

ADSP QUIZ

QUESTION 1.1: Complete the delay-and-sum beamforming code involving image formation of the image pixels in the polar coordinates. (See below)

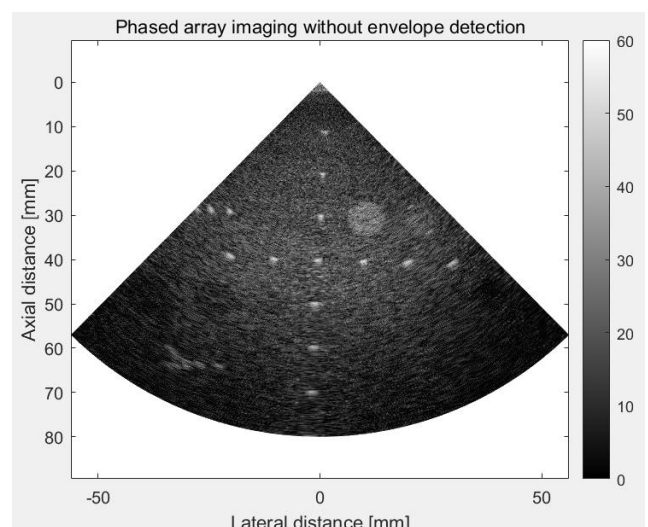
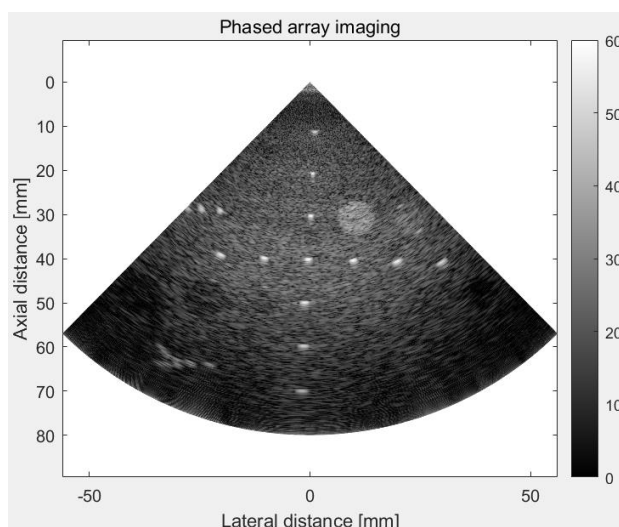
- (a) the distance between each transmit (Tx) channel and the target (The variable is called Tx_dist), and the distance between each receive (Rx) channel and the target (called Rx_dist).
- (b) Summing up all sub-images (called subbf) corresponding to all Tx-Rx combinations to obtain the final beamformed image (called bf).
- (c) Envelope detection of the beamformed image (called bf_env). Envelope detection can be done by one of the following two methods: Hilbert transform and base-band demodulation.
- (d) Once you complete (a)-(c), the code will generate the final image.

What is the beamformed image without doing envelope detection (i.e., skipping step (c))? What is the beamformed image after step (d)? Can you tell the difference between the two images? Please explain your findings.

發現：未經 envelope detector 的波束形成圖像：此圖像因 RF 數據中的高頻成分而顯得噪聲大且振盪強烈。由於原始 RF 數據包含由超聲波引起的高頻信號。這些振盪使圖像顯得噪聲大且混亂，因此難以辨別解剖結構。

經 envelope detector 的波束形成圖像：此圖像更平滑且更易於解讀。通過應用 Hilbert 變換，提取信號的 envelope。這個 envelope 表示 RF 信號的幅度，有效地去除了高頻載波。得到的圖像更平滑，顯示了組織的真實反射率，這使得識別和分析解剖結構更加容易。

應用 log compression 來增強在顯示動態範圍內的特徵可見性。因此，envelope detector 對於將原始波束形成的 RF 數據轉換為可用於醫學診斷的有意義的 B-mode image 至關重要。



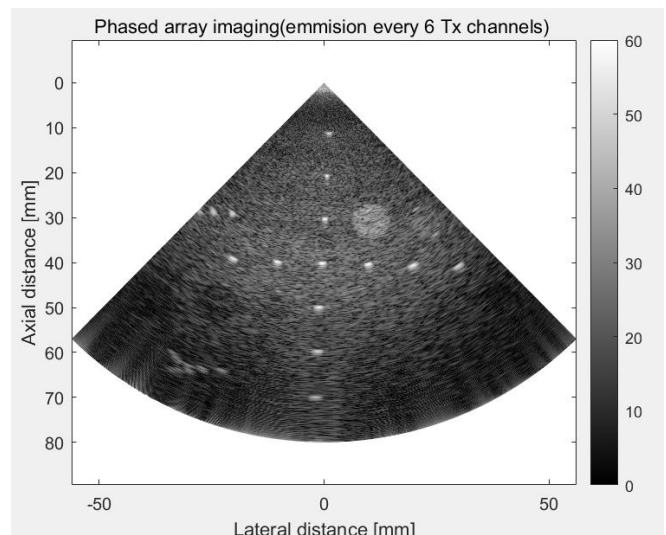
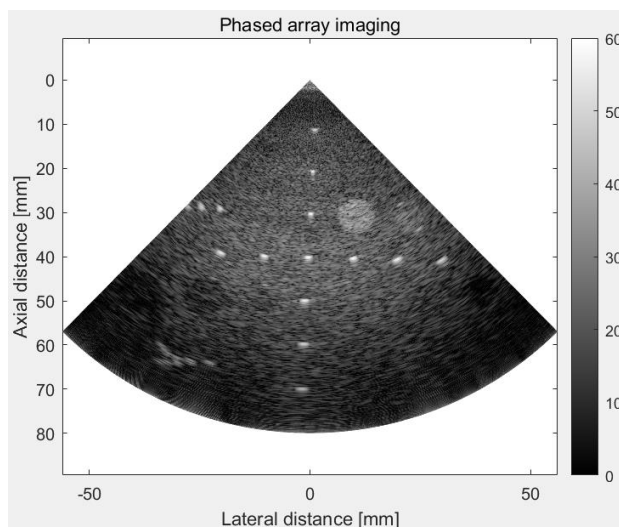
QUESTION 1.2: The image frame rate using full 96 Tx events is slow because it requires 96 emissions. As explained in Appendix A, Tx events are possibly reduced while maintaining similar image quality. Can you design your own Tx event sequence (i.e., specify which Tx channels are emitted) to speed up the frame rate at the expense of slight image quality degradation? **Explore your own Tx sequence and answer how fast your frame rate could be. Justify that the image quality of your design is comparable to that of the full 96 Tx events.**

1. Frame rate :

- 原始方法：使用所有 96 個 Tx 通道意味著一幀需要 96 次發射。
- 我使用的方法：使用每隔 6 個 Tx 通道（共 16 個 Tx 通道）意味著一幀僅需要 16 次發射，有效地將幀速率提高 6 倍。 如果使用 96 個 Tx 通道的原始幀速率是 F 幀每秒（fps），則使用 16 個 Tx 通道的新幀速率將是 $6F$ fps。

2. Image quality :

- 視覺比較：可以通過視覺比較全部 96 個 Tx 通道和減少到 16 個 Tx 通道的圖像來評估質量。
- 品質退化：使用較少的 Tx 通道可能會略微降低橫向分辨率並引入由稀疏採樣引起的偽影。然而，envelope detection 和 log compression 有助於減輕這些影響，從而保持可接受的圖像品質。 通過視覺比較波束形成的圖像，可以證明提出的方法在 Frame rate 上有顯著提高，而圖像質量僅有輕微退化，使其成為實時成像應用的實用權衡方案。



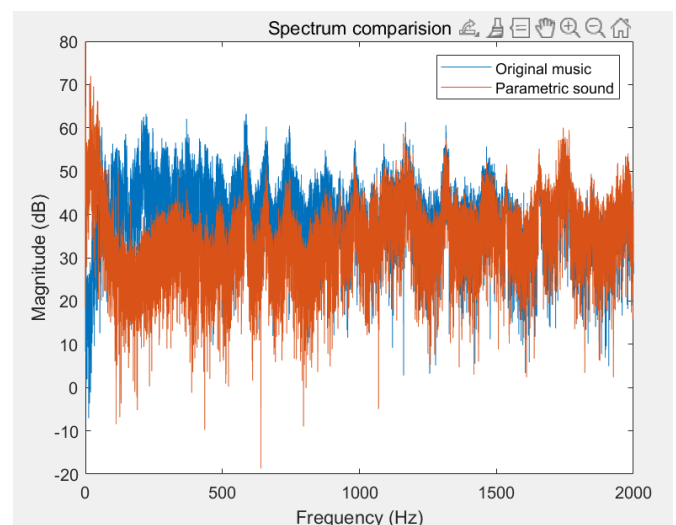
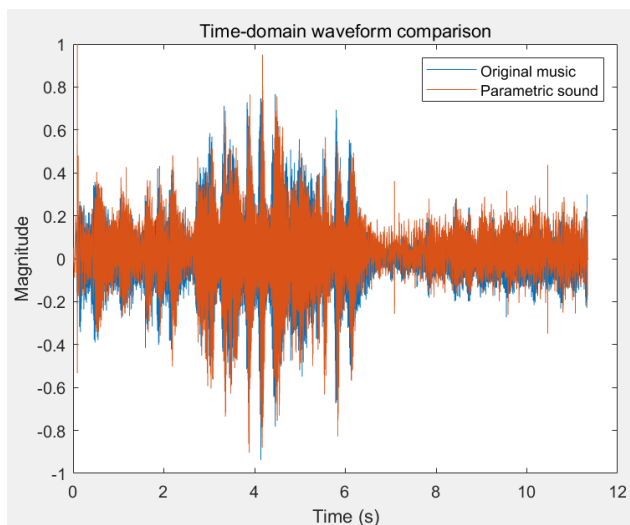
QUESTION 2.1: Run the code and you can see two figures. The first figure is the waveform comparison between the original sound and the parametric sound. The second figure is the spectrum comparison. **From these two figures, is there any difference between two sounds? Explain your answer.**

頻譜比較

1. **頻率內容：**原始音樂通常具有更複雜和豐富的頻率內容，包含代表各種音符、諧波和樂器的多個頻率成分。Parametric sound 具有較少的頻率成分，表明它是原始聲音的簡化或處理版本。
2. **振幅差異：**在頻率域頻譜圖中，原始音樂可能在不同頻率上出現多個峰值，對應於基頻和諧波。Parametric sound 顯示較少或更平滑的峰值，表明某些頻率被過濾掉或增強了。例如，圖中的[100 1000]HZ 範圍被減弱，導致幅度圖中顯著的變化。Parametric sound 的總幅度更低、更均勻，表明噪音減少或振幅壓縮。

振幅（時域）比較

1. **波形形狀、振幅差異：**原始音樂具有更動態和多變的振幅，反映了音樂強度和樂器動態的自然變化。Parametric sound 某些振幅被增強，表現特意突出該聲音。Parametric sound 具有更一致或平滑的振幅模式。這可能是由於在參數處理過程中應用了振幅壓縮或平滑技術，旨在創造更均勻的聲音。



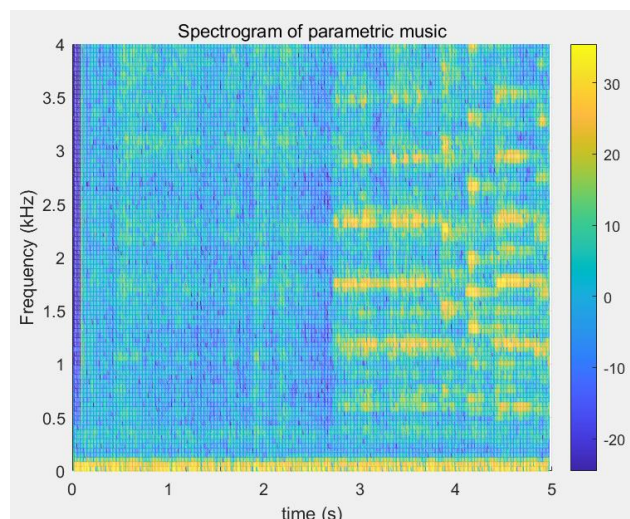
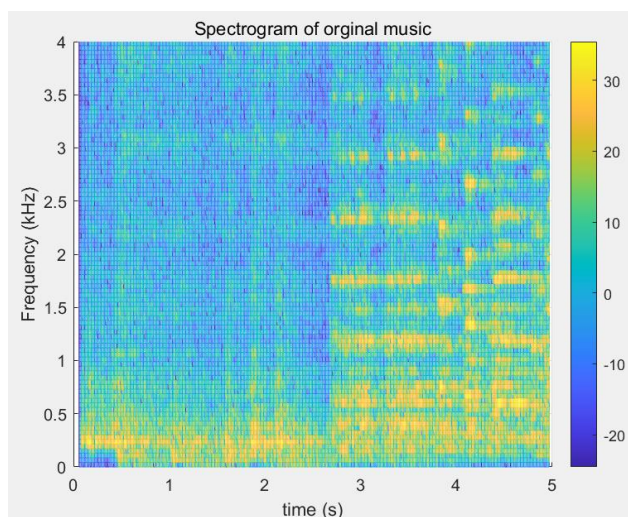
QUESTION 2.2: The spectrum shown in Question 2.1 has no timing information. So your job is to provide STFT result for two sounds. Complete the code (you can use MATLAB function “stft” or write by yourself, or other internet/ChatGPT resources), but you need to specify the four parameters: Window size, Windowing function, FFT length, and Overlapping window length between two spectrum calculations. **Show your result in dB within the time range of 0-5 seconds and the frequency range of 0-4000Hz. What is the difference between two STFT results?**

1. **頻率內容和解析度：**

- **原始音樂**：原始音樂的 STFT 顯示出豐富且詳細的頻譜，隨時間變化有許多頻率成分。這是因為原始音樂通常包含廣泛的頻率範圍，這些頻率來自不同的樂器、人聲和其他音效元素。
- **參數聲音**：參數聲音的 STFT 顯示較少的頻率成分，頻譜更為簡化。這是由於參數揚聲器的特性，它們通常聚焦於方向性聲波，可能會濾除一些頻率，簡化整體聲音配置。

2. 振幅變化：

- **原始音樂**：STFT 結果（以 dB 為單位的幅度）顯示出更高的動態範圍，隨著不同頻率和時間段的振幅變化顯著。頻譜中的峰谷變化更為明顯，反映出音樂的動態特性。如圖可以發現，隨著時間變化，不同的頻率成分會隨時間出現和消失，反映出原始音樂的複雜性和變化性。
- **參數聲音**：參數聲音顯示出更明顯的振幅分佈，峰谷變化較少。反映出聲音的集中和指向性。如圖可以發現，隨著時間變化，頻率成分隨時間更為穩定和一致。這種簡化可能是由於參數聲音的處理技術，使其聲音更集中和方向性。



QUESTION 2.3: Based on the difference you find in Questions 2.1 and 2.2, can you design a filter (may be low-pass, high-pass, or band-pass filter) to improve the parametric sound so that the sound quality is comparable to the original sound? Explain your design and OUTPUT your sound as a mp4 file.

1. 高通濾波器：

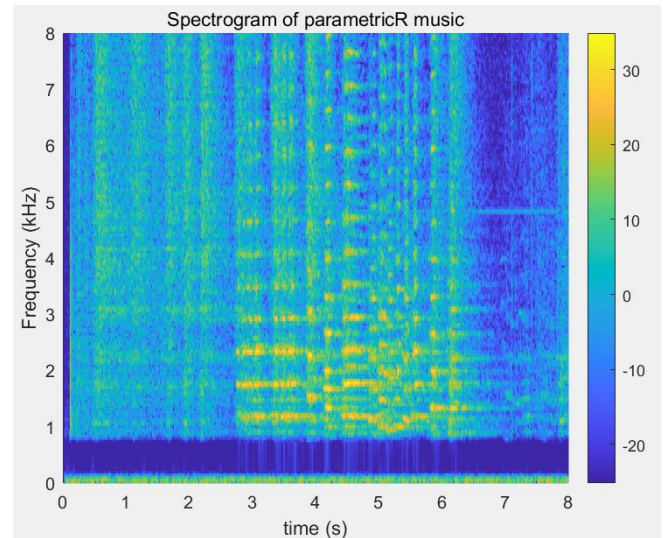
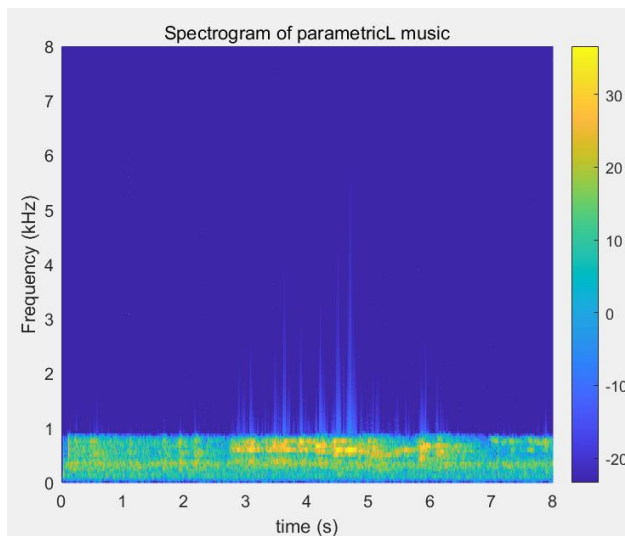
- **目的**：去除錄製的參數聲音中經常存在的低頻噪聲。
- **設計**：首先，為了過濾掉 parametric sound 中的 DC 噪音，我使用 Chebyshev window 設計了一個截止頻率為 50 Hz 的高通濾波器。這有助於濾除 50 Hz 以下的頻率。

2. 帶通濾波器(左聲道)：

- **目的**：將音頻切成左聲道及右聲道，分別進行處理，並增強左聲道包含大部分音樂信息的中頻範圍，如下左圖。
- **設計**：使用頻率範圍為 100 Hz 到 800 Hz 的帶通濾波器。此濾波器將所需的頻率範圍增強 4 倍，使音樂內容更加突出。

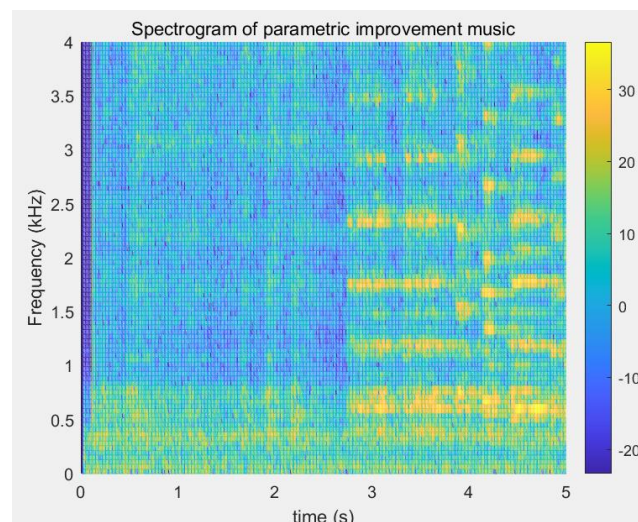
3. 帶阻濾波器(右聲道)：

- **目的：**將音頻切成左聲道及右聲道，分別進行處理，並保留右聲道大部分音樂信息的頻率範圍，如下右圖。
- **設計：**使用 hamming window 做出一個頻率範圍為 100 Hz 到 800 Hz 的帶阻濾波器。

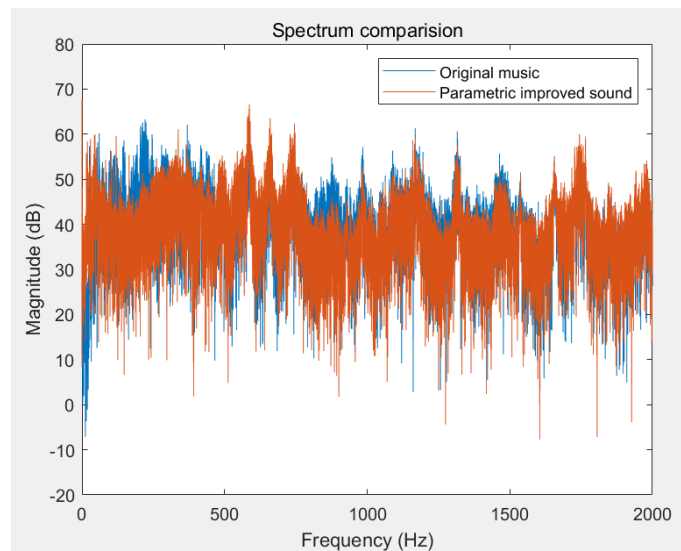
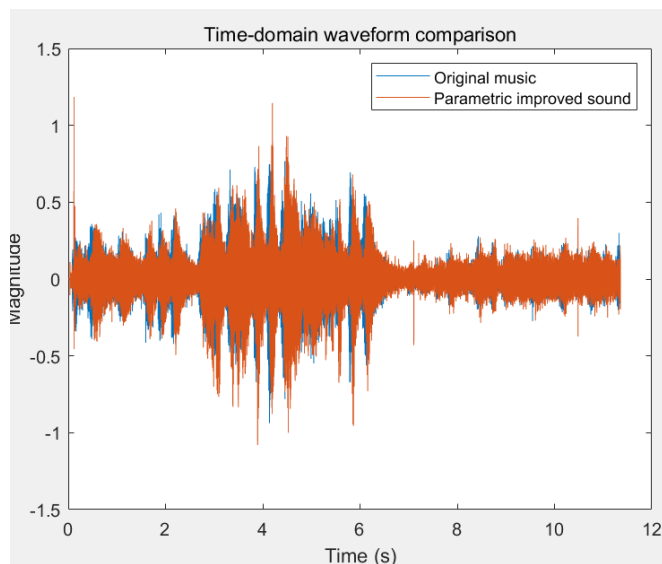


4. 結合聲道：

- 通過結合左右聲道，可以得到最後改進的 parametric improved sound，STFT 如下圖，可發現經過低頻的增益，低頻的振幅更加鮮明，補足了因參數調變導致原 parametric sound 的低頻豐富度問題。調整過濾輸出的增益，以增強整體信號強度，確保音樂內容清晰且強烈。



- 通過最後的比對，在時域方面，改進過後的聲音振幅波形更能和原始音檔匹配，而在頻域方面，兩者頻譜的範圍及振幅也相似，達到改進音檔的效果。



通過應用這些濾波器，我們可以顯著改善參數聲音的質量，使其更接近於原始音樂。高通濾波器去除低頻噪聲，帶通濾波器增強中頻音樂內容，帶阻濾波器去除特定噪聲頻帶。最終的合併輸出提供了更清晰和更高質量的聲音。