西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

通信原理实验

1 调制解调

姓　名：张翠翠

办公室：西一楼520

zhangcuicui@mail.xjtu.edu.cn

课程介绍

- 性　质：独立设课
- 学时数：16学时（4学时*4次）
- 成　绩：课堂验收（60%）+实验报告（40%）

时间安排

通信原理实验安排-2020 级-信息专业

	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期天
上午				信息 05	信息 02（27 人）		信息 04（25 人）+2 名重修
下午	信息 06（27 人）		信息 03（29 人）				
晚上			信息 01（32 人）				

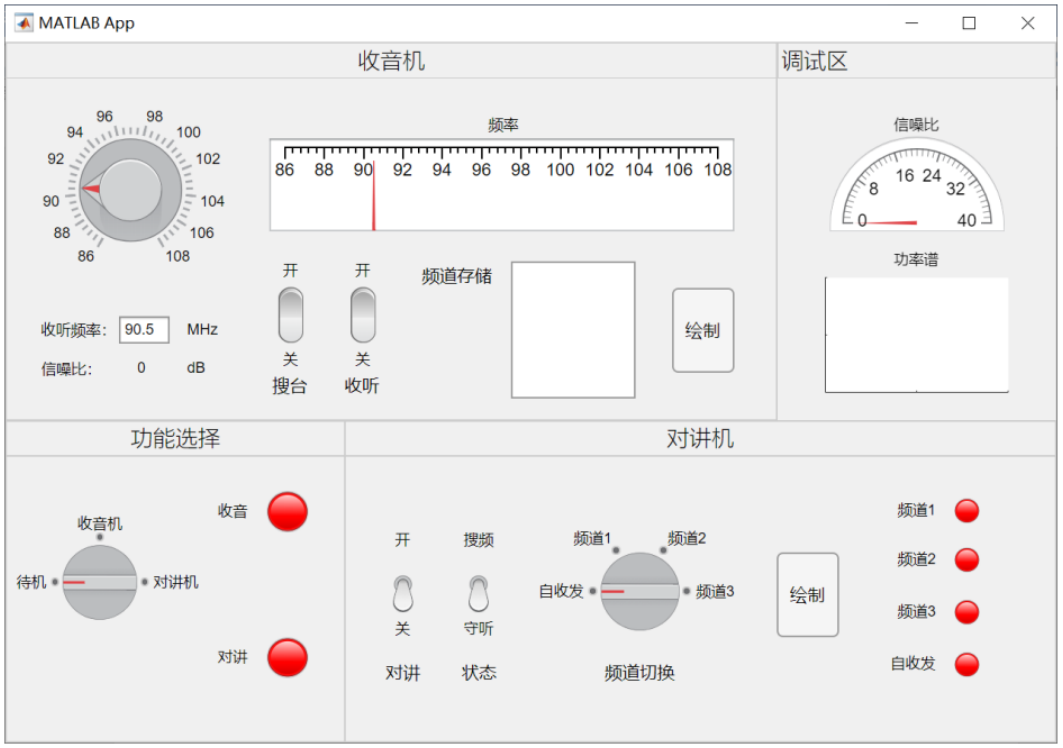
备注：2022-2023 学年第二学期第 1-4 周

时间：第1周-第4周

地点：西一楼506

实验内容

MATLAB


MATLAB App
收音机
调试区
频率
86 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108
信噪比
0 8 16 24 32 40
功率谱
收听频率: 90.5 MHz
信噪比: 0 dB
开
关
搜台
开
关
收听
频道存储
绘制
功能选择
收音机
待机
对讲机
收音
对讲
对讲机
开
关
对讲
搜频
守听
状态
频道1
频道2
自收发
频道3
频道切换
绘制
频道1
频道2
频道3
自收发

实验内容

- 一个通信系统都包含哪些部分?
- PlutoSDR负责哪些部分?
- Matlab上负责哪些部分?

实验内容

- 通信系统的组成

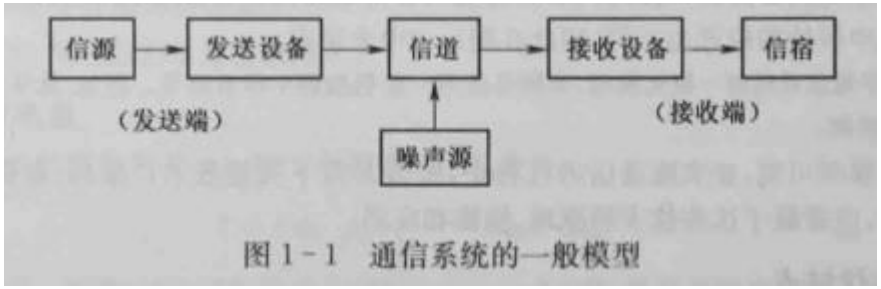


图 1-1　通信系统的一般模型

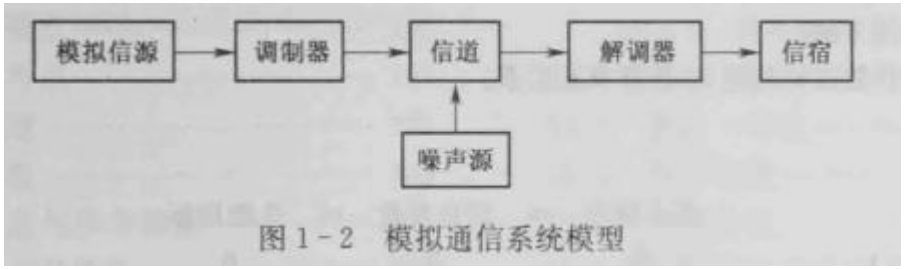


图 1-2　模拟通信系统模型

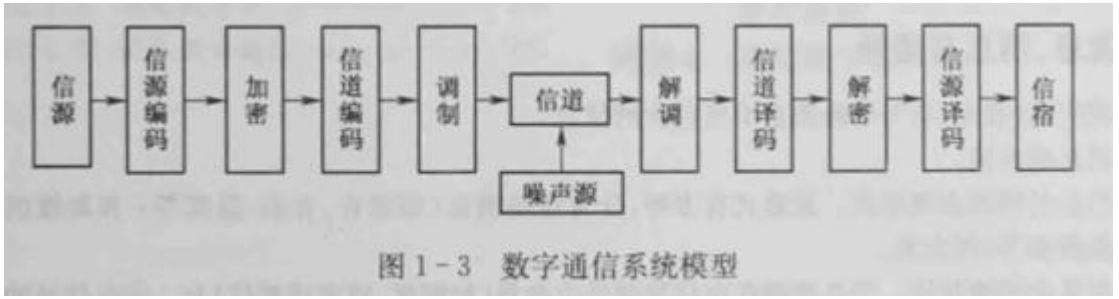
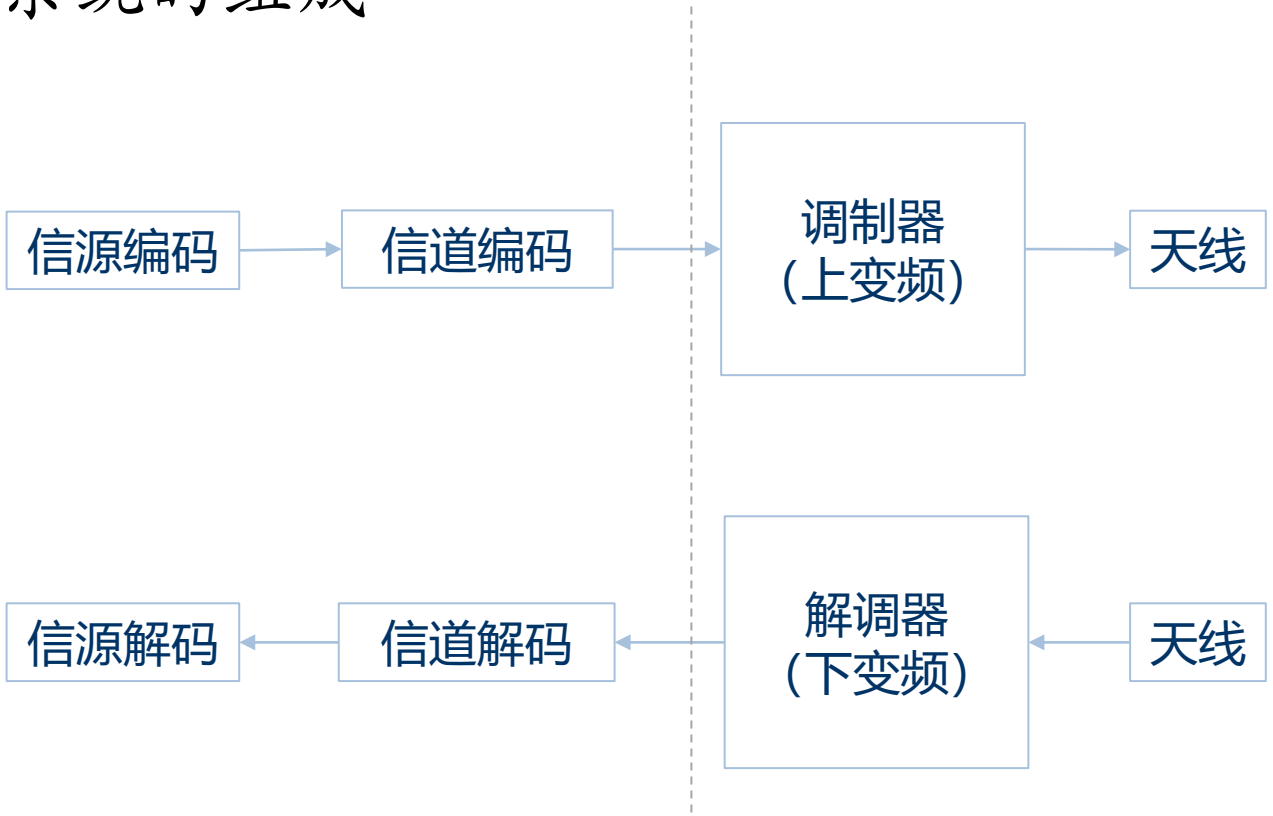


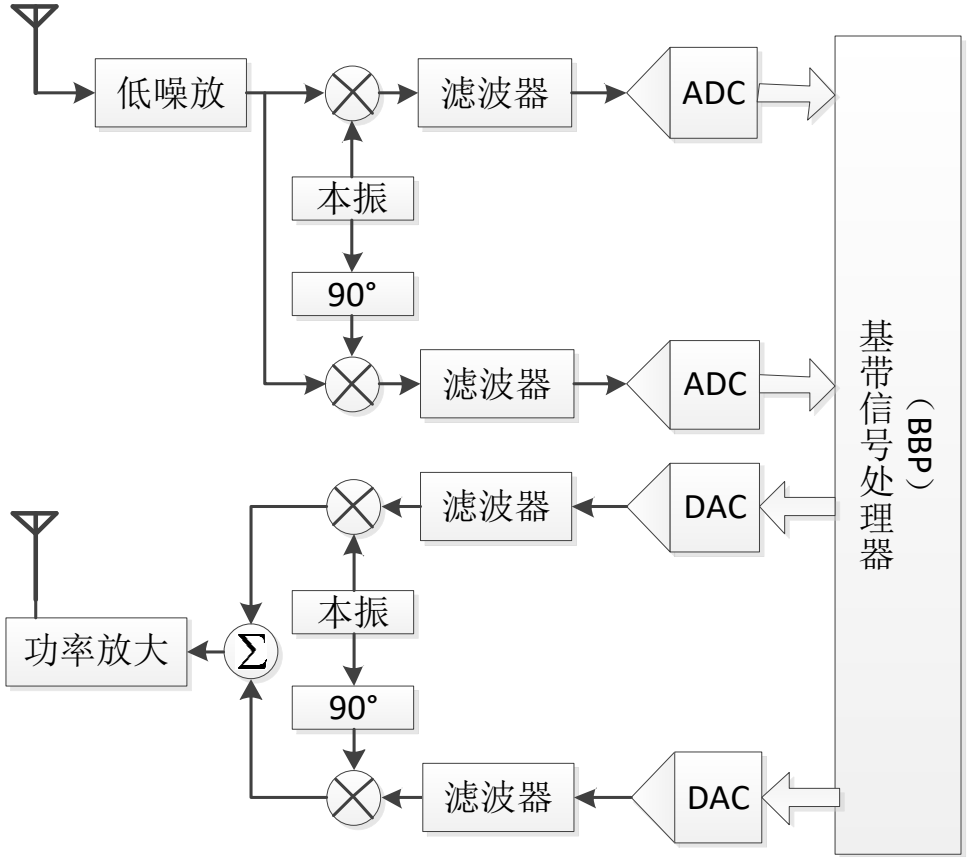
图 1-3　数字通信系统模型

实验内容

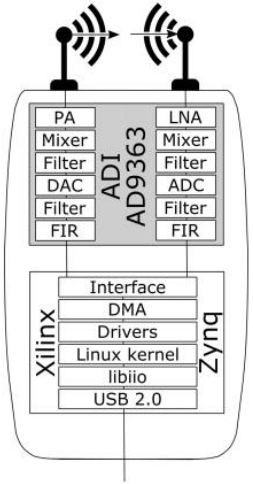
- 通信系统的组成



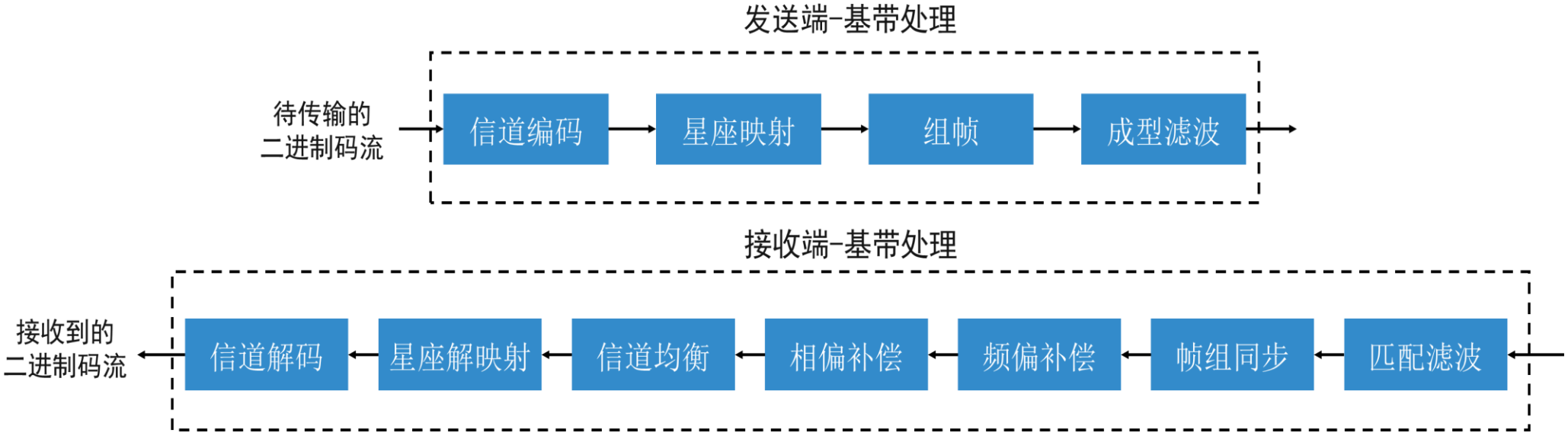
实验内容


低噪放
滤波器
ADC
本振
90°
滤波器
ADC
基带信号处理器（BBP）
滤波器
DAC
本振
功率放大
Σ
90°
滤波器
DAC


ADALM-PLUTO


PA
Mixer
Filter
DAC
Filter
FIR
ADI
AD9363
LNA
Mixer
Filter
ADC
Filter
FIR
Xilinx
Interface
DMA
Drivers
Linux kernel
libiio
USB 2.0
Zynq

实验内容



Matlab上基带处理

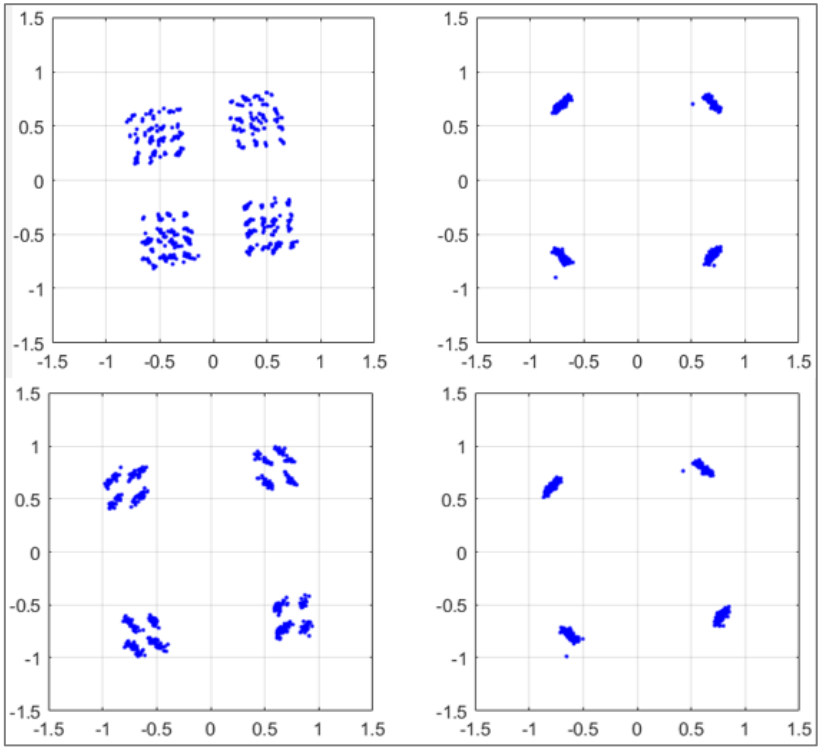
实验内容

- 4个具体的实验内容

  - 调制解调（FSK、ASK、PSK、QAM）
  - 差错控制（信道编码、交织编码）
  - 同步处理（频偏估计补偿、相偏估计补偿）
  - 信道均衡
  - 调频收音机
  - OFDM

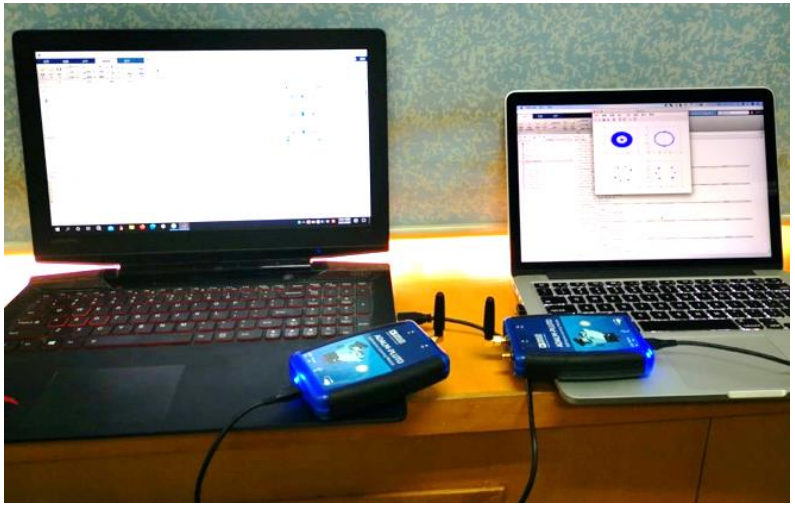
实验内容

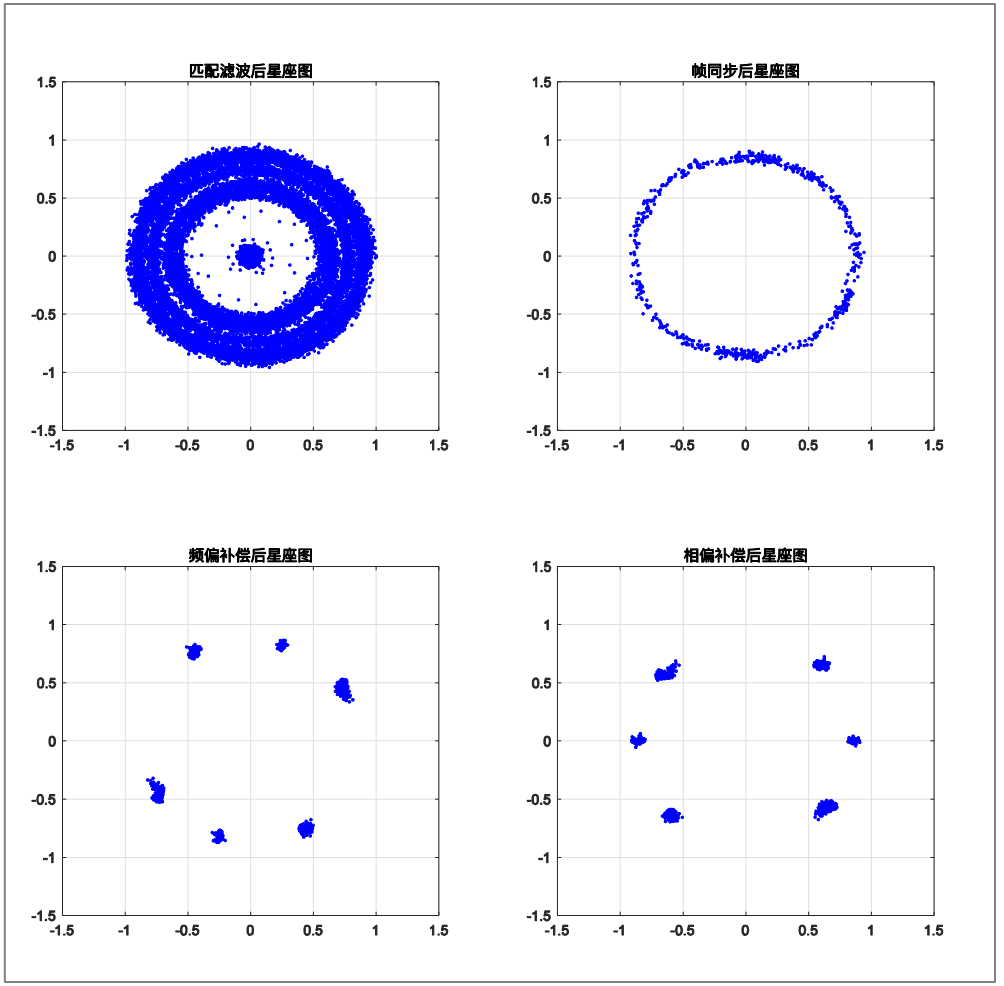
- 信道均衡



实验内容

- 同步处理



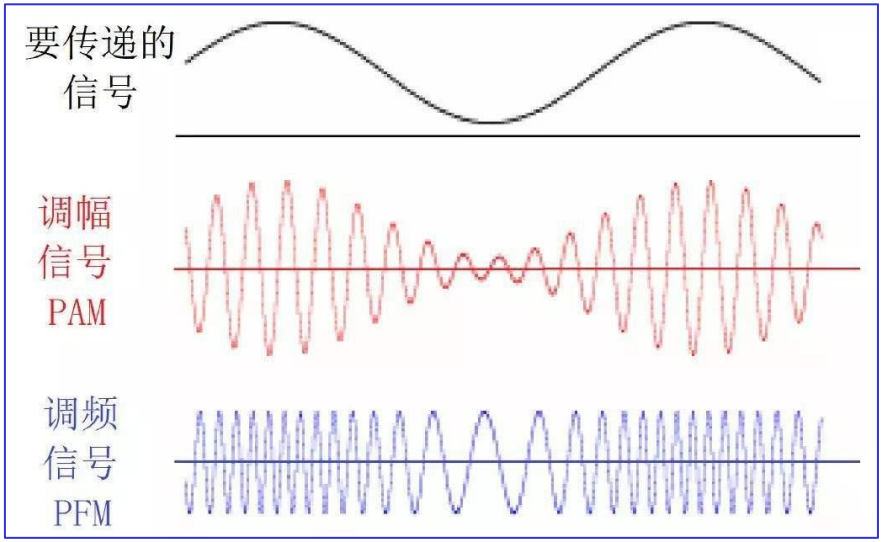


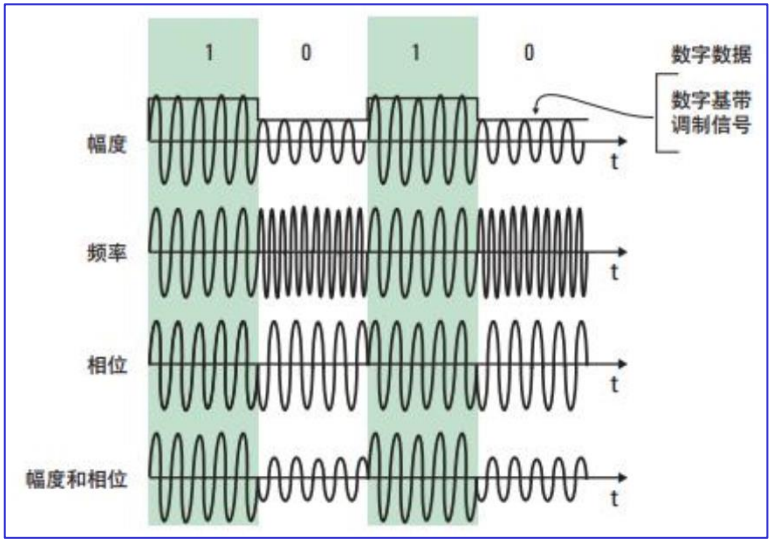
提纲

- 数字IQ调制
- ASK、 PSK 、FSK调制解调
- QAM调制解调
- 实验平台PlutoSDR环境搭建
- 实验任务
- 实验报告要求

数字IQ调制

- 调制
  - 将信息量承载到载波的频率、相位、或幅度上
  - 模拟调制：信息的变化是连续的，即载波的频率、相位、或幅度是连续变化的，AM FM PM
  - 数字调制：信息的变化是离散的，即载波的频率、相位、或幅度的变化是离散的、阶跃的 ASK FSK PSK





数字IQ调制

■ 数字IQ调制

- 符号映射：将信号比特流转换成I和Q两路信息量
- 正交上变频、正交下变频

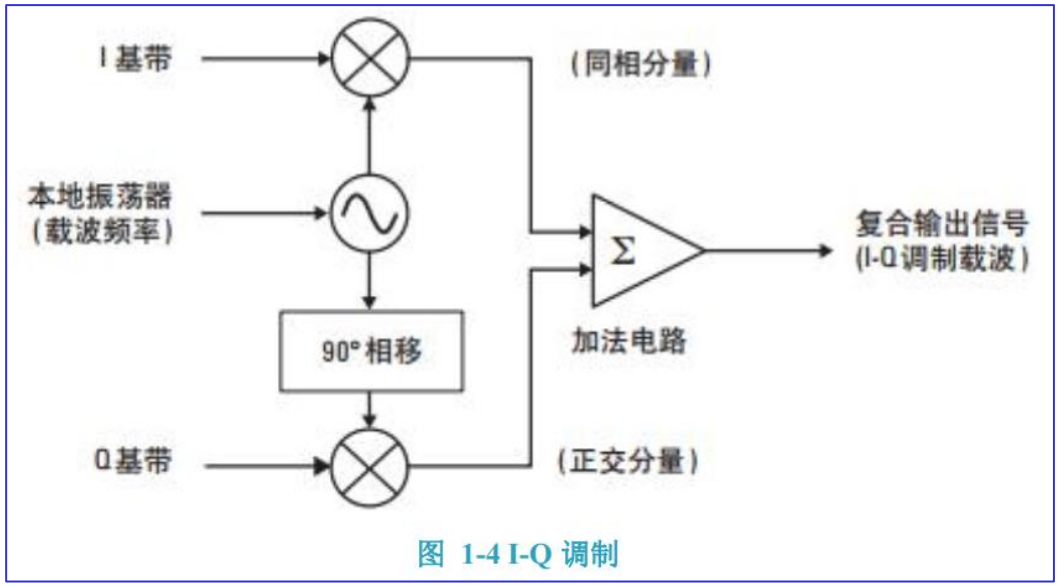


图 1-4 I-Q 调制

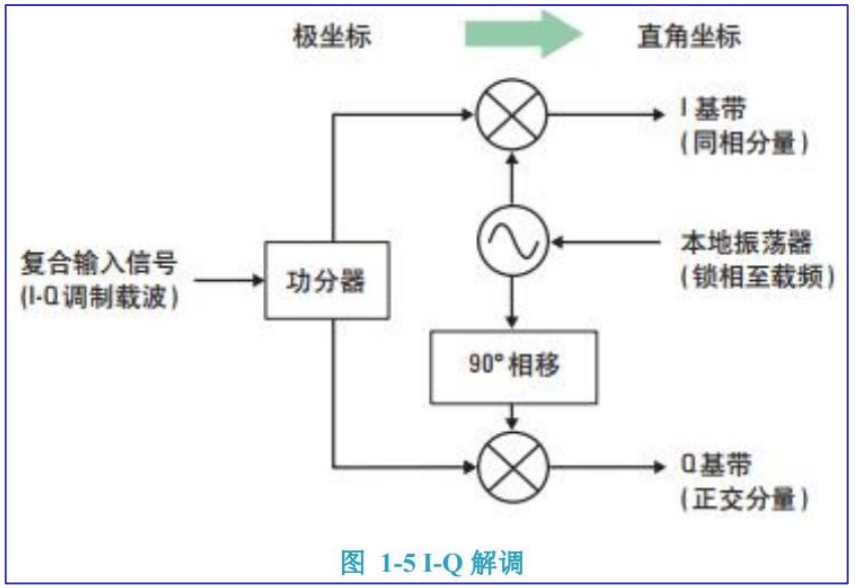
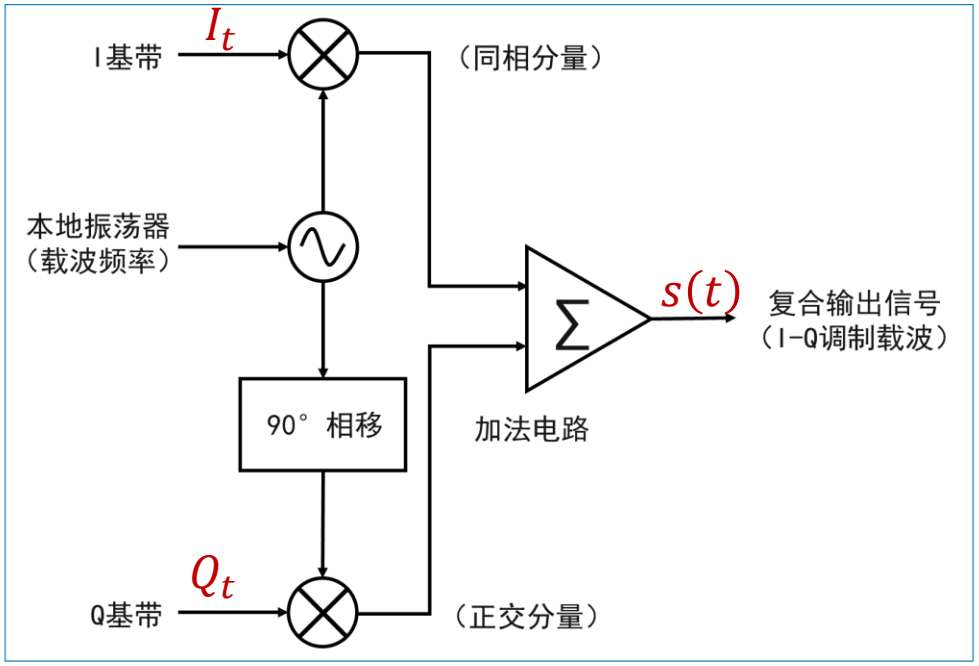
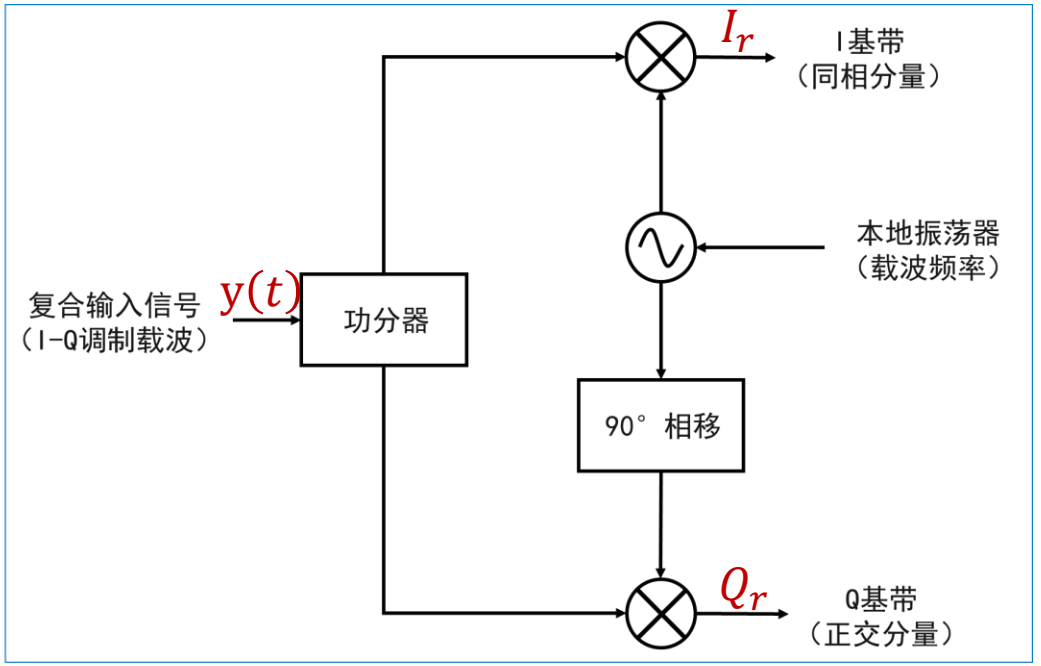


图 1-5 I-Q 解调

数字IQ调制



（a）I-Q调制



（b）I-Q解调

$$s(t) = I_t \cdot cos(\omega_t t) - Q_t \cdot sin(\omega_t t)$$

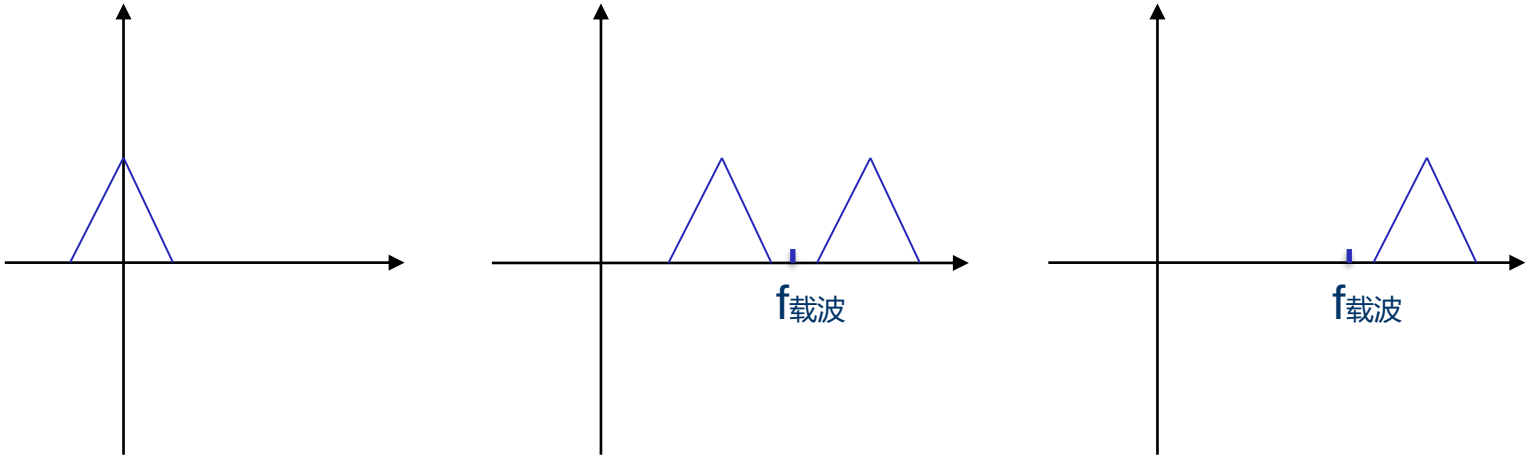
$$I_r = y(t) \cdot cos(\omega_t t) = [I_t \cdot cos(\omega_t t) - Q_t \cdot sin(\omega_t t)] \cdot cos(\omega_t t); \qquad I_r = \frac{1}{2} I_t$$

$$Q_r = y(t) \cdot [-sin(\omega_t t)] = [I_t \cdot cos(\omega_t t) + Q_t \cdot sin(\omega_t t)] \cdot sin(\omega_t t); \qquad Q_r = \frac{1}{2} Q_t$$

数字IQ调制

■ 为什么要用IQ调制

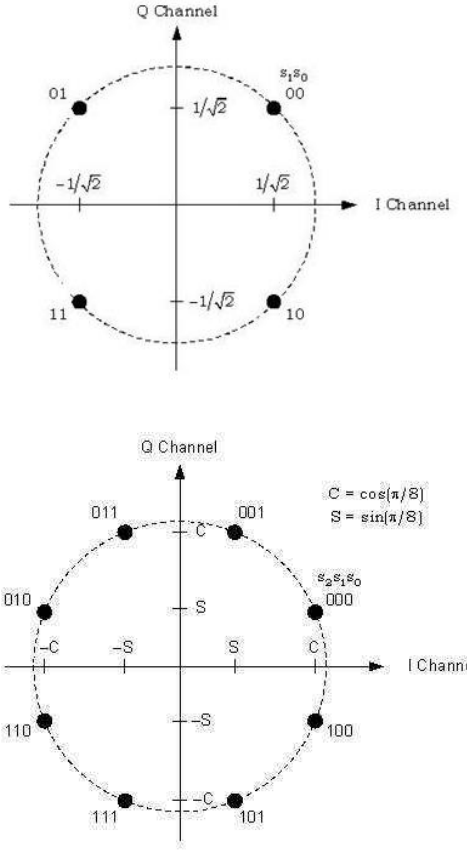
- 载波的相位的精确控制不容易实现，但是幅度控制容易实现；通过同时应用载波的幅度和相位两个维度，可以传输更多的信息；通过控制两路正交信号的幅度，等于控制了载波信号的幅度和相位。
- 双边带和单边带的概念（用IQ调制得到的是单边带信号）

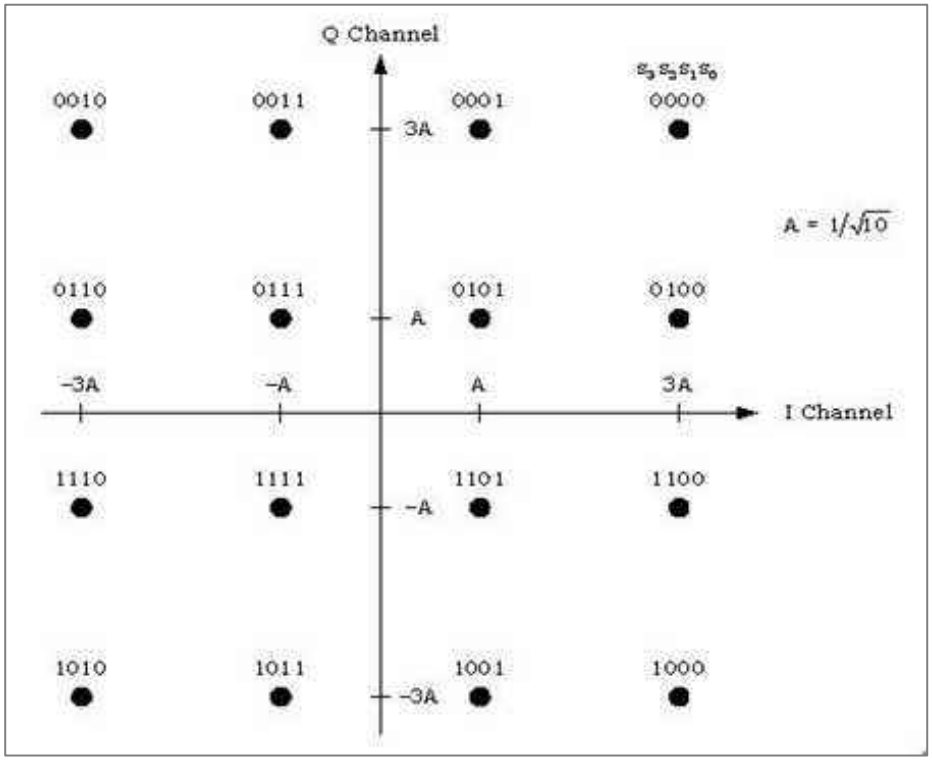


待传输的基带信号f的频谱　　f*cos（2Πf载波t）　　f*cos（2Πf载波t）- f*sin（2Πf载波t）

数字IQ调制

- 星座图——IQ调制中符号映射的描述





数字IQ调制

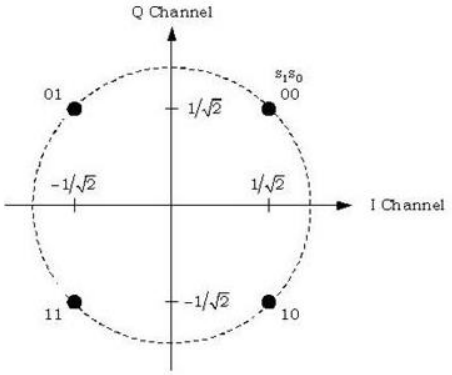
■ 举例

- 待传输信号：01010011
- 经过信道编码：01010011**0010**
- 经过符号映射：

01、01、00、11、00、10

I：$-\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}$

Q：$\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}$



数字IQ调制

- 正交上变频

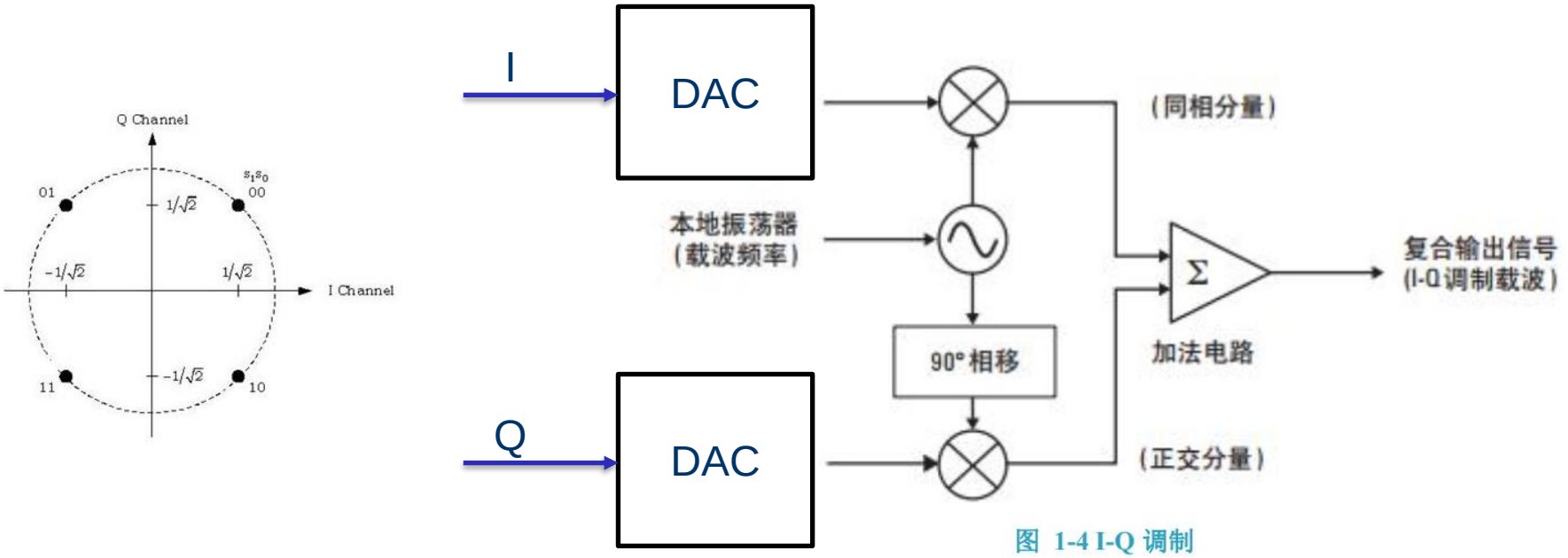
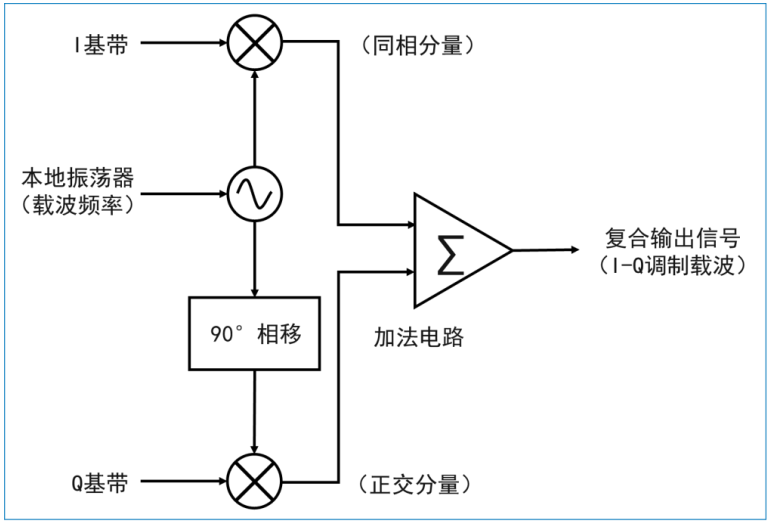


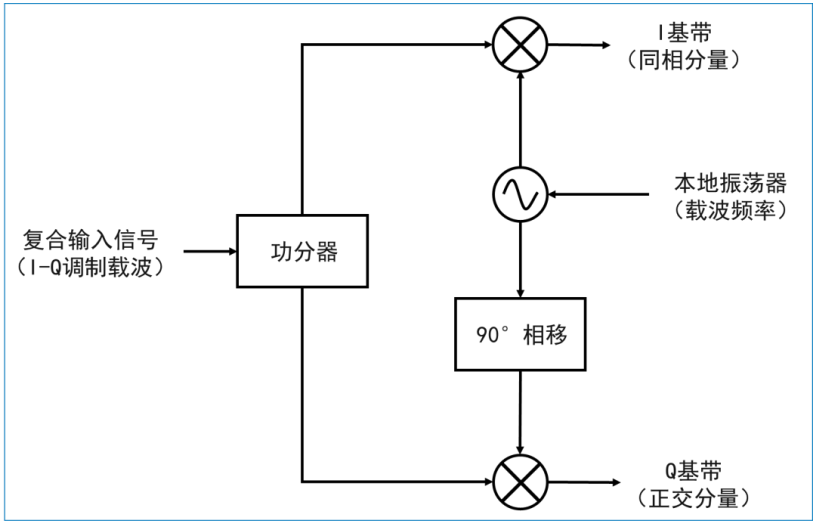
图 1-4 I-Q 调制

I/Q数据的变化或者更新速度，称为符号率（码率）；
DAC的采样率对应的是最大的符号率;
符号率*（bits/符号）= 比特率;

ASK调制解调



（a）I-Q调制

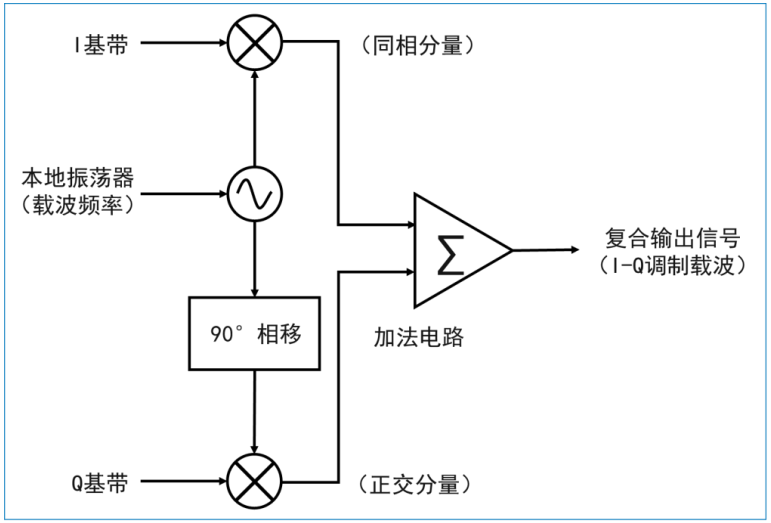


（b）I-Q解调

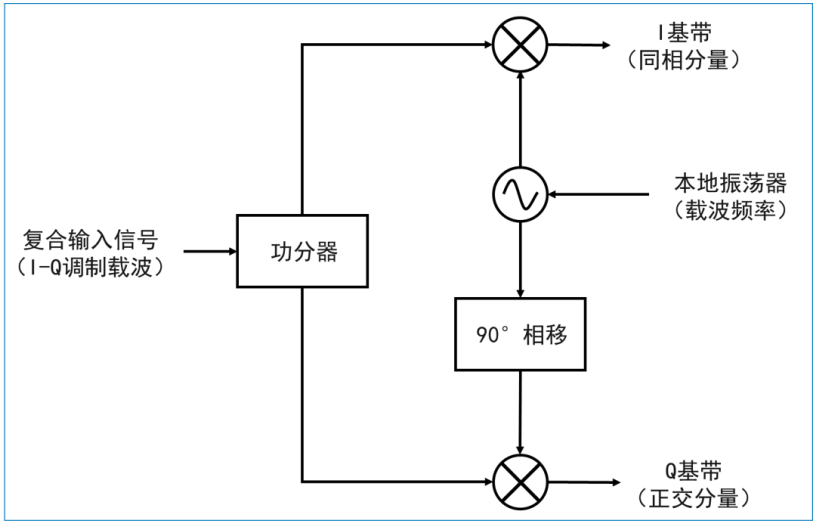
010100110010 → 2ASK调制 →

1):	12'd0	12'd4095	12'd0	12'd4095	…
2):	12'd0*(1+j)	12'd4095*(1+j)	12'd0 *(1+j)	12'd4095*(1+j)	…
3):	12'd0*j	12'd4095*j	12'd0*j	12'd4095*j	…

ASK调制解调



（a）I-Q调制

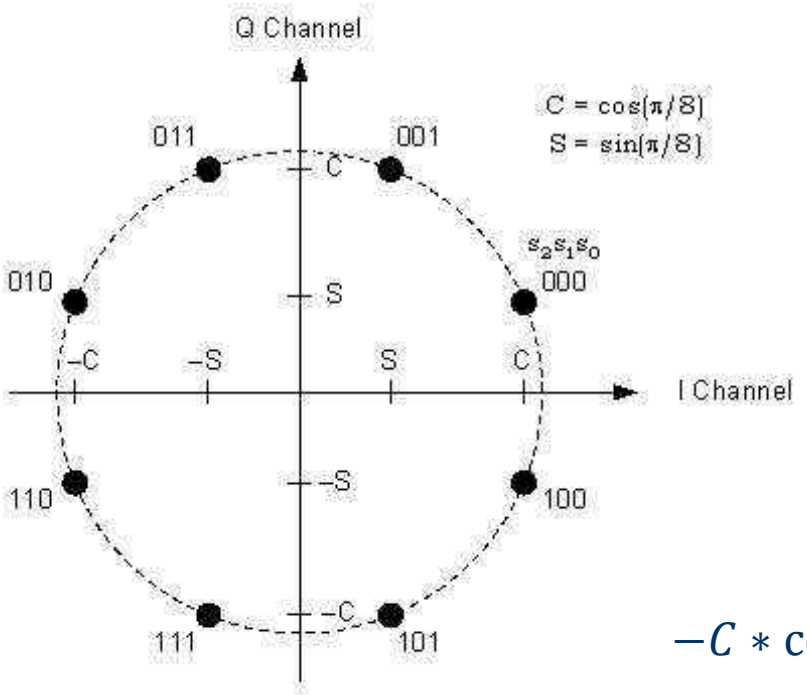


（b）I-Q解调

01010011<u>00</u>10 → 4ASK调制 →

1): 0.25*4095	0.25*4095	0	1*4095	…
2): 0.25*4095j	0.25*4095j	0j	1*4095j	…
3): 0.25*4095(1+j)	0.25*4095(1+j)	0+0j	1*4095(1+j)	…

PSK调制解调



010100110010

↓

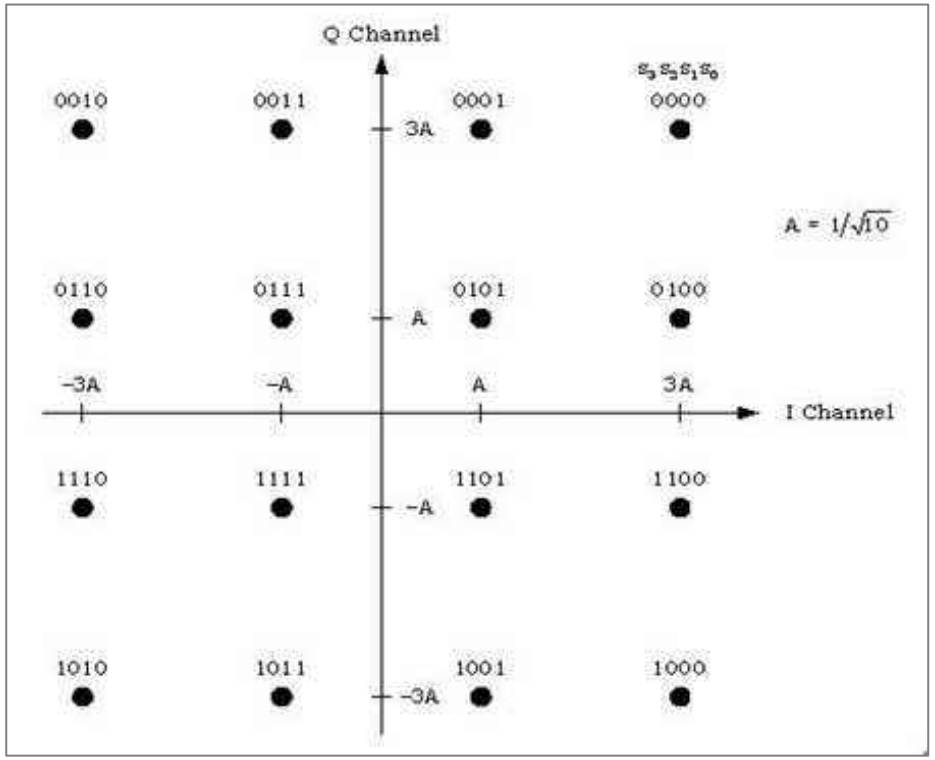
8PSK调制

↓

-C+Sj	C-Sj	-C-Sj	-C+Sj
I: -C	C	-C	-C
Q: S	-S	-S	S

$$-C * \cos\omega t - S * \sin\omega t = \cos\left(\omega t + arctan\left(\frac{S}{-C}\right)\right)$$

QAM调制解调



01010011 0010

↓

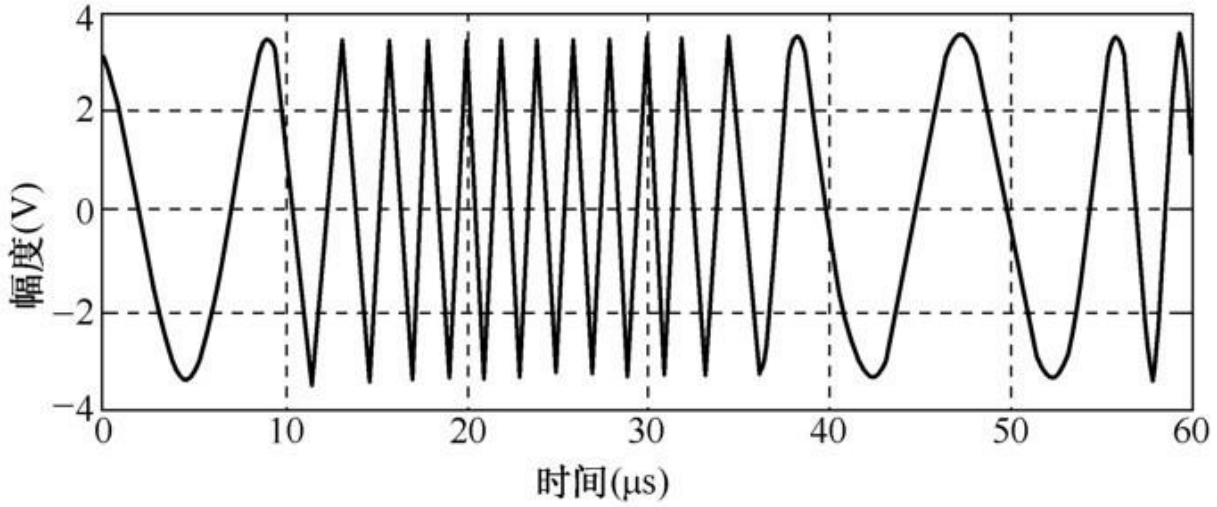
16QAM调制

↓

	A+Aj	-A+3Aj	-3A+3Aj
I:	A	-A	-3A
Q:	A	3A	3A

FSK调制解调

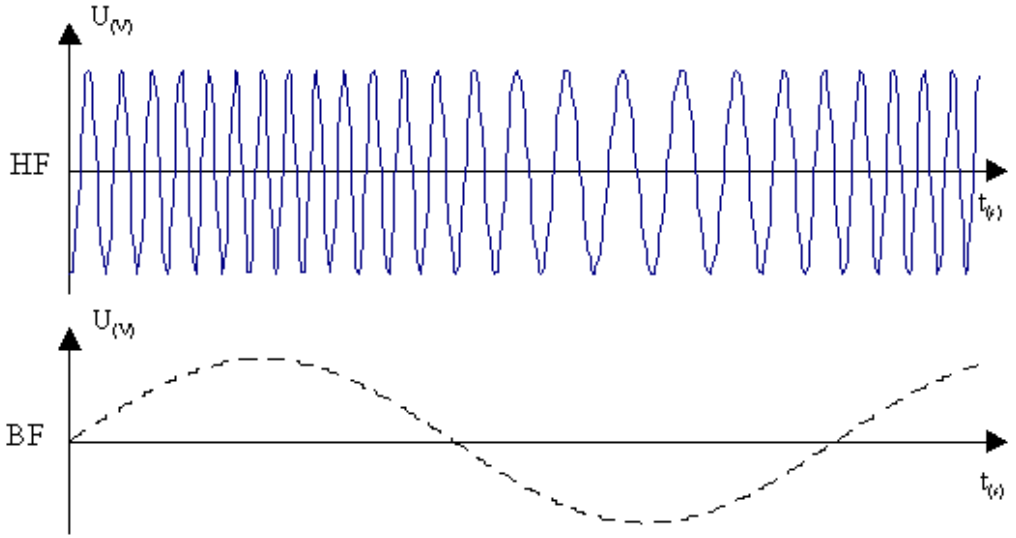
- 没有星座图
- 用载波的频率承载信息

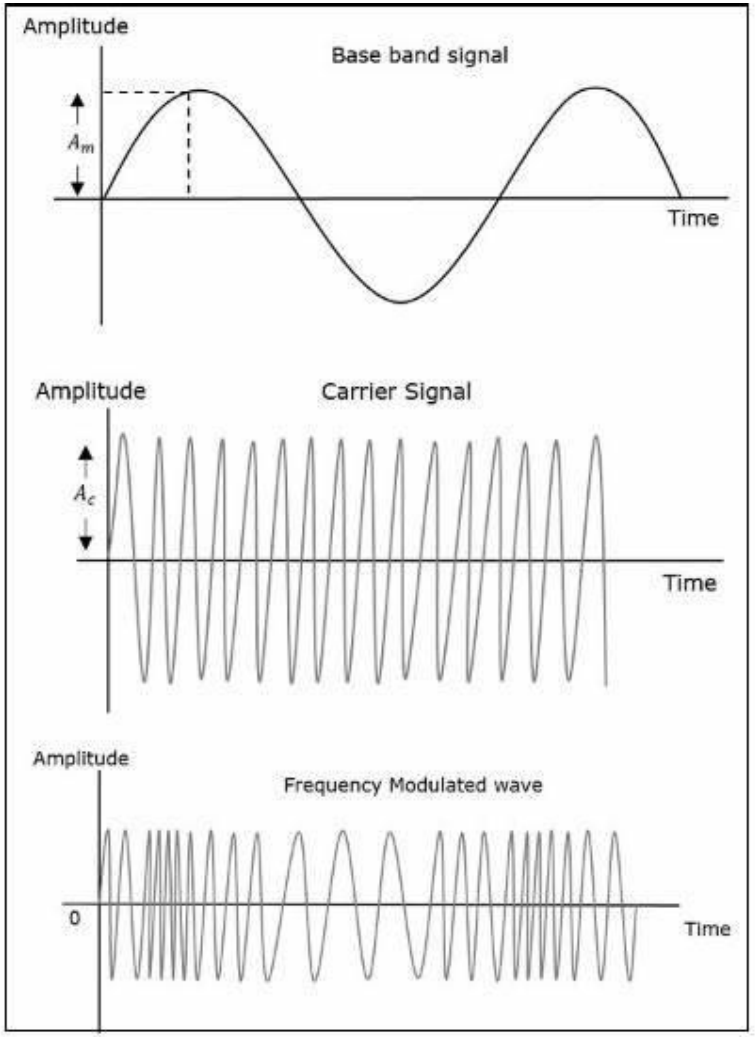


2FSK

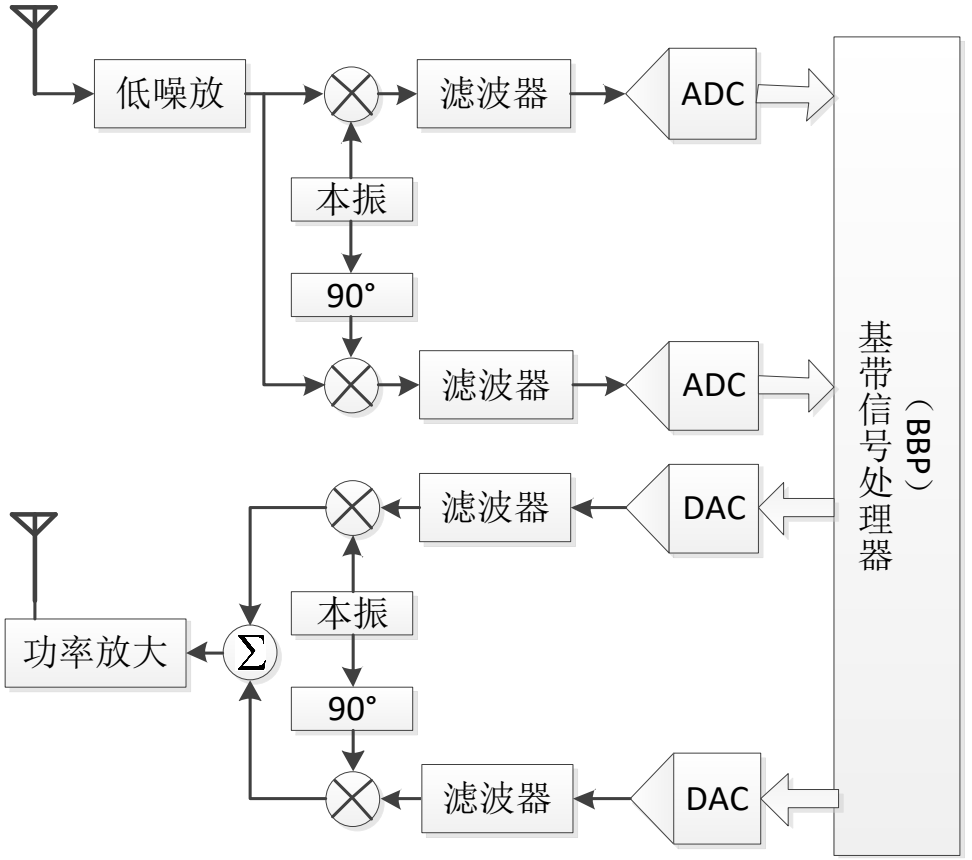
FSK调制解调

- 没有星座图
- 用载波的频率承载信息





实验平台Pluto SDR环境搭建



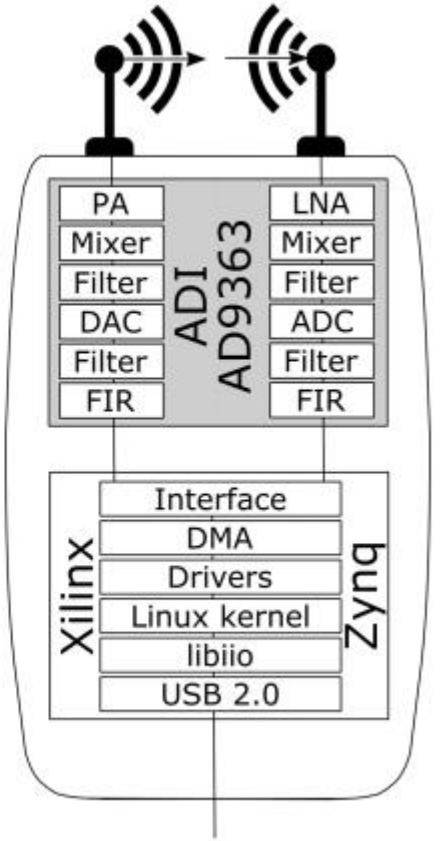
零中频软件无线电SDR的结构框图

基带信号处理器由
FPGA\DSP+PC两个部分完成

FPGA\DSP和PC之间用
USB|网口|PCIE通信

实验平台Pluto SDR环境搭建

PC端开发工具：matlab
和PC端的接口：USB2.0
射频频点：375MHz-3.8GHz
基带带宽：20MHz
通道数：1收1发



实验平台Pluto SDR环境搭建

analog.com/cn/parametricsearch/10727#/

公司 | MYANALOG | 产品

射频和微波 > 集成式RF发射器、接收器和收发器

宽带收发器 IC

选择参数 | 全部选择 | 重置表格 | 最大值滤波器 | 按最新排序 | 保存至 myAnalog

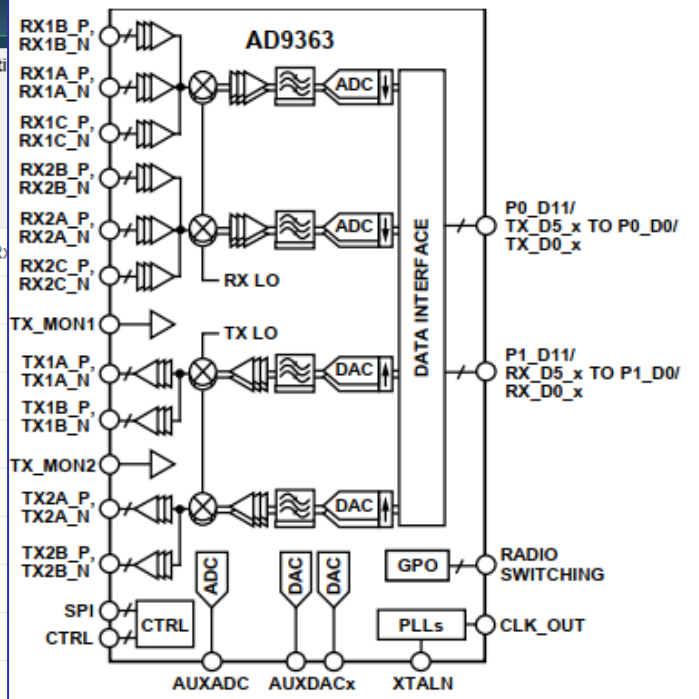
Compare | Filter Parts | 12 器件

产品型号	Freq Response min | Hz	Freq Response max | Hz	Device Configurati
	70M - 824M HIDE	960M - 6G HIDE	7 选定值 HIDE
ADRV9026 NEW	650M	6G	4 Rx + 4 Tx + 2 ORx
ADRV9008-1	75M	6G	2 Rx
ADRV9008-2	75M	6G	2Tx + 2 ORx
ADRV9009	75M	6G	2 Rx, 2 Tx
AD9375	300M	6G	2 Rx, 2 Tx
AD9371	300M	6G	2 Rx, 2 Tx
HMC8100	800M	4G	1 Rx
HMC8200	800M	4G	1 Tx
AD9364	71M	6G	1 Rx, 1 Tx
AD9363	325M	3.8G	2 Rx, 2 Tx
AD9361	70M	6G	2 Rx, 2 Tx
ADF4602	824M	960M	1 Rx, 1 Tx

RF Agile Transceiver

AD9363

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



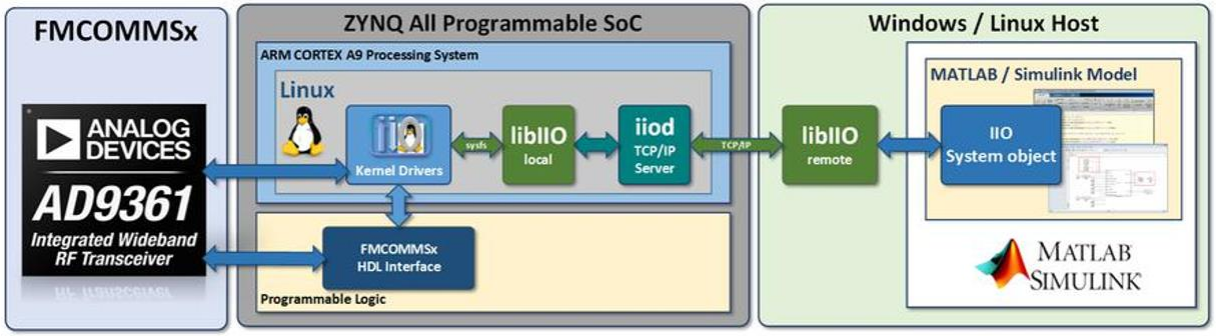
NOTES
1. SPI, CTRL, P0_D11/TX_D5_x TO P0_D0/TX_D0_x, P1_D11/ RX_D5_x TO P1_D0/RX_D0_x, AND RADIO SWITCHING CONTAIN MULTIPLE PINS.

10558-001

Figure 1.

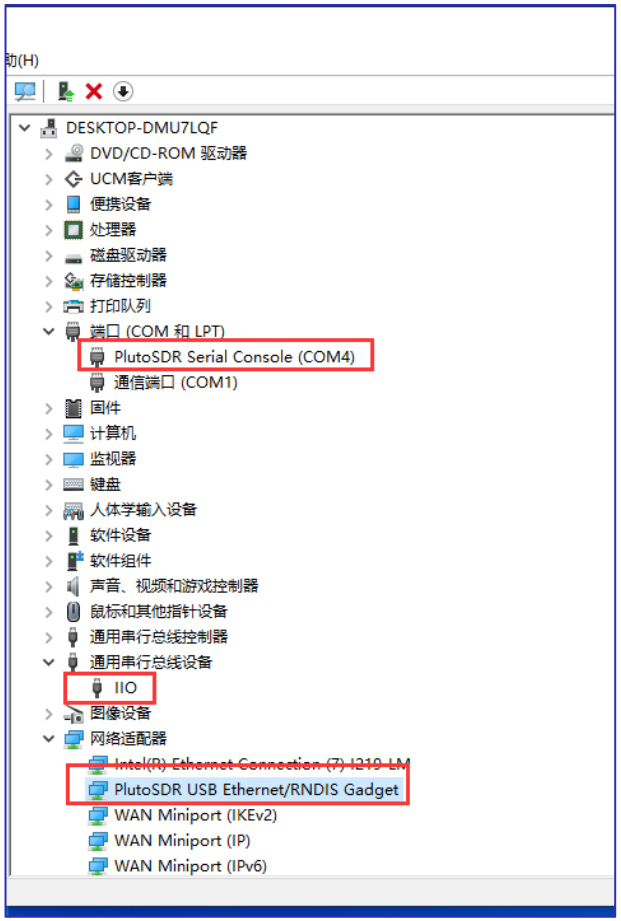
实验平台Pluto SDR环境搭建

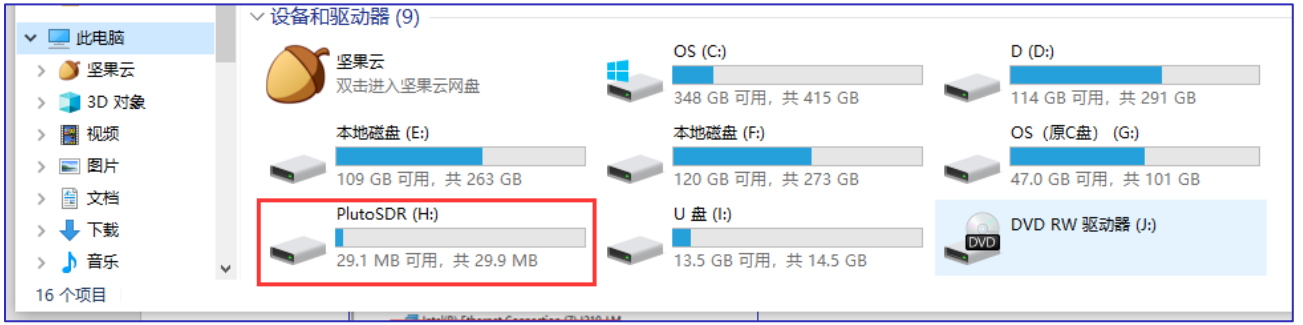
- 安装pluto的设备驱动
- 安装matlab
- 编译器安装TDM-GCC，设置环境变量
- IIO驱动安装

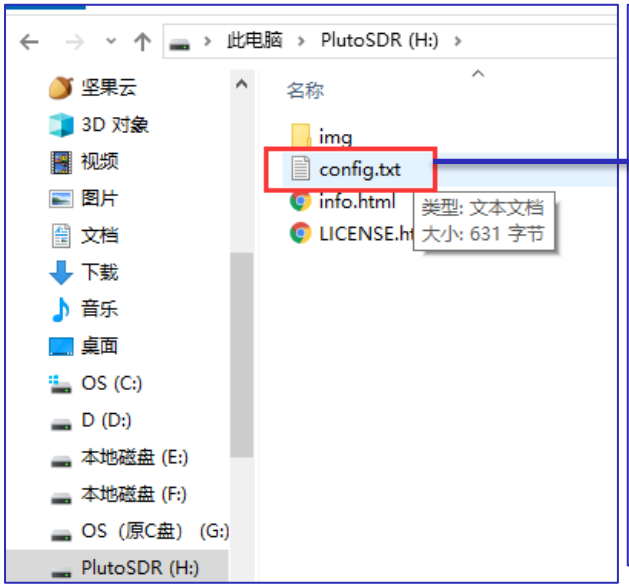


实验平台Pluto SDR环境搭建

- 怎样确定设备的驱动安装完整？

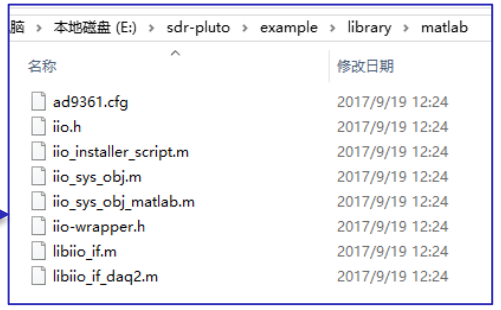


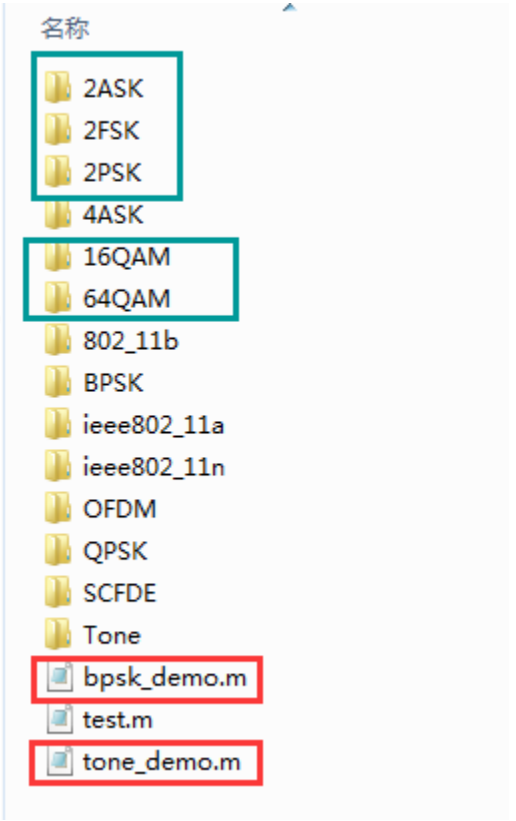


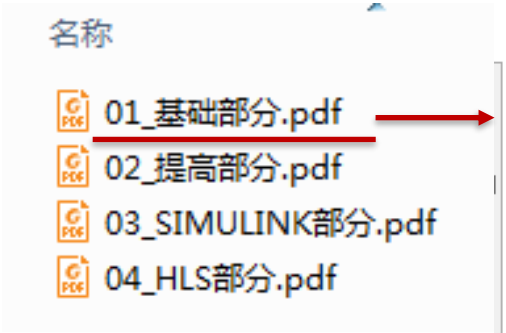


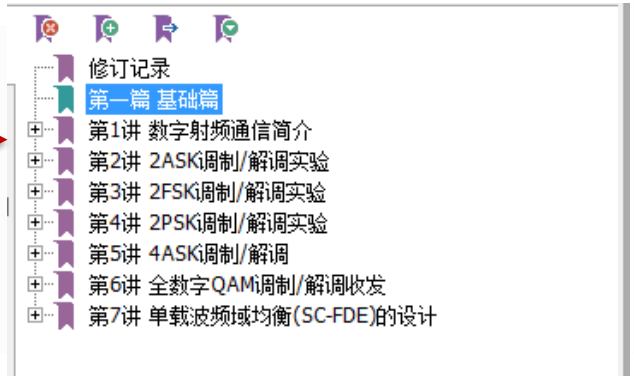
实验平台Pluto SDR环境搭建

- example（matlab demo 代码）
  - code
  - library
  - source_code
- 学习资料



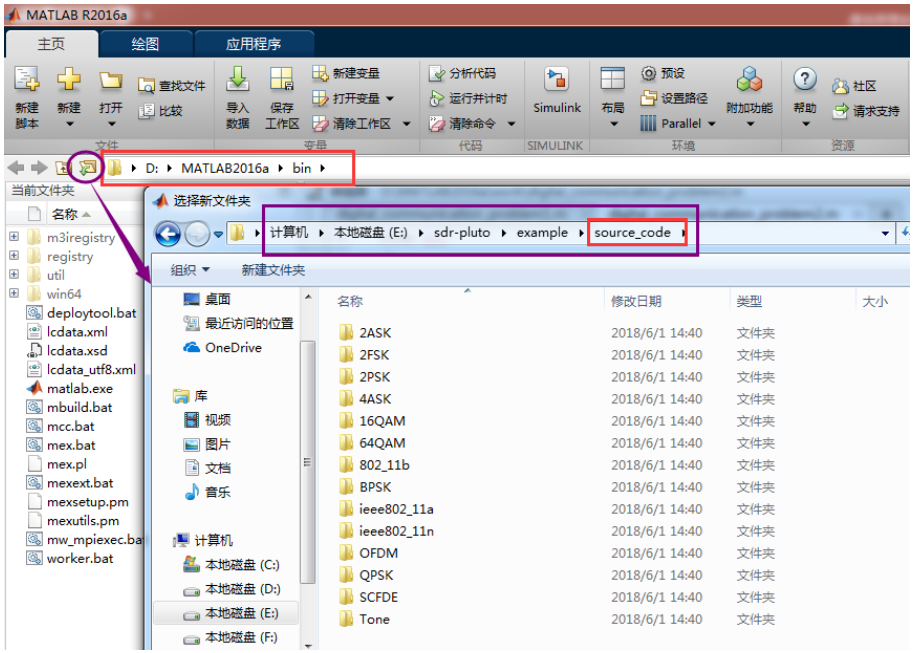




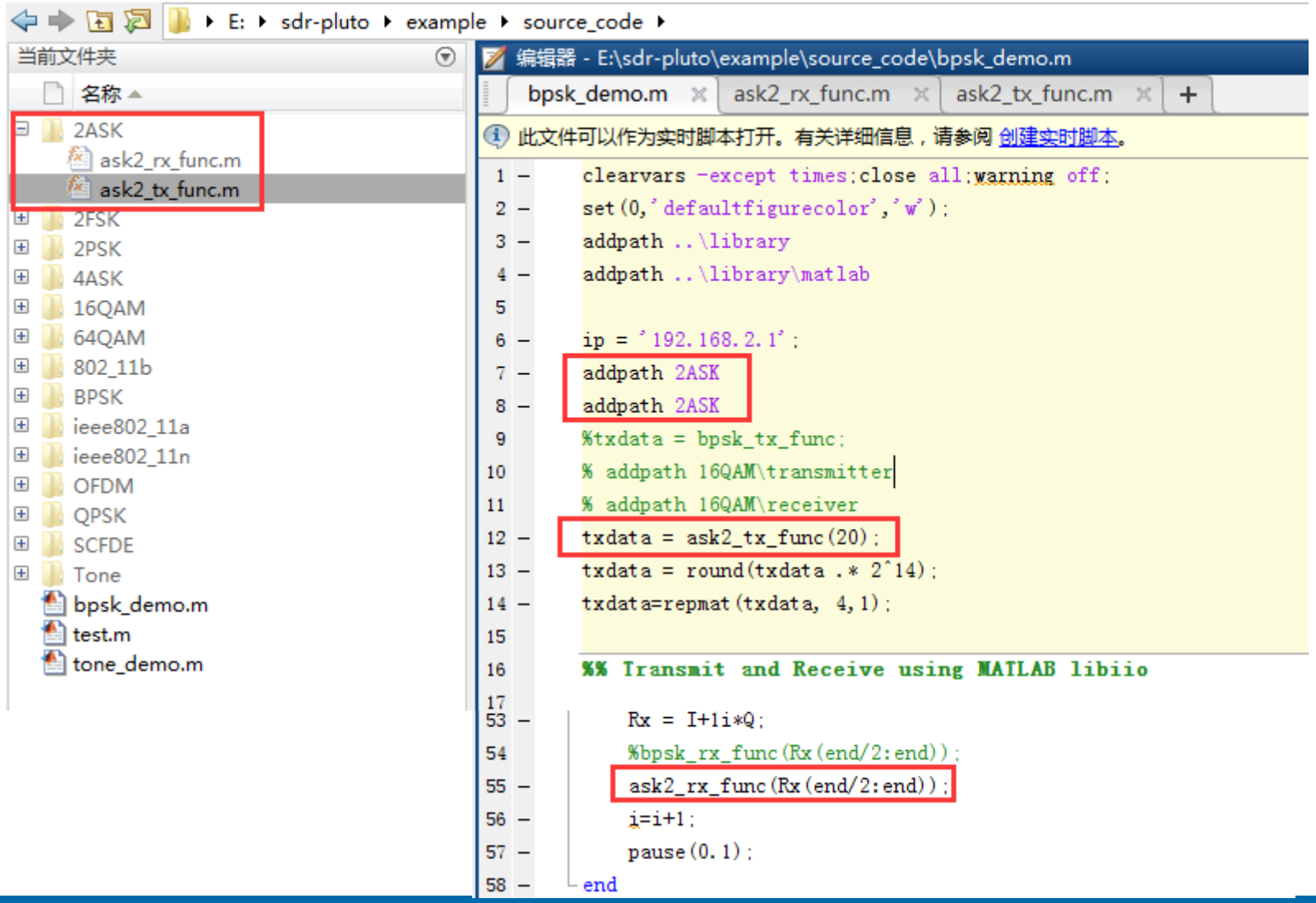


实验任务

- 注意工作路径设置
- 2ASK
- 2FSK
- 2PSK
- 16QAM



实验任务-2ASK


E: ▸ sdr-pluto ▸ example ▸ source_code ▸
当前文件夹
名称
2ASK
ask2_rx_func.m
ask2_tx_func.m
2FSK
2PSK
4ASK
16QAM
64QAM
802_11b
BPSK
ieee802_11a
ieee802_11n
OFDM
QPSK
SCFDE
Tone
bpsk_demo.m
test.m
tone_demo.m
编辑器 - E:\sdr-pluto\example\source_code\bpsk_demo.m
bpsk_demo.m
ask2_rx_func.m
ask2_tx_func.m
此文件可以作为实时脚本打开。有关详细信息，请参阅 创建实时脚本。
1 clearvars -except times;close all;warning off;
2 set(0,'defaultfigurecolor','w');
3 addpath ..\library
4 addpath ..\library\matlab
5
6 ip = '192.168.2.1';
7 addpath 2ASK
8 addpath 2ASK
9 %txdata = bpsk_tx_func;
10 % addpath 16QAM\transmitter
11 % addpath 16QAM\receiver
12 txdata = ask2_tx_func(20);
13 txdata = round(txdata .* 2^14);
14 txdata=repmat(txdata, 4,1);
15
16 %% Transmit and Receive using MATLAB libiio
17
53 Rx = I+1i*Q;
54 %bpsk_rx_func(Rx(end/2:end));
55 ask2_rx_func(Rx(end/2:end));
56 i=i+1;
57 pause(0.1);
58 end

实验任务-2ASK

编辑器 - E:\sdr-pluto\example\source_code\2ASK\ask2_tx_func.m

bpsk_demo.m | ask2_tx_func.m | ask2_rx_func.m

```m
function txdata = ask2_tx_func(frame_len)

%=====以下为数据调制部分=====%
%-----数据源数量-----%
bit_Num = frame_len;
%-----每个码元占据20个采样点，20M采样率下为1M-----%
bit_Width = 20;
%-----产生随机数据帧，length=500-----%
bit_trans = randi([0, 1],1,bit_Num);
%-----数据扩展，每个码元扩展为20位-----%
tmp1 = repmat(bit_trans',1,bit_Width);
data_trans = reshape(tmp1',1,length(tmp1).*bit_Width);
%-----产生I、Q两路载波信号，并量化-----%
carrier_I=cos(2*pi/20*[0:19]);
carrier_Q=sin(2*pi/20*[0:19]);
%-----载波扩展，长度和data_trans相等-----%
carrier_I=repmat(carrier_I,1,bit_Num);
carrier_Q=repmat(carrier_Q,1,bit_Num);
carrier=carrier_I+1i*carrier_Q;
%-----键控2ASK信号调制-----%
mod_data=data_trans.*carrier;
txdata=mod_data.';
end
```

编辑器 - E:\sdr-pluto\example\source_code\2ASK\ask2_rx_func.m

bpsk_demo.m | ask2_tx_func.m | ask2_rx_func.m

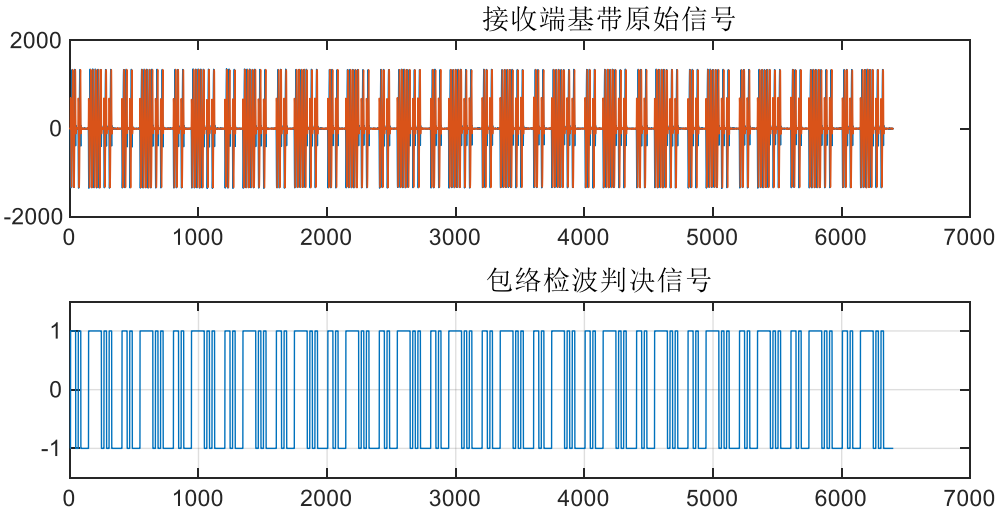
```m
function ask2_rx_func(rxdata)

c1=max(max([abs(real(rxdata)),abs(imag(rxdata))]));
rxdata_norm = rxdata./c1;

demod_2ask = abs(rxdata_norm) > 0.5;
demod_2ask = demod_2ask.*2 - 1;
demod_bits = demod_2ask(1:20:end).';
demod_bits = (demod_bits+1)./2;

figure(1);clf;
subplot(311);
plot(real(rxdata));
hold on;
plot(imag(rxdata));
title('接收端基带原始信号')
subplot(312);
plot(demod_2ask);
grid on;
ylim([-1.5 1.5]);
title('包络检波判决信号');
subplot(313);
text(0.0,0.5,num2str('解调序列：'));
text(0.0,0.1,num2str(demod_bits(1:100)));
axis off;
grid on;
ylim([-1 1]);
end
```

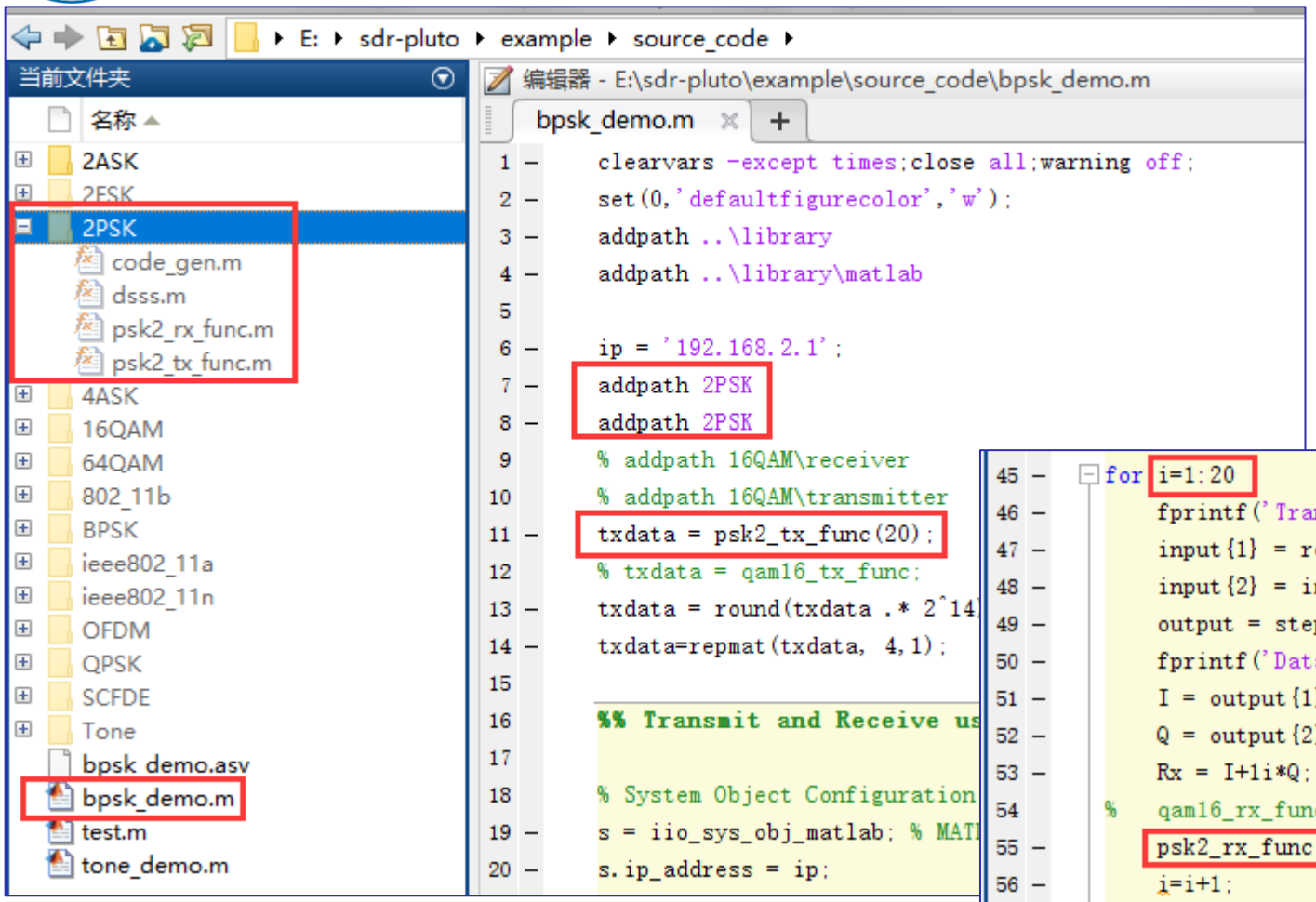
实验任务-2ASK



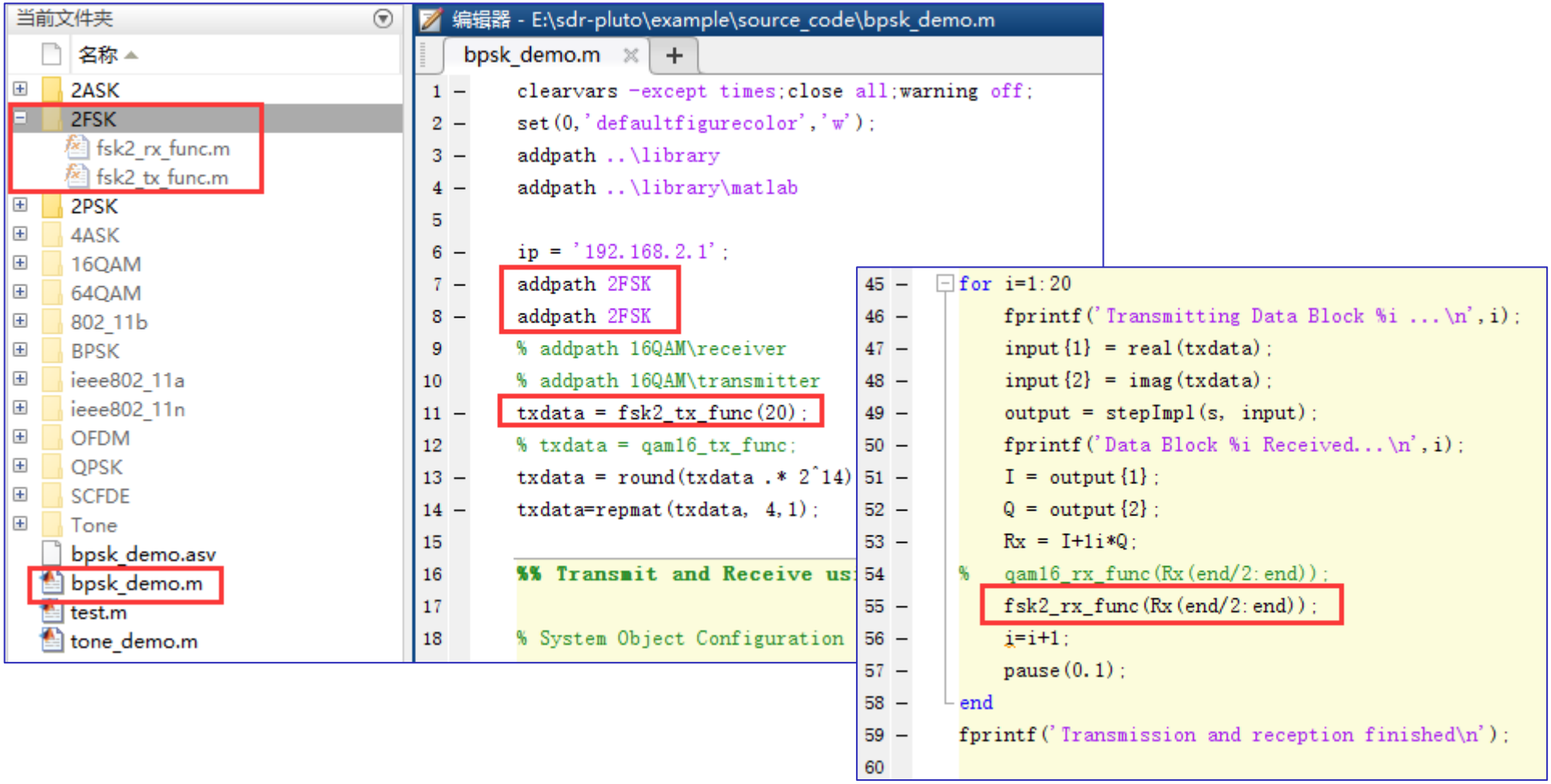
解调序列：

0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1

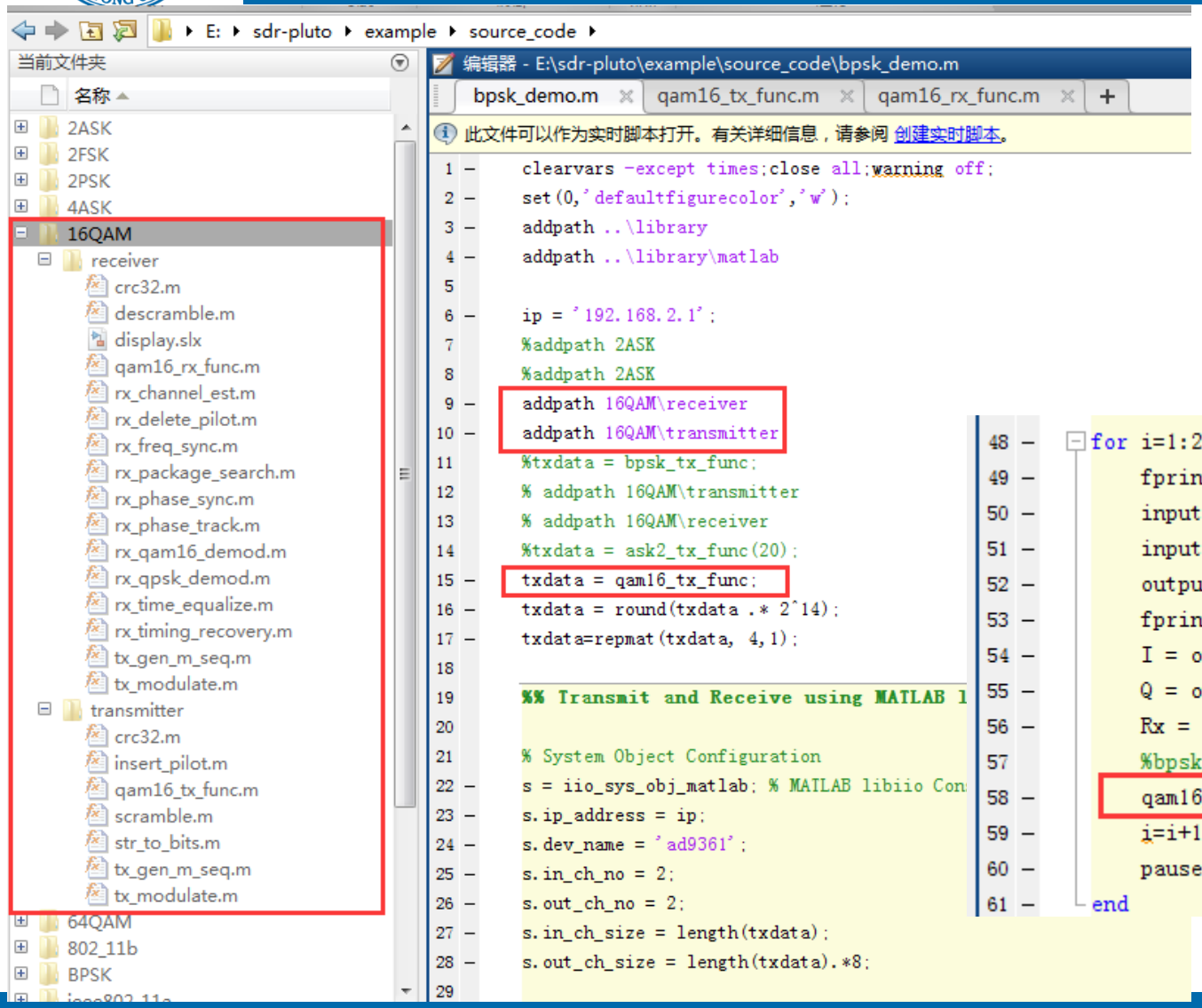
实验任务-2PSK


E: ▸ sdr-pluto ▸ example ▸ source_code ▸
当前文件夹
名称
2ASK
2FSK
2PSK
code_gen.m
dsss.m
psk2_rx_func.m
psk2_tx_func.m
4ASK
16QAM
64QAM
802_11b
BPSK
ieee802_11a
ieee802_11n
OFDM
QPSK
SCFDE
Tone
bpsk_demo.asv
bpsk_demo.m
test.m
tone_demo.m
编辑器 - E:\sdr-pluto\example\source_code\bpsk_demo.m
bpsk_demo.m
1 – clearvars -except times;close all;warning off;
2 – set(0,'defaultfigurecolor','w');
3 – addpath ..\library
4 – addpath ..\library\matlab
5
6 – ip = '192.168.2.1';
7 – addpath 2PSK
8 – addpath 2PSK
9 % addpath 16QAM\receiver
10 % addpath 16QAM\transmitter
11 – txdata = psk2_tx_func(20);
12 % txdata = qam16_tx_func;
13 – txdata = round(txdata .* 2^14
14 – txdata=repmat(txdata, 4,1);
15
16 %% Transmit and Receive us
17
18 % System Object Configuration
19 – s = iio_sys_obj_matlab; % MAT
20 – s.ip_address = ip;
45 – for i=1:20
46 – fprintf('Transmitting Data Block %i ...\n',i);
47 – input{1} = real(txdata);
48 – input{2} = imag(txdata);
49 – output = stepImpl(s, input);
50 – fprintf('Data Block %i Received...\n',i);
51 – I = output{1};
52 – Q = output{2};
53 – Rx = I+1i*Q;
54 % qam16_rx_func(Rx(end/2:end));
55 – psk2_rx_func(Rx(end/2:end));
56 – i=i+1;
57 – pause(0.1);
58 – end

实验任务-2FSK


当前文件夹
名称
2ASK
2FSK
fsk2_rx_func.m
fsk2_tx_func.m
2PSK
4ASK
16QAM
64QAM
802_11b
BPSK
ieee802_11a
ieee802_11n
OFDM
QPSK
SCFDE
Tone
bpsk_demo.asv
bpsk_demo.m
test.m
tone_demo.m
编辑器 - E:\sdr-pluto\example\source_code\bpsk_demo.m
bpsk_demo.m
clearvars -except times;close all;warning off;
set(0,'defaultfigurecolor','w');
addpath ..\library
addpath ..\library\matlab
ip = '192.168.2.1';
addpath 2FSK
addpath 2FSK
% addpath 16QAM\receiver
% addpath 16QAM\transmitter
txdata = fsk2_tx_func(20);
% txdata = qam16_tx_func;
txdata = round(txdata .* 2^14);
txdata=repmat(txdata, 4,1);
%% Transmit and Receive us
% System Object Configuration
for i=1:20
fprintf('Transmitting Data Block %i ...\n',i);
input{1} = real(txdata);
input{2} = imag(txdata);
output = stepImpl(s, input);
fprintf('Data Block %i Received...\n',i);
I = output{1};
Q = output{2};
Rx = I+1i*Q;
% qam16_rx_func(Rx(end/2:end));
fsk2_rx_func(Rx(end/2:end));
i=i+1;
pause(0.1);
end
fprintf('Transmission and reception finished\n');

实验任务-QAM调制解调



实验报告要求

1 调制解调

一 实验内容

1.1 2ASK 幅移键控
1.2 2FSK 频移键控
1.3 2PSK 相移键控
1.4 QAM 调制

二 实验原理

2.1 IQ 调制基本原理
2.2 2ASK、2PSK、2FSK 的调制解调原理
2.3 QAM 调制解调原理

三 实验过程

3.1 发送端整体框图
3.2 发送端数据帧结构
3.3 接收端整体框图
3.4 接收时对帧的拆解步骤
3.5 QAM 调制解调的具体实现

四 实验结果及分析

五 思考题

5.1 实验中的符号率、采样率、比特率各是多少？之间有怎样的对应关系
5.2 你实现的 QAM 映射是格雷映射吗？格雷映射有什么优点？画出你的 QAM 星座图