

北京邮电大学



《电磁场实验报告》

校园内无线信号场强特性的研究

学期：	2024春
授课教师：	乔耀军
姓名：	金柏珮 张宇轩
学号：	2022213*** 2022210***
日期：	2024/5/22

校园内无线信号场强特性——课程实验

摘要：身处信息时代，人与人之间的通信大多基于无线电，为了研究在校园各处电磁波电平的情况以及建筑物对电磁场的干扰，我组拟定方案去测定了校内无线信号场强的特性。

关键词：电磁场；穿透损耗；无线电；校园通信；

目录

目录

实验目的

实验原理

衰落

路径损耗

自由空间模型

布灵顿模型

EgLi 模型

Hata- Okumura 模型

建筑物的穿透损耗的定义

实验设备

实验内容

数据测量

测量环境

测量注意事项

测量数据

数据处理

python代码

数据分析

操场

N楼一楼

N楼地下室

多地点综合分析

穿透损耗

操场→N楼（校园内建筑群带来的损耗）

N楼一层→N楼地下室（N楼层间带来的损耗）

总结

实验目的

1. 掌握在移动环境下阴影衰落的概念以及正确测试方法
2. 研究校园内各种不同环境下阴影衰落的分布规律
3. 掌握在室内环境下场强的正确测试方法，理解建筑物穿透损耗的概念
4. 通过实地测量，分析建筑物穿透损耗随频率的变化关系
5. 研究建筑物穿透损耗与建筑材料的关系

实验原理

无线信道中的信号衰减分为衰落、路径损耗、建筑物穿透损耗，此外还有多径传播的影响。

衰落

移动环境下电波的衰弱包括快衰落和慢衰落(也叫阴影衰落)，快衰落的典型分布为瑞利分布和莱斯分布，阴影衰落的典型分布为正态分布，快衰落和慢衰落两者构成移动通信系统中接收信号不稳定因素。

在无线信道里，造成慢衰落的最主要原因是建筑物或其它物体对电波的遮挡。在测量过程中，不同测量位置遇到的建筑物遮挡情况不同，因此接收功率也不同，这样就会观察到衰落现象。由于这种原因造成的衰落也叫“阴影效应”或“阴影衰落”。在阴影衰落的情况下，移动台被建筑物所遮挡，它收到的信号是各种绕射、反射、散射波的合成。所以，在距基站距离相同的地方，由于阴影效应的不同，它们收到的信号功率有可能相差很大，理论和测试表明，对任意的 d 值，特定位置的接收功率为随机对数正态分布即：

$$P_r(d)[dBm] = \bar{P}_r(d)[dBm] + X_\sigma = \bar{P}_r(d_0)[dBm] - 10n\log(d/d_0) + X_\sigma \quad (1)$$

其中， X_σ 为 0 均值的高斯分布随机变量，单位为 dB，标准偏差为 σ ，单位也是 dB。

对数正态分布描述了在传播路径上，具有相同 T-R 距离时，不同的随机阴影效应。这样利用高斯分布可以方便地分析阴影的随机效应。正态 (Normal) 分布，也叫高斯 (Gaussian) 分布，它的概率密度函数是：

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

路径损耗

在移动通信系统中，路径损耗是影响通信质量的一个重要因素。

路径损耗是指测量发射机和接收机之间信号的平均衰弱。即定义为有效发射功率 P_t 和平均接收功率 P_r 之差(dB)。距离是决定路径损耗大小的首要因素；除此之外，还与接收点的电波传播条件密切相关。根据理论和测试的传播模型，无论室内或室外信道，平均接受信号功率随距离对数衰减，对任意的传输距离，大尺度平局路径损耗表示为：

$$\bar{P}L(d)[dB] = \bar{P}L(d_0) + 10n\log(d/d_0) \quad (3)$$

即平均接收功率为：

$$\bar{P}_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - \bar{P}L(d_0) - 10n\log(d/d_0) = \bar{P}_r(d_0)[dBm] - 10n\log(d/d_0) \quad (4)$$

其中， n 为路径损耗指数，表明路径损耗随距离增长的速度； d_0 为近地参考距离； d 为发射机与接收机 (T-R) 之间的距离。

人们根据不同的地形地貌条件，归纳总结出各种电波传播模型。下边介绍几种常用的描述大尺度衰落的模型。

常用的电波传播模型：

自由空间模型

我们说的自由空间一是指真空，二是指发射天线与接收平台之间不存在任何可能影响电波传播的物体，电波是以直射线的方式达到移动台的。自由空间模型计算路径损耗公式是：

$$L_p = 32.4 + 20Lgd + 20Lgf \quad (5)$$

其中 L_p 是以 dB 为单位的的路径损耗， d 是以公里为单位的移动台与基站之间的距离， f 是以 MHz 为单位的移动工作频点或工作频段的频率。

布灵顿模型

布灵顿模型假设发射天线和移动台之间的地面是理想平面大地，并且两者之间的距离 d 远大于发射天线的高度 h_t 或移动台的高度 h_r ，此时的路径损耗计算公式为：

$$L_p = 120 + 40L_{gd} - 20L_{ght} - 20L_{ghr} \quad (6)$$

其中距离 d 的单位是公里，天线高度 h_t 及 h_r 的单位是米，路径损耗 L_p 的单位是dB。系统设计时一般把接收机高度按典型值 $h_r = 1.5m$ 处理，这时的路径损耗计算公式为：

$$L_p = 116.5 + 40L_{gd} - 20L_{ght} \quad (7)$$

按自由空间模型计算时，距离增加一倍时对应的路径损耗增加6dB；按布灵顿模型计算时，距离增加一倍时对应的路径损耗要增加12dB。

EgLi 模型

前述的自由空间模型及布灵顿模型都是基于理论分析得出的计算公式。EgLi 模型则是从大量实测结果中归纳出来的中值预测公式，属于经验模型，其计算式为：

其中路径损耗 L_p 的单位是dB，距离 d 的单位是公里，天线高度 h_t 及 h_r 的单位是米，工作频率 f 的单位是MHz，地形修正因子 G 的单位为dB。 G 反应了地形因素对路径损耗的影响。EgLi 模型认为路径损耗同接收点的地形起伏程度 Δh 有关，地形起伏越大，则路径损耗也越大。当 Δh 用米来测量时，可按下式近似的估计地形的影响：

$$G \approx \begin{cases} 0 & \Delta h < 15m \\ 2.43(1 - \frac{\Delta h}{15}) & \Delta h > 15m \text{ 150MHz频段} \\ 3.05(1 - \frac{\Delta h}{15}) & \Delta h > 15m \text{ 280MHz频段} \end{cases} \quad (8)$$

若将移动台的典型高度值 $h_r = 1.5m$ 代入 EgLi 模型则有：

$$L_p = 84.5 + 40L_{gd} - 20L_{ght} + 20L_{gf} - G \quad (9)$$

Hata—Okumura 模型

Hata- Okumura 模型也是依据实测数据建立的模型。当移动台的高度为典型值 $h_r = 1.5m$ 时，按 Hata- Okumura 模型计算路径损耗的公式为：

市区：

$$L_{p1} = 69.55 + 26.2L_{gf} - 13.82g_{ht} + (44.9 - 6.55L_{ght})L_{gd} \quad (10)$$

开阔地：

$$L_{p2} = L_{p1} - 4.78(L_{gf})^2 + 18.33gf - 40.94 \quad (11)$$

一般情况下，开阔地的路径损耗一般都比市区小。

建筑物的穿透损耗的定义

建筑物穿透损耗的大小对于研究室内无线信道具有重要意义。穿透损耗又称大楼效应，一般指建筑物一楼内的中值电场强度和室外附近街道上中值电场强度dB之差。

发射机位于室外，接收机位于室内，电波从室外进入到室内，产生建筑物的穿透损耗，由于建筑物存在屏蔽和吸收作用，室内场强一定小于室外的场强，造成传输损耗。室外至室内建筑物的穿透损耗定义为：室外测量的信号平均场强减去在同一位置室内测量的信号平均场强。用公式表示为：

$$\Delta P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^{(outside)} - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j^{(inside)} \quad (12)$$

ΔP 是穿透损耗，单位 dB， P_j 是在室内所测的每一点的功率，单位 dB μ v，共 M 个点， P_i 是在室外所测的每一点的功率单位 dB μ v，共 N 个点。

实验设备

DS1131 场强仪、拉杆天线

实验内容

利用 DS1131 场强仪，实地测量信号场强

1. 研究具体现实环境下阴影衰落分布规律，以及具体的分布参数如何
2. 研究在校园内电波传播规律与现有模型的吻合程度，测试值与模型预测值的预测误差如何
3. 研究建筑物穿透损耗的变化规律

数据测量

测量环境

我们选择在北京邮电大学沙河校区N教学楼地下室和室内1楼进行信号的测量。选择测量的频段为106.1MHz。测量时间为周天上午9:00到11:00，这时天气晴朗，无云，且周围人少，电子设备使用密度低，测量得到的电平应该会相对更高，信号效果应该会更好。

根据测定要求，每半个波长测定一次数据，则对于106.1MHz而言，每个波长约为2.8m，半个波长为1.4m，故实验时选定每正常的两步测定一个数据。

我们共测量了3组数据，分别位于室外的操场，测定得到校园内应该效果很好的地点的信号，还有位于N楼一楼的信号，作为第一个对照，用于分析校园的各环境和各种建筑物对信号的干扰，其次我们还测量了N楼地下室的信号状况，作为第二个对照，用于衡量楼层间以及地面对信号的干扰。

测量注意事项

1. 在使用场强仪时，由于天线的长度、方向等对于接收信号的强度值是有影响的，而且影响不小，所以在使用时要保证天线始终处于全伸直状态，并且尽量在测定一个区域时保证其方向不变
2. 在测量时尽量保持身体的姿势是不变的，减少由于身体的姿势的不同而导致的对于测量的干扰
3. 在读数时应该注意，有时测量到的场强强度变化较快，有时甚至在一个比较夸张的动态范围内跳变，这时应等待读数数值比较稳定时再进行读数，以免造成较大的误差
4. 遇到有不稳定情况时，比如有人走动，有人开关门，或者有人在楼道内打移动电话时，应在原地停止读数，等周围环境稳定时再重新读数
5. 测量时每一个方向一定要一鼓作气从头测到尾，不得中途倒退后又继续测量

测量数据

操场	N楼一层	N楼地下室
-83.4	-93.1	-93
-83.2	-93	-93
-83	-92.8	-93.1
-83.1	-92.9	-93
-82.9	-92.8	-92.8
-83.3	-93.2	-93
-83	-93	-92.8
-83.2	-93.1	-92.9
-83	-92.9	-93.1
-82.7	-92.8	-92.9
-82.8	-93	-93
-82.8	-92.9	-93.1
-83	-92.8	-93
-83.2	-92.7	-93.1
-83	-92.7	-92.9
-83	-92.8	-93

-82.8	-93	-92.9
-82.8	-92.9	-93.1
-82.7	-93	-93.2
-82.8	-93.1	-93.2
-83.1	-92.8	-93.2
-82.8	-92.7	-93.1
-82.8	-92.8	-93.2
-82.7	-92.6	-93.2
-83.1	-92.5	-93
-82.9	-92.6	-93
-83.1	-92.7	-92.9
-82.8	-92.7	-92.9
-82.9	-92.6	-92.8
-82.5	-92.6	-92.9
-82.6	-92.8	-92.9
-83	-92.8	-92.7
-83	-92.6	-93
-82.8	-92.7	-93
-82.9	-92.4	-92.9
-82.8	-92.7	-92.9
-82.7	-92.5	-92.9
-82.9	-92.5	-92.9
-82.8	-92.7	-92.9
-83	-92.6	-92.9
-82.8	-92.8	-92.8
-82.9	-93	-92.9
-83	-92.8	-92.8
-83	-92.7	-92.8
-82.6	-92.7	-92.8
-82.7	-92.6	-92.8
-83.1	-92.9	-92.7
-82.9	-92.7	-92.8
-82.9	-92.9	-92.8
-83	-92.8	-92.6
-83	-92.7	-92.6
-82.9	-92.8	-92.7
-82.8	-92.8	-92.6

-82.7	-92.7	-92.6
-82.6	-92.7	-92.8
-82.7	-92.7	-92.7
-82.8	-92.8	-92.6
.....		

说明： 单位为dBmW

数据处理

我小组使用python对测量得到的数据进行处理，处理包括电平概率图（概率密度），电平概率分布图（概率分布）

python代码

使用pandas, numpy, scipy, matplotlib进行数据的处理和图像的绘制

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import norm
import matplotlib.pyplot as plt

# 设置字体
plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['Songti SC']

# 读取Excel文件
data = pd.read_excel('data.xlsx')

# 计算均值与标准差
mean_values = data.mean()
std_values = data.std()

# 打印均值与标准差
print("Avg:")
print(mean_values)
print("\nStandard Deviation:")
print(std_values)

# 对数据进行标准化
normalized_data = (data - mean_values) / std_values

# 生成标准正态分布的概率密度函数和累积分布函数
x = np.linspace(-5, 5, 1000)
pdf = norm.pdf(x)
cdf = norm.cdf(x)

# 对每一列标准化后的数据分别绘制概率密度函数和累积分布函数
for i, col in enumerate(normalized_data.columns):
    # 绘制概率密度函数
    plt.figure(figsize=(10, 6))

    # 绘制该列数据的频率直方图
    plt.hist(normalized_data[col], bins=30, alpha=0.5, label=f'{col} - 电平出现次数')
```

```

# 绘制标准正态分布的概率密度函数
plt.plot(x, pdf * len(normalized_data[col]) * (max(normalized_data[col]) -
min(normalized_data[col])) / 30, 'k--', label='正态分布密度图线')

# 设置图形标题和标签
plt.title(f'电平出现次数密度函数 {col}')
plt.xlabel('电平大小 (标准化后)')
plt.ylabel('数据出现次数')
plt.legend()
plt.grid(True)

# 显示图形
plt.show()

# 绘制累积分布函数
plt.figure(figsize=(10, 6))

# 绘制该列数据的累积分布函数
sorted_col = np.sort(normalized_data[col])
col_cdf = np.arange(len(sorted_col)) / len(sorted_col)
plt.plot(sorted_col, col_cdf, label=f'{col}')

# 绘制标准正态分布的累积分布函数
plt.plot(x, cdf, 'r--', label='正态分布分布函数图线')

# 设置图形标题和标签
plt.title(f'累计概率 (概率分布函数) F(x) {col}')
plt.xlabel('电平大小 (标准化后)')
plt.ylabel('F(x)')
plt.legend()
plt.grid(True)

# 显示图形
plt.show()

# 绘制每列数据的平均值柱状图
plt.figure(figsize=(10, 6))

# 获取每列数据的平均值
mean_values = data.mean()

```

```

# 绘制柱状图
plt.bar(np.arange(len(mean_values)), mean_values, color=['blue', 'green', 'red'])

# 设置 x 轴刻度和标签
plt.xticks(np.arange(len(mean_values)), mean_values.index)

# 设置标题和标签
plt.title('电平值对比')
plt.xlabel('地点')
plt.ylabel('电平平均值')

# 显示图形
plt.show()

```

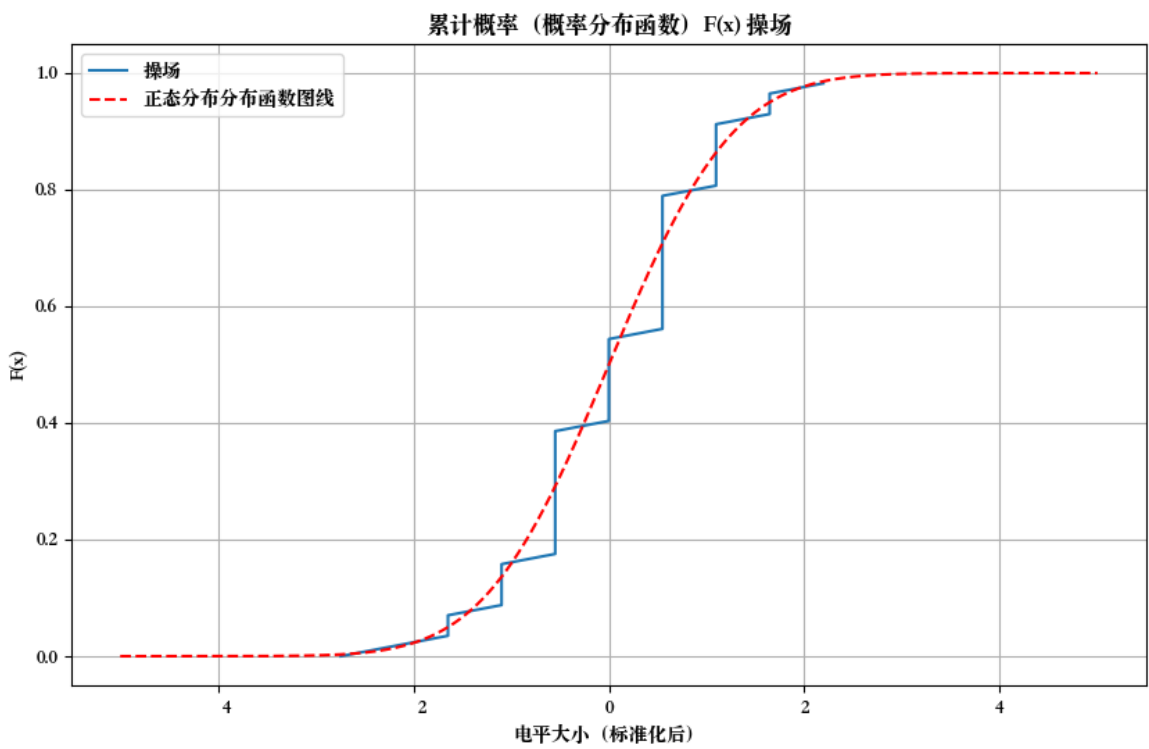
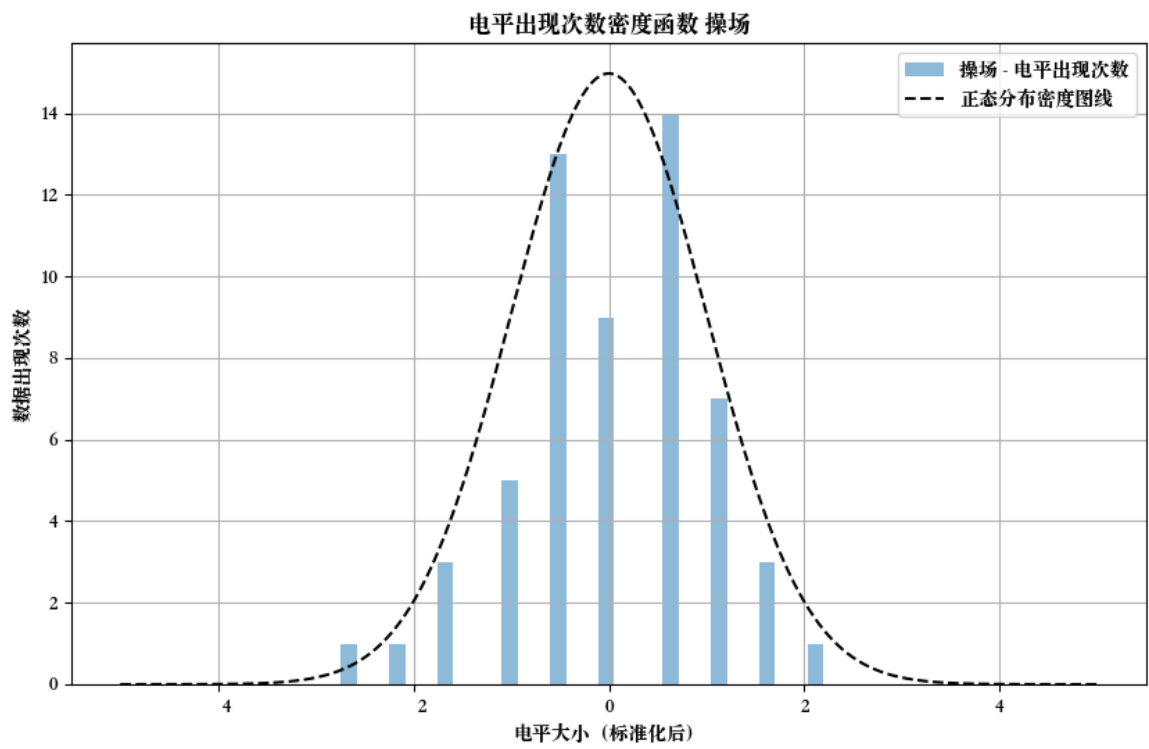
输出:

```

>>>
.....
Avrg:
N楼1层      -92.780702
N楼地下室   -92.907018
操场        -82.900000
dtype: float64

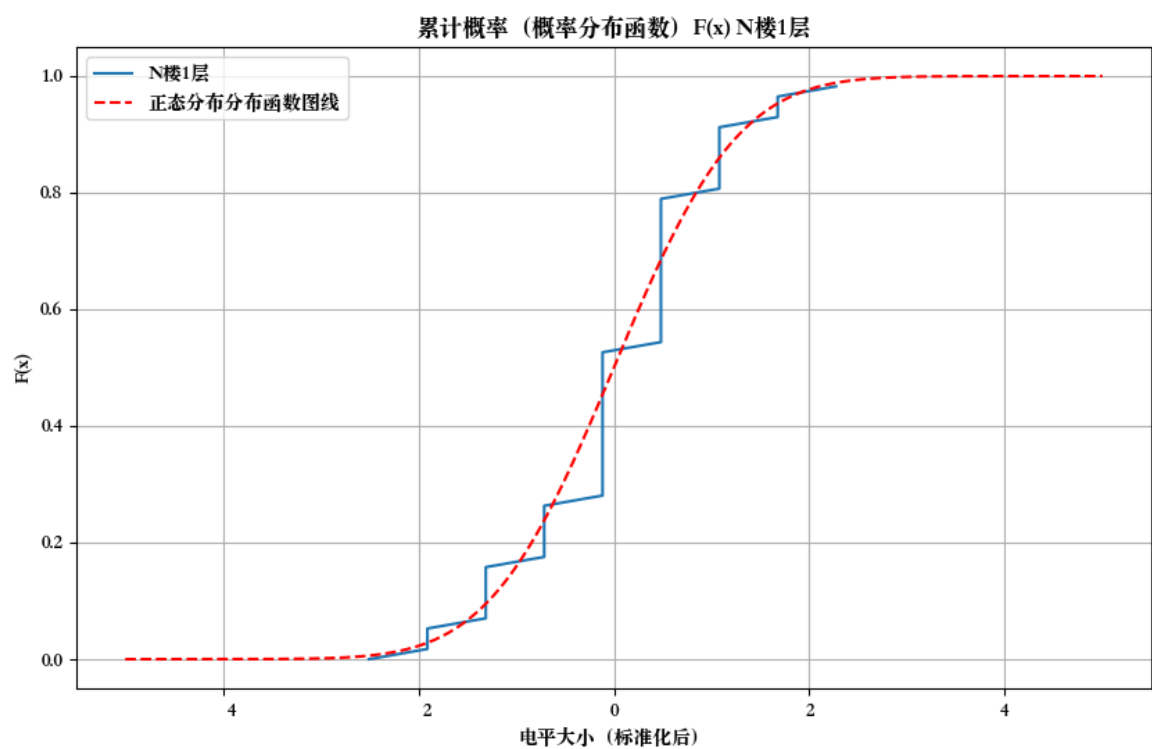
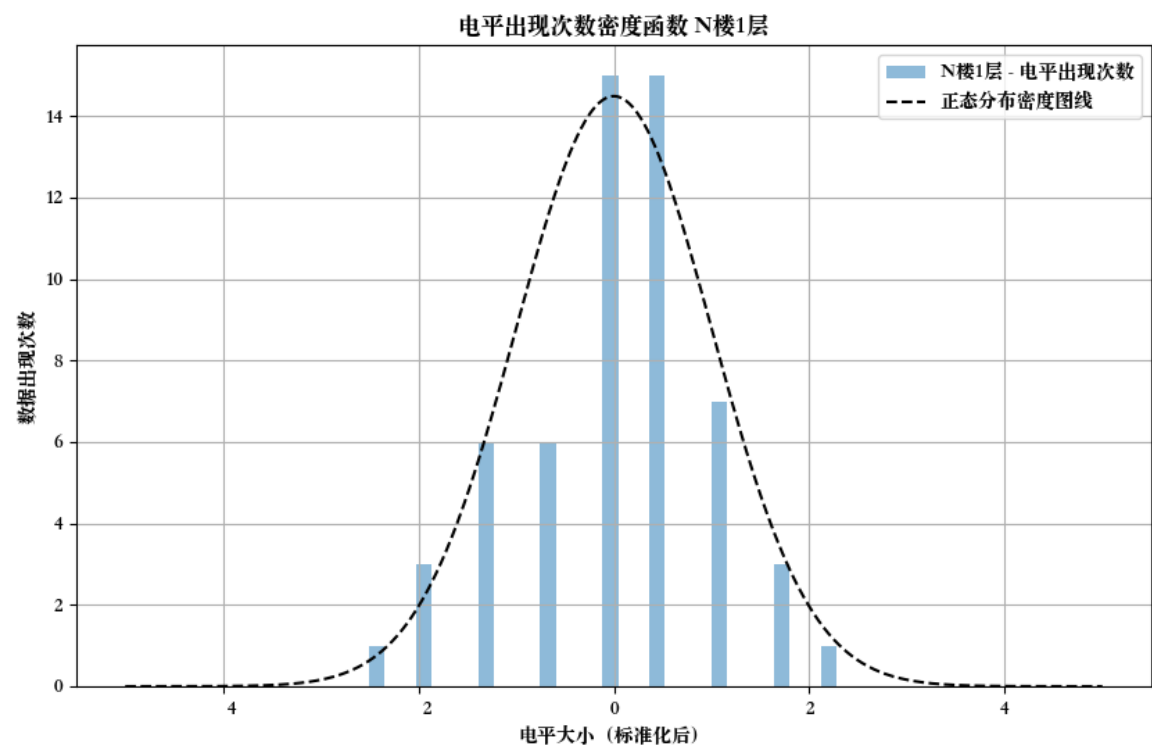
Standard Deviation:
N楼1层      0.167373
N楼地下室   0.164599
操场        0.182248
dtype: float64
.....

```



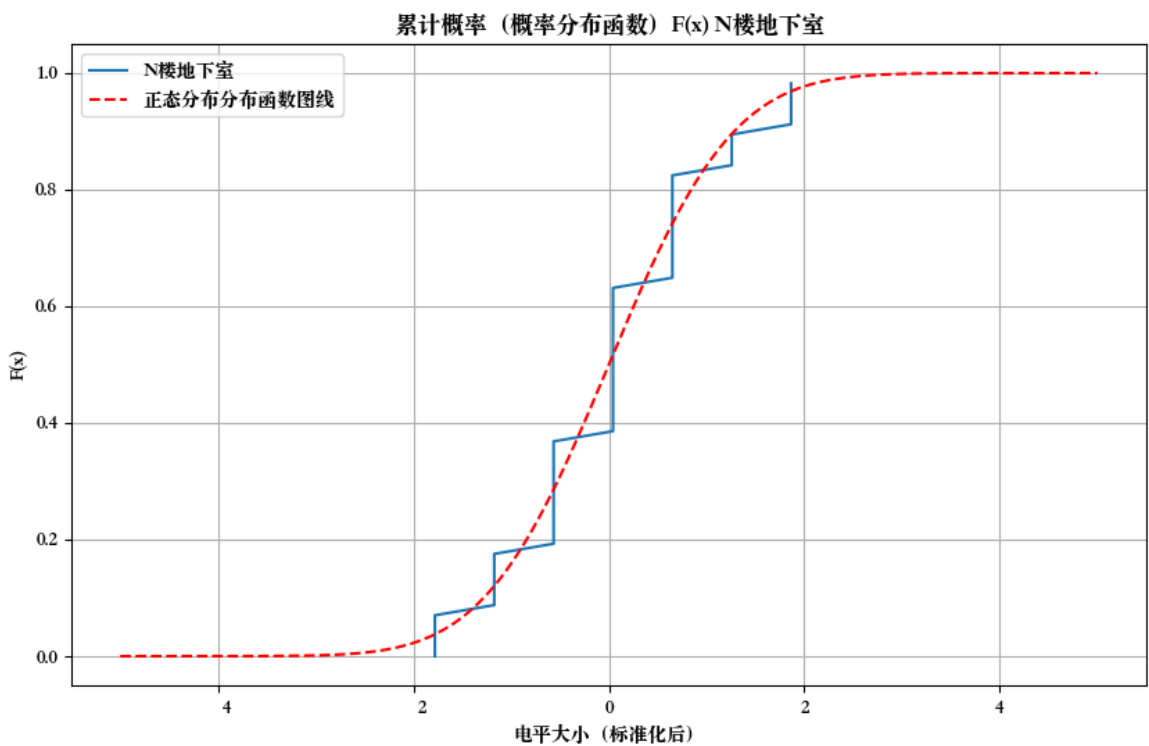
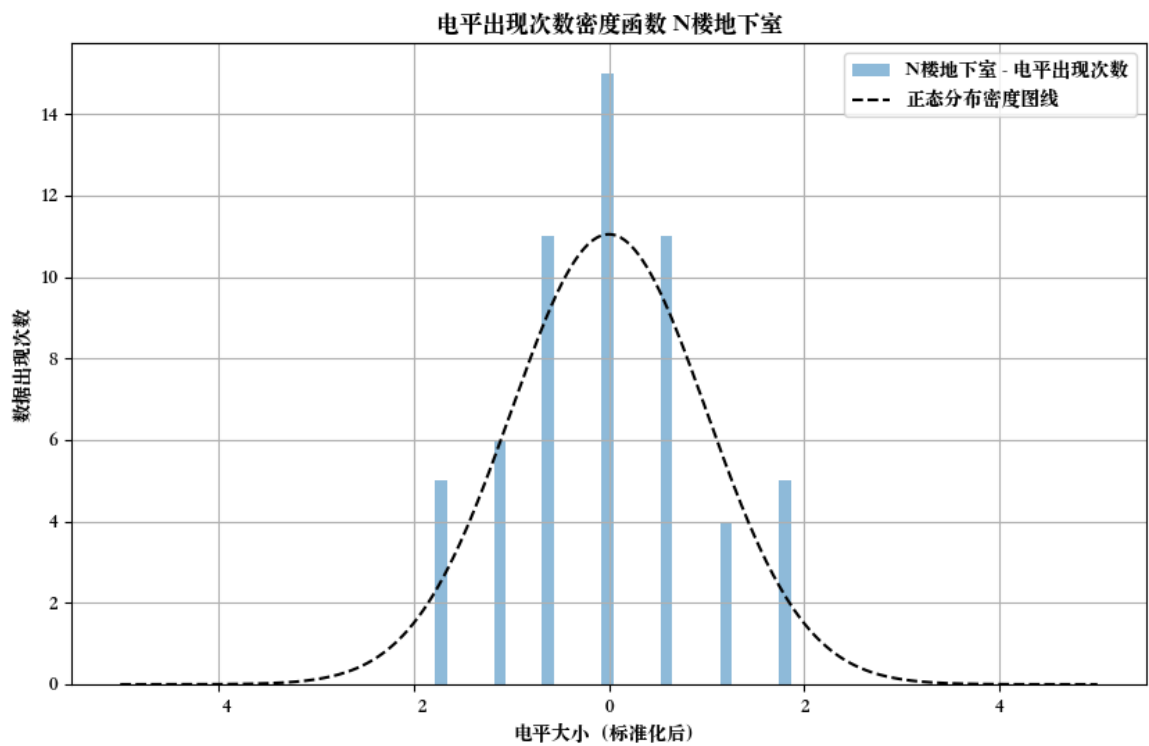
操场的测量效果在均值附近发生了一个次数的跌落范围，考虑到我们测量的次数不够多，可能导致了这种统计意义上的误差。但是整体来说密度函数和分布函数大致符合理想效果。

N楼一楼



N楼一层的测量结果在大于均值的范围有一个集中区域，我们小组考虑到可能是在测量时经过了一扇开向北面的大门，没有教室和教室内部桌椅人员的阻隔，导致信号更好的区域数据量变多。但是整体来说密度函数和分布函数大致符合理想效果。

N楼地下室



N楼地下室的测量结果在均值附近有些超出标准的正态分布线，我们小组考虑到可能是由于两方面共同导致：

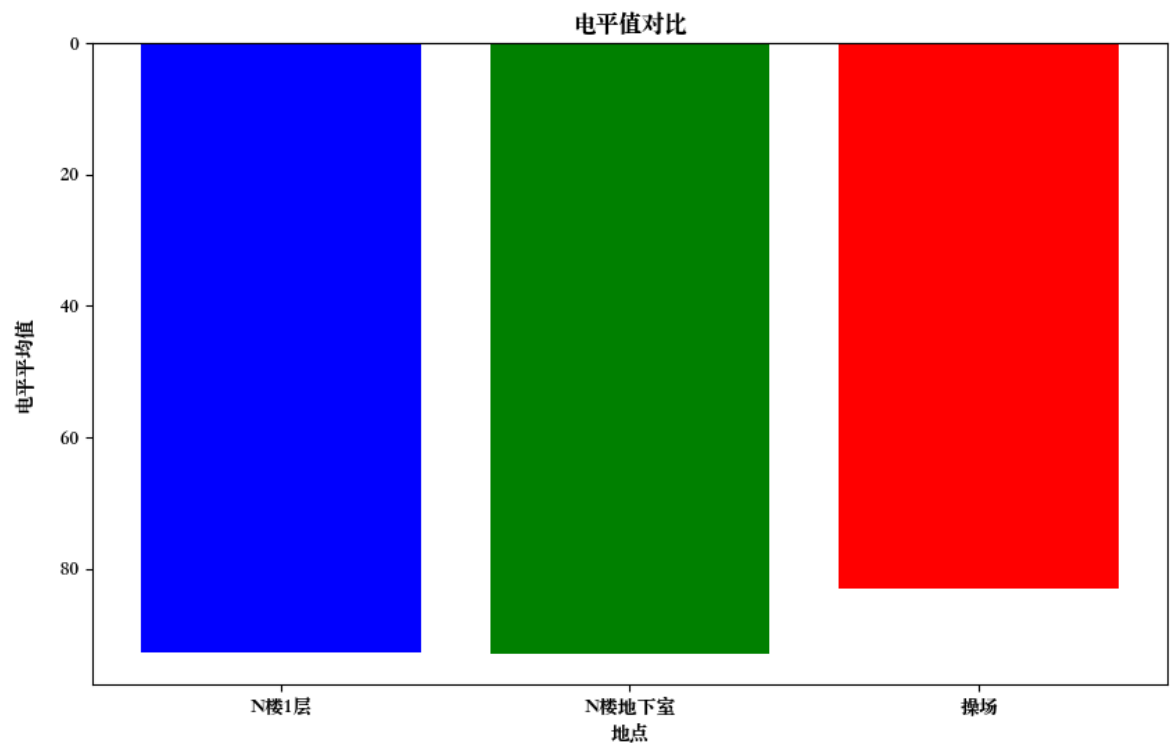
1. 测量次数不够多，导致统计意义上的误差
2. 测量范围不够广，导致各个数据的测量环境过于相似，致使数据的多样性下降

多地点综合分析

通过python代码的输出直接得到这组数据：

指标	操场	N楼一层	N楼地下室
均值(dBmW)	-82.900000	-92.780702	-92.907018
标准差(dBmW)	0.182248	0.167373	0.164599

标准差不大，这说明我们测量的数据的可靠性还是有所保障的。
我们认为对比中更重要的是均值，这直观的体现了建筑群和人员电子设备对电磁信号的干扰：



可以明显观察到操场的电平大小更大，而到了位于校园以里的N教学楼，电平衰弱比较明显，而N楼地下室带来的削减几乎可以忽略不计，我们认为这主要是由于N楼地下室有一个通向室外的大门和通道，所以衰弱并不多。

穿透损耗

根据第二章介绍内容中，穿透损耗公式：

$$\Delta P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^{(outside)} - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j^{(inside)} \quad (13)$$

ΔP 是穿透损耗，单位 dB， P_j 是在室内所测的每一点的功率，单位 dB μ v，共 M 个点， P_i 是在室外所测的每一点的功率单位 dB μ v，共 N 个点。

由于我们所测得的室外数据仅仅是在平地上，因此仅适用于一层的穿透损耗，对于二三四层的穿透损耗，我统一采用当层数据中场强最大值作为当层的室外平均功率。

计算可以得到：

操场→N楼（校园内建筑群带来的损耗）

$$\Delta P_{\text{建筑}} = -82.900000 - (-92.780702) = 9.880702 \quad (14)$$

N楼一层→N楼地下室（N楼层间带来的损耗）

$$\Delta P_{\text{层间}} = -92.780702 - (-92.907018) = 0.126316 \quad (15)$$

这个数据是显然偏小了的，但是我们小组猜测，这大概率就是由于N楼地下室有一个直通室外的宽敞大门导致的。也侧面反映了墙体对信号的阻碍作用，因此在校内对信号要求高的地方，可以简单地采取减少和外界格挡的墙体的方法来有效带来信号的加强。

总结

综上所述可知，校园内的总体信号强度强度状况还是不错的。对于实际的室外模型而言，阴影衰落服从对数正态分布规律，接收信号强度概率分布满足正态分布规律。

在开阔的操场，信号强度较强，越是往校园的建筑丛中走。由近至远呈现出大尺度的衰落规律。

实验加深了我们对无线信号场强特性的认识与理解，也锻炼了我们设计测试方案和分析问题的能力。