2.2 实验2：多率信号处理实验

2.2.1 实验目的

1．理解多率信号处理基本概念和基本理论。

2．掌握数字信号的抽取和插值的原理。

3．掌握MATLAB编程实现抽取、插值和多级抽取的方法。

2.2.2 实验设备

1．硬件平台

（1）XSRP软件无线电平台

（2）电脑

（3）数字示波器

2．软件平台

（1）MATLAB软件

（2）XSRP软件无线电平台集成开发软件

2.2.3 实验内容

1．案例程序运行与分析

配置MATLAB程序的低通滤波器的长度、抽取倍数和插值倍数等参数，观察抽取和插值的前后的频谱特性，记录原始信号、抽取后和插值后的频谱波形和示波器测量波形。

2．编写MATLAB程序

根据编程要求，在指定位置编写MATLAB程序，调试该程序，分析原始信号、抽取后和插值后的频谱波形仿真波形和示波器测量波形。

2.2.4 实验原理

1．抽取

（1）低通信号的整数倍抽取

所谓整数倍抽取就是指把原始采样序列x(n)每D个数据抽取一个，形成一个新序列，具体过程如图2.18所示。整数倍抽取的表达式如下：

 （2-1）

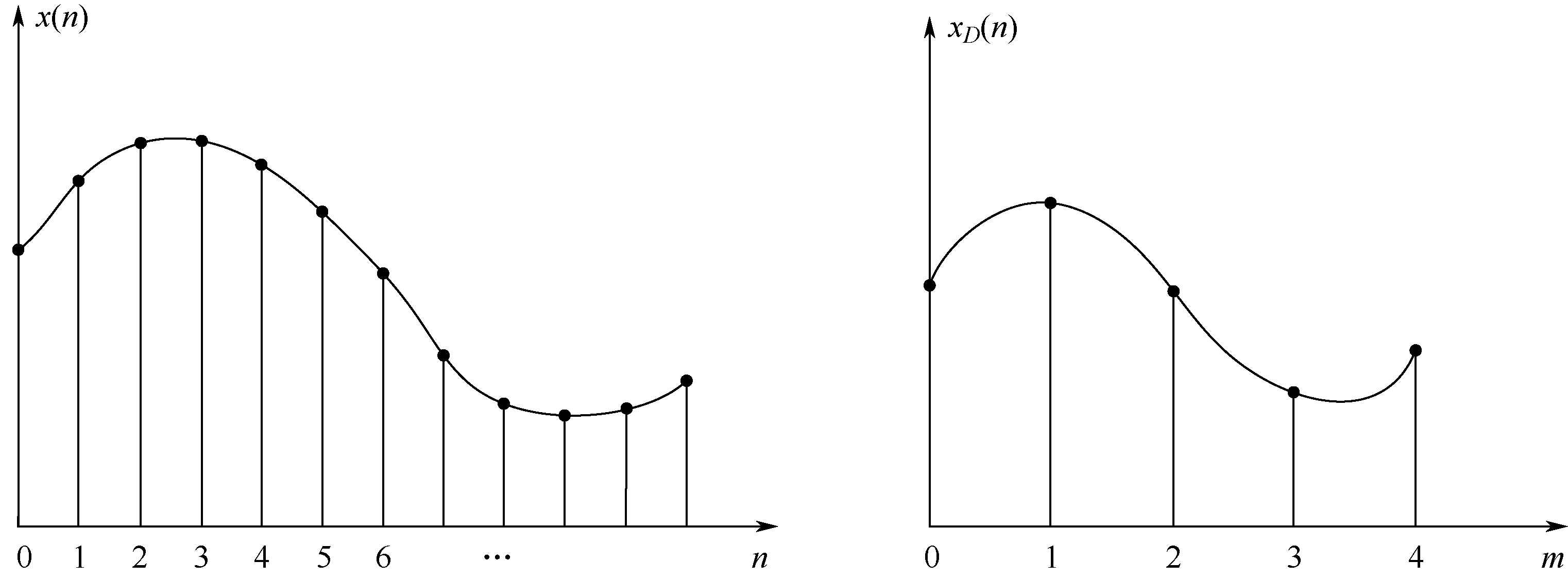


图2.18 整数倍抽取

（2）数字带通信号的抽取

数字带通信号中需要抽取的信号是频率位于之间的信号。整带抽取是指带通信号满足：

 （2-2）

关系时的抽取。式中n为正整数，f0为带通信号的中心频率。是经D倍抽取后的取样率。

 （2-3）

 （2-4）

 （2-5）

式中B为信号带宽，即带通信号的最高和最低频率是信号带宽的整数倍时称为整带抽取，抽取倍数D应满足：

 （2-6）

当在整个数字频带内共有带宽为B的D个子带时，可以进行整带抽取，只需在抽取前用一个带宽为B的带通滤波对需要的子带进行滤波，如图2.19所示。



图2.19 整带抽取

① 无盲区整带抽取：

如果抽取滤波器为非理想带通滤波器，则抽取后会存在盲区，为了实现非盲区抽取，需要将带通滤波器通带外的信号进行第二次盲区抽取。

② 带通信号的正交复抽取：

整带抽取的必要条件：

 （2-7）

在许多场合下难以满足，而寻求带通信号抽取的另一条途径就是采用频谱搬移，先把位于中心频率f0处的带通信号搬移到基带，再利用低通信号的抽取方法进行抽取。频谱搬移过程如图2.20所示，带通信号的抽取流程如图2.21所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图2.20 频谱搬移 | 图2.21 带通信号抽取 |

带通信号的正交抽取结构，最终输出的信号是复信号，而人们往往希望得到实信号输出。一般采用边带调制技术实现带通信号的实抽取结构，如图2.22所示。



图2.22 带通信号的正交实抽取

为了完成带通信号的实抽取，必须把频谱搬移成正负频率对称的基带信号，如图2.23所示。



图2.23 频谱搬移

带通信号x(n)经频谱搬移后得到的实基带信号带宽变为B，所以可以对实基带信号进行抽取倍数为D的抽取，如图2.24所示。



图2.24 实基带信号抽取

抽取倍数D的计算公式如下：

 （2-8）

2．插值

整数倍内插：指在两个原始抽样点之间插入（I-1）个零值，如图2.25所示。



图2.25 整数倍内插

如果原始抽样序列为x(n)，则内插后的序列为：

 （2-9）

内插后的信号频谱为原始序列频谱经I倍压缩后得到的频谱，如图2.26所示。



图2.26 内插后的信号频谱

3．取样率

（1）取样率的分数倍变换

抽取和内插实际上是取样率变换的一种特殊情况，即整数倍变换的情况，但在实际中会存在非整数倍即分数倍变换的情况。当采样频率比较大，抽取率D比较小时，取样率变换盲区更加严重，取样率的分数倍变换就是为了解决取样率变换盲区问题。分数倍变换可以通过先进行I倍内插再进行D倍抽取实现，如图2.27所示。



图2.27 分数倍变换

（2）取样率变换的多级实现

理论上取样率变换（抽取、内插）通过单级实现，即D倍内插或抽取均一次完成。但在实际实现中，当抽取倍数D或内插倍数I很大时，所需的低通滤波器的阶数非常高，如此高阶数的滤波器实现非常困难，解决办法是采用多级实现，如图2.28所示。

分级抽取后，滤波器的阶数大大减少，可降低滤波器的设计要求。



图2.28 取样率变换的多级实现

4．滤波

抽取器、内插器的多相滤波实现如图2.29、图2.30所示。

抽取器模型中低通滤波器位于抽取算子之前，即低通滤波器是在降速之前实现的。内插器模型中低通滤波器位于内插算子之后，即内插低通滤波器是在提速之后进行的。无论是抽取器还是内插器其抗混叠数字滤波均在高取样率条件下进行，运算速度要求高，实时处理不利，而多相滤波结构解决此问题，有利于抽取、内插的实时处理。



图2.29 抽取器模型



图2.30 内插器模型

2.2.5 实验步骤

1．实验准备

（1）硬件环境准备

① 将XSRP软件无线电平台连接好电源线，安装上天线，同时将USB线和网线连接到电脑上（确保连接的电脑是千兆网卡）。

② 将XSRP软件无线电平台的CH1\_OUT、CH2\_OUT和EXT通过BNC线分别与示波器的通道1、通道2和外触发对应连接。

③ 打开XSRP软件无线电平台电源开关POWER，对应电源指示灯亮，且信号指示灯交替闪烁，表明硬件工作正常。

（2）软件环境准备

① 安装设备驱动：按照指引安装设备驱动。

② 设置电脑IP地址：将电脑IP地址设置为192.168.1.180。

③ 安装XSRP软件无线平台集成开发软件：按照指引，将软件安装到非中文路径下。软件启动后，观察右上角，如果“ARM状态”和“FPGA状态”都亮绿色指示灯，则表明硬件和软件工作正常。

2．案例程序运行与分析

（1）观测并记录插值实验仿真波形和示波器实测波形

① 观测并记录默认参数下差值实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：打开实验程序

打开MATLAB软件，在程序主界面“打开”目录中，选择 “软件无线电”文件夹—“多率信号处理”文件夹—“插值”文件夹，双击运行MATLAB Code 下的“main”，MATLAB编辑器页面显示“插值”实验主程序。

Step2：连接PC端与XSRP软件无线电平台集成开发软件，在MATLAB编辑器页面修改“插值”实验主程序中runType的值为1，调用DA输出函数:

%% 参数配置

clc

clear

close all

fs=30720000; %采样率,硬件系统基准采样率30.72 MHz

runType = 0; %运行方式，0表示仿真，1表示软硬结合

I=3; %插值的倍数

Nf= 15; %低通FIR长度

Step3：运行实验程序

单击“保存”按钮，在MATLAB编辑器页面单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行插值实验程序。

Step4：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、插值处理信号、插值和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step5：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出差值处理信号，示波器CH2通道输出插值和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

② 观测并记录修改差值倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

在MATLAB编辑器页面修改插值倍数I=2，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行插值实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、插值处理信号、插值和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出差值处理信号，示波器CH2通道输出插值和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改差值倍数I=5后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

③ 观测并记录修改FIR低通滤波器长度后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

将插值实验MATLAB程序中修改的参数改回初始值。

在MATLAB编辑器页面修改FIR低通滤波器长度Nf=5，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行插值实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、插值处理信号、插值和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。比较修改参数前后的运行结果，分析插值原理和实现过程。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出差值处理信号，示波器CH2通道输出插值和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改FIR低通滤波器长度Nf=25后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

（2）观测并记录抽取实验仿真波形和示波器实测波形

① 观测并记录默认参数下抽取实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：打开实验程序

打开MATLAB软件，在程序主界面“打开”目录中，选择 “软件无线电”文件夹—“多率信号处理”文件夹—“抽取”文件夹，双击运行MATLAB Code 下的“main”，MATLAB编辑器页面显示“抽取”实验主程序。

Step2：连接PC端与XSRP软件无线电平台集成开发软件，在MATLAB编辑器页面修改“抽取”实验主程序中runType的值为1，调用DA输出函数。

Step3：运行实验程序

在MATLAB编辑器页面单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行抽取实验程序。

Step4：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、抽取处理信号、抽取和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step5：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出抽取处理信号，示波器CH2通道输出抽取和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

② 观测并记录修改插值倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

在MATLAB编辑器页面修改分别修改抽取倍数D=2，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行抽取实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、抽取处理信号、抽取和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出抽取处理信号，示波器CH2通道输出抽取和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改抽取倍数D=5后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

③ 观测并记录修改FIR低通滤波器长度后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

将抽取实验MATLAB程序中修改的参数改回初始值。在MATLAB编辑器页面修改FIR低通滤波器长度Nf=10，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行抽取实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、抽取处理信号、抽取和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出抽取处理信号，示波器CH2通道输出抽取和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改FIR低通滤波器长度Nf=50后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

④ 观察并记录修改阻带截止频率后软件仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

将抽取实验MATLAB程序中修改的参数改回初始值。

在MATLAB编辑器页面修改阻带截止频率wp=0.15，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行抽取实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真波形

观察运行结果，并分析原始信号、抽取处理信号、抽取和滤波处理信号频谱波形图，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出抽取处理信号，示波器CH2通道输出抽取和滤波处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改阻带截止频率wp=0.4后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

（3）观测并记录多级抽取实验仿真波形和示波器实测波形

① 观测并记录默认参数下多级抽取实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：打开实验程序

打开MATLAB软件，在程序主界面“打开”目录中，选择 “软件无线电”文件夹—“多率信号处理”文件夹—“多级抽取”文件夹，双击运行MATLAB Code 下的“main”，MATLAB编辑器页面显示“多级抽取”实验主程序。

Step2：连接PC端与XSRP软件无线电平台集成开发软件，在MATLAB编辑器页面修改“插值”实验主程序中runType的值为1，调用DA输出函数。

Step3：运行实验程序

在MATLAB编辑器页面单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行多级抽取实验程序。

Step4：观察并记录软件仿真结果

观察运行结果，并分析软件仿真原始信号、一级抽取处理信号、二级抽取处理信号频谱，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step5：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出一级抽取处理信号，示波器CH2通道输出二级抽取处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

② 观测并记录修改抽取倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

在MATLAB编辑器页面修改“多级抽取”实验主程序中第一级抽取倍数、第二级抽取倍数为D1=10、D2=50单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行多级抽取实验程序。

%% 参数配置

clc

clear

fs=30720000; %采样率,硬件系统基准采样率30.72 MHz

datasourcetype = 0; %数据源产生方式 0：自己产生数据， 1：从AD获取数据

runType = 0; %运行方式，0表示仿真，1表示软硬结合

fp =500; %信号带宽为500Hz

fs1 = 10000; %第一级抽取滤波器的阻带截止频率

fs2 = 1000; %第二级抽取滤波器的阻带截止频率

Fs1 = 1000000; %第一级抽取前的采样率

D1 =50; %第一级抽取倍数

Fs2 = 20000; %第二级级抽取前的采样率

D2 = 10; %第二级级抽取倍数

fais = 60; %阻带最小衰减不小于60db

Step2：观察并记录软件仿真结果

观察运行结果，并分析软件仿真原始信号、一级抽取处理信号、二级抽取处理信号频谱，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出一级抽取处理信号，示波器CH2通道输出二级抽取处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改第一级抽取倍数、第二级抽取倍数分别为D1=30、D2=30后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

③ 观测并记录修改抽取前的采样率后实验仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

将多级抽取实验MATLAB程序中修改的参数改回初始值。

在MATLAB编辑器页面修改第一级抽取前的采样率、第二级抽取前的采样率为:Fs1=1000000、Fs2=10000，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行多级抽取实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真结果

观察运行结果，并分析软件仿真原始信号、一级抽取处理信号、二级抽取处理信号频谱，并将实验结果记录运行结果到“实验记录”的对应位置。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出一级抽取处理信号，示波器CH2通道输出二级抽取处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改第一级抽取前的采样率、第二级抽取前的采样率Fs1=2000000、Fs2=20000后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

④ 观察并记录修改滤波器的阻带截止频率后软件仿真波形和示波器实测波形

Step1：参数修改

将多级抽取实验MATLAB程序中修改的参数改回初始值。

在MATLAB编辑器页面修改第一级抽取滤波器的阻带截止频率、第二级抽取滤波器的阻带截止频率为：fs1=20000、fs2=1000，单击“保存”按钮，单击“运行”/“Run”按钮，在弹出的对话框中选择“添加到路径”/“Add to Path”，运行多级抽取实验程序。

Step2：观察并记录软件仿真结果

观察运行结果，并分析软件仿真原始信号、一级抽取处理信号、二级抽取处理信号频谱，并将实验结果记录运行结果到“实验记录”的对应位置。

Step3：观察并记录示波器实测波形

调试示波器按钮，使示波器显示CH1、CH2波形，示波器CH1通道输出一级抽取处理信号，示波器CH2通道输出二级抽取处理信号，并将实验结果记录在“实验记录”中。

Step4：参数修改

按照上述步骤观察并记录修改第一级抽取滤波器的阻带截止频率、第二级抽取滤波器的阻带截止频率fs1=10000、fs2=2000，后软件仿真波形图和示波器实测波形图，并将实验结果保存在“实验记录”中。

3．编写MATLAB程序

（1）多率信号处理插值实验编程

编程要求1：

① 修改样本数据函数：生成长度为50的随机样本数据；修改插值倍数：增加插值倍数为I=4。

② 修改插值后滤波处理函数程序：增加滤波次数为两次并且修改第二次滤波函数阶数为Nf=25。

编程要求2：

输出样本信号、插值处理信号、插值滤波处理信号软件仿真结果。将插值处理信号、插值滤波处理信号分别用CH1、CH2输出到示波器，观察硬件仿真结果，比较软硬件输出结果。

（2）多率信号处理抽取实验编程

编程要求1：

① 修改样本数据函数：生成长度为50的随机样本数据；修改抽取倍数：增加抽取倍数为D=2。

② 修改滤波后抽取处理函数程序：增加滤波次数为两次并且修改第二次滤波函数阶数为Nf=20。

编程要求2：

输出样本信号、抽取处理信号、滤波抽取处理信号软件仿真结果。将抽取处理信号、滤波抽取处理信号分别用CH1、CH2输出到示波器，观察硬件仿真结果，比较软硬件输出结果

（3）多率信号处理多级抽取实验编程

编程要求1：

① 修改样本数据产生函数：生成长度为50的随机样本数据。

② 修改滤波后抽取处理函数程序：不考虑最小阻带衰减，修改滤波函数为采用汉宁窗的FIR滤波器。

编程要求2：

输出样本信号、抽取处理信号、滤波抽取处理信号软件仿真结果。将抽取处理信号、滤波抽取处理信号分别用CH1、CH2输出到示波器，观察硬件仿真结果，比较软硬件输出结果。

2.2.6 实验记录

1．案例程序运行与分析

（1）多率信号处理插值实验仿真结果

（注：I为插值倍数，Nf为低通滤波器长度）

① 默认参数下实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
|  | 默认参数（I=3，Nf=15） |
| 原始信号  （仿真波形） |  |
| 插值处理信号  （仿真波形） |  |
| 插值和滤波处理信号（仿真波形） |  |
| 插值处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 插值和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |

② 修改差值倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：I=2  默认：Nf=15 | 修改：I=5  默认：Nf=15 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 插值处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 插值和滤波处理信号（仿真波形） |  |  |
| 插值处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 插值和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |  |

③ 修改低通滤波器长度后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：Nf=5  默认：I=3 | 修改：Nf=25  默认：I=3 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 插值处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 插值和滤波处理信号（仿真波形） |  |  |
| 插值处理信号  （示波器测量） |  |  |
| 插值和滤波处理信号（示波器测量） |  |  |

（2）多率信号处理抽取实验仿真结果

（注：D为抽取倍数，Nf为低通滤波器长度，wp为阻带截止频率）

① 默认参数下实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
|  | 默认参数（D=3，Nf=32，wp=0.25） |
| 原始信号  （仿真波形） |  |
| 抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 抽取和滤波处理信号（仿真波形） |  |
| 抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 抽取和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |

② 修改抽取倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：D=2  默认：Nf=32，wp=0.25 | 修改：D=5  默认：Nf=32，wp=0.25 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |  |

③ 修改低通滤波器长度后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：Nf =10  默认：D=3，wp=0.25 | 修改：Nf =50  默认：D=3，wp=0.25 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |  |

④ 修改阻带截止频率后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：wp =0.15  默认：D=3，Nf =32 | 修改：wp =0.4  默认：D=3，Nf =32 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（仿真波形） |  |  |
| 抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 抽取和滤波处理信号（示波器测量） |  |  |

（3）多率信号处理多级抽取实验仿真结果

（注：D1为第一级抽取倍数，D2为第二级抽取倍数，Fs1为第一级抽取前的采样率，Fs2为第二级抽取前的采样率，fs1第一级抽取滤波器的阻带截止频率，fs2第二级抽取滤波器的阻带截止频率）

① 默认参数下实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |
| --- | --- |
|  | 默认参数（D1=50，D2=10，Fs1=1000000，  Fs2=20000，fs1=10000，fs2=1000） |
| 原始信号  （仿真波形） |  |
| 一级抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 二级抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 一级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 二级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |

② 修改抽取倍数后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：D1=10, D2=50  默认：Fs1=1000000，  Fs2=20000，fs1=10000，fs2=1000 | 修改：D1=30, D2=30  默认：Fs1=1000000，  Fs2=20000，fs1=10000，fs2=1000 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |

③ 修改抽取前的采样率后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：Fs1=1000000，Fs2=10000  默认：D1=50，D2=10，fs1=10000，fs2=1000 | 修改：Fs1=2000000，Fs2=20000  默认：D1=50，D2=10，fs1=10000，fs2=1000 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |

④ 修改阻带截止频率后实验仿真波形和示波器实测波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 修改：fs1=20000，fs2=1000  默认：D1=50，D2=10，Fs1=1000000，Fs2=20000 | 修改：fs1=10000，fs2=2000  默认：D1=50，D2=10，Fs1=1000000，Fs2=20000 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （仿真波形） |  |  |
| 一级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |
| 二级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |  |

2．编写MATLAB程序

（1）多率信号处理插值实验编程

|  |  |
| --- | --- |
|  | 波形与程序 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |
| 插值处理信号  （仿真波形） |  |
| 插值和滤波处理信号（仿真波形） |  |
| 插值处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 插值和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |
| MATLAB程序 |  |

（2）多率信号处理抽取实验编程

|  |  |
| --- | --- |
|  | 波形与程序 |
| 原始信号  （仿真波形） |  |
| 抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 抽取和滤波处理信号（仿真波形） |  |
| 抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 抽取和滤波处理信号（示波器测量波形） |  |
| MATLAB程序 |  |

（3）多率信号处理多级抽取实验编程

|  |  |
| --- | --- |
|  | 波形与程序 |
| 原始信号（仿真波形） |  |
| 一级抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 二级抽取处理信号  （仿真波形） |  |
| 一级抽取处理信号  （示波器测量波形） |  |
| 二级抽取处理信号（示波器测量波形） |  |
| MATLAB程序 |  |