

第4章

4.1 课件习题

题：载频为 $f_c = 1GHz$ ，接收天线为半径为 $r = 0.2m$ 的圆形抛物面天线，天线的有效截面积 A_{RX} 和天线物理面积 $A_{PHY} = \pi r^2$ 之间存在关系 $A_{RX} = 0.55A_{PHY}$ ，求接收天线增益

答：

$$G_r = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi \cdot 0.55\pi r^2}{\left(\frac{c}{f_c}\right)^2} =$$

题：（例4.1）求最大尺寸为1m，工作频率为900MHz的天线的远场距离

答：

$$\frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2D^2}{\frac{c}{f}} = \frac{2 \times 1^2}{\frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6}} = 6m$$

题：（例4.2）

（1）如果发射机功率为50W，将其换算成（a）dBmW 和（b）dBW

（2）如果该发射机为单位增益天线，载频为900MHz，求出在自由空间中距离天线100m、10km处的接收功率为多少dBm？（假设接收天线为单位增益）

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{P_t \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{c}{f}\right)^2}{(4\pi)^2 d^2} = \begin{cases} \frac{50 \times 1 \times 1 \times \left(\frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6}\right)^2}{(4\pi)^2 \times 100^2} = 3.5181 \times 10^{-6} [W] & (d = 100m) \\ \frac{50 \times 1 \times 1 \times \left(\frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6}\right)^2}{(4\pi)^2 \times (10 \times 10^3)^2} = 3.5181 \times 10^{-10} [W] & (d = 10 \times 10^3m) \end{cases}$$

题：（例3）有一室内无线局域网，载波频率为 $f_c = 900MHz$ ，小区半径 $r = 10m$ ，发射机和接收机都是用单位增益全向天线

（1）在自由空间路径损耗模型下，如果要求小区内所有终端的最小接收功率为 $P_{r,\min} = 10\mu W$ ，则最小发射功率为？

答：

$$P_r(r) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2} = \frac{P_t \times 1 \times 1 \times \left(\frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6}\right)^2}{(4\pi)^2 \times 10^2} \geq 10 \times 10^{-6}$$
$$P_t \geq \frac{10 \times 10^{-6} \times (4\pi)^2 \times 10^2}{1 \times 1 \times \left(\frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6}\right)^2} = 1.421 [W]$$

（2）如果工作频率变为 $f_c = 5GHz$ ，则最小发射功率为？

答：

$$P_t \geq \frac{10 \times 10^{-6} \times (4\pi)^2 \times 10^2}{1 \times 1 \times \left(\frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9}\right)^2} = 43.865 [W]$$

题：（例4.7）计算图示三种情况的绕射损耗，假设：

$$\lambda = \frac{1}{3}m, d_{1,2} = 1km, h_{1,2,3} = 25m, 0m, -25m$$

求刀刃顶点所在的费涅耳区

答:

题: (例4.10)

(1)

答:

(2)

答:

【大尺度衰落】

题: (例4.9) (仅考虑大尺度衰落, 符合对数正态阴影)

距离发射机100米、200米、1000米和3000米处分别得到接收功率的测量值如下

距发射机距离	接收功率
100 m	0 dBm
200 m	-20 dBm
1000 m	-35 dBm
3000 m	-70 dBm

(1) 请你使用MMSE估算 n , 并求出标准差 σ_{SD}

答: (注: 一般使用最近的测量点作为基准点)

$$P_r(d) [dBm] = P_r(d_0) [dBm] - 10n \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) [dB]$$

$$\text{取 } d_0 = 100 [m] \text{ 则 } P_r(d_0) = 0 [dBm]$$

$$P_r(d) [dBm] = 0 [dBm] - 10n \lg \left(\frac{d}{100} \right) [dB] = \begin{cases} -10n \lg 2 [dBm] \approx -3n & (d = 200m) \\ -10n [dBm] & (d = 1000m) \\ -10n \lg 30 [dBm] \approx -14.77n & (d = 3000m) \end{cases}$$

$$J(n) = (0 - 0)^2 + (-20 + 3n)^2 + (-35 + 10n)^2 + (-70 + 14.77n)^2$$

$$\text{令 } \frac{d}{dn} J(n) = 0 \text{ 得 } n = 4.4$$

$$J(4.4) = 152.36 \Rightarrow \sigma_{SD}^2 = \frac{J(4.4)}{4} = 38.09 [dB^2] \Rightarrow \sigma_{SD} = 6.17 [dB]$$

(2) 估计2000米处的接收功率

答:

$$d = 2000m \text{ 时, } P_r(d) [dBm] = 0 [dBm] - 10 \times 4.4 \times \lg \left(\frac{2000}{100} \right) [dB] = -57.245 [dBm]$$

(3) 估计2000米处接收功率大于-60dBm的概率

答:

$$P_r(d) [dBm] = P_r(d_0) [dBm] - 10n \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) [dB] + SD [dB]$$

$$SD [dB] \sim N(0, \sigma_{SD}^2)$$

$$Pr[P_r(d) > -60 [dBm]] = Pr\left[SD > -60 + 10 \times 4.4 \times \lg \left(\frac{2000}{100} \right) = 2.755 [dBm]\right] = Q\left(\frac{2.755}{6.17}\right)$$

(4) 估计2000米半径的小区内, 接收功率大于-60dBm的覆盖面积百分比

答:

$$\begin{cases} Pr[P_r(d) > -60 [dBm]] = Q\left(\frac{2.755}{6.17}\right) \\ \frac{\sigma}{n} = \frac{6.17}{4.4} = 1.40227 \end{cases} \Rightarrow \text{看图}$$

题: 路径损耗为167dB, 阴影效应的标准差 $\sigma_{SD} = 6dB$

(1) 假设深度衰落门限值为177dB, 求系统出现深度衰落的概率

答:

$$Pr[167 [dB] + SD [dB] > 177 [dB]] = Pr[SD > 10] = Q\left(\frac{10 - \mu}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{10}{6}\right)$$

(2) 要使深度衰落的概率不超过5%, 求深度衰落门限值

答:

$$Pr[167 [dB] + SD [dB] > \gamma_{th}] = Pr[SD > \gamma_{th} - 167] = Q\left(\frac{\gamma_{th} - 167 - \mu}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{\gamma_{th} - 167}{6}\right) < 5\%$$
$$\Rightarrow \gamma_{th} >$$

题: 只考虑大尺度衰落, 若接收信号功率 $\mu = 15dBm$, $\sigma = 8dB$, 接收机要求接收功率高于10dBm, 则系统中断率为?

答:

【噪声系数计算】

题:

【链路计算】

4.2 作业习题

题4.9:

答:

题4.22：假设在建筑物内进行局部平均信号强度的测试，发现测试数据呈对数正态分布，其均值符合距离的指数函数。假设均值功率定律为 $P_r(d) \propto d^{-3.5}$ 。如果距发射机 $d_0 = 1\text{ m}$ 处的接收信号为 1 mW ，并且在距离为 10 m 处，10% 的测试值高于 -25 dBm ，求解距离 $d = 10\text{ m}$ 处路径损耗模型的标准偏差 σ

答：

首先考虑 路径损耗

近似认为 d_0 处测得的信号功率 1 mW 为平均功率

$$P_r(d_0) = 1\text{ mW} \Rightarrow P_r(d_0) [\text{dBm}] = 10 \lg \left(\frac{1\text{ mW}}{1\text{ mW}} \right) = 0\text{ dBm}$$

$$\text{则 } d_1 = 10\text{ m} \text{ 处的平均功率 } P_r(d_1) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^{3.5}$$

$$P_r(d_1) [\text{dBm}] = P_r(d_0) [\text{dBm}] + 10 \times 3.5 \times \lg \left(\frac{d_0}{d_1} \right) = -35\text{ dBm}$$

再考虑 阴影效应

$$\text{在 } d_1 = 10\text{ m} \text{ 处, 有 } Pr[P_r(d_1) + X > -25\text{ dBm}] = 10\%$$

根据 对数正态分布 可知：

$$Pr[P_r(d_1) + X > -25\text{ dBm}] = Pr[X > 10\text{ dBm}] = Q \left(\frac{10}{\sigma} \right)$$

$$\text{解 } Q \left(\frac{10}{\sigma} \right) = 10\% \text{ 可得 } \frac{10}{\sigma} \approx 1.3 \Rightarrow \sigma = \frac{10}{1.3}$$

$$\sigma [\text{dB}] = 10 \lg \left(\frac{10}{1.3} \right) = 8.86057 [\text{dB}]$$

题4.29：在离发射机100 m、200 m、1 km和2 km处分别测得接收功率值。

在这些测量地点的值分别为 0 dBm, -25 dBm, -35 dBm, -38 dBm。

假设这些测量值的路径损耗服从模型： $PL(d) [\text{dB}] = \overline{PL}(d) + X_\sigma = \overline{PL}(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma$

其中 $d_0 = 100\text{ m}$ 。

(a) 求自由路径指数 n 的最小均方误差估计。

(b) 计算由阴影造成的均值的标准方差。

(c) 使用上述结果，估算 $d = 2\text{ km}$ 时的接收功率。

(d) 预测当 $d = 2\text{ km}$ 时接收信号大于 -35 dB 的可能性。用 Q 函数表示你的答案。

答：