

ITU-R P.1815建议书

差分雨衰

(ITU-R第208/3号课题)

(2007年)

范围

本建议书预测了某颗卫星与地球表面上的两点之间的联合差分雨衰统计值。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 为了进行共用分析，必须具备适当的技术来预测单颗卫星与地球表面上的多点之间的卫星路径上由降雨引起的差分衰减；
- b) 降雨率空间相关的估计值是可以得到的；
- c) 已经制定了预测由降雨引起的空—地路径差分衰减的方法，

建议

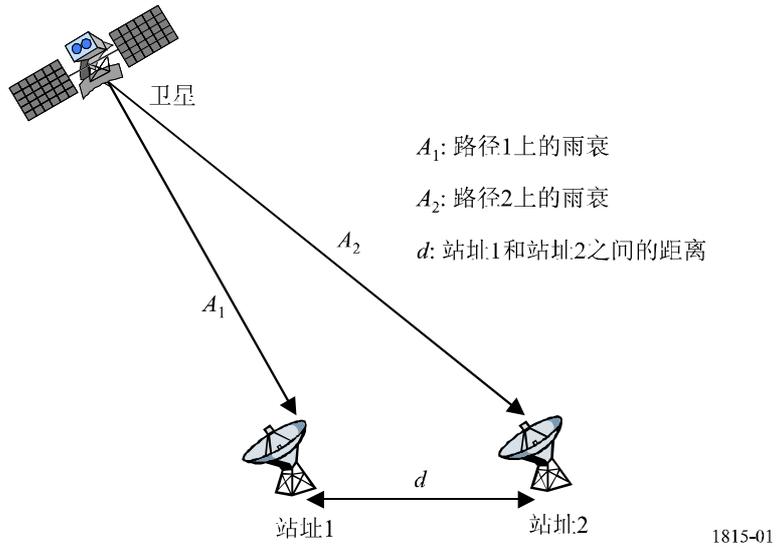
- 1** 应采用附件1所述的方法预测单颗卫星与地球表面上的多点之间的卫星路径上的差分雨衰。

附件1**差分雨衰方法的说明****1 引言**

用本附件所述方法预测了某颗卫星与地球表面上的两点之间的联合差分雨衰统计值，适用范围是频率不超过55 GHz，仰角大于约10°，站址距离在0和至少250 km之间。

该方法考虑了雨滴大小、降雨强度和雨滴运动在差分雨衰方面的统计特性和时间特性。

图1
差分衰减的布局



预测差分衰减的布局示于图1，其中 A_1 和 A_2 分别为路径1和路径2上的雨衰。第一条路径上的衰减 A_1 在 a 和 b 之间，第二条路径上的衰减 A_2 小于或等于 $A_1 - c$ ，即联合概率为 $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$ ，则为理想的统计值。图2用阴影区内的集总概率描绘了该联合概率。

图2
理想联合概率分布

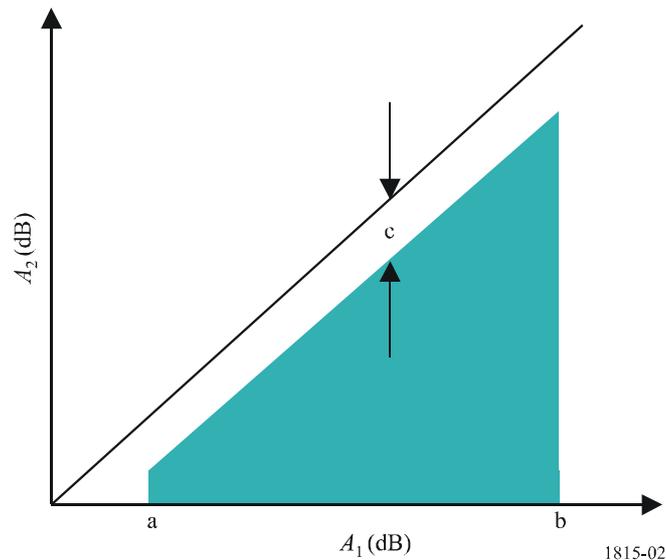


图2阴影区内的联合概率可以用长方形窄竖条内的各集总概率之和来严格逼近，如图3所示。

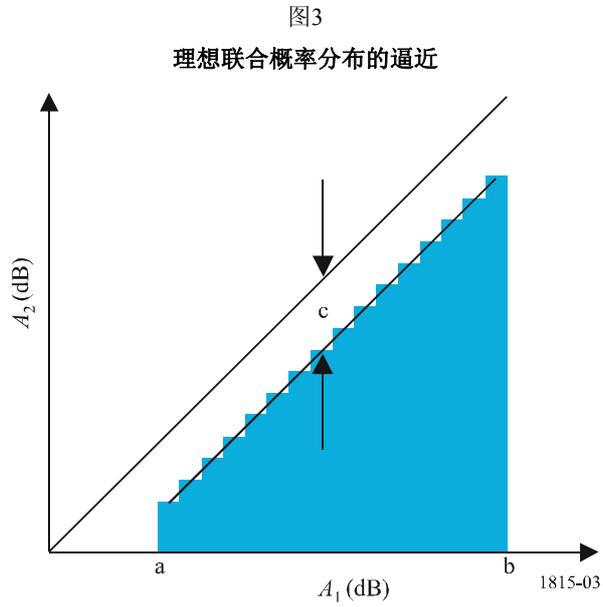


图3阴影区内的联合概率则可由图4阴影区内的联合概率与图5阴影区内的联合概率之差算出。

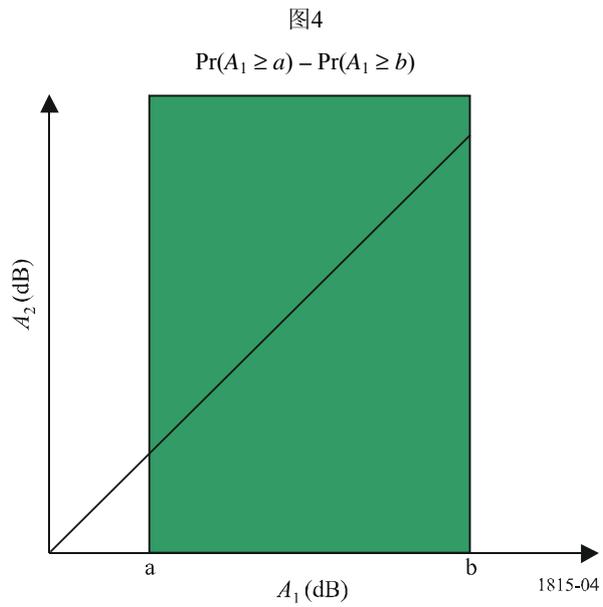
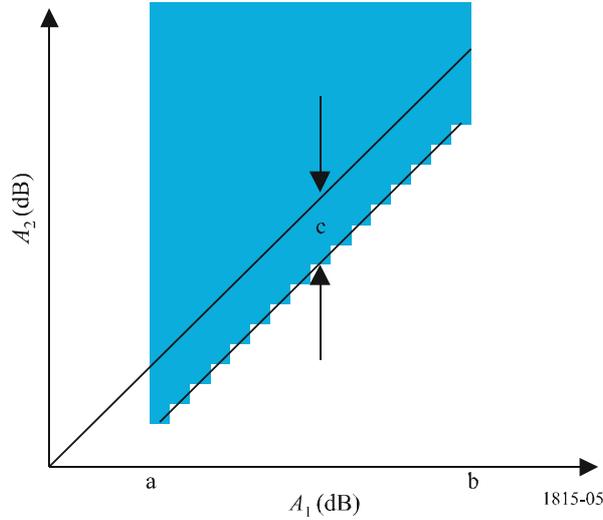


图5

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\}$$



从图4和图5可以看出，联合概率 $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$ 可由下式严格逼近：

$$\begin{aligned} & \Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\} \\ &= \Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b) \\ & - \sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\} \end{aligned}$$

其中：

$$\delta = \frac{b-a}{n}$$

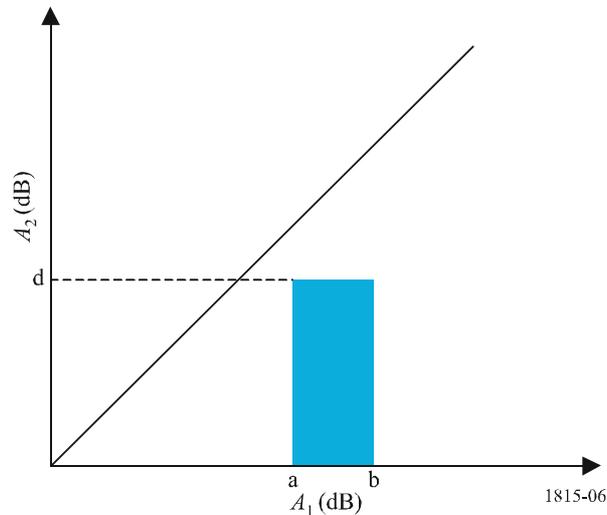
且选择的点数 n 可让逼近足够准确。0.01 dB 的步长 δ 一般就能给出足够的准确度。

该方法也可用于计算其他的理想联合概率。例如，图6阴影区内所示的联合概率 $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$ 即为：

$$\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\} = \Pr\{A_1 \geq a\} - \Pr\{A_1 \geq b\} - [\Pr(A_1 \geq a, A_2 \geq d) - \Pr(A_1 \geq b, A_2 \geq d)]$$

图6

$$\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$$



2 年度差分衰减统计值

若需要年度差分衰减统计值，则概率 $\Pr\{A_1 \geq a, A_2 \geq b\}$ 可采用附件2所述的预测方法，根据单址雨衰与年度出现概率 $\Pr\{A_1 \geq a\}$ 和 $\Pr\{A_2 \geq b\}$ 拟合对数正态概率分布的情况来计算。雨衰与年度出现概率可采用ITU-R P.618建议书第2.2.1.1节所述的方法来预测。

年度差分衰减统计值可采用下述程序得到：

步骤1： 采用ITU-R P.618建议书第2.2.1.1节所述的ITU-R雨衰预测方法得出年度雨衰与出现概率；

步骤2： 采用第1节所述的差分雨衰预测方法，其中的相应概率 $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ 用附件2所述的方法计算。

3 最差月份差分衰减统计值

若需要最差月份差分衰减统计值，可采用ITU-R P.841建议书将单址年度雨衰统计值转换为单址最差月份雨衰统计值。

最差月份差分衰减统计值可采用下述程序得到：

步骤1： 采用ITU-R P.618建议书第2.2.1.1节所述的ITU-R雨衰预测方法得出年度雨衰与出现概率；

步骤2： 采用ITU-R P.841建议书所述的ITU-R最差月份转换方法将年度雨衰统计值转换为最差月份雨衰统计值；

步骤3： 采用第1节所述的差分雨衰预测方法，其中的相应概率 $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ 用附件2所述的方法计算。

附件2

差分雨衰预测方法的说明

1 分析

差分雨衰预测方法假定降雨强度与雨衰呈对数正态分布。

该方法用于预测 $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ ，即通向第一个站址的路径上的衰减大于 a_1 且通向第二个站址的路径上的衰减大于 a_2 的联合概率 (%)。 $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ 是下述两个联合概率的乘积：

- 1 P_r ，两个站址都降雨的联合概率，及
- 2 P_a ，假定两个站址都降雨的情况下衰减分别超过 a_1 和 a_2 的条件联合概率，即：

$$\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2) = 100 \times P_r \times P_a \quad \% \quad (1)$$

这两个概率为：

$$P_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_r^2}} \int_{R_1}^{\infty} \int_{R_2}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{r_1^2 - 2\rho_r r_1 r_2 + r_2^2}{2(1-\rho_r^2)}\right)\right] dr_1 dr_2 \quad (2)$$

其中：

$$\rho_r = 0.7 \exp(-d/60) + 0.3 \exp[-(d/700)^2] \quad (3)$$

且

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{a_1^2 - 2\rho_a a_1 a_2 + a_2^2}{2(1-\rho_a^2)}\right)\right] da_1 da_2 \quad (4)$$

其中：

$$\rho_a = 0.94 \exp(-d/30) + 0.06 \exp[-(d/500)^2] \quad (5)$$

且 P_a 和 P_r 是互补双变量正态分布。

参数 d 是两个站址之间的距离 (km)。门限 R_1 和 R_2 是下式的解：

$$P_k^{rain} = 100 \times Q(R_k) = 100 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_k}^{\infty} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) dr \quad (6)$$

即：

$$R_k = Q^{-1}\left(\frac{P_k^{rain}}{100}\right) \quad (7)$$

其中 R_k 是第 k 个站址的门限, P_k^{rain} 是降雨概率(%), Q 是互补累积正态分布, Q^{-1} 是逆互补累积正态分布。某个特定地点的 P_k^{rain} 可由ITU-R P.837建议书附件1的步骤3得到, 采用当地数据或ITU-R降雨率图谱均可。

参数 $m_{\ln A_i}$ 、 $m_{\ln A_2}$ 、 $\sigma_{\ln A_i}$ 和 $\sigma_{\ln A_2}$ 的数值可通过每一单址雨衰 A_i 与出现概率 P_i 对下述对数正态分布的拟合得到:

$$P_i = P_k^{rain} Q \left(\frac{\ln A_i - m_{\ln A_i}}{\sigma_{\ln A_i}} \right) \quad (8)$$

这些参数可由每一地点逐一得到, 也可采用单一的地点。雨衰与年度出现概率可用第2.2.1.1节所述的方法预测。

对每一站址, 雨衰与出现概率的对数正态拟合按下述方式完成:

步骤1: 构建参数对的集合 $[P_i, A_i]$, 其中 P_i (时间%) 是超过衰减 A_i (dB) 的概率;

步骤2: 将参数对的集合变换为 $[Q^{-1}(P_i/P_k^{rain}), \ln A_i]$; 及

步骤3: 对于所有 i , 完成对 $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}(P_i/P_k^{rain}) + m_{\ln A_i}$ 的最小二乘方拟合, 以确定变量 $m_{\ln A_i}$ 和 $\sigma_{\ln A_i}$ 。

(详细说明见ITU-R P.1057建议书。)

该预测方法在MATLAB语言中的一种实现方案和关于逼近互补双变量正态分布的一份参考资料可从ITU-R网页上有关无线电通信第3研究组的部分得到。