

信号与系统大作业 1 实验报告

1500012956 杨庆龙

【实验内容】

1. 生成随机数据向量

使用 rand()函数生成长度为 N 的 0-1 的随机向量，乘以 255，取整，模 2 取余后即可得到长度为 N 的，01 出现概率相同的测试向量。该函数被命名为“get0and1”。

2. 调制

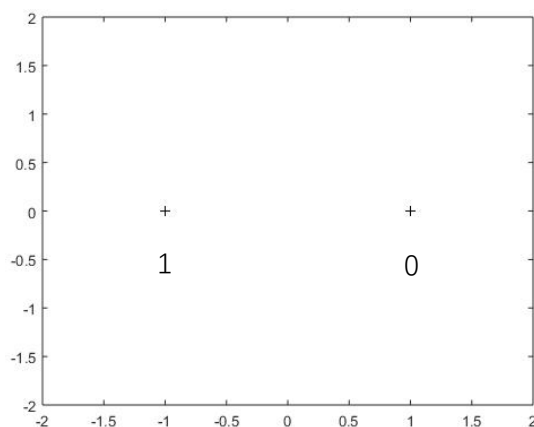
(1) BPSK 调制

设输入的数据为 D_n ，取值为 0 或 1。

我们可以通过函数

$$f(t) = \cos(2\pi ft + D_n \pi), n = 1, 2, 3 \dots$$

将数据调制到余弦信号的相位部分。该调制方法在此处的星座图如图



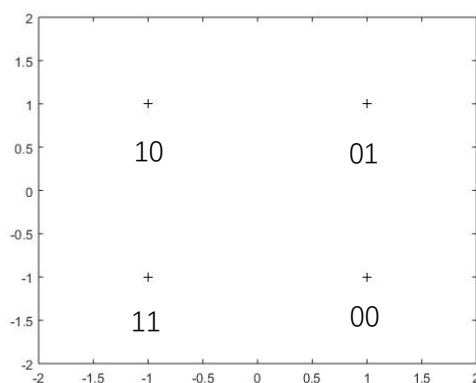
(2) QPSK 调制

设输入的数据为 D_n ，取值为 0 或 1。通过函数 $C_n = 2 \cdot D_{2n} + D_{2n-1}$ ，将长度为 N 取值为 0 或 1 的数据向量 D，转变为长度为 N/2，取值为 0, 1, 2, 3 的向量 C。即将串行信号转为并行信号。

我们通过函数

$$f(t) = \cos\left(2\pi ft + \frac{2C_n - 1}{4}\pi\right), n = 1, 2, 3 \dots$$

将向量 C 调制到余弦信号的相位部分，星座图如图

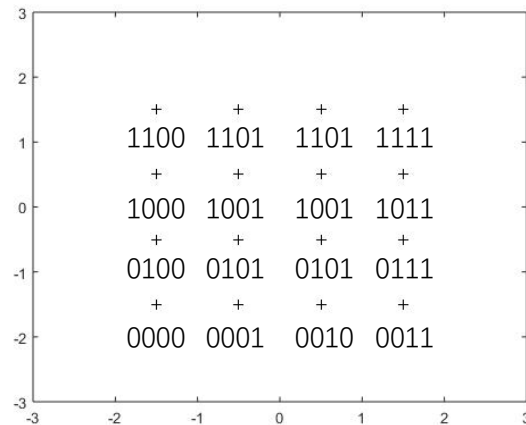


(3)16QAM 调制

设输入信号为 D_n ，取值为 0 或 1，长度为 N。通过函数 $C_{n1}=2*D_{4n-3}+D_{4n-2}-1.5$ 计算出 Cos 分量的幅度值，用 $C_{n2}=2*D_{4n-1}+D_{4n}-1.5$ 计算出 Sin 分量的幅度值。再通过函数

$$f(t) = C_{n1} * \cos(2\pi ft) + C_{n2} \sin(2\pi ft), n = 1, 2, 3 \dots$$

将信号调制进载波信号的两个正交分量，从而实现互不干扰地传输。该调制方法的星座图如图



3.8 倍过采样

使用 `upSample(Data,Xmod)`函数对已经调制过的信号进行 8 倍过采样，其中 Data 为调制后的信号，Xmod 为过采样率，此处取 8。

4.匹配滤波

使用 `rcosfir(0.5, [-5 5], xMod, 1, 'sqrt')`函数产生升余弦匹配滤波器。再将该滤波器与过采样后的数据进行卷积，即可得到匹配滤波后的结果。

5.加噪

使用 `awgn(Data,snr,'measured')`函数对滤波信号加噪，模拟传输过程中的噪声。Data 为滤波后的信号，snr 为信噪比。

6.匹配匹配滤波

使用 4 中方法构建的匹配滤波器，再对加噪后的数据进行匹配滤波，提取出我们所需要的部分。

7.8 倍下采样

使用 `downsample(Data,xMod)`函数对匹配滤波后的数据进行下采样。

8.解调

以下解调，均基于三角函数的正交性，即

$$\begin{cases} \int_0^T \cos x^2 dx = \frac{T}{2} \\ \int_0^T \sin x^2 dx = \frac{T}{2} \\ \int_0^T \sin x \cos x dx = 0 \end{cases}$$

解调过程分为以下三步

(1) 下采样信号与同频率的正弦信号和余弦信号进行时域乘积。

(2) 对乘积结果进行积分，此处为求和。

(3) 归一化，因为 BPSK 和 QPSK 均只用判断符号就行，所以只在 16QAM 中进行归一化处理。

9.结果判决

对于 BPSK 和 QPSK 只需要判断积分结果的符号，即可得知传输信号在正弦和余弦方向上的分量方向，再经由逻辑映射表，即可得到结果。对于 16QAM，因为还要考虑分量的大小，所以使用 round 函数，对结果依照欧几里得距离取整。

10.误码率计算

由于 BPSK 解调得到就已经是原数据，所以直接按照误码率计算公式

$$P = \frac{N_e}{N}$$

计算得到误码率。其中 N_e 为错误的数据量， N 为总的的数据量。

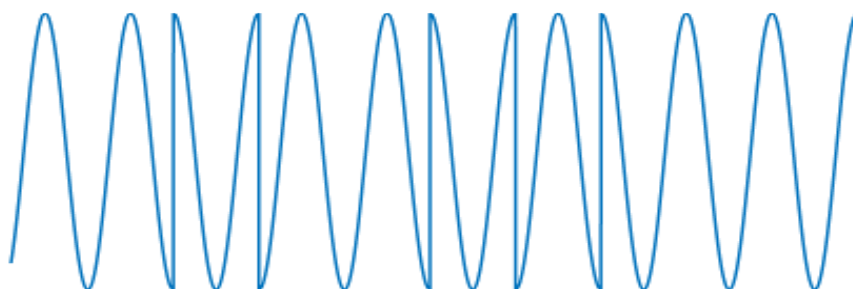
但 QPSK 和 16QAM 还需要通过并行转串行，得到 01 序列，才能与原始数据进行比较得到误码率。

【实验数据】

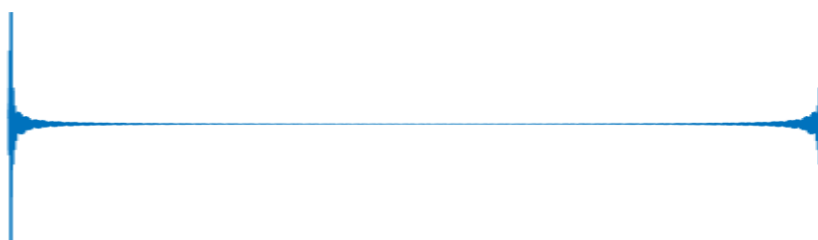
1.BPSK

小测试用的数据向量为 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0

(1) 调制波形及其频谱图

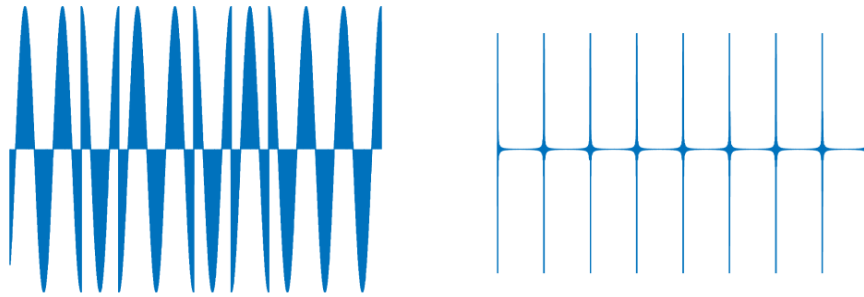


从波形图中可看出，对于数据为 0 与 1 的点，其相位相差 180 度，达到我们将数据调制到相位上的目的。



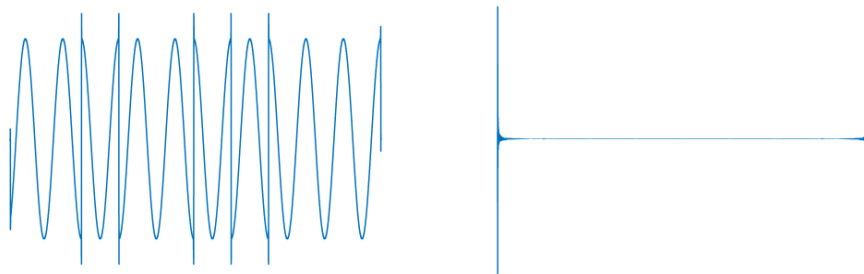
将得到的波形使用 fft 变换得到频谱图后，可看到如图所示的图像。该图像在两侧出现了两个峰，这与我们理论上对正余弦信号进行傅里叶变换后得到的结果相同。但我们还能看到，在两个峰的旁边，还有一些较小的谐波，因为这是一个有限长度的信号，而且其内部也不是标准正余弦，所以不可避免地会出现一些谐波分量。

(2) 8 倍过采样



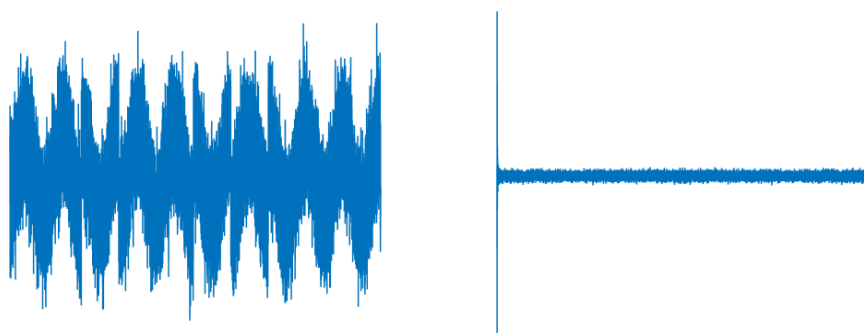
从波形图上可以看出，该信号的“密度”被明显加强了，出现了很多之前没有的谐波。而从频谱图可以看出，该信号从之前只在两个位置有峰，变成了在九个位置有峰，这说明过采样在频谱上可看作多个冲激函数和输入信号的卷积，反映到波形图上就是输入信号和不同频率的正余弦信号的乘积。

(3) 根升余弦滤波

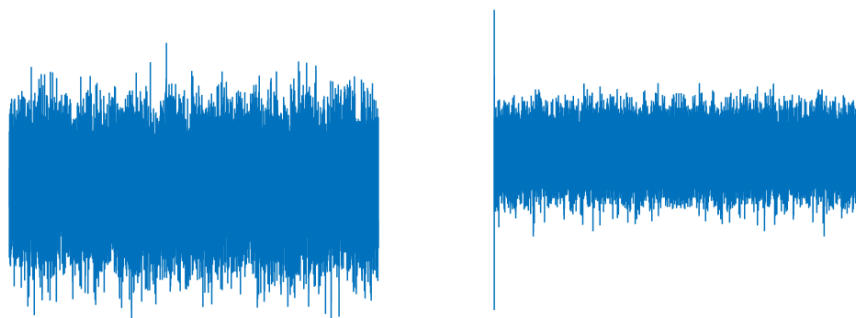


进行根升余弦滤波后，我们可以看到，波形图变得“稀疏”了很多。而且，很明显的，在波形相位切换的地方出现了尖峰。这与阶跃信号进行傅里叶变换和逆变换后会出现的尖峰一直。从频谱图可以看到，该信号少了很多多余的信号分量，达到我们进行滤波的效果。

(4) 加入高斯噪声



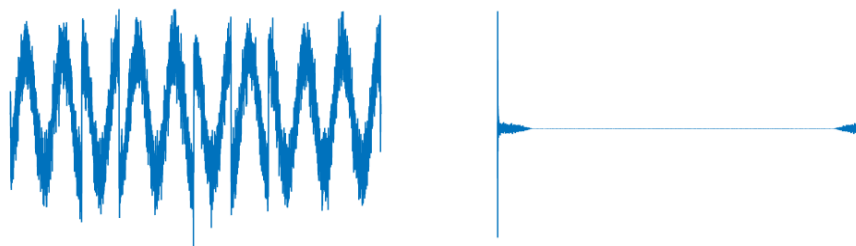
信噪比 0dB



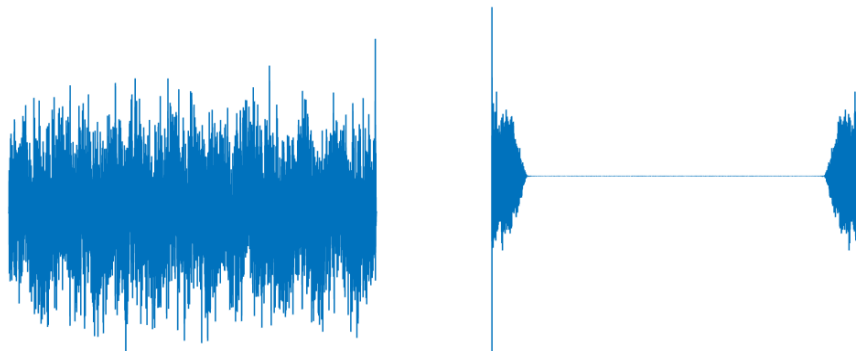
信噪比-20dB

我们从信号的时域波形中可以明显看出，加噪对时域波形的影响是十分巨大的。但是，如果从频谱图的角度，我们可以很容易看到，虽然的确出现了很明显的噪声，但代表载波信号的尖峰依然远高于周边的噪声。因此，虽然时域上看不明显，但从频域上可以看出，即使是-20dB 的噪声，对我们的信息传递也不会有十分突出的影响。

(5) 匹配滤波



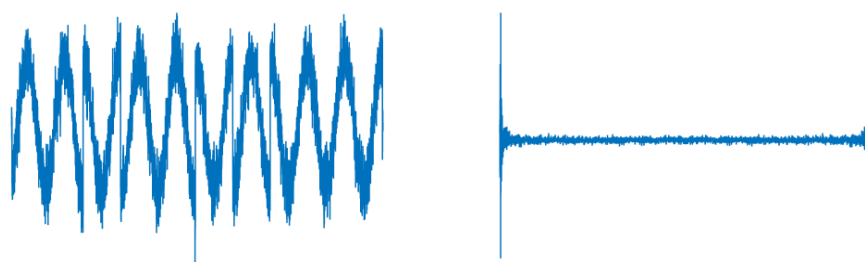
信噪比 0dB



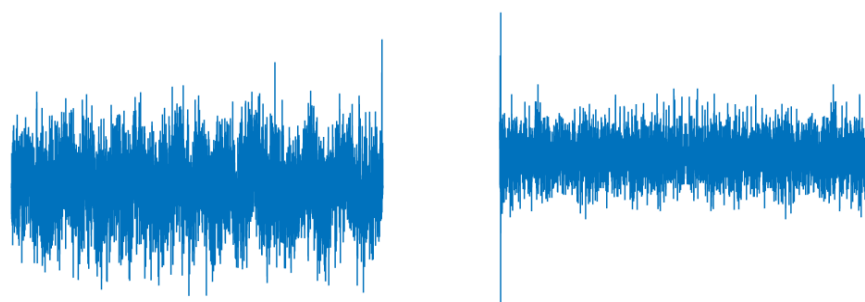
信噪比-20dB

从频谱图可以看到，我们的滤波器十分有效地去除了大部分噪声，只留下信号周边的少部分噪声，这将极大地改善我们的信号传输准确度。

(6) 下采样



信噪比 0dB

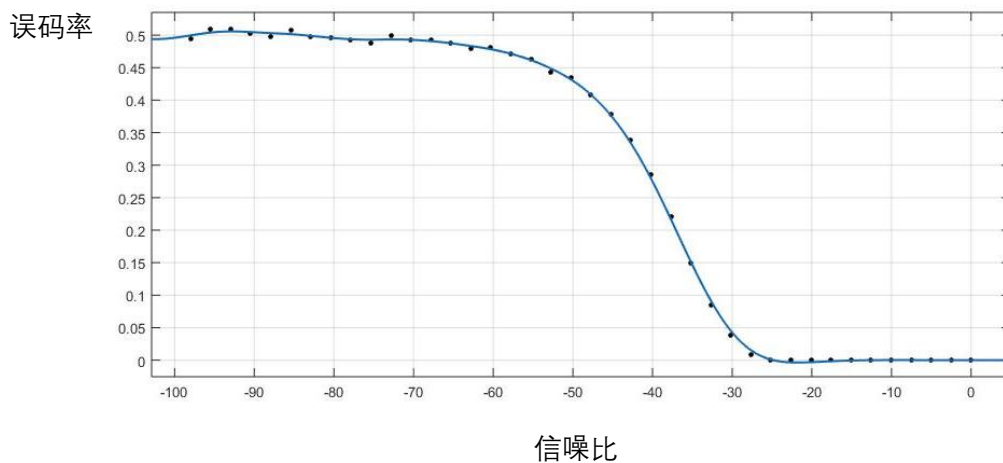


信噪比 -20dB

从图中可以看出，下采样后，噪声分布均匀了许多，但依然不足以与我们的信号强度比拟。

(7) 误码率计算

以 $1e4$ 的数据量，对信噪比 -100dB 到 0dB 进行 40 个采样点的等间距扫描，得到如图所示的图像



从图中可以很明显看到，在信噪比很糟糕的情况，误码率约为 0.5，即与瞎猜没有区别。这是因为高斯噪声已经大于了信号强度，此时的判决结果几乎由高斯噪声决定，也就意味着瞎猜。

在信噪比很好的情况下，误码率几乎为 0，但在实际运行中，却是一个和信噪比具体数值无关，但维持在千分之二到千分之八的误码率。将调制信号的采样间隔变小后，该误码率会明显下降。因此，这个千分位的误码率应由调制时采样的原因引起，但考虑到之后进行卷积等

运算的算法复杂度均在 N^2 量级，也就意味着，如果将采样间隔减小到原间隔的一半，程序所用的时间和空间都将变为原来的 4 倍，更何况该千分位的误码率并不对我们的观察产生重要影响。所以保持原采样率不变，而在观察时忽视该小误码率。

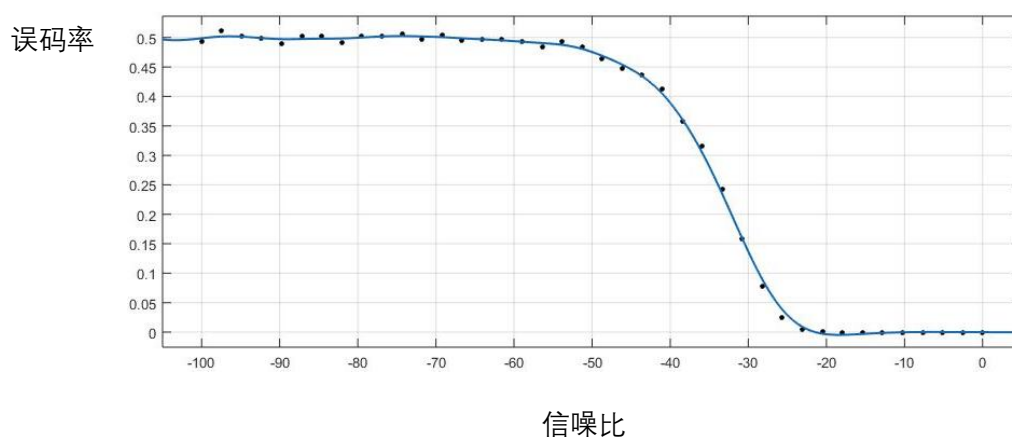
观察过渡段，我们可以发现，大约在 -25dB 的地方，误码率开始出现明显的爬升，对这个点进行测量可得图像如图。



这是在 -25dB 处经过高斯加噪后的波形的频谱图。从图中我们可以看到，我们的载波分量已经与高斯噪声相差不大。误码率开始出现明显上升也就是理所当然的了。在更糟糕的误码率下，载波与高斯噪声相比将越来越小，也就使得误码率越来越大，到大约 -40dB 处几乎被高斯噪声完全掩盖。

2.QPSK 调制

对于 QPSK，重点观察其信噪比和误码率的关系。同样是 $1e4$ 的数据量，从 -100dB 到 0dB 等间距取 40 个点，得到误码率和信噪比的关系如图。

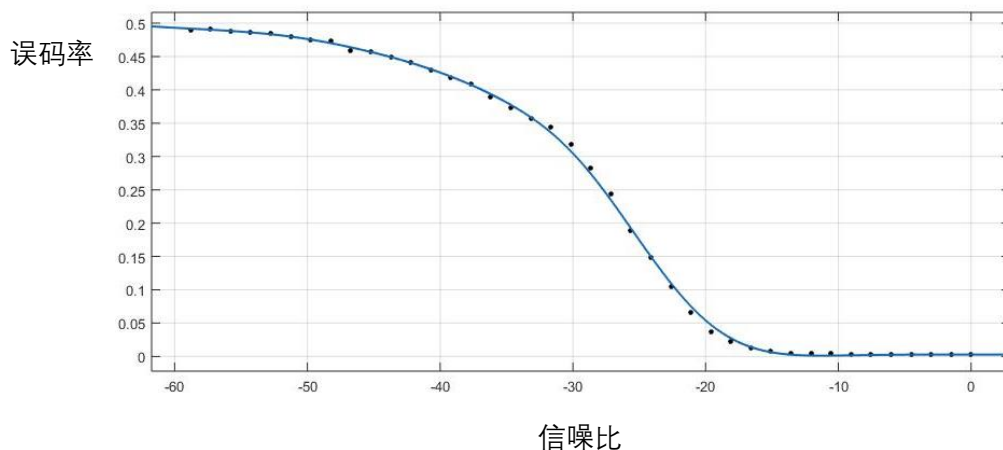


从图中可以看出，与 BPSK 类似的，在 -25dB 处出现一个转折点，误码率从约等于 0 快速上升。而且，很明显可以看到，误码率的上升速率比 BPSK 要快。进行初步分析后认为，在最后就行数据判决时，QPSK 分别在 \cos 方向和 \sin 方向上进行数据的判断，这就意味着，此

时在不同方向的信号分量只有总信号 0.707 的大小，但白噪声的大小并不会因为同样的原因而变小，所以在噪声较大的情况下进行相关判决时，误码率就比 BPSK 高一些。但总体的趋势是一直。

3.16QAM

从 16QAM 的星座图可以很明显地看到，不同数据点间的距离比 BPSK 和 QPSK 都近，所以，16QAM 调制的信号的抗干扰能力会差一些，表现在结果上就是误码率的上升转折点比 BPSK 更靠近原点，上升的速度也会更快一些。



从图中可以看出，该传输方法抗噪声的能力的确相对于 BPSK 而言弱一些，但对于相同频率的信号，这种方法的传输速度很快。所以对于需要高速传输的场合，这种方法具有很大优势，但这就意味着，为了对抗环境噪声，这种调制方法需要更多的能量，以保证其误码率能够被控制在一个可以接受的范围。

【思考题】

1. 过采样可以在噪声功率一定的情况下，将其分布的频带范围变得更广，而相对地，我们的信号不会发生很大变化，这就使得噪声相对于我们的信号变小了。再配合上相对应的滤波器，就能够很好地滤掉噪声，留下信号，也就提高了信噪比，改善了信息的传递效率。过采样倍数和我们实际所用的处理电路等因素有关。过采样虽然可以有效地降低噪声的相对大小，但相对应地，我们要处理的数据也变多了，这就要求我们的电路有更强的处理能力。此外，由于过采样在频域上是频谱的搬移，所以，还需要考虑我们的滤波器的实际带宽，来决定频谱应该搬移到什么位置，才能达到一个比较好的效果。
2. 根升余弦滤波在作为匹配滤波器使用时，既能拥有一个较为平坦的通带，也能避免因为过采样而出现的码间干扰。另外，当发射端和接收端都使用根升余弦滤波的时候，能够在抽样的时刻得到最好的信噪比，提高信号传输的质量。此外，由于实际过程为调制信号乘上滤波器传递函数的平方，所以，根升余弦滤波还可以有效地降低滤波器设计难度。
3. 经过匹配滤波后，从频谱图可以看到，我们的信号强度并没有发生很大变化，但噪声却少了很多。这就意味着，我们的信噪比好了许多，改善了信号的传递效率。

【MATLAB 函数说明】

1. get0and1 (length, kind)

返回一个长度为 length, kind 进制的序列

2. BPSK\QPSK\qam16 (dataLength, snr, kind)

返回对于 dataLength 长度的数据，在 snr 的信噪比下，传输的误码率。

Kind 为运行模式，0 表示只需要误码率，不需要波形图等其他数据

2 表示返回测试用的数据向量，计算得到的数据向量，和传输过程中的所有信号的时域波形

和频谱图。

4.doltYourself/doltYourselfQam

均为自动计算给定数据长度，信噪比范围和采样点数，记录不同信噪比下的误码率，画出误码率-信噪比图像，并将结果保存到相关 txt 文件中。

5.myPlot (Data)

传入一个任意长度的元胞数组，输出各子数组的时域波形图机器频谱图。

并按照顺序以 png 格式保存在工作目录下。