

ITU-R F.1765 建议书

**确定 30 GHz 以上频带点对点高密度固定业务
应用集总等效全向辐射功率的方法**

(2006 年)

范围

本建议书提供了推导 30 GHz 以上频带点对点 (P-P) 高密度固定业务应用 (HDFS) 电台发射的集总等效全向辐射功率 (a.e.i.r.p.) 的方法, 各主管部门若希望评估 P-P HDFS 电台对其他被干扰业务的潜在干扰, 可以采用该方法。

国际电联无线电通信全会,

考虑到

- a) 为评估部署点对点 (P-P) 高密度固定业务应用 (HDFS) 发射电台对其他受影响业务的潜在干扰, 各主管部门在国内和双边干扰协调时可能需要估算作为干扰源中心的 P-P HDFS 发射电台的集总等效全向辐射功率 (a.e.i.r.p.);
- b) P-P 发射机采用自动发射功率控制 (ATPC) 可降低集总发射功率;
- c) 作为待评估仰角的函数, 同时有必要计算 a.e.i.r.p., 并考虑模式(2)传播机制,

认识到

1 《无线电规则》(RR)第 5.547 款脚注确定 31.8-33.4 GHz、37-40 GHz、40.5-43.5 GHz、51.4-52.6 GHz、55.78-59 GHz 和 64-66 GHz 频带为高密度固定业务应用 (HDFS) 可以运用的频带,

注意到

- a) 作为紧急问题, 第 75 号决议 (WRC-2000) 请 ITU-R 制定技术基础, 以确定 31.8-32.3 GHz 和 37-38 GHz 频带空间研究业务 (深空) 接收地球站与 HDFS 发射电台的协调区域;
- b) 第 79 号决议 (WRC-2000) 请 ITU-R 就工作于 42.5-43.5 GHz 频带的射电天文电台和 HDFS 系统之间的协调距离进行研究,

建议

1 假设所有 HDFS 发射天线的仰角为 0° ，则如下的数学模型可临时用于推导 P-P HDFS 发射电台的 a.e.i.r.p.（见注 1、注 2、注 3、注 5、注 6 和注 9）：

1.1 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 0° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 1.061 (\log N_t)^2 + (-0.1164 G_t + 6.103) \log N_t + 0.9428 G_t - 2.62 \text{ dBW}$$

1.2 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 2.5° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t - 0.13743 (\log N_t)^3 + 1.8243 (\log N_t)^2 + 1.5569 \log N_t + 0.0052917 G_t^3 - 0.57530 G_t^2 + 19.985 G_t - 200.77 \text{ dBW}$$

1.3 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 5° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.54858 (\log N_t)^2 + 5.6488 \log N_t - 0.0036218 G_t^3 + 0.42380 G_t^2 - 16.645 G_t + 227.44 \text{ dBW}$$

1.4 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 10° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.086 \log N_t - 0.25 G_t + 8.30 \text{ dBW}$$

1.5 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 15° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.344 \log N_t - 0.25 G_t + 5.19 \text{ dBW}$$

1.6 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 20° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.522 \log N_t - 0.25 G_t + 3.19 \text{ dBW}$$

1.7 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 25° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.663 \log N_t - 0.25 G_t + 1.78 \text{ dBW}$$

1.8 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 30° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.775 \log N_t - 0.25 G_t + 0.74 \text{ dBW}$$

其中：

P_t ： 天线输入端的发射机功率（dBW）

N_t ： 发射机数量

G_t ： 天线增益（dBi）；

2 假设 HDFS 发射天线的仰角可变，如附件 1 所述，则如下的数学模型可临时用于推导 P-P HDFS 发射电台的 a.e.i.r.p.（见注 1、注 2、注 4、注 5、注 6、注 8 和注 9）：

2.1 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 0° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.82096 (\log N_t)^3 + (-0.15210 G_t - 0.92771) (\log N_t)^2 + (0.024504 G_t^2 - 1.0198 G_t + 27.270) \log N_t - 0.077296 G_t^2 + 5.1982 G_t - 73.62 \text{ dBW}$$

2.2 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 2.5° 时：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.93906 (\log N_t)^3 + (-0.31918 G_t + 3.4110) (\log N_t)^2 + (0.023524 G_t^2 + 0.096937 G_t - 4.8156) \log N_t + 0.0011791 G_t^3 - 0.21452 G_t^2 + 8.5619 G_t - 82.88 \text{ dBW}$$

2.3 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 5°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + (-0.10457 G_t + 3.0618) (\log N_t)^3 + (0.027889 G_t^2 - 1.1358 G_t + 9.7775) (\log N_t)^2 + (-0.15803 G_t^2 + 9.3247 G_t - 132.36) \log N_t + 0.20619 G_t^2 - 13.901 G_t + 247.30 \text{ dBW}$$

2.4 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 10°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.263 \log N_t - 0.2511 G_t + 8.43 \text{ dBW}$$

2.5 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 15°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.299 \log N_t - 0.25 G_t + 5.45 \text{ dBW}$$

2.6 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 20°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.497 \log N_t - 0.25 G_t + 3.32 \text{ dBW}$$

2.7 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 25°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.651 \log N_t - 0.25 G_t + 1.84 \text{ dBW}$$

2.8 当待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角为 30°时:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.767 \log N_t - 0.25 G_t + 0.79 \text{ dBW};$$

3 如果某个待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角未在建议 1 或 2 中给出计算公式, 则应该使用插值算法估算 a.e.i.r.p.的值;

4 与被干扰电台之间的距离通常从 HDFS 部署区域的中心开始测量 (见注 7)。

注 1 – 附件 1 描述了确定在建议 1 和 2 中提出的 a.e.i.r.p.值的一种方法。对应于 0 或较低待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角的 a.e.i.r.p.值适用于估算模式(1)传播机制产生的干扰, 而较高待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角的 a.e.i.r.p.值适用于计算模式(2)传播机制产生的干扰。

注 2 – 建议 1 和 2 中的公式是当 $G_t = 28$ 到 46 dB_i 和 $N_t = 32$ 到 $8\,192$ 的情况下推导出的近似值。a.e.i.r.p.超过建议 1 和 2 中数值的概率是 5% (即, 计算的置信度为 95%)。近似值的最大误差通常接近 0.5 dB, 但对于某些 G 或 $\log N_t$ 的三阶多项式的复杂近似公式的情况, 最大误差通常约为 1 dB。最适置信度的确定还需进一步研究。

注 3 – 建议 1 中的公式假设 HDFS 天线的方位角均匀分布在 0° 到 360°之间且其仰角为 0°。

注 4 – 建议 2 中的公式假设 HDFS 天线的方位角均匀分布在 0° 到 360°之间且其仰角按照附件 1 第 2.3 节中的描述进行变化。用于每一频带的最适 HDFS 天线仰角概率分布函数的确定还需进一步研究。

注 5 – 由于没有考虑潜在的杂乱损耗，建议 1 和 2 中的公式可能过高估计了 a.e.i.r.p. 的实际数值。该损耗的大小还需进一步研究予以确定。

注 6 – 如果 HDFS 系统采用了 ATPC，建议 1 和 2 公式中的 P_t 应是发射机在没有降水的正常条件下的发射功率。总体来说，在降水条件下对受影响电台的干扰相对较小。

注 7 – 一般情况下，如果受影响接收机和 HDFS 部署区域的距离与 HDFS 部署区域（见附件 1 中的第 1.3 节）的半径相比不是太短，建议 4 中定义的距离适用于计算 a.e.i.r.p.。

注 8 – ITU-R F.1498 建议书包括工作在 37-40 GHz 范围的 HDFS 天线仰角的其他分布情况。为使本建议书覆盖这类分布情况，还需进一步研究。

注 9 – 为便于通过计算机应用本建议书，附件 1 的附录 1 以表格形式给出了建议 1 和 2 中的近似公式。

附件 1

确定 P-P HDFS 产生的集总干扰功率的方法

1 仿真方法

1.1 引言

第 75 号决议 (WRC-2000) 要求制定技术基础，确定 31.8-32.3 GHz 和 37-38 GHz 频带空间研究业务（深空）接收地球站与高密度固定业务 (HDFS) 发射电台的协调区域。此外，第 79 号决议 (WRC-2000) 请 ITU-R 就工作于 42.5-43.5 GHz 频带的射电天文电台与 HDFS 系统的协调距离进行研究。

本建议书提供了推导 P-P HDFS 发射电台 a.e.i.r.p. 的方法，各主管部门如希望在国内和双边协调时评估 P-P HDFS 电台对其他被干扰业务的潜在干扰，可采用该方法。本建议书中提供的方法还可作为各主管部门为响应第 75 号决议 (WRC-2000) 和第 79 号决议 (WRC-2000) 中的做出决议而从事进一步研究的基础。

以 38 GHz 频带为例，通过对 HDFS 中 P-P 网络仿真所开发出的数学模型可用于评估这些网络辐射的集总等效干扰功率。然而，计算结果与频率无关。集总功率是以发射机的数量、天线增益和发射机的功率电平来表示的，集总功率的（对数）递增比率小于 $10 \log N$ ，这里 N 代表发射机的数量。

本节通过计算机仿真描述了估算某种分布的 P-P HDFS 所产生的集总辐射功率的方法。

为在最靠近被干扰电台接收机的网络边缘确定等效于单一发射机的集总辐射功率, HDFS 中 P-P 发射机的仿真通过改变发射机的数量、天线增益、天线仰角以及天线的方位角来实现。在这种情况下, 总辐射功率定义为集总等效全向辐射功率 (a.e.i.r.p.)。就这样的仿真而言, a.e.i.r.p. 表示由分布于一个区域的发射机网络辐射并在某一远距离点接收的功率的总和, 以该点与最近的那台发射机之间的自由空间路径损耗作为修正值, 即:

$$a.e.i.r.p. = \sum_{\text{所有方向}} P_{\text{接收}} + L_{fs} \quad \text{dBW}^* \quad (1)$$

其中:

L_{fs} : 自由空间路径损耗。

1.2 系统参数

对 P-P HDFS 部署情况进行了广泛调查, 包括研究 ITU-R F.758 建议书、提交 ITU-R 的文件及其他信息, 由此得出了一组系统通用参数并用于仿真之中。

用三种天线增益 28、36 和 44 dBi 作为模型的输入参数。用 ITU-R F.1245 建议书作为典型的天线辐射方向图。仿真中所用的发射机功率为 20 dBW, 但功率的绝对值并不重要。此外, 仿真中没有考虑极化的影响。

用增益为 0 dBi 的全向天线作为测试接收电台, 该电台距产生集总信号的所有 P-P 发射机的网络边缘分别为 50、100 和 150 km。

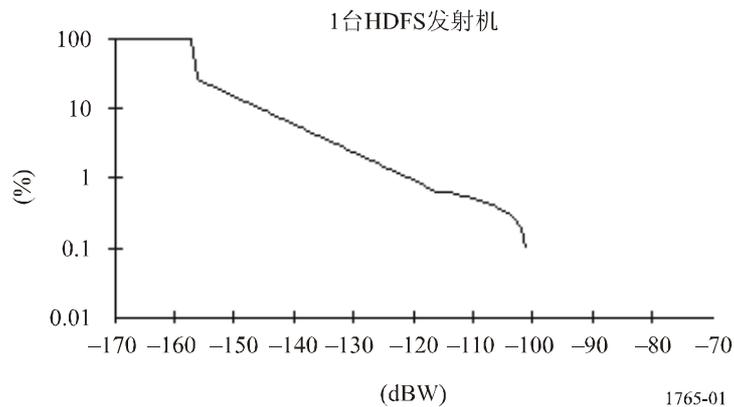
1.3 解析仿真

仿真采用了各种数量的发射机, 其天线的方位角以每秒钟 0 度到 1 度之间的随机扫描速率进行旋转, 同时其起始方位角在 0°和 360°之间任意取值。经过对一段时间内集总功率的采样, 得到了其概率分布, 该分布描述了天线指向特定方向的概率, 由此可相应估算相对于一定干扰风险的最坏情况下的功率电平。通过检查距离网络边缘 50、100 和 150 km 的三个试验接收机所接收到的功率电平, 显示出在修正自由空间路径损耗后的差别很小。由于所有发射天线在方位角旋转时保持了圆形对称, 所以测试接收机仅置于网络的某一特定方向。发射机均匀分布于直径为 25 km 的圆形区域内, 同时对发射机分布于直径为 15 和 35 km 圆形区域内的情况进行了重复仿真。图 1 显示了天线增益为 44 dBi、天线仰角为 0°时单一发射机的功率电平累积分布, 其中清楚地显示了所期望的天线辐射方向图。

* 全向天线所收到的功率 (天线增益为 0 dBi)。

图 1

单一天线在任意位置时的功率累积概率分布



当天线数量增加时，概率分布将发生变化。图 2 显示了 12 副天线可随机旋转时的分布状况，图形说明了两种分布状况：一副天线主瓣的功率与网络中其他天线旁瓣的功率相叠加从而产生 -90 dBW 左右的功率电平（经过自由空间路径损耗修正后，相当于 68 dBW 左右）；同时所有天线的旁瓣相互叠加形成了较低功率电平的较大斜对称分布。随着发射机数量的增加，由天线旁瓣形成的该低端峰值也将增大，直至最终纳入主瓣峰值之中，同时分布曲线接近于对数正态分布，如图 3 所示。

图 2

12 副天线在任意位置时的功率电平分布

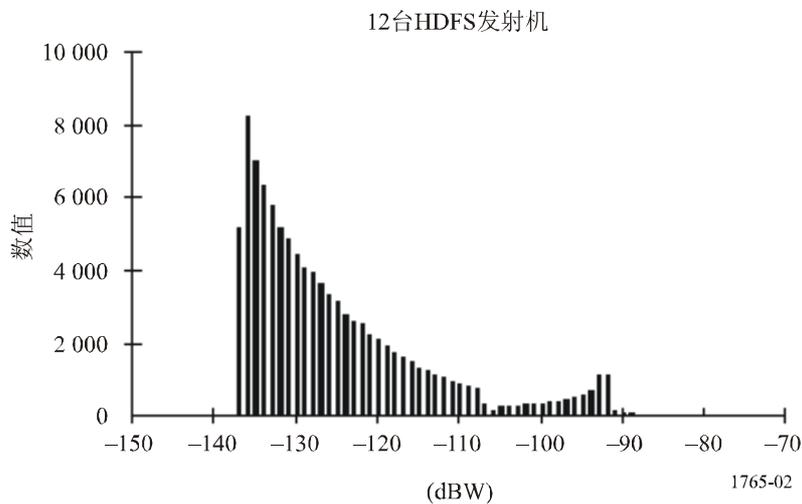
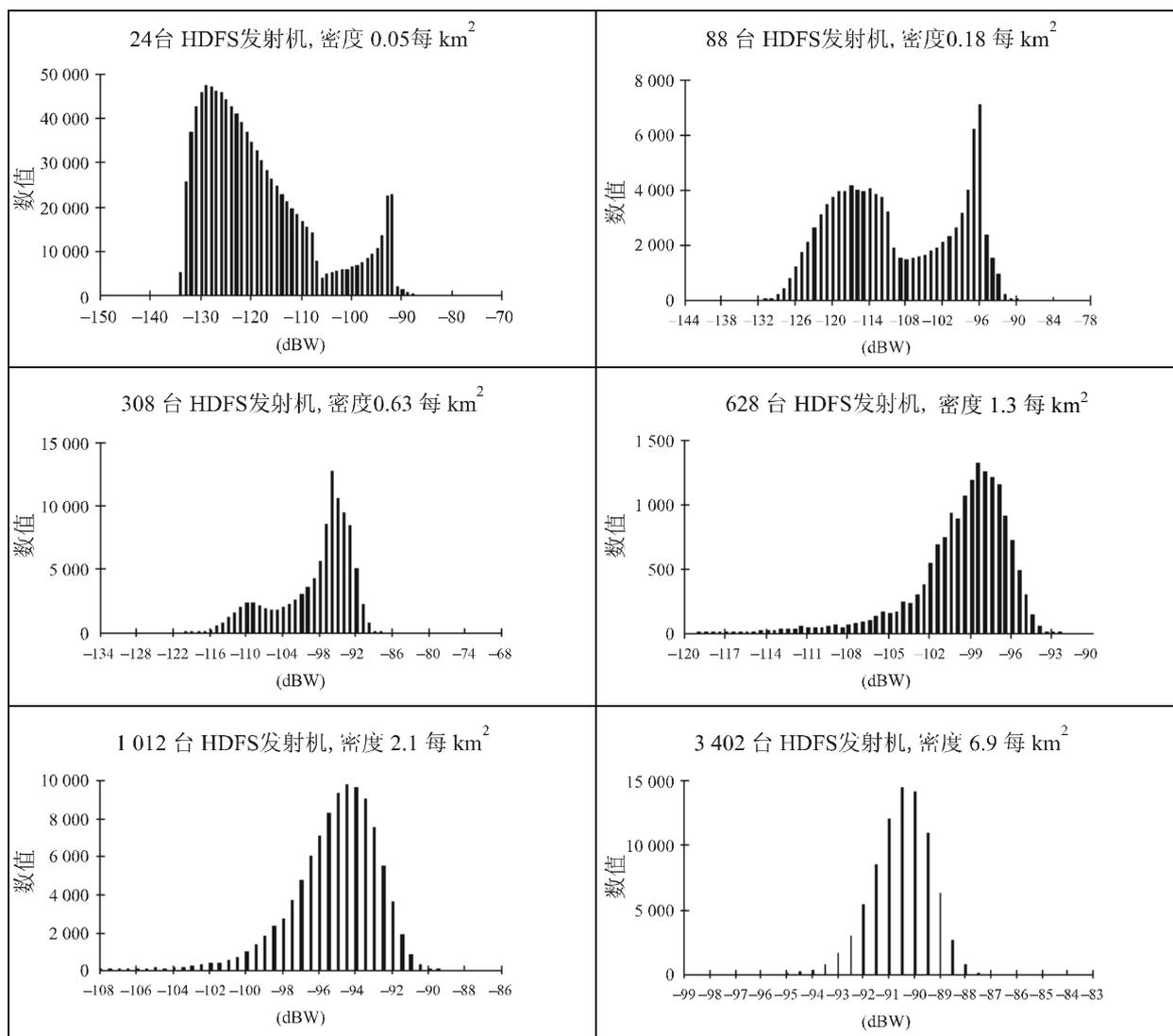


图 3

增加 P-P 发射机时的功率电平分布示例



1765-03

发射机数量可变且在直径为 25 km 的圆形区域内呈网格状均匀分布，同时在直径为 15 km 和 35 km 的区域内重复仿真。

为评估可能的集总功率电平以计算干扰，仿真中应考虑最坏干扰情况下的干扰数值。该数值经自由空间路径损耗修正后，等效于发射机网络中最坏情况下的集总辐射功率。由于随着仿真的继续，这些分布的幅值将持续增加，最坏干扰功率电平也将增加，进一步试验将进行到最坏值随仿真时间的延长而持续增加的程度。经过仿真初始阶段的急剧增加，最坏干扰功率的增加将逐步变得平缓。当仿真分别采用 1 秒或 1 分时间步进进行时，经一定的时间步长之后二者基本没有区别。当有更多的发射机加入仿真之后，仿真速度显著降低了。为保证仿真结果能够表现相应的干扰风险，此分析中所有的仿真都以 1 分钟步进运行了 100 000 个步长。

1.4 增加 HDFS 天线仰角的效果

前一节中，假定所有 HDFS 的天线仰角均为 0° 。然而天线仰角在一定范围内变化时，a.e.i.r.p.会随之改变。因此，对英国运行于 38 GHz 频带的 8 539 个固定业务链路的仰角分布做了分析。这样产生了表 1 所示的发射机在四组不同天线仰角变化范围内的比例，进一步的仿真在同样比例的四组发射机中进行，共有 1 950 台。每一组中的天线仰角按表 1 中的范围随机设置。

仿真在两种情况下运行：天线仰角在表 1 各组所列的范围内随机设置；以及所有天线仰角设置为 0。表 2 对结果进行了对比，其中列出了计算的集总辐射功率。

图 4

英国 38 GHz 链路的仰角分布
(注意，垂直数轴为对数刻度)

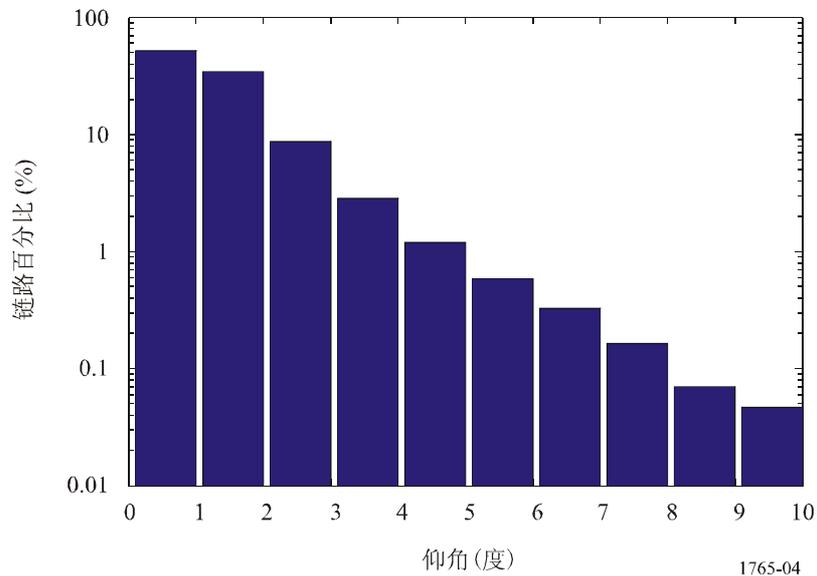


表 1

天线仰角分布

仰角范围 (度)	各仰角范围内 38 GHz 链路百分比，由图 4 得出	每组仿真中发射机的数量
0-1	51.7	1 012
1-2	34.4	665
2-5	12.7	249
5-10	1.2	24

表 2

天线增益 (dBi)	a.e.i.r.p. (dBW)		仰角差 (dB)
	可变仰角	0 度仰角	
28	64.9	65.4	0.5
36	68.9	70.1	1.2
44	73.3	75.2	1.9

对于所考虑仰角的真实分布情况，两种仿真结果之间的差别不大。然而，值得注意的是表 2 所示的情况只是在 a.e.i.r.p.指向地平线（0°）时得出的。第 2 节讨论了 a.e.i.r.p.的指向仰角大于 0° 的情况。在这两种情况中，依 HDFS 天线增益的不同，可变天线仰角与零天线仰角的情况会有很大差别。

上述结论是由在直径为 25 km 的圆形区域内分布的 P-P HDFS 发射机网络所得出的。为研究对链路密度的依赖程度，在直径为 15 km 和 35 km 的圆形区域内进行了重复仿真。

当发射机分布于不同的区域，同时至少在直径为 15 km 和 35 km 之间的区域之内时，集总辐射功率基本没有区别。功率电平基本上独立于发射机的分布区域，误差在±0.5 dB 范围之内。因此认为 HDFS P-P 发射机所形成的 a.e.i.r.p.模式中没有必要将区域作为模型中的参数。

2 应用卷积进行理论计算

2.1 综合分析法与置信度计算

前一节介绍了计算若干 HDFS 发射机 a.e.i.r.p.的仿真方法。然而需要指出的是：首先，总体来说用仿真方法得出可靠的结果是比较费时的，因而在有其他方法时应避免使用；其次，该方法本身固有的计算误差不能被准确地量化，尤其是在超出限值时所对应的少量的统计时间之内。

事实上，这是一个研究若干 HDFS 发射机集总辐射功率概率密度函数（pdf）的纯数学问题。理论告诉我们可按如下方法分析出准确的 pdf：

假定 $p(N_t, x)$ 是集总辐射功率 x （以数值表示）的 pdf， N_t 为发射机的数量，计算源自 $M_t + N_t$ 个发射机 a.e.i.r.p.的 pdf 可以通过以下的卷积来计算：

$$p(M_t + N_t, x) = \int_0^x p(M_t, u) \cdot p(N_t, x - u) \cdot du \quad (2)$$

方程(2)假设每个发射机的方位角随机位于 0° - 360° 之间, 忽略 HDFS 发射机在部署区域内的位置误差。通过重复该卷积计算, 可以计算出任意数量发射机产生的 pdf。在实际计算中选择 M_t 等于 N_t , 计算发射机数量 $N_t=1, 2, 4, 8, 16, \dots, 32\ 768$ 时的 pdf。

当 $N_t = 1$ 时, 首先假设 HDFS 发射天线的仰角和方位角分别为 ε_f 和 α_f , 待评估干扰方向的仰角和方位角分别表示为 ε_u 和 α_u 。由此, HDFS 天线指向和待评估干扰方向的隔离角度 φ 可计算如下:

$$\varphi = \arccos(\cos \varepsilon_f \cdot \cos \varepsilon_u \cdot \cos(\alpha_f - \alpha_u) + \sin \varepsilon_f \cdot \sin \varepsilon_u) \quad (3)$$

在不丧失普遍性的条件下, 可以假设 $\alpha_u = 0$, 同时 ε_u 采用给定的数值 (0 或正值), 同时可以假设 α_f 均匀分布于 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间。 ε_f 的分布情况需要定义并将在以下各节中做进一步详细讨论。

如果通过方程(3)确定 φ 值, HDFS 指向待评估干扰方向的天线增益将按照 ITU-R F.1245 建议书中所定义的天线辐射方向图进行计算, 从而可计算出当 $N_t = 1$ 时 a.e.i.r.p. 的 pdf。

当 $N_t = 2$ 时, 可以按照方程(2)计算 pdf (0.01 dB 步长), 并重复计算 $N_t = 4, 8, 16, \dots, 32\ 768$ 时所对应的 pdf 值。

就此项研究而言, 通常采用 95% 的置信度, 这意味着 a.e.i.r.p. 可能超出计算结果的概率不过才 5%。此外, 某些计算结果, 即表 3b) 的置信度为 99.9%。

2.2 0° 仰角 HDFS 天线的情况

在此情况中, 假设所有 HDFS 天线的仰角为 0° (对于所有 HDFS 天线 $\varepsilon_f = 0$)。当 $N_t = 1$ 时, 180° 方位范围被分为 10 000 份。由此计算了每个 0.01 dB 间隔的概率。由于发射机功率电平不是重要的参数, 假设其为 0 dBW。

当 N_t 大于 1 时, 按照方程(2)计算 pdf。图 5a 显示出 $G_t = 28$ dB 和 $\varepsilon_u = 0, 2.5, 5, 10, 15, 20$ 度时的结果。图 5b 针对 $G_t = 44$ dB 的情况。在所有情况下假设 P_t 为 0 dBW。

注意到在图 5a 中, 由于 28 dBi 天线增益的波束宽度已达到 6.7° , 所以两条 $\varepsilon_u = 0^\circ$ 和 $\varepsilon_u = 2.5^\circ$ 的曲线间隔非常小。但在图 5b 中, 由于 44 dBi 天线增益的波束宽度不过才 1.1° , 所以两条 $\varepsilon_u = 0^\circ$ 和 $\varepsilon_u = 2.5^\circ$ 的曲线间隔非常大。

同时注意到在图 5b 中, 当 $\varepsilon_u = 0^\circ$ 时, HDFS 发射机数量少时, a.e.i.r.p. 增加较快; 但 HDFS 发射机数量增多, 其增加相应变缓。对于 95% 的置信度, 当 $\varepsilon_u = 0^\circ$ 时, 作为 G_t (dBi) 和 HDFS 发射机数量 (N_t) 的函数的 a.e.i.r.p. 值 (dBW) 列于表 3a。

表 3b 列出了对应于 99.9% 置信度的结果。

图 5a

具有不同仰角且作为 HDFFS 发射机总数的函数的 a.e.i.r.p.
 ($G_t = 28$ dB 且所有 HDFFS 的天线仰角为 0°)

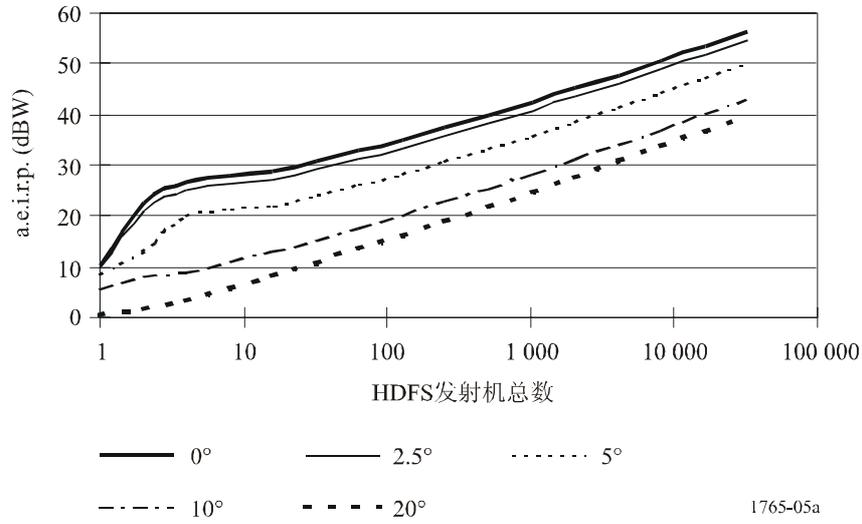


图 5b

具有不同仰角且作为 HDFFS 发射机总数的函数的 a.e.i.r.p.
 ($G_t = 44$ dB 且所有 HDFFS 的天线仰角为 0°)

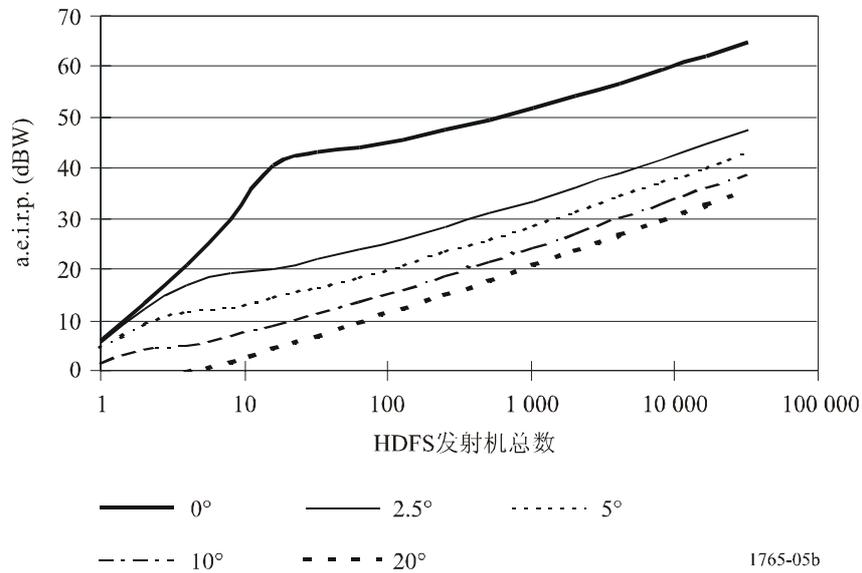


表 3a

作为 G_t (dBi)和发射机数量 (N_t) 的函数的 a.e.i.r.p. (dBW)
(95%置信度)

G_t (dB)	各种数量 HDFS 发射机 ($N_t = 32 \sim 32\,768$) 的 a.e.i.r.p. (dBW)										
	32	64	128	256	512	1024	2 048	4 096	8 192	16 384	32 768
28	30.86	32.81	34.97	37.29	39.75	42.34	45.04	47.82	50.66	53.54	56.46
30	32.35	34.18	36.25	38.51	40.92	43.47	46.14	48.89	51.72	54.58	57.49
32	33.69	35.49	37.54	39.74	43.11	44.61	47.24	49.96	52.76	55.62	58.52
34	34.89	36.89	38.84	41.00	43.31	45.77	48.36	51.05	53.83	56.67	59.55
36	36.10	38.38	40.20	42.27	44.53	46.94	49.49	52.15	54.90	57.72	60.59
38	37.98	39.72	41.51	43.56	45.76	48.13	50.63	53.26	55.98	58.78	61.63
40	39.84	40.92	42.90	44.86	47.01	49.33	51.79	54.38	57.07	59.84	62.68
42	41.62	42.12	44.39	46.22	48.29	50.54	52.96	55.50	58.16	60.91	63.73
44	43.24	43.98	45.74	47.53	49.58	51.78	54.14	56.65	59.27	61.99	64.79
46	44.72	45.85	46.94	48.92	50.88	53.03	55.34	57.80	60.39	63.08	65.86

表 3b

作为 G_t (dBi)和发射机数量 (N_t) 的函数的 a.e.i.r.p. (dBW)
(99.9%置信度)

G_t (dB)	各种数量 HDFS 发射机 ($N_t = 32 \sim 32\,768$) 的 a.e.i.r.p. (dBW)										
	32	64	128	256	512	1 024	2 048	4 096	8 192	16 384	32 768
28	33.59	35.11	36.85	38.79	40.92	43.24	45.71	48.31	51.02	53.81	56.65
30	35.13	36.60	38.26	40.13	42.20	44.46	46.88	49.44	52.11	54.87	57.70
32	36.67	38.10	39.70	41.50	43.50	45.70	48.06	50.58	53.22	55.95	58.76
34	38.34	39.64	41.16	42.89	44.82	46.95	49.26	51.73	54.33	57.03	59.82
36	39.94	41.18	42.64	44.30	46.16	48.23	50.48	52.90	55.46	58.13	60.89
38	41.44	42.71	44.14	45.73	47.53	49.52	51.72	54.08	56.60	59.23	61.96
40	43.00	44.37	45.67	47.19	48.91	50.84	52.97	55.28	57.75	60.35	63.05
42	44.85	45.98	47.21	48.67	50.32	52.18	54.25	56.50	58.91	61.47	64.14
44	46.66	47.48	48.73	50.16	51.75	53.54	55.54	57.73	60.10	62.61	65.24

对两个变量采用了极小极大逼近法来寻求恰当的公式，以近似表示表 3a 中的 a.e.i.r.p.值。当 $G_t = 28$ 到 46 dBi, $N_t = 32$ 到 8 192 时，得出了如下较为合理的近似公式：

$$a.e.i.r.p. = P_t + 1.061 (\log N_t)^2 + (-0.1164 G_t + 6.103) \log N_t + 0.9428 G_t - 2.62 \quad \text{dBW} \quad (4)$$

此即正文的建议 1.1 中所表示的公式。该公式的最大近似误差为 0.52 dB。把相同的逼近法应用于 ϵ_u 的其他值，导出了正文的建议 1.2 ~ 1.8 中的公式。当 $\epsilon_u = 2.5^\circ$ 或 5° 时，曲线更为复杂，并且近似公式含有高阶多项式。

2.3 可变仰角的 HDFS 天线的情况

前一节采用 0° 仰角的假设带有一定的猜想。在实际情况下，HDFS 天线将有可变的仰角。然而，针对仰角建立典型的 pdf 存在困难。在如下的分析中，图 4 将用于 HDFS 天线仰角的 pdf 示例。但是，应注意图 4 中所有的仰角为 0 或其他正值。针对现实中的系统，假设仰角为正值或负值都是合理的，同时 pdf 相对于 0° 仰角是对称的。所以，图 4 中的 pdf 被变换为如图 6 和表 4 中所示的对称分布。

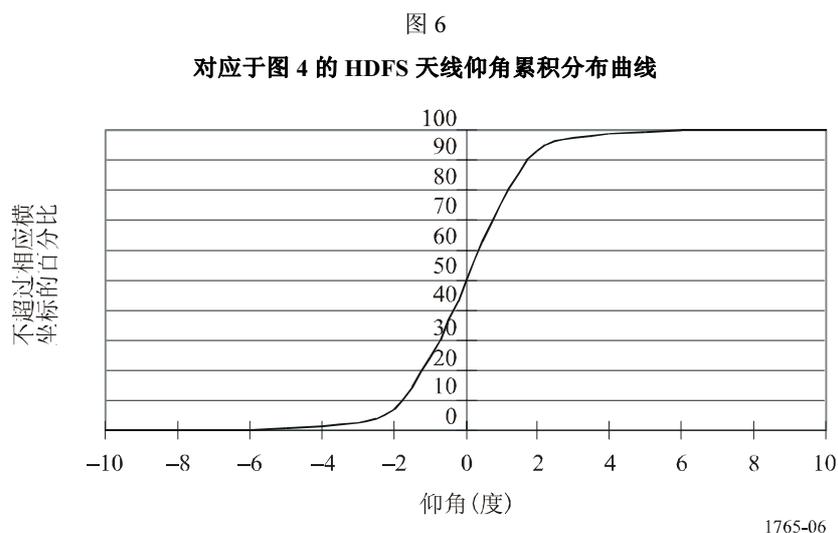
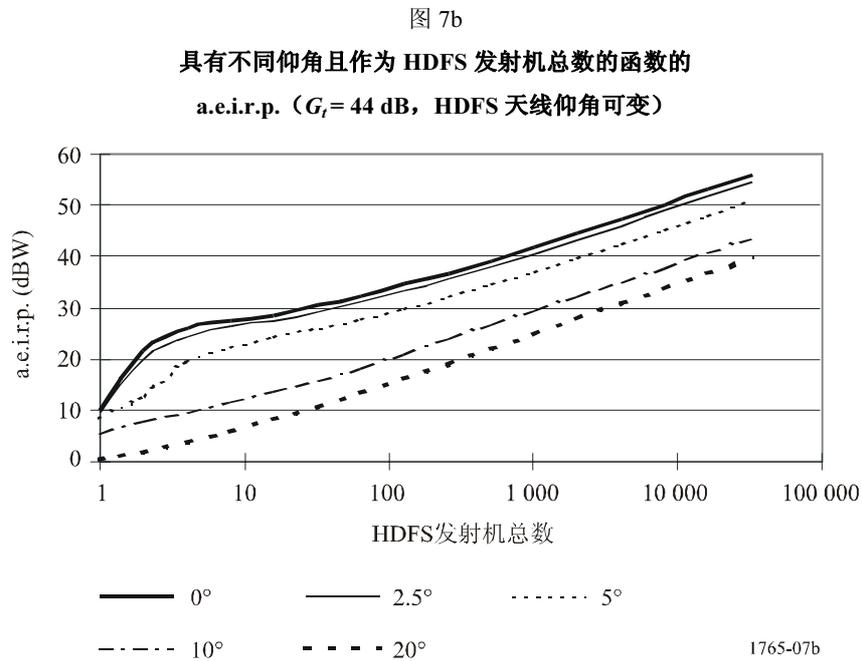
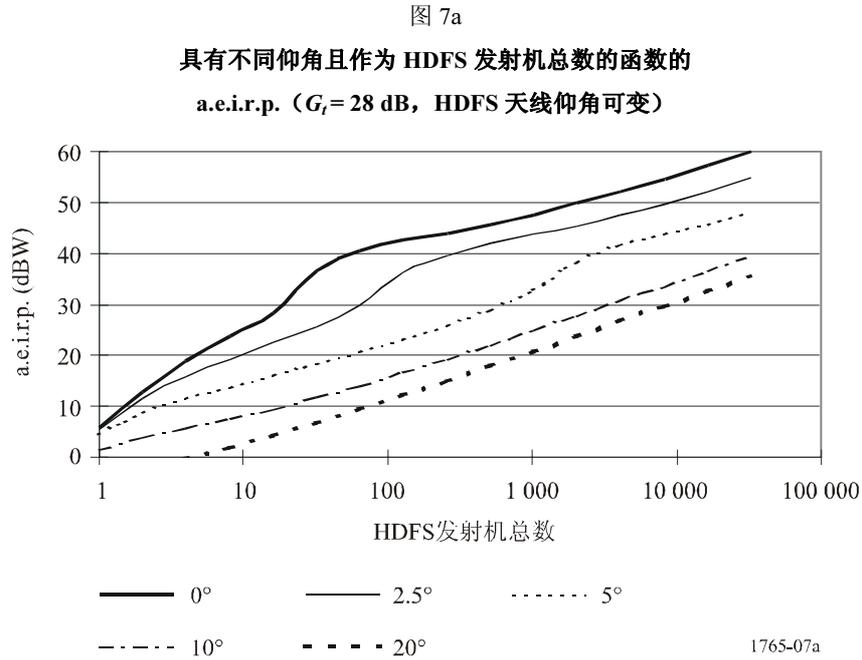


表 4
对应于图 4 的 HDFS 天线仰角累积分布

度	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
百分比	0	0.023	0.06	0.145	0.31	0.6	1.2	2.7	6.95	24.15	50
度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
百分比	75.85	93.05	97.3	98.8	99.4	99.69	99.855	99.94	99.977	100	

按此假设，计算了 $N_t = 1$ 时 a.e.i.r.p. 的 pdf。对于更大的 N_t 值，按方程(2)计算各 pdf 值，计算结果示于图 7a 和 7b。在所有情况下假设 P_t 为 0 dBW。



如果比较图 5a 和 7a, 可以发现其中的差别很小。这意味着如果 HDFS 的天线增益小, 则由于天线波束宽度较宽, 可变仰角的假设对 a.e.i.r.p. 基本没有影响。另一方面, 由于天线波束宽度较小, 图 5b 和 7b 的差别较大。这表明由于 HDFS 天线增益不同, 可变天线仰角的影响也不同。

对于不同的 ϵ_{it} , 且 $G_t = 28$ 到 46 dBi 和 $N_t = 32$ 到 $8\ 192$ 的情况, 推出了一些近似公式。相应的结果描述于正文的建议 2。注意到当 $\epsilon_{it} = 0^\circ, 2.5^\circ$ 或 5° 时, 曲线较复杂, 所以需要高阶多项式给出更好的近似。

3 解析仿真与概率仿真比较

为比较第 2 节中的结果进行了相应的仿真。该仿真基于 1 km^2 的面积范围和设定的 HDFS 发射机 (UT) 的密度 (此时等于数量), 没有功率控制, 采用 ITU-R F.1245 建议书中天线方向图的最大天线增益为 44 dBi, 天线仰角为 0° , 接收机的方位角相对于 HDFS 的发射区随意设置且相距 100 km , 接收机的天线增益为 0 dBi。

由此, 方程(5)给出了接收机所收到的干扰功率。

$$P_r = AEIRP + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (5)$$

其中:

P_r : 与 HDFS 发射区距离为 d 的 0 dBi 天线所收到的功率 (dBW)

$AEIRP$: 发射区内 UT 产生的集总 e.i.r.p. (dBW)

λ : 波长 (m)

d : 发射区与需要进行干扰功率评估的 0 dBi 天线的距离 (m)。

对于单一的 UT, P_r 按方程(6)计算。

$$P_r = P_e + G_e + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (6)$$

其中:

P_r : 与 HDFS 发射区距离为 d 的 0 dBi 天线所收到的功率 (dBW)

P_e : 发射区内一个 UT 产生的发射功率 (dBW)

G_e : UT 在 0 dBi 天线接收机方向的天线增益

λ : 波长 (m)

d : 发射区与需要进行干扰功率评估的 0 dBi 天线的距离 (m)。

天线增益是唯一的变量, 它按照合乎图 8 所给 cdf 曲线的方位在 -12 和 44 dBi 之间变化。

图 8

ITU-R F.1245 建议书中天线最大增益为 44 dBi 的天线增益累积分布函数

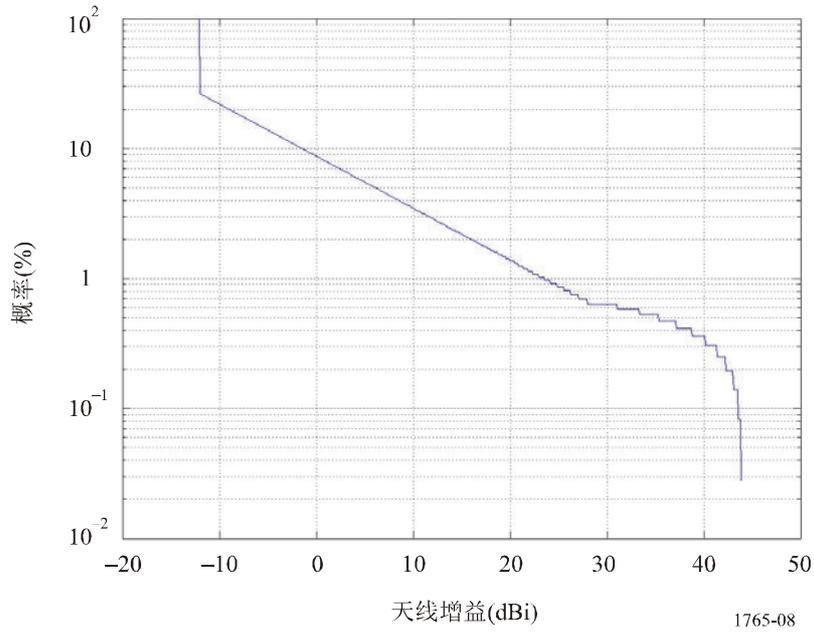
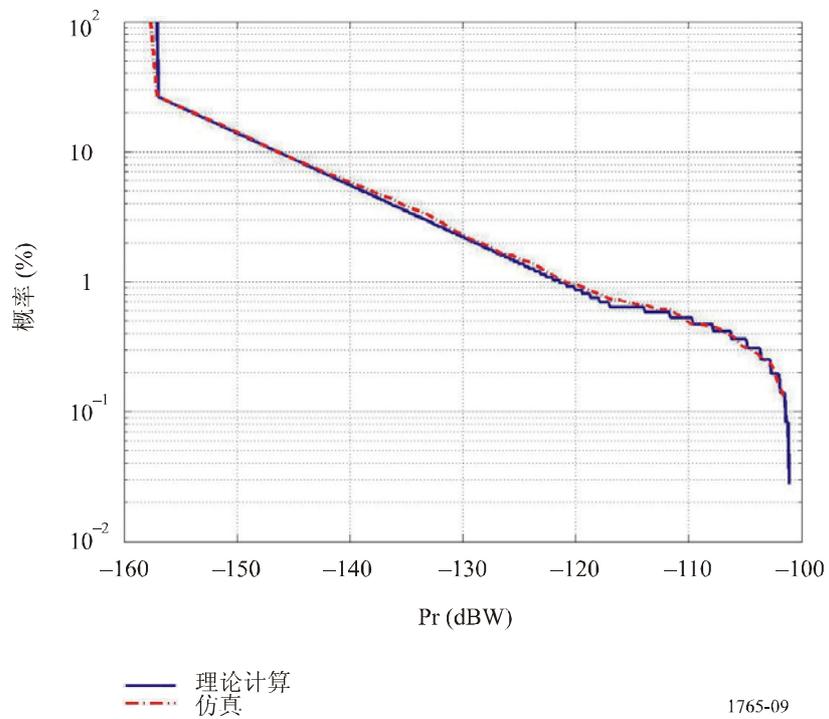


图 9 给出了 0 dBi 接收机理论上所收到的功率，以及从一个 HDFS 发射机接收到的功率。

图 9

0 dBi 天线收到相距 100 km、发射功率为 20 dBW 的 HDFS UT 的功率



此时假设所有 UT 的发射功率均为 0 dBW, 可以比较本附件第 2 节中给出的解析仿真结果和通过 10 000 次试验获得的置信度为 95% 的概率仿真结果的差异 (见表 3a)。

表 5
HDFS 天线最大增益 44 dBi

	相对于各种数量 HDFS 发射机的 a.e.i.r.p. (dBW)						
	(N _t = 32 到 2 048)						
	32	64	128	256	512	1 024	2 048
解析仿真	43.24	43.98	45.74	47.53	49.58	51.78	54.14
概率仿真	43.33	43.94	45.73	47.37	49.59	51.81	54.19

表 6
HDFS 天线最大增益 28 dBi

	相对于各种数量 HDFS 发射机的 a.e.i.r.p. (dBW)						
	(N _t = 32 到 2 048)						
	32	64	128	256	512	1 024	2 048
解析仿真	30.86	32.81	34.97	37.29	39.75	42.34	45.04
概率仿真	30.84	32.78	34.97	37.28	39.74	42.37	45.04

对概率方法和解析方法所得结果的比较, 说明两种方法有很好的一致性。

附件 1 附录 1

a.e.i.r.p. 近似公式

本附录以表格形式给出了本建议书的建议 1 和 2 中的近似公式, 以便有利于运用计算机。

建议 1 中的公式 (所有 HDFS 天线的仰角为 0°)

待评估 a.e.i.r.p. 指向的仰角: 0°, 2.5° 或 5°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{30} (\log N_t)^3 + a_{20} (\log N_t)^2 + (a_{11} G_t + a_{10}) \log N_t + a_{03} G_t^3 + a_{02} G_t^2 + A_{01} G_t + a_{00}$$

表 7a

待评估的仰角 (度)	a_{30}	a_{20}	a_{11}	a_{10}	a_{03}	a_{02}	a_{01}	a_{00}
0	0	1.061	-0.1164	6.103	0	0	0.9428	-2.62
2.5	-0.13743	1.8243	0	1.5569	0.0052917	-0.57530	19.985	-200.77
5	0	0.54858	0	5.6488	-0.0036218	0.42380	-16.645	227.44

待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角：10°，15°，20°，25°或 30°：

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{10} \log N_t + a_{01} G_t + a_{00}$$

表 7b

待评估的仰角 (度)	a_{10}	a_{01}	a_{00}
10	9.086	-0.25	8.30
15	9.344	-0.25	5.19
20	9.522	-0.25	3.19
25	9.633	-0.25	1.78
30	9.775	-0.25	0.74

建议 2 中的公式（所有 HDFS 天线的仰角可变）

待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角：0°，2.5°或 5°：

$$a.e.i.r.p. = P_t + (a_{31} G_t + a_{30}) (\log N_t)^3 + (a_{22} G_t^2 + a_{21} G_t + a_{20}) (\log N_t)^2 \\ + (a_{12} G_t^2 + a_{11} G_t + a_{10}) \log N_t + a_{03} G_t^3 + a_{02} G_t^2 + a_{01} G_t + a_{00}$$

表 8a

待评估的仰角 (度)	a_{31}	a_{30}	a_{22}	a_{21}	a_{20}	a_{12}
0	0	0.82096	0	-0.15210	0.92771	0.024504
2.5	0	0.93906	0	-0.31918	3.4110	0.023524
5	-0.10457	3.0618	0.027889	-1.1358	9.7775	-0.15803

待评估的仰角 (度)	a_{11}	a_{10}	a_{03}	a_{02}	a_{01}	a_{00}
0	-1.0198	27.270	0	-0.077296	5.1982	-73.62
2.5	0.096937	-4.8156	0.0011791	-0.21452	8.5619	-82.88
5	9.3247	-132.36	0	0.20619	-13.901	247.30

待评估 a.e.i.r.p.指向的仰角：10°，15°，20°，25°或 30°：

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{10} \log N_t + a_{01} G_t + a_{00}$$

表 8b

待评估的仰角 (度)	a_{10}	a_{01}	a_{00}
10	9.263	-0.2511	8.43
15	9.299	-0.25	5.45
20	9.497	-0.25	3.32
25	9.651	-0.25	1.84
30	9.767	-0.25	0.79
