

实验三 无线信道建模与仿真实验

姓名

学号

班级

一、 实验目标

通过对大尺度、小尺度无线信道模型的仿真和分析，理解和掌握无线信道的特征和分析方法。

二、 实验原理

1. 大尺度衰落：

① 自由空间衰落

由电磁场理论可知，全向天线的辐射功率为 P_T 瓦特，而距离辐射源 d 米处的电场强度为：

$$E = \frac{\sqrt{30P_T}}{d} \quad (\text{V/m})$$

磁场强度的有效值则为：

$$H = \frac{\sqrt{30P_T}}{120\pi d} \quad (\text{A/m})$$

接收点上单位面积上的电波功率密度 W_s ：

$$W_s = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad (\text{W/m}^2)$$

接收端所获得的电波功率等于该点的电波功率密度与接收天线的有效面积的乘积：

$$P_R = W_s A_R$$

其中 A_R 为接收天线有效面积，且为：

$$A_R = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

故接收端的功率为 P_R ：

$$P_R = \frac{P_T \lambda^2}{4\pi d^2 4\pi}$$

因此可得，自由空间传播损耗为：

$$[L_p] = 10 \lg \frac{P_T}{P_R} = 32.44 + 20 \lg d(\text{km}) + 20 \lg f(\text{MHZ})$$

② 阴影衰落

无线电波在传播路径上会遇到各种不同的建筑物，起伏的山峰、地形等的阻挡，此时会形成电磁场的阴影。因此，接收信号的场强中值也就会产生衰落，我们称之为阴影衰落。产生阴影衰落有两种原因，其一是用户附近的屋顶所接收的场强中值在不断的变化着，这会导致相同地区不同街道所接收的场强中值出现变化。其二是建筑物不同的地理位置屋顶边缘绕射特性不同，这使得基站和移动台间的衍射损耗随机发生变化。我们把因阴影效应所产生的信号的衰落称之为阴影衰落，又称之为慢衰落或大尺度衰落（大尺度衰落描述得是长距离范围内信号的缓慢变化）。

慢衰落的特性和衰落储备

根据大量的统计测试，慢衰落近似服从对数正态分布。所谓对数正态分布，是指以分贝数表示的信号电平是正态分布。其概率密度函数如下：

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(\lg x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (x > 0)$$

式中，随机变量 x 是场强中值， μ 和 σ 分别为均值和方差。

除了上述之外，还有种随时间变化的慢衰落，这种慢衰落也服从对数正态分布。其是由大气折射率的变化所引起同地所收到的信号中值电平随时间所作的缓慢的变化，而这个因气象条件引起的慢衰落的变化速度更加缓慢（衰落周期常以小时甚至天为量级），故常可忽略不算。

③ Hata 模型

Hata 模型是一种使用很广泛的传播模型，这种模型适用于宏蜂窝（小区的半径大于 1 公里）系统路径损耗的预测。据应用频率不同，hata 模型可以分为 Okumura-hata 模型（适用的频率范围为 150MHz-1500MHz，主要用于 900MHz）；COST-231 Hata 模型。在这里，我们主要讲述 Okumura-hata 模型的建模与仿真分析。

Okumura-hata 模型是由测试数据的统计分析而得到的经验公式，它适用于频率范围为 150MHz 到 1500MHz，小区半径大于 1000m 的宏蜂窝系统，基站的有效天线高度范围为 30m 到 200m，移动台的有效天线高度是 1m 到 10m。这个模型是在市区传播损耗为标准的基础上，对其它的一些地形进行修正。

实测中。当基本确定设备的天线高度及功率后，我们就可以利用 Okumura-hata 模型对信号的覆盖范围作初步的测算。在市区里，Okumura-hata 的经验公式如下所示：

$$L_m = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg(h_{te}) - a(h_{re}) + [44.9 - 6.55 \lg(h_{te})] \lg d$$

上式中， f 为载波的频率， h_{re} 为接收天线的有效高度， h_{te} 为发射端天线的有效高度， d (km) 是发射和接收端间的距离， $a(h_{re})$ 为移动天线修正因子，它的值受环境的影响。

对于大城市有：

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \text{ dB} \quad (f < 300 \text{ MHz})$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \text{ dB} \quad (f > 300 \text{ MHz})$$

对中小城市有：

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f - 0.7)h_{re} - (1.56 \log f - 0.8)dB$$

在郊区，Okumura-hata 模型经验公式的修正如下：

$$L_m = L(\text{市区}) - 2[\log(f / 28)]^2 - 5.4$$

在农村中，该模型的经验公式修正如下：

$$L_m = L(\text{市区}) - 4.78(f)^2 - 18.33 \log f - 40.98$$

在利用上述公式来计算传播路径损耗时，需要注意基站的天线是否有空间分集，不可考虑分集增益。此外，用户端的天线位置也会对路径损耗有影响，因此，据天线位置不同，引起的穿透衰减可以分为以下三种情况：

天线位置	修正值 (dB)
室外	0
室内（非窗户旁）	-15
窗户旁	-3

地形对传输损耗的影响同样很大。对农村地区的传播环境而言，主要可分为开阔区和丘陵地区，它的修正值如下表所示：

地形	修正值
开阔区	25
丘陵区	10

传播环境衰落有正态衰落和瑞利衰落，对应的余量储备如下表所示：

衰落类型	余量储备 (dB)
正态衰落	6
瑞利衰落	0-8

Okumura-hata 模型适用于大区制的移动通信系统，但不适合覆盖距离不到 1km 的个人通信系统。

④ Walfish_Ikegam 模型

COST 231-Walfisch-Ikegami 模型基于 Walfisch-Bertoni 模型和 Ikegami 模型，广泛地用于建筑物高度近似一致的郊区和城区环境，经常在移动通信系统（GSM/PCS/DECT/DCS）的设计中使用。在高基站天线情况下采用理论的 Walfisch—Bertoni 模型计算多屏绕射损耗，在低基站天线情况下采用测试数据计算损耗。这个模型也考虑了自由空间损耗、从建筑物顶到街面的损耗以及受街道方向影响的损耗。因此，可以计算基站发射天线高于、等于或低于周围建筑物等不同情况的路径损耗。COST 231-Walfisch-Ikegami 模型使用的有效范围是 $800MHz \leq f \leq 2000MHz$ ， $4m \leq h_b \leq 50m$ ， $1m \leq h_m \leq 3m$ ， $0.02km \leq d \leq 5km$ 。

COST231-WI 模型在使用高基站天线时该模型采用理论的 Walfisch-Bertoni 模型和 IkegaCOST231-WI 模型分为视距传播(LOS)和非视距传播(NLOS)两种情

况计算路径损耗。对于视距 (LOS) 传播环境，其路径损耗为：

$$L_{LOS} = 42.64 + 20 \lg f + 26 \lg d$$

其中， d 的单位为 km ； f 的单位为 MHz 。

非视距传播(NLOS)适用条件和主要参数如下表：

频率 $f(MHz)$	800~2000
基站高度 H_b (m)	4~50
移动台高度(m)	1~3
距离 d (km)	0.02~5
建筑物屋顶高度 $H_{roof}(m)$	
道路宽度 $w(m)$	
建筑物间隔 $b(m)$	
相对直接无线路径的道路方向性 P_{hi} (度)	
城区的范围	

所用的公式为：

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$

式中， L_0 是自由空间的损耗：

$$L_0 = 32.4 + 20 \lg d + 20 \lg f$$

L_{rts} 是从屋顶到街道的绕射和散射损耗：

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \lg w + 10 \lg f + 20 \lg (H_b - H_m) + L_{cri}$$

$$L_{cri} = \begin{cases} -10 + 0.354\Phi & 0 \leq \Phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\Phi - 35) & 35^\circ \leq \Phi < 55^\circ \\ 4.0 + 0.114(\Phi - 55) & 55^\circ \leq \Phi < 90^\circ \end{cases}$$

L_{msd} 是多屏绕射损耗：

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \lg d + k_f \lg f - 9.1 \lg b$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg(1 + H_b - H_{roof}) & H_b > H_{roof} \\ 0 & H_b \leq H_{roof} \end{cases}$$

其中，

$$k_a = \begin{cases} 54 & H_b > H_{roof} \\ 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) & H_b \leq H_{roof} \text{ 且 } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d / 0.5) & H_b \leq H_{roof} \text{ 且 } d < 0.5 \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & H_b > H_{roof} \\ 18 - 15(H_b - H_{roof}) / H_{roof} & H_b \leq H_{roof} \end{cases},$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7(f/925 - 1) & \text{中等城市和郊区} \\ -4 + 1.5(f/925 - 1) & \text{大城市} \end{cases}$$

2. 小尺度衰落:

快衰落的成因。在实际的无线通信过程中，到达接收端的无线电波是直射波、散射波、反射波和绕射波的相互叠加，形成所谓的多径传播。因为每条传播路径各不相同，其时延相互不同，这使得接收端的信号产生深度且快速的衰落。我们称这种由多径效应所引起的小尺度衰落（多径衰落、快衰落），又因信号的幅度服从瑞利分布，故又称之为瑞利衰落。在典型移动通信信道中，其信号衰落深度可达 30—40dB，衰落速度为 30—40 次/秒。

多径衰落的统计特性

由上述知，快衰落是由于无线电波的多径传输和移动台与环境的相对运动而引起的衰落。假设每一条路径的信号相位和幅度分别服从 $[0, 2\pi]$ 内的均匀分布和高斯分布，并且其幅度和相位统计独立。叠加后信号的幅度和相位的统计特性如下：

当移动台和基站距离较近时，认为多径中有一条强的直射波，多径信号的包络服从 Rician 分布

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2 + a^2}{2\sigma^2}\right\} J_0\left(\frac{xa}{\sigma^2}\right) (x > 0)$$

其中 $J_0(\cdot)$ 为零阶贝塞尔函数， a 为直射波幅度。多径信号的相位分布如下：

$$p(\theta) = \frac{e^{\frac{a^2}{2\sigma^2}}}{2\pi} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{\sigma} \cos(b - \theta) e^{\frac{a^2 \cos^2(b - \theta)}{2\sigma^2}} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{a \cos(b - \theta)}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right] \right\}$$

其中， $\theta \in [0, 2\pi]$ ， a ， b 分别为直射波的幅度和相位， $\operatorname{erf}(\cdot)$ 是误差函数。

当移动台远离基站时，一般认为没有一条路径的信号占支配地位，此时多径信号包络服从瑞利分布

$$p = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\}$$

其相位服从均匀分布

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi} (\theta \in [0, 2\pi])$$

以上讨论的是多径衰落的一阶统计特性，除了一阶统计特性，还有二阶统计特性，如衰落速率、接收信号的电平通过率和衰落的持续时间等。

三、 实验内容

第一部分：大尺度衰落

1、绘出自由空间衰落随距离变化的曲线。（频率分别为900MHz和1800MHz）

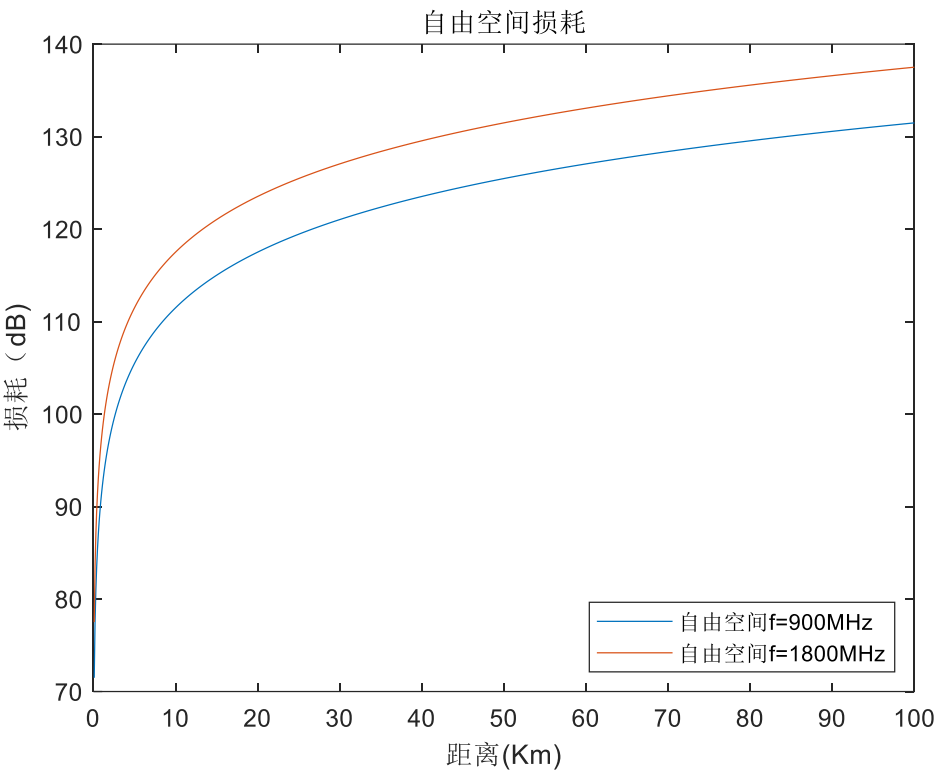


图1 自由空间衰落曲线

2、绘出自由空间衰落+阴影衰落随距离变化的曲线。（阴影衰落的标准差可以在合理范围内自行设置）

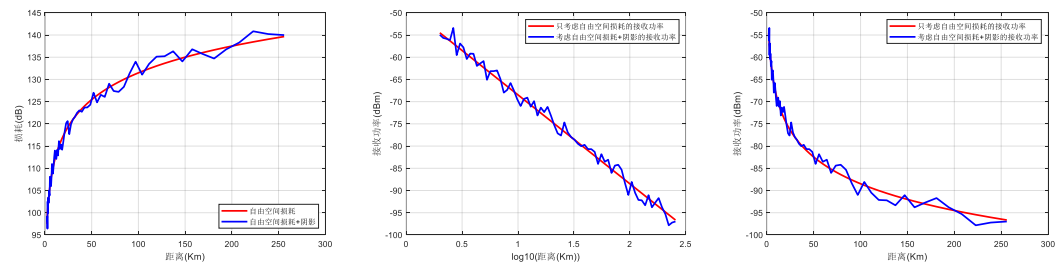


图2 自由空间衰落+阴影衰落曲线

3、在一正方形区域内，如果发射机在正方形中心，绘出自由空间衰落的3D图。

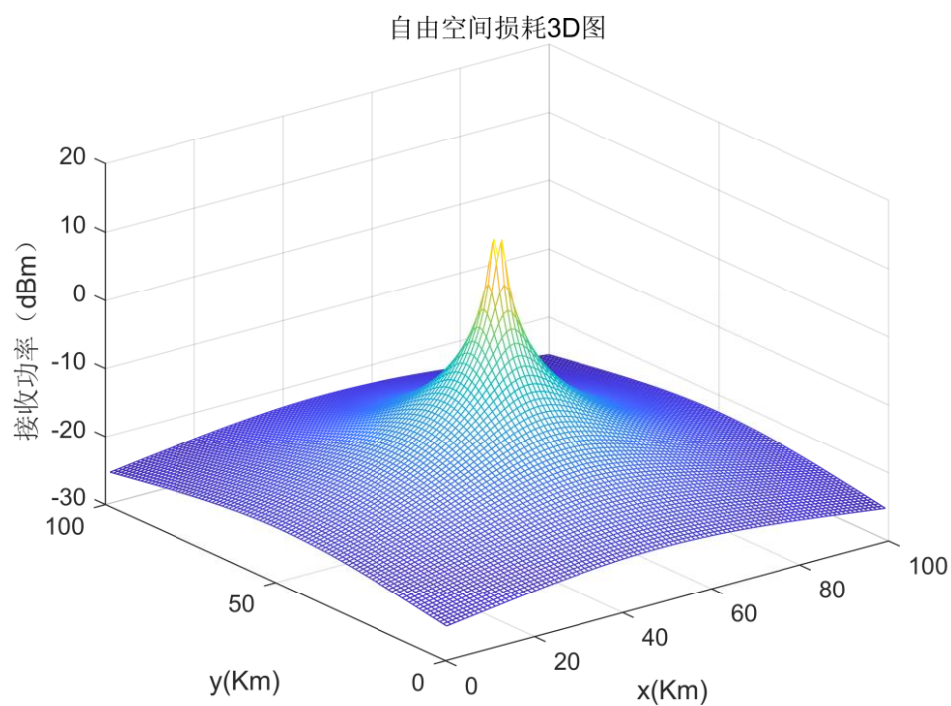


图 3 自由空间衰落 3D 分布图

4、在一正方形区域内，如果发射机在正方形中心，绘出阴影衰落的3D图。

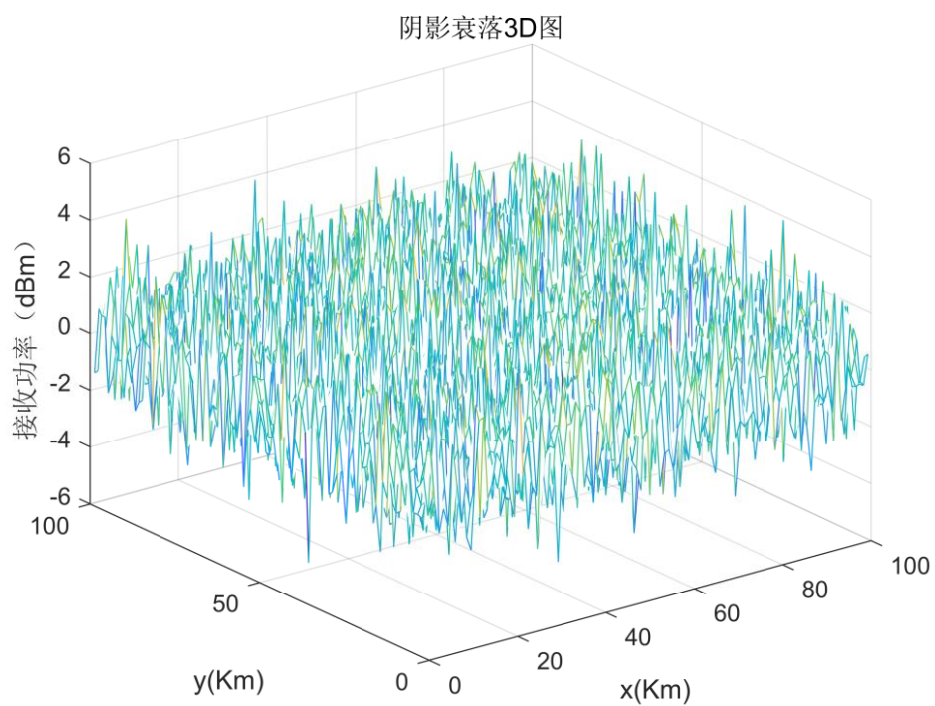


图4 阴影衰落3D分布图

5、在一正方形区域内，如果发射机在正方形中心，绘出阴影衰落+自由空间衰落的3D图。

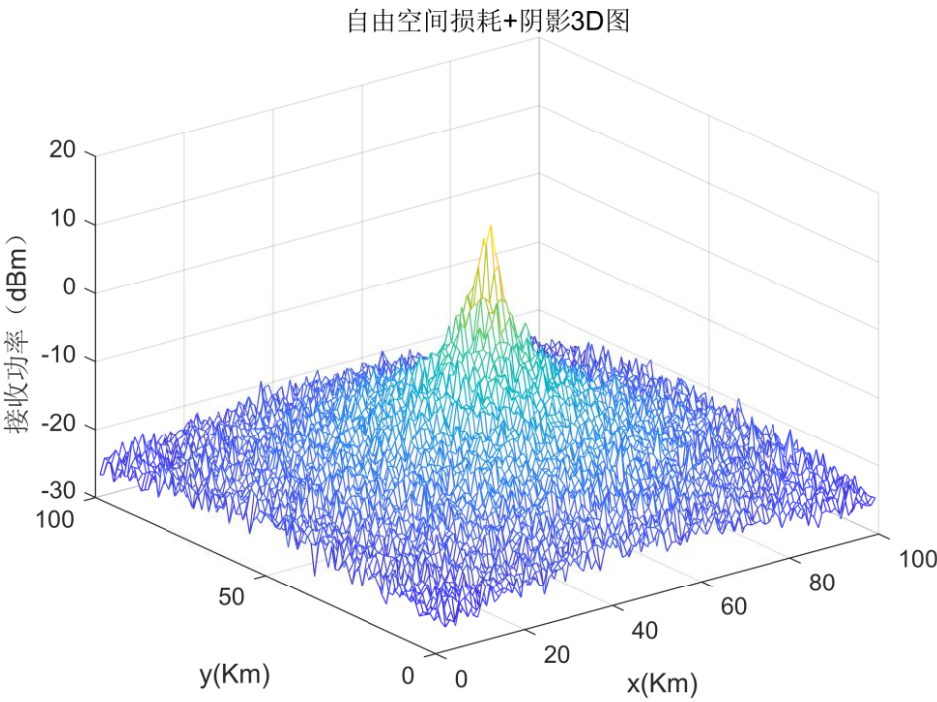


图5 自由空间衰落+阴影衰落3D分布图

6、针对Hata模型，绘出不同地理场景下衰落随距离变化的曲线。

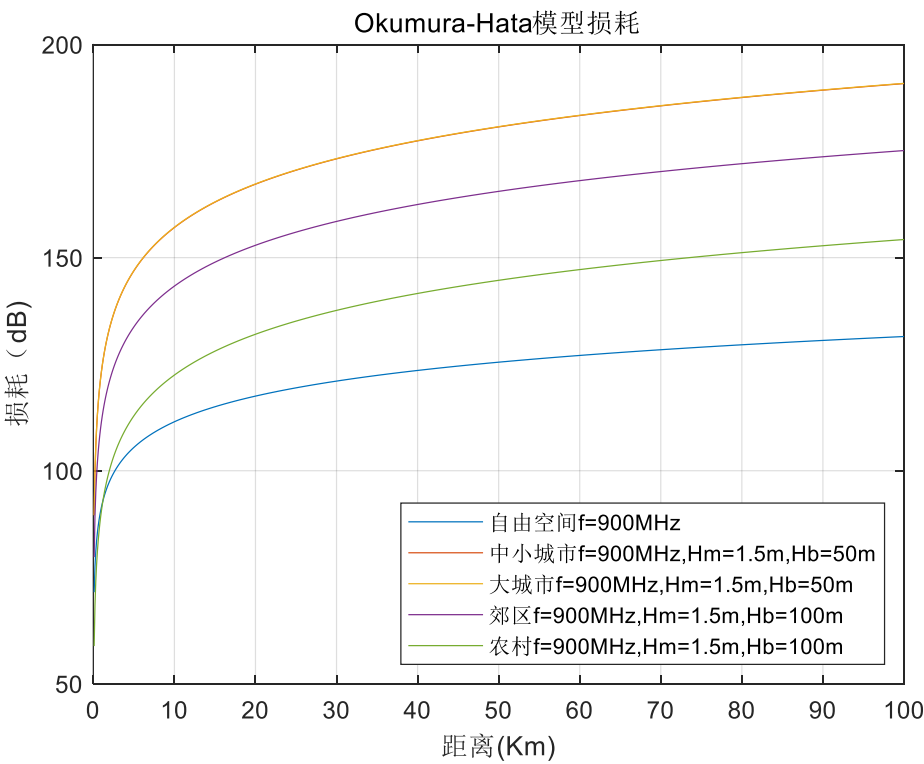


图6 Hata模型衰落曲线图

7、针对Walfish_Ikegami模型，绘出不同地理场景下衰落随距离变化的曲线。

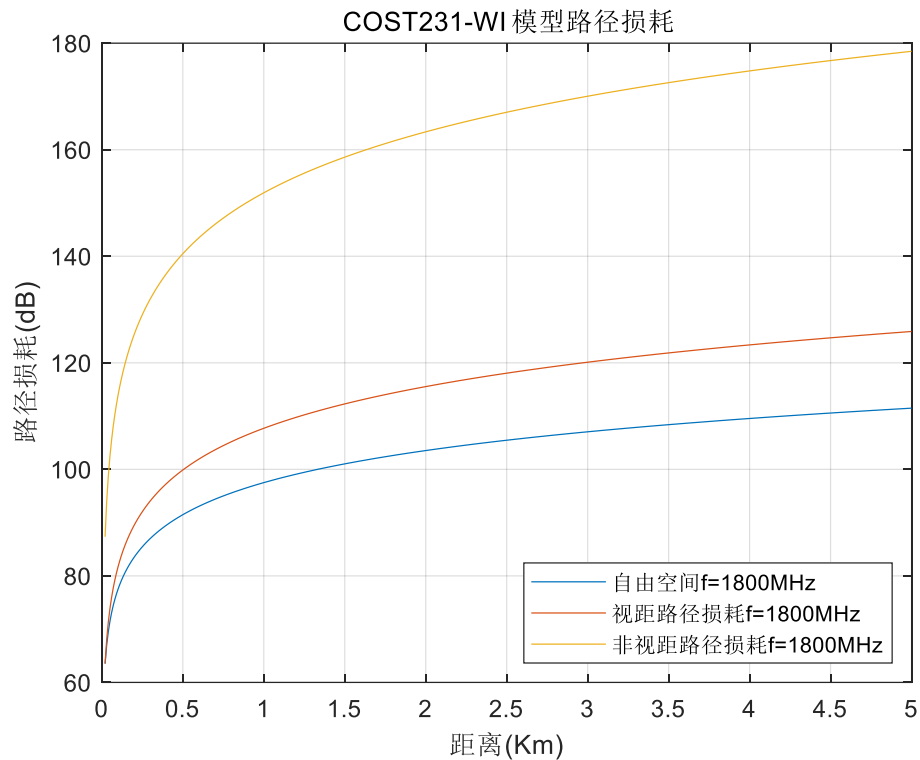


图7 Walfish_Ikegami模型衰落曲线图

第二部分：小尺度衰落

1、瑞利衰落的信号包络的直方图，观察其是否逼近瑞利分布的概率密度函数。

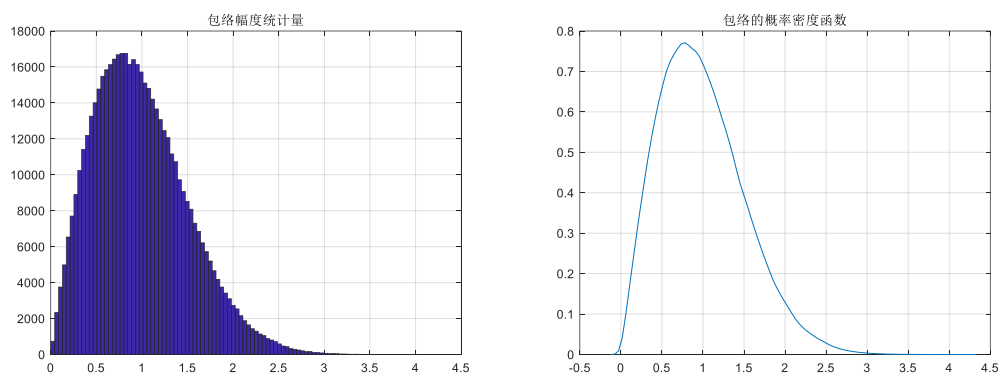


图8 瑞利衰落的信号包络示意图（左：直方图 右：拟合概率密度曲线）

通过图 8 观察，起包络的直方图以及对应的拟合概率密度曲线逼近瑞利分布的概率密度函数，仿真满足理论要求。

2、瑞利衰落的信号包络的曲线。

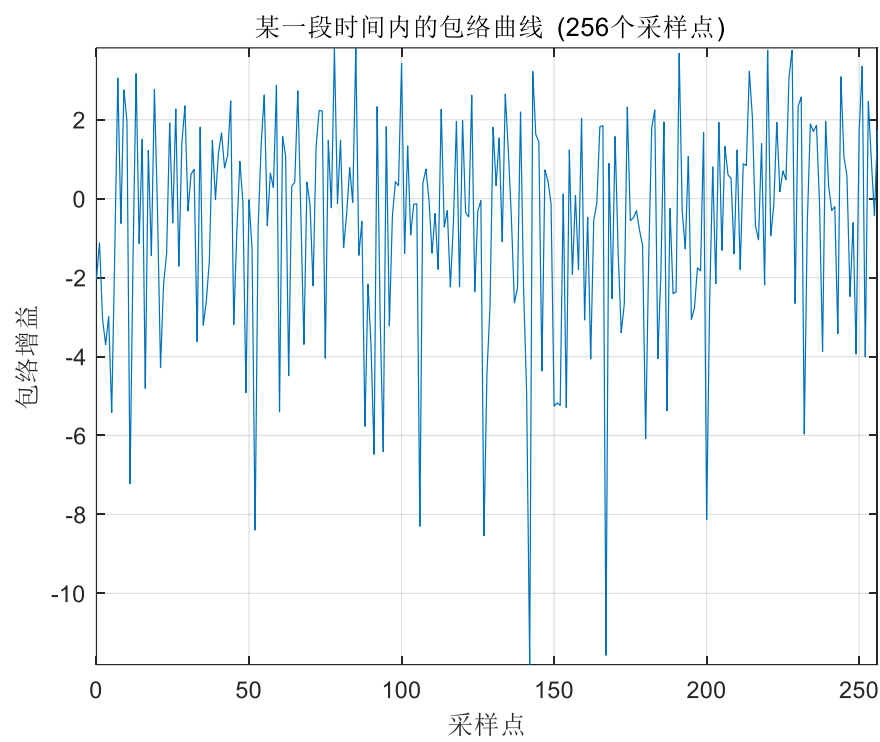


图 9 瑞利衰落的信号包络曲线

3、多径瑞利衰落各径的相关系数。

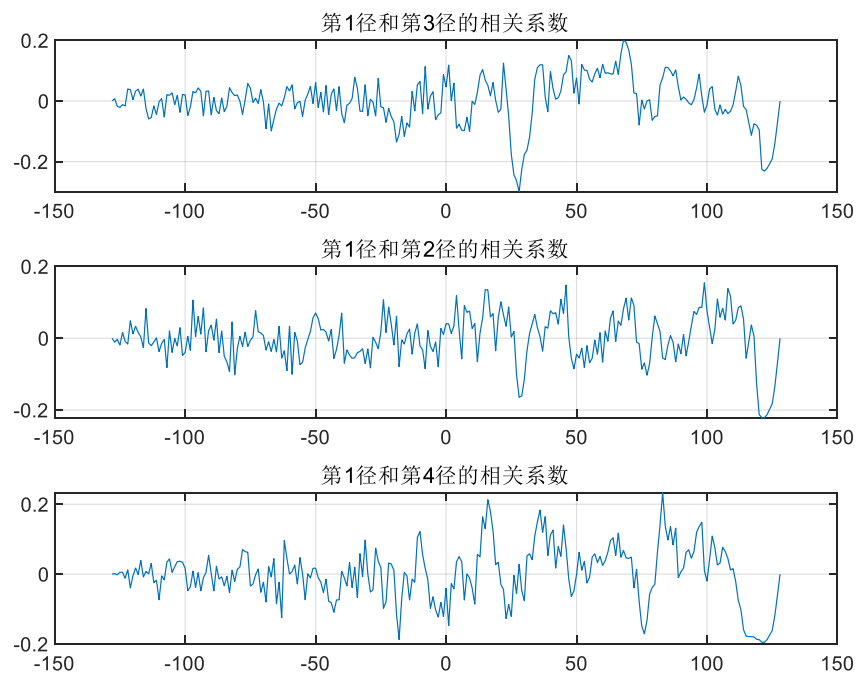


图 10 多径瑞利衰落各径的相关系数曲线

4、多径瑞利衰落各径包络的曲线的3D图。

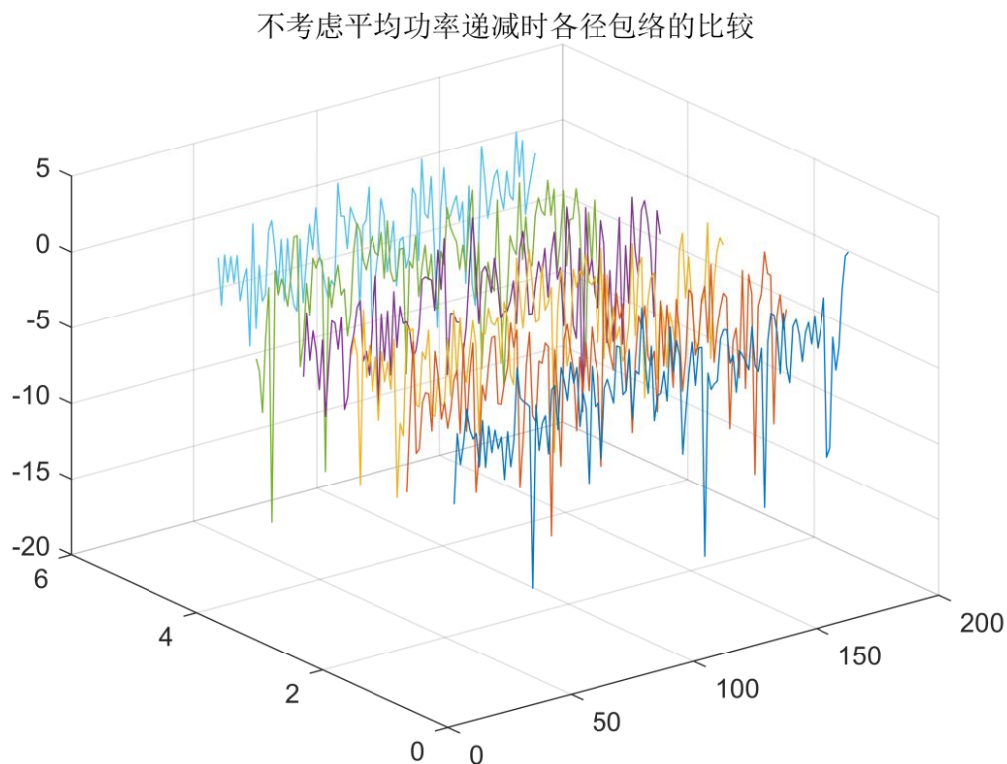


图 11 多径瑞利衰落各径包络的曲线的 3D 图

四、 仿真结果分析

第一部分：

1、根据仿真结果，对比当频率分别为900MHz和1800MHz，自由空间衰落的情况，并解释原因。

$$\text{自由空间传播损耗为: } [L_p] = 10 \lg \frac{P_T}{P_R} = 32.44 + 20 \lg d(km) + 20 \lg f(MHZ)$$

因为对数函数为增函数，所以，自由空间损耗会随着频率的增大而增大。

2、根据仿真结果，对比Hata模型中，不同地理场景下衰落的情况，并解释原因。

从上图所示的仿真结果可看出，中小城市与大城市地物地形对路径损耗的影响差别不大，在频率、移动台高度、基站高度一定发的情况之下，其路径损耗曲线大致重合。由仿真结果知，在距离为 0-10km 时，其损耗急剧上升，在 10km 后，信道的衰减虽然随距离的增加同样有增大的趋势，但是在比较之下，其衰减更为平缓，从图中易看出，相同的工作频率下，大城市和中小城市的衰减是最严重的，郊区稍小些，农村是最小的。这是因为在城市中的大气、建筑物和阻挡物更加的多，即其影响衰减的因素更多。除此之外，当其它的条件不变的时候，频率越大，其损耗也就越大。

Okumura-Hata 模型较适用于大区制的移动通信系统中，但不适用于覆盖距离不足 1km

的个人通信系统中。在 Okumura-Hata 模型中，基站的天线高度一般都高于它周围屋顶的宏蜂窝系统，这是因为在宏蜂窝系统中，基站的天线都是安装在高于屋顶的位置，这时传播路径的损耗就主要是由移动台附近的屋顶的散射和绕射来决定。这个模型的建立，为陆地无线信道传播损耗的预测提供了方便并且实用的解决方案。

3、根据仿真结果，对比Walfish_Ikegami模型中，NLOS和LOS场景下衰落的情况，并解释原因。

对于COST231-WI模型在0~0.5km范围内大幅度衰减，在0.5km之后缓慢衰减切成上升趋势，很明显视距路径损耗要远远小于非视距损耗，这是在相同发射频率下。对于非视距路径损耗在不同发射频率下，也是频率越高，意味着损耗也就越大。

第二部分：

1、为什么多径衰落满足瑞利分布？除了瑞利分布，有没有其它形式的分布？

在无线信道中，信号从发射端到接收端经过多条不同路径传播，这些路径的幅度和相位差异会导致信号在接收端叠加时出现幅度和相位的随机变化。由于路径数目非常多，路径之间相互独立，并且幅度和相位叠加效应的中心极限定理成立，总的来说，多径衰落满足瑞利分布是由于路径之间相互独立且叠加效应遵循中心极限定理，使得幅度的总和近似为高斯分布，而相位总和为均匀分布。通过幅度平方的操作，我们可以得到幅度平方的分布为瑞利分布。

除了瑞利分布以外，还有可能存在高斯分布或者莱斯分布两种情况。

2、多径衰落各径平均功率以什么形式递减？

在无线通信中，多径衰落指的是信号经过多条不同路径传播时，由于路径长度、反射、绕射等因素的影响，导致接收信号的幅度随着路径的增加而发生变化。这种幅度递减的方式被称为多径衰落的衰落补偿。多径衰落中，各路径的平均功率通常以指数衰减的形式递减。

这种指数衰减的形式源于信号在传播过程中的路径损耗和衰落效应。路径损耗是指信号在传播过程中由于自由空间路径损耗、障碍物阻挡等原因导致信号功率的衰减。通常情况下，路径损耗随着路径长度的增加而增大。

另一方面，衰落效应是由于路径之间的相位差异、多径叠加等因素引起的信号幅度的随机变化。在多径衰落中，路径之间的相位差异和多径叠加会导致信号的幅度出现快速衰落和增强的现象。这些衰落效应也会导致平均功率随路径的增加而递减。

需要注意的是，具体的多径衰落情况和路径衰落补偿方式会受到环境、频率、天线高度等因素的影响。因此，实际的衰落补偿模型可能会更加复杂，需要基于具体场景进行测量和建模。

五、 实验心得

理解衰落模型：大尺度衰落和小尺度衰落是无线信道中的两个重要概念。大尺度衰落主要由路径损耗引起，是信号在传播距离上的衰减；而小尺度衰落主要由多径传播引起，是信号在非常短时间尺度上的快速衰落和增强。理解这两个概念对于仿真实验的设计和结果分析非常重要。

实验设计与参数选择：在进行仿真实验时，合理的实验设计和参数选择是关键。对于大尺度衰落实验，需要考虑路径损耗模型、传播距离、天线高度等因素，并选择合适的参数进行仿真。对于小尺度衰落实验，需要考虑多径传播模型、传播环境、信号频率等因素，并合

理设置仿真参数。

仿真实验的结果分析是评估实验效果和验证理论的重要步骤。针对大尺度衰落和小尺度衰落，可以对仿真结果进行统计分析、功率谱密度分析等，并与理论模型进行对比。这样可以对不同衰落模型的性能进行评估和比较，进一步理解无线信道衰落的特性。

六、 源代码

自由空间：

```
1.  clc;
2.  clear all
3.  close all
4.  d=0.1:0.1:100;
5.  y1=wireless_free_space_attenuation(d,900);
6.  y2=wireless_free_space_attenuation(d,1800);
7.  plot(d,y1,d,y2);
8.  xlabel('距离(Km)');
9.  ylabel('损耗 (dB)');
10. title('自由空间损耗');
11. legend('自由空间 f=900MHz','自由空间
        f=1800MHz','Location','southeast')
```

```
1.  function y=wireless_free_space_attenuation(d,f);
2.  %%自由空间损耗计算%%
3.  y=32.4+20*log(d)/log(10)+20*log(f)/log(10);
```

阴影衰落：

```
1.  clc
2.  clear;
3.  close all;
4.
5.  d0=1;%天线远场参考距离 1m
6.  gamma=3.71;%路径损耗因子
7.  c=3*10^8;%光速
8.  f=900*10^6;%频率 900MHz
9.  P0=43;%单位 dBm
10. x=1:0.1:8;
11. d=2.^x;%单位千米， 2Km 到 256Km
12. sigma=0.3;%阴影分布标准差
13.
14. for i=1:length(d)
15.     L(i)=32.4+20*log10(f/1e6)+20*log10(d(i));
```

```

16.     shadow(i)=10*log10(lognrnd(0,sigma));
17.     L2(i)=L(i)+shadow(i);
18.     P1(i)=P0-L(i);
19.     P2(i)=P0-L2(i);
20. end;
21.
22. figure(1)
23. plot(log10(d),P1,'r','linewidth',2)
24. hold on;
25. grid on;
26. plot(log10(d),P2,'b','linewidth',2)
27. xlabel('log10(距离(Km))')
28. ylabel('接收功率(dBm)')
29. legend('只考虑自由空间损耗的接收功率','考虑自由空间损耗+阴影的接收功率')
30.
31. figure(2)
32. plot(d,P1,'r','linewidth',2)
33. hold on;
34. grid on;
35. plot(d,P2,'b','linewidth',2)
36. xlabel('距离(Km)')
37. ylabel('接收功率(dBm)')
38. legend('只考虑自由空间损耗的接收功率','考虑自由空间损耗+阴影的接收功率')
39.
40. figure(3)
41. plot(d,L,'r','linewidth',2)
42. hold on;
43. grid on;
44. plot(d,L2,'b','linewidth',2)
45. xlabel('距离(Km)')
46. ylabel('损耗(dB)')
47. legend('自由空间损耗','自由空间损耗+阴影','Location','southeast')
48. %小区用户均匀分布
49. %范围 x[-100,100],y[-100,100]
50. X=100;
51. Y=100;
52. x=[1:1:X];
53. y=[1:1:Y];
54.
55. for i=1:X
56.     for j=1:Y
57.         shadow1=10*log10(lognrnd(0,sigma));

```

```

58.         d1=sqrt(abs(x(i)-X/2)^2+abs(y(j)-Y/2)^2)/1000;
59.         L1(i,j)=32.45+20*log10(f/1e6)+20*log10(d1);
60.         P1(i,j)=P0-L1(i,j);
61.         P2(i,j)=shadow1;
62.         P3(i,j)=P1(i,j)+P2(i,j);
63.     end
64. end;
65.
66. figure(4)
67. mesh(x,y,P1)
68. title('自由空间损耗 3D 图');
69. xlabel('x(Km)')
70. ylabel('y(Km)')
71. zlabel('接收功率 (dBm) ');
72.
73. figure(5)
74. mesh(x,y,P2)
75. title('阴影衰落 3D 图');
76. xlabel('x(Km)')
77. ylabel('y(Km)')
78. zlabel('接收功率 (dBm) ');
79.
80. figure(6)
81. mesh(x,y,P3)
82. title('自由空间损耗+阴影 3D 图');
83. xlabel('x(Km)')
84. ylabel('y(Km)')
85. zlabel('接收功率 (dBm) ');

```

Hata 模型:

```

1.  clc;
2.  close all
3.  clear all
4.  f=900;
5.  d=0.1:0.1:100;
6.  y0=wireless_free_space_attenuation(d,f);
7.  d=0.1:0.1:100;
8.  y1=wireless_hata_attenuation(1,f,1.5,50,d);
9.  y2=wireless_hata_attenuation(2,f,1.5,50,d);
10. y3=wireless_hata_attenuation(3,f,1.5,100,d);
11. y4=wireless_hata_attenuation(4,f,1.5,100,d);
12. plot(d,y0,d,y1,d,y2,d,y3,d,y4);
13. xlabel('距离(Km)');
14. ylabel('损耗 (dB)');

```

```

15. grid on;
16. title('Okumura-Hata 模型损耗');
17. legend('自由空间 f=900MHz', '中小城市 f=900MHz, Hm=1.5m, Hb=50m', '大城市
      f=900MHz, Hm=1.5m, Hb=50m', '郊区 f=900MHz, Hm=1.5m, Hb=100m', '农村
      f=900MHz, Hm=1.5m, Hb=100m', 'Location', 'southeast', 'Location'
      , 'southeast')

```

```

1. function y=wireless_hata_attenuation(Model,f,Hm,Hb,d)
2. y1=69.55+26.16*log(f)/log(10)-13.82*log(Hb)/log(10)+(44.9-6.55*log
      g(Hb)/log(10))*log(d)/log(10);
3. if Model==1 %中小城市
4.     a=(1.11*log(f)/log(10)-0.7)*Hm-(1.56*log(f)/log(10)-0.8);
5. elseif Model==2 %大城市
6.     if f<300
7.         a=8.29*(log(1.54*Hm)/log(10)).^2-1.1;
8.     else
9.         a=3.2*(log(11.75*Hm)/log(10)).^2-4.97;
10.    end
11. elseif Model==3 %郊区
12.     a=(log(f/28)/log(10)).^2+5.4;
13. elseif Model==4 %农村
14.     a=40.98+4.78*(log(f)/log(10)).^2-18.33*log(f)/log(10);
15. else
16.     error('no that model');
17. end
18. y=y1-a;

```

Walfish_Ikegami 模型:

```

1. clc;
2. clear all;
3. close all;
4. f=1800;
5. d=0.02:0.01:5;
6. y0=wireless_free_space_attenuation(d,f);
7. y1=wireless_Walfish_Ikegami_LOS_attenuation(f,d);
8. Model=1;
9. Hm=1.5;
10. Hb=17;
11. w=20;
12. b=40;
13. Phi=90;

```



```

14. Hroof=15;
15. y2=wireless_Walfish_Ikegami_NLOS_attenuation(Model,f,d,Hm,Hb,Hroo
    f,w,b,Phi);
16. plot(d,y0,d,y1,d,y2);
17. xlabel('距离(Km)')
18. grid on
19. ylabel('路径损耗(dB)')
20. title('COST231-WI 模型路径损耗')
21. legend('自由空间 f=1800MHz','视距路径损耗 f=1800MHz','非视距路径损耗
    f=1800MHz','Location','southeast')

```

```

1. function y=wireless_Walfish_Ikegami_NLOS_attenuation(Model,f,d,Hm
    ,Hb,Hroof,w,b,Phi)
2. L0=32.4+20*log(d)/log(10)+20*log(f)/log(10);%自由空间的损耗
3. if (Phi>=0)&Phi<35
4.     Lcri=-10+0.354*Phi;
5. elseif Phi>=35&Phi<55
6.     Lcri=2.5+0.075*(Phi-35);
7. elseif Phi>=55&Phi<=90
8.     Lcri=4.0+0.114*(Phi-55);
9. end
10. Lrts=-16.9-10*log(w)/log(10)+10*log(f)/log(10)+20*log(Hb-Hm)/log(
    10)+Lcri;%从屋顶到街道的绕射和散射损耗
11. if Hb>Hroof
12.     Lbsh=-18*log(1+Hb-Hroof)/log(10);
13.     ka=54;
14.     kd=18;
15. elseif d>=0.5
16.     Lbsh=0;
17.     ka=54-0.8*(Hb-Hroof);
18.     kd=18-15*(Hb-Hroof)/Hroof;
19. else
20.     Lbsh=0;
21.     ka=54-0.8*(Hb-Hroof)*(d/0.5);
22.     kd=18-15*(Hb-Hroof)/Hroof;
23. end
24. if Model==1
25.     kf=-4+0.7*(f/925-1);
26. elseif Model==2
27.     kf=-4+1.5*(f/925-1);
28. end
29. Lmsd=Lbsh+ka+kf*log(f)/log(10)+kd*log(d)/log(10)-9.1*log(b)/log(1
    0);%多屏绕射损耗

```

```

30. if Lrts+Lmsd<=0
31.     y=L0;
32. else
33.     y=L0+Lrts+Lmsd;
34. end

```

```

1. function y=wireless_Walfish_Ikegami_LOS_attenuation(f,d)
2.     y=42.6+26*log(d)/log(10)+20*log(f)/log(10);

```

快衰落:

```

1. clear;
2. close all;
3. % 参数初始化
4. N = 1024*1024; % 频域样点数
5. v = 33.33; % 移动终端的速度（米/秒）
6. c = 3e8; % 光速（米/秒）
7. fc = 900e6; % 载波频率
8. lamda = c / fc; % 载波波长
9. fm = v / lamda; % 最大多普勒频移
10. deltaf = 2 * fm / (N-1); % 频域采样间隔
11. T = 1 / deltaf; % 时域采样间隔
12. g = linspace(-fm, fm, N); % 频率点的值
13.
14. % 产生有多普勒频移引起的多普勒功率谱密度函数 sqrt(SEZ(f))
15. S = zeros(N, 1);
16. for i = 2:N-1
17.     f = fc + g(i);
18.     S(i) = 1.5 / (pi * fm * (1 - ((f - fc) / fm) ^2) ^0.5);
19. end
20. figure(1)
21. plot(S)
22. S = sqrt(S);
23.
24. % 产生同相噪声源
25. Ia = randn(N/2, 1);
26. Ib = randn(N/2, 1);
27. %Ig_positive 和 Ig_negative 是以 0 点为中心对称的
28. Ig_positive = Ia + Ib*j; % 得到 Ig 的正数部分
29. Ig_negative = flipud(conj(Ig_positive)); % 得到 Ig 的负数部分

```

```

30. Ig = [sqrt(real(Ig_positive).^2 + imag(Ig_positive).^2); sqrt(real(Ig_negative).^2 + imag(Ig_negative).^2)];
31. Ifad = ifft(Ig .* S); %反傅立叶变换
32. Ifad = abs(Ifad).^2; % 求模的平方
33.
34. % 产生正交噪声源
35. Qa = randn(N/2, 1);
36. Qb = randn(N/2, 1);
37. %Qg_positive 和 Qg_negative 是以 0 点为中心对称的
38. Qg_positive = Qa + Qb*j; % 得到 Qg 的正数部分
39. Qg_negative = flipud(conj(Qg_positive)); % 得到 Qg 的负数部分
40. Qg = [sqrt(real(Qg_positive).^2 + imag(Qg_positive).^2); sqrt(real(Qg_negative).^2 + imag(Qg_negative).^2)];
41. Qfad = ifft(Qg .* S); %反傅立叶变换
42. Qfad = abs(Qfad) .* exp(j*(angle(Qfad)-pi/2)); % 相位旋转 90 度
43. Qfad = abs(Qfad).^2; % 求模的平方
44.
45. % 合并两路噪声源
46. rt = sqrt(Ifad + Qfad);
47. mean = cumsum(rt);
48. mean = mean(N)/N;
49. rt=rt/mean;
50. rt=rt';
51.
52. figure(2)
53. hist(rt(1,10000:1:N/2),100);
54. grid on;
55. title('包络幅度统计量');
56.
57. figure(3)
58. [f,xi]=ksdensity(rt(1,10000:1:N/2));
59. plot(xi,f)
60. grid on;
61. title('包络的概率密度函数');
62.
63. figure(4)
64. plot(0:1:256,10*log10(rt(1,10000:1:(10000+256))))
65. axis tight
66.
67. grid on;
68. xlabel('采样点');
69. ylabel('包络增益');
70. title('某一段时间内的包络曲线 (256 个采样点)')
71.

```

```

1.      clear;
2.      close all;
3.
4.      % 参数初始化
5.      N = 256; % 频域样点数
6.      v = 33.33; % 移动终端的速度（米/秒）
7.      c = 3e8; % 光速（米/秒）
8.      fc = 900e6; % 载波频率
9.      lamda = c / fc; % 载波波长
10.     fm = v / lamda; % 最大多普勒频移
11.     deltaf = 2 * fm / (N-1); % 频域采样间隔
12.     T = 1 / deltaf; % 时域采样间隔
13.     g = linspace(-fm, fm, N); % 频率点的值
14.     Path_delay = [0 5 7 12 17 25]; % 相对时延
15.     Path_Gain = exp(-Path_delay); % 每径平均功率，按照指数规递
16.     PathNumber=length(Path_delay); % 多径数
17.
18.     % 产生有多普勒频移引起的多普勒功率谱密度函数 sqrt(SEZ(f))
19.     S = zeros(N, 1);
20.     for i = 2:N-1
21.         f = fc + g(i);
22.         S(i) = 1.5 / (pi * fm * (1 - ((f - fc) / fm) ^2) ^0.5);
23.     end
24.     S = sqrt(S);
25.
26.     fadingcoeff=zeros(PathNumber,N/2);
27.
28.     %合成径数
29.     for ii=1:PathNumber
30.
31.         % 产生同相噪声源
32.         Ia = randn(N/2, 1);
33.         Ib = randn(N/2, 1);
34.         %Ig_positive 和 Ig_negative 是以 0 点为中心对称的
35.         Ig_positive = Ia + Ib*j; % 得到 Ig 的正数部分
36.         Ig_negative = flipud(conj(Ig_positive)); % 得到 Ig 的负数
           部分
37.         Ig = [sqrt(real(Ig_positive).^2 + imag(Ig_positive).^2);
               sqrt(real(Ig_negative).^2 + imag(Ig_negative).^2)];
38.         Ifad = ifft(Ig .* S); % 反傅立叶变换
39.         Ifad = abs(Ifad).^2; % 求模的平方
40.
41.         % 产生正交噪声源
42.         Qa = randn(N/2, 1);

```

```

43.         Qb = randn(N/2, 1);
44.         %Qg_positive 和 Qg_negative 是以 0 点为中心对称的
45.         Qg_positive = Qa + Qb*j; % 得到 Qg 的正数部分
46.         Qg_negative = flipud(conj(Qg_positive));% 得到 Qg 的负数部
分
47.         Qg = [sqrt(real(Qg_positive).^2 + imag(Qg_positive).^2);
sqrt(real(Qg_negative).^2 + imag(Qg_negative).^2)];
48.         Qfad = ifft(Qg .* S);%反傅立叶变换
49.         Qfad = abs(Qfad) .* exp(j*(angle(Qfad)-pi/2)); % 相位旋
转 90 度
50.         Qfad = abs(Qfad).^2;% 求模的平方
51.
52.         % 合并两路噪声源
53.         rt = sqrt(Ifad + Qfad);
54.         mean = cumsum(rt);
55.         mean = mean(N)/N;
56.         rt=rt/mean;
57.         rt=rt';
58.         rt=rt(1,1+N/2:end);
59.         %增加时延
60.         if ii==1
61.             fadingcoeff(ii,:) = rt;
62.         else
63.             fadingcoeff(ii,:) = [ zeros(1,Path_delay(1,ii)) r
t(1,[1:end-Path_delay(1,ii)])];
64.         end
65.
66.     end
67.
68.     t=T:T:T*N/2;
69.     figure(1);
70.     a_3D=abs(fadingcoeff);
71.     tt=t(1:N/2);
72.     pp=1:PathNumber;
73.     y1=zeros(size(tt));
74.     y2=ones(size(tt));
75.     y3=2*ones(size(tt));
76.     y4=3*ones(size(tt));
77.     y5=4*ones(size(tt));
78.     y6=5*ones(size(tt));
79.     plot3(tt,y1 ,10*log10(a_3D(1,1:N/2)),tt,y2 ,10*log10(a_3D
(2,1:N/2)),tt,y3 ,10*log10(a_3D(3,1:N/2)),tt,y4 ,10*log10(a
_3D(4,1:N/2)),tt,y5 ,10*log10(a_3D(5,1:N/2)),tt,y6 ,10*log1
0(a_3D(6,1:N/2)))

```

```
80.         grid on
81.         title('不考虑平均功率递减时各径包络的比较');
82.
83.         correlation_flag=N/2;
84.
85.         figure(2);
86.         subplot(3,1,1)
87.         [Crosscorrelation1,lags] = xcov(fadingcoeff(1,:),fadingcoeff(2,:),correlation_flag,'coeff');
88.         plot(lags,Crosscorrelation1)
89.         grid
90.         title('第 1 径和第 3 径的相关系数');
91.
92.         subplot(3,1,2)
93.         [Crosscorrelation2,lags] = xcov(fadingcoeff(1,:),fadingcoeff(3,:),correlation_flag,'coeff');
94.         plot(lags,Crosscorrelation2)
95.         grid
96.         title('第 1 径和第 2 径的相关系数');
97.
98.         subplot(3,1,3)
99.         [Crosscorrelation3,lags] = xcov(fadingcoeff(1,:),fadingcoeff(4,:),correlation_flag,'coeff');
100.        plot(lags,Crosscorrelation3)
101.        grid
102.        title('第 1 径和第 4 径的相关系数');
103.
104.        %考虑平均功率递减，各径叠后的最终结果
105.        OutSignal=Path_Gain*fadingcoeff;
```