

# 数字通信实验报告

实验题目：具有窃听用户的无线多径模型

实验内容：

根据具有窃听用户的无线多径模型，模拟发送方、接收方、窃听方的通信情况，计算相应的信道冲激响应(CIR)，绘制三者的信道频率幅值响应图像，比较信号的相关性。通过调整窃听方与接收方的距离，总结信号相关规律。

模型建立：

本次实验使用 ITU-RM.1225 中的多路径延迟模型，使用室外到室内和行人模型和车辆模型，只考虑小规模衰落。

□ Small-Scale fading Models (Channel impulse response)

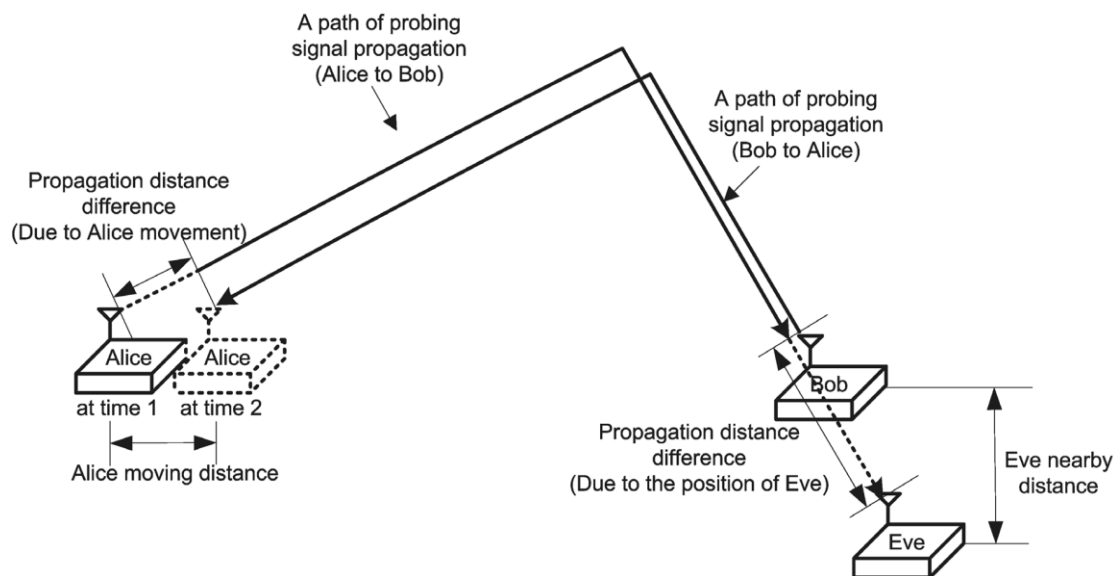
▣ Vehicular

Tap	Channel A		Channel B		Doppler spectrum
	Relative delay (ns)	Average power (dB)	Relative delay (ns)	Average power (dB)	
1	0	0.0	0	-2.5	Classic
2	310	-1.0	300	0	Classic
3	710	-9.0	8.900	-12.8	Classic
4	1 090	-10.0	12 900	-10.0	Classic
5	1 730	-15.0	17 100	-25.2	Classic
6	2 510	-20.0	20 000	-16.0	Classic

$$c(\tau;t)=\sum_{n=1}^N\alpha_n(t)e^{-j\phi_n(t)}\delta(\tau-\tau_n(t))$$

N: Number of total delay taps;  $\alpha_n(t)$ : Power of each tap;  $\tau_n(t)$ : Delay of each tap  
 $\phi_n(t)$ : Phase of each tap

本次实验考虑合法通信方 Alice 和 Bob，以及非法窃听方 Eve。其中 Alice 的移动速度 5km/h，Alice 与 Bob 的通信间隔为 1ms，即 Alice 发送信号 1ms 后 Bob 发送信号。窃听方 Eve 距离通信方 Bob 半周长以内，其具体位置不确定。实验假设载波频率 2400MHz，采样率 20MS/s。模型内容与本实验的相位计算模型如图 2 所示。



相位计算模型:  $\phi_{n(t)} = 2\pi \left( \frac{\tau_n v + D_N w_1 + D_M w_2}{\lambda} + w_3 \right)$

本实验的相位计算模型如上述。其中 $v$ 为信息传输速率（光速）， $\lambda$ 为波长， $\tau_n$ 为信道相对延迟。 $D_N$ 、 $D_M$ 分别表示 Eve 到 Bob 的距离与 Alice 在收信时移动产生的距离。 $w_i$ 为区间 $(-1, +1)$ 中服从均匀分布的随机变量，其中 $w_1$ 用于表示 Eve 位置的不确定性， $w_2$ 表示 Alice 移动方向的不确定性， $w_3$ 表示随机传播距离导致的相位随机性。

当 Bob 接收来自 Alice 的消息时，其相位不受 $D_N$ 、 $D_M$ 等因素影响：

$$\phi_{n(t)} = 2\pi \left( \frac{\tau_n v}{\lambda} + w_3 \right)$$

当 Alice 接收来自 Bob 的消息时，其相位会受到 Alice 在 1ms 内移动距离 $D_M$ 的影响：

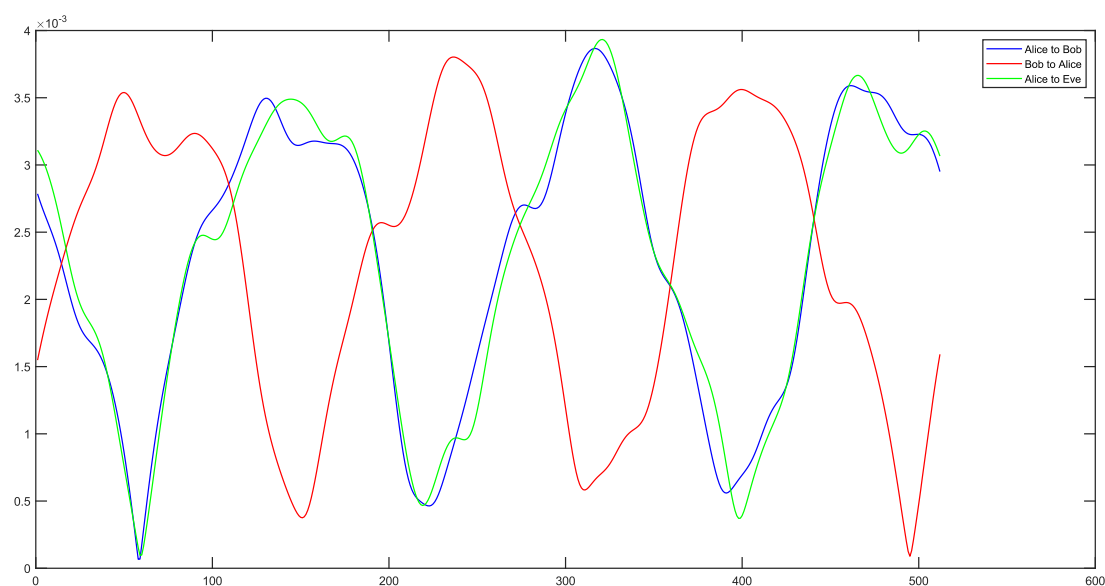
$$\phi_{n(t)} = 2\pi \left( \frac{\tau_n v + D_M w_2}{\lambda} + w_3 \right)$$

当 Eve 接收来自 Alice 的消息时，其相位会受到 Eve 与 Bob 之间距离 $D_N$ 的影响：

$$\phi_{n(t)} = 2\pi \left( \frac{\tau_n v + D_N w_1}{\lambda} + w_3 \right)$$

代入相位公式即可以求得信道冲激响应(CIR)，绘制信道频率幅值响应图像。

**结果展示：**



绘制 Alice、Bob、Eve 的信道频率响应图像如图所示。通过观察可以发现，发送方 Alice 的信道频率响应与接收方 Bob 基本重合，具有较强的相似性，但是由于信道时延等影响导致两者略有偏差。窃听者 Eve 由于其与 Bob 之间存在距离，其接收信号产生延迟，并会出现较大的误差，与 Alice、Bob 的信道频率响应图像差距较大。

为了进一步检验信道相关性，我们使用 matlab 计算 Alice 与 Bob、Alice 与 Eve 信道的相关系数。其中 Channel\_CIR1 为 Bob 收到 Alice 的信号；Channel\_CIR2 为 Alice 收到 Bob 的信号；Channel\_CIR3 为 Eve 收到 Alice 的信号。计算结果如下：

```
>> corrcoef(Channel_CIR1,Channel_CIR2)
```

```
ans =
```

```
1.0000 + 0.0000i 0.9260 - 0.0434i
0.9260 + 0.0434i 1.0000 + 0.0000i
```

```
>> corrcoef(Channel_CIR1,Channel_CIR3)
```

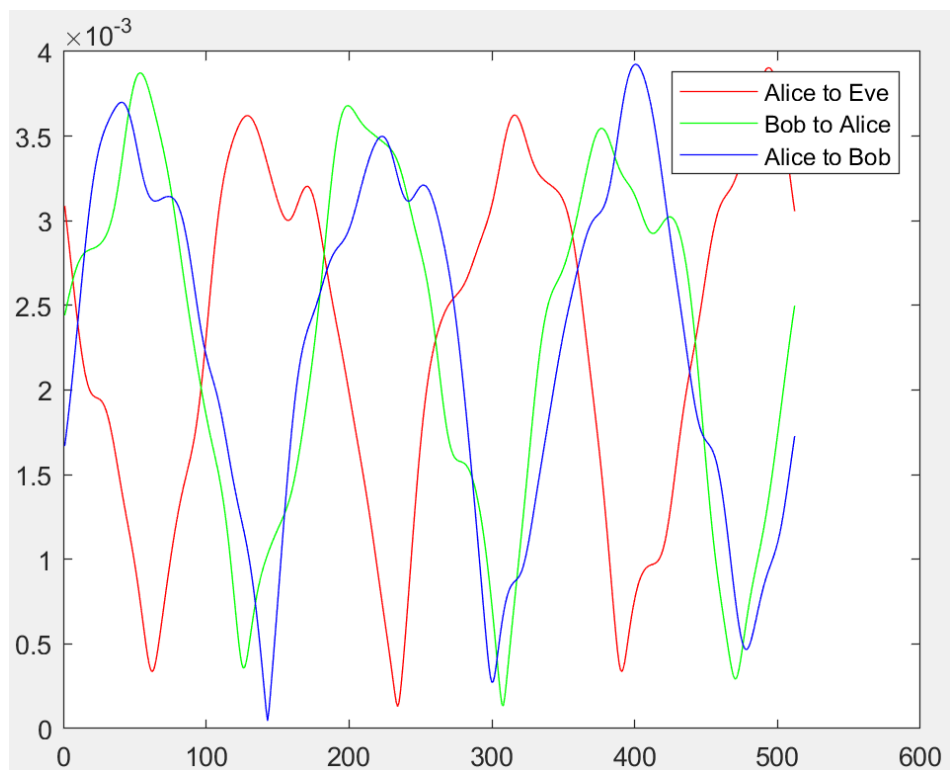
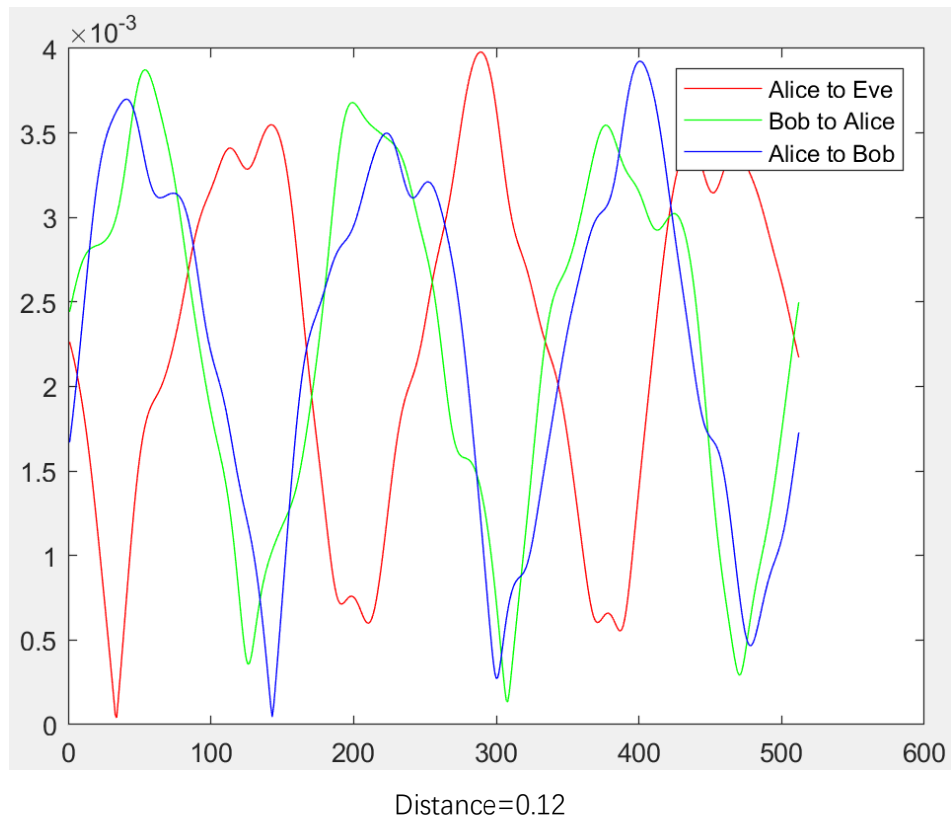
```
ans =
```

```
1.0000 + 0.0000i -0.1470 + 0.1568i
-0.1470 - 0.1568i 1.0000 + 0.0000i
```

观察系数矩阵可以发现，Alice 与 Bob 信道相关系数达到 0.9260，相似性较高；Alice 与 Eve 信道相关系数约为 0.1470，相似性较低。

为了进一步观察 Eve 与 Bob 之间的距离对窃听信道的影响，我们分别在不同的距离下进行模拟。如图为 Distance=0.03 与 Distance=0.12 时的信道频率响应图像。

Distance=0.03



观察结果可以发现，随着 Eve 与 Bob 距离的增加，信号的相关性会不断下降，信道延迟等影响导致 Eve 窃听到的信号与 Alice 发送信号有较大不同。

**小组分工：**

模型建立与代码实现：王晨阳，吴桐

结果测试与分析：马运聪，唐翠霜，李政君

实验汇报与报告撰写：王晨阳，吴桐，马运聪，夏汉宁

## 实验代码：

### 1.Defination of Constant

```
Channel_Tau = [0 310 710 1090 1730 2510]*1e-9; % [second]
```

```
Channel_Gain = [0 -1 -9 -10 -15 -20]; % [dB]
```

```
Sampling_Rate = 20 * 1e6; % [points/second]
```

```
Sample_Length = 1 / Sampling_Rate; % [second]
```

```
Channel_Tau_Index = round(Channel_Tau / Sample_Length) + 1;
```

```
Moving_Speed = 5 * 1000 / 3600; % [meter/second]
```

```
TDD_Interval = 1e-3; % [second]
```

```
Moving_Distance = TDD_Interval * Moving_Speed; % [meter]
```

```
Carrier_Frequency = 2.4 * 10^9; % [Hz]
```

```
Transmission_Frequency = 3 * 1e8; % [meter/second]
```

```
Wavelength = Transmission_Frequency / Carrier_Frequency; % [meter]
```

```
Nearby_Distance = 0.06; % [meter]
```

```
Channel_Seed = 0;
```

### 2.Alice to Bob

```
rng(Channel_Seed, 'twister');
```

```
for n = 1:512
```

```
    Channel_CIR1(n) = 0i;
```

```
end
```

```
for n = 1:6
```

```
    phi(n) = 2 * pi * (2 * (rand - 0.5) + (Channel_Tau(n) * Transmission_Frequency) /
```

```
Wavelength);
```

```
    c(n)=10^(Channel_Gain(n) / 10) * exp(-1i * phi(n));
```

```
    Channel_CIR1(Channel_Tau_Index(n)) = c(n);
```

```
end
```

```
Channel_CFR1 = abs(freqz(Channel_CIR1, 512));
```

```
x = 1:512;
```

```
line1 = plot(x, Channel_CFR1,'b');
```

```
hold on
```

### 3.Bob to Alice

```
rng(Channel_Seed, 'twister');
```

```
for n = 1:512
```

```

    Channel_CIR2(n) = 0i;
end
for n = 1:6
    phi(n) = 2 * pi * (2 * (rand - 0.5) + (Channel_Tau(n) * Transmission_Frequency +
(Moving_Distance) * 2 * (rand - 0.5)) / Wavelength);
    c(n)=10^(Channel_Gain(n) / 10) * exp(-1i * phi(n));
    Channel_CIR2(Channel_Tau_Index(n)) = c(n);
end
Channel_CFR2 = abs(freqz(Channel_CIR2, 512));
x = 1:512;
line2 = plot(x, Channel_CFR2,'r');
hold on

```

#### **4.Alice to Eve**

```

rng(Channel_Seed, 'twister');
for n = 1:512
    Channel_CIR3(n) = 0i;
end
for n = 1:6
    phi(n) = 2 * pi * (2 * (rand - 0.5) + (Channel_Tau(n) * Transmission_Frequency + rand * 0
+ (Nearby_Distance) * 2 * (rand - 0.5)) / Wavelength);
    c(n)=10^(Channel_Gain(n) / 10) * exp(-1i * phi(n));
    Channel_CIR3(Channel_Tau_Index(n)) = c(n);
end
Channel_CFR3 = abs(freqz(Channel_CIR3, 512));
x = 1:512;
line3 = plot(x, Channel_CFR3,'g');

```