

HW1_part1 評分標準與參考解答

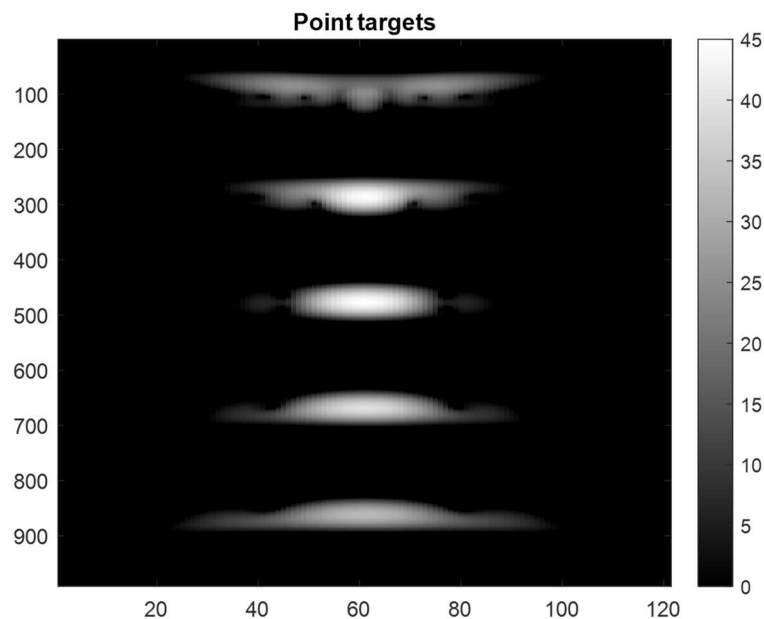
- 注意事項:
 - 圖片要整理在報告中
 - 程式碼原則上不要貼在報告中，若有解釋的必要，截取段落即可
 - 在數據分析比較時盡量整理成表格
 - 數據要記得附上單位
 - MATLAB 的圖片可以擅用 Edit -> Copy Figure，再做放大縮小較不會失真
 - HW1_part 1、part 2 沒交程式碼這次不扣分，往後如果有需要打程式請附上程式碼。
 - 如果可以的話，附上.doc、.docx檔的同時也請一併附上.pdf檔，比較不會有格式錯誤、圖位置不同的問題
 - 此次為第一次交程式題，助教給分相對寬鬆，盡量能在給分的範圍內給各位分數，希望大家加油，不要放棄。
- 評分標準(total 100% + **bonus 10%**):
 - (a) 能夠做出正確的影像，軸的單位也要標記正確。(15%)
 - (b) 能夠找出聚焦點的位置 (5%)，並且解釋為什麼 (5%)。
 - (c) 計算出聲速並調整影像(10%)
 - (d) 這題可以用肉眼觀察即可，答案的部分可以使用老師附的程式碼說明，只要不要太離譜都可以(10%)
 - (e) 表格列出-6dB 與-20dB 的 lateral 與 axial 解析度，並與(d)比較。(10%)
 - (f) 計算 aperture size 並說明如何計算出來(10%)
 - (g) 畫出正確的 lateral resolution 與 axial resolution 隨深度的圖和解析度與深度的比較(10%)
 - (h) 能夠說明如何分辨在焦點前後，想法正確都給分。(10%)
 - (i) 畫出正確的兩張圖和解釋對比度的差異(15%)(圖片:10% 解釋:5%)
 - (j) a.小題的成像使用 baseband demodulation 來做 (**Bonus 10%**)

(a) Ultrasound image formation: follow the procedure of ultrasound image formation in the lecture notes to form an ultrasound image of the 5 point targets with 45dB dynamic range and correct image axes (correct depth and lateral position). (procedure: envelope detection with Hilbert transform, log conversion, and then determine the image dynamic range)

首先題目沒有給定我們聲速的資訊，因此必須先去找 5 個 point targets 裡面，哪一個剛好位於 focal point 的位置，根據題目給定的 point target 的深度位置推聲速，最後得到正確的深度軸資訊。

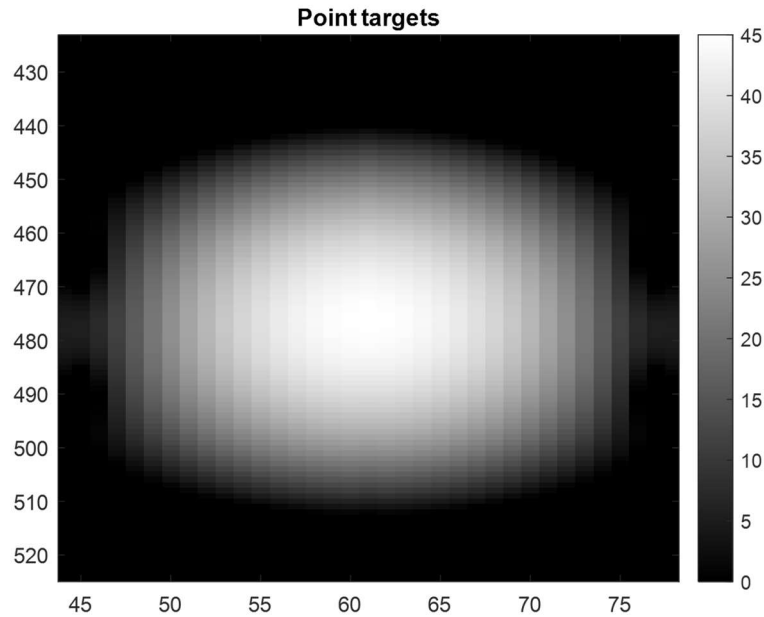
- 找出哪一個點恰巧位於探頭的 focal point (對應到(b))

可以先把原本的影像畫出來(尚未確定好深度軸):



可以看到的第三個點比較有聚焦的樣子，因此可以知道第三個點恰巧為 focal point，也就是深度 12mm 的地方。

- 得到第三個點的 sample point 位置
把上面那張圖 zoomed-in 來看。



可以發現點的中心位置對應到的 sample point 為 479 點。

- 計算對應的時間和深度(對應到(c))

首先我們求出對應的時間。

$$t = t_{offset} + 479 * \left(\frac{1}{f_s}\right) = 6.48 + \frac{479}{50} = 16.06\mu s$$

計算出對應的聲速:

$$soundv = \frac{2 * focal\ depth}{t} = \frac{2 * 12}{16.06} = 1.494\ mm/\mu s$$

- 根據計算到的聲速，得到對應的影像結果。

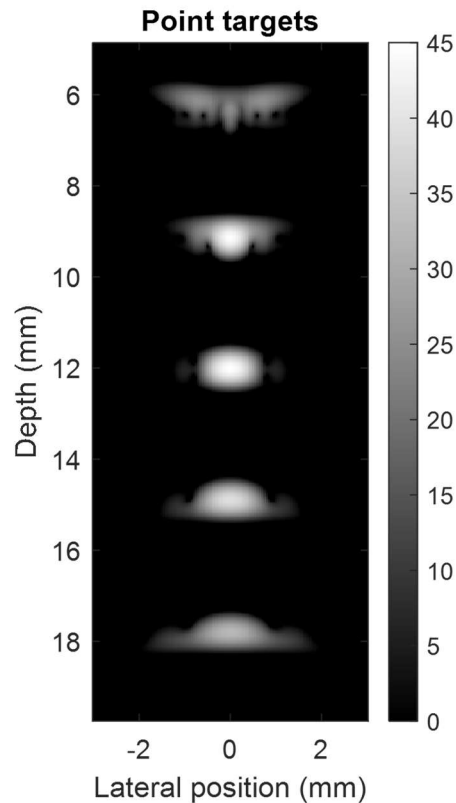
要注意的點：

超音波是2-way，因此深度部分的計算要除以2。

Time offset 要計算在深度中。

Envelope detection可以用baseband demodulation或是Hilbert transform。

請記得單位要轉換成mm，不要用pixel點去表示。



(b) Find the focal length (i.e., depth) of the transducer according to the image you make in (a). One of the point targets is located at the focal point. Please explain how you find it out.

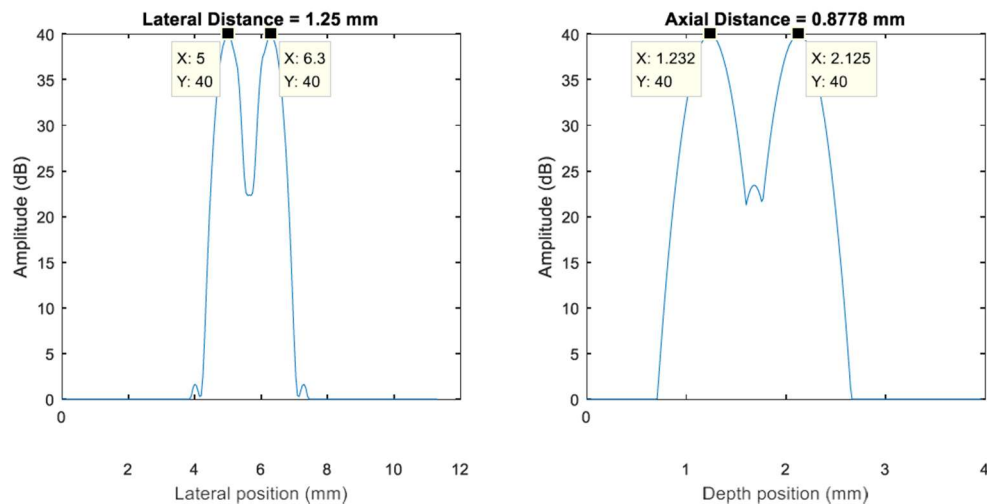
可以參考(a)的答案。

(c) Please tell the speed of sound of the imaged material. Once you know the speed of sound, go back to (a) and give the correct depth label of the B-mode image.

可以參考(a)的答案。

(d) Point spread function assessment: determine the lateral and axial resolution at the depths of the 5 point targets based on the fundamental definition of the spatial resolution and your eye examination. Does the imaging system own the best lateral and axial resolution at the focal point?

這個小題要大家用肉眼去觀察，因此可能會有蠻多不同的答案，大致上只要觀念想法合理就會給分。不過由於老師有給相關的程式碼，可以透過程式碼的方式來進行確認。老師所給的是分析每個深度點的橫向最大值，再利用convolution的方式來探討，而縱向解析度則是對每個點的資料作轉置在重複即可。

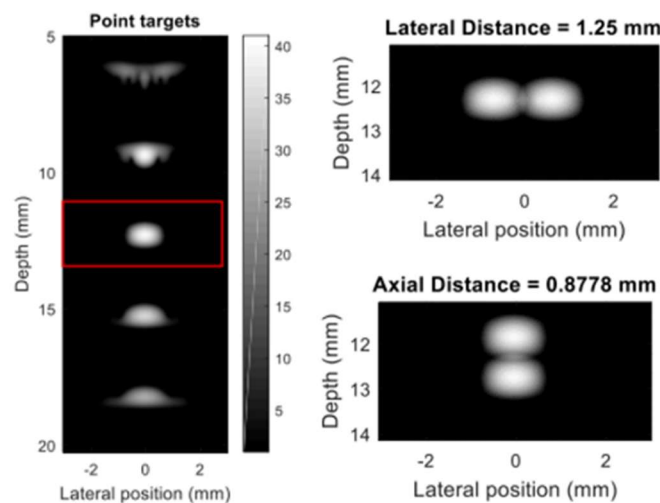


分析兩個點靠近到不能分辨的程度，就可以大概看出解析度的大小。

要注意，convolution時envelope_dB的資料點比0小的數值要壓到 0dB，不然會被那些負值影響，產生錯誤的波型。

除此之外也可以利用 conv2 的技巧進行二維影像的觀察。(Code 底下有附)

結果:



程式碼:

```
distance=10;
scatterer_x=[ zeros(1,100) 1 zeros(1, distance) 1 zeros(1,100)];
PSF=rf_data(381:570,:);    %psf at focal points
conv_PSF=conv2(PSF,scatterer_x);
figure;
imagesc(conv_PSF);
```

調整 distance 使其相近到看不見，就可以換算出解析度。

我們可以把得到的 distance 分別乘上 dx 和 dz，來得到肉眼計算出的 lateral

resolution 和 axial resolution。

	-6 dB	
	Lateral resolution(mm)	Axial resolution(mm)
6 mm	2.65	0.885
9 mm	0.77	0.57
12 mm	0.85	0.57
15 mm	1.1	0.57
18 mm	1.4	0.57

(Referenced from 劉鉉偉)

(e) Point spread function assessment: determine the -6 dB and -20 dB lateral and axial resolution at the depths of the 5 point targets using projection along the corresponding direction, and compare with the results in (d). Please comment your findings.

採取類似(c)小題的作法，分析-6dB與-20dB的頻寬就可以得到下表，本題的結果有經過內插處理，希望各位同學能用表格的方式呈現。

解析度結果:

lateral beam width:(單位 mm)

	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
-6dB	2.22	0.5	0.62	0.78	0.98
-20dB	3.22	1.18	1.1	1.44	2.4

axial beam width: (單位 mm)

	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
-6dB	0.66	0.399	0.39	0.39	0.396
-20dB	1.08	0.738	0.726	0.726	0.738

對應的程式碼:

```

Npt = 5;    % number of point targets
dz = 1/fs*soundv/2;
for iPt = 1:Npt
    psf = envelope_dB(1+(iPt-1)*190:190*iPt,:);
    %lateral
    %figure; plot((max(psf)-max(max(psf))));
    idx = find((max(psf)-max(max(psf))) >= -6);
    lateral_6dB(iPt) = (idx(end) - idx(1))*dx;
    idx = find((max(psf)-max(max(psf))) >= -20);
    lateral_20dB(iPt) = (idx(end) - idx(1))*dx;

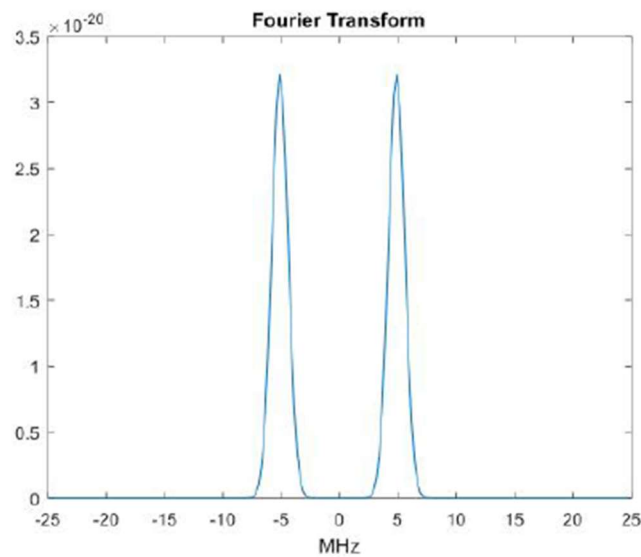
    % axial
    psf = psf.';
    %figure; plot((max(psf)-max(max(psf))));
    idx = find((max(psf)-max(max(psf))) >= -6);
    axial_6dB(iPt) = (idx(end) - idx(1))*dz;
    idx = find((max(psf)-max(max(psf))) >= -20);
    axial_20dB(iPt) = (idx(end) - idx(1))*dz;
end

```

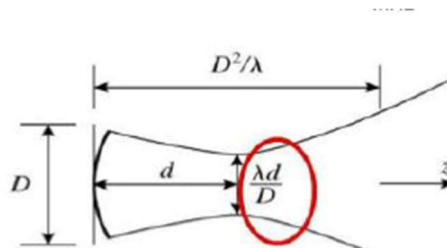
(f) Assume the -6 dB lateral resolution you estimated in (e) well matches the the theoretic value(i.e., -6 dB main lobe width)at the focal point. Please tell the aperture size (i.e., the diameter) in mm of the used ultrasound transducer. Hint: you have to figure out the center frequency of the transmitted signals from the transducer. Remember to show how you figure out the center frequency.

- 找出脈衝波的 center frequency:

focal point 即探頭每個地方所產生的超音波會同時抵達的地方，在疊加時不會有時間偏移，頻譜亦不會有偏移，因此若要找 center frequency，需要把 focal point 那段訊號取下來做 fft，找出震幅最大處，可以發現中心頻率在 5MHz。



- 找出探頭的 aperture size:

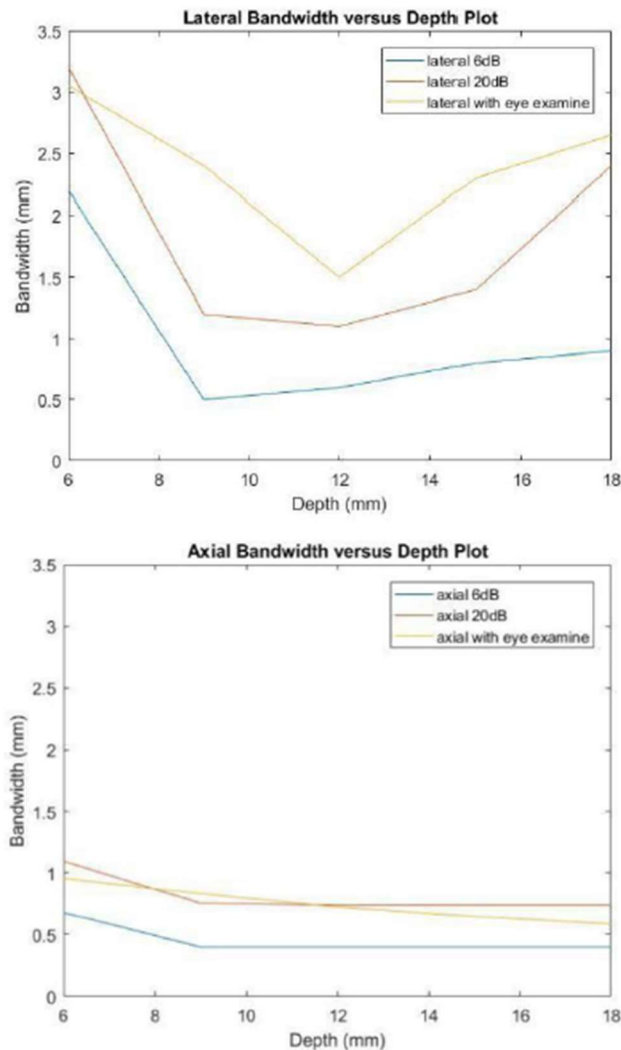


因為我們量測到的 -6dB lateral resolution 就是超音波 -6dB main lobe width 的寬度，我們可以根據上圖的公式計算出 aperture size。

$$D = \frac{\text{sound } v}{fc} * \frac{\text{focal depth}}{-6\text{dB lateral resolution at focal point}} = 6.16\text{mm}$$

(g) According to your results in (d) and (e), is the resolution “position dependent resolution”? Please discuss with axial and lateral resolution, respectively. It would be better that you can provide the plots of axial or lateral resolution as a function of depth, and discuss according to the plots.

本題請盡量用繪圖的形式表示：



Lateral resolution: 與深度有關，愈接近focal point愈小，跟 $f\#$ 有關。

Axial resolution: 與深度無關，些微的變動算是誤差範圍，與發射的頻寬有關。

(h) Can you decide that the point being imaged is located in front of, right at, or behind the focal point via its PSF shape? Please elaborate how you decide?

同學可以直接從(a)圖上面看出來，在焦點前的會是下凸，而焦點後的會上凸，中心的部分則是呈現圓形，只要有描述觀看的過程就給分。

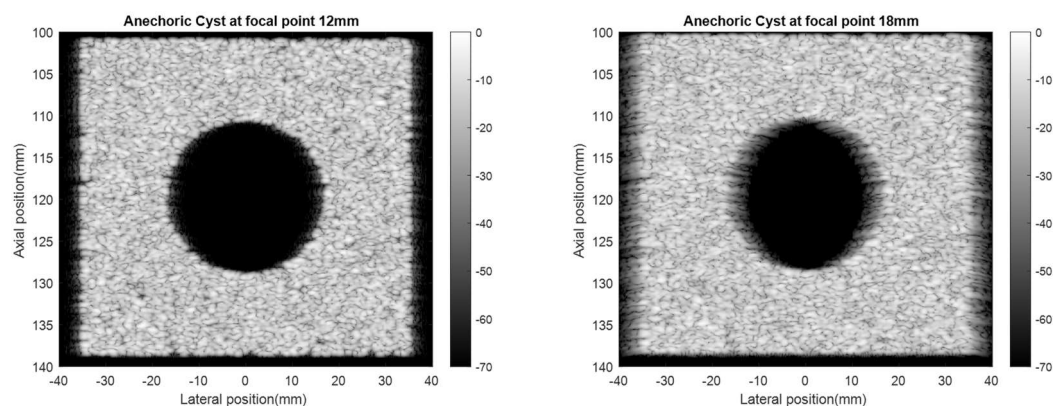
焦點前(下凸)	焦點後(上凸)

(i) Ultrasound image simulation of an anechoic cyst phantom: please simulate two ultrasound images of an anechoic cyst phantom at the focal zone and in the region centered at the depth of 18mm, respectively, based on the principle of the linear space invariant system and the provided point spread functions. The 2D phantom size is 4cm by

4cm and the diameter of the anechoic cyst is 1 cm. The scatterer is distributed randomly in the phantom and is with the same back-scattering coefficient (or reflection coefficient). Note that for the number of the total scatterers required in your simulation, you have to guarantee that there are at least 10 scatterers with the sample volume (i.e., -6 dB sample volume) at the focal zone, and use the same number of the total scatterers for the two image simulation. Compare the contrast of the two images, elaborate and explain your findings. For the contrast estimation, please estimate the contrast (in dB) between the anechoic cyst and the background according to the equation provided in our lecture slide. 利用聚焦區域(12 mm)與深度(18 mm)的PSF去模擬聲波經過一個圓形物體的造影過程。PSF 之於超音波系統就如同一般控制系統的impulse response，當一個物體對超音波產生back scattering時，所產生的影像就像輸入訊號對impulse response做convolution所得到的輸出訊號。

本題步驟為在4 cm*4 cm的區域內隨機放入散射質，再以座標(20 mm, 20 mm)為圓心、10 mm為半徑，將此圓形範圍內的散射質移除，最後將原本題目的RF訊號以對應深度的scanline與之convolution即可。

結果:



計算到得contrast ratio:

	Inclusion(dB)	Background(dB)	Contrast ratio(dB)
12 mm	-64.445	-15.8047	-48.6403
18 mm	-60.9504	-15.0467	-45.9037

討論：

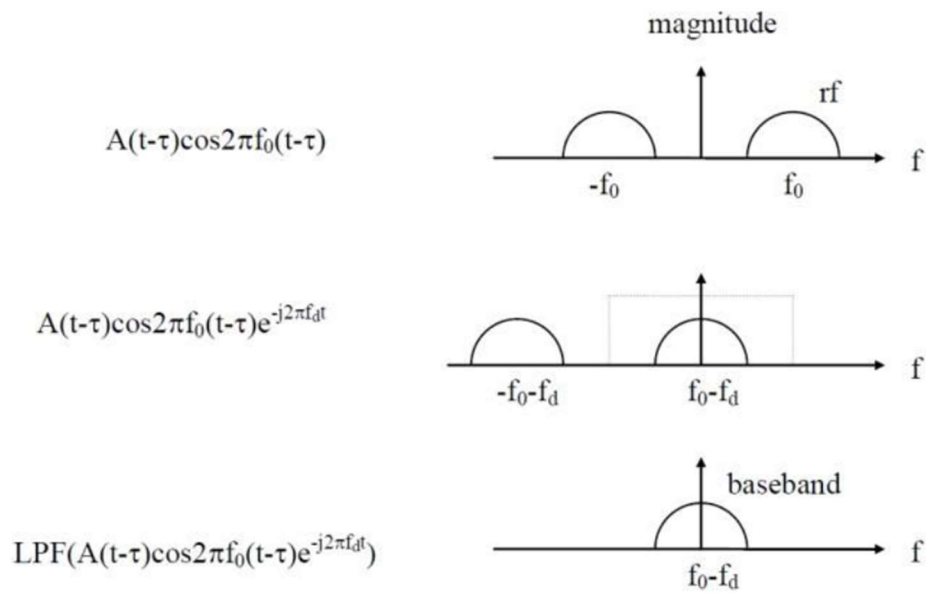
Contrast是看訊號的sidelobe高低，若beam pattern的sidelobe愈大，無反射區的sidelobe filled in 越多，即為由中空圓點旁邊回來的訊號也會愈多，而成像原理卻為聲音只往正前方直線跑、由正前方直線回來，所以成像時，當我們把收到的訊號（由正前方直線回來與由旁邊回來的訊號總合）標示於掃描點時，sidelobe的影響程度愈多，該中空圓點的亮度就愈亮，愈難分辨該中空圓點的位置，即contrast resolution愈差。

因為這題有同學詢問如何把散射子位置填入網格並在中心挖圓要如何實作，因此這裡附上助教的程式碼：

```
% (i)
%% 設定參數
diameter=10;
N = 10000;
scale_x=40;
scale_z=40;
scatterer_pos_x = rand(1,N)*scale_x-scale_x/2;
scatterer_pos_z = rand(1,N)*scale_z-scale_z/2;
dx=0.05;
dz=1/fs*soundv/2;
Nx=round(scale_x/dx);
Nz=round(scale_z/dz);
scatterer_dist = zeros(Nz,Nx);
dist_x=linspace(-scale_x/2,scale_x/2,Nx);
dist_z=linspace(-scale_z/2,scale_z/2,Nz);
%%填值
idx=ceil((scatterer_pos_x+scale_x/2)/dx);
idz=ceil((scatterer_pos_z+scale_z/2)/dz);
for i=1:N
    scatterer_dist(idz(i),idx(i))=1;
end
%%在圓心的地方挖洞
for iX = 1:Nx
    for iZ = 1:Nz
        x=dist_x(iX);
        z=dist_z(iZ);
        r_range_circle=sqrt(x^2+z^2);
        if r_range_circle< diameter
            scatterer_dist(iZ, iX) = 0;
        end
    end
end
end
%%做 convolution 得到影像(RF_PSF 的取法同(d))
RF_PSF=rf_data(400:590,:);
RF_image = conv2(scatterer_dist, RF_PSF);
```

(j)(Bonus)

利用Baseband demodulation 法作圖。



1. 先找到中心頻率 f_c 。
2. 將訊號乘上一指數函數: $e^{j2\pi f_c t}$ ，使訊號頻帶移到基頻。
3. 設計一低通濾波器(LPF)，濾出基頻訊號。