西安电子科技大学

人机交互与移动通信



题　　目	16QAM 调制解调仿真报告
学　　院	硕士代培生
专　　业	信号与信息处理
学　　号	19000300032
姓　　名	顾昊

目录

一 研究背景 - 2 -
二 16QAM 调制解调理论 - 2 -
1、16QAM 调制原理 - 2 -
2、16QAM 解调原理 - 3 -
三 实验仿真过程 - 4 -
3.1 信号产生 - 4 -
3.2 调制 - 5 -
3.3 信道噪声 - 7 -
3.4 解调 - 8 -
3.5 误码分析 - 12 -
四 总结 - 13 -

一 研究背景

在现代通信中，提高频谱利用率一直是人们关注的焦点之一。近年来，随着通信业务需求的迅速增长，寻找频谱利用率高的数字调制方式已成为数字通信系统设计、研究的主要目标之一。正交振幅调制 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)就是一种 频谱利用率很高的调制方式，其在中、大容量数字微波通信系统、有线电视网络高速数据传输、卫星通信系统等领域得到了广泛应用。在移动通信中，随着微蜂窝和微微蜂窝的出现，使得信道传输特性发生了很大变化。过去在传统蜂窝系统中不能应用的正交振幅调制也引起人们的重视。QAM 数字调制器作为 DVB 系统的前端设备，接收来自编码器、复用器、DVB 网关、视频服务器等设备的 TS 流，进行 RS 编码、卷积编码和 QAM 数字调制，输出的射频信号可以直接在有线电视网上传送，同时也可根据需要选择中频输出。它以其灵活的配置和优越的性能指标，广泛的应用于数字有线电视传输领域和数字 MMDS 系统。

作为国际.上移动通信技术专家十分重视的一种信号调制方式之一，正交振幅调制(QAM)在移动通信中频谱利用率一直是人们关注的焦点之一，随着微蜂窝(Microcell)和微微蜂窝(Picocell) 系统的出现，使得信道的传输特性发生了很大变化，接收机和发.射机之间通常具有很强的支达分量，以往在蜂窝系统中不能应用的但频谱利用率很高的 WAM 已引起人们的重视，许多学者已对 16QAM 及其它变型的 QAM 在 PCN 中的应用进行了广泛深入地研究。

二 16QAM 调制解调理论

1、16QAM 调制原理

M-QAM (M-ary Quadrature Amplitude Modulation and Demodulation)是一种高效的数字调制系统，同时运用载波相位和幅度携载信息，有很高的频谱利用率；在中、大容量数字微波通信系统、有线电视网络高数据传输、宽带接入等领域被广泛应用。

正交幅度调制利用两个独立的基带波形对相互正交的载波进行 ASK 调制，同时运用幅度和相位携带信息，能够充分利用了整个信号平面。正交幅度调制已调信号表示为：

$$S_{MQAM}(t)=\sum_{n}A_n g(t-nT_s)\cos(\omega_c t+\phi_n)$$

式中A_n是携带信息的离散振幅值，进制数 M 不同，A_n的取值范围也不同；$g(t-nT_s)$是成形后的基带波形，要满足没有码间干扰的条件。上述 MQAM 的表达式可以写成正交表达式：

$$S_{MQAM}(t)=[\sum_{n}A_n g(t-nT_s)\cos(\phi_n)]\cos(\omega_c t)-[\sum_{n}A_n g(t-nT_s)\sin(\phi_n)]\sin(\omega_c t)$$

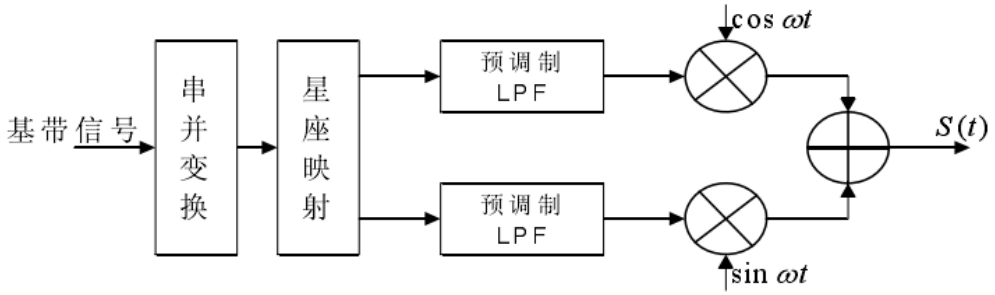
从式中可以看出，MQAM 已调制信号由两路相互正交的载波叠加而成，每路载波都被离散振幅调制，将两路信号振幅分开写如下：

$$\begin{cases}X_n=A_n\cos(\phi_n)=c_n A\\ Y_n=A_n\sin(\phi_n)=d_n A\end{cases}$$

则 MQAM 已调信号的正交表示式可以写成：

$$S_{MQAM}(t) = [\sum_n A_n g(t - nT_s)\cos(\phi_n)]\cos(\omega_c t) - [\sum_n A_n g(t - nT_s)\sin(\phi_n)]\sin(\omega_c t) = X(t)\cos(\omega_c t) - Y(t)sin(\omega_c t)$$

根据式子可以得到 MQAM 信号的调制原理框图，如图所示。信号经过串并变换后进行电平变换，这里也可以称为星座影射，为抑制信号的频谱扩展，避免由于信道带宽有限而造成的码间干扰，基带信号要经过预调制低通滤波器，滤波后的信号经过正交载波调制，得到 I、Q 两路信号，两路信号的加和即为已调制信号。



QAM 信号调制原理框图

信号矢量端点分布图称为星座图，相同进制的 QAM 信号星座点在信号空间的分布也可以不同，图为 16-QAM 方型和星型 16-QAM 星座图，为了减小误码率，应该尽量选择最小欧式距离最大化的星座图。

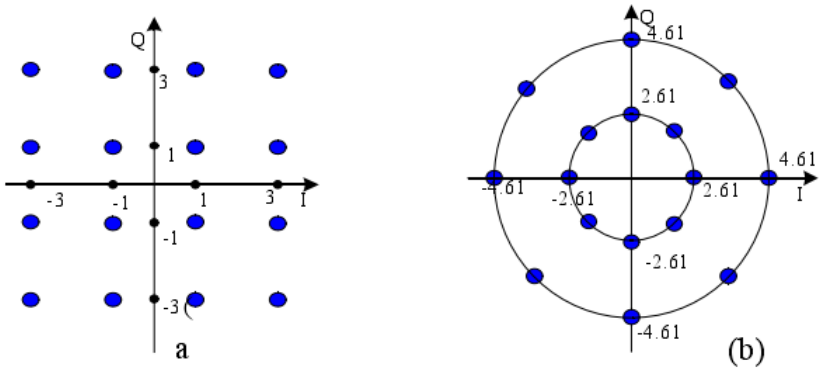


图 3.2　16-QAM星座图（a）方型 16QAM信号星座　（b）星型 16QAM信号星座

2、16QAM 解调原理

QAM 信号的解调可以采用正交相干解调方法，根据星座图选取的不同，算法和实现会有差别；解调器中的主要处理步骤：输入信号与本地恢复的两个正交载波相乘后，经过低通滤波，抽

取，解码（针对不同的调制方案这里可以相应调整，相当于一个反影射过程），最后经过并串变换就得到输出数据。

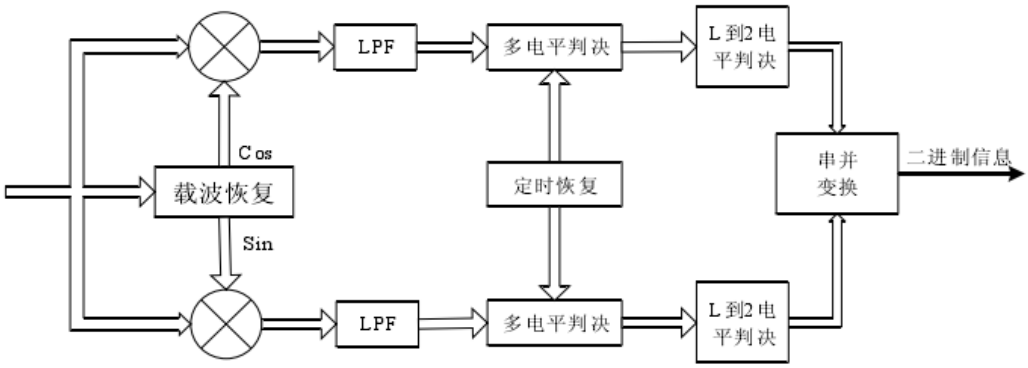
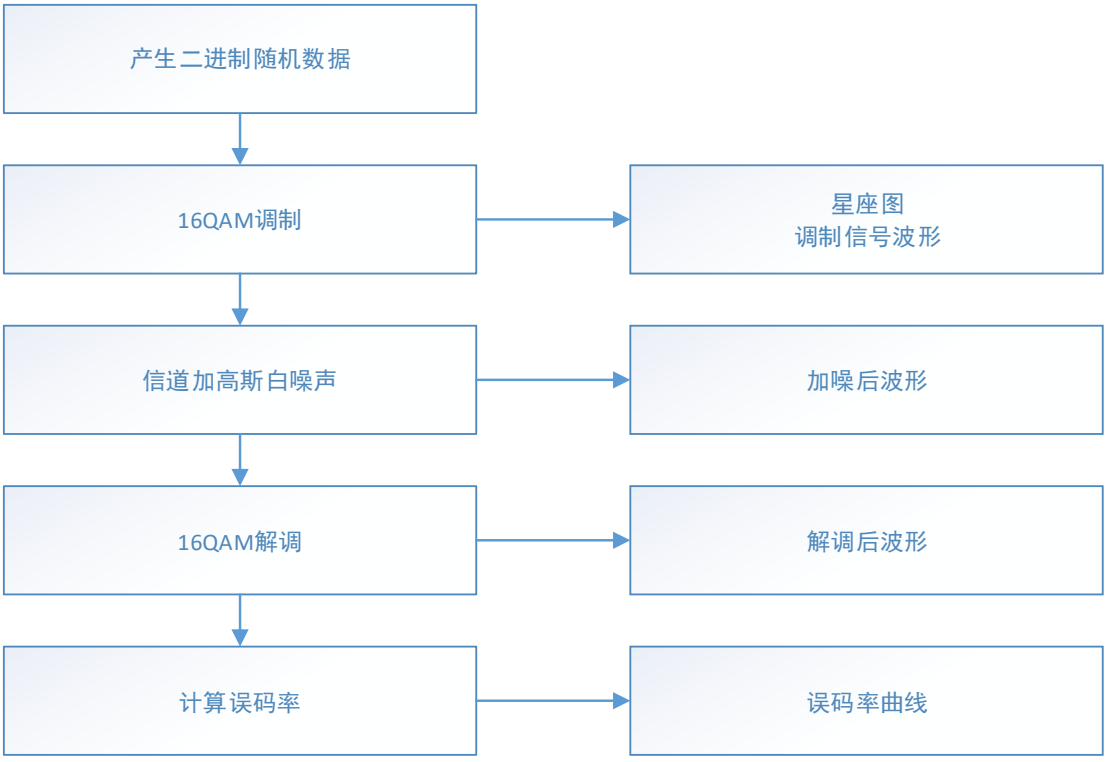


图 3.6　16QAM信号相干解调原理框图

三 实验仿真过程

本仿真采用 matlab 进行。程序流程图如下：



3.1 信号产生

实验通过 randn 函数产生随机序列，进行判定转换为二进制信号。

```
%信源产生
message=randn(1,MES_LEN);
```

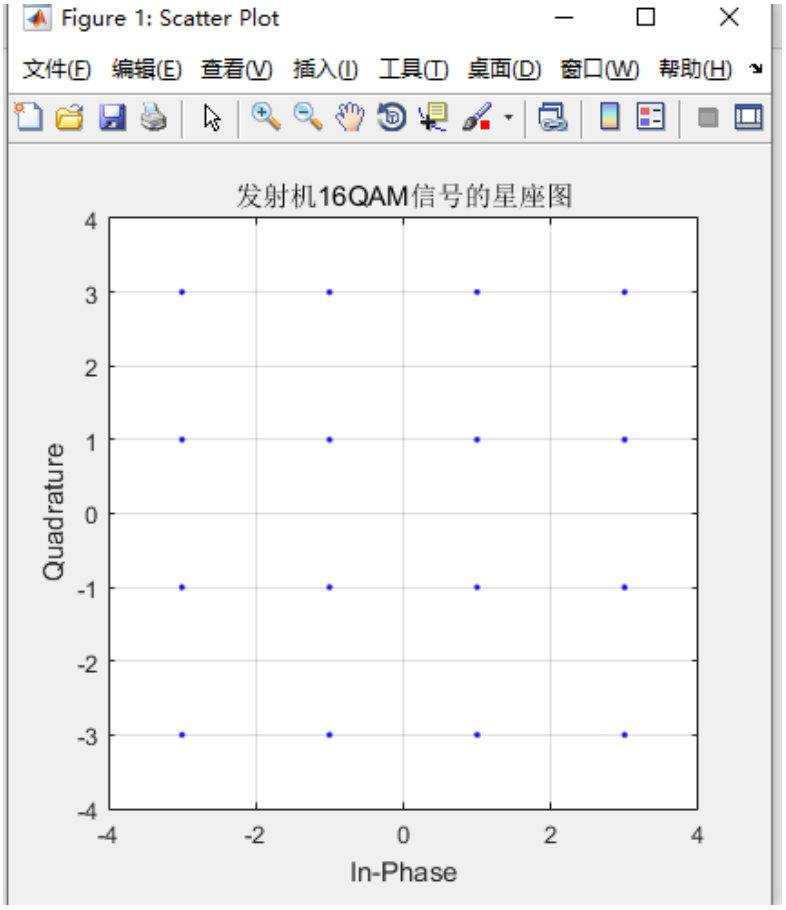
```
message(message<=0)=0;
message(message>0)=1;
```

3.2 调制

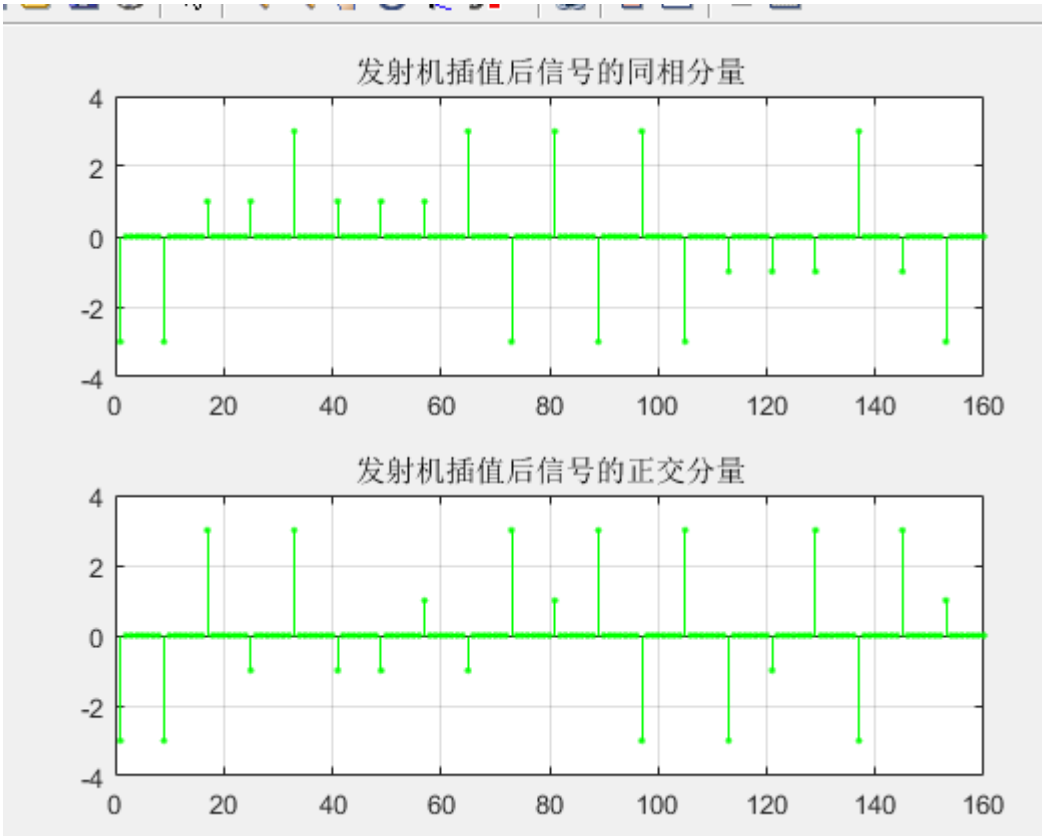
根据上面的星座图，单独观察 I 分量， ”XXXX”中的第 1、3 位决定 PAM 信号的幅度值，同样的，单独观察 Q 分量， ”XXXX”中的第 2、4 位决定 PAM 信号的幅度值。因此，由 bit 到符号的对应可以在 bit 流中四位一取，1、3 位进行 M=4 的 PAM 调制，2、4 位进行 M=4 的 PAM 调制，然后分别作为基带信号的 I、 Q 路按照通用信号调制的流程生成基带发射信号。

```
%基带调制
signal_base_band1I=message(1:4:end-3);
signal_base_band3I=message(3:4:end-1);
signal_base_band2Q=message(2:4:end-2);
signal_base_band4Q=message(4:4:end);
signal_base_bandI=zeros(1,SYM_LEN);
signal_base_bandQ=zeros(1,SYM_LEN);
for i=1:1:SYM_LEN
    tempI=[signal_base_band1I(i),signal_base_band3I(i)];
    if     tempI==[1,0]
           signal_base_bandI(i)=-3;
    elseif tempI==[1,1]
           signal_base_bandI(i)=-1;
    elseif tempI==[0,1]
           signal_base_bandI(i)=1;
    else
           signal_base_bandI(i)=3;
    end;
    tempQ=[signal_base_band2Q(i),signal_base_band4Q(i)];
    if     tempQ==[1,0]
           signal_base_bandQ(i)=-3;
    elseif tempQ==[1,1]
           signal_base_bandQ(i)=-1;
    elseif tempQ==[0,1]
           signal_base_bandQ(i)=1;
    else
           signal_base_bandQ(i)=3;
    end;
end;
```

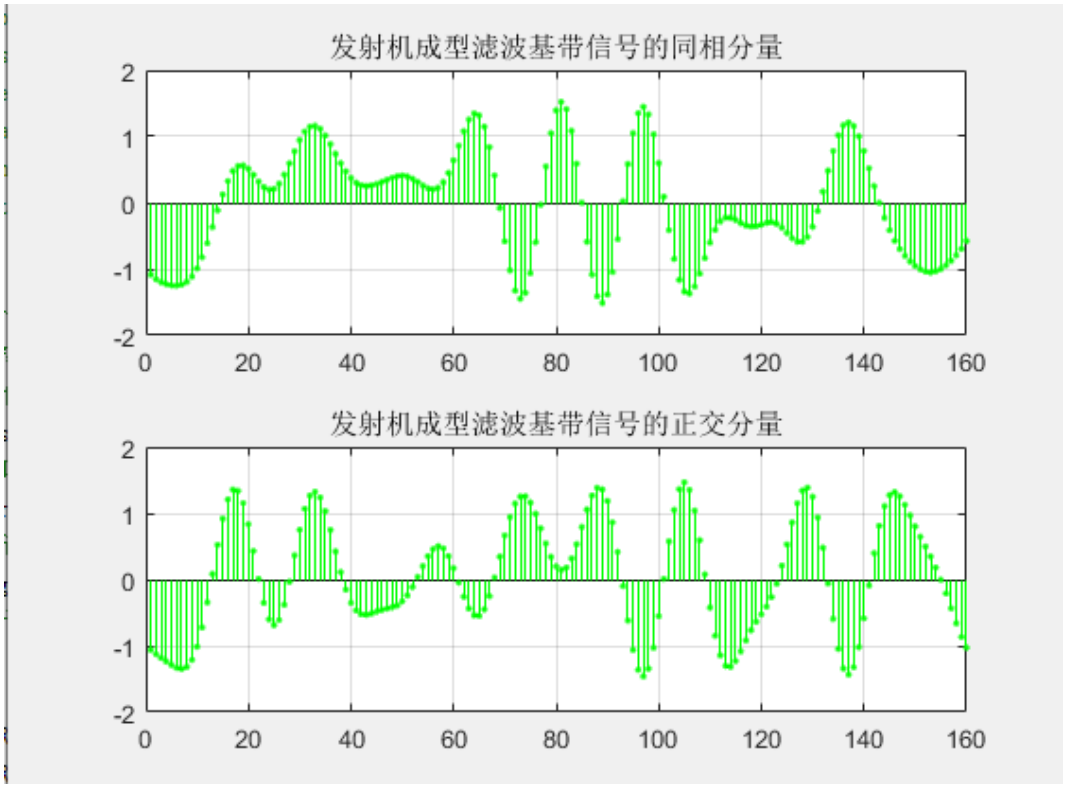
星座图：


Figure 1: Scatter Plot
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)
发射机16QAM信号的星座图
Quadrature
In-Phase
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-4
-2
0
2
4

插值：


发射机插值后信号的同相分量
发射机插值后信号的正交分量
4
2
0
-2
-4
0
20
40
60
80
100
120
140
160

滤波：



3.3 信道噪声

利用 Matlab 自带函数 awgn()在信道中加入高斯高噪声。

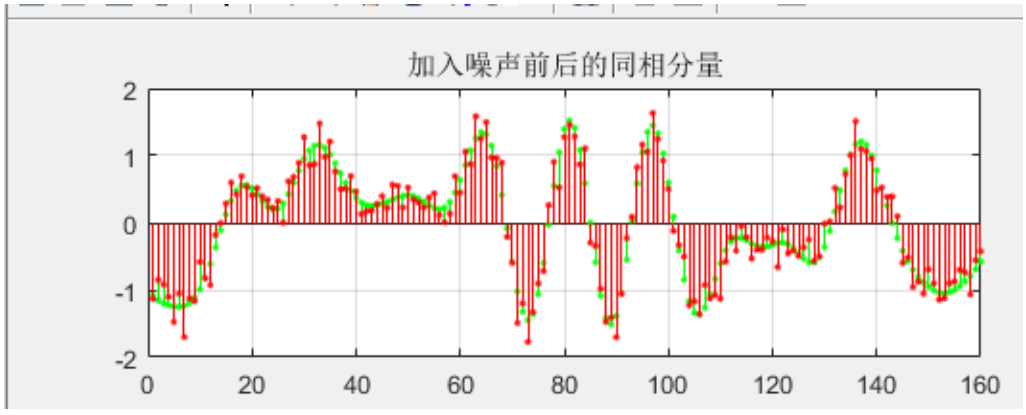
AWGN：在某一信号中加入高斯白噪声

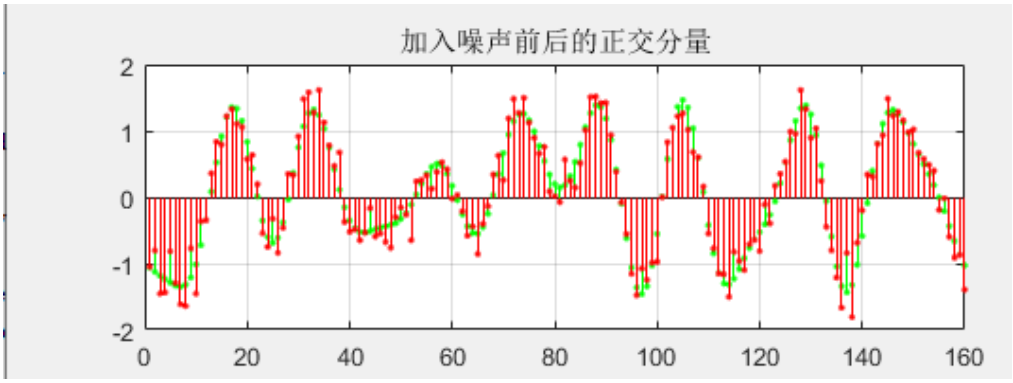
y = awgn(x,SNR) 在信号 x 中加入高斯白噪声。信噪比 SNR 以 dB 为单位。x 的强度假定为 0dBW。如果 x 是复数，就加入复噪声。

y = awgn(x,SNR,SIGPOWER) 如果 SIGPOWER 是数值，则其代表以 dBW 为单位的信号强度；如果 SIGPOWER 为'measured'，则函数将在加入噪声之前测定信号强度。

y = awgn(x,SNR,SIGPOWER,STATE) 重置 RANDN 的状态。

y = awgn(…,POWERTYPE) 指定 SNR 和 SIGPOWER 的单位。POWERTYPE 可以是'dB'或'linear'。如果 POWERTYPE 是'dB',那么 SNR 以 dB 为单 位,而 SIGPOWER 以 dBW 为单位。如果 POWERTYPE 是'linear'，那么 SNR 作为比值来度量，而 SIGPOWER 以瓦特为单位。





3.4 解调

发射机前端的低通滤波器实现了成型和频带限制的作用，一般用升余弦滤波器实现。为了在接收端实现最大比合并，得到最大的信噪比，在接收端使用匹配滤波器。故将一个升余弦滤波器分拆为两个平方根升余弦滤波器，两个平方根升余弦滤波器的卷积可以实现无码间干扰。

利用 Matlab 自带的 rcosdesign ()函数可实现滤波：

b = rcosdesign(beta,span,sps,shape)

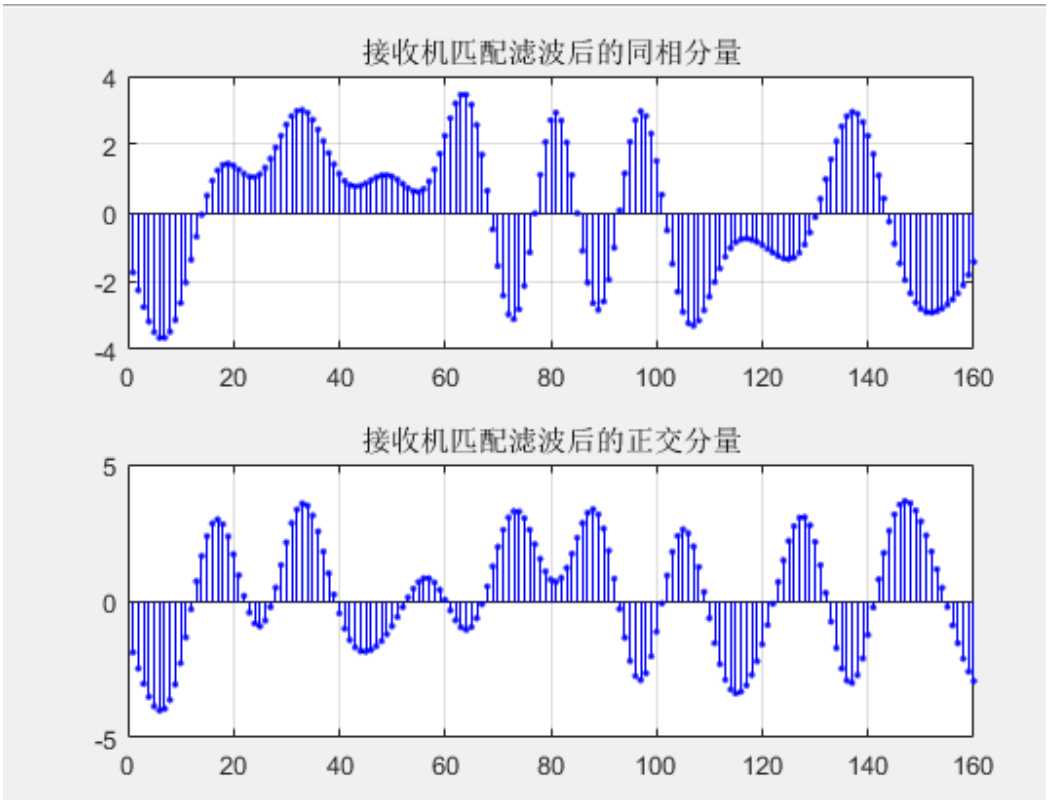
beta: 滚降系数，取值 0~1 之间，决定频宽和陡峭程度。取值一般大于 0.2。

span: 表示截断的符号范围。

sps: 单个符号范围的采样个数。

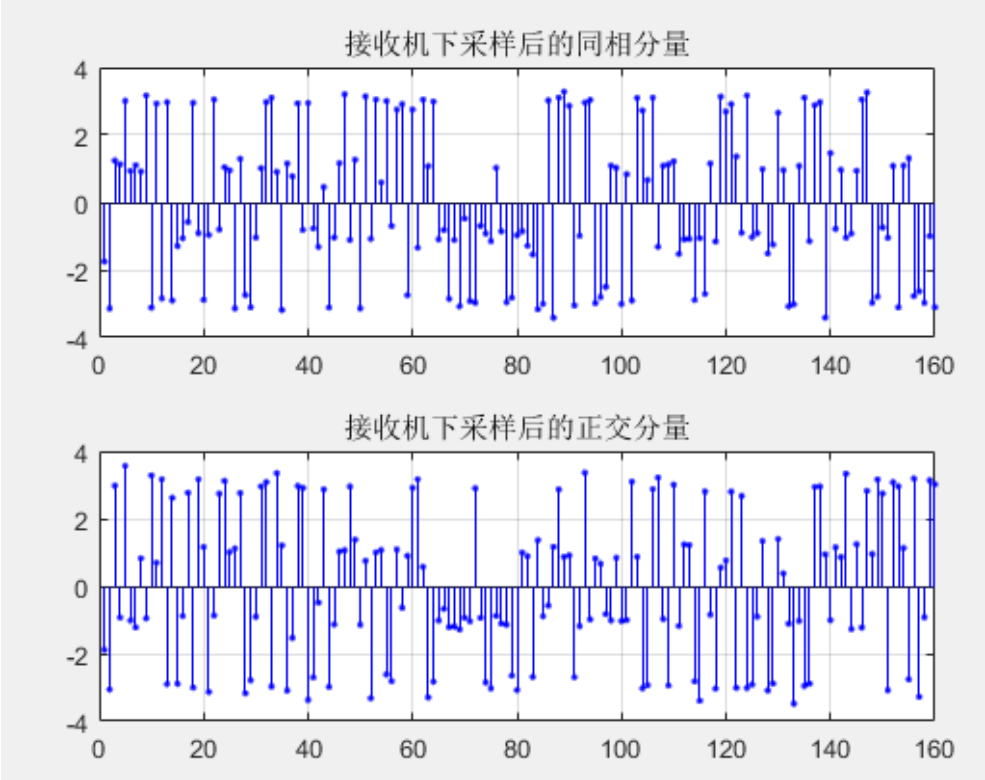
shape：可选参数。可不加，可加上'normal',可加上'sqrt'。

当选择'sqrt'时，返回一个平方根升余弦滤波器。

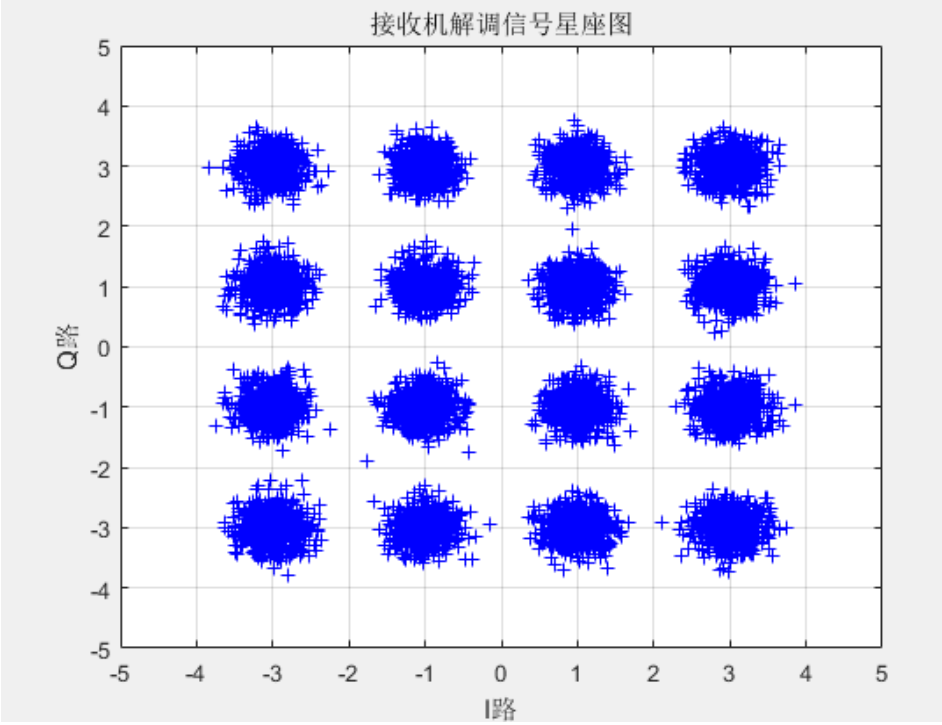


下采样：

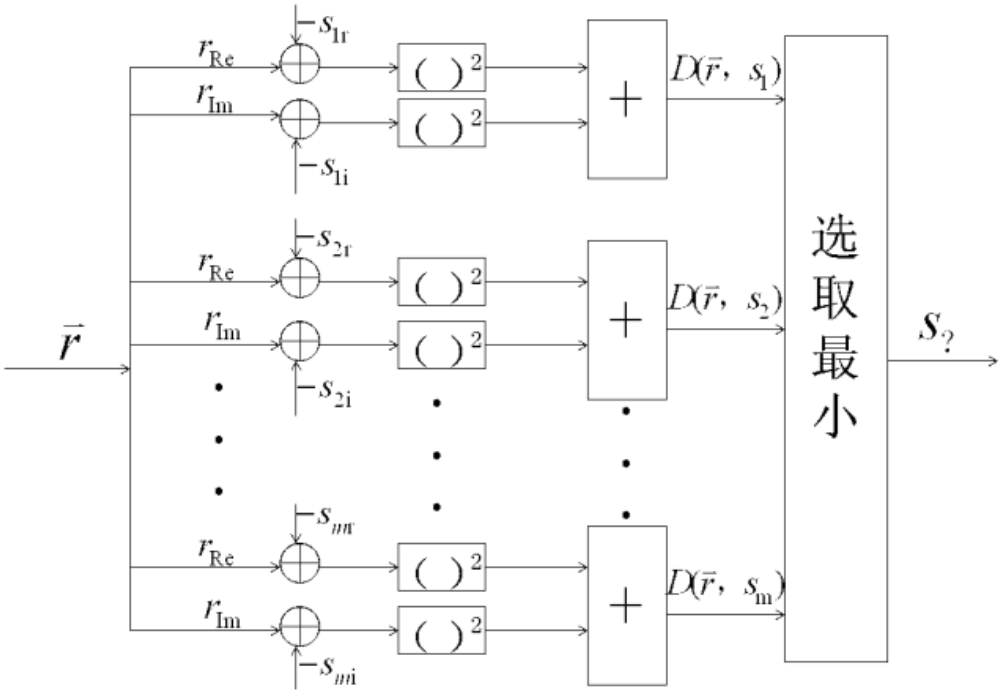
滤波之后的信号下采样是为了信号的判决，根据匹配滤波理论，下采样时刻需要在信号功率最大处进行，仿真中由于确知接收信号的相位，因此保证这点不难，只需要根据上面滤波器模块中推导的信号延时来计算采样时刻即可。



星座图:



符号判决:




```
%符号判决
mysignal_base_bandI=zeros(1,SYM_LEN);
mysignal_base_bandQ=zeros(1,SYM_LEN);
for i=1:1:SYM_LEN
    if signal_after_downsampleI(i)>=2
        mysignal_base_bandI(i)=3;
    elseif signal_after_downsampleI(i)>=0
        mysignal_base_bandI(i)=1;
    elseif signal_after_downsampleI(i)>=-2
        mysignal_base_bandI(i)=-1;
    else
        mysignal_base_bandI(i)=-3;
    end;
    if signal_after_downsampleQ(i)>=2
        mysignal_base_bandQ(i)=3;
    elseif signal_after_downsampleQ(i)>=0
        mysignal_base_bandQ(i)=1;
    elseif signal_after_downsampleQ(i)>=-2
        mysignal_base_bandQ(i)=-1;
    else
        mysignal_base_bandQ(i)=-3;
    end;
end;
```

```
%符号到比特变换
mymessage=zeros(1,MES_LEN);
for i=1:1:SYM_LEN
    tempS=[mysignal_base_bandI(i),mysignal_base_bandQ(i)];
    tempB=zeros(1,4);
    if      tempS==          [-3,-3]
            tempB=[1,1,0,0];
    elseif tempS==           [-3,-1]
            tempB=[1,1,0,1];
    elseif tempS==           [-3, 1]
            tempB=[1,0,0,1];
    elseif tempS==           [-3, 3]
            tempB=[1,0,0,0];
    elseif tempS==           [-1,-3]
            tempB=[1,1,1,0];
    elseif tempS==           [-1,-1]
            tempB=[1,1,1,1];
    elseif tempS==           [-1, 1]
            tempB=[1,0,1,1];
    elseif tempS==           [-1, 3]
            tempB=[1,0,1,0];
    elseif tempS==           [ 1,-3]
            tempB=[0,1,1,0];
    elseif tempS==           [ 1,-1]
            tempB=[0,1,1,1];
    elseif tempS==           [ 1, 1]
            tempB=[0,0,1,1];
    elseif tempS==           [ 1, 3]
            tempB=[0,0,1,0];
    elseif tempS==           [ 3,-3]
            tempB=[0,1,0,0];
    elseif tempS==           [ 3,-1]
            tempB=[0,1,0,1];
    elseif tempS==           [ 3, 1]
            tempB=[0,0,0,1];
    elseif tempS==           [ 3, 3]
            tempB=[0,0,0,0];
    else
            null;
    end;
    mymessage((i-1)*4+1:i*4)=tempB;
end;
```

3.5 误码分析

QAM 信号的误符号率可有 PAM 信号得到，一个 M 进制的 QAM 信号可以表示成两个进制的 PAM 信号，正确接收的条件是要求两个 PAM 信号都正确接收：

$$P_c = (1 - P_{\sqrt{M}})^2$$

其中

$$P_{\sqrt{M}} = 2(1 - 1/\sqrt{M})Q(\sqrt{\frac{3}{M-1}\frac{\varepsilon_{av}}{N_0}})$$

最终

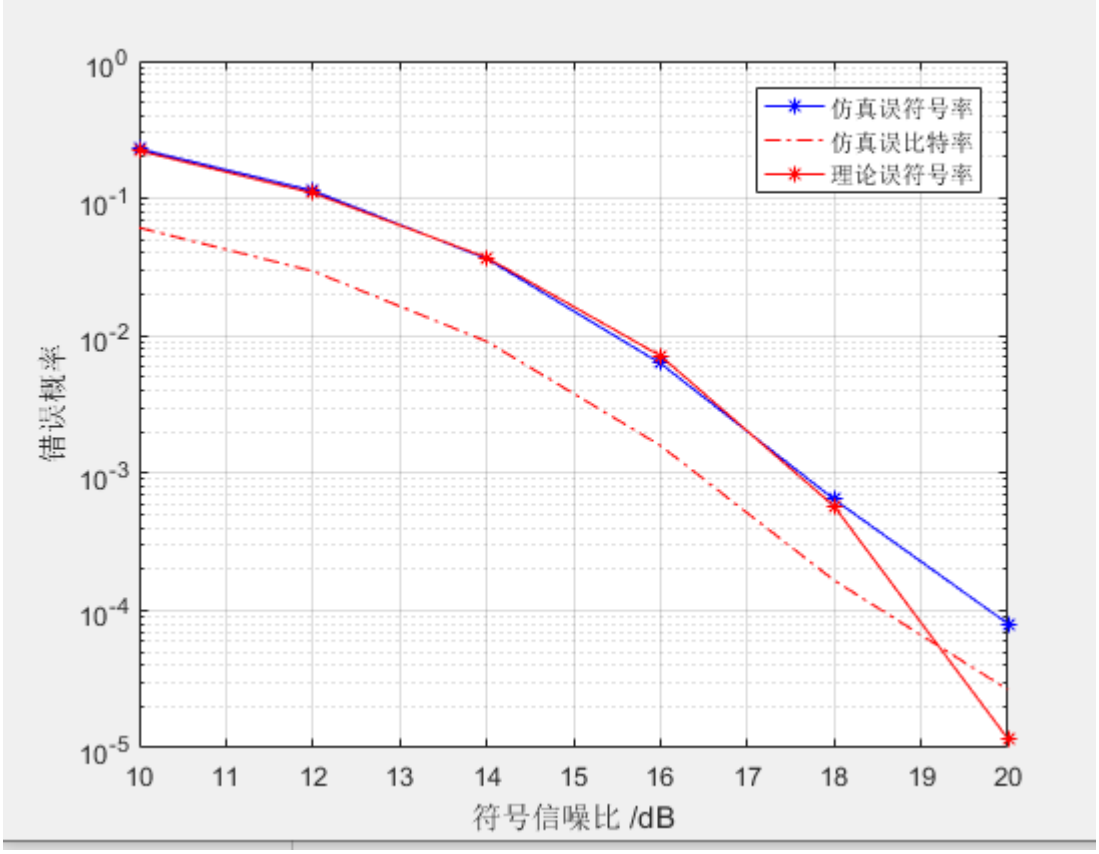
$$P_M = 1 - P_c$$

上面推导的都是在符号信噪比已知的情况下得到的误符号率的关系，而对于 M=2k 元的 QAM 调制来说， 符号信噪比与比特信噪比的关系等效的定义为：

$$SNR_{sys} = k \times SNR_{bit}$$

由于符号信噪比和比特信噪比的确定对应关系，本次仿真中提到的信噪比如无特殊说明均为符号信噪比。误码率绘制代码如下：

```
MyErrBitRate = SumErrBit./SumBit        %仿真得到的误比特率
MyErrSymRate = SumErrSym./SumSym        %仿真得到的误符号率
TherSer=SER_16QAM(SNR);     %理论误符号率
```



由图可以看出， 仿真误符号率与理论误符号率在低信噪比的情况下吻合较好，在高信噪比情况下出现偏差，这是由仿真点数有限所影响的，仿真中发先点数越多，在高信噪比情况下越吻合。

另外，仿真中发现误比特率大约是误比特率的 1/4，这是因为加的是高斯白噪声，因此符号错误几乎全部出现在相邻符号之间，而星座图采用格雷编码，相邻符号之间只有 1bit 不同，因此误比特率理论上为误符号率的大约 1/4 大小。

四 总结

仿真实验做完，我的收获还是很多的。通过看网上的代码学习、仿写，熟悉了一个通信系统的整体运作流程，也发现了通信系统和以前学过的雷达信号处理的过程大体是相同的，两个区别主要是对调制解调过程中某些环节的侧重点不同。虽然 16QAM 相对简单，但是写成 matlab 代码还是比较辛苦的。在作业发布的最早两周，我本来想通过 C++实现，并且写成一个带 UI 的可执行程序，因为对 C 在通信系统中的编程较为生疏，找到的资料又比较少，后才改变实现方式。写代码的过程中也感受到 matlab 功能强大，相比较 C++/C,在数学计算处理方面有更多的库函数，以及更高效的计算速度。

通过这门课的学习，受益匪浅。虽不像其他专业课那样学习一些具体的专业技巧或者知识，但开拓了视野，对很多东西都有了一个了解，也发现了各个学科专业的共通之处。但说一个智能医疗，就涉及了我们所学过的很多门课程，这让我明白了，知识掌握的多点肯定是有好处的，在实际工程中也需要更多全面的人才。