

通信原理实训作业

学号	姓名	贡献率
21307035	邓栩瀛	50%
21307026	何倩盈	50%

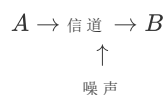
作业要求



- 1.基于Matlab通信工具箱构建通信系统（有线/无线）连接A与B
- 2.分别考虑不同的编码方式（如单极性、双极性、差分等）、不同的调制方式实现二进制数据传输，并解调接收，例如：2ASK, 2FSK, 2PSK, 或其他方式。分析接收效果。
- 3.通信系统加入不同的噪声信号，重复1-2；
- 4.从A端通过通信系统发送上述图像数据到B端，B端从接收数据并恢复图像，图像采用位图格式；
- 5.分析原图与接收图的误差；
- 6.通信系统加入不同的噪声信号，重复1,2,4,5；
- 7.课程作业总结报告，结合实验结果分析讨论以下问题（评分依据）：
 - a) 数据传输模拟系统的设计与工作原理分析；
 - b) 编码方式的影响；
 - c) 调制解调方式的影响；
 - d) 噪声类型、强度对误差的影响；
 - e) 有线与无线网络的影响。

实验过程

step1



生成随机的二进制数据

```
dataSize = 1000;  
data = randi([0 1], dataSize, 1);
```

编码，使用单极性编码

```
encodedData = data;
```

采用2ASK的调制方式

```
M = 2;  
modData = pskmod(encodedData, M);
```

采用有线信道传输，没有噪声

```
receivedSignal = modData;
```

或者采用无线信道传输

```
% 设置无线信道模型  
Fs = 1000e3; % 采样率  
fc = 2.4e9; % 载波频率 2.4 GHz  
channel = comm.AWGNChannel('NoiseMethod', 'Signal to noise ratio (SNR)', 'SNR',  
10);  
  
% 添加AWGN噪声  
noisySignal = channel(modData);  
  
% 使用无线信道模型进行传输  
receivedSignal = noisySignal;
```

解调

```
demodData = pskdemod(receivedSignal, M);
```

解码

```
receivedData = demodData;
```

分析接收效果

```
numErrors = sum(data ~= receivedData);
```

对于有线通信

Number of errors without noise(wired): 0

对于无线通信

Number of errors without noise(wireless): 0

表明传输效果非常稳定

step2

实验步骤

生成二进制数据

```
data_length = 100; % 数据长度
data = randi([0, 1], 1, data_length);
```

参数设置

```
fs = 100; % 采样频率
t = 0:1/fs:(data_length-1/fs); % 时间轴
```

编码方式

(1) 单极性NRZ编码

```
encoded_unipolar = data;
```

(2) 双极性NRZ编码

```
encoded_bipolar = 2 * data - 1;
```

(3) 差分编码

```
encoded_diff = zeros(1, data_length);
encoded_diff(1) = data(1);
for i = 2:data_length
    encoded_diff(i) = xor(data(i), data(i-1));
end
```

调制方式

```
% 2ASK 调制
A1 = 1; A2 = 2; % 0 和 1 的幅度
modulated_2ASK = A1 + (A2 - A1) * extended_data;

% 2FSK 调制
f1 = 1; f2 = 2; % 0 和 1 的频率
t_per_symbol = 0:1/fs:1-1/fs; % 每个符号的时间
modulated_2FSK = [];
for i = 1:data_length
    if encoded_unipolar(i) == 0
        modulated_2FSK = [modulated_2FSK sin(2*pi*f1*t_per_symbol)];
    else
        modulated_2FSK = [modulated_2FSK sin(2*pi*f2*t_per_symbol)];
    end
end

% 2PSK 调制
modulated_2PSK = cos(2*pi*f1*t + pi*extended_data);
```

解调

```
% 2ASK 解调
threshold_2ASK = (A1 + A2) / 2;
received_2ASK = modulated_2ASK > threshold_2ASK;
received_2ASK = received_2ASK(1:fs:end);
```

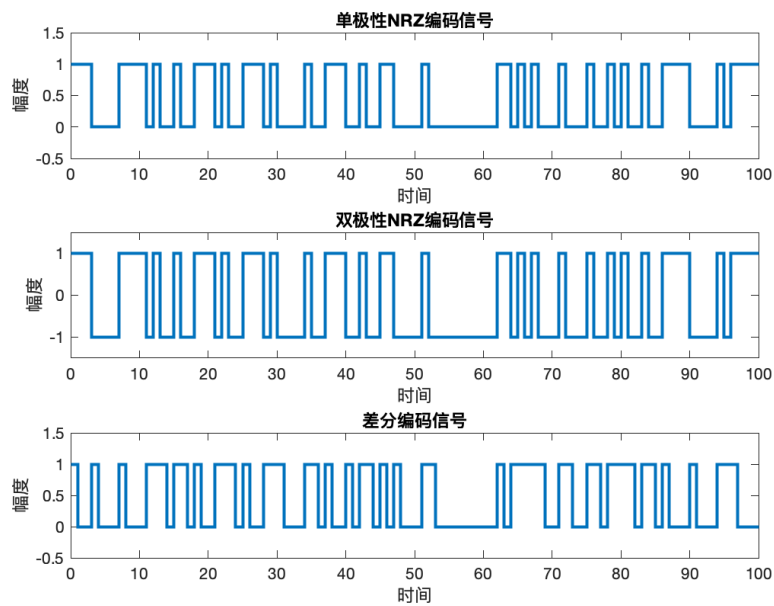
```

% 2FSK 解调
received_2FSK = zeros(1, data_length);
for i = 1:data_length
    segment = modulated_2FSK((i-1)*fs + 1:i*fs);
    if mean(segment .* sin(2*pi*f1*t_per_symbol)) > mean(segment .*
sin(2*pi*f2*t_per_symbol))
        received_2FSK(i) = 0;
    else
        received_2FSK(i) = 1;
    end
end
end
% 2PSK 解调
received_2PSK = zeros(1, data_length);
for i = 1:data_length
    segment = modulated_2PSK((i-1)*fs + 1:i*fs);
    if mean(segment .* cos(2*pi*f1*t_per_symbol)) > 0
        received_2PSK(i) = 0;
    else
        received_2PSK(i) = 1;
    end
end
end

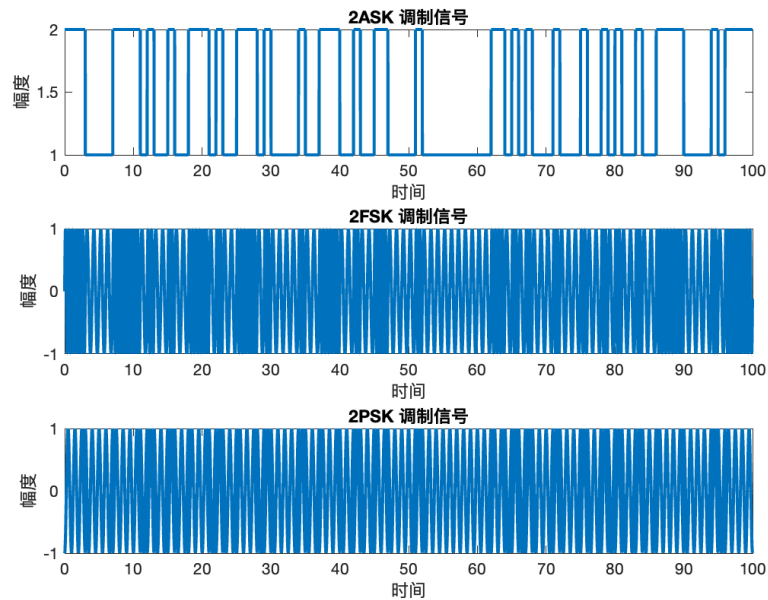
```

实验结果

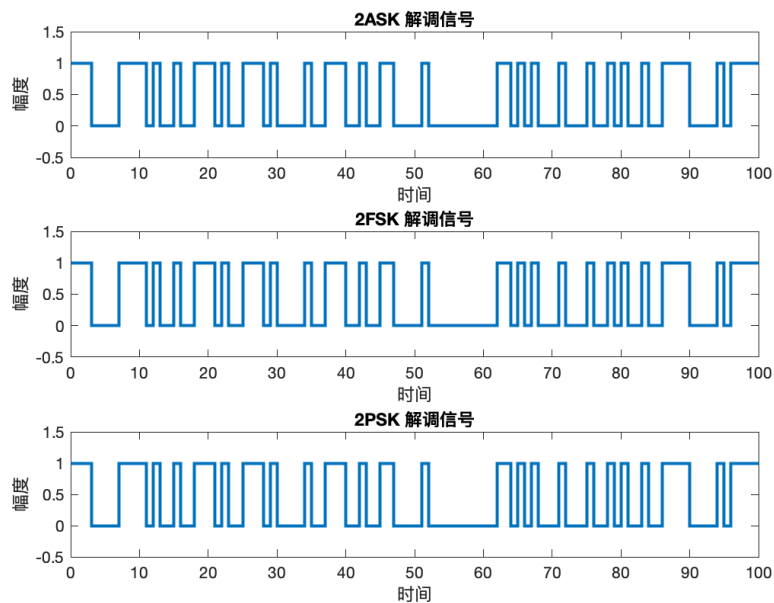
编码信号



调制信号 (使用单极性编码)



解调信号（使用单极性编码）



接收效果

2ASK 误码率: 0
2FSK 误码率: 0
2PSK 误码率: 0

误码率结果显示，三种调制方式（2ASK、2FSK、2PSK）没有噪声影响的条件下都没有出现误码，表明在当前设置的信道条件和调制/解调方法下，信号的传输非常可靠。

step3

实验步骤

在初始化和参数设置方面与步骤二类似，唯一不同的的就是引入 SNR 和一些Rayleigh信道的参数。

```
% 参数设置
dataSize = 1000; % 数据大小
SNR = 10; % 信噪比
Fs = 10e3; % 采样率, 调整为更合理的值
freqSep = 1000; % 频率分离, 确保小于Fs/2
nsamp = 4; % 每符号样本数
```

生成随机二进制数据和编码部分与步骤二相同, 调制时使用了Matlab的内置函数来进行调制。

```
% 2ASK 调制
modData_2ask = 2*encodedData_unipolar - 1;
% 2FSK 调制
M = 2;
modData_2fsk = fskmod(encodedData_unipolar, M, freqSep, nsamp, Fs);
% 2PSK 调制
modData_2psk = pskmod(encodedData_unipolar, M);
```

在有线信道模拟中, 直接对调制信号添加高斯白噪声AWGN。

```
noisySignal_2ask = awgn(modData_2ask, SNR, 'measured');
noisySignal_2fsk = awgn(modData_2fsk, SNR, 'measured');
noisySignal_2psk = awgn(modData_2psk, SNR, 'measured');
```

在无线信道模拟中, 信号不仅会受到AWGN噪声的影响, 还会受到多路径效应等影响, 在本实验中通过Rayleigh衰落信道来模拟这种情况。

```
rayleighChannel = comm.RayleighChannel('SampleRate', Fs, 'PathDelays', [0 1e-6
2e-6], ...
    'AveragePathGains', [0 -3 -6], 'NormalizePathGains', true);

% 传输信号通过Rayleigh信道
release(rayleighChannel);
rayleighSignal_2ask = rayleighChannel(modData_2ask);
release(rayleighChannel);
rayleighSignal_2fsk = rayleighChannel(complex(modData_2fsk));
release(rayleighChannel);
rayleighSignal_2psk = rayleighChannel(modData_2psk);

% 添加AWGN噪声
noisyRayleighSignal_2ask = awgn(rayleighSignal_2ask, SNR, 'measured');
noisyRayleighSignal_2fsk = awgn(rayleighSignal_2fsk, SNR, 'measured');
noisyRayleighSignal_2psk = awgn(rayleighSignal_2psk, SNR, 'measured');
```

在解调时, 需要对加入噪声的信号进行解调。

% 解调AWGN信号

```
demodData_2ask = noisysignal_2ask > 0;  
demodData_2fsk = fskdemod(noisysignal_2fsk, M, freqSep, nsamp, Fs);  
demodData_2psk = pskdemod(noisysignal_2psk, M);
```

% 解调Rayleigh信道并添加AWGN噪声后的信号

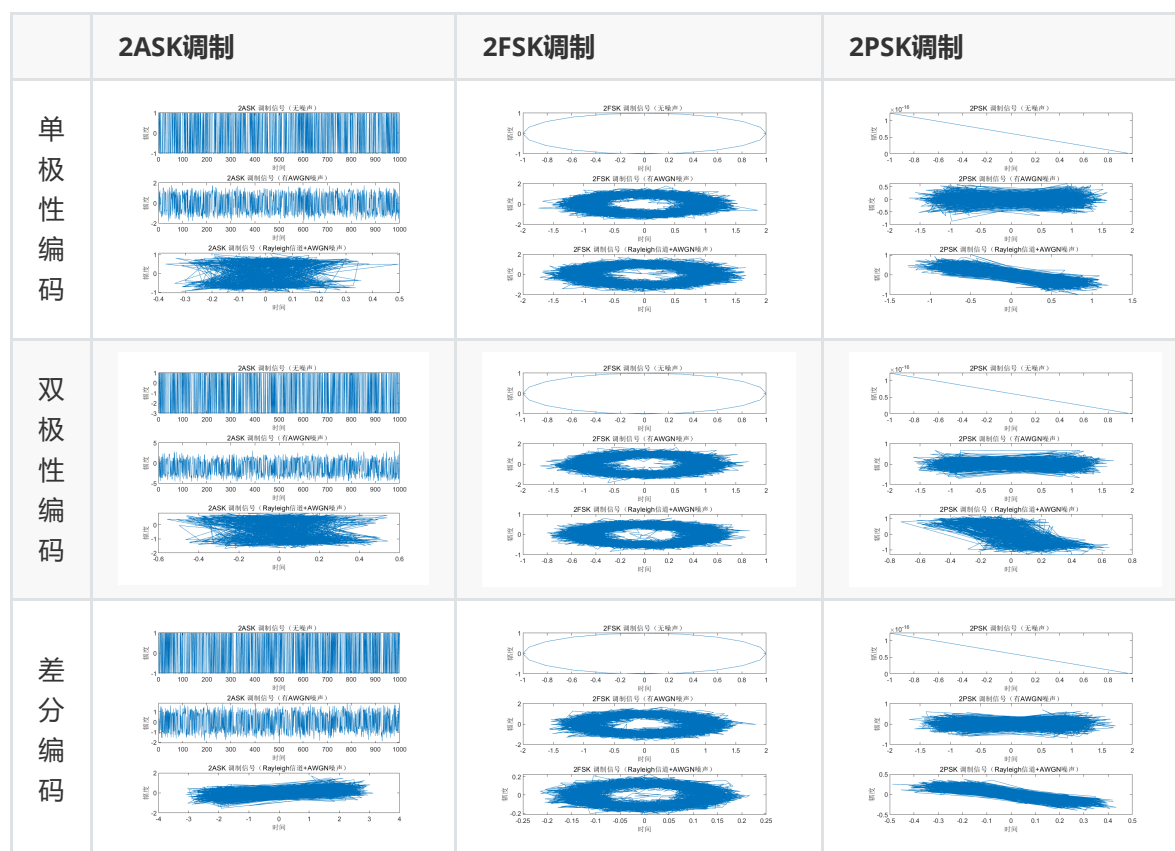
```
demodRayleighData_2ask = noisyrayleighsignal_2ask > 0;  
demodRayleighData_2fsk = fskdemod(noisyrayleighsignal_2fsk, M, freqSep, nsamp, Fs);  
demodRayleighData_2psk = pskdemod(noisyrayleighsignal_2psk, M);
```

实验结果

在不同调制方式下，有无噪声和不同信道条件下，最终得到的实验结果如下：

误码率（单极性编码）：

```
Number of errors with 2ASK modulation: 0  
Number of errors with 2FSK modulation: 0  
Number of errors with 2PSK modulation: 0  
Number of errors with 2ASK modulation in Rayleigh channel: 526  
Number of errors with 2FSK modulation in Rayleigh channel: 499  
Number of errors with 2PSK modulation in Rayleigh channel: 476
```



- AWGN噪声的影响:** 加入AWGN噪声引入了随机的幅度和相位变化，但在信噪比为10的情况下，整体形状仍可识别，这些调制方式仍能较好地解码信号。
- Rayleigh信道 + AWGN噪声的影响:** Rayleigh衰落和AWGN噪声的组合对信号质量有显著影响，导致大量错误。多径效应引起严重的幅度和相位失真，再加上AWGN噪声，使得信号难以正确解调。
- 不同的编码方式对抗噪声和信道干扰的能力有所不同，从图片上来看，相对单极性编码来说，差分编码调制后的信号受到噪声干扰之后的形状相对来说是比较容易辨认的，虽然错误率仍然较高，但对于相位模糊的抗性较好。

4. 对于2ASK调制来说，在 Rayleigh 信道中信号失真较大，错误数最多。2FSK对噪声的耐受性稍好于 2ASK，但在 Rayleigh 信道中仍有较高的错误数。2PSK 在有噪声情况下表现最佳，AWGN 噪声对其影响较小，在 Rayleigh 信道中也表现出相对较低的错误数。

step4-5

实验步骤

将读取的图像数据转换为二进制数据，每个像素用8位表示。

```
imgData = de2bi(img,:), 8, 'left-msb');  
imgData = imgData(:);
```

使用2PSK调制方法将二进制数据转换为调制信号。

```
M = 2; % 2ASK  
modImgData = pskmod(encodedImgData, M);
```

采用简单的直接编码方式，这里没有对数据进行额外的编码处理。

```
encodedImgData = imgData;
```

使用2PSK解调方法将接收到的信号转换回二进制数据。

```
demodImgData = pskdemod(noisyImgSignal, M);
```

由于直接编码，不需要额外的解码处理。将一维的二进制数据重新整形为二维矩阵，每8位作为一个像素。然后将二进制数据转换回十进制像素值，对图像进行恢复。

```
receivedImg = reshape(bi2de(reshape(receivedImgData, [], 8), 'left-msb'),  
imgSize);  
receivedImg = uint8(receivedImg);
```

实验结果

```
Original Image Size:  
    512    512  
  
Binary Image Data Size:  
    2097152         1  
  
Received Binary Image Data Size:  
    2097152         1  
  
Received Image Size:  
    512    512  
  
Number of image pixel errors: 0
```

从实验结果可以看出，原始图像和接收图像的尺寸一致。原始图像转换后的二进制数据大小为 2097152 x 1，接收到的二进制数据大小同样为 2097152 x 1。接收的数据大小与发送的数据大小一致，表明数据在传输过程中没有丢失。

step6

实验步骤

在该步骤中，加入了高斯白噪声AWGN，并考察不同信噪比SNR下的图像恢复效果。其他部分的内容基本与步骤四一样，只是加入了噪声。先设置SNR的大小，本实验中设置了三个不同的信噪比值：5, 10, 15，分别对应较低、中等和较高的信噪比。

```
snrLevels = [5, 10, 15]; % 不同的SNR值
```

然后使用 `awgn` 函数将指定的AWGN噪声添加到信号中，其中 `modImgData` 是调制后的信号。

```
noisyImgSignal = awgn(modImgData, snr, 'measured');
```

实验结果

在不同信噪比SNR条件下的接收图像：

```
Original Image Size:
    512    512

Binary Image Data Size:
    2097152         1

Received Binary Image Data Size at SNR 5:
    2097152         1

Received Image Size at SNR 5:
    512    512

Number of image pixel errors at SNR 5: 12292
Received Binary Image Data Size at SNR 10:
    2097152         1

Received Image Size at SNR 10:
    512    512

Number of image pixel errors at SNR 10: 11
Received Binary Image Data Size at SNR 15:
    2097152         1

Received Image Size at SNR 15:
    512    512

Number of image pixel errors at SNR 15: 0
```

原图	SNR=5
	
SNR=10	SNR=15
	

1. 在低信噪比 $SNR=5$ 的情况下，噪声的影响较大，导致解调后的二进制数据中产生较多的错误。图像像素错误数达到12292，表明传输质量较差，图像受噪声干扰严重，导致显著失真。从图像上来看，图像中有明显的黑色和白色的噪声点，图片质量较差。
2. 在中等信噪比 $SNR=10$ 情况下，噪声影响相对减小，信号的恢复质量显著提高。图像像素错误数仅为11，说明大部分图像数据能够正确恢复，图像质量基本能够满足需求。从图像上看，已经和原图基本看不出差别。
3. 在高信噪比 $SNR=15$ 条件下，噪声对信号的影响非常小，图像数据能够完全恢复，没有任何像素错误。说明图像传输质量最佳。从图像上看，已经和原图看不出差别。

实验结果分析

a) 数据传输模拟系统的设计与工作原理：该系统通过生成随机二进制数据、编码、调制、信道传输、解调和解码来实现数据的传输和接收。首先将信息转换为二进制数据，然后通过编码增加信号的鲁棒性，调制将数字信号转换为适合传输的模拟信号，信道可能引入噪声，解调则是将接收到的模拟信号转换回数字信号，最后解码恢复原始信息。

b) 编码方式的影响：在该实验中实现了单极性编码、双极性编码和差分编码。不同编码方式对抗噪声能力和误码率有不同影响。单极性编码简单但对直流分量敏感，双极性编码改善了直流分量问题但会增加信号的幅度变化，差分编码能有效抵抗噪声，特别是相位模糊，但可能会引入额外的误码。实验结果显示，在有噪声的条件下，差分编码的信号相对容易辨认，表明其抗噪声能力较强。

c) 调制解调方式的影响：在该实验中实现了2ASK、2FSK和2PSK三种调制方式。2ASK易于实现但对幅度变化敏感；2FSK抗幅度变化能力强，但对频率变化敏感；2PSK具有良好的抗幅度变化和频率变化的能力，但对相位变化敏感。实验结果表明，在无噪声条件下，三种调制方式均未出现误码，但在有噪声的条件下，2PSK由于其相位调制特性，相对更能抵抗噪声的影响。

d) 噪声类型、强度对误差的影响：在该实验中引入了高斯白噪声AWGN和Rayleigh信道噪声。AWGN影响信号的幅度和相位，而Rayleigh信道模拟了多径效应，导致更严重的幅度和相位失真。实验结果显示，在信噪比较低时，噪声对信号的影响较大，导致误码率升高；而在信噪比较高时，噪声的影响减小，信号质量得到改善。

e) 有线与无线网络的影响：有线通信通常比无线通信更稳定，因为无线通信容易受到多径效应、信号衰减和干扰等因素的影响。实验中通过模拟有线和无线信道，发现在无线信道中，信号更容易受到噪声和多径效应的影响，导致误码率升高。特别是在Rayleigh信道中，信号质量受到的影响更为显著。