

实 验 报 告（五）

一、实验室名称：

二、实验项目名称：雷达信号产生与检测器设计实验

三、实验学时：

四、实验原理：

对通信信号的干扰有噪声干扰、转发干扰等方式。噪声干扰主要把噪声调制到发射通信信号频带内，通过降低正常通信信号的接收质量从而达到干扰的目的，噪声干扰包括单音干扰、多音干扰、窄带干扰、宽带干扰等。转发干扰则把接收到的通信信号复制后直接转发，让合作通信的接收方无法识别正确传输的信息。对数字通信信号的干扰影响可通过观察解调误码率来评估干扰效果。

五、实验目的：

（1）针对 LFM、相位编码脉冲压缩雷达对抗目标，掌握侦察接收机截获信号样本的模拟产生方法；

（2）掌握非合作方对截获雷达信号的检测原理，并对检测性能进行性能仿真。

六、实验内容：

- （1）侦察接收机截获的 LFM 雷达信号的模拟仿真；
- （2）侦察接收机截获的相位编码雷达信号的模拟仿真；
- （3）对截获雷达信号能量检测器的仿真；
- （4）仿真不同信噪比情况下的能量检测器的 ROC 曲线。

七、实验器材（设备、元器件）：

计算机、Matlab 计算机仿真软件

八、实验步骤：

- 1.产生特定参数(脉宽、带宽、起始频率、TOA)的 LFM、BPSK 脉冲雷达信号；
- 2.按照 SNR 产生特定方差的 AWGN；
- 3.进行多次蒙特卡罗仿真（每次仿真中独立产生噪声）
- 4.每次仿真中噪声、噪声+信号分别做能量计算处理

5.设定虚警概率（门限），计算检测概率，画出 ROC 曲线

6.改变 SNR，画出 ROC 并在不同 SNR 情况下比较

九、实验数据及结果分析

(1) LFM、BPSK 脉冲雷达信号

雷达信号产生程序如下

```
function S = radar_signal(f0, theta, phi, tau, A)
N = length(theta);
n = -N/2:N/2-1;
```

```
phase = 2*pi * f0 * n + theta + phi; % 信号相位
```

```
S = A * rectpuls(n, tau) .*exp(1j*phase);
end
```

LFM 和 BPSK 信号产生的测试代码如下

```
clear all;clc;close all;
```

```
ts = 5000; % 仿真信号时长
```

```
fs = 1;
```

```
fd = 0.1; %符号速率
```

```
fc = 0.5; % 载频
```

```
tau = 4500; % 脉冲宽度
```

```
A = 1; % 振幅
```

```
N = ts * fs; % 采样点数
```

```
n = -N/2:N/2-1;
```

```
t = -ts/2:1/fs:ts/2-1;
```

```
%% 信号
```

```
% LFM
```

```
B = 0.4; % 带宽
```

```
K = B / tau; % 调制斜率
```

```
LFM_signal = radar_signal(fc, K*pi*(n.^2), 0, tau, A);
```

```
% BPSK
```

```
s = (randsrc(ts*fd,1,[0:1]) * ones(1, fs/fd)).';
```

```
tn = pi .* s(:).'.* rectpuls(n, tau);
```

```
BPSK_signal = radar_signal(fc, tn, 0, tau, A);
```

```
FF = linspace(0, 1, N);
```

```
LFM_fft = abs(fft(LFM_signal));
```

```

BPSK_fft = abs(fft(BPSK_signal));

figure;
plot(t, real(LFM_signal));
xlim([-N/32, N/32]);
title('LFM signal');xlabel('time/s');ylabel('amplitude');

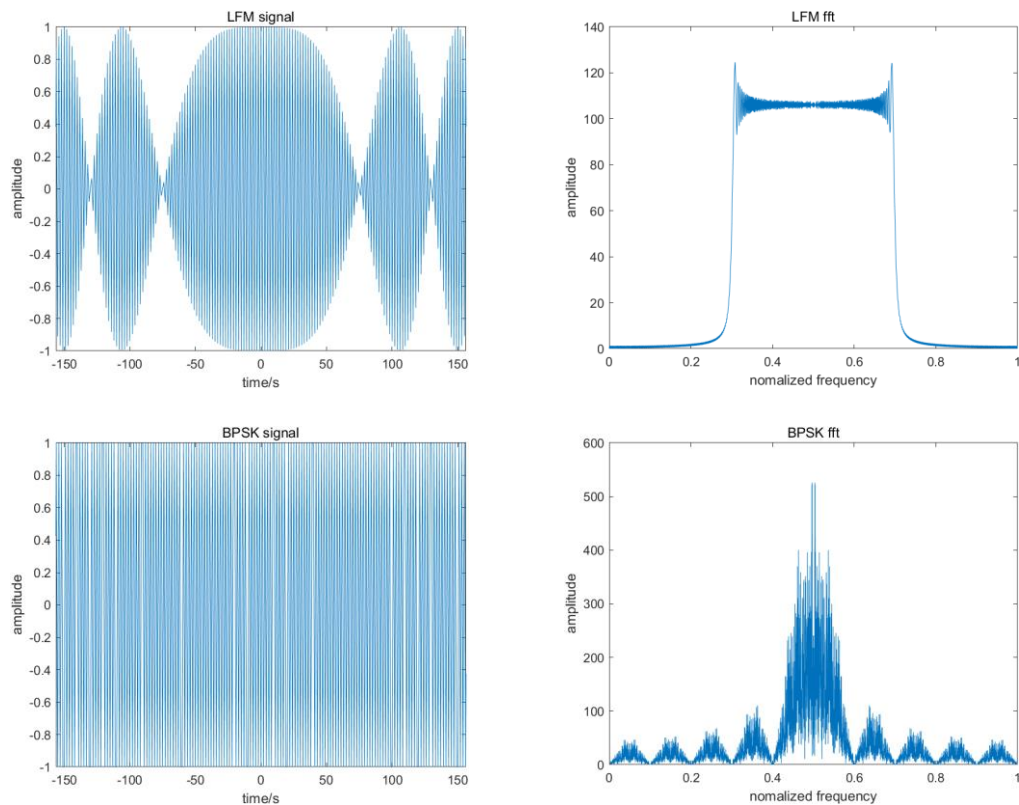
figure;
plot(FF, LFM_fft);
title('LFM fft');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

figure;
plot(t, real(BPSK_signal));
xlim([-N/32, N/32]);
title('BPSK signal');xlabel('time/s');ylabel('amplitude');

figure;
plot(FF, BPSK_fft);
title('BPSK fft');xlabel('nomalized
frequency');ylabel('amplitude');

```

结果如下



(2) 设定虚警概率（门限），计算检测概率

能量检测器的代码如下

```
function flag = detector(signal, ps, SNR, Pf)
N = length(signal);
SNR = 10^(SNR/10);

th = ps/SNR * (N+sqrt(2*N)*sqrt(2)*erfcinv(2*Pf)); %门限值
power = sum(abs(signal).^2); %接收信号能量

if power > th
    flag = 1; %进行判决
else
    flag = 0;
end
end
```

(3) 改变 SNR，画出 ROC 并在不同 SNR 情况下比较

测试代码如下

```
clear all;clc;close all;

T = 1000; % 仿真时长
Fs = 1; % 采样速率
fc = 0.5; % 载频
tau = 600; % 脉冲宽度
A = 1; % 振幅

Mc = 1000; % 蒙特卡洛实验次数
Pfs = (0.01:0.02:1).^2; % 虚警概率
SNRs = -20:2:-10; % 信噪比

N = Fs * T; % 采样点数
n = -N/2:N/2-1;
t = -T/2:1/Fs:T/2-1;

Pd = zeros(length(SNRs), length(Pfs));
for SNR = SNRs
    i = (SNR + 20)/2 + 1;
    for k = 1:Mc
        t = ((k-1)*N+1:k*N) / Fs; %时间轴
        phase = 2*pi * fc * t;
        S = A * rectpuls(n, tau) .* exp(1j*phase);
        ps = sum(abs(S).^2) / N; % 信号功率
        y = awgn(S, SNR, 10*log10(ps));
        for j = 1:length(Pfs)
```

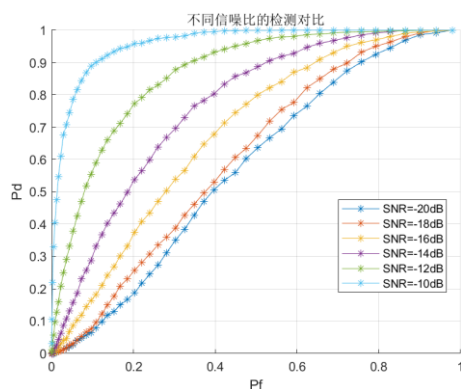
```

Pd(i, j) = Pd(i, j) + detector(y, ps, SNR,
Pfs(j));
    end
end
end
Pd = Pd/Mc;

figure
hold on;
for i = 1:length(SNRs)
    plot(Pfs, Pd(i,:), '*-');
end
grid on
legend('SNR=-20dB', 'SNR=-18dB', 'SNR=-16dB', 'SNR=-14dB', 'SNR=-12dB', 'SNR=-10dB');
title ('不同信噪比的检测对比')
xlabel('Pf');
ylabel('Pd');

```

测试结果如下



十、实验结论

LFM 雷达信号的模拟仿真：通过产生特定参数的 LFM 脉冲雷达信号，可以观察 LFM 雷达信号的时域特征和频域特征。

相位编码雷达信号的模拟仿真：通过产生特定参数的 BPSK 脉冲雷达信号，可以观察相位编码雷达信号的时域特征和频域特征。

雷达信号能量检测器的仿真：对截获的雷达信号进行能量计算处理，可以实现对雷达信号的能量检测。

不同信噪比下能量检测器的 ROC 曲线：通过多次蒙特卡罗仿真，改变信噪比（SNR），可以绘制能量检测器的 ROC 曲线。该曲线显示了在不同信噪比情

况下，能量检测器的检测概率与虚警概率之间的关系。

该实验主要是通过仿真方法模拟 LFM 雷达信号和相位编码雷达信号，并使用能量检测器对截获的信号进行分析。通过绘制不同信噪比下的 ROC 曲线，可以评估能量检测器在不同噪声水平下的性能和灵敏度。

十一、总结及心得体会

总结：

该实验主要通过仿真方法模拟 LFM 雷达信号和相位编码雷达信号的接收过程，并使用能量检测器对截获的信号进行分析。实验的步骤包括产生特定参数的雷达信号、生成特定方差的噪声、进行多次蒙特卡罗仿真以及计算能量和绘制 ROC 曲线等。

心得体会：

通过参与实验，我对雷达信号的产生、传输和接收过程有了更深入的了解。通过模拟仿真，我能够观察和分析不同类型的雷达信号，并通过能量检测器来判断信号的存在与否。此外，实验还提供了通过改变信噪比来评估能量检测器性能的方法，通过绘制 ROC 曲线来比较不同噪声水平下的检测概率和虚警概率。这对于评估和设计雷达系统的性能至关重要。

这个实验让我学到了很多关于雷达信号产生与检测方面的知识，提升了我在信号处理领域的能力和技能。通过实验，我深入了解了 LFM 雷达信号和相位编码雷达信号的仿真方法，以及能量检测器的设计和性能评估。这将对我今后的研究和实践工作有很大的帮助。

十二、对本实验过程及方法、手段的改进建议：

希望将恒虚警检测的原理加入实验原理部分，不然真的是一脸懵。

信号的检测问题可以看作是二元假设问题

$$x(t) = \begin{cases} n(t), & H_0 \\ s(t) + n(t), & H_1 \end{cases}$$

其中, $s(t)$ 表示信号, $n(t)$ 表示噪声, 其方差可以设为 σ^2 , H_i , $i = 0, 1$ 表示不同假设。

在观测时间 T 中, 计算接收信号的能量与门限 th 进行比较, 如果大于门限 th 的话, 则判为 H_1 , 即有信号; 否则判为 H_0 , 即无信号。在实际中一般采用的数字信号, 那么接收信号可以表示为

$$x(i) = \begin{cases} n(i), & H_0 \\ s(i) + n(i), & H_1 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

其中, N 表示的是样本点数。那么检验统计量 D 可以表示为

$$D = \sum_i x^2(i)$$

可以证明, 该检验统计量近似服从高斯分布, 具体为

$$\begin{aligned} H_0 : D &\sim \text{Normal}(N\sigma^2, 2N\sigma^4) \\ H_1 : D &\sim \text{Normal}\left(N(\sigma^2 + \sigma_s^2), 2N(\sigma^2 + \sigma_s^2)^2\right) \end{aligned}$$

其中, σ_s^2 表示信号的平均功率。

对于恒虚警检测来说, 当信号不存在的时候可以通过虚警概率 P_f 来确定检测门限 th , 这是由于在 H_0 的假设条件下, 检验统计量 D 服从高斯分布, 虚警概率

$$P_f = P(D > th | H_0)$$

那么可以得到

$$P_f = Q\left(\frac{th - N\sigma^2}{\sqrt{2N\sigma^4}}\right)$$

其中, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$

那么检测门限 th 可以通过上式进行计算

$$th = \sigma^2 \left(N + \sqrt{2N} Q^{-1}(P_f) \right)$$

同样, 在 H_1 的假设条件下, 可以利用归一化的方法得到, 检验统计量 D 也服从高斯分布, 那么检测概率可以表示为

$$P_d = P(D > th | H_1) = Q\left(\frac{th - N(\sigma^2 + \sigma_s^2)}{\sqrt{2N(\sigma^2 + \sigma_s^2)^2}}\right)$$

将门限 th 带入, 可以求的系统的检测概率。

当然能量也可以使用归一化的能量进行判决。此外, 还有采用多个门限进行判决, 提高检测概率, 这里就不再叙述。