项目一

小组成员: 陈宇 516021910399
李萌 516021910153

[要求]

1、熟悉 ELVIS II+，利用信号发生器功能产生信号，类型为正弦波和方波，频率不大于 100Hz。
2、通过 USB-4704 的模拟输入端和 DAQ Navi 采集所产生信号，对比产生波形和采集波形，并记录；
3、利用 DAQ Navi SDK，选择一门语言进行编程，编写用户界面供显示和用户交互;
4、完成程序编码后，对程序进行测试和调试，记录所遇到的问题及如何处理；
5、通过测试后，发布可执行文件，并在第三方 PC 上进行功能展示；

[报告目录]

第一部分: ELVIS II+、USB-4704 及 DAQ Navi 实验结果与讨论

I、 使用 ELVIS II+产生信号并通过 USB-4704 的模拟输入端和 DAQ Navi 采集所产生信号

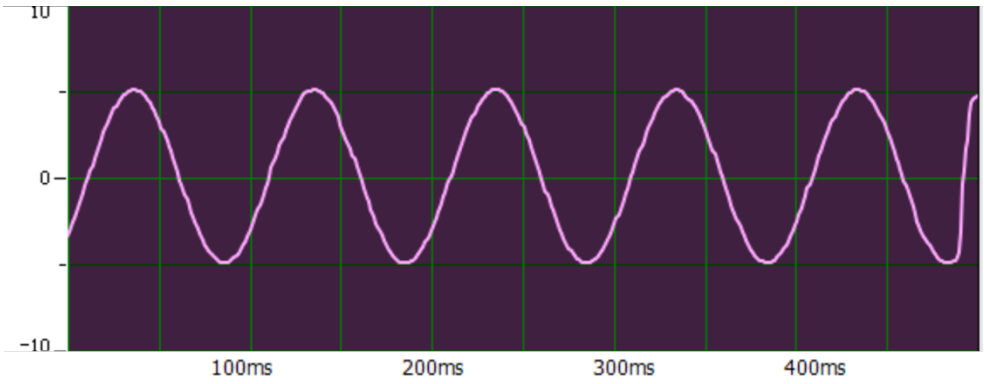


图 1-1 输入信号：正弦波，10Hz； 采样频率：1000Hz

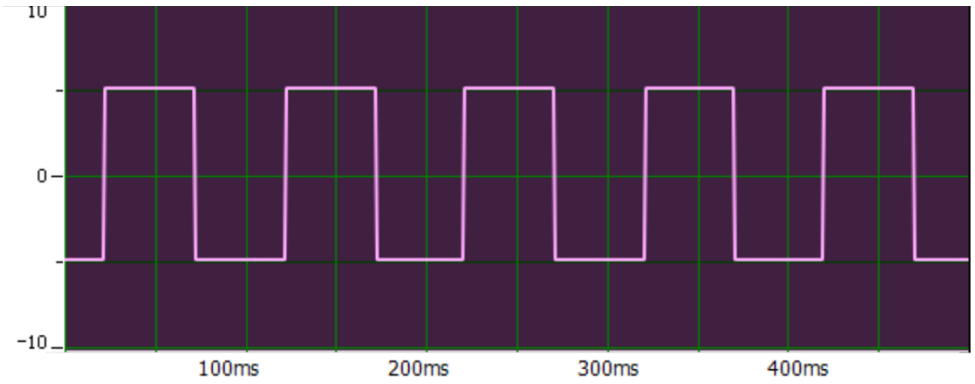


图 1-2 输入信号：方波，10Hz； 采样频率：1000Hz

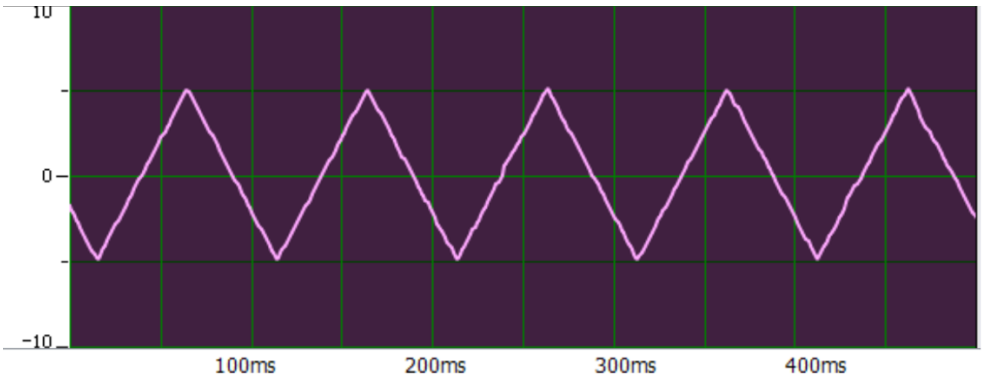


图 1-3 输入信号：三角波，10Hz； 采样频率：1000Hz

如图 1-1 ~1-3 所示，当采样率大于输入信号频率的 10 倍时，采样信号几乎不失真。

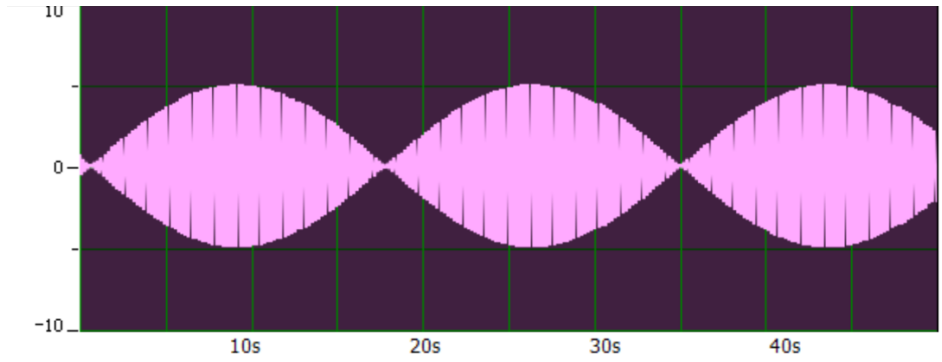


图 1-4 输入信号：正弦波，5Hz； 采样频率：10Hz

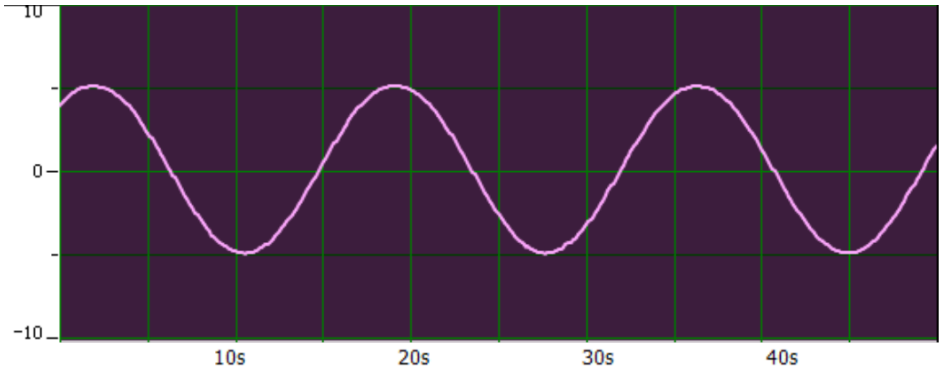


图 1-5 输入信号：正弦波，10Hz； 采样频率：10Hz

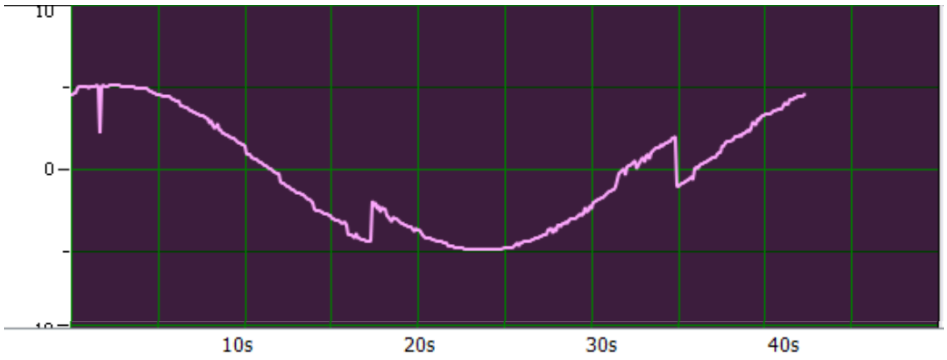


图 1-6 输入信号：正弦波，100Hz； 采样频率：10Hz

如图 1-4 ~1-6 所示，当采样频率为两倍输入信号频率、等于信号频率以及为信号频率的 1/10 时，得到的失真波形有各自的特征。

当采样频率为两倍输入信号频率，且输入信号为正弦波时，理论上推导采样值应该正负交替，但绝对值相等，失真信号呈矩形。数学描述如下：

输入信号：$x(t) = \sin \omega t, \omega = 10\pi, T = \frac{1}{f} = 0.2s$；

采样率 $f_s = 10Hz$，采样周期 $T_s = 0.1s$；

理论上的采样信号应为 $x_{st}[n] = \begin{cases} x_{st}[0], & n = 2kT_s \\ -x_{st}[0], & n = (2k+1)T_s \end{cases}, k = 0,1,\ldots$

其中，$x_{st}(0) = \sin \omega t_0$为第一个采样值。由于采样周期$T_s$为正弦输入信号周期$T$的一半， 则每次采样时输入信号都后移了$T_s = \frac{1}{2}T$。

设第 n 个采样值为：$x_{st}[n] = \sin \omega t_0$

则第 n+1 个采样值为：$x_{st}[n+1] = \sin\omega\left(t_0 + \frac{1}{2}T\right) = -\sin\omega t_0$

从以上推导可以看出，第 n+1 个采样值总是第 n 个采样值的负值。

但实际上我们观察到，采样信号为一个周期 $T_r \approx 34s, f \approx 0.05Hz,\ \omega_r \approx 0.1\pi$的有正负正弦包络线的信号，表达式约为 $x_{sr}[n] = \begin{cases} \sin\omega_r(t + t_0), & n = 2kT_r \\ \sin\omega_r(t + t_0 + \pi), & n = (2k+1)T_r \end{cases}, k = 0,1,\ldots$ 这种现象产生的原因是：理论上认为采样是瞬时的，但实际中采样本身需要一定的时间t_1，对于该输入信号，以采样周期$T_s = \frac{1}{2}T$进行采样，每次采样时两个采样值并非如上述理论推导，是对输入信号间隔$T_s = \frac{1}{2}T$的采样，而是间隔为$\left(\frac{1}{2}T + t_1\right)$的采样。于是，两次采样值之间的关系并不是简单取反的关系。推导如下：

假设第 n 个采样值：$x_{sr}[n] = \sin\omega t$

则第 n+1 个采样值：$x_{sr}[n+1] = \sin\omega(t + T_s + t_1) = -\sin(\omega t + \omega t_1)$

第 n+2 个采样值：$x_{sr}[n+2] = \sin\omega(t + 2T_s + 2t_1) = \sin(\omega t + 2\omega t_1)$

第 n+3 个采样值：$x_{sr}[n+3] = \sin\omega(t + 3T_s + 3t_1) = -\sin(\omega t + 3\omega t_1)$

可以看出: 对奇数次采样信号和偶数次采样信号的幅值构成频率相同，相位相差 π 的正弦波，其周期约为$T_r \approx \frac{2\pi}{\omega t_1}$, 则执行一次采样需要花费$t_1 \approx 0.00588s$。

同理，当信号频率为 10Hz，采样频率为 10Hz 时，$T_s = T = 0.1s$，$\omega = \frac{2\pi}{T} = 20\pi.$

假设第 n 个采样值：$x_{sr}[n] = \sin\omega t$

则第 n+1 个采样值：$x_{sr}[n+1] = \sin\omega(t + T_s + t_1) = \sin(\omega t + \omega t_1)$

第 n+2 个采样值：$x_{sr}[n+2] = \sin\omega(t + 2T_s + 2t_1) = \sin(\omega t + 2\omega t_1)$

采样信号呈正弦波，周期约为$T_r \approx \frac{2\pi}{\omega t_1} \approx 17s.$

当采样频率低于两倍信号截止频率时，采样信号会出现失真。但当采样频率与信号频率有倍数关系时，当输入信号为正弦波，由于$\omega T_s = n\pi, (n = 1,2,\ldots)$, 采样信号会呈和原信号幅值相同，频率改变的正弦波。由于程序实际执行一次采样约$0.00588s$，则实际采样频率不能大于$f = \frac{1}{T} \approx 170Hz$, 则频率在约 20Hz 以下的信号能较好地被 DAQ Navi 采集，超过约 85Hz 的信号会出现严重失真。

如图 1-7~1-9 所示，采集信号严重失真。一方面是因为当采样频率低于两倍信号截止频率（抽样定理），且采样频率与信号频率无倍数关系时，从理论上推导，采样信号波形会出现明显失真。另一方面，DAQ Navi 的实际采样率有限，这也限制了采样的准确性。

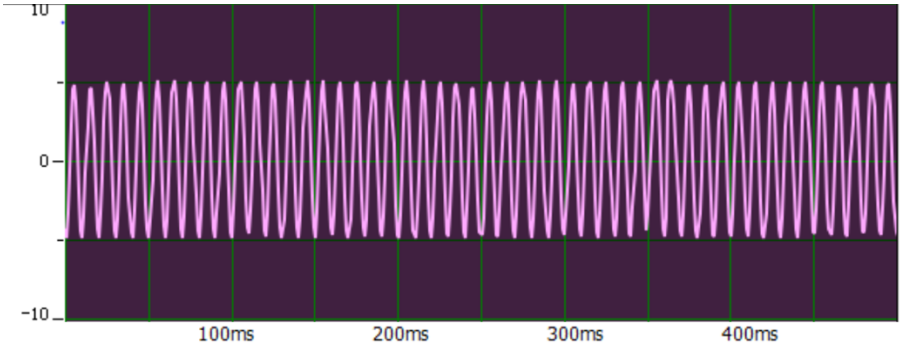


图 1-7 输入信号：正弦波，100Hz； 采样频率：1000Hz

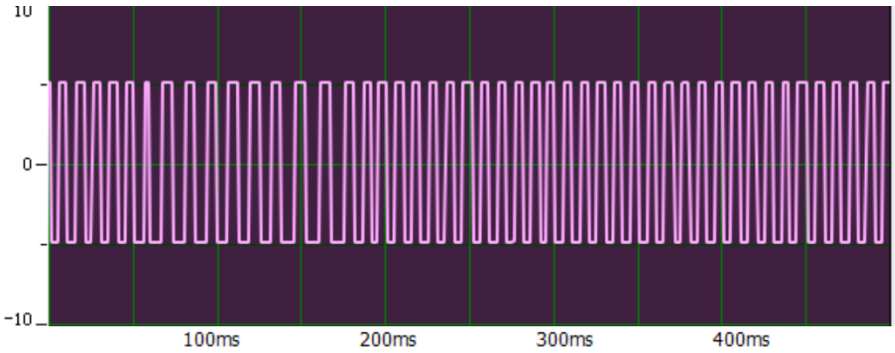


图 1-8 输入信号：方波，100Hz； 采样频率：1000Hz

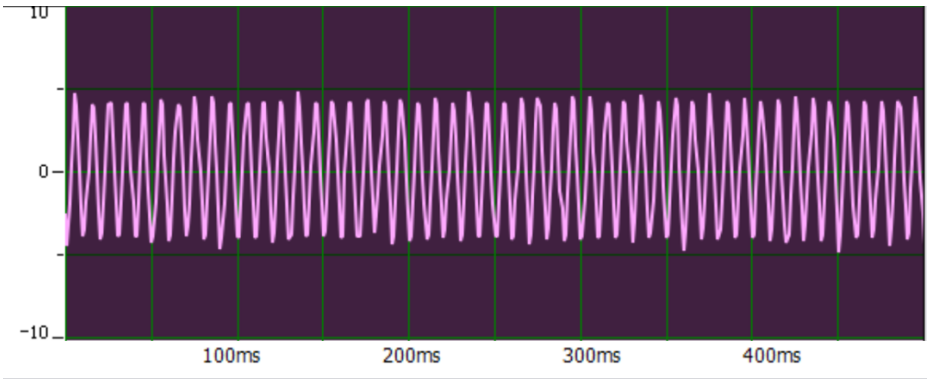


图 1-9 输入信号：三角波，100Hz； 采样频率：1000Hz

II、讨论

1) 如何针对不同频率的信号设置合适的采样率，并分析设置采样率时考虑的因素

一般采样率需要大于或等于信号频率的 10 倍，当对方波这种频域有多个波峰的信号进行采样，需要更大的采样频率才能够完美再现信号波形。另外，在实际设置采样率时还需考虑程序本身能实现的采样率极限。

2) 分析 USB-4704 的模拟输入功能可采集信号的频率范围，若输入信号在该范围外，会出现哪些问题，并探讨可能的解决方案

USB-4707 的 Instant AI 最大只能设置 1000Hz 的采样率，但通过 I 的讨论发现，其实际采样率只能达到约 170Hz，所以实际可采集信号的频率最高约为 80Hz。当输入信号在该范围外，可能出现 1）信号波形失真；2）采样信号与输入信号波形相似，但频率不一致。

对于 1）信号波形失真的情况，其原因是采样率未大于信号频率的十倍（理论上两倍即可，在实际中大于十倍的采样率才能比较好地保证信号可恢复），且采样率与信号频率无倍数关系。解决方案为：优化程序，降低一次采样需要的时间，提高实际采样率的上限。

对于 2）采样信号与输入信号波形相似，但频率不一致的情况，其原因是采样率未大于两倍信号频率且与信号频率存在倍数关系。在这种情况下，只要一次实际采样需要一定的时间，采样信号都会出现失真。仅能通过改变采样率，避免与信号频率倍数关系来解决。

第二部分: 利用 DAQ Navi SDK 编写用户界面

I、 程序开发逻辑及功能说明

界面组成说明：

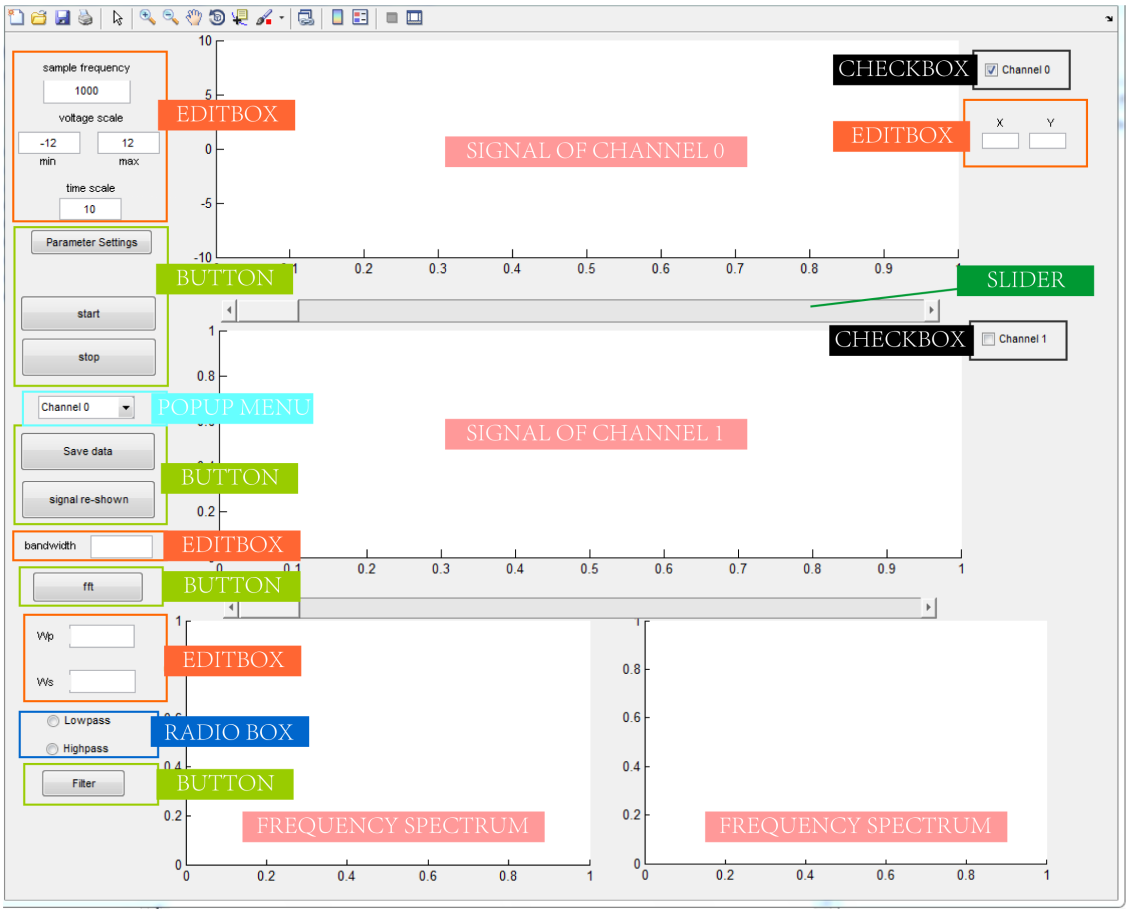


图 2-1 界面

EDIT BOX：

1） Sample frequency 采样率（Hz）

2）Voltage_min，Voltage_max 显示电压上下限（V）

3）Time_scale 一个屏幕长度所代表的时间（s）

4）Bandwidth FFT 完成后显示的频率窗宽（Hz）

5）Wp，Ws 滤波器参数，表示通带和阻带频率（Hz）

6）x, y, 显示最接近鼠标点击处的信号坐标值（t-V）

RADIO BOX：

1）HighPass 高通滤波器（buttord，butterworth）

2）LowPass 低通滤波器（buttord，butterworth）

BUTTON:

1）Parameter Settings

① 设置采样率 sample frequency，设置 timer 参数

② 设置时间轴和电压范围

2）Start

启动 Timer，开始采集数据并滚动显示，并将数据一块一块地写入.txt 文件

3）Stop

关闭 Timer 并删除，停止采集数据，将剩余的未存入的数据写入 .txt 文件

4）Save data

将 .txt 文件中的数据保存在 .csv 文件中

5）Data re-shown

将保存在 .csv 文件中的数据读出并显示在相应的屏幕上

6）Fft

将保存在 txt 文件中的数据读出并进行 fft，根据设定的 bandwidth 参数显示在图表中

7）Filter

将数据读出并根据所选择的滤波器种类和参数构建滤波器，对时域信号进行滤波，将滤波后的时域信号显示在图表中，并做 fft 显示在下方图表中。

CHECKBOX：

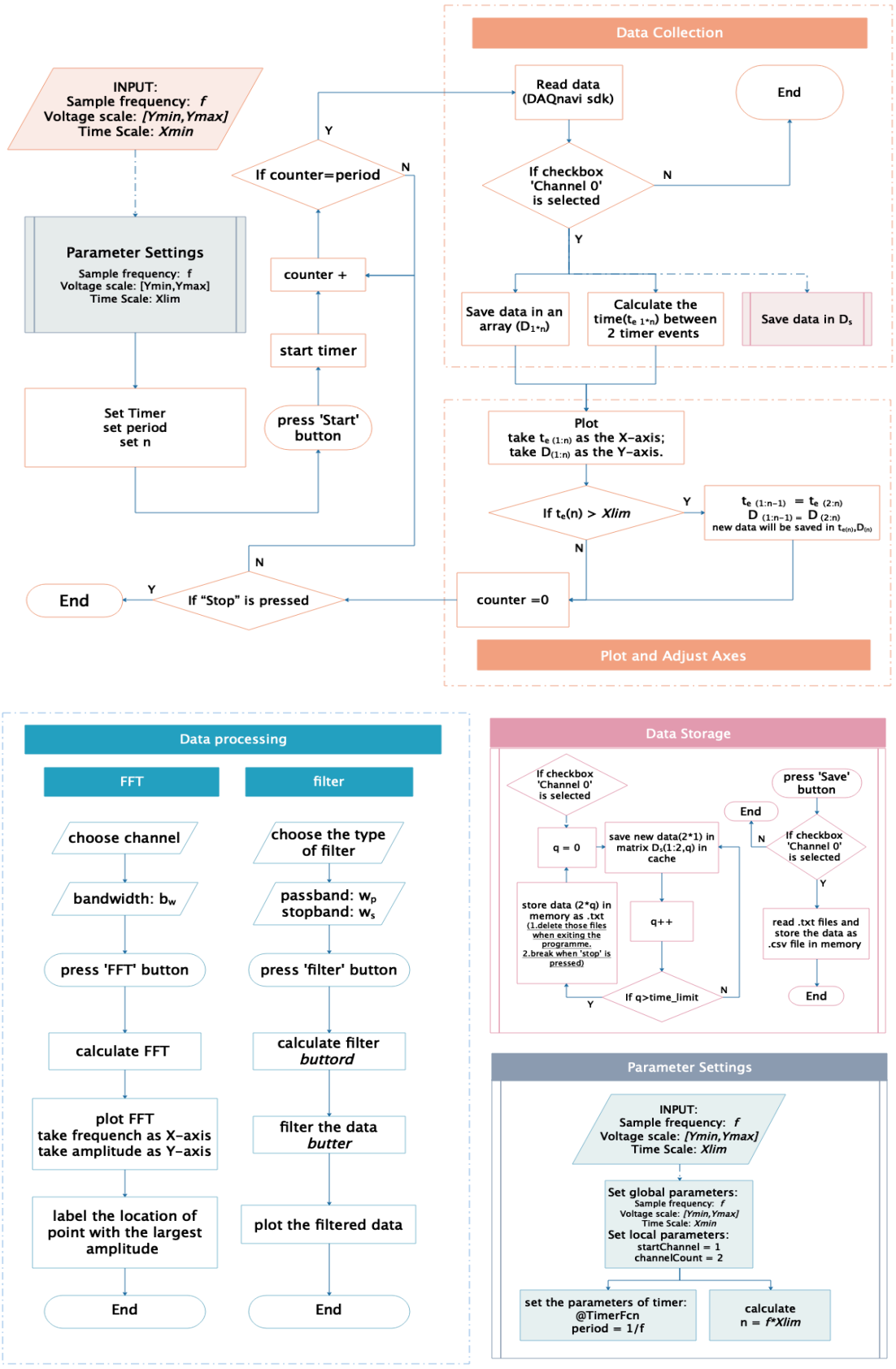
点击小方块表示通道打开，否则通道关闭

SLIDER:

data re-shown 按钮按下之后，左右移动能够滚动显示对应的保存的信号数据

MENU：

选择 FFT，滤波，Save data，Data re-shown 的通道



Notes:
1、There are 2 checkboxes in the programme. All the following process for checkbox 'Channel 1' are the same as 'Channel 0'.
2、'Stop' is actually an interrupt.

图 2-2 程序开发逻辑图

II、 测试中遇到的问题及其解决方法

1. 使用 GUI 外部函数画图，Figure 会另外产生

我们将 GUI 的 handles 通过函数传递到外部函数中，但是发现在使用 handles.axes 时会重新产生一个 figure 来画坐标轴，这个是因为 GUI 内部本身有保护句柄的设置，在句柄通过参数进行传递的时候会被隐藏，可以进行数据的传递，但是无法从外部访问句柄内部的模块；设置 HandlesVisibility 为 On 即可解决这个问题。

2. 屏闪发生的原因

采集数据和画图是在 timer 的 TimerFun 函数中一起进行的，当采样率很高时，频率刷新的速率也很快，所以出现闪屏的现象。理论上，采集数据和刷新屏幕不应该在同一个模块中进行，有尝试过用两个 timer 分别执行不同的功能但是由于 matlab 的线程不够，导致很多模块无法响应，所以放弃了两个 timer 的做法。

3. matlab 中实际采样率的计算

在采样的时候，由于采样和画图的过程需要时间，所以实际的采样间隔时间并不是理想的设定值，这就导致了采样率大大降低的问题。正如前文所说，我们没做到在 matlab 上把数据采样和画图分开，导致采样时间与设定的时间间隔相差甚远；为了保证波形的不失真，我们需要知道每次采样间隔的实际时间，为此我们使用了 get(instantperiod)函数，得到了最近两次 TimerFun 的间隔时间，并以此计算实际的横坐标，在采样率足够的前提下，保证了信号波形的不失真。

我们计算过输入 1000Hz 采样率时，程序的实际采样率：

1) 在两个通道同时打开并且开始滚屏，最高采样率为 33Hz 左右

2) 双通道打开但不滚屏为 40Hz

3) 单通道打开滚屏为为 60Hz

4) 单通道打开不滚屏为 150Hz 左右

由此可以看出，画图和滚屏花的时间还是非常多的；

我们也测试过没有画图时采一个点所需要的时间是 2ms，如果 matlab 能厉害一点，确实能够达到更高的采样率。

4. fft 以及滤波等距采样的构建

由于我们的横坐标是通过 get(instantperiod)得到的，所以相当于是不等间距的采样，在这种条件下做 fft 会出很大的问题。所以我们选择利用现有的数据，通过 spline 函数，进行重新插值，得到等间距采样的数据，利用这样的数据做 fft 以及滤波，效果还可以。

5. 数据存储与缓存占用问题

一开始我们写程序，构建了一个无限大扩充的缓存数组（没有规定范围），但是测试的时候发现，内存在逐渐增加，到后面因为内存被占满了，采样的速率变得越来越慢，完全采不到想要的信号；所以我们选择在缓存中只保存屏幕上的点的数据（横轴长度×采样率），完整的数据在一段时间之后会通过 fpringf 函数写到 txt 文件中，然后点击 save data 能够将完整数据保存在 csv 文件中，通过点击 data re-shown 按钮能够将保存的数据重现在想要的坐标轴上。

6. 如何用 Matlab 程序生成 .exe 文件

在 Matlab 中使用命令行 'deploytool' .