\phi}(x) dx$ 。请注意，该CDF是视轴e.i.r.p.密度 E_B 的函数。

4 计算超出参考e.i.r.p.密度电平的概率

上一节介绍了确定离轴e.i.r.p.电平密度CDF的程序。使用该程序便可确定离轴e.i.r.p.密度电平超出某些参考门限电平的概率。用 $E_{Ref}(\phi)$ 表示该参考电平，通常它为 ϕ 的函数。e.i.r.p.密度电平超过离轴方向 ϕ 的参考电平的概率 $\Pr\{E_\phi(\phi) > E_{Ref}(\phi)\}$ ，表示如下：

$$\Pr\{E_\phi(\phi) > E_{Ref}(\phi)\} = \int_{E_{Ref}(\phi)}^{\infty} f_{E_\phi}(x) dx = 1 - F_{E_\phi}(E_{Ref}(\phi)) \quad (6)$$

这是通过 $E_{Ref}(\phi)$ 计算得出的离轴e.i.r.p.密度电平补充CDF（CCDF），是离轴角 ϕ 的函数、视轴e.i.r.p.密度 E_B 和以仰角和方位角 $\epsilon_{SS\phi}^+$ 、 $\epsilon_{SS\phi}^-$ 和 $a_{SS\phi}^-$ 的和与差表示的地球终端和卫星的位置。从直观的角度显然可以看出，通过减少 E_B ，上述概率可下降，表述该概率是有益的，使 E_B 成为一个明确参数。为达此目的，等式(3)可写为 $E_\phi(\phi) = E_B G(\theta_{BS\phi})$ ，其中 $G(\theta_{BS\phi})$ 是归一化天线增益图，因此， $G(0) = 1$ 。等式(6)的概率如下：

$$\Pr\{G(\theta_{BS\phi}) > E_{Ref}(\phi) / E_B\} = 1 - F_{G(\theta_{BS\phi})}(E_{Ref}(\phi) / E_B) \quad (7)$$

其中 $F_{G(\theta_{BS\phi})}$ 是 $G(\theta_{BS\phi})$ 的CDF，而不是 E_B 的函数。e.i.r.p.密度电平超出参考电平 $E_{Ref}(\phi)$ 的概率如上文所述。然而，这不能说明e.i.r.p.密度超出 $E_{Ref}(\phi)$ 的情况。这方面可通过审查离轴e.i.r.p.密度电平超出（ $\text{EIRP}_{excess} \times E_{Ref}(\phi)$ ）的概率加以解决，其中 $\text{EIRP}_{excess} \geq 1$ 是一个尺度因数。在等式(7)中使用该因数，所需要的概率如下：

$$\begin{aligned} \Pr\{E_\phi(\phi) > (E_{Ref}(\phi) \times \text{EIRP}_{excess})\} &= \Pr\{G(\theta_{BS\phi}) > E_{Ref}(\phi) \times \text{EIRP}_{excess} / E_B\} \\ &= 1 - F_{G(\theta_{BS\phi})}(E_{Ref}(\phi) \times \text{EIRP}_{excess} / E_B) \end{aligned} \quad (8)$$

上述概率是在 $(E_{Ref}(\phi) \times \text{EIRP}_{excess} / E_B)$ 的情况下计算得出的 $G(\theta_{BS\phi})$ 的CCDF。

计算等式(8)概率的程序如下：

第1步：这里的基本随机变量是天线指向误差组成部分 ϕ_e 和 ϕ_a ，为方便示意，其PDF在第2节中假设为已知。

第2步：对于已知的地球终端位置、卫星和离轴方向，仰角和方位角的和差 $\epsilon_{SS\phi}^+$ 、 $\epsilon_{SS\phi}^-$ 和 $a_{SS\phi}^-$ 按第3节所述加以计算。之后，在等式(5)中使用这些角，用等式(4)中的替代结果将 $\theta_{BS\phi}$ 表示为随机变量 ϕ_e 和 ϕ_a 。之后，使用 ϕ_e 和 ϕ_a 的PDF计算 $\theta_{BS\phi}$ 的PDF。利用等式(2)的关系，决定 $\theta_{BS\phi}$ 的PDF，然后用它计算随机变量 $G(\theta_{BS\phi})$ 的CCDF。

第3步：最后，使用 E_B 和 $e.i.r.p.excess$ 作为参数确定 $G(\theta_{BS\varphi})$ CCDF在等式(8)中所需要的概率。

5 限制离轴发射的示意性统计e.i.r.p.密度掩模

为限制离轴发射，在出现运动导致的天线指向误差时，可使用e.i.r.p.密度电平超出参考电平概率的上限。然而，显而易见的是，等式(8)计算得出的概率取决于地球终端和卫星的位置以及离轴角。由于地球终端可能位于地球表面的任何地方，最好使用与地球终端和卫星位置无关的函数限制离轴发射。理想的状况是，通过一个单一函数 $P_{max}(EIRP_{excess})$ 推导出一个概率 $\Pr\{E_\varphi(\varphi) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess})\}$ 的上限，该单一函数适用于地球表面任何地方和所有离轴角。所需要的概率函数 $P_{max}(EIRP_{excess})$ 限制离轴e.i.r.p.密度发射并构成有关e.i.r.p.密度电平的统计掩模。

为获得上述统计e.i.r.p.密度电平的统计掩模，考虑当 S 和 S_φ 位于GSO，而地球终端位于赤道并直接处于 S 下方的特殊情况。在此配置中， $\varepsilon_S = 90^\circ$ 、 $\varepsilon_{S\varphi} = (90^\circ - \varphi)^\circ$ 、 $a_S = 90^\circ$ 和 $a_{S\varphi} = 90^\circ$ 或 270° ，据此， $\varepsilon_{SS\varphi}^+ = (180 - \varphi)^\circ$ 、 $\varepsilon_{SS\varphi}^- = \varphi$ 和 $a_{SS\varphi}^- = 0^\circ$ 或 180° 。在等式(5)中使用这些表达式并替换等式(4)的结果， $\theta_{BS\varphi}$ 可写为：

$$\cos \theta_{BS\varphi} = \cos(\varphi - \phi_\varepsilon) - (\cos(\varphi - \phi_\varepsilon) - \cos(\varphi - \phi_\varepsilon)) \times \sin^2 \frac{\phi_a}{2} \quad (9)$$

使用上述 $\theta_{BS\varphi}$ 获得的 $G(\theta_{BS\varphi})$ 的CDF不是地球终端与卫星的具体仰角和方位角的函数，而是离轴角 φ 的函数。为推导出适用于所有离轴角的函数，在等式(8)考虑所有离轴角的最大概率。根据等式(8)，所希望的最大概率表示如下：

$$P_{E_B} = (EIRP_{excess}) = \max_{\varphi} \Pr \left\{ G(\theta_{BS\varphi}) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B) \right\} \quad (10)$$

上述超出概率的函数与地球终端或卫星的具体位置或具体离轴角无关，因此，该函数是示意性离轴e.i.r.p.密度掩模 $P_{max}(EIRP_{excess})$ 的适当替代。

为使用上述方法限制实际天线系统的e.i.r.p.密度发射，应将以下确定为操作限制：参考离轴e.i.r.p.密度电平 $E_{Ref}(\varphi)$ 和e.i.r.p.密度电平在所有离轴角上可能超出电平 $(E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess})$ 的最大概率 $P_{max}(EIRP_{excess})$ ，（这是离轴e.i.r.p.密度电平的示意性统计掩模。对于具体的天线系统，应了解以下各值：地球终端和有用卫星的归一化天线增益图、指向误差统计数据 and 位置。目的是确定天线系统视轴e.i.r.p.密度 E_B ，从而满足离轴e.i.r.p.密度电平的操作限制。这项工作通过在等式(8)中计算 E_B 的函数，即 $G(\theta_{BS\varphi})$ 的CCDF加以完成，然后确定 E_B 的适当值，从而使该CCDF获得一个上限 $P_{max}(EIRP_{excess})$ ，适用于所有 φ 和 $e.i.r.p.excess$ 的值。在等式(10)中使用概率函数限制实际天线系统中离轴e.i.r.p.密度电平的示意性分布方法见第7段。

为推导出有关e.i.r.p.密度电平的具体示意性统计掩模，为e.i.r.p.密度考虑以下参考电平：

$$E_{Ref}(\varphi)(\text{dBW}/40 \text{ kHz}) = \begin{cases} 25 - 25 \log(\varphi) & 2 \leq \varphi < 7 \\ 4 & 7 \leq \varphi < 9.2 \\ 28 - 25 \log(\varphi) & 9.2 \leq \varphi < 48 \\ -14 & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases} \quad (11)$$

这是ITU-R S.728建议书规定以及本建议书注1规定的离轴e.i.r.p.密度掩模。图3显示了等式(10)右侧（没有最大化） $\Pr\{G(\theta_{BS\varphi}) > (E_{Ref}(\varphi) \times \text{EIRP}_{excess} / E_B)\}$ 作为e.i.r.p. $_{excess}$ 和 E_B 固定值的 φ 的函数。注意，当e.i.r.p. $_{excess}$ 不同时，该概率的最大值随 φ 的不同数值上出现。图4显示了该最大值 $P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess})$ ，其中运动导致的天线指向误差组成部分 ϕ_e 和 ϕ_a 的PDF参数 α 和 c ，视轴e.i.r.p.密度为 E_B 。这里，假设上述两个随机变量分布相同且相互独立。对于等式(2)给出的天线图，以下代表值选择用于14 GHz频段的应用： $d = 0.51 \text{ m}$ 、 $n = 1$ 和频率 = 14.2 GHz。注意，对于较大的 α 值，天线指向误差的PDF尾巴较短，因此， $P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess})$ 将迅速衰减。此外，对于更小的 c 值，天线指向误差的PDF将更窄，从而导致 $P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess})$ 概率较低。显示，图4显示的曲线取决于 E_B ： E_B 值越小， $P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess})$ 的相应值亦越小。对于该图显示的曲线， E_B 设置为最大值，由此产生的 $P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess})$ 仅低于其对应于以下参数的值： $\alpha = 1.5$ 、 $c = 0.35^\circ$ 和 $E_B = 21.53 \text{ (dBW}/40 \text{ kHz)}$ 。下一节将探讨确定本图所示 E_B 具体数值的详细情况。

图 3

等式(10)的右边在不同 $e.i.r.p_{excess}$ 值(dB) 情况下 (不包括最大化), 作为离轴角 ϕ 。
 其它参数: $\alpha = 1.5$ 、 $c = 0.35^\circ$ 、
 $E_B = 21.53$ dBW/40 kHz、 $n = 1$ 和频率 = 14.2 GHz

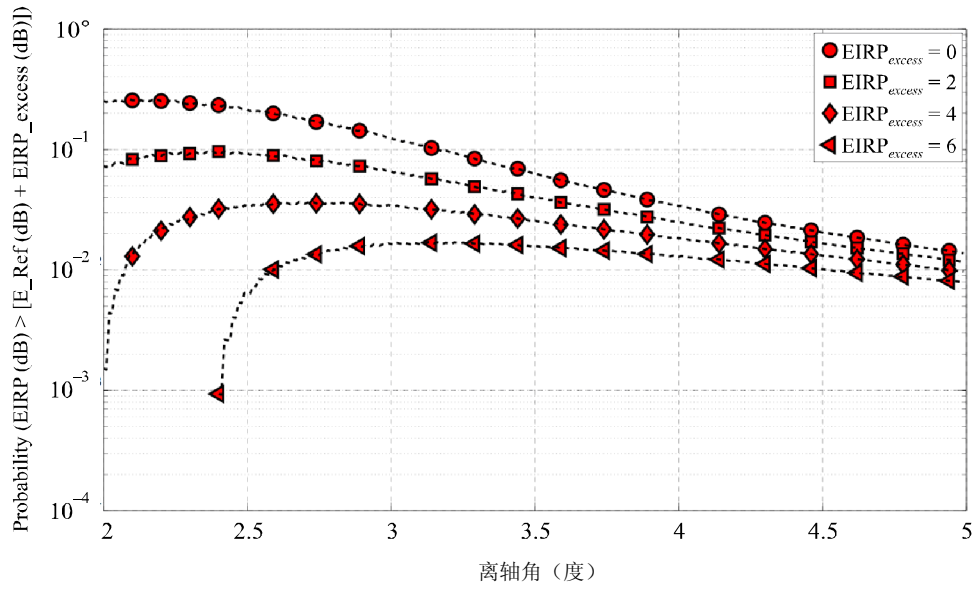
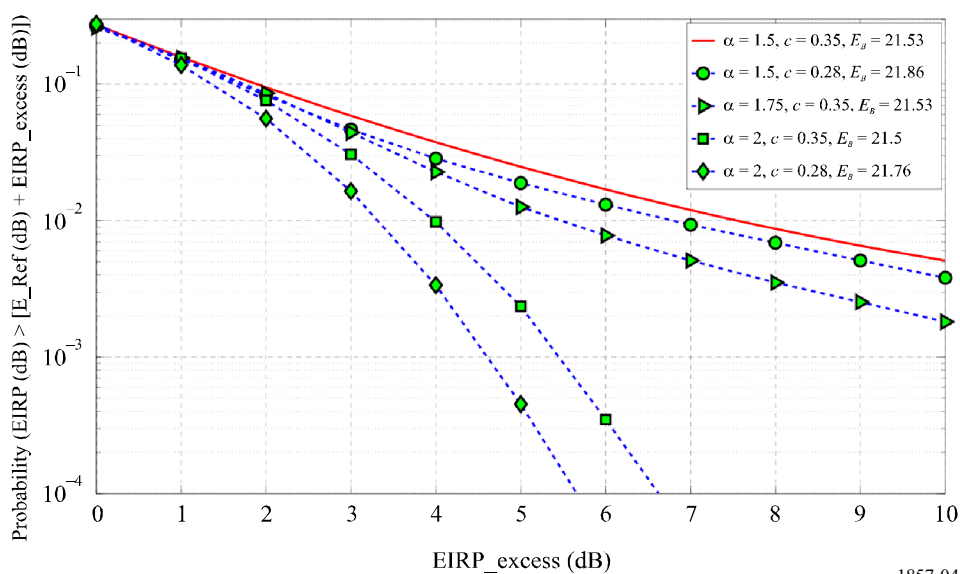


图 4

等式(10)给出的用于天线指向误差各组成部分的PDF的不同参数的 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{\text{excess}})$ 。
图例表示 α 、 c (度) 和 E_B (dBW/40 kHz)



1857-04

图4显示的曲线都是离轴e.i.r.p.密度示意性统计掩模的适当替代。在此附件中。此图的上曲线对应于参数 $\alpha = 1.5$ 、 $c = 0.35^\circ$ 以及 $E_B = 21.53$ (dBW/40 kHz)，该曲线被选作e.i.r.p.密度 P_{max} ($\text{EIRP}_{\text{excess}}$)的示意性统计掩模。选择该曲线的原因是，一些测量结果显示，这些参数值 (α 和 c) 代表典型的操作地形条件和车速。确定 E_B 值的过程见第6节。上述示意性统计离轴e.i.r.p.密度掩模可采用以下表达式得到近似值：

$$P_{max}(x) = \exp(0.016x^2 - 0.561x - 1.297) \quad 0 \leq x \leq 10 \quad (12)$$

其中 $x = \text{e.i.r.p.}_{\text{excess}}$ (dB)。为使天线系统符合示范掩模，按照等式(10)所计算的该天线系统的概率 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{\text{excess}})$ 应低于 $P_{max}(\text{EIRP}_{\text{excess}})$ ，即：

$$\max_{E_B} P_{E_B}(\text{EIRP}_{\text{excess}}) \leq P_{max}(10 \times \log_{10}(\text{EIRP}_{\text{excess}})) \quad 1 \leq \text{EIRP}_{\text{excess}} \leq 10 \quad (13)$$

其中最大值超过 E_B 。从图4的曲线中可以看出，所示掩模 $P_{max}(\text{EIRP}_{\text{excess}}(\text{dB}))$ 可通过具有不同值参数 α 和 c 但 E_B 电平适当的天线系统加以满足。

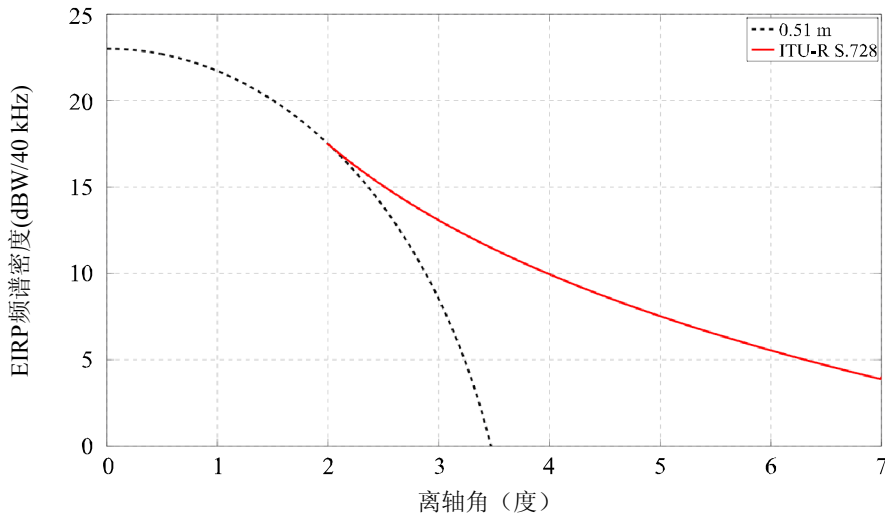
6 计算视轴e.i.r.p.密度

从前一节的推导中可以看出，视轴e.i.r.p.密度 E_B 对于确定车载终端的性能具有重要意义。注意，等式(10)给出的概率函数对视距e.i.r.p.密度施加了限值。此外，加强视轴e.i.r.p.密度便加大了对邻近卫星的干扰。附件2详细分析了这些终端产生的干扰。有用视轴e.i.r.p.密度

电平必须满足两项互为矛盾的需求：发射充足的功率以支持合理的数据速率，同时，确保所造成的干扰是邻近卫星运营商可接受的。车载地球站发射适当数据速率所需要的 E_b 值可通过与相应的静态地球终端数值相比较加以确定。图5显示出ITU-R S.728建议书确定的静态地球终端的e.i.r.p.密度掩膜，用等式(11)表示。该图亦显示出对应于孔径直径为 $d = 0.51$ m的天线的离轴e.i.r.p.密度最大值。该离轴e.i.r.p.密度电平是通过将 E_b 逐步提高至所得到的离轴e.i.r.p.密度图仅在ITU-R S.728规定的掩膜之下获得的。显然，满足掩膜的 E_b 值随着天线孔径直径的加大而提高，当 $d = 0.51$ m时， $E_B = 23$ dB(W/40 kHz)。

图 5

按照ITU-R S.728建议书得出的视轴e.i.r.p.密度最大值，
参数： $d = 0.51$ m, $n = 1$, 频率 = 14.2 GHz



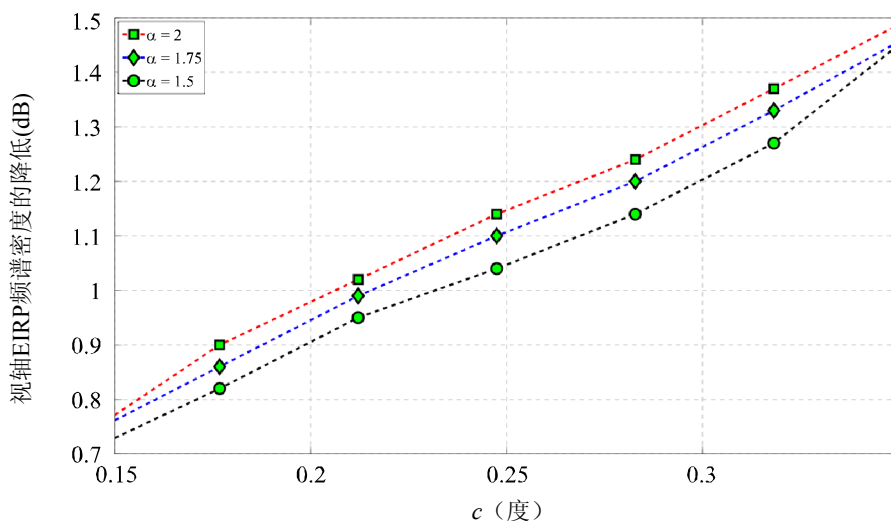
1857-05

图5所示结果代表没有天线指向误差的情况。当离轴e.i.r.p.密度浮动造成天线指向误差时，视轴e.i.r.p.密度必须降低。在前一节中，某个天线系统的示意性统计的e.i.r.p.密度掩膜通过等式(12)确定。满足该统计掩膜的 E_b 有用值通过将该值增加至 $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ 恰好达到等式(13)右边给出的最大值时加以确定。

图6显示了为实现等式(12)确定的示范掩膜所需要的视轴e.i.r.p.密度的降低，以使天线指向误差考虑在内。对于 α 的固定值， c 值越大，指向误差越大，这将进一步降低视轴e.i.r.p.密度。从该图可以看出，为将天线指向误差考虑在内，有必要略微减少视轴e.i.r.p.密度，举例而言，当 $\alpha = 1.5$ 且 $c = 0.2$ 度时，密度降低0.9dB，而当 $\alpha = 1.5$ 且 $c = 0.35$ 度时，密度降低程度增加至1.45dB。

图 6

为满足等式(12)中示意性统计掩膜 $P_{max}(EIRP_{excess})$
必须降低的视轴e.i.r.p.密度



1857-06

7 确定视轴e.i.r.p.密度的示意性方法以符合示范统计e.i.r.p.密度掩膜

该节介绍了确定是否符合第5节等式(12)规定的示意性统计离轴e.i.r.p.密度掩膜的方法。具体而言，对于一组给定的仰角和方位角误差，该方法显示如何计算天线系统的视轴e.i.r.p.密度最大值。示意性方法如下：

7.1 计算输入

- 仰角和方位角误差的代表性样本值为 $\phi_\varepsilon(m)$ 和 $\phi_a(m)$, $m = 1, 2, \dots, M$, 其中M是样本尺寸。这些应对应于实时测量数据或从样本路径收集的数据，这些样本通道与终端将运行的通道具有类似特性。假设样本尺寸M已足够大，使用这些样本计算的统计量可用来合理估算预期统计值。
- 假设有用卫星S的仰角和方位角分别为 ε_s 和 a_s ，在 S_φ 方向的仰角和方位角分别为 ε_{s_φ} 和 a_{s_φ} ，图2显示出S和 S_φ 的相关几何图形。在此， S_φ 可位于GSO任何一点，而 φ 是一个变量。
- 在天线 $G(\varphi)$ 的归一化天线图中， φ 是离轴角，为方便示意，假设天线图在视轴方向是对称的。
- 统计离轴e.i.r.p.密度掩膜见等式(12)。

7.2 估算 $G(\theta_{BS\varphi})$ 的CDF

e) 使用上述a)和b), 计算视轴和 S_φ 方向各仰角之和 $\varepsilon_{BS\varphi}^+$, 这些方向中的仰角和方位角之差 $\varepsilon_{BS\varphi}^-$ 和 $a_{BS\varphi}^-$ 。使用等式(5), 计算结果如下:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{BS\varphi}^-(m) &= (\varepsilon_S - \varepsilon_{S_\varphi} - \phi_\varepsilon(m)) \\ \varepsilon_{BS\varphi}^+(m) &= (\varepsilon_S + \varepsilon_{S_\varphi} - \phi_\varepsilon(m)) \\ a_{BS\varphi}^-(m) &= (a_S - a_{S_\varphi} - \phi_a(m))\end{aligned}$$

其中, 对样本指数 m 的依赖性显示明显。注意, $\varepsilon_{BS\varphi}^-(m)$ 、 $\varepsilon_{BS\varphi}^+(m)$ 和 $a_{BS\varphi}^-(m)$ 是离轴角 φ 的函数。

f) 在等式(4)中替换上述值, 计算视轴和 S_φ 方向之间的角 $\theta_{BS\varphi}(m)$ 。根据等式(4):

$$\theta_{BS\varphi}(m) = \cos^{-1} \left(\cos \varepsilon_{BS\varphi}^-(m) - \left(\cos \varepsilon_{BS\varphi}^+(m) + \cos \varepsilon_{BS\varphi}^-(m) \right) \times \sin^2 \frac{a_{BS\varphi}^-(m)}{2} \right)$$

g) 通过使用c)中的天线增益图和上述计算得出的 $\theta_{BS\varphi}(m)$ 确定 S_φ 方向的天线增益 $G(\theta_{BS\varphi}(m))$ 。注意, $G(\theta_{BS\varphi}(m))$ 可被认为是 M 样本的随即变量, 它是离轴角 φ 的函数。

h) 使用g)计算得出的 M 样本估算 $G(\theta_{BS\varphi})$ 、 $F_{G(\theta_{BS\varphi})}$ 的CDF。注意, 由于 $F_{G(\theta_{BS\varphi})}$ 是 φ 的函数, 必须为每一个变量 φ 值计算CDF。

7.3 计算符合示范统计掩膜的 E_B 最大值

i) 为 $EIRP_{excess}$ 、 $1 \leq EIRP_{excess} \leq 10$ 和 E_B 、 $(E_{B,max} - \Delta E_B) \leq E_B \leq E_{B,max}$ 选择是当值, 使用h)段估算得出的CDF, 在等式(8)中为每个 φ 值确定概率, 在此, $E_{B,max}$ 是在无天线指向误差情况下的最大视轴e.i.r.p.密度, 而 ΔE_B 指因天线指向误差造成的视轴e.i.r.p.密度的降低, 为方便示意, 将 ΔE_B 设置为 $\Delta E_{B,max}/2$ 。

注意, 应为所有与 $EIRP_{excess}$ 和 E_B 相关的数值确定等式(8)。然而, 如知道视轴e.i.r.p.密度的下降有限, 该计算可通过限制 E_B 值的范围加以简化。图6显示出第6段所考虑的具体系统参数下 E_B 值的减少情况。举例而言, 由于减少有限, $\Delta E_B = \Delta E_{B,max}/3$ 的值对于相关系统参数而言是合适的。

j) 对于 $E_{IRP_{excess}}$ 和 E_B 的固定值,使用等式(10)给出的代表式确定 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{excess})$,这是当 φ 为变量时通过i)段计算得出的最大概率值。 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{excess})$ 的代表式表示如下:

$$P_{E_B} = (E_{IRP_{excess}}) = \max_{\varphi} \Pr \left\{ G(\theta_{BS_{\varphi}}) > (E_{Ref}(\varphi) \times E_{IRP_{excess}} / E_B) \right\}$$

注意,当 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{excess})$ 作为 $E_{IRP_{excess}}$ 固定值的 E_B 函数时,它是 E_B 的非下降函数。

k) 最后,确定 E_B 的最大值,使 $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{excess})$ 对 $E_{IRP_{excess}}$ 范围内所有值而言小于等式(12)中的示范掩膜, E_B 的有用值满足等式(13),表示如下:

$$\max_{E_B} P_{E_B}(E_{IRP_{excess}}) \leq P(10 \times \log_{10}(E_{IRP_{excess}})) \quad 1 \leq E_{IRP_{excess}} \leq 10$$

请注意,上述方法仅用于示意,不得被认为是计算 E_B 值的唯一方法。

参考资料

- CHEN, C.-C. and GARDNER C.S., [March 1989] Impact of Random Pointing and Tracking Errors on the Design of Coherent and Incoherent Optical Intersatellite Communication Links, *IEEE Trans. Comm.* Vol. **37**, **3**, p. 252-260.
- CORRELL, C., [1996] A Mathematical Model Describing the Effects of Pointing and Tracking Errors Due to "Mechanical Noise" in Coherent Optical Intersatellite Links, *Inter. J. Sat. Comm.* Vol. **14**, p. 37-51.
- MARAL, G. and BOUSQUET M., [2000] *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*, John Wiley & Sons.
- SAMORODNITSKY, G. and TAQQU M.S., [1994] *Stable Non-Gaussian Random Processes: Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman & Hall/CRC.
- SHAO, M. and NIKIAS C.L., [July 1993] Signal Processing with Fractional Lower Order Moments: Stable Processes and Their Applications. *Proc. IEEE*, Vol. **81**, **7**, p. 986-1010.

附件2

评估因车载平台移动造成的
指向误差导致的地球站离轴e.i.r.p.变量
产生的干扰电平方法

1 引言

车载平台上终端的离轴e.i.r.p.密度电平随时间发生变化，因此会对邻近对地静止卫星信号产生时变干扰。本附件提供了分析和量化因车载地球站产生的时变干扰的方法。这种因时变源产生的干扰效应已在ITU-R S.1323建议书有所阐述，该建议书亦规定了短期干扰电平的最大允许时间。本附加按照ITU-R S.1323建议书确定的指南制定了分析因车载终端时变天线指向误差导致的干扰的方法。该方法对于确定适当的终端视轴e.i.r.p.密度电平，从而使其符合对其他卫星系统的干扰允许水平并满足上述系统各项性能指标而言是非常有益的。

2 干扰评估标准

FSS系统性能严重依赖于其他系统的干扰情况。ITU-R S.1432建议书概括了其他ITU-R建议书所涉及的各种干扰考虑。相关ITU-R建议书中使用的干扰标准基于长时间范围内和短期间隔内可容忍的干扰量。前者被称为长期标准，因为干扰指在相当长时间内的平均值。后一个标准规定了短期间隔内的干扰量。这些间隔中的干扰一般随时间而变化，因此通常采用概率分布表示

ITU-R S.1323建议书探讨了时变干扰的影响并确定了不同干扰源产生的最大允许干扰电平。然而，在此建议书中，没有具体的涉及因GSO.VMES产生的时变干扰所造成的FSS网络链路不可用性的比例情况。因GSO/VMES干扰造成的不可用性的时间容量只是一个示范值。该方法可按照各主管部门之间达成的协议使用任何比例或在未来ITU-R建议书中加以规定。一个基本假设就是，卫星链路在设计时有充足的链路余度以便考虑到传播损坏，如因衰减造成的信号衰减、接收噪音变化和来自于其他卫星网络的长期干扰影响。为考虑到这些衰减的影响，卫星链路性能指标用比特误差率或载噪功率（ C/N ）比的中断值表示。举例而言，在一组（ C/N ）比给定的情况下，相应的中断允许时间对， $\{(C/N)_i, p_i \%\}$ 、 $i = 1, 2, \dots, I$ ，（ C/N ）比应小于 $(C/N)_i$ （仅在 $p_i \%$ 的时间内（任何月））。

根据ITU-R S.1323建议书，传播影响因传播影响所造成的链路不可用性不得超过90%。因此，上述说法可修改如下：在没有时变干扰情况下计算得出的（ C/N ）比最多在 $p_i \% \times 90\%$ 的时间范围内低于 $(C/N)_i$ 。链路不可用允许时间的其余10%分配给因在同一频段内运行的所有其他卫星的地球和空间电台发射所造成的时变干扰产生的其他衰减。因此，按规定，在没有传播效应情况下计算得出的总体（ C/N ）比和时变干扰仅在 $p_i \%$ 时间范围内小于 $(C/N)_i$ 。

本文件涉及因时变天线指向误差导致对邻近卫星系统造成的干扰增加问题。干扰是由具有相同特性的终端造成的，但该终端工作在静止环境内，没有天线指向误差。假设在此静止情况下，终端符合ITU-R.S.728建议书规定的离轴e.i.r.p.发射掩膜并满足相关建议书中规定的多种干扰要求。长期干扰的增加可通过计算在 T_{avg} 范围内出现的时变天线指向误差造成的干扰平均值并将此结果与在静止状态下的数值相比较加以确定。长期干扰参数 T_{avg} 应代表足够长的时间段，使其包含典型的干扰信号时间变化。在此情况下，干扰电平可通过终端的视轴e.i.r.p.密度加以控制。该方法的详情见第4段。

为满足短期目标，可使用ITU-R S.1323建议书中的方法。然而，应注意的是，该建议书是针对因非GSO系统造成的时变干扰而制定的。这一点在本建议书的注1中特别得到强调。注1指出，上述因干扰源造成10%的链路中断的说法不适用于GSO FSS系统之间的干扰。因此，由于本文件涉及的是源自GSO FSS系统的干扰，因时变干扰造成的链路中断分配到的允许时间用参数 $T_{allow}\%$ 表示，而不是按照ITU-R S.1323建议书规定的10%。本文件的目标是评估时变干扰对静止情况造成的影响，其中包括在没有时变天线指向误差情况下的传播影响和干扰。

因此，评估时变干扰影响的参考案例是静止情况。请注意，ITU-R S.1323建议书中的相应参考情况是当衰减仅由传播影响造成的情况。那么，性能指标是，在静止状态中，链路中断分配到的允许时间最多为 $(100 - T_{allow})\%$ 。使用前面的表达式，用传播效应计算的 (C/N) 比和静止情况下的干扰最多在 $p_i\% \times (100 - T_{allow})\%$ 的时间范围内小于 $(C/N)_i$ 。因此，在有时变天线指向误差情况下计算得出的总体 (C/N) 比和传播效应按规定在 $p_i\%$ 的时间范围内小于 $(C/N)_i$ 。如长期干扰情况一样，天线的视轴e.i.r.p.密度可控制链路中断情况，这方面内容详见第4节。

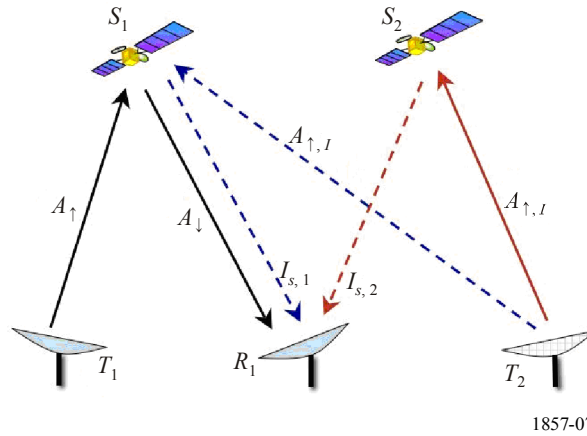
3 干扰分析的参考框架

本节提供了用来评估干扰的参考框架，列举了以下等式中使用的参数和表示法。

图7显示了有用和干扰卫星网络。有用卫星称为 S_1 ，其发射和接收终端分别称为 T_1 和 R_1 。干扰终端为 T_2 ，其目标卫星为 S_2 。如图7所示，受影响的接收机 R_1 从卫星 S_1 和 S_2 中接收信号。

图 7

有用和干扰卫星网络，终端 T_1 、 R_1 和 S_1 在有用网络中，
终端 T_2 和卫星 S_2 在干扰网络中



1857-07

以下是本建议书采用的参数和表示法：

- φ : 在没有天线指向误差情况下从 T_2 到 S_1 的离轴角
- θ : 从 R_1 到 S_2 的离轴角
- A_{\uparrow} : 从 T_1 到 S_1 上行链路的雨衰
- A_{\downarrow} : 从 S_1 到 R_1 下行链路的雨衰
- $A_{\uparrow,I}$: 从干扰源 T_2 到 S_1 或 S_2 上行链路的雨衰
- B_s : 静止情况下视轴方向的 e.i.r.p. 密度 (W/Hz)，是在没有时变天线指向误差情况下 T_2 的值。在此，视轴方向天线增益最高。
- B_i : 在有时变天线指向误差情况下视轴方向 T_2 的 e.i.r.p. 密度 (W/Hz)。请注意，该参数对应于等式(3)中的 E_B
- ΔB : 视轴 e.i.r.p. 密度的降低， $\Delta B = B_s/B_i$
- $(C/N)_{cs}$: 在晴朗天空条件下 R_1 的载噪功率比。 C 是 R_1 从 T_1 接收到的有用载波功率。
- $(C/N)_s$: 静止情况下 R_1 的 (C/N) 比，它是在没有时变天线指向误差情况下因雨衰和来自 T_2 的干扰造成的。
- $(C/N)_i$: 因雨衰和由于时变天线指向误差从 T_2 产生的干扰造成的 R_1 (C/N) 比
- $G_1(\theta)$: 在离轴方向 θ R_1 天线归一化定向增益 ($G_1(0) = 1$)
- $G_2(\varphi)$: 在离轴方向 φ T_2 天线的归一化定向增益 ($G_2(0) = 1$)。请注意，该参数对应于附件1等式(2)中的 $G(\varphi)$
- $G_{2,i}(\varphi)$: 在有时变天线指向误差的情况下 φ 方向 T_2 天线的归一化指向增益
- G_{S1} : 在 S_1 . (e.i.r.p. at S_1 toward R_1) = (power flux-density from T_2) $\times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_{S1}$ 情况下的小信号增益， λ 为上行链路波长

- G_{S2} : 在 S_2 . (e.i.r.p. at S_2 toward R_1) = (power flux-density from T_2) $\times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_{S2}$ 情况下的
小信号增益, λ 为上行链路波长
- $(G/T)_1$: R_1 接收天线增益噪声温度
- $(G/T)_{S1}$: 当接收方向面对 T_2 时, S_1 的接收天线增益噪声温度
- $(G/T)_{S2}$: 当接收方向面向 T_2 时, S_2 的接收天线增益噪声温度
- $I_{s,1}$: 在有时变天线指向误差时 R_1 通过 S_1 从 T_2 接收到的干扰功率
- $I_{s,2}$: 在有时变天线指向误差时 R_1 通过 S_2 从 T_2 接收到的干扰功率
- $I_{i,1}$: 在有时变天线指向误差时 R_1 通过 S_1 从 T_2 接收到的干扰功率
- $I_{i,2}$: 在有时变天线指向误差时 R_1 通过 S_2 从 T_2 接收到的干扰功率
- k : 波耳兹曼常数 1.38×10^{-23} J/K
- $\log(X)$: $\log_{10}(X)$
- L_u : 从 T_2 至 S_1 或 S_2 的上行链路损耗 (晴朗天空)
- L_d : 从 S_1 或 S_2 至 R_1 的下行链路损耗 (晴朗天空)
- N_{\downarrow} : R_1 的接收噪声功率, 对应于噪声温度 T_{\downarrow}
- N_{\uparrow} : R_1 从 S_1 接收到的噪声功率
- $N_{\uparrow,2}$: R_1 从 S_2 接收到的噪声功率
- N_r : 因雨温度 T_r (下行链路) 接收机 R_1 的雨 (天空) 噪声
- $p_X(x)$: X 的概率密度函数(pdf)
- $P_X(x) = \Pr\{X \leq x\}$: X 的累积分布函数(cdf)
- \bar{X} : 用 dB表示的变量 $10 \log_{10} X$
- $\langle X \rangle$: 随机变量 X 的平均值
- Z_s : $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$, 因雨衰和来自终端 T_2 静态干扰影响造成的(C/N)比的衰减
- Z_t : $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$, 因雨衰和来自终端 T_2 时变干扰影响造成的(C/N)比的衰减

4 短期干扰效应：(C/N)比的衰减

本节计算了因雨衰和来自 T_2 的干扰造成的(C/N)比的衰减。这里考虑的雨衰将对接收到的(C/N)比带来统计变量²，在没有时变天线指向误差的情况下，雨衰和来自 T_2 的干扰在计算 Z_s (R_1 的(C/N)比的衰减)的cdf时得到考虑。具体内容见第4.1段。此外，时变天线指向误差出现在 T_2 ，由此确定 R_1 的(C/N)比的衰减(用 Z_i 表示)。这些cdf之后用于计算因时变天线指向误差造成的链路不可用性的相对增加情况。该内容见第4.2段。

本节提供的分析假设，受到影响的接收机仅受到邻近一颗卫星的干扰。如来自其它邻接卫星的干扰性不可忽视，亦应采用同样的方式加以考虑。

4.1 静止情况：没有时变天线指向误差情况下的发射终端 T_2

对于图1所示卫星网络， R_1 的晴朗天空载噪功率比为：

$$(C/N)_{CS} = \frac{C}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + I_{S,1} + I_{S,2} + N_{\uparrow,2}} \quad (14)$$

在此，干扰期 $I_{s,1}$ 和 $I_{s,2}$ 是由于以视轴e.i.r.p.密度 B_s 发射的 T_2 造成的，这是在没有时变天线指向误差的静止情况。当 T_2 为小孔径终端时，可以假设， B_s 符合ITU-R S.728建议书给出的离轴e.i.r.p.掩模和相关干扰建议书。请注意，在等式(14)中， $N_{\uparrow} + I_{s,1}$ 来自于 S_1 ，而 $I_{s,2} + N_{\uparrow,2}$ 来自于 S_2 。在出现上行链路和下行链路有用信号雨衰时，(C/N)比为：

$$(C/N)_S = \frac{C/A_{\uparrow} A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_r(1-1/A_{\downarrow}) + (I_{S,1} + I_{S,2})/(A_{\uparrow,I} A_{\downarrow}) N_{\uparrow,2}/A_{\downarrow}} \quad (15)$$

在此，假设卫星 S_1 和 S_2 非常靠近，致使这些卫星的上行链路雨衰元素非常接近。同样，假设，从 S_1 和 S_2 到 R_1 的下行链路雨衰元素非常接近。当 S_1 和 S_2 不靠近时，这些假设可能不成立。在这种情况下，相关雨衰内容的相关性应考虑在内。请注意，分母中 $N_r(1-1/A_{\downarrow})$ 、($A_{\downarrow} \geq 1$)表示由于雨温度 T_r 造成的额外接收机噪声。

据此，在出现上行链路和下行链路雨衰的情况下，(C/N)比的衰减可表示为：

$$Z_s = (A_{\uparrow}/A_{\uparrow,I}) \times (A_{\downarrow} A_{\uparrow,I} d_1 + A_{\uparrow,I} d_2 + d_3) \quad (16)$$

² 卫星链路在设计时通常在链路中留有衰减余度以容纳这种衰减。

其中链路变量 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 d_1 、 d_2 和 d_3 定义如下：

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{I_{s,2}}{I_{s,1}}; c_2 = \frac{I_{s,1}}{N_{\uparrow}}; c_3 = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}}; c_4 = \frac{N_r}{N_{\downarrow}}; c_5 = \frac{N_{\uparrow,2}}{I_{s,2}} \\ d_1 &= \frac{1 + c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ d_2 &= \frac{c_1 c_2 c_3 c_5 + c_3 - c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ d_3 &= \frac{c_1 c_2 c_3 + c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \end{aligned} \quad (17)$$

这些变量可在给定一组链路变量的情况下加以确定，具体而言：

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{G_2(0)}{G_2(\varphi)} \frac{G_{S2}}{G_{S1}} \frac{G_1(\theta)}{G_1(0)} \\ c_2 &= \frac{B_s G_2(\varphi) (G/T)_{S1}}{k L_u} \\ c_3 &= \frac{(G/T)_1 G_{S1}}{(G/T)_{S1} L_d} \\ c_4 &= \frac{T_r}{T_{\downarrow}} \\ c_5 &= \frac{k L_u}{B_s G_2(0) (G/T)_{S2}} \end{aligned} \quad (18)$$

其中，为简化表达式，假设在没有雨衰的情况下，从 T_2 至卫星 S_1 和 S_2 的上行链路传播损耗相同。对于从卫星 S_1 和 S_2 到 R_1 的下行链路传播损耗可以做出类似假设。

在等式(16)中得出 Z_s 的对数：

$$\bar{Z}_s = \bar{A}_{\uparrow} - \bar{A}_{\uparrow,l} + 10 \log \left(10^{(\bar{A}_{\downarrow} + \bar{A}_{\uparrow,l})/10} d_1 + 10^{(\bar{A}_{\uparrow,l})/10} d_2 + d_3 \right) \quad (19)$$

当上行链路雨衰元素 $\bar{A}_{\uparrow,l}$ 被忽略时，即 $\bar{A}_{\uparrow,l} = 0$ 时，在此特殊情况下确定用于分析使用的 \bar{Z}_s 的cdf相比较容易。请注意，只有在为分析而简化时才考虑这种特殊情况。在更加广泛的情况下雨衰元素不得忽略。在此情况下，衰变的cdf可表示如下：

$$P_s(\bar{z}) = \Pr(\bar{Z}_s \leq \bar{z}) = \iint_{R_{\bar{z}}} p_{\bar{A}_{\downarrow}}(u) p_{\bar{A}_{\uparrow}}(v) \, dv \, du$$

其中积分区域的情况是，对于 $\bar{A}_{\downarrow}, \bar{A}_{\uparrow} \in R_{\bar{z}}$ ， \bar{Z}_s 的值满足 $\bar{Z}_s \leq \bar{z}$ 。在上述情况下，假设雨衰元素 \bar{A}_{\downarrow} 和 \bar{A}_{\uparrow} 相互独立。

由于 \bar{z}_s 仅是 $\bar{A}_\downarrow (\geq 0)$ 和 $\bar{A}_\uparrow (\geq 0)$ 的递增函数， $R_{\bar{z}}$ 区可表示为用 $0 \leq \bar{A}_\uparrow \leq \bar{z} - 10 \log(10^{\bar{A}_\downarrow/10} d_1 + d_2 + d_3)$ 和 $0 \leq \bar{A}_\downarrow \leq 10 \log((10^{\bar{z}/10} - d_2 - d_3)/d_1)$ 限制的区域。

之后，求上述积分的数值：

$$\begin{aligned} p_s(\bar{z}) &= \iint_{R_{\bar{z}}} p_{\bar{A}_\downarrow}(u) p_{\bar{A}_\uparrow}(v) dv du \\ &= \int_{u=0}^{u'} p_{\bar{A}_\downarrow}(u) \int_{v=0}^{u=\bar{z}-10 \log(10^{u/10} d_1 + d_2 + d_3)} p_{\bar{A}_\uparrow}(v) dv du \\ &= \int_{u=0}^{u'} p_{\bar{A}_\downarrow}(u) p_{\bar{A}_\uparrow}(\bar{z} - 10 \log(10^{u/10} d_1 + d_2 + d_3)) du \end{aligned} \quad (20)$$

其中 $u' = 10 \log((10^{\bar{z}/10} - d_2 - d_3)/d_1)$ 。

4.2 没有时变天线指向误差情况下的发射终端 T_2

在此情况下，发射终端 T_2 出现时变天线指向误差。为限制因天线指向误差造成的额外干扰，视轴 e.i.r.p. 密度必须从 B_s 减少到 B_t 。在出现雨衰和时变天线指向误差时 (C/N) 比按照等式(2)得出：

$$(C/N)_t = \frac{C/A_\uparrow A_\downarrow}{N_\downarrow + N_\uparrow/A_\downarrow + N_r(1-1/A_\downarrow) + (I_{t,1} + I_{t,2})/(A_{\uparrow,I} A_\downarrow) + N_{\uparrow,2}/A_\downarrow} \quad (21)$$

其中时变干扰时段 $I_{t,1}$ 和 $I_{t,2}$ 可表示为其在静止情况下相应值的分数：

$$\begin{aligned} \frac{I_{t,1}}{I_{s,1}} &= \frac{B_t G_{2,t}(\varphi)}{B_s G_2(\varphi)} \\ \frac{I_{t,2}}{I_{s,2}} &= \frac{B_t G_{2,t}(0)}{B_s G_2(0)} \end{aligned} \quad (22)$$

上述天线增益因子 G_2 和 $G_{2,t}$ 可通过对天线增益图的了解获取，如归一化天线增益图可表示为：

$$G(\varphi) = \left(\frac{2^{n+1} (n+1)! j_{n+1}(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)}{(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)^{n+1}} \right) \quad (23)$$

其中 φ 是离轴角， J_{n+1} 是第一类巴塞尔函数和 $(n+1)$ 阶， d 是圆孔直径，而 λ 是波长。在此， n 是天线孔径照射参数，对应于以下孔径照射： $n=0$ ，完全统一； $n=1$ ，抛物面； $n=2$ ，矩形抛物面。很多实际孔径系统的旁瓣在增益图之间，对应于 $n=0$ 和 $n=2$ 。请注意，实际天线的旁瓣用等式(23)不能得到准确表示。

在没有指向误差的情况下，天线增益因子按照等式(22)使用的表示法为 $G_2(\varphi) = G(\varphi)$ 。在有天线指向误差的情况下，天线视轴方向的误差可通过用 ϕ_e 和 ϕ_a 表示的仰角和方位角误差显示特性。那么，所需要的角误差，也就是天线视轴方向和从 T_2 到 S_1 方向的角误差可用 $\Phi(\varphi, \phi_e, \phi_a)$ 表示，其中 Φ 的函数可用具体的几何图形表示，见附件1第3节。等式(22)的天线增益因数表示如下：

$$I_{t,1} \leq \frac{1}{\Delta B} \frac{1}{G_2(\varphi)} I_{s,1} \quad (24)$$

在出现天线指向误差时，由于 T_2 主波束偏离 S_2 ，可以看出， $I_{t,2} < I_{s,2}$ ，也就是说，对于通过 S_2 在 R_1 接收到的干扰，由于天线指向误差造成的衰变永远小于静止状态下的相应干扰。对于通过 S_1 接收到的干扰，根据等式(22)，干扰因素最大值出现在 $G_{2,t}(\varphi)$ ，也就是说，当天线视轴与 T_2 至 S_1 的方向一致时。这表明，对于这里考虑的两个卫星系统，时变干扰功率无论指向误差多大均可设置上限。

根据等式(14)和(21)，在出现天线指向误差时 (C/N) 比的衰变为：

$$Z_t = (A_{\uparrow}/A_{\uparrow,I}) \times (A_{\downarrow}/A_{\downarrow,I} e_1 + A_{\uparrow,I} e_2 + G_{2,t}(\varphi)/\Delta B e_3 + G_{2,t}(0)/\Delta B e_4) \quad (25)$$

其中链路变量定义如下：

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{1 + c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_2 &= \frac{c_1 c_2 c_3 c_5 + c_3 - c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_3 &= \frac{1}{G_2(\varphi)} \frac{c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_4 &= \frac{1}{G_2(0)} \frac{c_1 c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \end{aligned} \quad (26)$$

用对数方式表示等式(25)：

$$\bar{Z}_t = \bar{A}_{\uparrow} - \bar{A}_{\uparrow,I} + 10 \log \left(10^{(\bar{A}_{\downarrow} + \bar{A}_{\uparrow,I})/10} e_1 + 10^{\bar{A}_{\uparrow,I}/10} e_2 + 10^{(\bar{G}_{2,t}(\varphi) - \bar{\Delta B})/10} e_3 + 10^{(\bar{G}_{2,t}(0) - \bar{\Delta B})/10} e_4 \right) \quad (27)$$

像在静止情况一样，为简化分析，考虑当 $\bar{A}_{\uparrow,I} = 0$ 时的特殊情况。在此情况下， \bar{Z}_t 的cdf可表示为：

$$\begin{aligned} P_t(\bar{z}) &= \Pr(\bar{Z}_t \leq \bar{z}) \\ &= \int_{R_{\bar{z}}} p_{\bar{G}_{2,t}(0)}(w) p_{\bar{G}_{2,t}(\phi)}(v) p_{\bar{A}_{\downarrow}}(u) p_{\bar{A}_{\uparrow}}(t) dt du dv dw \end{aligned}$$

其中积分区域涉及 $\bar{G}_{2,t}(0), \bar{G}_{2,t}(\varphi), \bar{A}_\downarrow, \bar{A}_\uparrow \in R_z, \bar{Z}_t \leq \bar{z}$ 。在此, 假设相关随机变量在统计上相互独立, 请注意, 在一般情况下, 随机变量 $\bar{G}_{2,t}(0)$ 和 $\bar{G}_{2,t}(\varphi)$ 可能在统计上并非相互独立。在此情况下, 应考虑在上述表达式中两个随机变量的联合分布。注意, \bar{Z}_t 仅是变量 $\bar{G}_{2,t}(0), \bar{G}_{2,t}(\varphi), \bar{A}_\downarrow$ 和 \bar{A}_\uparrow 的递增函数, 上述整数可表示为:

$$P_t(\bar{z}) = \int_{w=-\infty}^{w'} P_{\bar{G}_{2,t}(0)}(w) \int_{v=-\infty}^{v'} P_{\bar{G}_{2,t}(\varphi)}(v) \int_{u=0}^{u'} P_{\bar{A}_\downarrow}(u) P_{\bar{A}_\uparrow}(\bar{z} - 10 \log(10^{u/10} e_1 + e_2 + 10^{(v-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_3 + 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4)) du dv dw \quad (28)$$

其中积分的上限如下:

$$\begin{aligned} u' &= 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_2 - 10^{(v-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_3 - 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4}{e_1} \right) \\ v' &= 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_1 - e_2 - 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4}{e_3} \right) + \bar{\Delta}\bar{B} \\ w' &= 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_1 - e_2 - 10^{-\bar{\Delta}\bar{B}/10} e_3}{e_4} \right) + \bar{\Delta}\bar{B} \end{aligned} \quad (29)$$

因时变天线指向误差造成的相对于总链路不可用性的链路不可用性的相对提高 $R(\bar{z})$ (%) 可表示为:

$$R(\bar{z})\% = 100\% \times \frac{(1 - P_t(\bar{z})) - (1 - P_s(\bar{z}))}{(1 - P_t(\bar{z}))} \quad (30)$$

请注意, 从有关等式(24)的讨论中可以推导出: $\bar{\Delta}\bar{B}$ 值越大 $P_t(\bar{z})$ 可大于 $P_s(\bar{z})$ 。这意味着, 在某些情况下, $R(\bar{z}) < 0$, 即通过降低视轴e.i.r.p.密度, 可以使时变干扰小于没有时变天线指向误差时的相应干扰。为计算等式(30)中给出的 $R(\bar{z})$, 假设总链路不可用性为 $p_i\%$, 且该不可用性的 $(100 - T_{allow})\%$ 分配给静态干扰。在静态干扰条件下该链路不可用性所需要的衰减余度为 \bar{z}^* , 通过 $(1 - P_s(\bar{z}^*)) = p_i\% \times (100 - T_{allow})\%$ 计算得出。在出现时变干扰情况下, 总体链路不可用性的衰减余度为 $(1 - P_t(\bar{z}^*))$ 。根据有关此衰减余度的链路不可用性的相对增加 $R(\bar{z}^*)\%$, 使用等式(30)的表达式可以计算得出。

表1

从 T_2 至 R_1 的链路参数

上行链路频率(GHz)	14.2
上行链路、下行链路损耗(dB)	207, 205.3 (安卡拉) 207.2, 205.3 (伦敦)
波耳兹曼常数衡量(dBW/Hz/K)	-228.6
S_1 的小信号增益 G_{S_1} (dB)	175.2
$(G/T)_{S_1}$ (dB/K)	2 (安卡拉) 4 (伦敦)
频率下行链路(GHz)	11.7
T_r (K)	285
离轴角, 从 T_2 至 S_1	2.22° (安卡拉) 2.18° (伦敦)

表2

计算雨衰的参数

S_1 位置 (Eutelsat W1)	东经10°
S_2 位置	东经12°
T_1 位置 (Canary岛)	纬度: 27.76° N 经度: -15.63° E
T_1 平均海拔高度 (米)	205
R_1 位置 (意大利Matera)	纬度: 40.39° N 经度: 16.42° E
R_1 平均海拔高度 (米)	527
T_2 位置 (土耳其安卡拉)	纬度: 39.8° N 经度: 32.8° E
T_2 位置 (英国伦敦)	纬度: 51.5° N 经度: -0.12° E
T_2 平均海拔高度 (米)	200 (安卡拉) 200 (伦敦)

5 使用上述方法进行的示范计算

该节为示意第4节给出的方法提供了示范计算。表1给出了该示例中的链路参数。雨衰元素 A_{\uparrow} 、 A_{\downarrow} 和 $A_{\uparrow,\downarrow}$ 是按照ITU-R P.618建议书使用表2给出的参数计算得出的。在此示例中, 假设接收终端 R_1 使用大孔径天线。由于天线增益为 $G_1(\theta) \ll G_1(0)$, R_1 从 S_2 受到的干扰在此示例中忽略不计。

图8显示了在出现时变天线指向误差情况下随机变量 $G_{2,t}(0)$ 和 $G_{2,t}(\varphi)$ 的cdf。天线指向误差对应于附件1第2段探讨的 $S\alpha S$ 分布产生的方位角和仰角误差，其中分布参数为： $\alpha = 1.5$ ， $c = 0.35^\circ$ 。具体使用的天线增益图见等式(23)，其中 $n = 1$ ， $d = 0.51$ 米。在此示例中，从 T_2 至 S_1 的离轴角 φ 为 2.22° ，相应的归一化天线增益 $G_2(\varphi) = -6.7$ dB。该图显示了在出现天线指向误差时 $G_{2,t}(\varphi)$ 的浮动情况。请注意，与静态情况相比，当 $G_{2,t}(\varphi) > G_2(\varphi)$ 时，对 S_1 的干扰将增加，而 $G_{2,t}(\varphi) < G_2(\varphi)$ 时，则降低。

图8
归一化天线增益， $G_{2,t}(0)$ 和 $G_{2,t}(\varphi)$ 在出现时变天线指向误差时
(T_2 位于土耳其安卡拉)的cdf

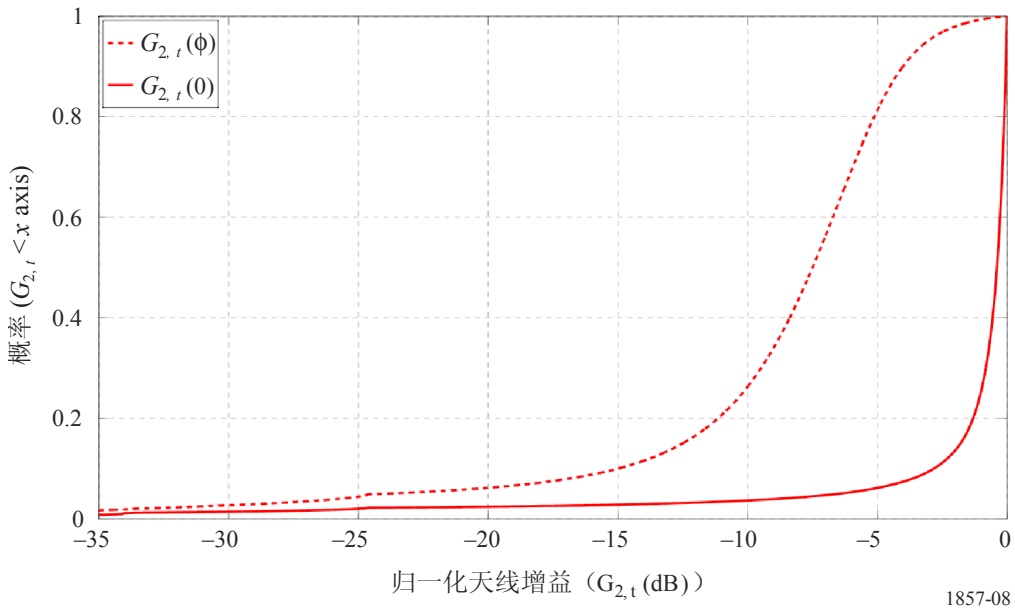
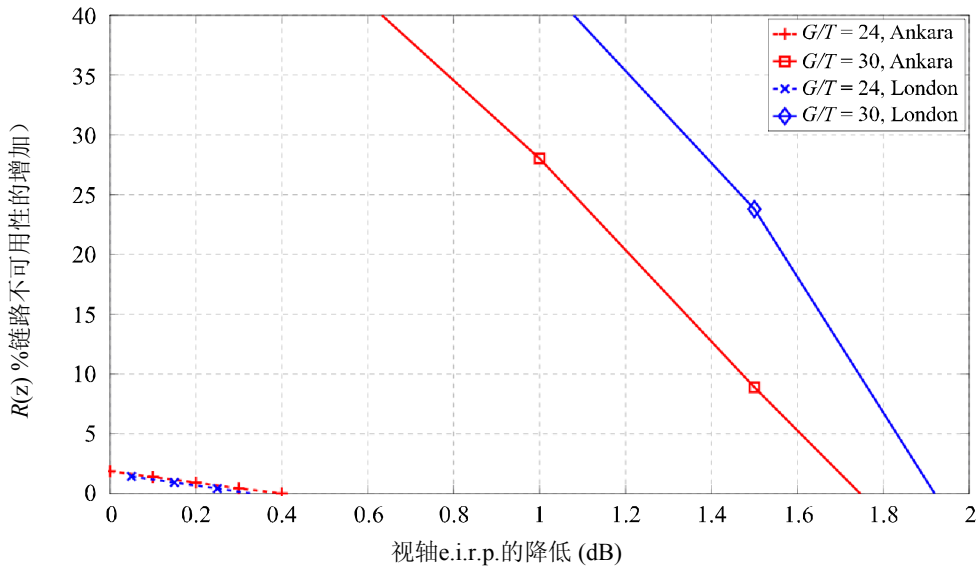


图9显示了不同天线视轴e.i.r.p.密度值的 $R(\bar{z})\%$ 。在此示例中，衰变变量 \bar{Z}_s 和 \bar{Z}_t 如等式(19)和(27)的蒙特卡洛 (Monte-Carlo) 仿真用来确定概率 $P_s(\bar{z})$ and $P_t(\bar{z})$ 。在此示例中，为方便示意，考虑了98%的链路可用性条件。如第2节所述，这是为保护邻接卫星提出的输入要求，因此对于此示例， $p_i\% = 2\%$ 。假设链路不可用性的90% ($T_{allow}\% = 10\%$)被分配给雨衰和静态干扰，即 $(1 - P_s(\bar{z})) = (1 - 0.98) \times 90\%$ 。满足上述要求的相应衰减余度为 \bar{z}_{margin} 得到确定，从而得到 $(1 - P_s(\bar{z}_{margin})) = (1 - 0.98) \times 90\%$ 。然后，在出现天线指向误差时的总体链路不可用性在此衰减余度 $1 - P_t(\bar{z}_{margin})$ 的情况下可以得到确定。从等式(30)可以获得 $R(\bar{z}_{margin})$ 的值。

从图19可以看出，在出现时变天线指向误差时，降低视轴e.i.r.p.密度可大大降低链路不可用性。请注意，如上所述，对于较大的 ΔB 的值，链路不可用性的增加可造成 $R(\bar{z}) < 0$ 。同时，对于接收终端的更大值 (G/T)，接收机对来自卫星的干扰更加敏感，这将增加干扰，因此加大链路的不可用性。

图9

在表1和2中 $R(\bar{z})$ 用于链路参数，图例表示接收终端 R_1 的 (G/T) (dB/K)



1857-09

6 长期干扰效应

如上文所述，长期干扰功率是通过计算在相当长时间内的平均干扰功率得出的，从而使所有时变干扰的代表性变量均包含在此时段中。规定平均干扰功率限值的相关ITU-R 建议书考虑到了所收到的干扰功率对总体接收系统噪声功率之比。在没有时变天线指向误差的情况下，考虑在 R_1 通过卫星 S_1 和 S_2 收到的来自 T_2 的干扰，干扰功率比可表示如下：

$$f_s = \frac{I_{s,1} + I_{s,2}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + I_{s,1} + I_{s,2} + N_{\uparrow,2}} \quad (31)$$

$$= \frac{c_2 c_3 + c_1 c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3}$$

在此之后，将时变天线指向误差引入上述静态情况，干扰功率在 T_{avg} 的范围内计算出平均值，以获得干扰时段 $I_{t,1}$ 和 $I_{t,2}$ ，（分别用 $\langle I_{t,1} \rangle$ 和 $\langle I_{t,2} \rangle$ 表示）的值。平均干扰功率是总体系统噪声功率的一部分，可表示如下：

$$f_t = \frac{\langle I_{t,1} \rangle + \langle I_{t,2} \rangle}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + \langle I_{t,1} \rangle + \langle I_{t,2} \rangle + N_{\uparrow,2}} \quad (32)$$

$$= \frac{c_2 c_3 \langle G_{2,t}(\varphi) \rangle / (\Delta B G_2(\varphi)) + c_1 c_2 c_3 \langle G_{2,t}(0) \rangle / (\Delta B G_2(0))}{1 + c_3 + c_2 c_3 \langle G_{2,t}(\varphi) \rangle / (\Delta B G_2(\varphi)) + c_1 c_2 c_3 \langle G_{2,t}(0) \rangle / (\Delta B G_2(0)) + c_1 c_2 c_3 c_5}$$

因此，相对于总干扰的长期平均干扰的增加表示为：

$$R_L(\%) = 100\% \times \frac{f_t - f_s}{f_t} \quad (33)$$

7 实施该方法的示意程序

本节逐步介绍了实施第4节所述计算的步骤。具体而言，根据蒙特卡洛仿真制定的程序计算因时变天线指向误差造成的链路不可用性的增加。请注意这是一种示意性方法，其他方法亦可使用。

7.1 计算输入

链路参数： T_1 、 R_1 和 T_2 的经纬度；卫星 S_1 和 S_2 的经度、 θ 、 $G_1(\theta)$ 、 $(G/T)_1$ 、 T_{\downarrow} ； φ 、 T_2 归一化天线增益图 $G_2(\varphi)$ ； G_{S1} 、 G_{S2} 、 $(G/T)_{S1}$ 、 $(G/T)_{S2}$ ； L_d 、 L_u 、 T_r 。

雨参数：雨速率（0.01% 毫米/小时），平均海拔高度和雨高（用于 T_1 、 R_1 和 T_2 ）。这些参数还可使用ITU-R P.837和ITU-R P.839建议书计算。

链路不可用性：链路不可用性所需要的时间比例 p_i %。分配给因时变干扰所造成的链路中断的允许时间 T_{allow} %。

蒙特卡洛仿真参数：随机矢量长度 N 。

天线指向误差特性：附件1第2节讨论生成的长度 N 、 ϕ_ϵ 和 ϕ_a 的方位角和仰角误差矢量。

7.2 在没有时变天线指向误差情况下(C/N)比的衰落

第1步：使用 $G_2(\varphi)$ ，按照ITU-R S.728建议书，确定 B_s 、 T_2 的视轴e.i.r.p.密度。假设该 B_s 符合ITU-R S.1432建议书总结的各种干扰和协调要求。

第2步：计算链路变量。

- a) 按照等式(18)，使用链路参数计算变量 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 和 c_5 。
- b) 按照等式(17)计算 d_1 和 d_2 。

第3步：确定上行链路和下行链路雨衰。

- a) 按照ITU-R P.618建议书，使用雨衰参数，确定雨衰上行链路和下行链路的 \bar{A}_{\uparrow} 、 \bar{A}_{\downarrow} 和 $\bar{A}_{\uparrow,\downarrow}$ 的cdf。
- b) 根据这些cdf，确定随机变量3矢量， \bar{A}_{\uparrow} 、 \bar{A}_{\downarrow} 和 $\bar{A}_{\uparrow,\downarrow}$ 的长度各为 N 。

第4步：使用等式(19)为 \bar{Z}_s 生成随机变量的矢量。

第5步：确定使用该随机变量矢量确定 \bar{Z}_s 的cdf $P_s(\bar{z})$ 。

第6步：计算链路不可用性 $p_i\% \times (100 - T_{allow})\%$ 需要的衰变余度 \bar{z}_i 。所需要的 \bar{z}_i 满足以下要求： $(1 - P_s(\bar{z})) = p_i / 100 \times (100 - T_{allow}) / 100$ 。

7.3 在出现时变天线指向误差时(C/N)比的衰变

第7步：在等式(13)中确定链路参数 e_1 、 e_2 、 e_3 和 e_4 。

第8步：为 $G_{2,t}(0)$ 和 $G_{2,t}(\varphi)$ 生成两个随机变量，每个长度为 N 。

- a) 如附件1第2节所述，为指向误差变量 ϕ_ε 和 ϕ_a 生成两个随机矢量，长度各为 N 。
- b) 使用相关经度和纬度和指向误差，计算从 T_2 视轴方向到卫星 S_1 和 S_2 的角矢量 $\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ 、 $\Phi(0, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ 和 $\Phi(0, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ ，如附件1第3节所示。请注意，按照附件1的表示法， $\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ 相当于等式(4)中的 θ_{BS_φ} 。
- c) 确定 $G_{2,t}(0)$ 和 $G_{2,t}(\varphi)$ 的随机变量，长度为 N 如下： $G_{2,t}(\varphi) = G_2(\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a))$ 。

第9步：将 ΔB 设置为参数。

第10步：在等式(12)中生成 \bar{Z}_t ，即长度 N 的随机矢量。

第11步：使用该随机变量矢量确定 \bar{Z}_t 的cdf，即 $P_t(\bar{z})$ 。

第12步：为在第6步中计算得出的衰变余量 \bar{z}_i 确定链路可用性，即 $P_t(\bar{z}_i)$ 。

第13步：按照等式(30)确定链路不可用性的相对增加 $R(\bar{z}_i)$ 。

8 总结

该附件介绍了评估因VMES时变天线指向误差对邻接卫星造成的干扰效应方法。

该方法具体探讨了相对于静止终端而言干扰的增加，它与机载终端特性完全相同，但没有因运动造成的天线指向误差。所采用的方法类似于ITU-R S.1323建议书规定的方法，即雨衰和接收机变量等传播效应是90%链路中断的原因。在此建议书中，传播效应和因静态终端造成的干扰在可允许时间内占有 $(100 - T_{allow})\%$ 的责任。本文还介绍了评估静止状态下长期干扰增加的方法。在长期干扰分析中，信号平均在 T_{avg} 时段内，干扰的统计特性在此时段内得到充足表示。