

# 通信原理实验9

姓名：朱天昊

学号：18308267

邮箱：1312622783@qq.com

## 实验目标

#####

## 实验条件

MATLAB 2016 and above, Simulink, and Communications System Toolbox .

## Prelab

### 差分PSK

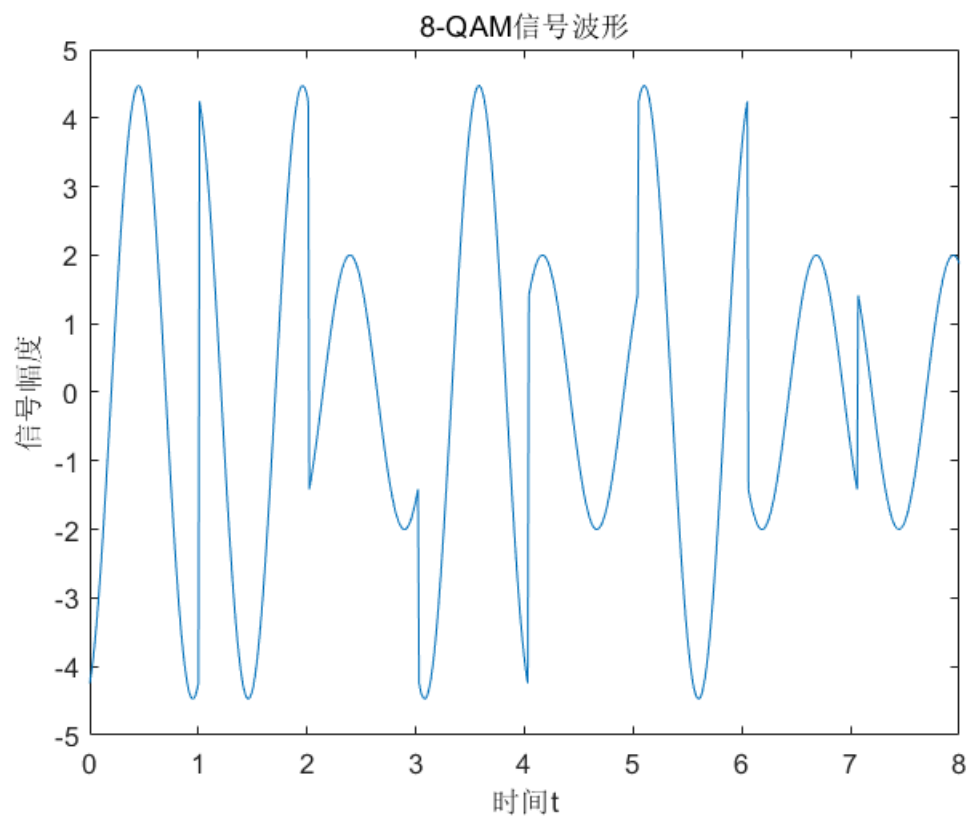
- 1) 假设消息数据序列经过Gray编码后分别是[1 4 3 0 7 5 2 6]，画出它们的8QAM调制信号波形和星座图。假设载波频率为1Hz。
- 2) 用基带等效的方式仿真16-QAM载波调制信号在AWGN信道下的误码率和误比特率，并与理论值相比较。

### Answer:

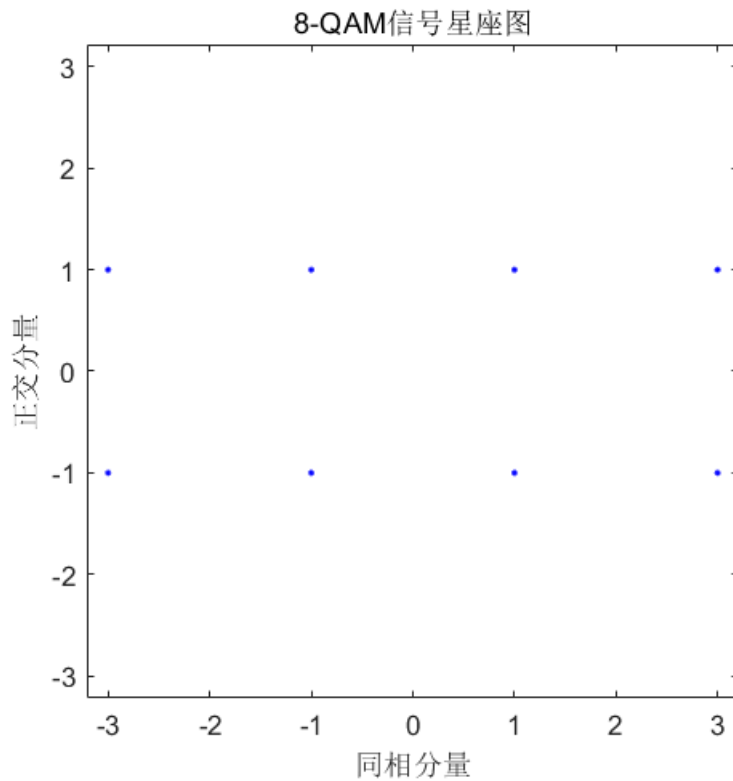
```
% insert your code here
% 第一问
clear all; clc; close all;
msg = [1 4 3 0 7 5 2 6];          % 消息数据序列
M = 8;
ts = 0.01;                         % 采样间隔
Ts = 1;                            % 码元周期
t = 0:ts:Ts;                       % 单个码元时间矢量
x = 0:ts:length(msg);              % 信号传输时间矢量

fc = 1;                            % 载波频率
c = sqrt(2/Ts)*exp(j*2*pi*fc*t);   % 载波波形
msg_qam = qammod(msg, M).';        % 8-QAM调制
tx_qam = real(msg_qam*c);           % 载波调制
tx_qam = reshape(tx_qam.', 1, length(msg)*length(t));

plot(x, tx_qam(1:length(x)));
title('8-QAM信号波形');
xlabel('时间t'); ylabel('信号幅度');
```



```
scatterplot(msg_qam);  
title('8-QAM信号星座图');  
xlabel('同相分量'); ylabel('正交分量');
```



% 第二问

clear all;

nsym= 100000;

M=16;

grcode=[0 1 3 2 4 5 7 6 12 13 15 14 8 9 11 10];

EsN0=0:15;

snr1=10.^(EsN0/10);

msg=randi([0,15],1,nsym);

msg1=grcode(msg+1);

msgmod=qammod(msg1,M);

spow=norm(msgmod).^2/nsym;

i = 5;

sigma=sqrt(spow/(2\*snr1(i)));

rx=msgmod+sigma\*(randn(1,length(msgmod))+1i\*randn(1,length(msgmod))); %星座点图乘以随机长度高斯白

y=qamdemod(rx,M);

for i= 1:length(EsN0)

sigma=sqrt(spow/(2\*snr1(i)));

rx=msgmod+sigma\*(randn(1,length(msgmod))+1i\*randn(1,length(msgmod))); %星座点图乘以随机长度高

y=qamdemod(rx,M);

decmsg=grcode(y+1);

[err1,ber(i)] = biterr(msg,decmsg,log2(M));

[err2,ser(i)] = symerr(msg,decmsg);

end

p4=2\*(1-1/sqrt(M))\*qfunc(sqrt(3\*snr1/(M-1)));

% 假设传输十万个码元

% 格雷映射，十进制表示

% 符号信噪比，单位db

% 将db转为非线性方式

% 随机产生0-15的符号，乘nsymbol得到原始数据

% 格雷映射

% 调用qammod函数，得到调制后的符号

% a+bj取模的平方，即功率；功率除以整个符号得到平

% QAM解调

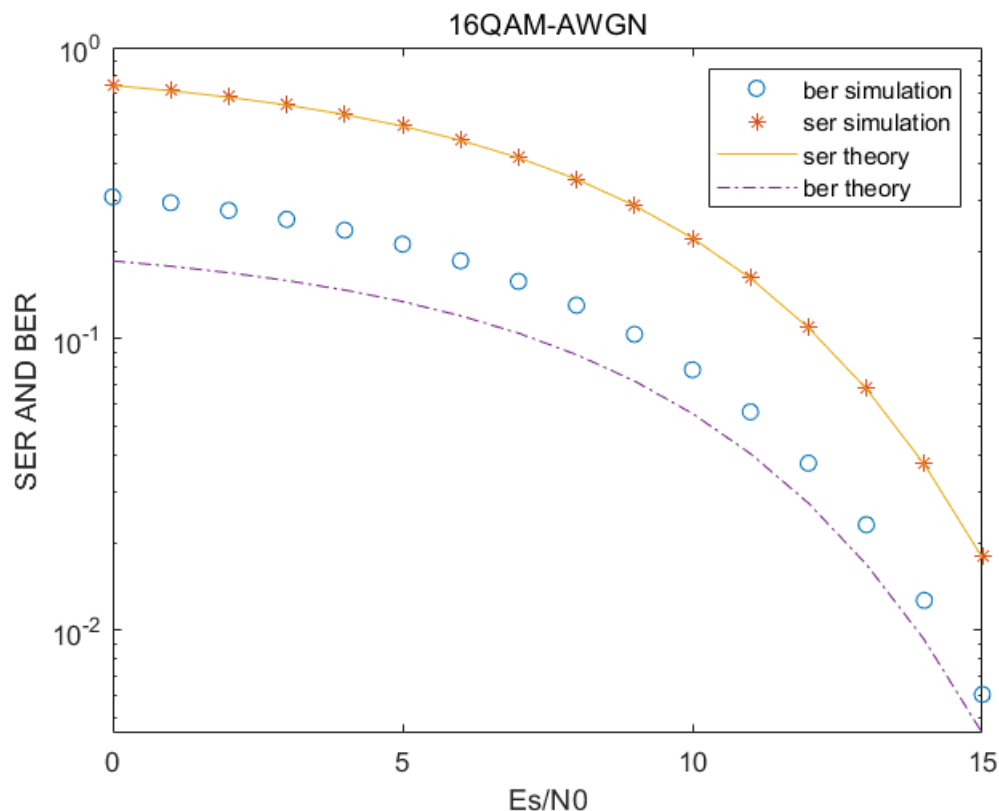
% 格雷逆映射

```

ser1=1-(1-p4).^2;
ber1=1/log2(M)*ser1;
figure()

semilogy(EsN0,ber,'o',EsN0,ser,'*',EsN0,ser1,'-',EsN0,ber1,'-.');
title('16QAM-AWGN')
xlabel('Es/N0');ylabel('SER AND BER');
legend('ber simulation','ser simulation','ser theory','ber theory');

```



#### 仿真结果分析:

1) QAM是同时对载波信号的振幅和相位进行调制的方法。由信号的波形图可以看出，载波信号在不同的码元周期内，其振幅和相位都会发生变化。由8-QAM的星座图可以看出，当 $M > 4$ 时，在信号的平均功率相等的前提下，QAM信号的相邻点欧几里得距离大于MPSK、MASK等多进制键控体制，所以QAM的噪声容限更大，其抗干扰能力更强。而QAM的星座图中各点的编码需尽量满足格雷码的原则（当存在某个星座点，与它相邻的点的个数大于进制数时，该星座图不存在格雷编码），从而降低系统的误比特率。

2) 本次实验使用matlab库函数qammod对基带信号进行正交振幅调制，qammod函数默认使用矩形星座图的方法对信号进行QAM调制。而对于QAM，星座图除了矩形结构外还有星型或其他结构，这些结构在特定的使用场合会优于矩形结构。例如：在多径衰落信道中，信号振幅和相位取值越多，受到的影响越大，因而星形QAM比方形QAM更稳定。但一般情况下，矩形星座的QAM信号的产生与接收更易实现。

3) MQAM信号可由两路载波正交的 $\sqrt{M}$ 进制ASK信号叠加而成，这两路信号分别是同相分量和正交分量。由于这里是基带等效，所以MQAM的IQ分量并没有与载波相乘。但通过基带等效的方式，我们依然可以分析MQAM的星座图、通过AWGN信道的误码率和误比特率等。由此可见，基带等效是一种非常实用的分析调制信号的方法。

## Lab

表 仿真参数设置

调制方式	采样率 Hz	符号速率 Bd	载波频率 Hz	Eb/N0 dB	成型滤波器	滚降系数
BPSK	16K	4K	4K	9	根升余弦	0.2
QPSK	32K	4K	4K	6	根升余弦	0.25
QPSK	24K	4K	6K	6	根升余弦	0.20
8PSK	16K	2K	3K	9	根升余弦	0.5
8PSK	32K	8K	10K	9	根升余弦	0.25
16QAM	95K	19K	25K	9	根升余弦	0.5
16QAM	56K	7K	12K	9	根升余弦	0.35
64QAM	72K	12K	14K	13	根升余弦	0.5

从上述表格中选择1~2类调制方式进行仿真，具体实验要求如下：

### 1. #####

#1#####

#2###1#####

#3###2#####

#4###3#####

### 2. #####

#1## 1 #####

#2###1#####

#3###2#####/#####

#4###3#####

**Answer:**

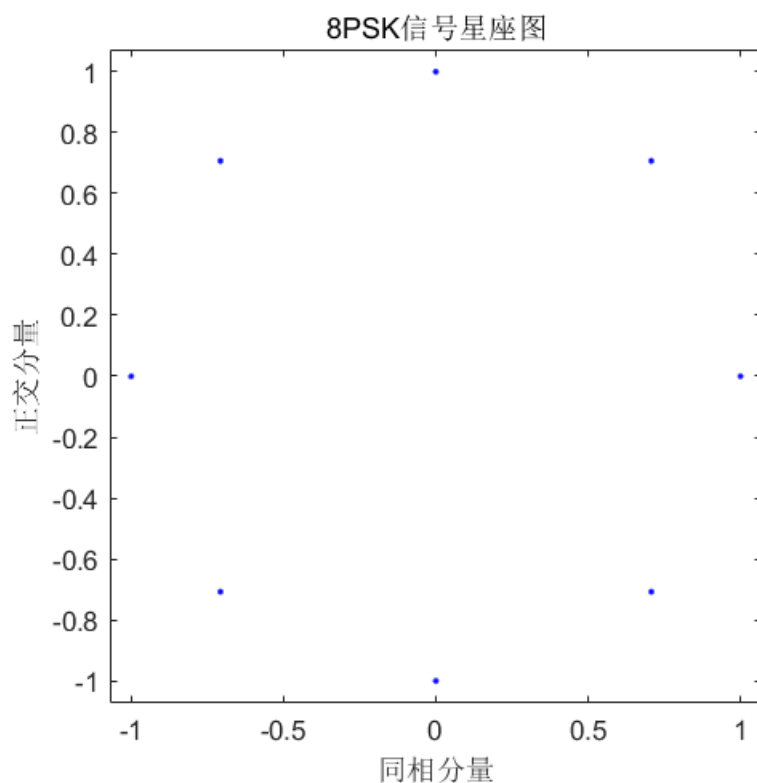
```
% insert your code here
% 本题选用8-PSK方式进行仿真
clear all; clc; close all;

% 1 通信信号的产生
nsym = 1000; % 令符号序列长度为十万
```

```

msg = randi([0,7], 1, nsym);
M = 8;
Fs = 16000;           % 采样率
Rs = 2000;             % 符号速率
ts = 1/Fs;             % 采样间隔
Ts = 1/Rs;             % 码元周期
t = 0:ts:Ts;           % 单个码元时间矢量
x = 0:ts:length(msg);  % 信号传输时间矢量
grcode=[0 1 3 2 4 5 7 6];
msg1 = grcode(msg+1);
% (1) 产生8-QAM符号序列并绘出其星座图
msg_psk = pskmod(msg1, M).';
scatterplot(msg_psk);
title('8PSK信号星座图');
xlabel('同相分量'); ylabel('正交分量');

```

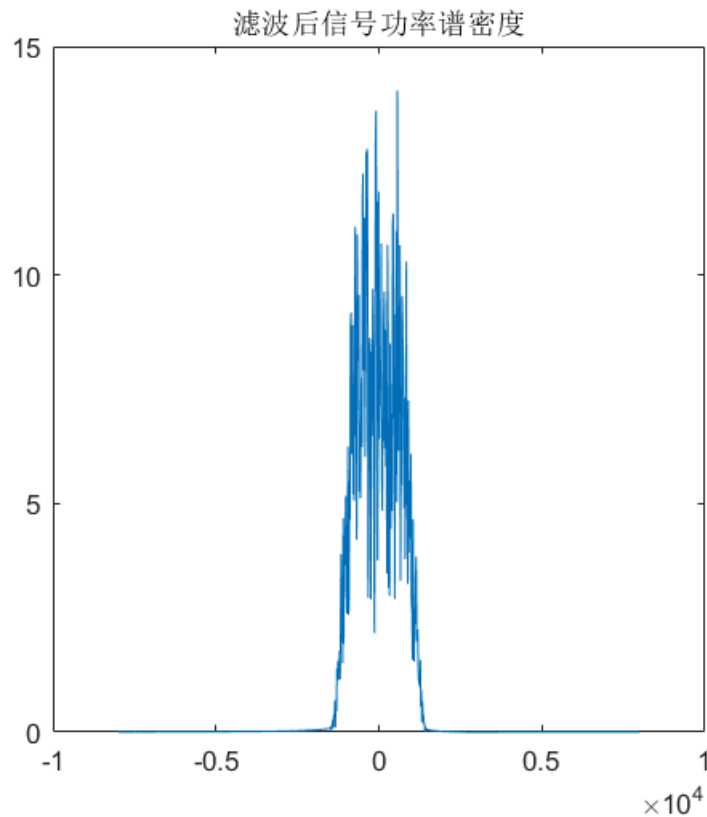


```

% (2) 将基带脉冲信号通过根升余弦滤波器并绘制功率谱
alpha = 0.5;           % 滚降系数为0.5
delay = 4;             % 时延为4个符号间隔
[num, den] = rcosine(Rs, Fs, 'fir/sqrt', alpha, delay);
[msg_psk_fil, ty] = rcosflt(msg_psk, Rs, Fs, 'filter', num, delay);
% 画出滤波后信号功率谱
[Rx0(:), lags0] = xcorr(msg_psk_fil(:), 500, 'coeff');
Sf0(:) = fftshift(abs(fft(Rx0(:))));
df = Fs/length(Sf0);
f = -Fs/2:df:Ff/2-df;
plot(f, Sf0);

```

```
title('滤波后信号功率谱密度');
```



```
figure;
```

```
% (3) 将滤波后的信号调制到指定载波频率上并绘制功率谱
```

```
fc = 3000;
```

```
c = sqrt(2/Ts)*exp(1j*2*pi*fc*ty) % 载波信号
```

```
c = 1×8048 complex
```

```
63.2456 + 0.0000i 24.2030 +58.4313i -44.7214 +44.7214i -58.4313 -24.2030i ...
```

```
c1 = sqrt(2/Ts)*cos(2*pi*fc*ty); % 同相载波
```

```
c2 = -sqrt(2/Ts)*sin(2*pi*fc*ty); % 正交载波
```

```
tx_qam = real(msg_psk_fil' .* c); % 载波调制
```

```
% 画出载波调制后信号功率谱
```

```
[Rx1(:),lags1]=xcorr(tx_qam(:), 500, 'coeff');
```

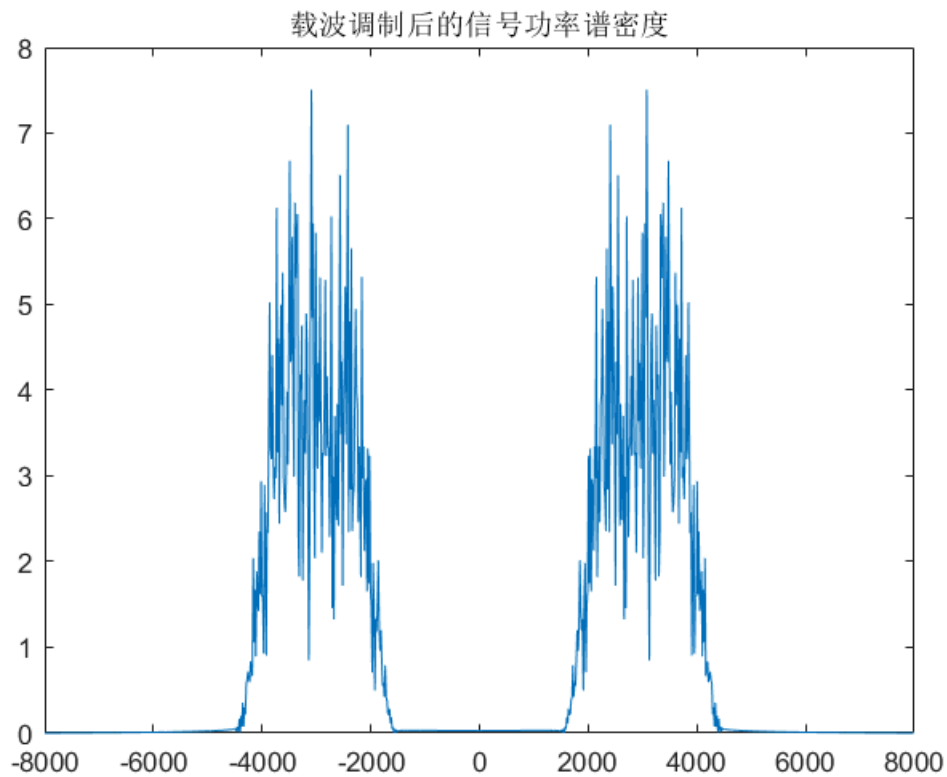
```
Sf1(:)=fftshift(abs(fft(Rx1(:))));
```

```
df = Fs/length(Sf1);
```

```
f = -Fs/2:df:Ff/2-df;
```

```
plot(f, Sf1);
```

```
title('载波调制后的信号功率谱密度');
```



```
figure;
```

```
% (4) 往带通信号叠加指定信噪比的高斯白噪声
```

```
EbN0 = 9; % 比特信噪比
```

```
snr = EbN0 + log10((Rs*log2(M))/Fs);
```

```
msg_y = awgn(tx_qam, EbN0+10*log10(3)-10*log10(4), 'measured');
```

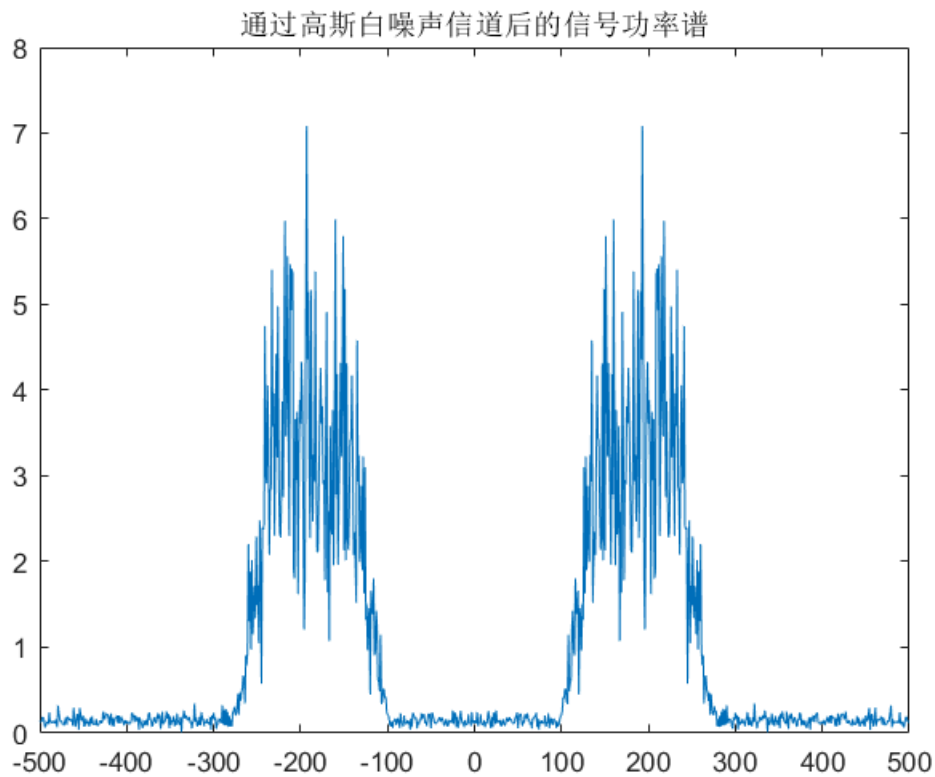
```
[Rx2(:,lags)] = xcorr(msg_y(:), 500, 'coeff');
```

```
Sf2(:) = fftshift(abs(fft(Rx2(:))));
```

```
plot(lags, Sf2);
```

```
title('通过高斯白噪声信道后的信号功率谱');
```

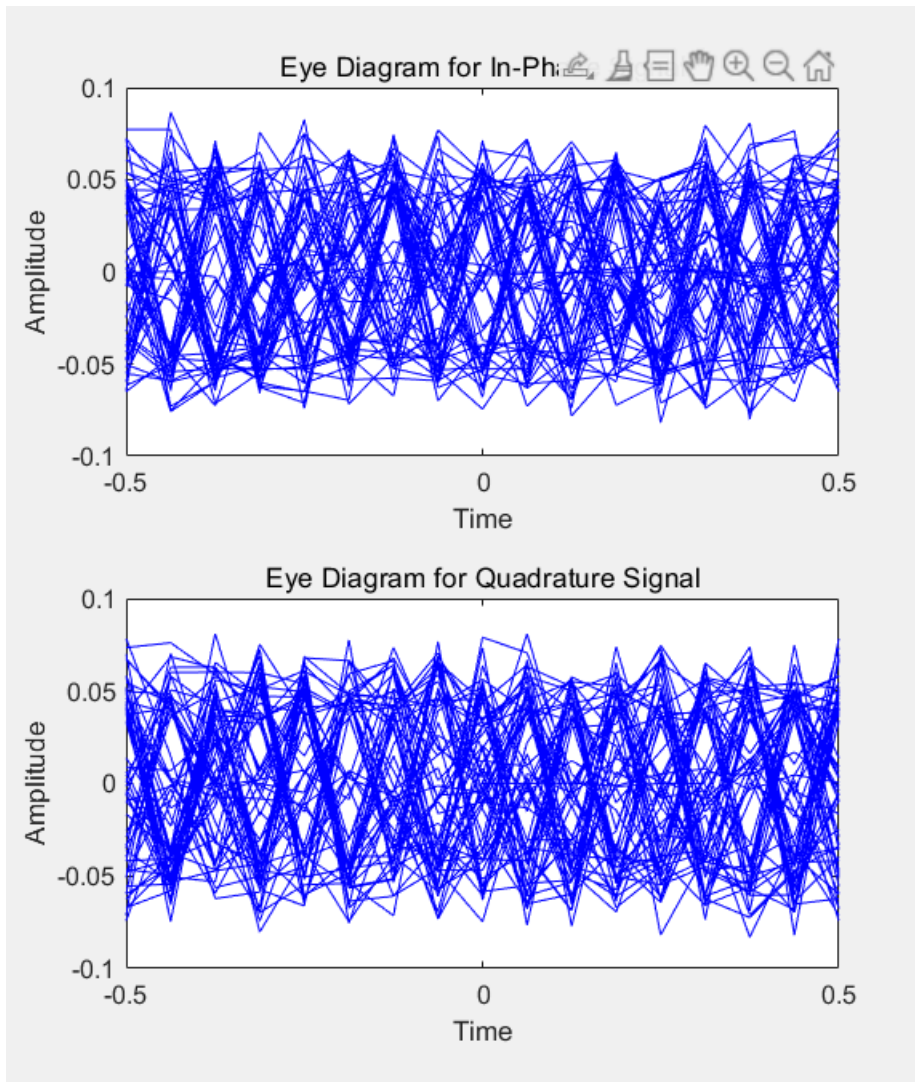




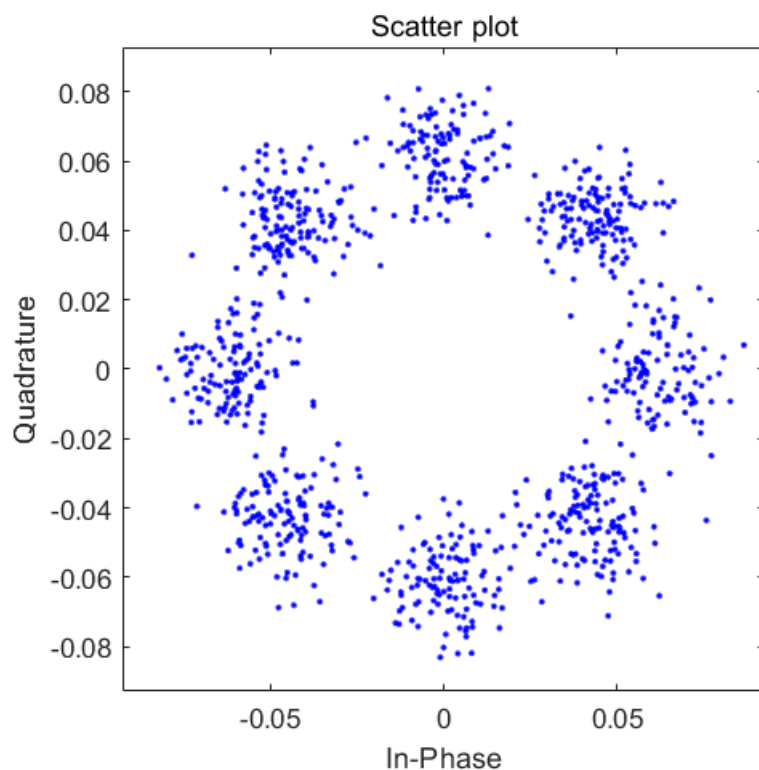
```
% 2 信号的解调
% (1) 对1中信号进行下变频并绘制眼图
rx = msg_y;
r1 = (c1.*rx)/length(c1);
r2 = (c2.*rx)/length(c2);
r = r1 + 1j*r2; % 使用相干解调的方法提取基带低频信号，实现下变频。

yt = rcosflt(r, Rs, Fs, 'fir/sqrt/filter/Fs', num, delay); % 使用根升余弦滤波器作匹配滤波
yt = yt';

% (2) 对信号进行抽样并绘制星座图
yt = downsample(yt,Fs/Rs);
eyediagram(yt, 16);
```



```
yt = yt(2*delay+1:2*delay+nsym);  
scatterplot(yt)
```



```
% (3) 对抽样信号进行判决, 统计误码率和误比特率
y = pskdemod(yt, M);
decmsg = grcode(y+1);
[~, ber] = biterr(msg, decmsg, log2(M)); % 误码率、误比特率的仿真结果
[~, ser] = symerr(msg, decmsg);
snr = 10.^((EbN0+10*log10(3))/10)
```

```
snr = 23.8298
```

```
% (4) 将仿真误码率与理论误码率进行比较
ser1 = 2*qfunc(sqrt(2*snr)*sin(pi/M)); % 误码率、误比特率理论值的计算
ber1 = 1/log2(M) * ser1;
fprintf('系统的误码率仿真值为%f,ser);
```

```
系统的误码率仿真值为0.010000
```

```
fprintf('系统的误比特率仿真值为%f,ber);
```

```
系统的误比特率仿真值为0.004000
```

```
fprintf('系统的误码率理论值为%f,ser1);
```

```
系统的误码率理论值为0.008244
```

```
fprintf('系统的误比特率理论值为%f,ber1);
```

```
系统的误比特率理论值为0.002748
```

### 仿真结果分析:

1) 当8-PSK信号通过指定根升余弦滤波器时, 由于滤波器的采样频率是符号速率的整数倍, 信号序列在与滤波器冲激响应 $h(n)$ 卷积时无形中对信号实现了内插, 信号频域变窄, 时域拓宽, 信号序列实现了升采样。所以当信号进入接收机进行解调之前, 应对信号进行降采样。同时由于滤波器的时延, 信号序列会有多余部分。在这里我对降采样的信号进行截取, 去掉信号序列的前 $2 \cdot \text{delay}$ 个值以及后 $2 \cdot \text{delay}$ 个值(由于信号通过了两次滤波器, 所以会产生两倍的时延)。

2) 眼图是由于示波器的余晖作用将各个码元波形叠加在一起的图像。通过分析信号的眼图, 可知信号受噪声的影响较大。但即便波形比较杂乱, 我们还是能看到“眼睛”的轮廓与幅度, 从而判断出码间串扰的影响较少。同时, 各个“眼睛”分布比较密集, 眼图斜边的斜率大, 说明系统对定时误差相当灵敏。“眼睛”张开最大时, 系统的噪声和ISI最小, 所以此时便是最佳抽样时刻。

3) 系统的误比特率的仿真值和理论值的差距比误比特率的要大。这一方面是因为误比特率的解析解比误码率的要复杂, 另一方面是误比特率与二进制序列的编码方式有关, 不同的编码会得到不同的误比特率。

### 实验总结

通过这次综合实验, 掌握了数字基带/带通传输原理, 回答了关于……的问题……。

答: 通过这次实验, 我掌握了数字带通信号基带表示的物理意义, 掌握了IQ调制表示MQAM、MPSK的原理。通过分析这两者的星座图和误码率, 我了解了这两种调制方式在有效性和可靠性上的优劣, 将来若要采用这两种方式设计通信系统会更加熟练。