西北工业大学

《信号与系统》实验报告

学　　院：　软件学院

学　　号：　2020302878

姓　　名：　楚逸飞

专　　业：　软件工程

实验时间：　2022.11.25

实验地点：　线上实验

指导教师：　汪彦婷、柳艾飞

西北工业大学

2022 年　11 月

一、实验目的

1.掌握抽样定理，验证抽样定理；
2.掌握利用 Matlab 完成信号抽样的方法，并对抽样信号的频谱进行分析；
3.了解运用 Matlab 对抽样信信号进行恢复的方法。

二、实验报告要求

1. 提交：实验报告一份，PDF 格式，其他格式拒收。
2. 实验报告中需要包括：
   a) 若题目要求理论结果，报告中需要给出理论结果。
   b) 结果图；图中需要有适当的标识、横坐标、纵坐标等。
   c) 源代码。源代码中要有合适的注释。
   d) 实验体会和感悟.

三、实验设备（环境）

操作系统 Windows11
编程软件：推荐 Matlab2021a

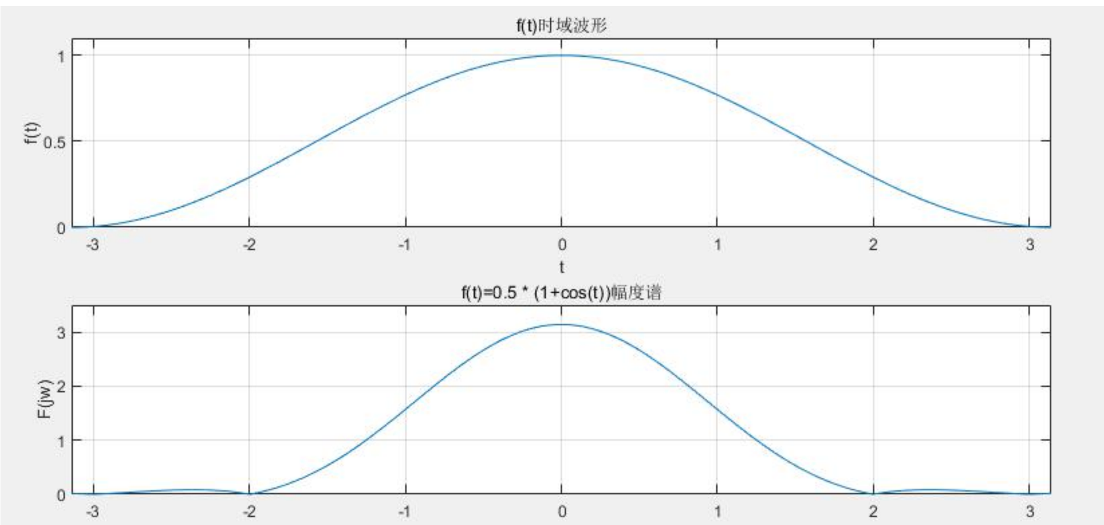
四、实验内容与实验结果

1. 抽样定理验证实验

已知连续信号为$f(t) = 0.5(1 + cos\, t)$，$-\pi \le t \le \pi$

1）绘制$f(t)$时域波形和频谱；

结果图：



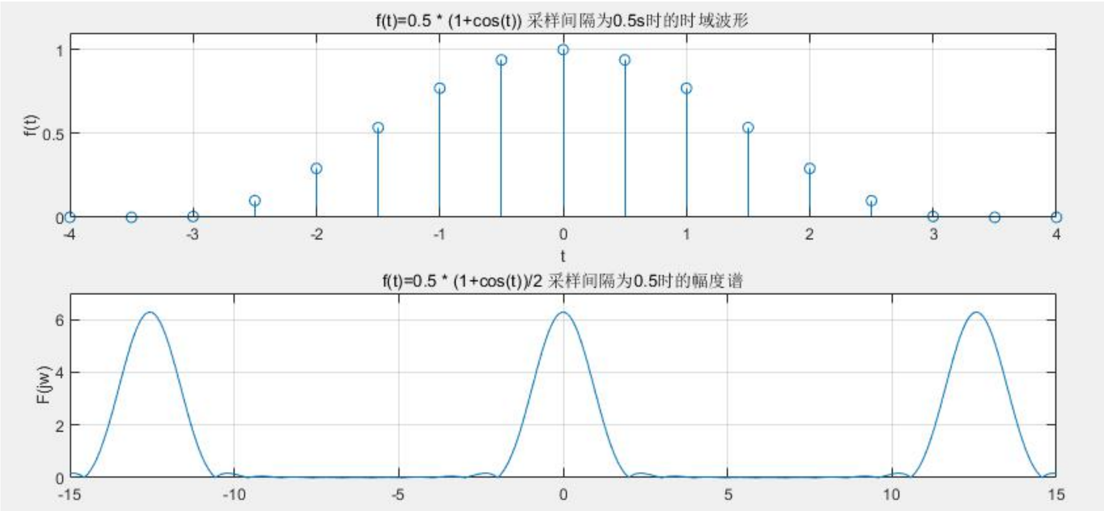
代码：

```
function ex3_1_1()
    t = -pi:0.01:pi;
    f = ((1+cos(t))/2) .* (stepfun(t,-pi)-stepfun(t,pi));
    figure;
    subplot(2,1,1),plot(t,f);
    title('f(t)时域波形');
    grid on;
    xlabel('t');
    xlim([-pi, pi]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.1]);

    omega1=-pi;omega2=pi;K=4000;
    OMEGA=omega2-omega1;
    delta_omega=OMEGA/K;
    omega=omega1:delta_omega:omega2;
    F=0.01*(f*exp(-1i*t'*omega));

    subplot(2,1,2);
    plot(omega,abs(F));
    title('f(t)=0.5 * (1+cos(t))幅度谱');
    grid on;
    xlabel('w');
    xlim([-pi,pi]);
    ylabel('F(jw)')
    ylim([0. 3.5]);
end
```

2）分别绘制抽样间隔为 0.5s、1s、2s 时的抽样信号的时域波形和频谱；

①抽样间隔为 0.5s：

结果图：

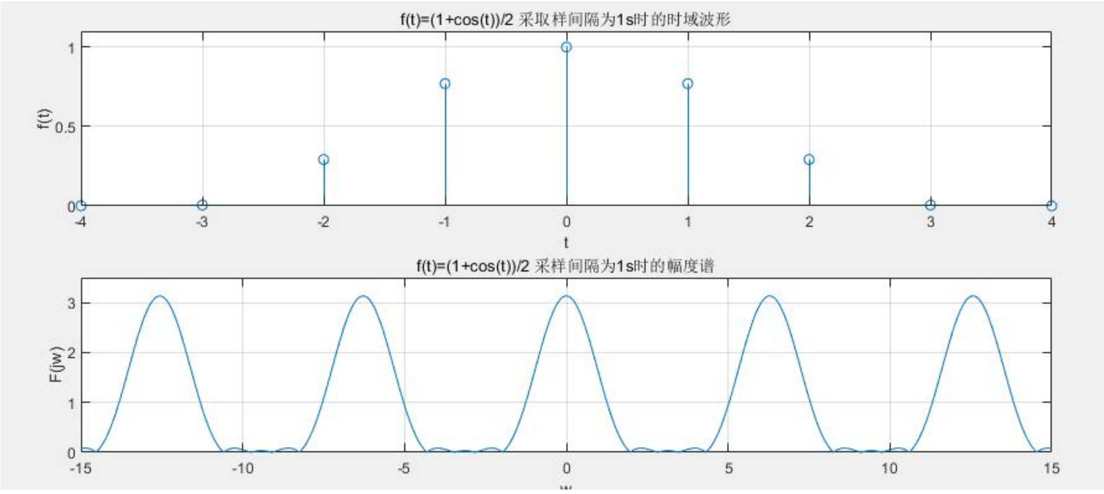


代码:

```
function ex3_1_2_1()
    Ts=0.5;
    ts=-20:Ts:20;
    fs=((1+cos(ts))/2).*(heaviside(ts+pi)-heaviside(ts-pi));
    figure;
    subplot(2,1,1);
    stem(ts,fs);
    title('f(t)=0.5 * (1+cos(t)) 采样间隔为0.5s时的时域波形');
    grid on;
    xlabel('t');
    xlim([-4, 4]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.1]);

    omega1=-8*pi;omega2=8*pi;K=4000;
    OMEGA=omega2-omega1;
    delta_omega=OMEGA/K;
    omega=omega1:delta_omega:omega2;
    Fs=Ts*(fs*exp(-1i*ts'*omega));
    subplot(2,1,2)
    plot(omega,abs(2 * Fs));
    title('f(t)=0.5 * (1+cos(t))/2 采样间隔为0.5时的幅度谱');
    grid on;
    xlabel('w');
    xlim([-15,15]);
    ylabel('F(jw)');
    ylim([0, 7])
end
```

②抽样间隔为 1s：

结果图：

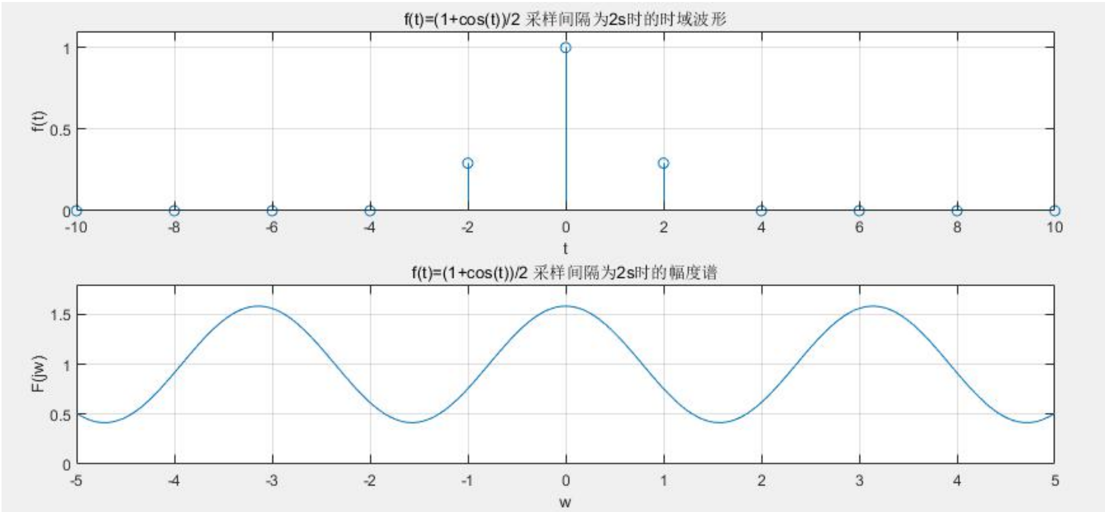


代码：

```
function ex3_1_2_2()
    Ts=1;
    ts=-20:Ts:20;
    fs=((1+cos(ts))/2).*(heaviside(ts+pi)-heaviside(ts-pi));
    figure;
    subplot(2,1,1);
    stem(ts,fs);
    title('f(t)=(1+cos(t))/2 采取样间隔为 1s 时的时域波形');
    grid on;
    xlabel('t');
    xlim([-4, 4]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.1]);

    omega1=-8*pi;omega2=8*pi;K=4000;
    OMEGA=omega2-omega1;
    delta_omega=OMEGA/K;
    omega=omega1:delta_omega:omega2;
    Fs=Ts*(fs*exp(-1i*ts'*omega));
    subplot(2,1,2)
    plot(omega,abs(Fs));
    title('f(t)=(1+cos(t))/2 采样间隔为 1s 时的幅度谱');
    grid on;
    xlabel('w');
    xlim([-15,15]);
    ylabel('F(jw)');
    ylim([0, 3.5])
end
```

③抽样间隔为 2s：

结果图：



代码：

```
function ex3_1_2_3()
    Ts=2;
    ts=-20:Ts:20;
    fs=((1+cos(ts))/2).*(heaviside(ts+pi)-heaviside(ts-pi));
    figure;
    subplot(2,1,1);
    stem(ts,fs);
    title('f(t)=(1+cos(t))/2 采样间隔为 2s 时的时域波形');
    grid on;
    xlabel('t');
    xlim([-10, 10]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.1]);

    omega1=-10*pi;omega2=10*pi;K=4000;
    OMEGA=omega2-omega1;
    delta_omega=OMEGA/K;
    omega=omega1:delta_omega:omega2;
    Fs=Ts*(fs*exp(-1i*ts'*omega));
    subplot(2,1,2)
    plot(omega,abs(Fs / 2));
    title('f(t)=(1+cos(t))/2 采样间隔为 2s 时的幅度谱');
    grid on;
    xlabel('w');
    xlim([-5,5]);
    ylabel('F(jw)');
```

```
    ylim([0, 1.8]);
end
```

3）观察抽样信号的频谱混叠程度，验证抽样定理。**注：抽样信号的幅度谱绘制三个周期即可。**

原信号的 $\omega_m = 2$，$\omega_s = \dfrac{2\pi}{T}$。

当抽样间隔抽样间隔为 0.5s 时，$\omega_s = 4\pi$，抽样间隔为 1s 时，$\omega_s = 2\pi$，这两种情况时 $\omega_s \ge 2\omega_m$，大于奈奎斯特抽样频率，相邻信号之间没发生混叠。

而当抽样间隔为 2s 时，$\omega_s < 2\omega_m$，小于奈奎斯特抽样频率，相邻信号之间发生混叠，间隔信号失真，满足抽样定理。

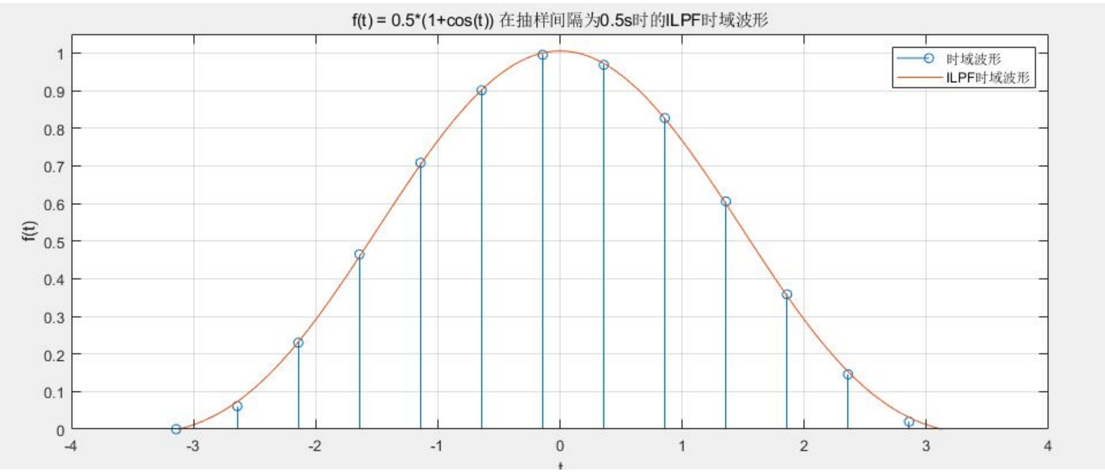
2. 信号恢复实验

2.1 对实验 1 中的信号，观察到$\omega_m = 2$。对于抽样之后的信号，采用截止频率为$\omega_c = 1.2\omega_m$的 ILPF 进行信号恢复。

1）画出三种抽样间隔下抽样信号通过 ILPF 后的信号时域波形图；

①抽样间隔为 0.5s：

结果图：



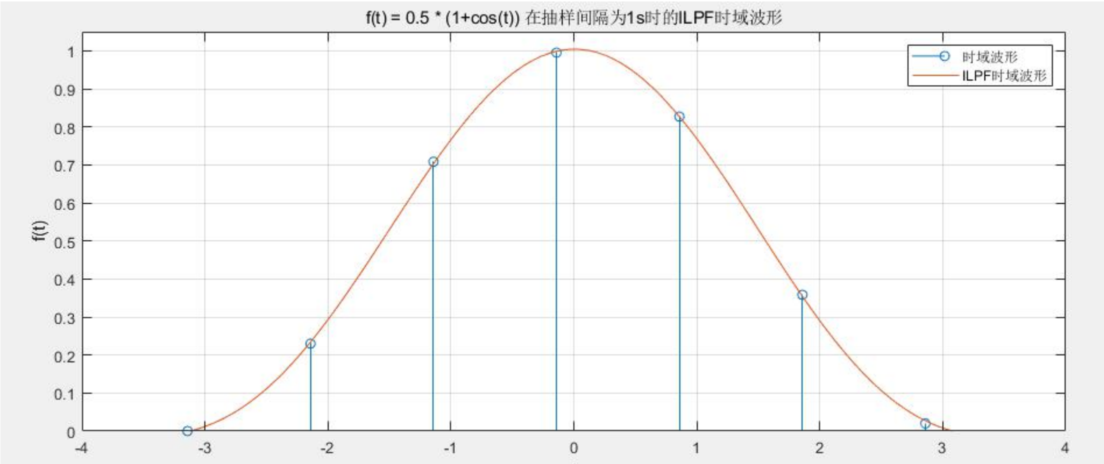
代码：

```
function ex3_2_1_1()
    T1 = 0.5; % 抽样间隔
    t1 = -pi:T1:pi;
    t = -pi:0.01:pi;
```

```
    Wc = 2.4;
    f = 0.5 * (1 + cos(t1));
    F1 = T1 * (Wc / pi) * f * sinc(Wc / pi * (ones(length(t1), 1) * t -
t1' * ones(1, length(t))));
    figure;
    stem(t1, f);
    hold on
    plot(t, F1);
    hold off
    xlabel('t');
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.05])
    title('f(t) = 0.5*(1+cos(t)) 在抽样间隔为0.5s时的ILPF时域波形');
    legend('时域波形','ILPF时域波形');
    grid on;
end
```

②抽样间隔为1s：

结果图：

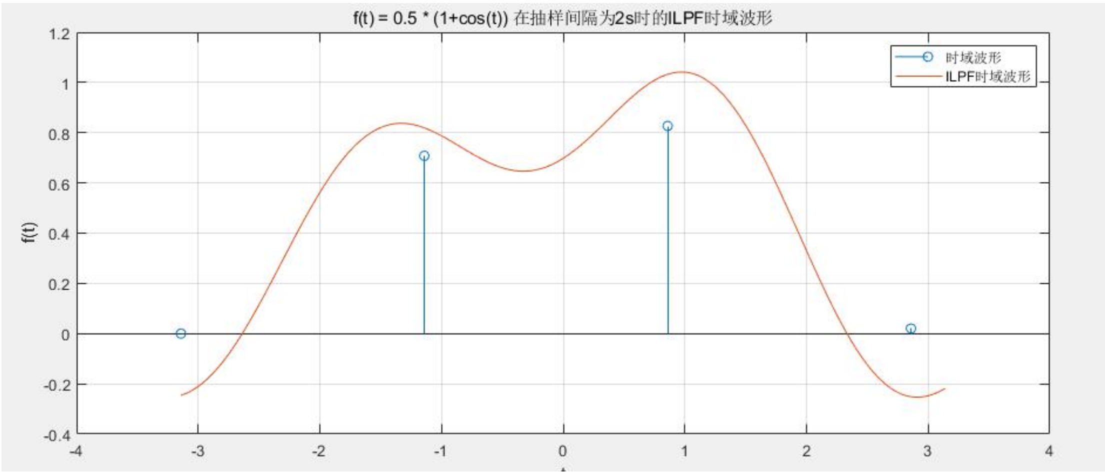


代码：

```
function ex3_2_1_2()
    T2 = 1.0; % 抽样间隔
    t2 = -pi:T2:pi;
    t = -pi:0.01:pi;
    Wc = 2.4;
    f = 0.5 * (1 + cos(t2));
    F2 = T2*(Wc/pi) * f * sinc(Wc/pi*(ones(length(t2),1) * t -
t2'*ones(1,length(t))));
    figure;
    stem(t2, f);
```

```
    hold on
    plot(t, F2);
    hold off
    xlabel('t');
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 1.05])
    title('f(t) = 0.5 * (1+cos(t)) 在抽样间隔为 1s 时的 ILPF 时域波形');
    legend('时域波形','ILPF 时域波形');
    grid on;
end
```

③抽样间隔为 2s：



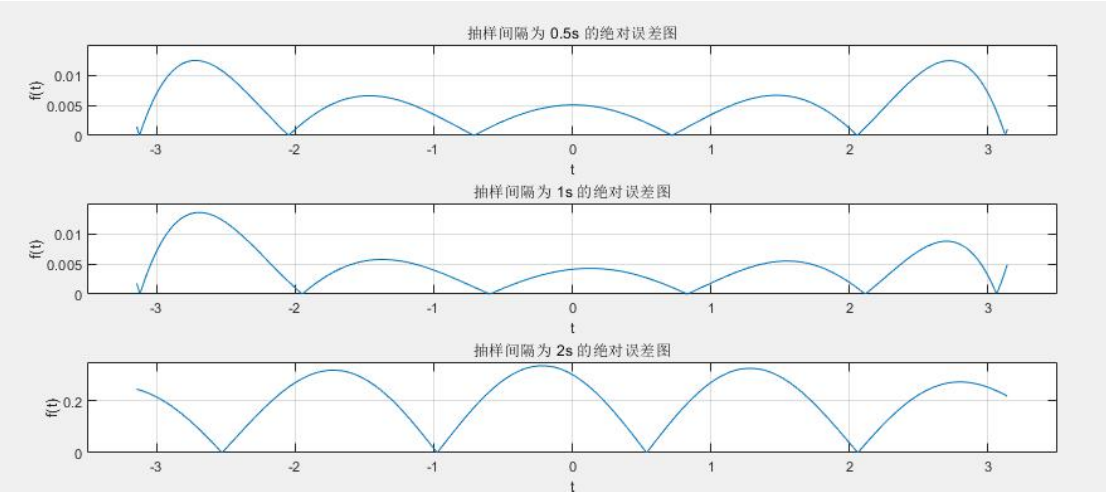
代码：

```
function ex3_2_1_3()
    T3 = 2.0; % 抽样间隔
    t3 = -pi:T3:pi;
    t = -pi:0.01:pi;
    Wc = 2.4;
    f = 0.5 * (1 + cos(t3));
    F3 = T3*(Wc/pi) * f * sinc(Wc/pi*(ones(length(t3),1) * t -
t3'*ones(1,length(t))));
    figure;
    stem(t3, f);
    hold on
    plot(t, F3);
    hold off
    xlabel('t');
    ylabel('f(t)');
    title('f(t) = 0.5 * (1+cos(t)) 在抽样间隔为 2s 时的 ILPF 时域波形');
    legend('时域波形','ILPF 时域波形');
    grid on;
```

```
end
```

2）绘制三种抽样间隔下的恢复信号与原信号的绝对误差图，观察并总结抽样间隔对于信号恢复过程的影响。

结果图：



由以上三张绝对误差图可知：

①当抽样间隔为 0.5s 或为 1s 时，$\omega_s \geq 2\omega_m$，还原出来的在理想情况下不失真，恢复信号与原信号相比，绝对误差较小；

②当抽样间隔为 2s 时，$\omega_s < 2\omega_m$，还原出来的信号明显发生失真，采样以后的恢复信号与原信号相比，绝对误差较大。

在信号恢复过程中选择的抽样间隔越小，ω_s 越大，信号恢复的效果越好，反之效果越差。选择恰当的抽样间隔才能既不必过于频繁的采样，又保证信号的失真在可容忍的范围内。

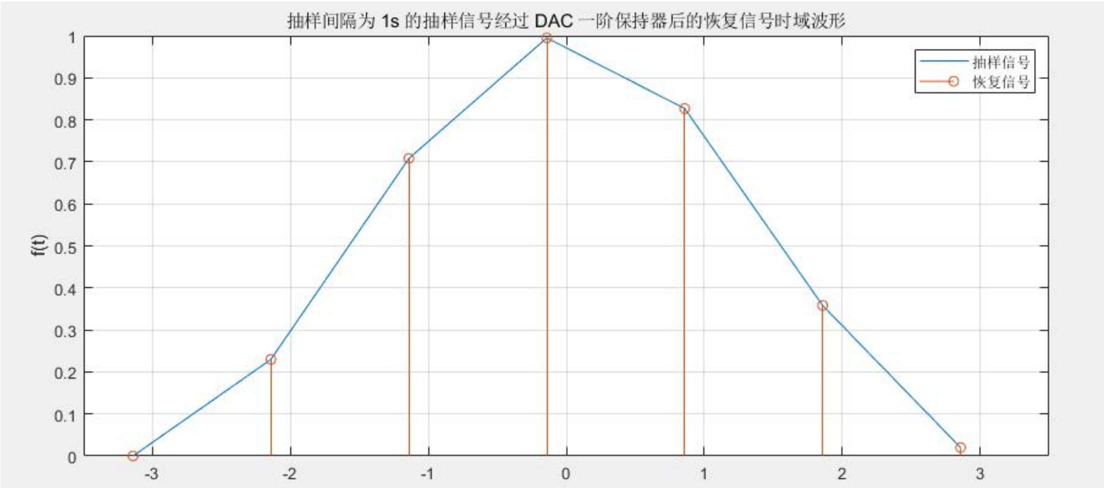
代码：

```
function ex3_2_1_4()
    % 0.5s 1s 2s 三种抽样间隔
    T1 = 0.5;
    T2 = 1.0;
    T3 = 2.0;

    % 采样范围
    t1 = -pi:T1:pi;
    t2 = -pi:T2:pi;
    t3 = -pi:T3:pi;
```

```
    t = -pi:0.01:pi;
    Wc = 2.4;

    %原信号
    f = 0.5*(1+cos(t));

    %抽样间隔为 0.5s
    f1 = 0.5 * (1+cos(t1));
    F1 = T1 * (Wc/pi) * f1 * sinc(Wc/pi*(ones(length(t1),1) * t - t1' *
ones(1,length(t))));%恢复信号
    subplot(3,1,1);
    plot(t,abs(F1-f));
    title('抽样间隔为 0.5s 的绝对误差图');
    xlabel('t');
    xlim([-3.5, 3.5]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 0.015]);
    grid on;

    %抽样间隔为 1s
    f2 = 0.5 * (1+cos(t2));
    F2 = T2 * (Wc/pi) * f2 * sinc(Wc/pi*(ones(length(t2),1) * t - t2' *
ones(1,length(t))));%恢复信号
    subplot(3,1,2);
    plot(t,abs(F2-f));
    title('抽样间隔为 1s 的绝对误差图');
    xlabel('t');
    xlim([-3.5, 3.5]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 0.015]);
    grid on;

    %抽样间隔为 2s
    f3 = 0.5 * (1+cos(t3));
    F3 = T3 * (Wc/pi) * f3 * sinc(Wc/pi*(ones(length(t3),1) * t - t3' *
ones(1,length(t))));%恢复信号
    subplot(3,1,3);
    plot(t,abs(F3-f));
    title('抽样间隔为 2s 的绝对误差图');
    xlabel('t');
    xlim([-3.5, 3.5]);
    ylabel('f(t)');
    ylim([0, 0.35]);
    grid on;
```

```
end
```

2.2 对实验 1 中的信号，绘制抽样间隔为 1s 下的抽样信号经过 DAC 一阶保持器后的恢复信号时域波形，体会一阶保持器的基本原理和作用。



代码：

```
function ex3_2_2()
    %抽样间隔为 1s
    T = 1;
    n = -pi:pi;
    t = n*T;
    f = 0.5 * (1 + cos(t));
    plot(t,f);
    title('抽样间隔为 1s 的抽样信号经过 DAC 一阶保持器后的恢复信号时域波形');
    xlabel('t');
    xlim([-3.5, 3.5])
    ylabel('f(t)');
    hold on
    stem(t,f)
    hold off
    grid on;
    legend('抽样信号','恢复信号')
end
```

五、实验体会和感悟

本次实验使用 Matlab 完成了对信号的抽样，通过对抽样的信号频谱进行分析，进而完成了对抽样定理的验证。验证过程中，发现当抽样间隔抽样间隔为 0.5s 时，$\omega_s \geq 2\omega_m$，大于奈奎斯特抽样频率，相邻信号之间没发生混叠。而当

抽样间隔为 2s 时，$\omega_s < 2\omega_m$，小于奈奎斯特抽样频率，相邻信号之间发生混叠，间隔信号失真。验证了抽样定理的正确性。 此外，还进行了对信号的恢复重建。在信号恢复过程中选择的抽样间隔越小，ω_s 越大，信号恢复的效果越好，反之效果越差。选择恰当的抽样间隔才能既不必过于频繁的采样，又保证信号的失真在可容忍的范围内。 在学习、巩固信号知识的基础上，锻炼了 Matlab 编程能力，收获颇丰！	
教师评语： 签名： 日期：	成绩：