

DSP LAB 1 Report

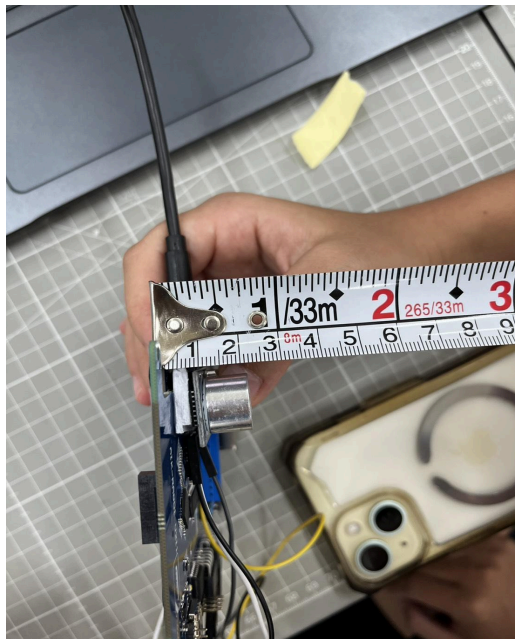
組員：

朱雅萱 109101011

簡惠心 112511092

林柏玟 112511103

Introduction & Experimental Setup



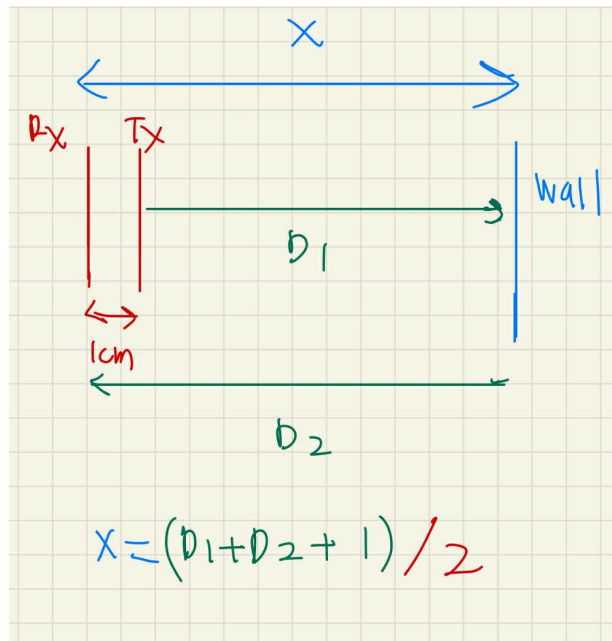
AIK-RA8D1開發版與HC-SR04黏接方式

我們可利用 距離=速度*時間 公式，得到聲波行駛的總距離等於 $(331+0.6*25)*t_{travel}$ 。

在實驗建置上，我們使用超音波測距模組HC-SR04作為超音波訊號發射器，使用 AIK-RA8D1開發版作為超音波訊號接收器。

我們使用泡棉膠，將超音波測距模組黏貼在AIK-RA8D1開發版上。

如下圖所示，超音波實際走的距離為 $D1+D2$ ，而帶測距離 x 會等於 $(D1+D2+1)/2$ ，其中 1cm是超音波發射器與接收器間的間距。



距離計算示意圖

以下我們已40cm來當作計算範例：

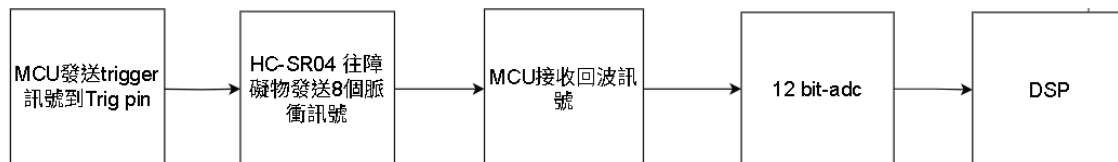
假設測量到的 $t_{\text{travel}} = 2.4875 \times 10^{-3} \text{ (s)}$,

則距離為 $x = (t_{\text{travel}} * (331 + 0.6 * 25) * 100 + 1) / 2 = 43.54 \text{ (cm)}$

Methodology & Discussion

超音波發射訊號與 ADC 取樣

實驗中，我們使用MCU AIK-RA8D1發送Trigger訊號至超音波模組HC-SR04，使HC-SR04的發送連續8個、40KHz脈衝波。待MCU上的接收器收到訊號後，我們使用MATLAB做後續數位訊號處理。



實驗流程圖

訊號處理步驟 — 以 20cm 為例

取得原始訊號

本實驗使用的是12bit ADC，採樣頻率 F_s 為160KHz， $V_{ref} = 3.3(V)$ ，ADC的resolution為 $3.3/4096$ ，約等於0.806mV。

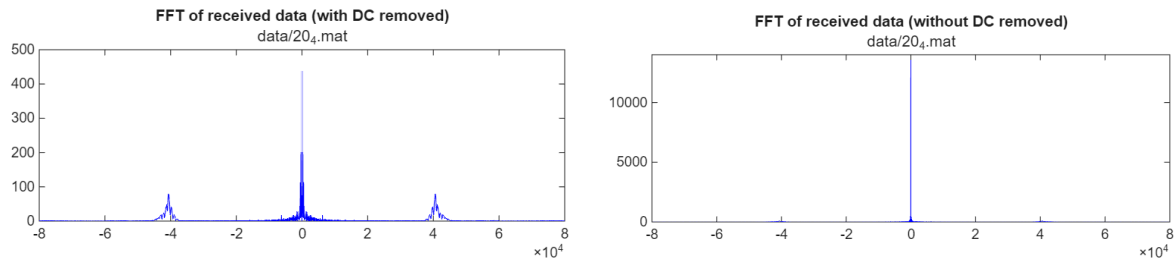
我們利用MATLAB採集8192個原始訊號點，並將此資料利用MATLAB做後續訊號處理。

去除DC直流訊號(mean subtraction)

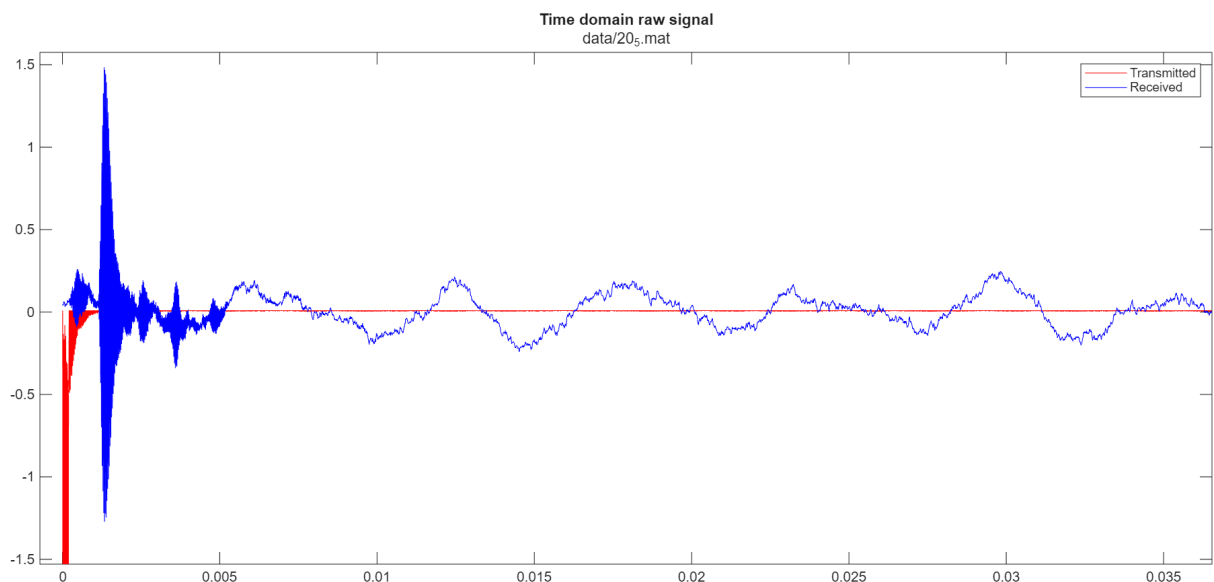
首先，為了去除直流訊號，我們將所有資料點減掉平均值。去除直流訊號能降低FFT頻譜中，頻率為零處的能量強度，使我們在觀察FFT頻譜時，可以更加清楚的觀察其餘頻率的強度表現。

如下圖所見，去除直流訊號的FFT圖中， $f = 0$ 時的訊號強度大幅降低，使我們在40KHz的目標訊號更明顯易觀察。

```
% ----- remove 1st sample and DC component -----
received_data = data.received_data(2:8192);
received_data = received_data-mean(received_data);
transmitted_data = data.tx_received_data(2:8192);
transmitted_data = transmitted_data-mean(transmitted_data);
```



上圖左為去除DC後的FFT, 上圖右為原始訊號的FFT



上圖Time domain: 去除DC之後的raw signal: **Transmitted signal** , **Reveived signal**

Demodulation

由於超音波訊號中含有40KHz的高頻載波, 為了去除40KHz載波, 我們必須使用 demodulation將頻譜左移40khz來得到目標訊號。

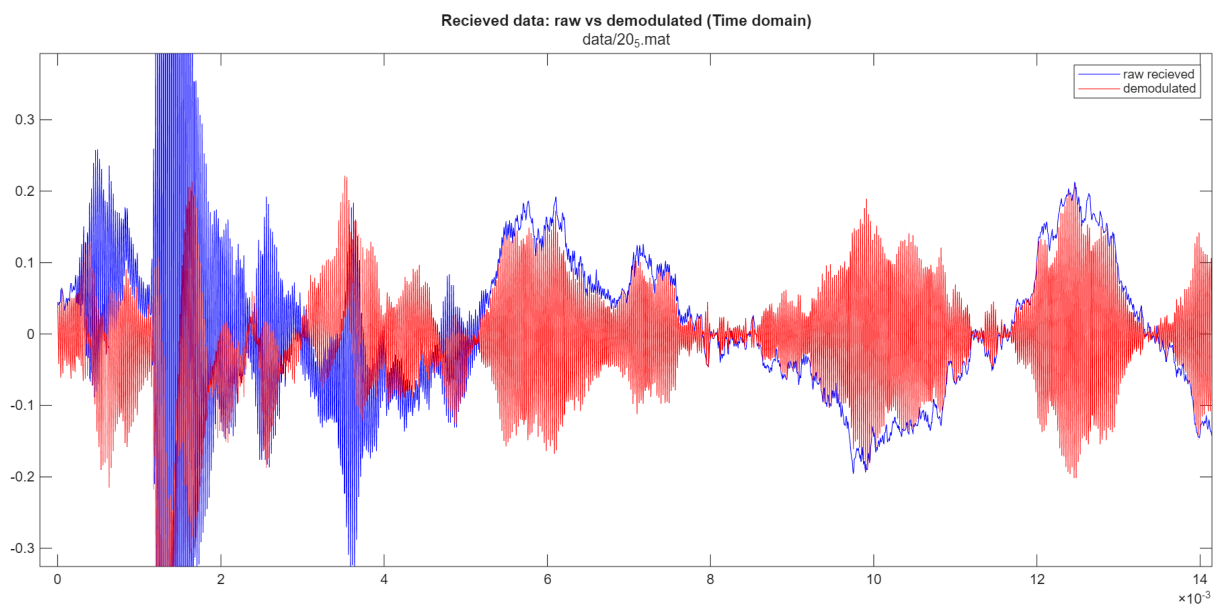
經由demodulation公式 $\text{signal} * e^{-j2\pi f_c t}$, 可見下圖中藍色原始訊號往左邊平移40KHz, 相當於將我們的目標訊號去除40KHz的載波。

```

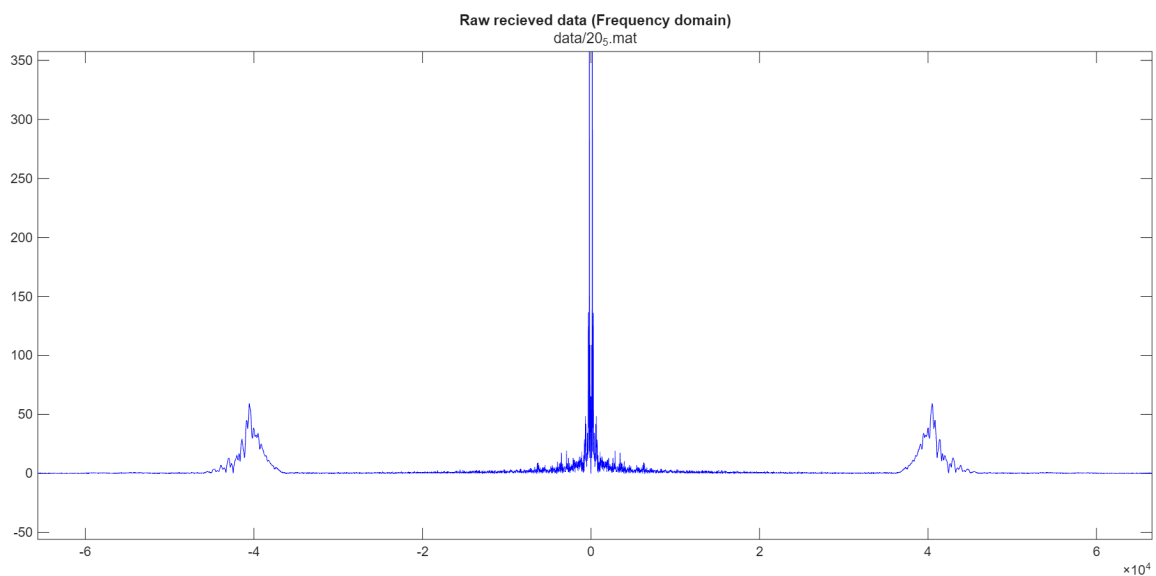
function y_demod = demodulation(x, Fs, fc)
%DEMODULATION 將實數輸入與  $e^{-j 2\pi f_c t}$  相乘做下變頻
% Input
%   x : time seires
%   Fs : sampling rate (Hz)
%   fc : 載波頻率 (Hz)
% Output
%   y_demod : demodulated sequence

N = numel(x);
t = (0:N-1)/Fs;
y_demod = x(:).'* exp(-1j*2*pi*fc*t);
y_demod = y_demod(:);
end

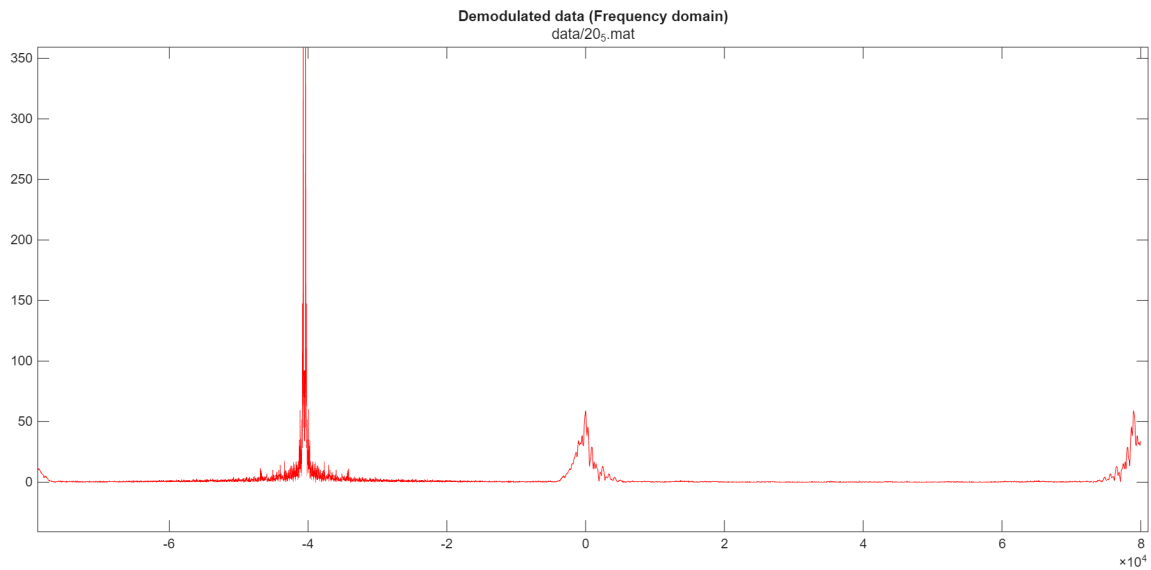
```



上圖為 Time domain: 原始訊號 vs. demodulated 後訊號



上圖為 Frequency domain: 原始訊號



上圖為 Frequency domain: demodulated 後訊號

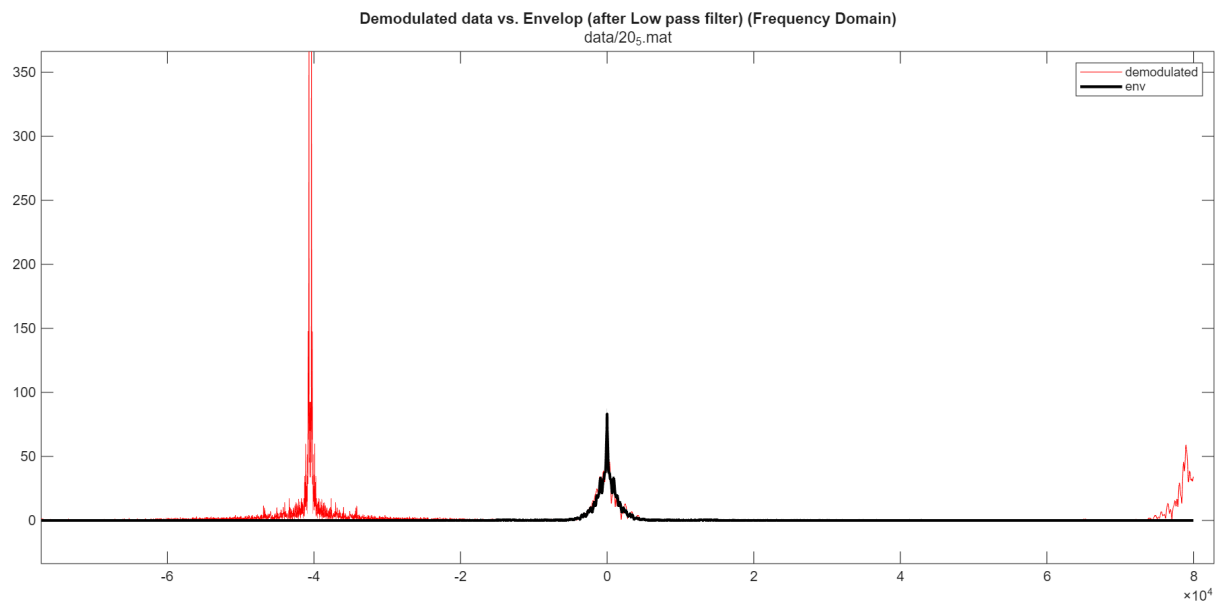
Filter & Envelope

由於訊號中可能存在一些高頻雜訊，故使用低通濾波器濾除雜訊。

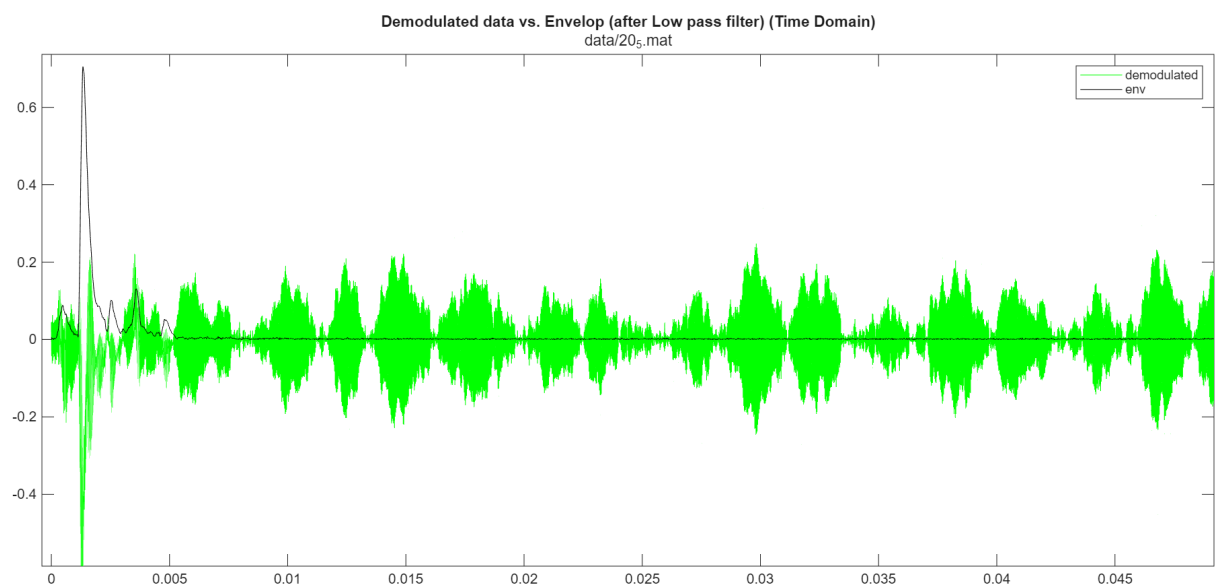
我們觀察經過demodulation的FFT頻譜發現，主要雜訊大多集中在-40KHz、80KHz、-80KHz，目標訊號落在0-15K左右。故在低通濾波器的截止頻率上，我們選擇15K作為截止頻率。

濾除雜訊後，再對訊號取magnitude即可還原原始訊號的包絡。

```
function env = envelope_lowpass(y_demod, Fs, fc_lp)
% 先low pass 再取 abs 得到 envelop
% Input
%   y_demod : demulated signal
%   Fs      : sampling rate
%   fc_lp   : low pass 截止頻率
% Output
%   env     : envelop (abs(lp))
    y_lpf = lowpass(y_demod, fc_lp, Fs);
    env    = abs(y_lpf);
end
```



上圖為 Frequency Domain: **LPF 前** vs **LPF後** (cut off frequency=10000)



上圖為 Time domain: **LPF 前** vs **LPF後** (cut off frequency=10000)

Find peak / onset

我們希望取訊號envelope中的最大峰值，將最大峰值出現的時間點作為聲波傳遞的時間。為此，我們須進行以下步驟：

1. 找 envelope 中的所有局部峰值 (可能有多個peak)
2. 從局部峰值當中找到最大峰值的位置
3. **(Optional) 找 onset** 從最大峰值往回找 onset (該峰值的起始點, 斜率從負轉正的地方)

找到最大峰值與後，我們使用距離公式

$$x = (t_{\text{travel}} * (331 + 0.6 * 25) * 100 + 1) / 2$$

算出距離。其中多加入的1cm為超音波發射器與接收器間的高度差。

```
function [idx_onset, idx_peak] = find_peak_onset(env)
% 1. 找 envelope 中的所有局部峰值 (可能有多個peak)
% 2. 從局部峰值當中找到最大峰值的位置
% 3. 從最大峰值往回找 onset (斜率從負轉正的地方)
% Input
%   env : envelope time series (N×1)
%
% Output
%   idx_onset index of onset
%   idx_peak: index of max peak

% --- 用 findpeaks 找所有峰值 ---
[pks, locs] = findpeaks(env);

% 如果訊號內有至少一個峰值
if ~isempty(pks)
    [~, i_max] = max(pks);
    idx_peak = locs(i_max);
else
    % 如果沒有偵測到峰值，就退而求其次取最大值
    [~, idx_peak] = max(env);
end

% --- 往回找 onset ---
dy = diff(env);
last_nonpos = find(dy(1:idx_peak-1) <= 0, 1, 'last');
if isempty(last_nonpos)
    idx_onset = 1;
else
    idx_onset = last_nonpos + 1;
end
end
```

我們觀察在圖中出現多個局部峰值，推測是因為超音波訊號在空間中有多重反射，而產生多個局部峰值。

實驗結果與討論

在結果呈現上，我們分別討論使用max peak與onset這兩點計算距離的結果與差距。

距離公式

聲速距離公式為：

$$x = (t_{\text{travel}} * (331 + 0.6 * 25) * 100 + 1) / 2$$

其中多加入的1cm為超音波模組與板子之距離。

Peak / onset to distance

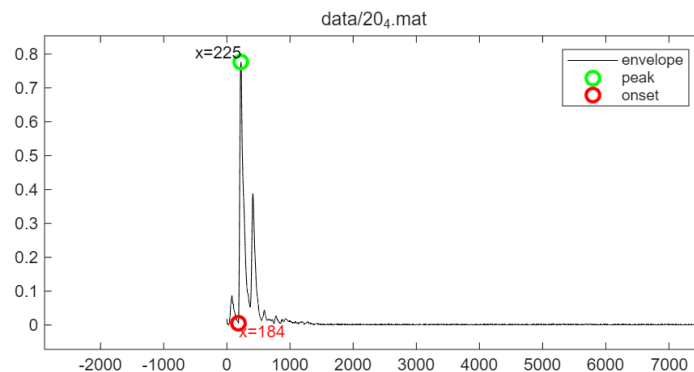
計算距離時，我們有兩個 t_{travel} 需要討論：

1. $t = \text{max peak}$ 出現時

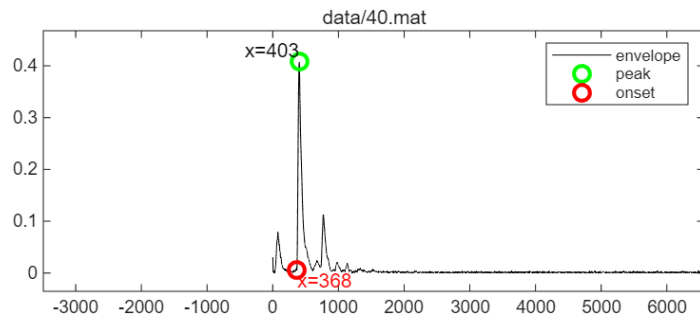
以訊號出現最大值的瞬間作為計算距離的參考。

2. $t = \text{onset}$ (max peak峰值峰值的起始點，斜率從負轉正的地方)出現時

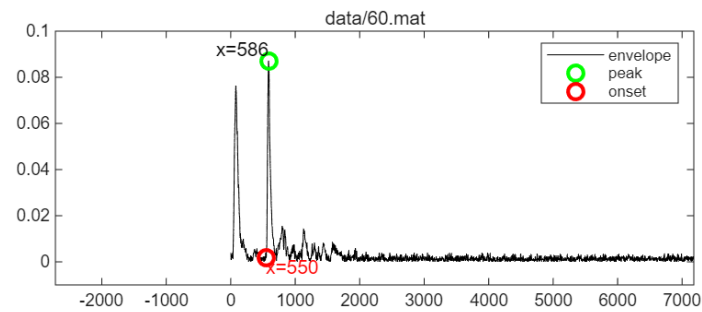
我們觀察到，在RX收到訊號時，onset與max peak之間會有一段時間近於超音波發射方波的時間差，推測是由於ringing現象，接收器中的寄生電容或電感在受到脈衝波下電壓會升高，但是我們可以想成RC電路的放電，會有一個時間常數 τ 的時間衰減。根據我們觀察到的現象， $\tau \gg 1/f_c$ ，也就是方波的週期。具體來說，在第一個方波抵達後，電路就會被充電到一個電壓值，但是這個電壓值衰減的速度很慢，因此在第八個回波到達時我們的電壓值就會是前七個回波的值衰減後的總和加上第八個回波的響應。



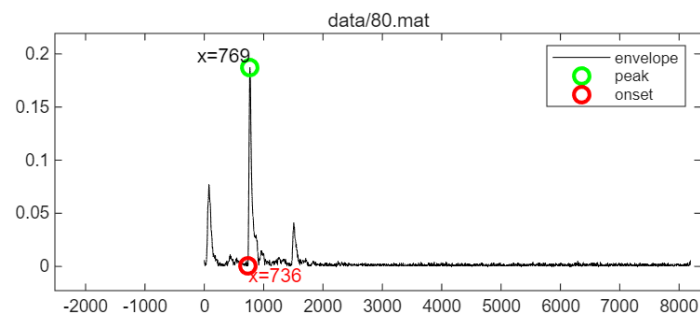
上圖為距離=20的envelop 的onset 和 max peak



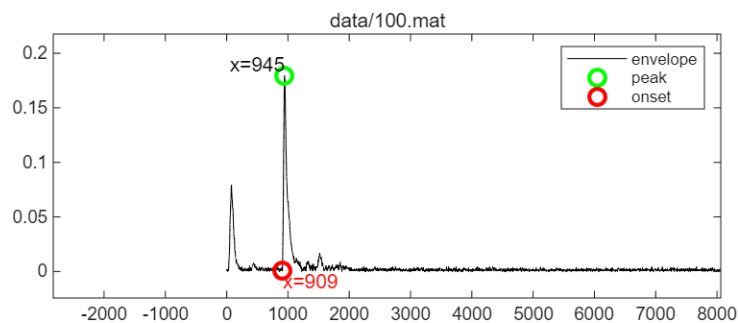
上圖為距離=40的envelop 的onset 和 max peak,



距離=60 的onset 和 max peak



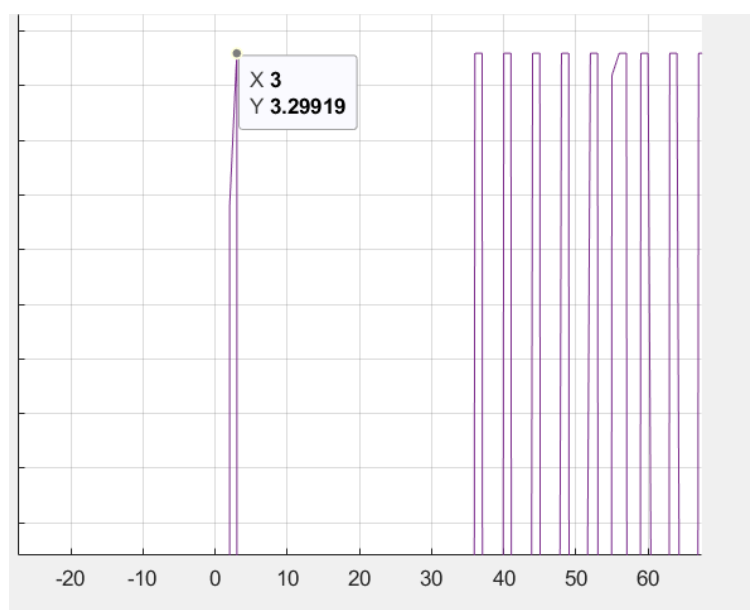
距離=80 的onset 和 max peak



距離=100 的onset 和 max peak

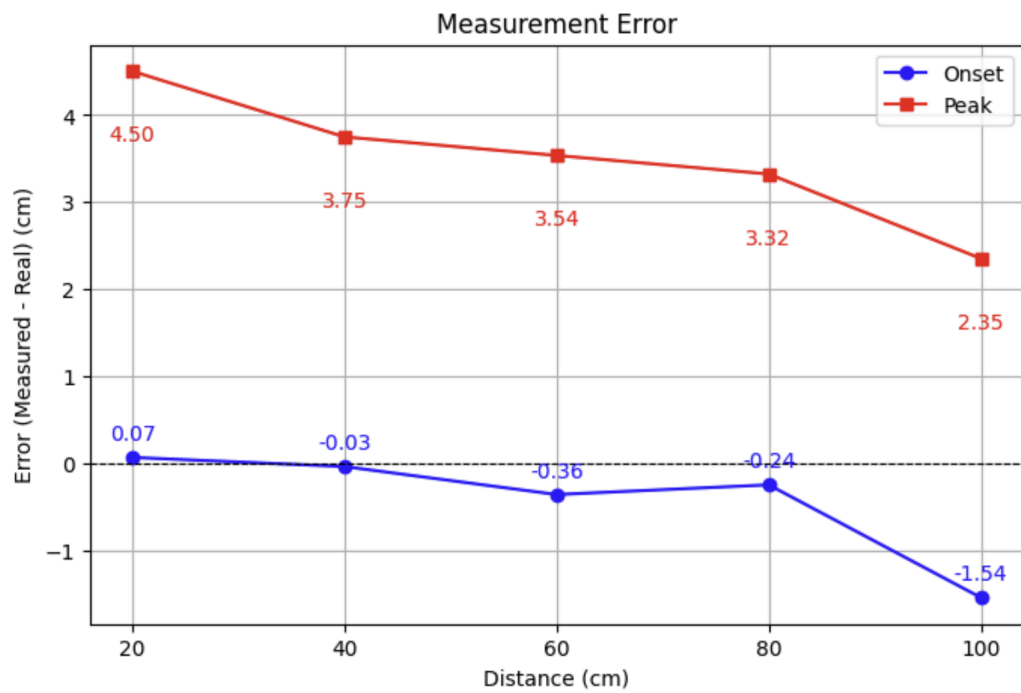
在計算時除了要考慮超音波模組與板子之距離，也要考慮訊號起始點的位置。

如下圖為transmitted_data是從第三個採樣點才開始發送訊號，因此我們取第三個data point作為訊號處理起始點。

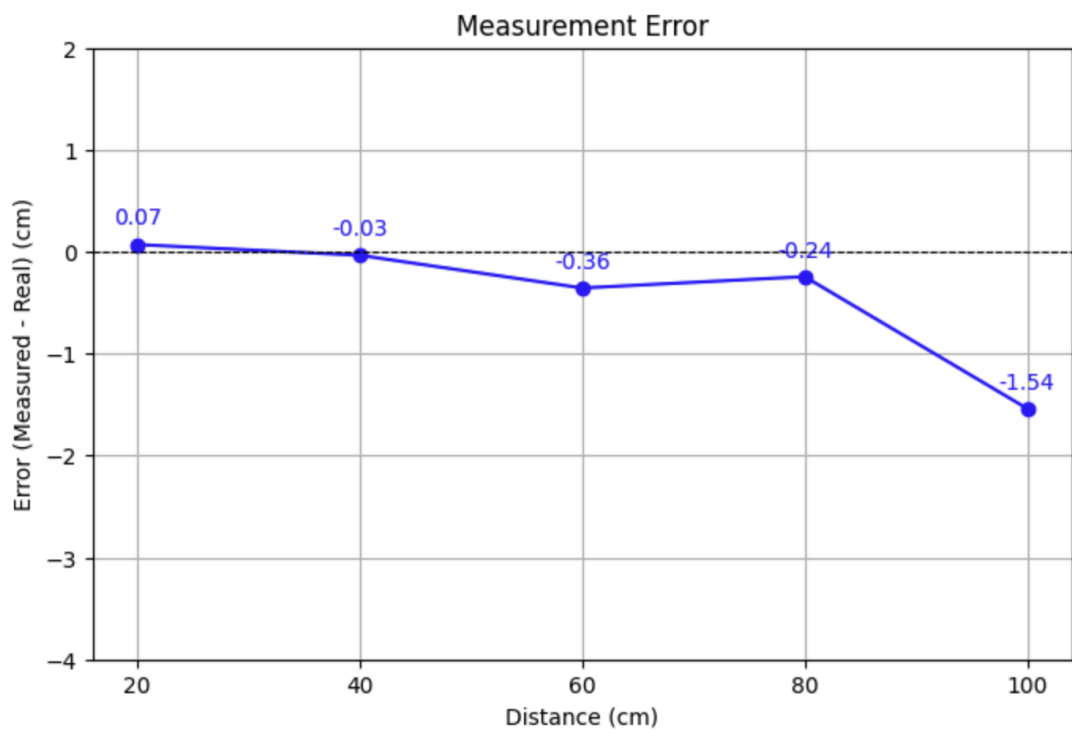


實測距離 (20/40/60/80/100 cm) 與計算結果的比較表格

	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
onset	20.0706	39.9656	59.6444	79.7556	98.4613
peak	24.5038	43.7500	63.5369	83.3237	102.3538
peak - onset 兩者的時間差 (in sample points)	41	35	36	33	36



使用 onset / peak 在不同距離下的誤差值



使用onset在不同距離下的誤差值。

Conclusion

- 總結誤差來源
 - 超音波發射器跟板子的距離(肉眼測量會有誤差)
 - transmitted data sample point的取值(但差異不大)
 - ringing現象: onset與max peak之間會有一段時間近於超音波發射方波的時間差
- 總結哪些修正可以增加準確度
 - 使用onset的方法可以使得誤差有著明顯的下降。使用peak誤差很大的原因應是因為回波訊號需要一段時間才有辦法累積到最大值, 而其中的時間差就是造成誤差的原因。