

ITU-R F.1108-4建议书

保护固定业务接收机免受工作于非同步轨道中的共用
频带空间站来的发射标准的确定方法

(ITU-R 118-9和113/9号研究课题)

(1994-1995-1997-2002-2005)

范围

本建议书包含了各种不同的方法，以确定保护固定业务接收机免受工作于非同步轨道（包括高地球轨道（HEO））中的共用频带空间站来的发射标准。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 处理某些部分频谱的频率分配问题的世界无线电行政大会（马拉加—托雷莫利诺斯，1992（WARC-92））已经将分配给固定业务（FS）的频谱在共同主要使用条件的基础上也分配给卫星业务使用；
- b) 卫星业务可能希望通过非同步轨道中的空间站进行工作；
- c) 从非同步轨道中工作和共同同一频谱的空间站来的发射可能会对固定业务接收站产生干扰；
- d) 由于非同步轨道空间站来的发射地理上的能见范围相当广阔，要与许多固定业务站进行频率协调可能是不现实的；
- e) 固定业务必须满足按性能最坏月份提出的性能要求；
- f) 对一个固定业务系统的性能劣化量取决于从可以看到固定系统的所有空间站来的发射所引起的劣化量的总和；
- g) 由于非同步轨道的空间站的发射在地球表面产生的功率通量密度可以通过将统计方法应用到计算机仿真的结果的方法来进行研究，

建议

- 1 制定固定业务系统与非同步轨道的空间站的频率共用规范时要考虑到可以看到地球上任何一点的固定业务站的所有空间站的发射所产生的总功率通量密度；

- 1.1 应该用约定的带宽内的功率通量密度 (W/m^2) 来规定容许的干扰电平;
- 2 应该根据如下建议书所提出的原则的统计应用来确定功率通量密度的限值: 在数字微波接力系统情况下采用ITU-R F.758建议书规定的原则, 而在模拟微波接力系统情况下采用ITU-R SF.357建议书规定的原则 (方法待研究);
- 3 ITU-T G.826 建议书 (从它导出了ITU-R F.1397和 ITU-R F.1491建议书) 已经对数字微波接力系统提出了更严格的差错性能要求。对这一事实应给予应有的考虑;
- 4 功率通量密度限值应该要考虑使用该频带的各空间站的轨道参数;
- 4.1 附件1中的方法可以用于确定工作于圆轨道的空间站的能见度统计;
- 4.2 应该用附件2中介绍的方法确定由单个或多个空间站的发射所引起的模拟系统的性能劣化;
- 4.3 应该用附件3中介绍的方法确定由单个或多个空间站的发射所引起的数字系统的性能劣化 (见注1);
- 4.4 可以用附件4中所介绍的方法来确定由单个或多个空间站的发射所产生的对使用分集的数字系统的影响 (见注2);
- 4.5 在估计任何月份中干扰的不均匀性时, 应该用附件5中所考虑的问题;
- 4.6 可以使用附件6中给出的方法去研究接收到功率与噪声和干扰功率之和的比值的累积分布和研究由于单个或多个空间站的发射所引起的相应的衰落储备的损失 (见注3);
- 4.7 附件7提供了一个方法的例子, 这种方法能够用于估计使用圆轨道或椭圆轨道 (包括高地球轨道 (HEO)) 的非对地静止卫星星座对固定业务空间站的干扰。

注1 — 本建议书中制定的性能劣化的比例 (FDP) 的规范适用于在多径衰落是信号衰落的主要原因的那些频率上工作的固定业务系统。对于降雨衰减是衰落的主要原因的那些路径, 需要进一步研究。按照附件3 § 4中介绍的方法估计短期干扰的效应的问题需要进一步研究。

注2 — 在3 GHz以下的频率上, 一般不用分集。分集在多径衰落是衰落的主要原因的那些频率上最经常使用。

注3 — 在估计短期干扰或在双边会谈中估计干扰的可能性时, 可以使用附件6中所提出的方法。

附件 1

确定一个地面站看在圆非同步轨道中工作的
空间站的能见度统计的方法

1 引言

为了制定低地轨道（LEO）卫星和固定业务（FS）系统之间频率共用的规范，对一特定的地面站或位置而言，有必要确定在任何方向上将看到一个卫星的频度和从卫星收到的干扰有多强。本附件的目标是研究出仿真一个LEO卫星工作所必需的方程式，从而做必要的统计。研究结果要有足够的通用性，使得结果既可以用于随机模式，也可以用于随时间变化的模式。

本附件的第2节以惯性坐标系给出了圆轨道中卫星移动方程的研究结果。在§3中，将这些方程变换到对地球固定的坐标系。§4确定从地球表面上一个位置来看的星下点的方位和距离。§5推导出卫星的仰角和偏轴角的表示式，还给出了试验在地球的一特定位置上面的一个卫星是否可以看到的简单准则。

整个研究过程中将右旋球坐标系用于以 (r, θ, λ) 表示的地球为中心的坐标。这里， r 是离原点的距离、 θ 是偏离北极的角度， λ 为围绕北极的角度。

2 惯性坐标系中的卫星

为了确定卫星在惯性坐标系中的位置，必须首先确定它在轨道平面中的位置。对于在围绕地球的一个圆轨道中的物体而言，对它的描述要有下面四个开普勒轨道参数：

- R_S : 轨道半径，即从地球中心到卫星的距离
- I : 倾角（弧度），轨道平面和地球赤道面之间的夹角。倾角范围为0到 π 。当卫星从南往北穿过赤道面时，卫星头朝东，则倾角小于 $\pi/2$ 。当卫星从南往北穿过赤道面时，卫星头朝西，则倾角大于 $\pi/2$
- Ω_S : 在赤道平面上从零参考点到上升交点位置的角度间隔（弧度），上升交点是指卫星平面由南到北穿过赤道面的交点
- M : 平均近地、角（弧度），它表示从上升交点到卫星位置所测得的卫星轨道平面中的弧线角。

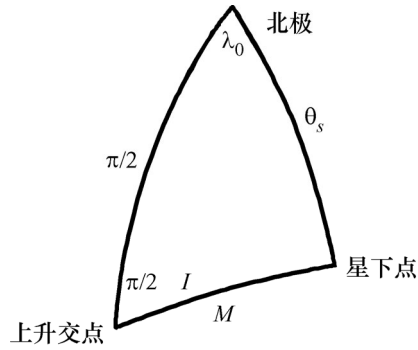
为了确定卫星在惯性球坐标系中的坐标，我们必须首先确定以 Ω_0 为参考的卫星的位置、上升交点的角度位置或经度（以白羊座的第一个点的东方为参考）。星下点的位置用 θ_S 和 λ_0 表示。

这些坐标可以参照图1用球面几何来确定。将余弦定律应用到弧 θ_S ，就得到 $\cos\theta_S = \sin M \sin I$ 。因为 θ 的定义域为 $(0, \pi)$ ：

$$\theta_S = \arccos(\sin M \sin I) \quad (1)$$

图 1

惯性坐标系中卫星的球面三角



1108-01

同样，将余弦定律应用于弧 M 就得到 $\cos M = \sin\theta_S \cos\lambda_0$ 。整个角度范围 $(0, 2\pi)$ 内的 λ_0 的值由公式(2)求出。

$$\lambda_0 = \begin{cases} \arccos(\cos M / \sin \theta_S) & \text{对于 } \cos I \sin M \geq 0 \\ 2\pi - \arccos(\cos M / \sin \theta_S) & \text{对于 } \cos I \sin M < 0 \end{cases} \quad (2)$$

3 转换到地球坐标

可以相当简单地将这些坐标转换到等效的地球坐标。因为地球向东旋转，旋转 2π 弧度历时23小时56分4.09秒，星下点的东经 λ_S 由下式给出：

$$\lambda_S = \lambda_0 + \Omega_S - \Delta Et \quad (3)$$

其中 $\Delta E = 7.292115856 \times 10^{-5}$ 弧度/秒。

为了完成星下点位置的时间描述，必须要研究轨道的位置以及卫星在轨道中的位置。上升交点以每天 $9.964 (R_E / R_S)^{3.5} \cos I$ 度的速率往西旋转。其中 R_E ($= 6378.14$ km) 是地球的赤道半径。所以，用时间推定上升交点的位置由下式表示：

$$\Omega_S = \Omega_0 - \Delta Lt$$

其中：

$$\Delta L = -2.0183 \times 10^{-6} (R_E / R_S)^{3.5} \cos I$$

所以，公式（3）就变成：

$$\lambda_S = \lambda_0 + \Omega_0 - (\Delta L + \Delta E)t \quad (4)$$

在半径为 R_S 的圆轨道中一卫星的轨道周期（秒）可用 $T_S = 9.952004586 \times 10^{-3} R_S^{1.5}$ 来表示。其中 R_S 是卫星轨道的半径（km）。所以，

$$M = M_0 + \Delta M t \quad (5)$$

其中 $\Delta M = 2\pi/T_S$ 。

4 到一地面站的距离和方位

必须首先把地面站的位置从纬度和经度的标准坐标变换为球坐标。若 L_T 是地面站的纬度，而 Lo_T 是地面站的经度，则用下面的两个关系式可以得到该站的正角度（度）、球坐标（弧度）， θ_T 和 λ_T 。

$$\theta_T = \begin{cases} (\pi/180)(90 - L_T) & \text{对于 } L_T \text{ 为北纬} \\ (\pi/180)(90 + L_T) & \text{对于 } L_T \text{ 为南纬} \end{cases} \quad (6)$$

$$\lambda_T = \begin{cases} (\pi/180)(Lo_T) & \text{对于 } Lo_T \text{ 为东经} \\ (\pi/180)(360 - Lo_T) & \text{对于 } Lo_T \text{ 为西经} \end{cases} \quad (7)$$

从地面站到星下点的经度差 λ_D 刚好为：

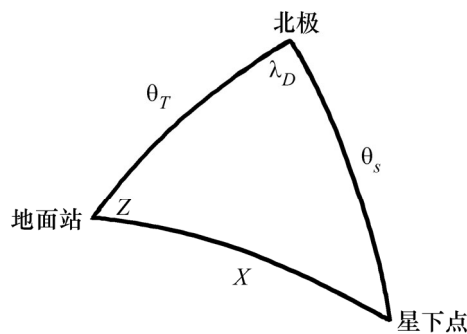
$$\lambda_D = \lambda_S - \lambda_T \quad (8)$$

地面站和星下点之间的距离 X （弧的弧度）可以用余弦定律求出，参考图2，用下式表示：

$$X = \arccos(\cos\theta_T \cos\theta_S + \sin\theta_T \sin\theta_S \cos\lambda_D) \quad (9)$$

图 2

表示星下点和地面站之间距离的球面三角



若 $\sin\lambda_D$ 大于零, 星下点是在地面站的东面, 而若 $\sin\lambda_D$ 小于零, 星下点是在地面站的西面。所以, 将余弦定律应用于图2中的弧 θ_S , 就得到从该站到星下点的方位角 Z :

$$Z = \begin{cases} \arccos \left[\frac{\cos \theta_S - \cos \theta_T \cos X}{\sin \theta_T \sin X} \right] & \text{对于 } \sin \lambda_D \geq 0 \\ 2\pi - \arccos \left[\frac{\cos \theta_S - \cos \theta_T \cos X}{\sin \theta_T \sin X} \right] & \text{对于 } \sin \lambda_D < 0 \end{cases} \quad (10)$$

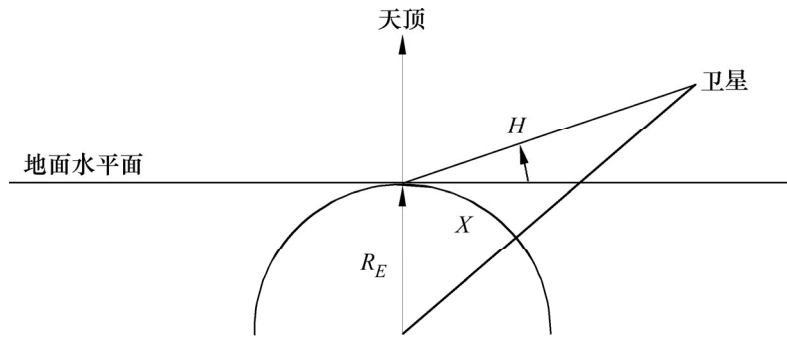
5 卫星仰角和与主射束的角度差

假设水平角为零, 则参考图3就可以得到卫星在地面站的水平线之上的仰角 H :

$$H = \arctan \left[\frac{\cos X - R_E / R_S}{\sin X} \right] \quad (11)$$

图 3

包含地球中心、地面站和卫星的平面



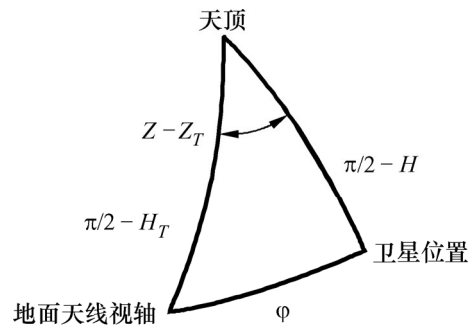
1108-03

假设地面站的接收天线指向方位角 Z_T , 仰角在当地水平面以上 H_T (弧度)。只要把球坐标系看作以地面站为中心, 它的轴在天顶方向上 (如图4所示), 就可以得到从这一地面站天线的主射束到卫星的角度差 φ 。将余弦定律应用到 φ , 得下式:

$$\varphi = \arccos(\sin H_T \sin H + \cos H_T \cos H \cos(Z - Z_T)) \quad (12)$$

图 4

确定地面天线射束和卫星之间夹角的球面三角



1108-04

公式 (1) 到 (12) 提供了在存在低地轨道卫星的情况下仿真地面站的干扰环境的一个工具。有可能作某些简化。例如，一般只考虑水平面以上的卫星干扰。从公式 (11) 可以知道，当如下条件成立时，卫星就在水平面之上：

$$\cos X > R_E/R_S = \gamma \quad (13)$$

将公式 (13) 用于公式 (9)，可以得到用于一特定的星下点或平均近地角的视线圆弧以内的相应的经度范围的一个表示式。所以，只有在可以预先确定的条件下才需要计算公式 (10)、(11) 和 (12)。

附 件 2

从低地轨道卫星进入模拟微波接力路由的 干扰的仿真计算

1 引言

本附件介绍了一个实现附件1中的数学关系的计算机程序。所得到的程序可以用作检查进入与低地轨道卫星共用频谱的仿真的模拟微波接力网的干扰的一个分析工具。有代表性的低地轨道卫星可能在3 GHz 以下频带工作。本附件还介绍了许多频率共用方案的例子及它们的结果。

2 模型的描述

该程序考虑了地球旋转和轨道的旋进效应，数学上它仿真一个低地轨道星座的路径。对星座中的卫星每移动1/2度，计算进入一密集的随机分布的微波接力路由中的每一微波接力接收机中去的干扰。该程序积累了仿真期间每一微波接力路由的干扰密度数据。该程序将这一数据变换为每一路由的概率分布，从而可以分别分析每一路由的性能。将这里所介绍的实例的情况与ITU-R SF.357建议书的图1中所描述的参考性能要求进行比较。ITU-R SF.357建议书仅提出了对模拟系统的参考干扰共同规范。

2.1 输入

仿真程序使操作人员有可能选择下列参数：

- 频率，
- 微波接力路由趋势线中心的纬度和经度，
- 微波接力接收天线增益，
- 待分析的微波路由的数目，
- 卫星轨道高度（每一卫星的高度相同）；
- 卫星轨道平面的数目，
- 每一平面的上升交点的经度，
- 轨道倾角（每一平面是相同的），
- 高角度卫星pfd电平，
- 低角度卫星pfd电平，
- 仿真的时间长度（以天计）。

建立该模型中的假设如下：

- 对于微波接力系统的模型：
 - 50个接力段，路由长度2 500 km，接力段方向按蒙特卡罗法选择。
 - 接收机噪声温度1 750 k。
 - 每个接力段4 kHz带宽内的基带热噪声为25 pW。
 - 接收天线特性按照ITU-R F.699建议书。
 - 损耗（馈线、变换器）3 dB。
- 对于卫星系统模型：
 - 仅考虑圆轨道。
 - 功率通量密度（pfd）的限制为下面的模框：

$$\begin{array}{ll}
 pfd_{low} & \text{对于 } 0 \leq \theta \leq 5^\circ \\
 pfd = pfd_{low} + 0.05(pfd_{hi} - pfd_{low})(\theta - 5) & \text{对于 } 5^\circ < \theta \leq 25^\circ \\
 pfd_{hi} & \text{对于 } 25^\circ < \theta \leq 90^\circ
 \end{array}$$

2.2 输出

该程序的输出是命名为Leo.dat的单数据文件。信息是对每一个被仿真的微波接力路由提供的。为了指示出每一个路由接收到的干扰电平的持续时间，对输出信息作了安排。支持的干扰范围为1-100 000 pW，50个连续的1 dB宽度。对于受卫星影响的每一路由，该程序逐步自动增加适当的干扰范围，轨道的增量每次1/2。

3 仿真结果

ITU-R SF.357建议书规定了干扰的短期和长期限值。这个限值是指进入与卫星固定业务共用频带的角度调制的微波接力系统中去的容许干扰电平。当持续时间介于长期和短期之间时，该建议书也指出，用线性内插的方式来确定可以容许的干扰电平。因为该程序按概率分布计算干扰数据，将程序的结果与ITU-R SF.357建议书的限值进行比较，就有可能对所研究的每一频率共用方案进行评估。

将ITU-R SF.357建议书规定的干扰限值画在本附件的图5到图9中的资料图的右边。每一图中靠左边的曲线代表了对于正在研究的LEO/FS频率共用方案情况下进入受影响最严重的微波接力路由中去的干扰。

例如，图5表示所有其他的LEO和FS参数都不变的条件下进入工作于1.5 GHz、2.0 GHz和2.5 GHz固定系统中去的干扰的效应的分析结果。研究了两组频率共用方案。图中靠下边的一组曲线代表从单一轨道LEO进入固定系统中的干扰效应。第二组曲线代表在一个轨道平面中有数目足够多的卫星，以至于可以不间断地看到一个卫星的情况下的干扰效应。为了作比较，将只有一个卫星被不间断看到的LEO系统是一个比较方便的比较基准。

图6表示了从连续的观点看，轨道高度和低到达角下的pfd的变化对固定系统接收到的从一个LEO系统来的干扰的影响。对于这一LEO方案，正如可以预计到的那样，成对的曲线表示（对所有的到达角， $pfd = -144 \text{ dB (W/m}^2\text{)} (4 \text{ kHz带宽})$ ），轨道高度（即800 km和10 330 km）不是一个重要的参数。

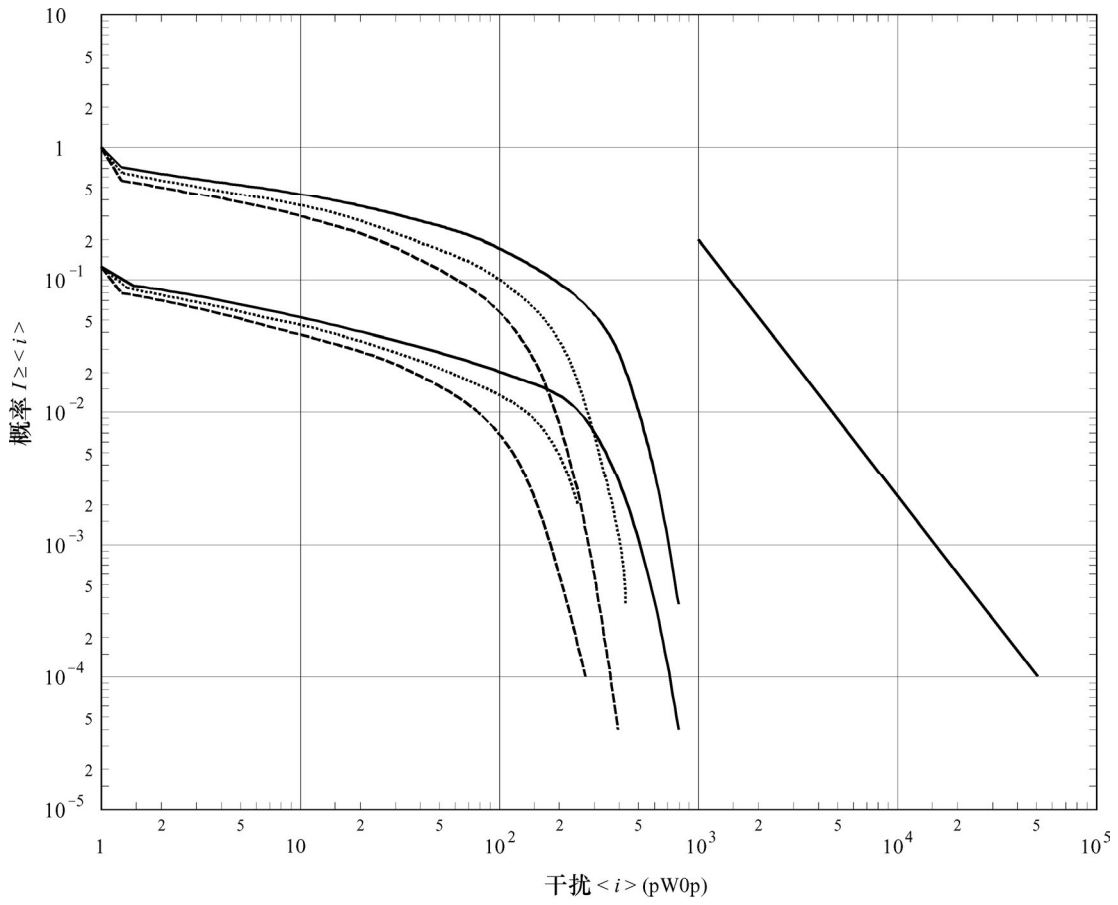
图6中的实线表示了在任何高度上，LEO使用点射束，将大大降低进入固定业务系统的干扰电平。

图7表示了以固定业务系统的纬度为函数时对进入固定业务系统的干扰效应的研究结果。上面三条曲线代表了在不同纬度下进入固定业务的干扰分布，此时假定了永远只有一个卫星可以看到的限制。显然，纬度不是一个重要的参数，因为从各分布的形状看，这些曲线的形状相当类似。

图 5

固定业务干扰与频率的关系

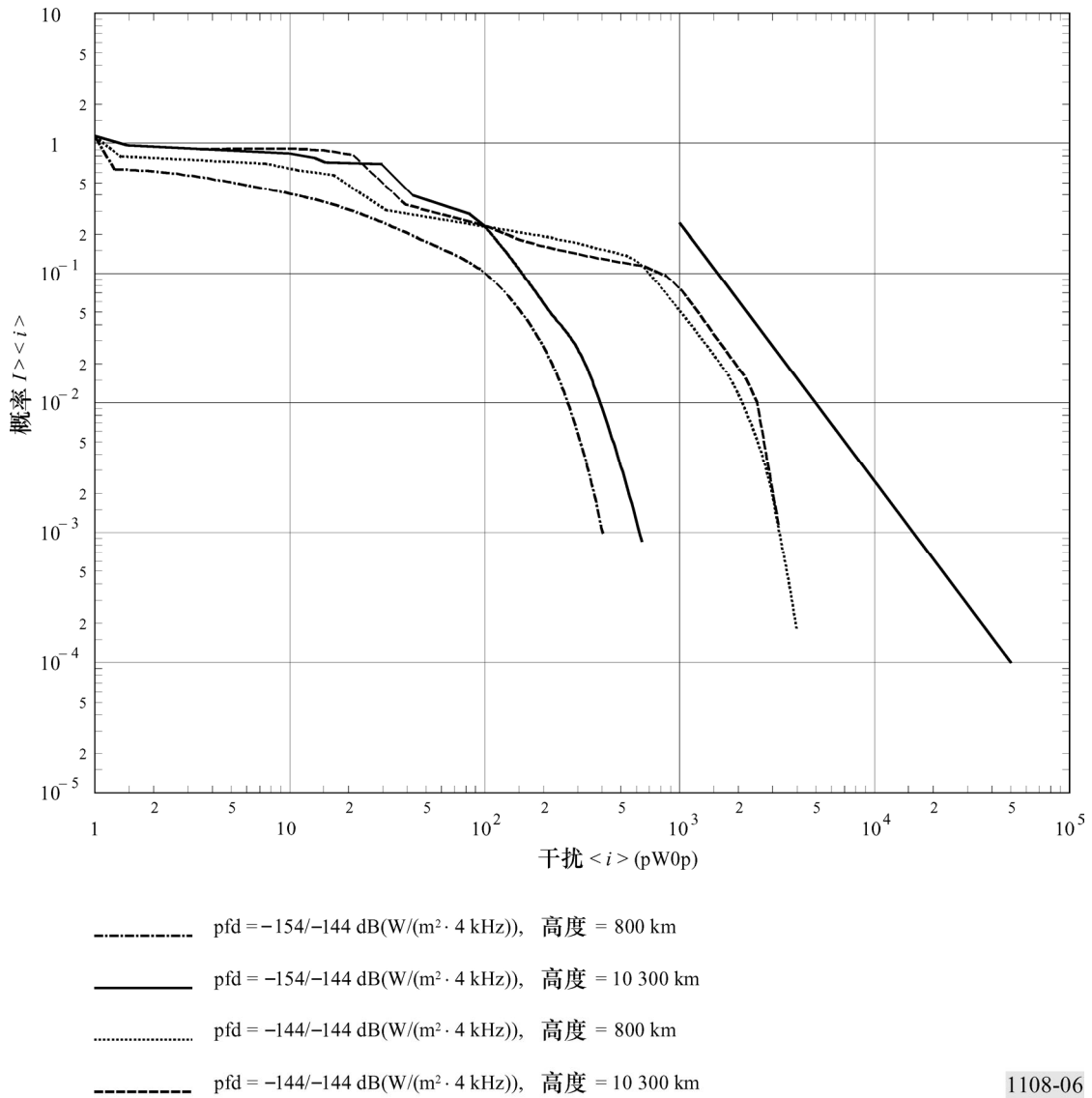
(800 km, 50个接力段的路由, 天线增益33 dB, 纬度40°, pfd = -154/-144 dB(W/(m²·4 kHz)))



- 频率 = 1.5 GHz
- 频率 = 2.0 GHz
- - - - 频率 = 2.5 GHz

图 6

干扰与高度及pfd的关系
(50个接力段的路由, 纬度40°, 2 GHz)



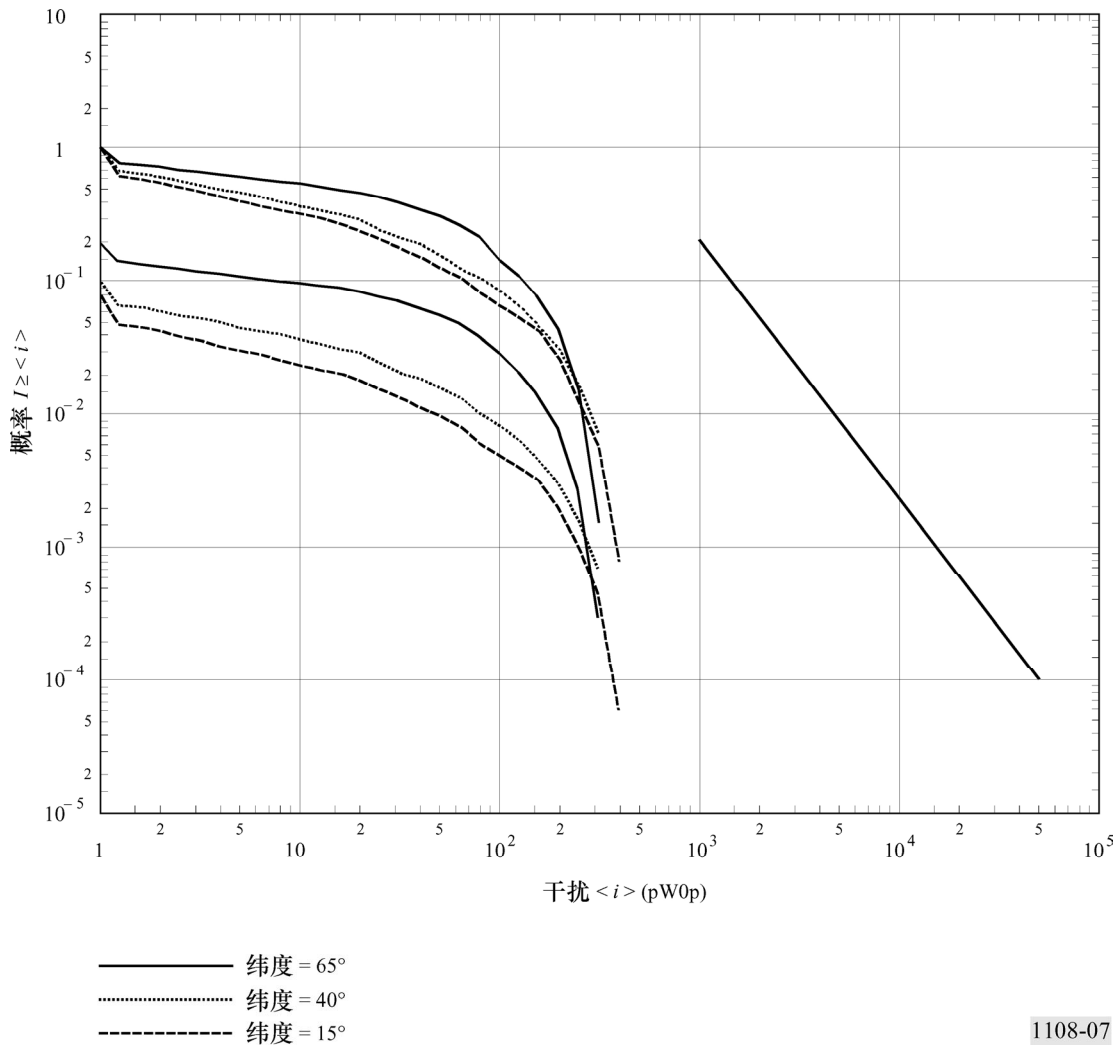
1108-06

图7中下边一组三条曲线表示在不同的纬度下接收到的从有轨道角(80°)的单轨道卫星来的干扰的分布。请注意,若将这些图沿y轴反向回推到 $X = 0$ 的值,它就近似代表在所指示的纬度上卫星可以看到FS系统的时间百分数。注意到这一事实是很有意义的。反过来,这个数值的倒数也近似等于为达到不间断地看到单个卫星所需的卫星的数目。再仔细地研究一下图7就可以得出结论,要不间断地照射系统,所在纬度越高,需要的卫星数目越少,因为纬度为65°的微波接力路由,分布曲线与y轴的交点要更高一些。

图 7

在4 kHz带宽内的干扰 (i) pW

固定业务干扰与纬度的关系

(50个接力段、天线增益33 dB, $\text{pfd} = -154/-144 \text{ dB} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz})$), 2 GHz)

1108-07

考虑到对高倾角的卫星系统的每一轨道而言，在该平面中的每一卫星总有一时间百分数可以看到在纬度更北或更南的地方的地面站，而在中纬度或更低纬度处的地面站不可能看到某些轨道的任何部分，这一点凭直觉就可以确定。这一点似乎告诉我们，最适合于为中低纬度地区服务的LEO系统可能会造成对高纬度的地面系统产生更大的干扰，因为轨道中的卫星可以看到高纬度地区地面站的时间百分数更高一些。

最后，图8和图9表示了从可能代表实际正在运行的系统的卫星星座来的进入固定业务的干扰效应。两个系统都安排成可有3到6颗卫星不间断地看到需要服务的地面站。图8研究的卫星星座有6个圆轨道平面，每一平面有11颗卫星。所有的平面都有相同的倾角（86.5°）和相同的高度（780 km）。图9表示了从高度为10 370 km的12颗卫星组成的卫星星座来的可以预计的干扰分布。这些卫星安排在3个轨道平面上，间隔120°，倾角56°，并且每一平面4颗卫星。

图 8

4 kHz带宽内的干扰 (*i*) pW

66 LEO/780 km进入固定业务的干扰

(倾角86.5°，FS天线增益 = 33 dB，2 GHz，纬度40°)

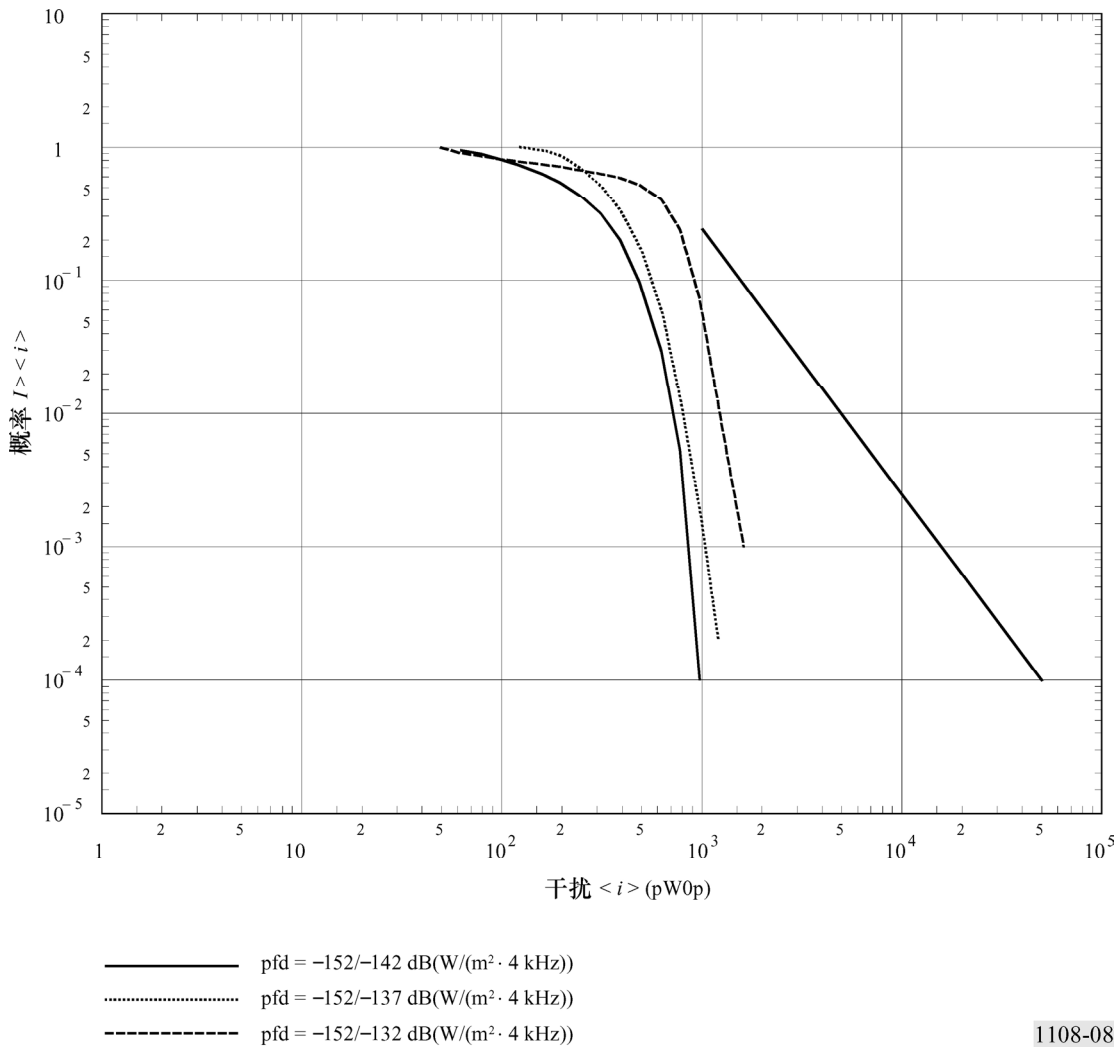
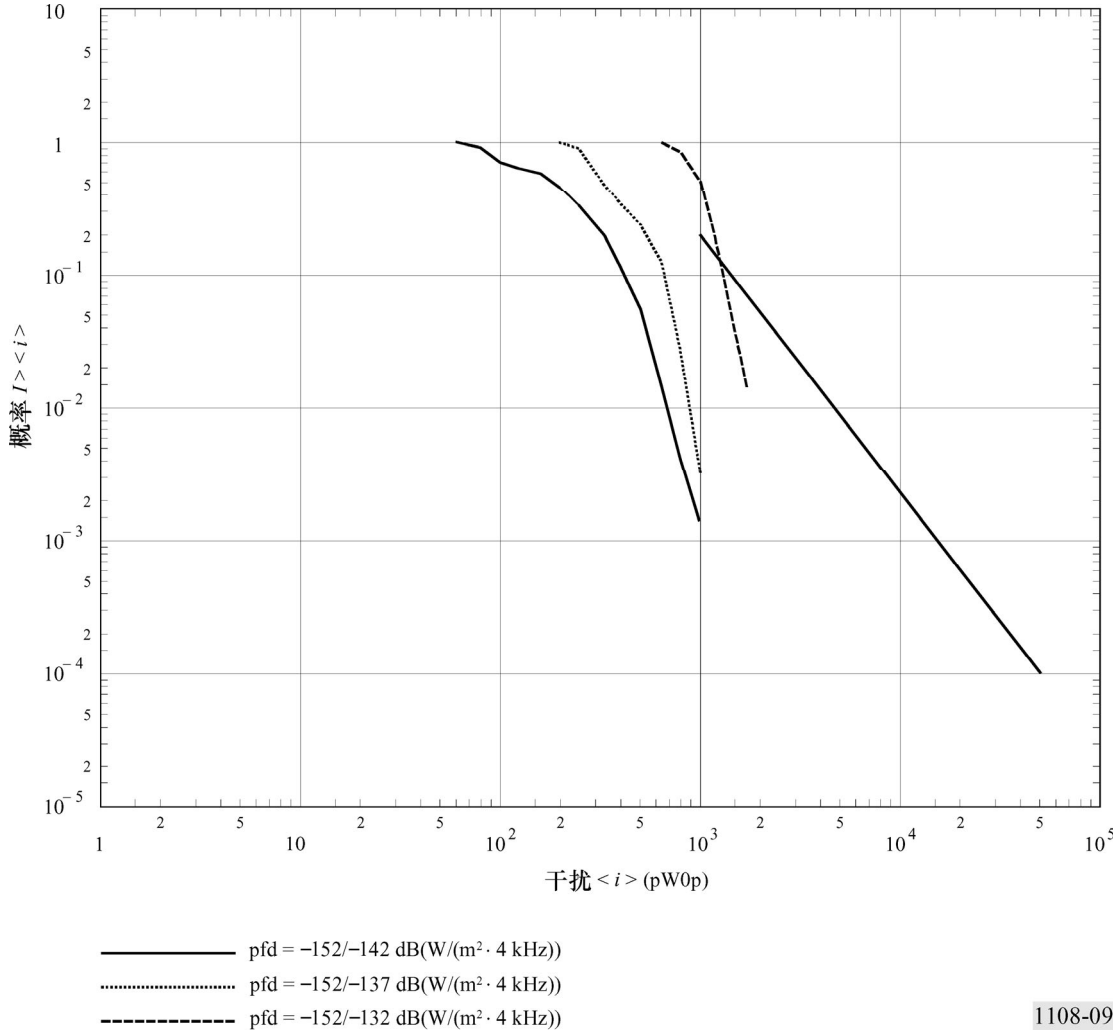


图 9

4 kHz带宽内的干扰 (i) pW

12 LEO/10 370 km进入固定业务中的干扰
(倾角56°, FS天线增益=33 dB, 2 GHz, 纬度40°)



4 结论

由于LEO引进了时间参数，频率共用的分析变得非常非常困难，而且在许多重要方面，分析方法与分析同步轨道卫星频率共用时不同。目前，还没有在LEO环境中建立对固定业务用的保护要求的完整的方法。当与数字微波接力系统共用频率时更是如此。ITU-R SF.357建议书提供了一个规范，可以用它来确定与模拟微波接力路由频率共用时的pfd限值。然而，由于ITU-R SF.357建议书的作用是用于与同步轨道卫星进行频率共用，所以，就与LEO卫星网频率共用问题对该建议书重新进行研究可能是比较适当的。

假定ITU-R SF.357建议书是正确的,则似乎只有在有限数目的LEO可以看到FS的情况下,才有可能实现模拟微波接力网与LEO系统共用频率,条件是低到达角时功率通量密度要加以控制。而且显然,在高到达角情况下,从LEO来的功率通量密度限值可以超过现在为同步卫星系统所规定的电平。无疑,还需做进一步的研究,并且为了进行这样的研究,应该鼓励开发和使用仿真工具。

附 件 3

确定非同步轨道的空间站来的发射对固定业务数字 微波接收机的影响的方法

1 引言

研究固定业务和使用低地轨道(LEO)卫星之间频率共用的规范时,需要搞清楚从这样的卫星来的发射对数字地面接收机性能的影响。本附件说明了用计算机仿真的方法计算这些对数字微波的影响的一个方法。该仿真方法研究了在指向一组方向的任何方向中接收天线上在一给定位置上将接收到的干扰的统计特性。这一方法使用了附件1所提出的轨道方程,而且既考虑了单个卫星,也考虑了均匀卫星星座。所得到的具体量包括:

- 接收到的干扰功率超过一个电平的时间百分比;
- 不满足性能指标的概率中增加的比例。

在本附件的§2和§3中给出了仿真的诸元素的详细描述。§4给出了性能劣化量表示式的研究结果。§5给出了一些有用的有代表性的结果。

2 统计模型

该仿真方法对干扰统计特性进行了研究,方法是研究接收到的从轨道上 N_0 个等间隔位置的每一个卫星来的干扰。考虑 N_0 个轨道,这些轨道的上升交点在赤道面上是等间隔分布的,就得到整套干扰的情况。在许多情况下,这一方法可能没有代表性,但是,它是最有利的或最随意的对共用的假设。在这个假设中,干扰在地球表面上最广泛地扩散出去。在做进一步研究时,必须把这个假设的结果与圆轨道的假设一起加以考虑。

显然，对于单个卫星，有 $N_a \times N_0$ 个可能的干扰位置。所以，与任何一个位置有关的概率为 $1/(N_a N_0)$ 。

在均匀星座中有多个卫星的情况也不难考虑。均匀星座由一套相同的均匀间隔的轨道平面上分散开的一组卫星组成。每一轨道平面有轨道上均匀间隔的相同数目的卫星。当数套卫星时间间隔相等时，就得到最均匀的覆盖和最随意的频率共用。这意味着当一个轨道上有一个卫星穿过赤道时，在每一轨道平面上，将有一个卫星以同一方向穿过赤道。

采用前面定义的量，若 N_a 为每一轨道上卫星数目 N_{spo} 的整倍数，而 N_0 为在星座中轨道平面数目 N_{orb} 的整倍数，则星座的特有的状态数正好为 $(N_0/N_{orb}) (N_a/N_{spo})$ 。

3 干扰的确定

假定卫星的发射以一般的方式加以限制：当地球上的仰角在下限以下时的低电平 pfd 和仰角高于上限时的高电平 pfd，仰角在两个限值之间时 pfd 随仰角线性增加。这里，功率通量密度单位以 dB (W/(m² · MHz)) 来表示。

地面接收机的天线增益 $G_R(\varphi)$ 是 ITU-R F.699 建议书所规定的值，增益、直径和频率作为独立的输入量。可用于确定由 φ 角处的 pfd 所引起的接收干扰功率的有效面积由下式给出：

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R(\varphi)$$

其中 λ 用米来表示。

4 建立干扰对数字系统的效应的模型

数字系统的中断概率经常用下式表示：

$$P_0 = C[10^{-DFM/10} + 10^{-TFM/10} + 10^{-(C/I - CNC)/10}] \quad (14)$$

其中：

C ：与气候、地形和链路参数有关的常数

DFM ：色散衰落储备 (dB)

TFM ：热衰落储备 (dB)

C/I ：无衰落信号的功率与干扰功率的等效噪声值之比 (dB)

CNC ：刚好满足性能指标时的载波噪声比的数值 (dB)

现代数字系统一般色散衰落储备大于热衰落储备，而且性能越来越好。所以，考虑干扰时，公式（14）中的第一项可以忽略。对于一般的频率共用条件下，特别在有多个干扰的情况下，一个特定的干扰进入一个特定接收机的噪声等效干扰功率可能小于测得的功率，可以保守地假定干扰的效应与具有同样功率的热噪声相同。因为无衰落时的载波噪声比与临界载波噪声比（CNC）之间的差值（dB）就是热噪声衰落储备（TFM），超过性能指标的概率 P_0 增加的比例等于干扰功率 I 与噪声功率 N_T 之比。两者都以检波器测量，单位为瓦或每单位带宽中的瓦数。这就是说，干扰功率 I 恒定的情况下，增加的比例等于 I/N_T 。为了使讨论简化，将 P_0 的这样一个增加将称为性能劣化比例（FDP）或性能劣化的百分数。

若一个干扰源在一个月的一部分 f_i 时间内产生干扰功率 I_i ，并且该月的其余时间没有干扰，则由于这个干扰引起的FDP增加量将由下式给出：

$$\Delta P_{0,i} = \frac{I_i f_i}{N_T}$$

由一套事件（第 i 个事件由干扰有功率 I_i 的时间比例组成）引起的FDP由下式计算：

$$FDP = \sum \Delta P_{0,i} = \sum \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (15)$$

其中求和是指对所有的干扰事件求和。因为 f_i 是干扰功率在 I_i 和 $I_i + \Delta I_i$ 之间的一个值，沿 $I_i f_i$ 求和是干扰功率进入接收机的概率分布的一次矩等效的离散量。

FDP也可以表示为衰落储备的损失（FML）（dB），其中：

$$FML = 10 \log(1 + FDP) \quad (16)$$

而平均干扰电平高于热噪声的电平用dB表示，可表示为 $10 \log FDP$ 。

虽然使用公式（14）最初是以中断出现因子为参考的（中断是接收机的比特差错率超过 1×10^{-3} 的概率），大多数数字微波性能的衡量方法是以中断来估计的。所以，可以用公式（15）作为FDP的一个量度。公式（15）和（16）中的表示式对中等干扰电平情况下性能的劣化提供了合理的范围，但是这些方程式可能过低地估计了干扰电平高于热噪声电平（如20 dB）时的影响，因为此时公式（14）中的第一项所表示的色散影响开始变得重要了，而且浅衰落可能不符合公式（14）中所隐含的瑞利衰落定律。

高干扰电平的影响可能最好通过分别考虑短时间干扰规范或通过检查接收到的信号功率与噪声和干扰功率的和之比的累积分布的方法来进行估计（见附件6）。开发最适当的工作现在正由无线电通信第9研究组进行研究。

高电平干扰的其他考虑是它们是否电平高到足以使无衰落情况下链路的差错性能劣化。可能需要考虑ITU-R F.634建议书中残余比特差错率和正在制定的满足ITU-T G.826建议书所需要的其他指标这样的性能规范。只有当这样高的干扰事件很少发生或根本不发生，它们的效应才可以忽略。

公式（15）的形式使它特别适用于干扰研究，因为它使得大的卫星星座可以简单地进行处理，而不管星座是否是均匀间隔的。而且很容易估计多个星座的影响，因为将每一个所产生的FDP加起来，就可以求出总的或合成的FDP。

5 FDP的另一种推导方法

假定，在一个接力段上工作的数字微波的性能主要由该接力段上由多径传播引起的深衰落的出现率所决定。对于具有有效的自适应均衡器的系统或对于频带足够窄的系统，如3 GHz以上频率上见到的典型系统而言，这个假定是合理的。

若 C 是无衰落接收信号电平， N_T 是热噪声电平， K 是为满足主要性能要求所需要的 C/N_T 的最小值，当出现以下条件时，满足要求的这个条件将不能满足：

$$\frac{rC}{N_T} < k \quad (17)$$

其中：

$$\begin{aligned} r: & \text{衰落因子} \\ & = 10^{-A/10} \\ A: & \text{衰落深度 (dB)。} \end{aligned}$$

如果存在类似于高期噪声的干扰，检测器上的平均功率为 I ，则在下列条件下，将不满足主要的性能指标：

$$\frac{rC}{N_T + I} < k \quad (18)$$

显然，在下列条件下，不满足性能指标：

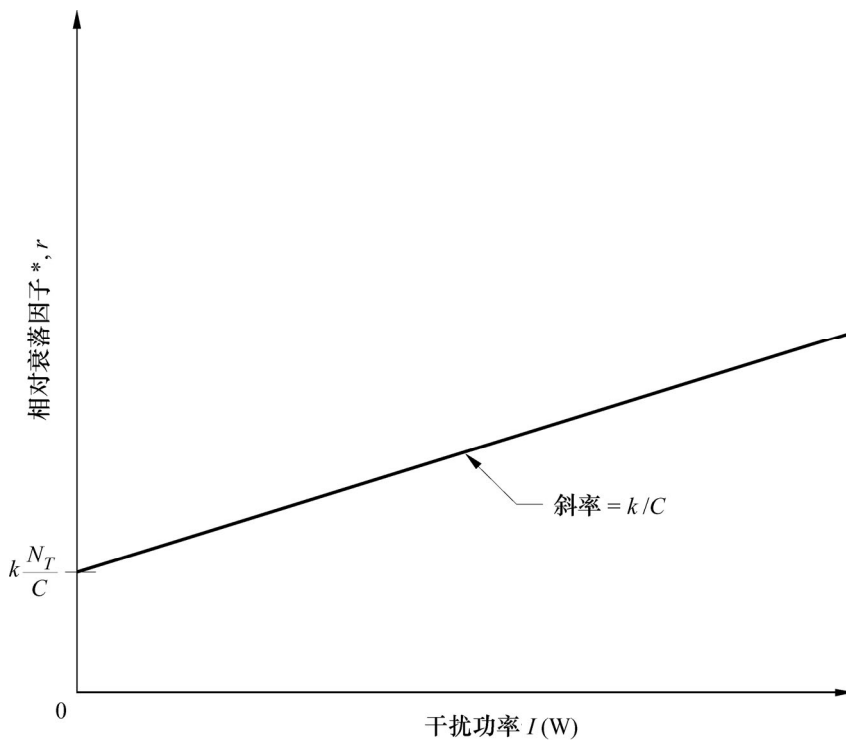
$$r \leq k \left(\frac{N_T}{C} + \frac{I}{C} \right) \quad (19)$$

图10表示刚好满足不等式(18)的区域的分界线。当干扰功率不是常数时,要求衰落和干扰联合出现的概率相当小,即在图(10)的分界线下方的数值,才能满足主要的性能指标。特别是,若 $p_r(r)$ 为衰落因子的概率密度函数, $p_I(I)$ 为干扰功率的概率密度函数,而且这些过程是独立的,则将不满足临界性能指标的一个月的比例 P_{0i} 由下式求出:

$$P_{0i} = \int_0^{\infty} dI \int_0^{(k/C)(N_T + I)} p_r(r) p_I(I) dr \quad (20)$$

图 10

满足临界性能指标的区域边界



* 衰落功率与未衰落功率之比

1108-10

在所考虑的大多数情况下,公式(20)的值由出现深多径衰落的概率所决定,因而可以使计算简化。ITU-R P.530建议书预测,在深衰落情况下,衰落因子小于 r 的概率与 r 成正比。所以,衰落因子的概率密度函数一定是一个常数。

$$p_r(r) = \beta \quad r \ll 1 \quad (21)$$

其中 β 为比例常数，它可以作为一个衰落出现因子来描述。所以，用公式（21）代入公式（20）的方法，就可以得到一个月中不满足临界性能指标的时间比例。

$$P_{0i} = \frac{\beta k}{C} (N_T + I_{av}) \quad (22)$$

其中 I_{av} 是平均干扰功率或者

$$I_{av} = \int_0^{\infty} I_{pl}(I) dI \quad (23)$$

FDP是由于存在干扰造成不满足主要性能指标的时间百分数增加的比例。 P_{0o} 表示无干扰时公式（22）中的值，FDP可以表示为 $FDP = (P_{0i}/P_{0o}) - 1$ ，或

$$FDP = \frac{I_{av}}{N_T} \quad (24)$$

该公式与公式（15）等效。

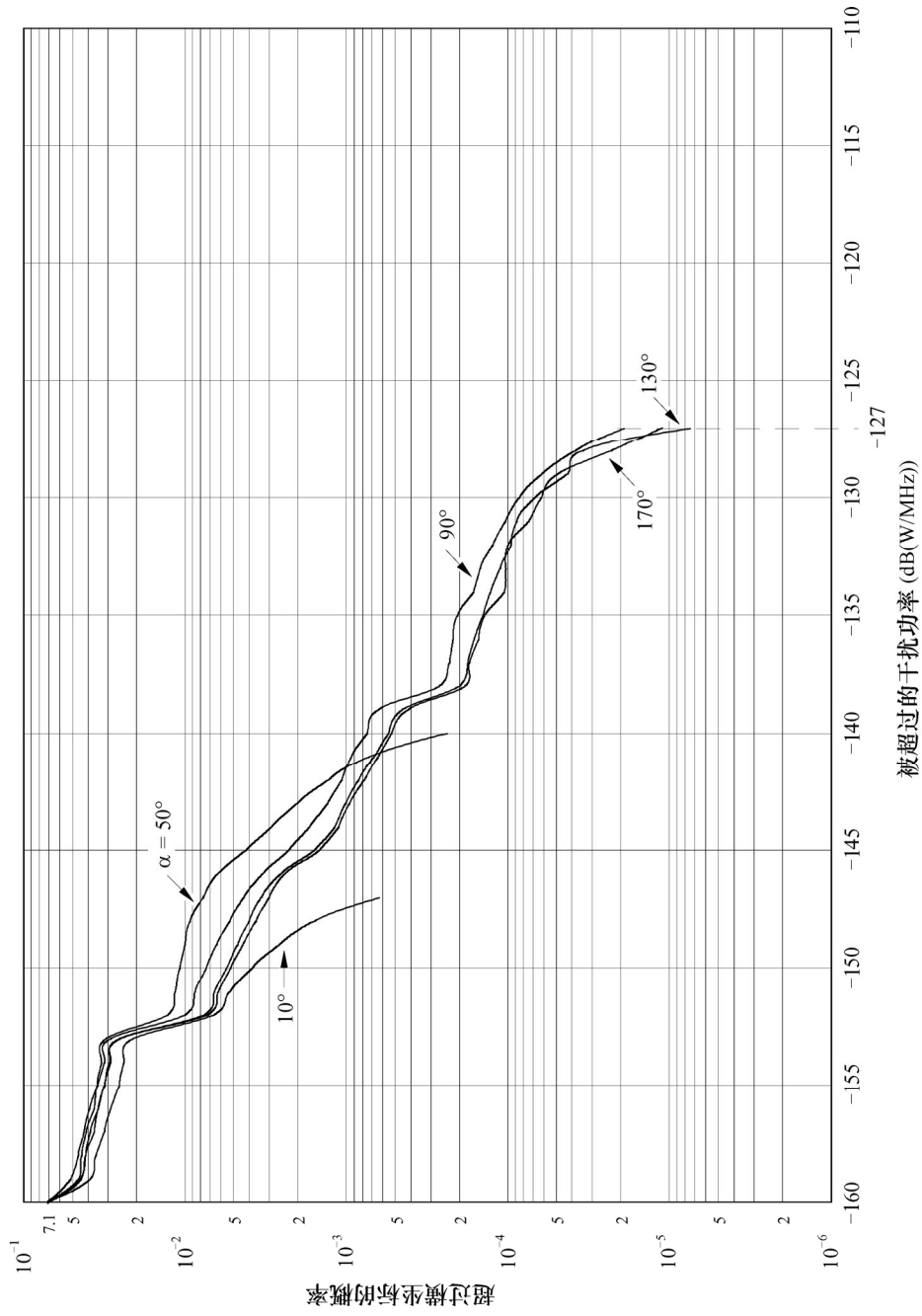
6 仿真的取样结果

本节介绍仿真程序许多次试运行所得到的某些结果。目的是发现某些基本的趋势和有问题的地方。除非另有规定，假定地面站位于北纬 40° ，工作频率2.000 GHz，天线直径2.76 m，增益33 dB，波导损耗2 dB。根据ITU-R F.759建议书，接收机的噪音系数取4 dB。仰角不大于 5° 时，卫星发射降低到pfd的限值-130 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$)。仰角从 5° 到 25° 时，卫星发射每度增加0.5 dB。仰角超过 25° 时，pfd为-120 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$)。沿每一轨道对卫星进行取样，取样增量 0.5° ，围绕赤道等间隔共有720个轨道。

图11表示由不同指向方位角的天线接收到的从高度为800 km和倾角为 50° 的一个轨道中的卫星来的干扰功率的累积分布。因为轨道的倾角受限，在靠近北部的视线以内无法看到卫星。所以，指向北极的 50° 以内的方位上的天线决不会接收到视轴方向上的干扰，并且有截断形式的分布。结果，在稍大一些的方位角上，相对应地有比较大的视轴观察的概率。图12清楚地表示了这一情况，这个图是这一情况下对于一组方位角的性能劣化百分数的关系曲线。

图 11

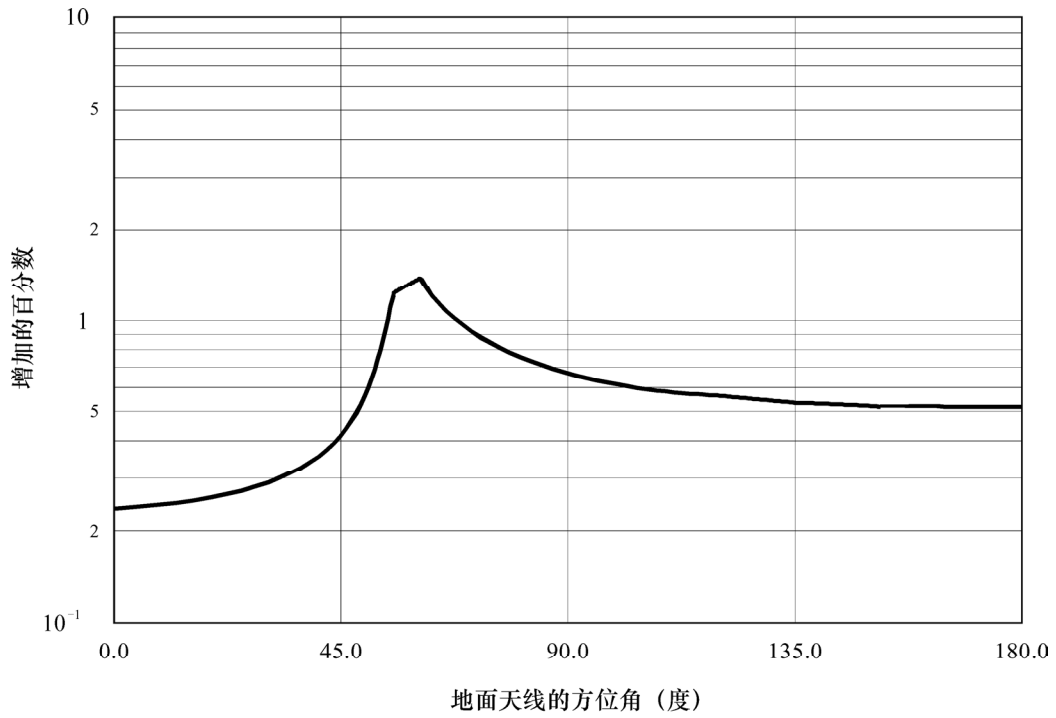
从倾角为 50° 、高度为 800 km 的轨道中的卫星来的对纬度 40° 处的地面站的干扰功率的累积分布



1108-11

图 12

图11中的情况下性能劣化的百分数

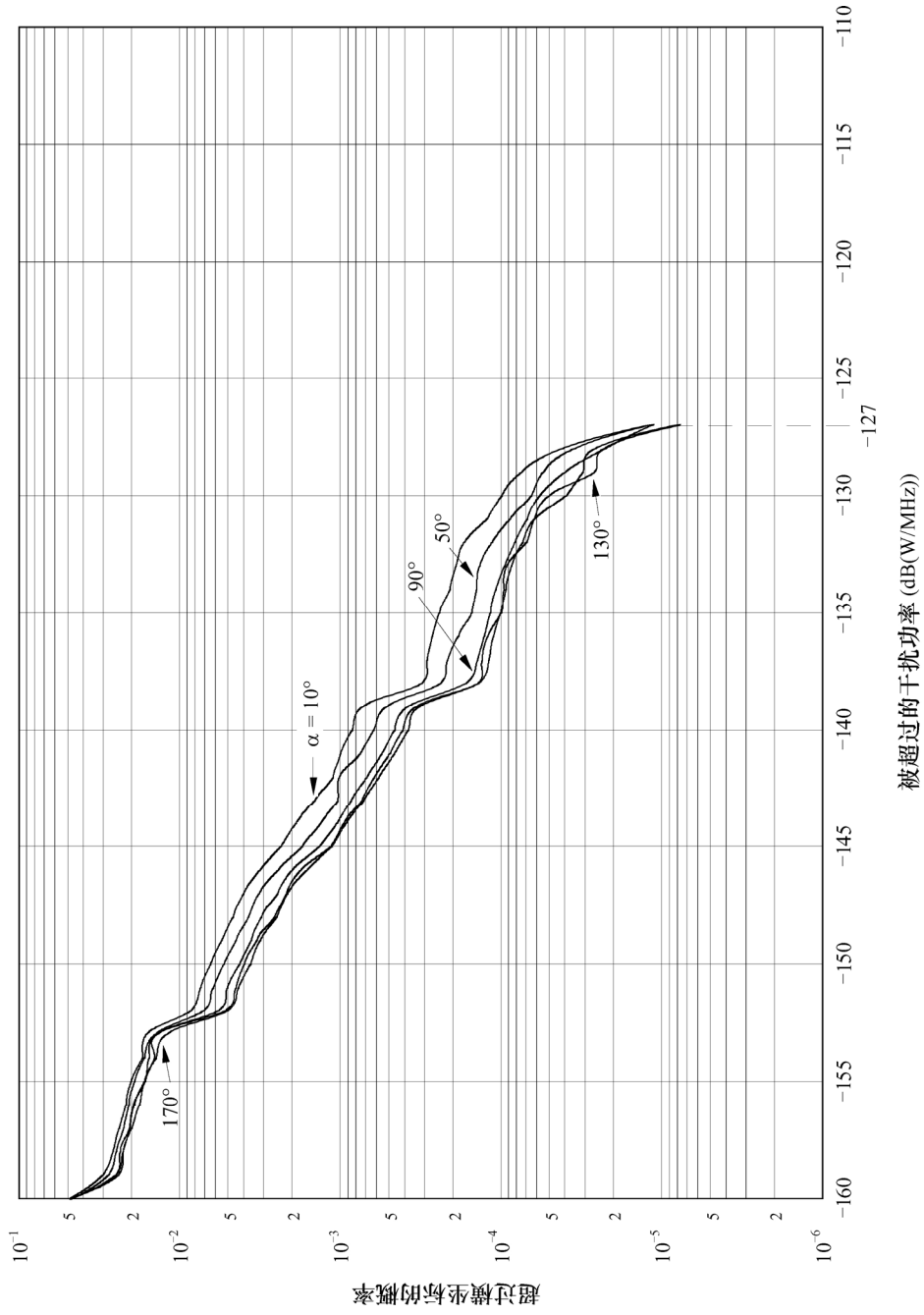


1108-12

图13表示同一状态下接收到的干扰功率的累积分布，但轨道倾角为89.5° 显然在这种情况下，方位角的影响要小得多。

图 13

从倾角 89.5° ，高度 800 km 的轨道上的一个卫星来的对纬度 40° 处的地面站的干扰功率累积分布

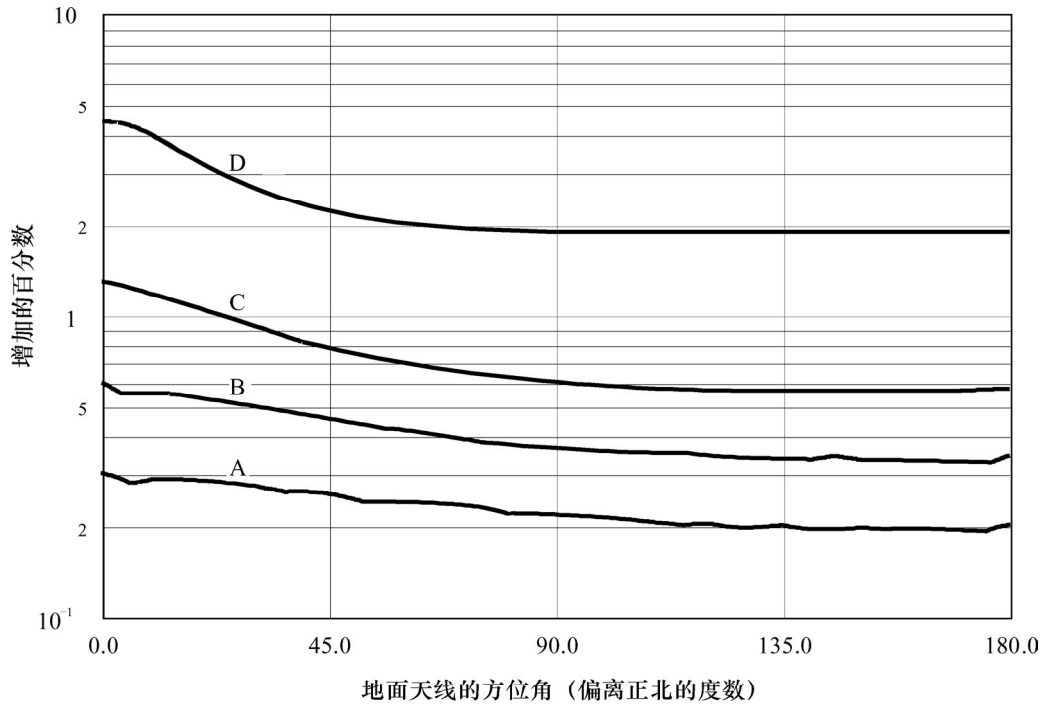


1108-13

图14通过性能劣化的百分比与方位角的关系说明卫星高度的影响。轨道高度在约10 000 km以下时，由卫星产生的性能劣化随轨道高度线性增加，因为在任何瞬间，地球可以看到卫星的面积也随轨道高度增加而线性增加。

图 14

从轨道倾角 89.5° 和不同高度的卫星来的干扰引起的对纬度 40° 处的地面站的性能劣化的百分数

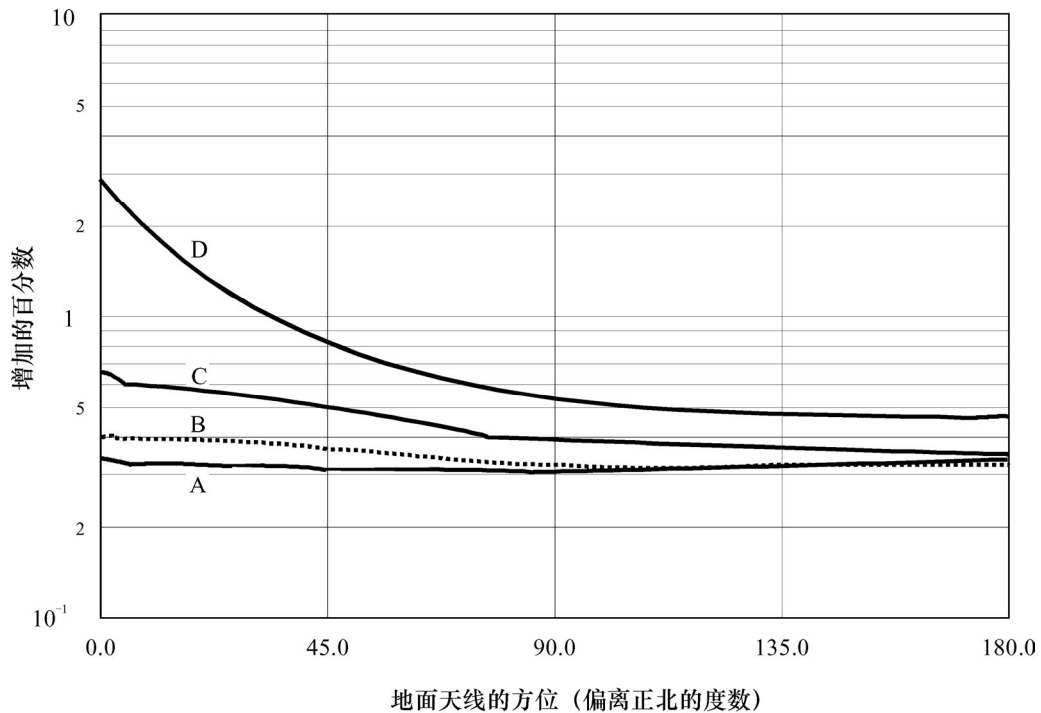


曲线 A: 高度 = 400 km
 B: 高度 = 800 km
 C: 高度 = 1 600 km
 D: 高度 = 10 000 km

地面站的纬度对性能劣化的影响由图15说明。当影响不严重时，对靠近极地的指向角范围内，越靠近极地，影响越严重。

图 15

从轨道倾角 89.5° 和高度 800 km 的卫星来的干扰引起的
对不同纬度的地面站的性能劣化的百分数



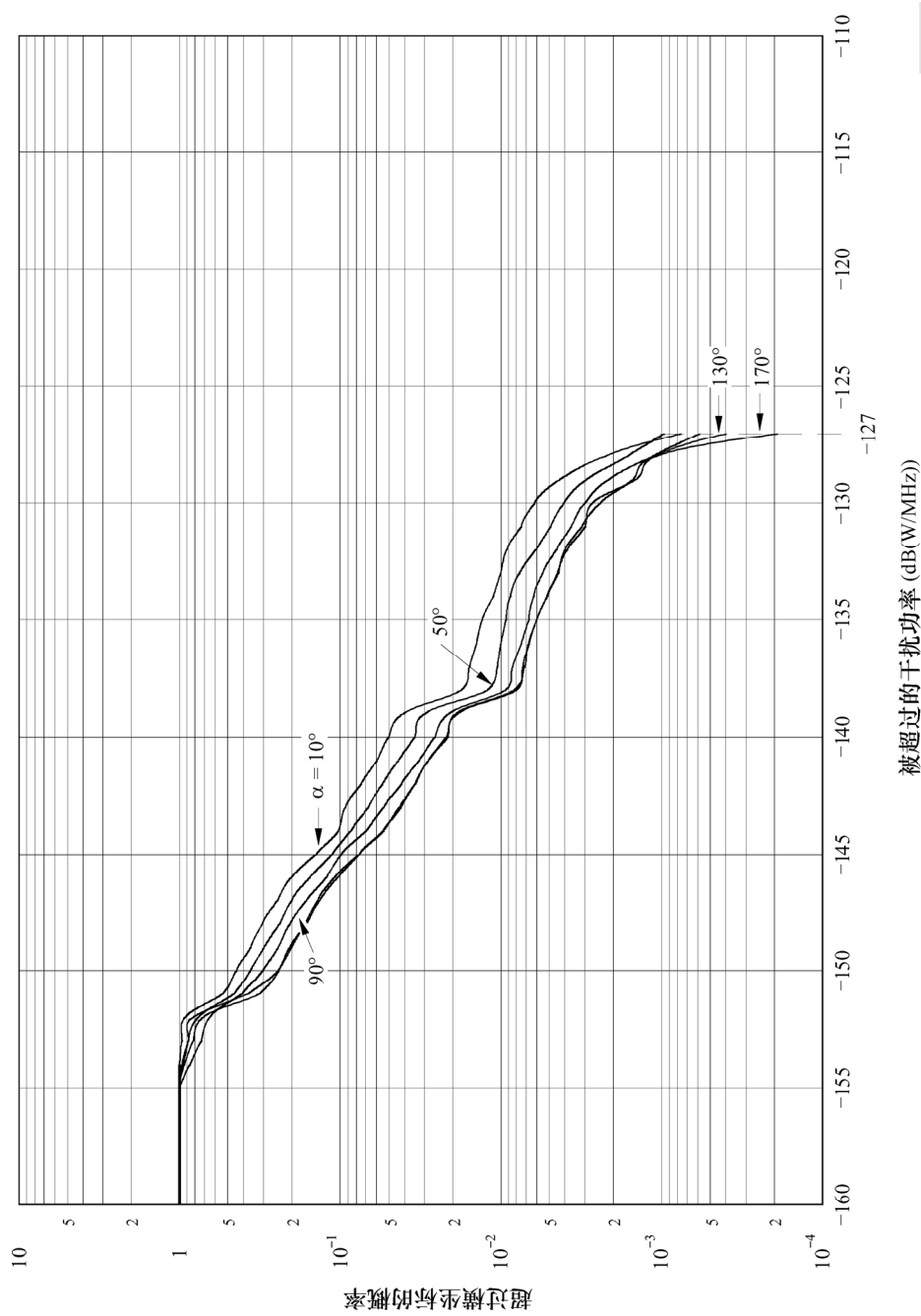
曲线 A: 纬度 = 0°
 B: 纬度 = 20°
 C: 纬度 = 40°
 D: 纬度 = 60°

1108-15

图16和17表示了若卫星使用码分多址技术 (CDMA)，在与地面站同波道工作时，等间隔的55颗卫星组成的星座的影响。将图13和图16进行比较就可以发现，单个卫星和多卫星情况下的干扰分布是十分相似的。图17中的比较结果更明显地看出，由55颗卫星产生的性能劣化比单个卫星产生的劣化要坏55倍。

图 16

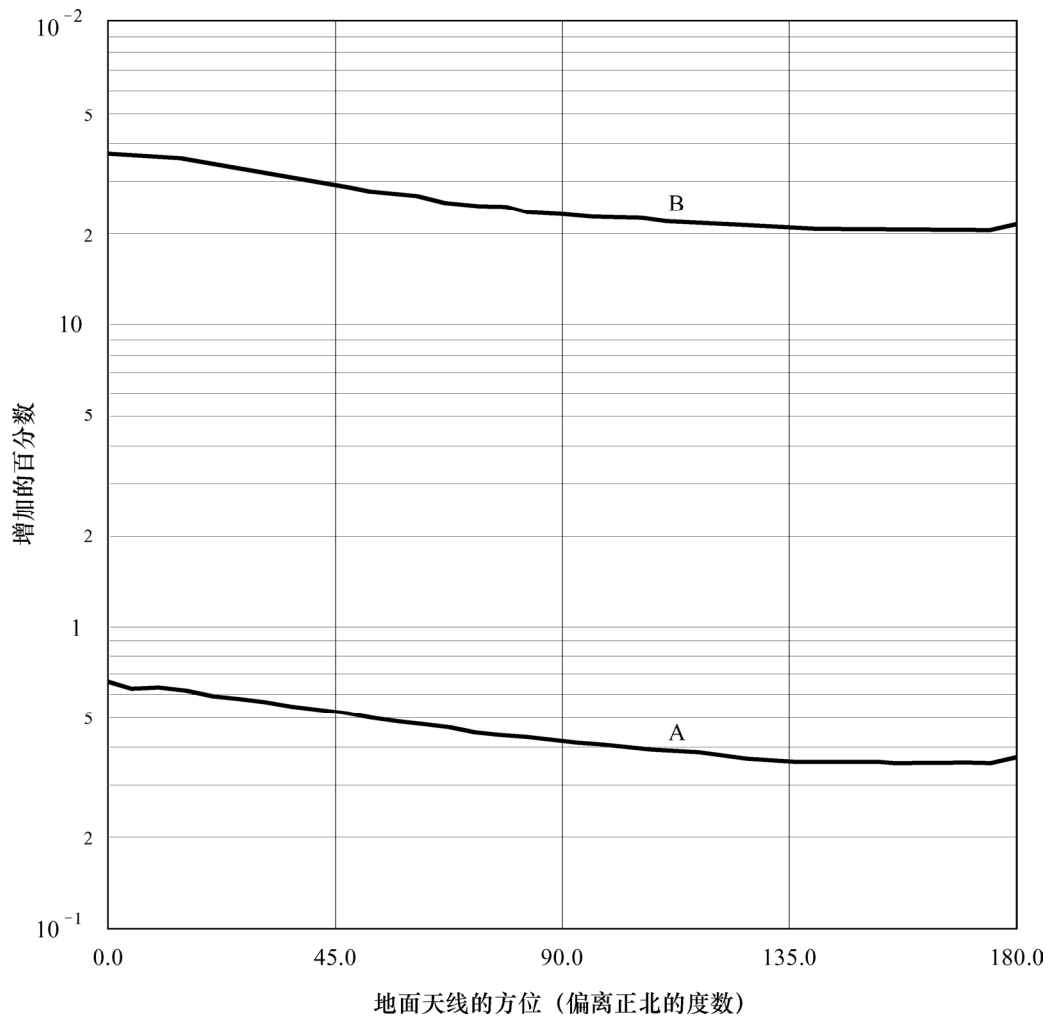
在 89.5° 倾角和高度 800 km 的轨道中的单个卫星和 55 颗卫星的均匀星座引起的对纬度 40° 上的地面站的干扰的累积分布



1108-16

图 17

在 89.5° 倾角和高度 800 km 的轨道中的单个卫星和 55 颗卫星的均匀星座引起的
对纬度 40° 上的地面站的性能劣化的百分数



曲线 A: 1 颗卫星
B: 55 颗卫星

1108-17

7 中期结论

已经发现，对于均匀星座中的卫星而言，性能的劣化与卫星的数目有线性关系。一般，干扰进入接收机通带的所有卫星产生的劣化量是相加的。

对于非同步轨道卫星而言，功率通量密度随仰角一起升高，在中纬度地区的地面接收机所经受的FDP变化范围有限：

- 指向角 — 纬度在 60° 以下、高度在800 km以下的，变化范围为3倍；
- 卫星高度 — 近似随卫星高度线性增加；
- 地面站纬度 — 纬度在 20° - 60° 以内时，增加的量约为2倍。

功率通量密度上升速率不同，这些结论可能有变化。对于接近极轨的卫星，从方位角看，在高纬度地区的地面站所受到的性能劣化的比例的变化可能要更大一些。把pfd的升高或pfd限值本身与轨道高度和倾角结合起来考虑，就可以比较容易地实现频率共用。这些可能性值得进一步研究。

这些结论与采用接近圆轨道的非同步卫星有关系。若使用高椭圆度的轨道需要进一步的资料 and 需要更进一步的研究，因为在必须满足性能指标的一个月内，干扰统计可能是不稳定的。适应这种工作条件的工具还需要进一步研究。

使用同步轨道会使得性能劣化的百分数随指向角和地面站位置变化而变化的部分增加。这些是通常详细的协调程序部分中所考虑的类型。因为与每一地面站进行协调似乎是不现实的，替代方法是降低所容许的卫星发射（pfd）。虽然规定这样的限值相当简单，但仍需要进一步研究。

若同步轨道卫星和非同步轨道卫星都在同一频带中应用，频率共用所要考虑的问题就更复杂了，特别是因为两种类型卫星的干扰效应是相加的。

本附件已经考虑了从同频基础上均匀占用频谱的卫星星座来的干扰，并且假定卫星的发射由地球表面的固定的pfd模框所限制。有些特定的系统可能在星座内采用频率重用方式，这样可以改善频率共用的可能性。若将这一方法应用于特定系统所考虑的详细的事项，估算干扰效应可以利用在卫星中实施的天线射束和频率重复使用方案。

附件 4

确定干扰对使用分集的数字接收机的影响的方法

1 引言

在多径衰落是性能劣化的主要原因的频带中，没有干扰时经常配备各种形式的频率分集。在没有干扰的情况下所得到的性能改善和由于干扰所引起的分集性能的劣化将与所选择的特定的分集设备稍有关系。某些系统可能使用与得到分集信号的主天线特性不同的天线。在得到合成信号方面，不同的系统可能使用不同的合成/倒换安排。若所有其他方面都相同，则在主信号路径和分集信号路径中采用相同天线的系统比无分集系统相比将得到最大的性能改善，这样的分集系统受干扰的影响似乎也最小。

为了研究分集系统的FDP，将假定在两个分集支路中，数字系统采用相同的天线，并且频带足够窄或均衡得相当好，因而数字系统的性能主要由信号损失所决定。在这种情况下，可以用公式(20)相同的方式求出不满足临界性能指标的一个月的时间百分数，但是必须区分分集的量和非分集的量。所以：

$$P_{0i} = \int_0^{\infty} dI p_I(I) \int_0^{(k/C)(N_T+I_C)} dr p_r(r) \quad (25)$$

与无分集情况下一样，在包含主天线的支路中，干扰功率 I 和它的分布是以相对于由该支路引起的系统有效噪声功率 N_T 来表征的。用相对于处理后的噪声的处理后的干扰功率 I_C 来决定干扰引起的性能劣化。因为在分集的前面有足够的系统增益，可以将输出作重新换算的处理，使得噪声分量的数值又变为 N_T 。在重新换算后输出的干扰功率为 I_C 。所以，在分集情况下，为了推导出公式(25)，我们用 I_C 为横坐标重新画图10。

在深多径衰落是分集固定业务系统性能劣化的主要原因的情况下，ITU-R P.530建议书提供了深衰落状态下预测窄频带信号的分集接收电平的方法。从这一建议书，我们可以确定，衰落因子小于 r 的概率与 r^2 成正比。所以，衰落因子的概率密度函数必然与 r 成正比，并且：

$$P_r(r) = \gamma r \quad r \ll 1 \quad (26)$$

其中参数 γ 包含分集设备的效应。

已经发现，通常公式（26）适合于描述没有多径衰落的情况下固定业务系统的分集工作。将公式（26）代入公式（25）并求积分，就得到：

$$P_{oi} = \frac{\gamma k^2}{2C^2} \int_0^{\infty} (N_T + I_C)^2 p_I(I) dI \quad (27)$$

或分集性能劣化的比例（DFDP）为：

$$DFDP = \int_0^{\infty} \left(\frac{2I_C}{N_T} + \frac{I_C^2}{N_T^2} \right) p_I(I) dI \quad (28)$$

对于下面两种重要的情况，可以很容易计算公式（28）：理想的开关分集和等增益最大功率合成分集。两种类型的分集将对分集支路中的天线增益与主要支路中的天线增益相同或者两支路完全相同的情况来研究的。

2 开关分集

在这一情况下，通过一个开关选择衰落最小的信号的方法来实现分集工作。所以，在输出端出现其中一个天线的干扰和噪声功率，没有经过换算，并且：

$$DFDP = \int_0^{\infty} \left(\frac{2I}{N_T} + \frac{I^2}{N_T^2} \right) p_I(I) dI \quad (29)$$

或：

$$DFDP = 2 \frac{I_{av}}{N_T} + \frac{I_2}{N_T^2} \quad (30)$$

其中 I_{av} 的定义按照公式（23），而 I_2 是干扰功率的二次矩，用下式表示：

$$I_2 = \int_0^{\infty} I^2 p_I(I) dI \quad (31)$$

为了用于仿真，也可以将公式（30）以与公式（15）相同的形式写成下式：

$$DFDP = \sum f_i \left[\frac{2I_i}{N_T} + \left(\frac{I_i}{N_T} \right)^2 \right] \quad (32)$$

3 最大功率合成

最大功率合成器移动两个分集支路之间的相对相位，使得在两个支路中的有用信号的复制品将同相。因为两个天线来的干扰的贡献是同相的，所以若干扰和有用信号有相同的相对相位，合成器输出端的 I/N 将为输入端的两倍。若分支与分支之间干扰的相移与有用信号的相移相差 φ 弧度，在合成器输出端的干扰功率可用下式表示：

$$I_C = 2I \cos^2(\varphi/2) \quad (33)$$

可以将这一结果代入公式(28)。假若相位 φ 在0到 2φ 内均匀分布，我们就可以求出它的平均效应。这就得下式：

$$DFDP_{mpc} = \int_0^\infty \left(\frac{2I}{N_T} + \frac{3I^2}{2N_T^2} \right) p_I(I) dI \quad (34)$$

或：

$$DFDP_{mpc} = 2 \frac{I_{av}}{N_T} + \frac{3I_2}{2N_T^2} \quad (35)$$

为了用于仿真，这一公式也可以用与公式(15)相同的形式写成下式：

$$DFDP = \sum f_i \left[\frac{2I_i}{N_T} + \frac{3}{2} \left(\frac{I_i}{N_T} \right)^2 \right] \quad (36)$$

4 分集衰落储备损失 (DFML)

从以前的研究结果可以预料在同一干扰环境下，分集系统的FDP至少为另一个相同的无分集系统的FDP的两倍。反过来，利用公式(26)，很容易得到对于一给定的DFDF系统的DFM的损失是对一类似的FDP值的无分集系统的损失的一半。即：

$$DFML = 5 \log(1 + DFDP) \quad (37)$$

若用一般的方法来定义进入固定业务接收机的干扰功率的方差 σ^2 ：

$$\sigma_I^2 = I_2 - I_{av}^2 \quad (38)$$

并且用无分集FDP将DFML写成下式：

$$DFML = 10 \log \sqrt{(1 + FDP)^2 + (FDP \sigma_I / I_{av})^2} \quad (39)$$

5 综述

在进入固定业务接收系统中的干扰功率为常数的环境中或随时间变化不很强烈的环境中，由该系统所受到的衰落储备的损失将与是否使用分集无关。在大多数情况下，当干扰功率的方差与平均干扰功率的平方可以相比较时，可以认为干扰的变化是不强的。

从均匀卫星星座的许多干扰仿真的结果可以看出干扰功率的方差经常比平均干扰功率的平方高数个量级。在这些情况下，正如在公式（30）和（39）中由第2项所表明的那样，干扰中方差的贡献成为主要的效应，这将限制可以接受的干扰功率电平，而不管我们是用性能劣化或是用衰落储备损失。

为了估计分集系统中的干扰效应，理想的开关分集系统的衰落储备损失（FML）提供了作比较用的最简单的基础。

附 件 5

在一个月中干扰环境的均匀性的考虑

随着时间的变化，圆轨道中非同步卫星的星下点在地球表面画出一个轨迹。经过某些完整的轨道数以后，这一轨迹将回到地球表面上同一个点或几乎同一个点。出现这种现象所经过的时间就是卫星的重复周期。有很短的几天重复周期或很长周期（如许多月）的卫星星座可能需要专门的研究，因为任何月份固定业务系统必须满足性能指标。

为了满足两个条件，应该对为仿真进入到固定业务接收机的非同步轨道星座的干扰所选择的周期进行选择。一个方法是仿真的周期应该等于星座的重复周期，它是一特定的卫星连续两次通过地球表面上一个给定的点之间的时间。第二个条件与星座所产生的干扰环境的经度的均匀性有关。在同一纬度上由相同的固定业务接收机接收到的干扰统计也可能与地面站的经度有关。考虑在卫星的重复周期内星座中每一卫星的南到北赤道交点的经度的分布，就可以对这一随经度的变化做出估计。

因为在任一月中固定业务系统必须满足它们的性能要求,应该根据最坏月份(名义上30天)来估计卫星干扰。在衰落状态下对有分集和无分集固定业务接收机两种条件下FML的仿真计算结果表明FDP或FML对星座轨道参数和星座的起始条件即决定一个月中干扰环境的均匀性的各参数是相当敏感的。

在规划非同步轨道星座时,可能有许多方法可以实现干扰的经度均匀性,例如,改变卫星的高度,改变轨道平面之间的夹角和/或在各平面内的平面与平面之间引进卫星的相位移动。这样一个方法的实际生命力将需要进一步研究。选择的方法对固定业务是无关紧要的。然而,应该认识到无法达到均匀性可能造成许多固定业务站置于比较差的干扰环境的影响下。在详细估计干扰对实际系统的影响时,这一点必须加以考虑。

附 件 6

根据非同步轨道空间站的星座来的发射的仿真结果研究 接收到的功率与噪声和干扰功率之和的比值的累积分布的方法

1 C/I 和 $C/(N+I)$ 之间的关系

可以利用附件3中开发的方法来确定具有性能门限的数字系统在深多径衰落状态下的FDP和FML。可以将本附件§5中所用的方法推广到不太深衰落的条件下。在这一情况下,衰落深度的累积分布的形状可能是重要的。为此,可以定义下面的分布:

$F_M(A)$: 一路径上接收到的信号衰落到低于标称的或无衰落接收电平 A (dB) 或更低的概率

$F_{C/(N+I)}(Z)$: 载波功率与噪声加干扰功率之比 (dB) 低于无衰落时的载波噪声功率比 Z (dB) 或更低电平的概率。

在公式(20)中对变量 r 的积分为 $F_M(Z - 10 \log(1 + I/N_T))$, 公式(20)的左边是 $F_{C/(N+I)}(Z)$ 。所以,

$$F_{C/(N+I)}(Z) = \int_0^{\infty} p_I(I) F_M(Z - 10 \log(1 + I/N_T)) dI \quad (40)$$

对任何多径衰落和接收到的干扰功率的概率密度函数的分布，公式（40）提供了研究载波与噪声加干扰功率之比的累积分布的手段。在固定业务接收机中由于非同步轨道卫星的星座所引起的干扰功率的概率密度通常由计算机仿真来求出。若将这一分布存储起来，以后在单独作评估中等衰落深度时衰落对性能的影响的计算时，可以将这一分布应用于公式（40）。

2 建立衰落深度累积分布的模型

在ITU-R P.530建议书中，ITU-R已经建立了由一组多径衰落分布组成的数学模型，其中这组是以参数 qt 来表征的。这个模型可以用来确定在所有 A 值（正或负两种情况）下的函数 $F_M(A)$ 。该模型为阐明各个程序和解释结果提供了一个有用的基础。在下面各节中，它就用于这一目的。

3 实例

图18表示了五对 C/I 和 $C/(N+I)$ 损失的分布。每一对对应于参数 qt 的5个数值的一个值，利用了ITU-R M.1141建议书在2 180 MHz频率上给出的pfd电平上工作的实际LEO-F星座情况下所制定的干扰概率密度，固定业务接收站纬度 40° ，最坏情况下的方位角为 50° 。对于在一地理气候区中一给定长度和位置的固定业务路径而言，只可以用一个 qt 值。在一个 C/N 分布的任一点上，与相应的 $C/(N+I)$ 分布的垂直距离相当于性能的劣化，而水平的间隔相当于FML。用一精心编写的计算机程序可以精确地计算出 C/N 和 $C/(N+I)$ 之间的间隔。图19对图18所示的各种分布给出了这样的计算结果。

C/N 相对于无衰落时的 C/N 的损失与衰落深度相同。尽管对于 qt 等于-2的情况下，在比较浅的衰落深度下，FML稍有减小，但是对于正的 qt 值情况下（3 GHz以下的衰落，这种情况更典型），在比较浅的衰落深度下，FML稍有增加。

图 18

根据无分集工作情况下用几个参数 qt 值得到的
LED-F星座的仿真结果求出的相对于无衰落时 C/N 的 C/N 和 $C/(N+I)$ 的
 损失的累积概率分布固定业务接收天线在偏离正北 50° 的方位角上

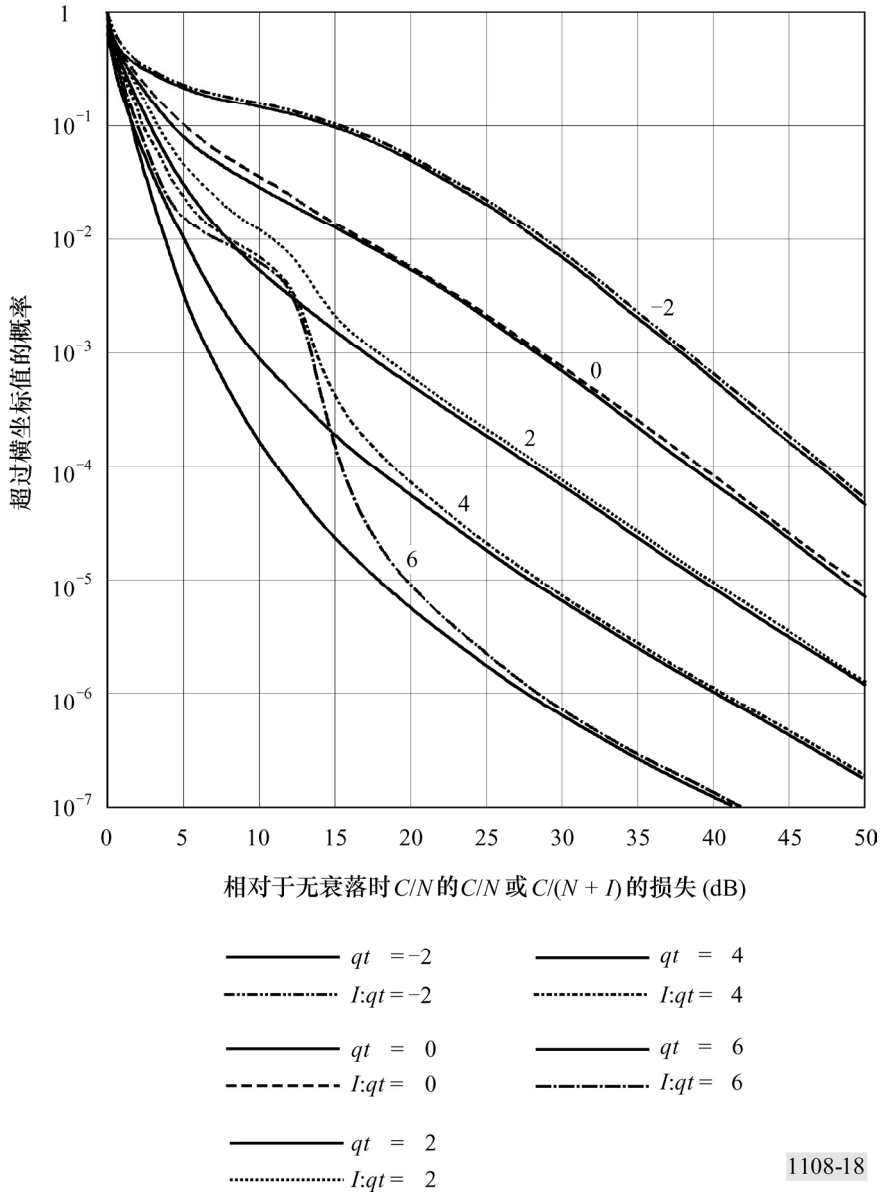
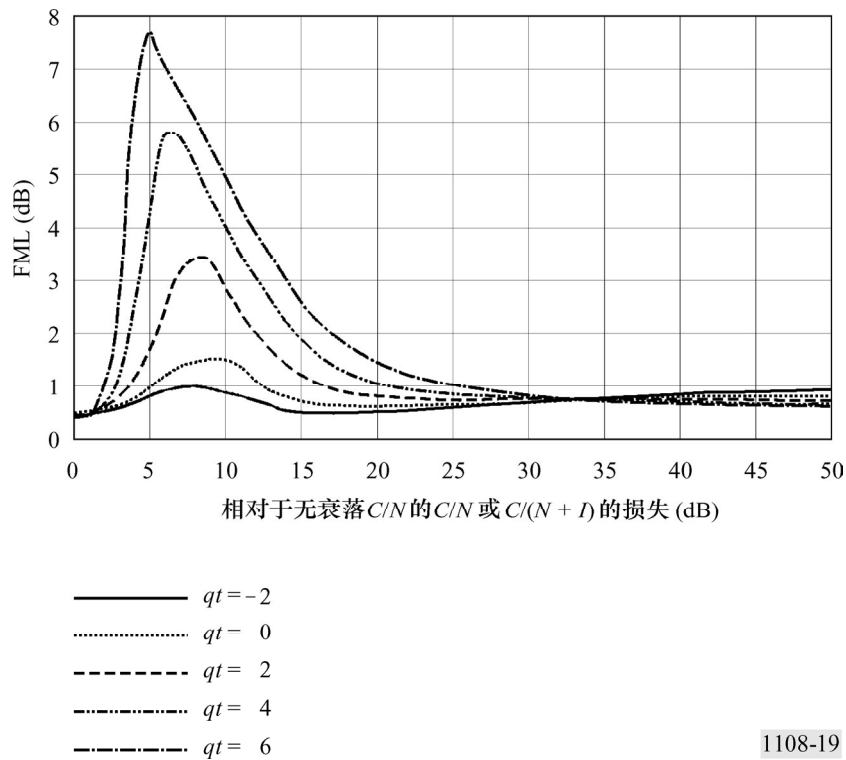


图 19

由图18中所用的仿真结果导出的在规范衰落深度下无分集时的FML
(方位角=50°)



4 结论

在中等衰落深度下，FML可能会大得多，比深衰落情况下的衰落储备损失大许多分贝。FML的值更大是比衰落累计分布的斜率联系在一起的。例如，将图18和图19进行比较，这一联系是很明显的。这里可以看出，对于有最大斜率的衰落分布和接近出现这些大斜率的衰落深度下，出现最大的损失。显然，在中等衰落深度情况下的FML对路径上衰落深度的累积分布的详细形状比较敏感。

但是，本附件所提出的方法可以用于任何衰落深度分布。以实际的衰落分布或ITU-R P.530建议书的模型进行检验是很有必要的。FML对一给定的固定业务系统性能的实际影响的全面评估将需要有关系统特性的资料或它在规定的衰落电平下的差错性能及它的性能规范的资料。

附 件 7

用于估计从使用圆轨道或椭圆轨道（包含高地球轨道）的非静止卫星轨道（GSO）的卫星星座来的对固定业务（FS）中的一个站的干扰的分析方法

1 引言

对非静止卫星轨道（GSO）的卫星星座做了如下假设：

- 有 M_s 个轨道平面和在一轨道平面上有 N_s 颗卫星；
- 相邻轨道平面之间的角度间隔是均匀的；
- 在一轨道平面上两个相邻卫星之间的时间间隔是均匀的；
- 轨道周期原则上与地球的旋转没有关系；
- 所有卫星总是以相同的频率发射；
- 倾角 δ 对所有卫星是公共的。

还假设在椭圆轨道情况下，近地点幅角对所有卫星是公共的。

本附件中的方法可以用于估计从使用中地球轨道或低地球轨道和由大量轨道平面中运行的许多卫星组成的全世界覆盖的非GSO卫星星座来的干扰。就可以应用的频率范围而言，从本方法的原理的观点来看，除了在相关的ITU-R建议书中可能内含的限制以外，没有任何限制。§ 6对本附件的分析方法的特点作了汇总。

当用该方法来估算从使用高地球轨道（HEO）的非GSO卫星星座来的干扰时，对该方法必须做某些修正。

本附件的附录2说明了为了使下面的分析方法可以应用于使用HEO的非GSO卫星星座所需要的必要修正。

虽然本附件和本附件的附录2所描述的分析方法假设固定业务系统只有一个站组成，但很容易将该方法推广到估计进入多跳的固定业务系统中全路由的总干扰。在多跳的固定业务系统中，全路由的性能劣化比例（FDP）由ITU-R F.1107建议书的附件2中所介绍的方法来确定。

2 圆轨道情况

在圆轨道情况下，卫星的距离是常数。卫星在 $(u, u+du)$ 范围内的幅角的概率密度函数（pdf）， $p(u)$ 是均匀的，用下式表示：

$$p(u)=1/(2\pi) \quad (41)$$

假设卫星的周期是一致的，不会失去通用性，在时间 t ($0 \leq t < 1$) 时的幅角由下式给出：

$$u = 2\pi t \quad (42)$$

在 § 1 中给出的条件下，我们可以假设，卫星的经度的概率密度函数 (pdf) 在 $0-2\pi$ 内是均匀的。

所以，当有 M_s 轨道平面和在一个平面内有 N_s 颗卫星时，我们可以假设基准卫星的幅角的 pdf 在 $0-2\pi/N_s$ 内是均匀的，并且基准卫星的经度的 pdf 在 $0-2\pi/M_s$ 内是均匀的。所以，当基准卫星的幅角和经度分别为 u 和 φ 时，第 j 个平面上的第 i 颗卫星的幅角 u_{ij} 和经度 φ_{ij} (当 $i=1,2,\dots,N_s$ 和 $j=1,2,\dots,M_s$) 由下式给出 (见注1)：

$$u_{ij} = u + (i-1)2\pi/N_s \quad (43a)$$

$$\varphi_{ij} = \varphi + (j-1)2\pi/M_s \quad (43b)$$

其中 $i=1$ 和 $j=1$ 相当于基准卫星。所以，通常可以根据 § 4 中所描述的方法来确定干扰。

注1 — 公式 (43a) 假设在不同轨道平面中的卫星之间没有相位差。若存在任何相位差，应该按 $u_{ij} = u + \beta_j + (i-1)2\pi/N_s$ 对这个方程加以修正，其中 β_j 是第 j 轨道平面的相位差 ($\beta_1=0$)。

3 椭圆轨道情况下

3.1 卫星的距离

在椭圆轨道中，卫星 (离地球中心) 的距离 $r(u)$ 可以用下式表示为幅角 u 的函数：

$$r(u) = \frac{r_0}{1 + e \cdot \cos(u - \omega)} \quad (44)$$

其中 e 和 ω 分别为偏心率和近地点幅角，而轨道的远地点和近地点离地球中心的距离分别由 $r_0/(1-e)$ 和 $r_0/(1+e)$ 求出。反过来， r_0 和 e 可由以下公式表示：

$$r_0 = 2r_{\max}r_{\min}/(r_{\max}+r_{\min}) \quad (45a)$$

$$e = (r_{\max} - r_{\min})/(r_{\max} + r_{\min}) \quad (45b)$$

其中 r_{\max} 和 r_{\min} 分别为远地点和近地点离地球中心的距离。

3.2 卫星幅角的pdf

椭圆轨道的著名定理 (开普勒第二定律) 是“扫描面积的速度为常数”。这一定律可以表示如下：

$$r^2(u) \cdot (du/dt) = \text{常数} \quad (46a)$$

或

$$dt \propto r^2(u) \cdot du \quad (46b)$$

这里应该指出, dt 与卫星幅角位于范围 $(u, u+du)$ 内的概率成正比。所以, 卫星的pdf, $p(u)$ 与幅角 u 的函数关系由下式给出:

$$p(u) = \frac{\alpha}{[1 + e \cdot \cos(u - \omega)]^2} \quad (47)$$

若 $p(u)$ 对 u 在 $0-2\pi$ 内进行积分, 结果应等于1。由此, α 可以由下式求出:

$$\alpha = \frac{(1 - e^2)^{3/2}}{2\pi} \quad (48)$$

这里应该指出, 卫星的纬度 θ 与幅角的函数关系可以由下式求出:

$$\theta = \arcsin(\sin u \cdot \sin \delta) \quad (49)$$

其中 δ 是轨道的倾角。该公式也可以用于圆轨道情况下。

3.3 确定幅角与时间的函数关系

为了简化, 我们可以假设卫星的周期为1, 不会失去通用性。经常有必要确定幅角与时间 t 的关系 $u(t)$, 其中 $0 \leq t < 1$ 。解下面的方程就可以求出这一关系:

$$t = \int_0^{u(t)} p(x) \cdot dx \quad (50)$$

为了在不影响精确度的条件下简化 $u(t)$ 的计算, 用下面的途径可能是合适的。将一个周期用 N 去除, 并且 t_k 由下式决定:

$$t_k = k/N (k=0, 1, \dots, N) \quad (51)$$

与 t_k 相应的幅角表示为 $u_k = u(t_k)$ 。则 u_k 可由下式求出:

$$\int_{u_{k-1}}^{u_k} p(x) \cdot dx = \frac{1}{N} \quad (52)$$

u_k 的近似值由下式求出 (注意 $u_0 = 0$):

$$u_k \cong u_{k-1} + \frac{1}{N \cdot p(u_{k-1})} \quad (53)$$

这个公式是在假设在 (u_{k-1}, u_k) 范围内 $p(x)$ 为常数的条件下推导出来的。这一数值可以用做最初的近似值, 而 u_k 的精确值是可以计算出来的, 如用 Newton-Raphson 法求出 (见注1)。所以, 可以求出所有 t_k ($k=0, 1, \dots, N$) 下的 u_k 值。请注意 $u_N = 2\pi$ 。

对应于时间 t 的 $u(t)$ 的数值可用下式近似求出:

$$u(t) = N[(t_{k+1} - t) \cdot u_k + (t - t_k) \cdot u_{k+1}] \quad (54)$$

其中 $t_k \leq t < t_{k+1}$ (若 $t \geq 1$, 应该用 $t_k \leq t - 1 < t_{k+1}$ 来代替这一不等式)。若 N 足够大 (如 $N = 10\,000$), 公式(54)给出 $u(t)$ 与时间 t 的关系的精确值。简化的计算方法在附录1中作了说明, 该简化方法不需要公式(52)中的积分运算。

注1 — Newton-Raphson法简要介绍如下。

根据公式(53), u_k 的初始近似值 v_0 由下式求出:

$$v_0 = u_{k-1} + \frac{1}{N \cdot p(u_{k-1})} \quad (55)$$

当已知近似值 v_{i-1} 时, 可由下式求出下一个近似值 v_i :

$$v_i = v_{i-1} - \frac{f(v_{i-1})}{p(v_{i-1})} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (56)$$

其中:

$$f(v_{i-1}) = \int_{u_{k-1}}^{v_{i-1}} p(x) \cdot dx - \frac{1}{N} \quad (57)$$

而且 $p(v_{i-1})$ 和 $p(x)$ 都可以由公式(47)求出 (请注意 $p(x)$ 是 $f(x)$ 的导数)。只要根据公式(56)和(57)重复进行计算, 很容易求得 u_k 的数值。收敛是相当快的, 例如可以用辛普森法来计算 $f(v_{i-1})$ 的值。

3.4 确定卫星位置

本节给出了计算使用椭圆轨道的非GSO卫星的位置的方法。假设有 M_s 个轨道平面, 而且在一个轨道平面上有 N_s 颗卫星。

我们可以假设, 参考卫星的位置 (用时间表示) 在 $0 \leq t < 1/N_s$ 内是均匀分布的, 而它的经度 φ 在 $0 \leq \varphi < 2\pi/M_s$ 内是均匀分布的。相应的幅角 $u(t)$ 由公式(54)求出。在同一轨道平面内的其他卫星的幅角可以按相当于 $t + (k/N_s)$ 的幅角来计算, 其中 $k = 1$ 到 $N_s - 1$ 。

在包含参考卫星的这一轨道平面中的各卫星的纬度可以用公式(49)来求出。可以把在其他轨道平面中的各卫星的幅角视为与参考轨道平面中的各卫星的幅角是相同的。根据参考卫星的经度和幅角, 很容易确定所有卫星的经度。

在实际计算中，有必要计算在取样点处的干扰。为此，参考卫星的最大时间（ $=1/N_s$ ）除以 N_t ，而参考卫星的最大经度（ $=2\pi/M_s$ ）除以 M_ϕ 。所以，在下面的时间和经度处出现基准卫星的概率是 $1/(M_\phi \cdot N_t)$ ：

$$t = \frac{1}{N_s} \cdot \frac{i_t - 0.5}{N_t} \quad (i_t = 1, 2, \dots, N_t) \quad (58a)$$

$$\phi = \frac{2\pi}{M_s} \cdot \frac{j_\phi - 0.5}{M_\phi} \quad (j_\phi = 1, 2, \dots, M_\phi) \quad (58b)$$

公式（49），（54），（58a）和（58b）可以用做计算该星座中所有卫星的纬度和经度的基础。

从计算时间的观点来看， M_ϕ 和 N_t 的数值可能不够大。所以，为了在灵敏区域内进行详细的计算，应该采用如下方法。

对于公式（58a）和（58b）所定义的每一个小区，应该为所有可以见到的卫星计算天线分开的角度。若分开的最小角度小于某个临界值，可以把这一小区视为灵敏区域，并且应该进一步把它分成更小的小区（见注1）。

当基准卫星的时间和经度分别由公式（58a）和（58b）给出时，在 j 个轨道平面中的第 i 颗卫星的时间 t_{ij} 和经度 ϕ_{ij} （当 $i=1, 2, \dots, N_s$ 和 $j=1, 2, \dots, M_s$ ）由下式给出：

$$t_{ij} = t + (i-1)/N_s \quad (59a)$$

$$\phi_{ij} = \phi + (j-1)2\pi/M_s \quad (59b)$$

其中 $i=1$ 和 $j=1$ 相当于基准卫星。可以用公式（54）和（59a）来计算第 j 个轨道平面中的第 i 颗卫星的幅角 u_{ij} （见注2）。

注1 — 当受干扰站（如固定业务中的站）的仰角很低时，由于视野效应，有可能出现灵敏区可能被遗漏的情况。为了避免这种情况，应该把与灵敏区相邻的小区在内的9个小区看做灵敏区，并且应该把它们进一步划分为更小的小区。若FS的天线的仰角不低，则进一步将相邻小区细分为更小的小区可能是不必要的。

注2 — 公式（59a）假设，在 M_s 个不同的轨道平面上的同一幅角处有多个卫星。然而，在某些情况下，情况可能不是这样的。在这样的情况，应该按 $t_{ij} = t + \tau_j + (i-1)/N_s$ 来确定不同轨道平面中的卫星的时间 t_{ij} 。其中 τ_j 是第 j 轨道平面的时间差（ $\tau_1=0$ ）。

4 在自由空间传播条件下对卫星的俯仰角和方位角

在第 j 个轨道平面上的第 i 颗卫星的经度由公式（43b）或（59b）求出。第 j 个轨道平面上的第 i 颗卫星的纬度可以用公式（49）计算出来。这一卫星的距离 r_{ij} 可以用公式（44）求出。这些参数在极坐标系中表示为 $(r_{ij}, \theta_{ij}, \phi_{ij})$ 。

假设受干扰的固定业务站的纬度（北半球为正和南半球为负）和经度分别为 θ_f 和 φ_f ，则可以将上面的坐标作如下变换，使得固定业务站将位于纬度 0° 和经度 0° 。为此目的，首先将FS站的经度变换为 0° 。在这种情况下，在极坐标系中，卫星相对于经度为 0° 的固定业务站的新坐标表示为 $(r_{ij}, \theta_{ij}, \varphi_{ij}-\varphi_f)$ 。这个位置用直角坐标表示为 (x, y, z) 它们的值表示如下：

$$x=r_{ij} \cdot \cos \theta_{ij} \cdot \cos(\varphi_{ij}-\varphi_f) \quad (60a)$$

$$y=r_{ij} \cdot \cos \theta_{ij} \cdot \sin(\varphi_{ij}-\varphi_f) \quad (60b)$$

$$z=r_{ij} \cdot \sin \theta_{ij} \quad (60c)$$

然后，将固定业务站的纬度变换成零度。卫星相对于 0° 固定业务站纬度的新坐标 (x_1, y_1, z_1) 由下式得到：

$$x_1=x \cdot \cos \theta_f+z \cdot \sin \theta_f \quad (61a)$$

$$y_1=y \quad (61b)$$

$$z_1=-x \cdot \sin \theta_f+z \cdot \cos \theta_f \quad (61c)$$

若从固定业务站来看，在自由空间传播条件下，该卫星的仰角 ϵ_{s0} 和方位角 γ_s （从正北起顺时针计）由下式给出：

$$\epsilon_{s0}=\arctan\left(\frac{x_1-r_e}{\sqrt{y_1^2+z_1^2}}\right) \quad (62a)$$

$$\gamma_s=\arctan\left(\frac{y_1}{z_1}\right) \quad \text{对于 } z_1>0$$

$$\gamma_s=\arctan\left(\frac{y_1}{z_1}\right)+\pi \quad \text{对于 } z_1<0 \quad (62b)$$

其中 r_e 是地球半径的平均值，等于6 370 km。

应该指出，本节中的各公式与本建议书附件1中相应的各公式是等效的。

5 固定业务天线方向和可见的卫星方向之间的夹角

用ITU-R F.1333建议书可以决定卫星的可视性，而且当卫星处于可见位置时，也可以用ITU-R F.1333建议书来确定考虑了大气折射以后的实际仰角 ϵ_s 。该建议书提供了确定考虑了大气折射以后，卫星可视性的方法和估计实际仰角的方法。

可以用如下公式，根据固定业务天线主射束方向，用这些值来确定该夹角， SA ：

$$SA = \arccos(\cos \varepsilon_s \cdot \cos \varepsilon_f \cdot \cos(\gamma_s - \gamma_f) + \sin \varepsilon_s \cdot \sin \varepsilon_f) \quad (63)$$

其中 ε_f 和 γ_s 分别为固定业务主射束的仰角和方位角（以正北方向顺时针计）。在定向天线情况下，应该根据ITU-R F.1245建议书，基于这一夹角来确定固定业务天线朝卫星方向的增益。另一方面，在全向天线或扇区天线情况下，由 $SA = |\varepsilon_s - \varepsilon_f|$ 来求出夹角，并且应该根据ITU-R F.1336建议书来确定固定业务天线朝卫星方向的增益。

注1 — 可以使用ITU-R SF.1395建议书或ITU-R F.1404建议书来计算大气吸收损耗的最小值。这一数值对估计对固定业务站的干扰是很重要的。对这些建议书中没有包含的各频带，可以用ITU-R P.676建议书来计算大气吸收损耗的最小值。

6 分析方法特点的综述

在这一附件中的分析方法采用了如下事实，即若卫星的轨道周期原则上与地球的旋转没有关系，则卫星经度的pdf在 $0-2\pi$ 内是均匀的。在圆轨道情况下，幅角 u 的pdf在 $0-2\pi$ 内也是均匀分布的。另一方面，在椭圆轨道情况下，幅角不是均匀分布的，但是若按§3.3中所示的方法来确定幅角与时间的关系，则一个卫星处于时间间隔 $(t, t+dt)$ 的概率与 dt 成正比。根据公式(49)可以从幅角计算出卫星的纬度。所以，可以认为，卫星纬度的pdf与卫星经度的pdf是互相独立的。若考虑到这一事实，可以按§3.4中介绍的方法来分析确定基准卫星的位置。

若§1中的假设成立，则只要假定在 $0 \leq t < 1/N_s$ 内基准卫星的位置（用时间表示）是均匀分布的，而它的经度 φ 在 $0 \leq \varphi < 2\pi/M_s$ 内是均匀的就足够了。相应的幅角 $u(t)$ 由公式(54)求出。在同一卫星星座中其他卫星的位置可以很容易根据基准卫星的位置计算出来。

若已经发现某些小区比较敏感（即离可见的卫星的最小夹角小于某个门限）时，应该将该小区（和相邻的各小区）进一步分裂为更小的小区，以便仔细地估计干扰，但是若不敏感，则不必要分裂为更小的小区。这是使该分析方法在所需要的计算时间方面很有效率的重要因素。所以，预料在计算精度相同的条件下，该分析方法比原先的仿真方法要更快一些。例如，若经调查，敏感小区（包括相邻小区）的数目为所有小区的10%，则所需要的计算时间将约为1/10。

附 件 7
的 附 录 1

关于附件7 § 3.3的简化计算

可以按以下方法将附件7 § 3.3中的公式 (50) 的计算进行简化, 避免了公式 (52) 中的积分运算的必要。

首先, 用下式将公式 (47) 中变量 u 变换为一个新的变量 s :

$$\frac{1}{1 + e \cdot \cos(u - \omega)} = \frac{1 - e \cdot \cos(s - s_0)}{1 - e^2} \quad (64)$$

其中 $u=0$ 相当于 $s=0$, 所以假定 $0 \leq \omega < 2\pi$, 按下式决定 s_0 :

$$s_0 = \arccos \left(\frac{e + \cos \omega}{1 + e \cdot \cos \omega} \right) \quad \text{对于 } 0 \leq \omega < \pi \quad (65a)$$

$$= 2\pi - \arccos \left(\frac{e + \cos \omega}{1 + e \cdot \cos \omega} \right) \quad \text{对于 } \pi \leq \omega < 2\pi \quad (65b)$$

这里, 函数 $\arccos(x)$ 的值定义为在 $(0, \pi)$ 范围内。公式 (65a) 和 (65b) 表明 s_0 是 ω 的增函数。还假设可以将 u 定义为 s 的增函数(即 $du/ds > 0$)。经过这样的计算以后, 根据公式 (64), 可以将 du/ds 由下式表示:

$$\frac{du}{ds} = \frac{\sqrt{1 - e^2}}{1 - e \cdot \cos(s - s_0)} \quad (66)$$

将公式 (64) 和 (66) 代入附件7中的公式 (47) 和 (50), 就可以导出如下公式:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^s (1 - e \cdot \cos(s - s_0)) ds = t \quad (67)$$

公式 (67) 的左边可以很容易积分, 并且把这一公式变换为如下形式:

$$s - e \cdot \sin(s - s_0) = 2\pi t + e \cdot \sin s_0 \quad (68)$$

这一超越方程是所谓的开普勒方程的变形(注意 $2\pi t$ 称为平均近地点距离和在动力学的教科书中, 可能称为开普勒方程, 只不过 $s_0=0$)。对于任何的 t ($0 \leq t < 1$), 满足公式 (68) 的 s ($0 \leq s < 2\pi$) 的值可以用Newton-Raphson法按下面的步骤很容易计算出来(见注1)。

可以用下式计算初始近似值 $s^{(0)}$:

$$s^{(0)} = 2\pi t + e \cdot \sin s_0 \quad (69)$$

然后用下式计算第 v 个近似值 $S^{(v)}$

$$s^{(v)} = s^{(v-1)} - \frac{f(s^{(v-1)})}{f'(s^{(v-1)})} \quad (v=1,2,3,\dots) \quad (70)$$

其中:

$$\begin{aligned} f(s) &= s - e \cdot \sin(s - s_0) - 2\pi t - e \cdot \sin s_0 \\ f'(s) &= 1 - e \cdot \cos(s - s_0) \end{aligned} \quad (71)$$

请注意, $f'(s)$ 是 $f(s)$ 的导数。根据公式 (70) 和 (71), 用迭代法, $s^{(v)}$ 到 s 的精确值的收敛是很快的。

考虑到 u 是 s 的增益数, 相应于 s 的 u 值可由下列各式求得:

$$u = \omega - 2\pi + a \quad \text{对于 } -2\pi < s - s_0 < -\pi \quad (72a)$$

$$= \omega - a \quad \text{对于 } -\pi \leq s - s_0 < 0 \quad (72b)$$

$$= \omega + a \quad \text{对于 } 0 \leq s - s_0 < \pi \quad (72c)$$

$$= \omega + 2\pi - a \quad \text{对于 } \pi \leq s - s_0 < 2\pi \quad (72d)$$

式中:

$$a = \arccos\left(\frac{\cos(s - s_0) - e}{1 - e \cdot \cos(s - s_0)}\right) \quad (72e)$$

所以, 对任何的 k 值 ($k=0, 1, 2, \dots, N$) ($u=0$) 可以计算出与附件7的公式 (51) 所定义的 t_k 相应的 u_k 值。

与时间 t 相应的 $u(t)$ 的数值可以由下式来近似:

$$u(t) = N[(t_{k+1} - t) \cdot u_k + (t - t_k) \cdot u_{k+1}] \quad (73)$$

其中 $t_k \leq t < t_{k+1}$ (若 $t \geq 1$, 则这一不等式应该用 $t_k \leq t - 1 < t_{k+1}$ 来代替)。若 N 足够大 (例如 $N=10\,000$), 则公式 (73) 给出了 $u(t)$ 与时间关系的精确值。

通过计算机计算, 本附录中的计算方法和附件7 § 3.3 中的计算方法的等效性已经得到证实。

注1 — 在这里所介绍的Newton-Raphson法中, 只要 e 小于 0.81, 对任何的 t 和 s_0 值, 所希望的结果的收敛是稳定的和快速的。对于一般的应用场合, 这一条件是成立的。然而, 若由于某些原因, 必须对更大的 e 值来解公式 (68) 时, 为保证快速收敛, 采用经修正的Newton-Raphson法比较安全。下面给出了一个典型的方法 (所有的计算应该用双精度来进行)。

步骤1: 不用公式(70)进行计算, 而首先选择 $\lambda = 1$, 并在步骤2中计算 $s^{(v)}$ 。

步骤2: 计算:

$$s^{(v)} = s^{(v-1)} - \frac{\lambda \cdot f(s^{(v-1)})}{f'(s^{(v-1)})} \quad (74)$$

步骤3: 若 $|f(s^{(v)})| < 10^{-12}$, 则整个计算就完成了(即 $s^{(v)}$ 的值已经达到了足够的精度)。若不是这样, 并且若 $|f(s^{(v)})| < |f(s^{(v-1)})|$, 则 $s^{(v)}$ 的计算就完成了, 并回到步骤1, 以便计算下一个 v 值。若 $|f(s^{(v)})| \geq |f(s^{(v-1)})|$, 则将 λ 除以2, 并回到步骤2, 重复进行计算。

对于小于0.999的任何 e 值, 上面的修正方法是有效的。

附件 7 的附录 2

附件7的分析方法用于使用高地球轨道 (HEO) 的 非GSO卫星星座时的修正

使用HEO的非GSO卫星网络可能有如下特征。为了简化, 通常假设仅在一个半球内存在激活的HEO卫星, 但是很容易将该计算方法推广到在两个半球中都存在激活的HEO卫星的情况:

- 在一个半球内, 有 M_s 个卫星的星座;
- 一个卫星星座由 N_s 颗卫星组成, 并且在任何时间上, 在靠近它的远地点只有一颗卫星处于激活状态。当一颗卫星转入不激活状态时, 另一颗卫星开始激活, 因而提供了连续的覆盖, 并且它的地面上的轨迹与前一个运行的卫星的轨迹是相同的;
- 一颗卫星的轨道周期 $T_{orb}(h)$ 原则上与地球的旋转有关系(典型值为8, 12, 16或24h左右);
- 对所有卫星, 倾角是公共的;
- 对所有卫星, 近地点的幅角(ω)是公共的。

在HEO卫星系统的情况下, 一个星座可以在不至一个业务区内提供业务。例如, 当轨道周期约为8h时, 一个星座可以在地球表面上的三个不同的业务区内提供业务。然而, 为了进行统计干扰评估, 将三个业务区分别处理比较方便, 因而, 假设三个业务区独立存在, 并且每一业务区内只有一个激活的卫星。

通常, 若激活的HEO卫星仅在北半球工作, 则 $\omega = -\pi/2$ (或 $\omega = 3\pi/2$) 弧度; 并且若激活的HEO卫星仅在南半球工作, 则 $\omega = \pi/2$ 弧度。若激活的HEO在两个半球内工作, 则应该使用这两个 ω 值。对特殊的应用场合, ω 的值也可能为 $\pm\pi/2$ 以外的值。

HEO卫星离地球中心的距离由附件7 § 3.1中的各公式来求出。激活的HEO卫星的幅角与时间 t 的关系由附件7 § 3.3中的各公式来决定。其中 $0 \leq t < 1$ （这里，假定轨道周期为1，不失通用性）。而附件7 § 3.3中的公式使用了附件7 § 3.2中的公式。请注意，附件7 § 3.2和 § 3.3中的计算方法隐含着假设 $t=0$ 时 $u=0$ ，但是在HEO卫星星座情况下，假设 $t=0$ 时 $u=\omega$ 要更恰当一些。卫星的纬度由附件7的公式（49）来确定。

将一个激活的HEO卫星选作基准卫星。当 T_{orb} 不超过24 h时，这个激活的卫星的开始激活的时间 T_{start} 和结束激活的时间 T_{end} 由下式给出，这里假设公式的左边轨道周期为1，不失通用性，并且假设在 $t=0$ 时卫星在近地点：

$$(T_{star} \geq 0) \quad T_{start} = 0.5 - 12 / (N_s \cdot T_{orb}) \quad (75a)$$

$$(T_{end} < 1) \quad T_{end} = 0.5 + 12 / (N_s \cdot T_{orb}) \quad (75b)$$

公式（75a）和（75b）假定卫星在远地点附近时处于激活状态，而且激活弧是关于远地点对称的。例如，若 $N_s=3$ 和 $T_{orb}=12$ h，则 $T_{start}=1/6$ 和 $T_{end}=5/6$ （一个激活期为8 h），而若 $N_s=5$ 和 $T_{orb}=8$ h，则 $T_{start}=0.2$ 和 $T_{end}=0.8$ （一个激活期为4.8 h）。若激活弧是不对称的，则公式（75a）和（75b）应该相应地加以修正。

在 (T_{start}, T_{end}) 范围内，任何时间 t （ $0 \leq t < 1$ ）上基准卫星的幅角 $u(t)$ 可以用附件7的公式（54）来求出。在这种情况下，我们应该假设 $u_0 = \omega$ （所以， $u_N = \omega + 2\pi$ ）。

当在一个半球内，有许多卫星星座工作和卫星间距均匀时，很容易决定所有激活的卫星的位置。为了进行频率共用研究，通常假设所有激活的卫星的相位是相同的就够了。若不同的卫星星座之间的相位差已经给定了，将它们合并起来进行计算是相当容易的。

此外，若卫星的间距是不均匀的和卫星间距的数值已给确定，则可以将它们适当地合并起来计算。

确定了任何瞬间所有激活的卫星的位置以后，就可以根据附件7 § 4和 § 5中所描述的方法计算来自所有可见的卫星的对固定业务站的综合干扰。

最后，应该指出，附件7和本附录的分析方法之间有一个重要的差别。附件1是在假设卫星的纬度和经度是独立的条件下来分析计算干扰的，而在本附录的HEO卫星情况下，卫星的纬度并不独立于它的经度。所以，在本附录中有必要同时确定一个卫星在任何瞬间的纬度和经度。然而，因为卫星是周期性地出现的，只估计在一个周期内的干扰就足够了，因而计算耗时不多。

另一方面，附件7 § 3.4中所描述的灵敏区的概念不可以应用于本附录中的分析方法。

只要假设了由激活的HEO卫星的发射所产生的pfd框架与到达角的适当函数关系，就可以估算对固定业务系统的干扰。