

《数据与计算机通信（第七版）》第四章习题参考解答

4.1 假设每张存储了 1.44 兆字节的软盘重 30 克，一架飞机载着 10^4 千克这种软盘以 1000 千米/小时的速度飞过 5000 千米的距离。这种系统的数据传输率是多少比特每秒？

解答

$$\text{总信息量} = (1.44\text{MB} \times 8\text{bits}) \times (10^7 \div 30)\text{张软盘} = 3840000\text{Mb}$$

$$\text{飞行时间} = 5000\text{km} \div (1000\text{km/hr}) \times 3600\text{s} = 18000\text{s}$$

$$\text{数据率} = 3840000\text{Mb} \div 18000\text{s} = 213\text{Mb/s}$$

4.2 已知某电话线具有 20dB 的损耗。测得输入信号功率为 0.5W，同时测得输出噪声功率为 4.5 μ W。利用这些数值计算以分贝为单位的输出信噪比。

解答

已知该信道衰耗 $L_{\text{dB}} = 20\text{dB}$ ，即增益 $G_{\text{dB}} = -20\text{dB}$ ，求得 $G = 0.01$ 。

则输出信号功率

$$P_o = G \times P_i = 0.01 \times 0.5 = 5 \times 10^{-3}\text{W}$$

又知输出噪声值 $N = 4.5 \times 10^{-6}\text{W}$ ，令 $S = P_o$ ，则输出信噪比

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log(S/N) = 10 \log(5 \times 10^{-3} / 4.5 \times 10^{-6}) = 30.5\text{dB}$$

4.3 给定一个 100W 的功率源。如果要求接收到信号功率为 1W，那么以下传输媒体的最大允许长度分别为多少？

- 规格 24 (0.5mm) 的双绞线，工作频率为 300kHz。
- 规格 24 (0.5mm) 的双绞线，工作频率为 1MHz。
- 0.375 英寸 (9.5mm) 同轴电缆，工作频率为 1MHz。
- 0.375 英寸 (9.5mm) 同轴电缆，工作频率为 25MHz。
- 工作在最佳频率范围内的光纤。

解答

根据已知条件，求信号到达接收端的衰耗 $L_{\text{dB}} = 10 \log(100/1) = 20\text{dB}$ ，根据图 4.3 计算各传输媒体的长度。

- 该双绞线工作频率 300kHz，则信号功率衰减率 = 5dB/km，
则该传输媒体最大允许长度 = $20 \div 5 = 4\text{km}$ 。
- 该双绞线工作频率 1MHz，则信号功率衰减率 = 18dB/km，
则该传输媒体最大允许长度 = $20 \div 18 = 1.1\text{km}$ 。
- 该同轴电缆工作频率 1MHz，则信号功率衰减率 = 2.5dB/km，
则该传输媒体最大允许长度 = $20 \div 2.5 = 8\text{km}$ 。
- 该同轴电缆工作频率 25MHz，则信号功率衰减率 = 3dB/km，
则该传输媒体最大允许长度 = $20 \div 3 = 6.67\text{km}$ 。
- 该光缆最佳工作频率的信号功率衰减率 = 0.2dB/km，
则该传输媒体最大允许长度 = $20 \div 0.2 = 100\text{km}$ 。

4.4 同轴电缆是两根导线的传输系统。将外层导体接地有什么好处？

解答

由于同轴电缆由内芯与外层导体构成，起着屏蔽作用的外层导体还起着信号地线的作用，因此同轴电缆相当于只有两根线，以公用信号地线作为公共回路。

同轴电缆适于长距离传输，收发两端逻辑地之间一般存在一定的电位差，如果接收端端

逻辑地电位较高，收到的信号相对于该逻辑地的电平幅度则降低，信噪比会降低甚至信号被噪声淹没；反之，则可能因接收端信号与地电位差过高而损坏器件。因此将该外层导体接地，保证两端的逻辑地电位一致。

4.5 请证明如果传输频率增加一倍，或者发射天线和接收天线的距离增加一倍，接收到的功率将衰减 6dB。

解答

设发送天线与接收天线间传输损耗 $L_{dB} = 10 \log (4 \pi f d / c)^2 \text{dB}$ ，当两天线间距离增至 $2d$ 或者传输频率增加到 $2f$ 时，利用对数性质，都有

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log (2 \times 4 \pi f d / c)^2 \text{dB} = 20 \log 2 + 10 \log (4 \pi f d / c)^2 \text{dB} \\ &= 6 \text{dB} + 10 \log (4 \pi f d / c)^2 \text{dB} \end{aligned}$$

4.6 实验表明当空气中的电磁波信号进入海洋后，信号可被探测到的海洋深度随波长的增加而增加。因此在军事方面，人们使用频率为 30Hz 的超长波在全球范围内和潜艇进行通信。天线的长度应当为波长的一半，那么天线应该多长？

解答

无线电波和光波（皆是电磁波）在真空中传输速度都是 $3 \times 10^8 \text{ 米/s}$ ，根据惠更斯波动学，知道光波在水中的传播速度要低于真空中的传播速度（傅科用实验方法给予了证明），无线电波也是如此。然而，这种差距相对于每秒 30 万千米的波速，在我们的估算中可以忽略，就如同忽略自由空间与真空的差别一样。因此仍按真空中的波速计算。

$$\text{天线长度} = \lambda / 2 = v / 2f = 3 \times 10^8 / 2 \times 30 = 1 \times 10^7 / 2 = 5000 \text{km}$$

4.7 人类话音的音频功率集中在 300Hz 左右。适合这个频率的天线将会很大，所以如果要用无线电波传送话音，那么话音信号必须被调制成较高（载波）频率的信号，以适应小尺寸的普通天线。

- 当以 300Hz 传送无线电波时，其半波天线应有多长？
- 另一个办法是用第 5 章介绍的调制方案。也就是说通过调制载波频率以使信号变为信号变为集中在载波频率附近的窄带信号。假设我们需要一个 1 米长的半波天线，应该使用什么载波频率？

解答

$$\text{a. 直接用音频传送, 天线长度} = \lambda / 2 = v / 2f = 3 \times 10^8 / 2 \times 300 = 1 \times 10^6 / 2 = 500 \text{km}$$

$$\text{b. 已知天线长度} \lambda / 2 = 1 \text{m, 即波长} \lambda = 2 \text{m. 则载频}$$

$$f = v / \lambda = 3 \times 10^8 / 2 = 1.5 \times 10^8 = 150 \text{MHz}$$

4.8 很多人有这样的经历，他们经常从牙齿的镶牙材料上接收到无线电信号。假设你牙里有一块长 2.5mm（0.0025m）的镶牙材料起到了天线的作用，也就是说，它与信号的一半波长相同。你能接收到什么频率的信号？

解答

根据已知条件求得波长 $\lambda = 0.0025 \times 2 = 0.005 \text{m}$ ，接收到的信号之频率

$$f = v / \lambda = 3 \times 10^8 / 5 \times 10^{-3} = 6 \times 10^{10} = 60 \text{GHz}$$

4.9 你的通信是在两颗卫星之间进行的。其传输遵从自由空间定理。如果信号太弱了，则供应商向你提供两种选择。供应商可以使用更高的频率，也就是让当前频率加倍，或者可以让两个天线的有效面积都加倍。如果其他条件保持不变，哪一种选择可以提供较大的接收功

率？还是说两种情况都一样？最佳选择可以将接收功率提高多少？

解答

首先回顾我们学过的自由空间损耗公式

$$L = P_t/P_r = (4\pi d)^2/G_t G_r \lambda^2$$

对于理想化天线 ($G_t = G_r = 1$ ，即单位增益天线)，该公式为

$$L = P_t/P_r = (4\pi d)^2/G_t G_r \lambda^2 = (4\pi d)^2/\lambda^2 = (4\pi f d)^2/c^2$$

$$L_{dB} = 10\log(P_t/P_r) = 20\log(4\pi f d/c) = 20\log(f) + 20\log(d) - 147.56\text{dB}$$

如考虑天线增益，则根据天线增益公式 $G = 4\pi A_e/\lambda^2 = 4\pi f^2 A_e/c^2$ ，有

$$L = P_t/P_r = (4\pi d)^2/G_t G_r \lambda^2 = (\lambda d)^2/A_t A_r = (cd)^2/f^2 A_t A_r$$

$$L_{dB} = 10\log(P_t/P_r) = -20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

我们的问题考虑了天线增益，所以利用最后一个公式，当频率加倍，即有

$$L_{dB} = -20\log(2f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

$$= -20\log(2) - 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

$$= -6\text{dB} - 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

正如上式推导的结论，衰减减少了 6dB，即接收信号增强了 6dB。

当发射与接收两个天线都扩大有效面积一倍，则有

$$L_{dB} = -20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(2A_t 2A_r) + 169.54\text{dB}$$

$$= -20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(2) - 10\log(2) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

$$= -20\log(f) + 20\log(d) - 3\text{dB} - 3\text{dB} - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

$$= -6\text{dB} - 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB}$$

和频率翻倍情况一样，都将接收功率提高了 6dB。

4.10 对于自由空间的无线电传输，其信号功率衰减的程度与到源点距离平方成正比。而电线传输每千米的衰减分贝值是固定的。下表用来表示自由空间的无线电传输和标准电线传输的衰减分贝与一些参数的关系。请填写表中的空格。

距离 (km)	无线电 (dB)	电线 (dB)
1	-6	-3
2		
4		
8		
16		

解答：

电线传输的衰减值根据距离可直接得知。自由空间无线电传输的衰减值可根据公式 (4.3) 将已知的距离值 (1km) 和衰减值 (6dB) 代入，先计算出波长，然后再根据波长和列出的其它距离值求出对应的各衰减值；或者代入后直接利用对数性质，求出各距离值对应的衰减值，正如题 4.5 证明过的结论：距离增加一倍，功率衰减 6dB。由于表中需要求衰减的距离值每一项正好都是在前一项基础上翻倍，所以可以直接填表。填表如下：

距离 (km)	无线电 (dB)	电线 (dB)
1	-6	-3
2	-12	-6
4	-18	-12
8	-24	-24
16	-30	-48

4.11 (略) 中学数学问题, 在设计抛物面碟形天线时是有帮助的。

4.12 用单位 km 表示距离, 用 MHz 表示频率, 常常会比用 m 和 Hz 表示更方便。用这两个单位改写等式 (4.3)。

解答

等式 (4.3) 为: $L_{dB} = 10\log(P_t/P_r) = 20\log(4\pi fd/c) = 20\log(f) + 20\log(d) - 147.56\text{dB}$

如果 d 和 c 的单位都用 km, 其数值缩小了 10^3 倍, 单位需扩大了 10^3 倍; f 用 MHz 为单位, 数值缩小了 10^6 倍, 需将单位扩大了 10^6 倍。上式改写为:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10\log(P_t/P_r) = 20\log(4\pi fd/c) = 20\log(f) + 120\text{dB} + 20\log(d) + 60\text{dB} - 87.56\text{dB} \\ &= 20\log(f) + 20\log(d) + 92.44\text{dB} \end{aligned}$$

4.13 假设发射器产生的功率为 50W。

- 请写出以 dBm 和 dBW 为单位的发射功率。
- 如果将发射器的功率应用到单位增益天线, 且载波为 900MHz, 那么在自由空间距离为 100m 的地方接收到的功率为多少 dBm?
- 如果其他条件不变, 距离变为 10 千米, 那么接收到的功率又是多少 dBm?
- 现在假设接收天线的增益为 2, 重复 (c)。

解答:

a. $10\log(50) = 17\text{dBW}$; $10\log(50 \times 1000) = 47\text{dBm}$

b. 发射器和接收器都使用单位增益天线, 即 $G = 1$, 则

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 20\log(900 \times 10^6) + 20\log(100) - 147.56\text{dB} \\ &= 179.08\text{dB} + 40\text{dB} - 147.56\text{dB} \\ &= 71.52\text{dBW} \end{aligned}$$

距离 100m 的地方接收功率为 $17\text{dBW} - 71.52\text{dBW} = -54.52\text{dBW} = -24.52\text{dBm}$

c. 距离变为 10 千米, 则

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 20\log(900 \times 10^6) + 20\log(10 \times 10^3) - 147.56\text{dB} \\ &= 179.08\text{dB} + 80\text{dB} - 147.56\text{dB} \\ &= 111.52\text{dBW} \end{aligned}$$

距离 10 千米的地方接收功率为 $17\text{dBW} - 111.52\text{dBW} = -94.52\text{dBW} = -64.52\text{dBm}$

d. 接收天线增益为 2, 则

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10\log(P_t/P_r) = 20\log(4\pi fd / \sqrt{2} c) = 20\log(f) + 20\log(d) - 150.57\text{dB} \\ &= 179.08\text{dB} + 80\text{dB} - 150.57\text{dB} \\ &= 108.51\text{dBW} \end{aligned}$$

距离 10 千米的地方接收功率为 $17\text{dBW} - 108.51\text{dBW} = -91.51\text{dBW} = -61.51\text{dBm}$

4.14 某微波发射器的输出功率为 0.1W, 频率为 2GHz。假设这个发射器用于某微波通信系统中, 在该系统中发射天线与接收天线都是抛物反射面天线。直径为 1.2m。

- 两个天线的增益分别是多少分贝?
- 考虑到天线增益, 发送信号的有效发射功率是多少?
- 如果接收天线的位置在距发射天线 24 千米处, 且通过自由空间传输, 那么在接收天线周围的有效信号功率是多少 dBm?

解答

a. 天线直径为 1.2m, 面积 $A_e = 0.56\pi r^2 = 0.56 \times 3.14 \times 0.36 = 0.633\text{m}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{天线增益 } G_{\text{dB}} &= 10\log(4\pi f^2 A_e / c^2) = 10\log(4\pi A_e) + 20\log(f) - 20\log(c) \\
 &= 10\log(4 \times 3.14 \times 0.633) + 20\log(2 \times 10^9) - 20\log(3 \times 10^8) \\
 &= 9\text{dB} + 186\text{dB} - 169.54\text{dB} \\
 &= 25.46\text{dB}
 \end{aligned}$$

- b. 已知发射器的输出功率 0.1W，即 - 10dBW，并由(a)知 $G_{\text{dB}} = 25.46\text{dB}$ ，求得发送信号的有效发射功率是 $- 10\text{dB} + 25.46\text{dB} = 15.46 \text{ dBW}$ 。

- c. 先求距发射天线 24 千米处的衰减

$$\begin{aligned}
 L_{\text{dB}} &= - 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(A_t A_r) + 169.54\text{dB} \\
 &= - 20\log(2 \times 10^9) + 20\log(24 \times 10^3) - 10\log(0.633) - 10\log(0.633) + 169.54\text{dB} \\
 &= - 186\text{dB} + 87.6\text{dB} - 2\text{dB} - 2\text{dB} + 169.54\text{dB} \\
 &= 67.14\text{dB}
 \end{aligned}$$

接收天线周围的有效信号功率是 $15.46 \text{ dB} - 67.14\text{dB} = - 51.68\text{dBW} = - 21.68\text{dBm}$

4.15 (题略) 中学数学问题，用于推导视距传输的视距公式(天线高度的函数)。

4.16 已知某电视台需要向 80 千米以外的观众发送信号，判断其天线高度。

解答：

假定观众的接收设备靠近地面，根据教材第 91 页顶行公式： $d = 3.57 \times \text{SQRT}(Kh)$

求得天线高度 $h = (81/3.57)^2 \times (3/4) = 386 \text{ (米)}$

4.17 (题略) 中学物理问题(求光由大气进入水中的折射角)。

提示：利用已知条件求出的入射角(注意应为光线与界面法线间的角度)以及给出的大气和水的折射率，用斯涅尔公式求解。