

基於頻譜振幅縮放技巧之超解析成像

Spectral Magnitude Scaling Technique Based Super Resolution Imaging



指導老師：李夢麟

組別：A95

組員：林聖哲、陳聿邦

I. INTRODUCTION

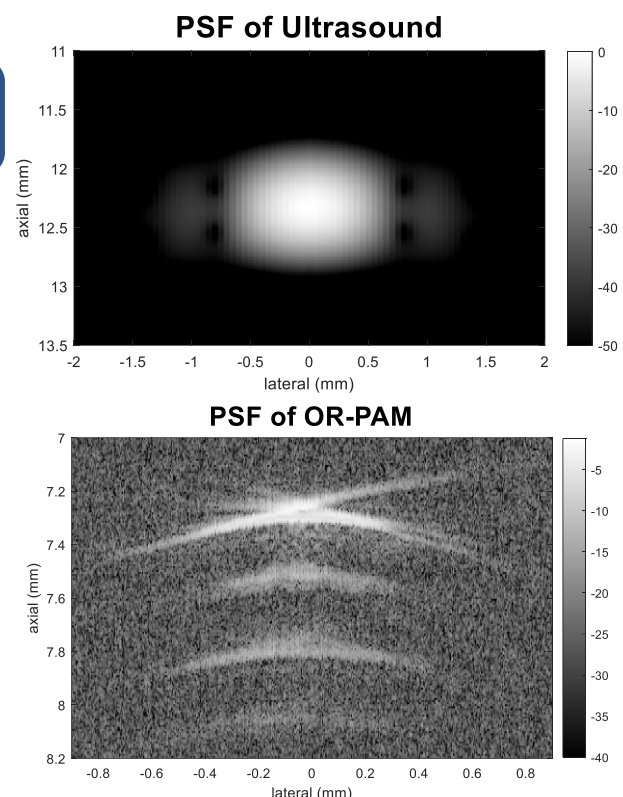
- 「光學解析度光聲顯微術(Optical resolution-PAM, OR-PAM)」是一種將雷射光技術與超音波成像技術融合的生醫成像方法。
 - 橫向解析度(lateral resolution)：因為使用短波長的雷射光點聚焦，所以可以達到很高的橫向解析度。
 - 軸向解析度(axial resolution)：由超音波的頻寬所決定，所以解析度較差。
- 本專題研究旨在利用傅立葉轉換與反傅立葉轉換之修改來進行影像重建，希望突破OR-PAM及超音波成像系統在物理上對軸向解析度的限制，達到超解析(Super Resolution)的演算法，以取得軸向超解析之顯微影像。

II. MATERIALS & METHODS

點擴散函數 (Point Spread Function, PSF)

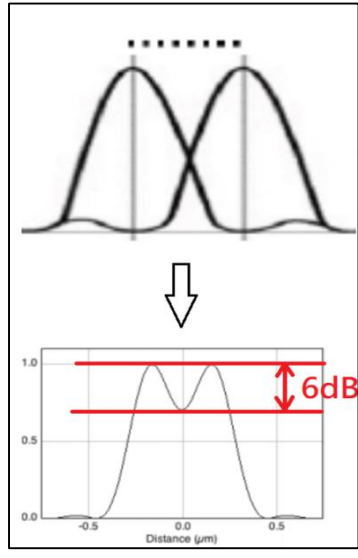
- PSF 指的是成像系統的 impulse response。
- 成像系統可以用下式描述：
$$G(x, y, z) = F(x, y, z) * PSF(x, y, z) + n(x, y, z)$$

G：生成影像。F：原始影像。n：雜訊
- 傳統超音波成像與 OR-PAM 儀器之 PSF 如右。



解析度 (resolution)

- 可以分辨相近兩點的能力。
- 兩個波峰中較低的峰，與下凹處的底部之間可以達到對比 6 dB 以上差異的情況下，這時兩點的最短直線距離。



頻譜振幅縮放技術 (Spectra Magnitude Scaling, SMS)

- 步驟：
 - 將每一條軸向的 A-line 訊號經 Fourier Transform 轉到 frequency domain。
 - 對 amplitude 開 p 次方根 (scaling down)： $|X[k]| \rightarrow \sqrt[p]{|X[k]|}$
 - 將訊號經 Inverse Fourier Transform 轉回 time domain。
 - 做 p 次方 (scaling up)： $x_{SMS}[n] = \left(\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt[p]{|X[k]|} e^{j\omega X[k]} e^{\frac{j2\pi nk}{N}} \right)^p$
- 目標：
 - 軸向超解析：

OR-PAM和超音波成像的軸向解析度取決於系統的頻寬 (bandwidth)，若頻寬愈寬，則軸向解析度愈好。因此，在改善軸向解析度的過程之中，會希望使訊號的頻寬變寬。SMS的步驟4，在時域對訊號做 p 次方，相當於在頻域做自相關運算(auto-correlation)，因此會在頻域產生新的頻率項，使得頻寬變寬，達到軸向超解析。
 - 去雜訊：

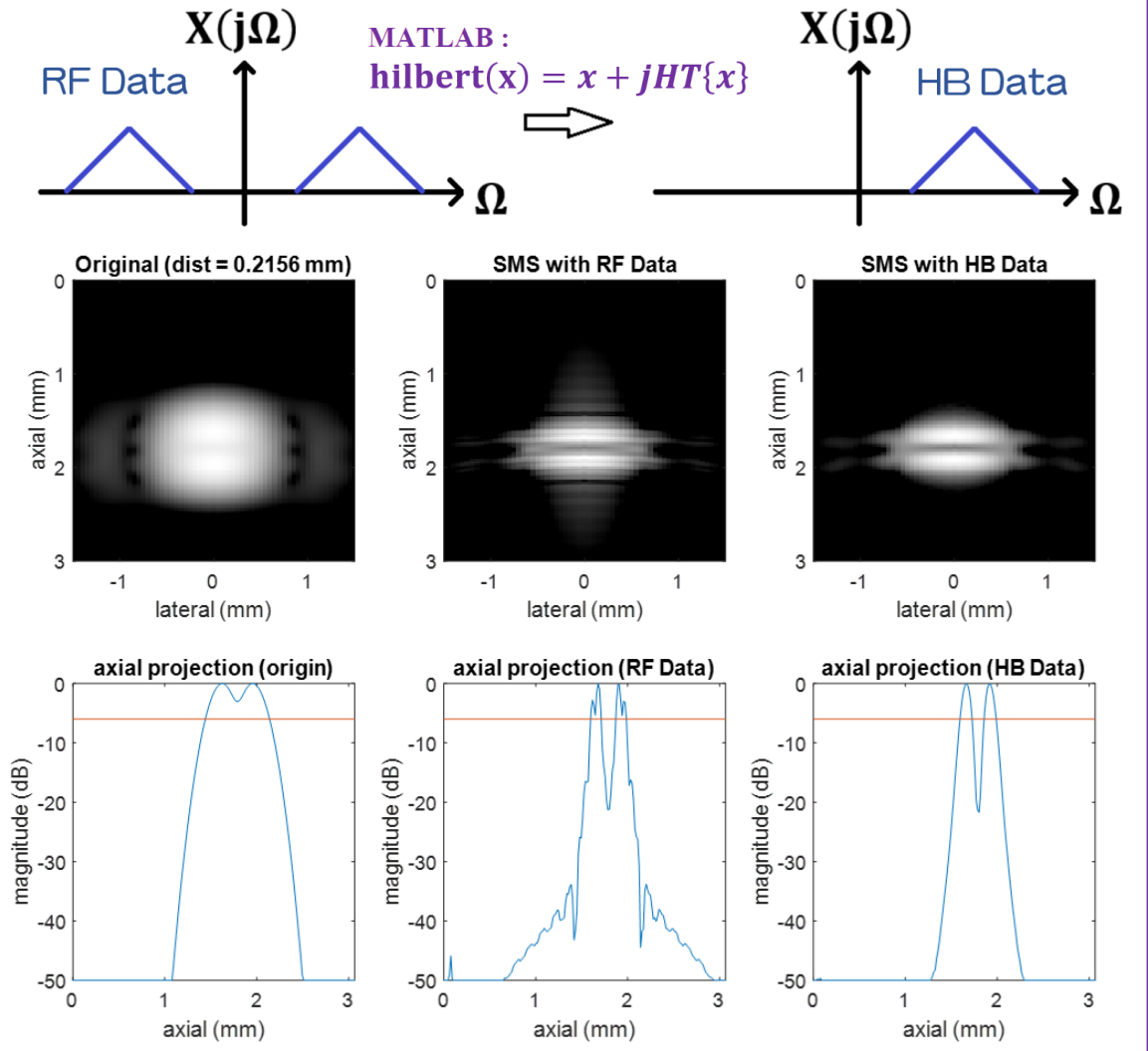
SMS的步驟2，在時域對訊號做 p 次方，可以拉開訊號與雜訊的差異。又因為加性高斯白雜訊(Additive White Gaussian Noise, AWGN)只對自己有相關性，而對其它訊號皆沒有相關性，因此SMS的步驟4，在頻域做auto-correlation，可以將AWGN過濾掉，訊雜比(SNR)於是增加。

III. SIMULATION & TUNING

Hilbert Transform

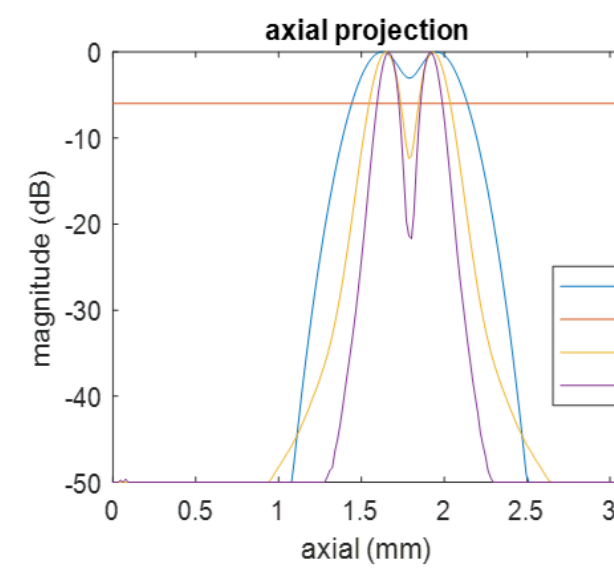
超音波成像系統及OR-PAM所接收到的RF Data是屬於雙頻帶的訊號，若對RF Data做SMS處理，訊號的頻寬變寬後，非常容易發生混響(aliasing)。

為了解決這個問題，我們使用 Hilbert Transform 將 RF Data 轉換成單邊帶的 HB Data，如此一來不易發生 aliasing，減少影像上的失真。



縮放常數 (scaling coefficient)

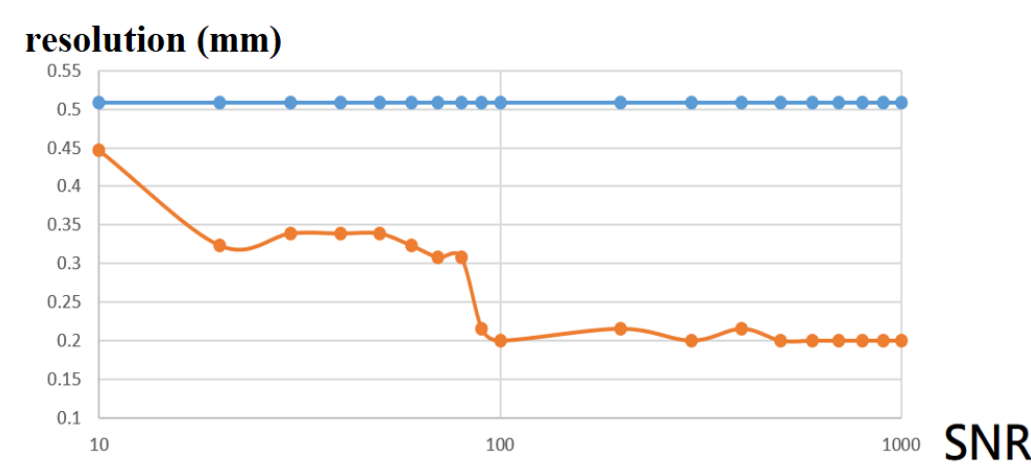
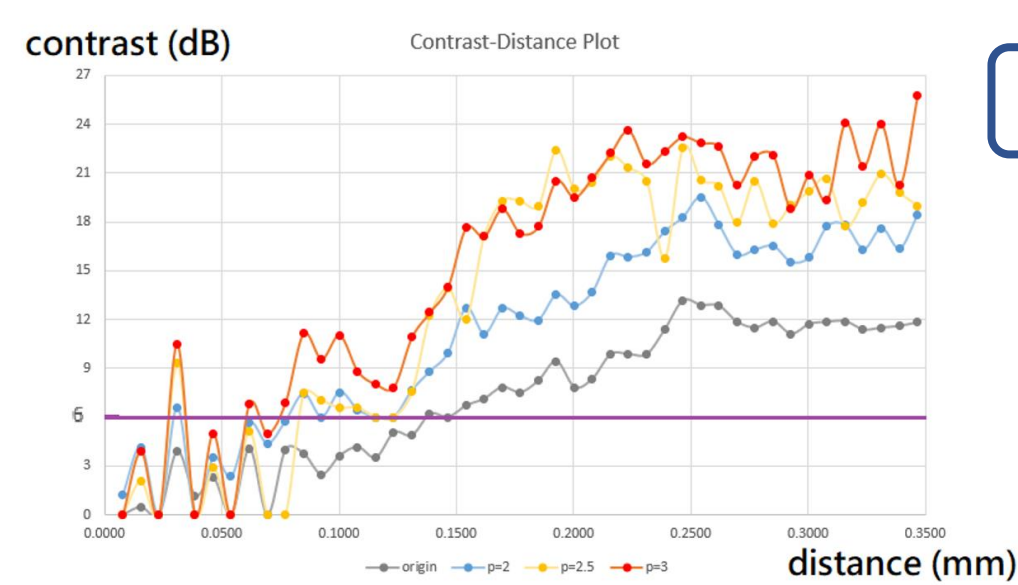
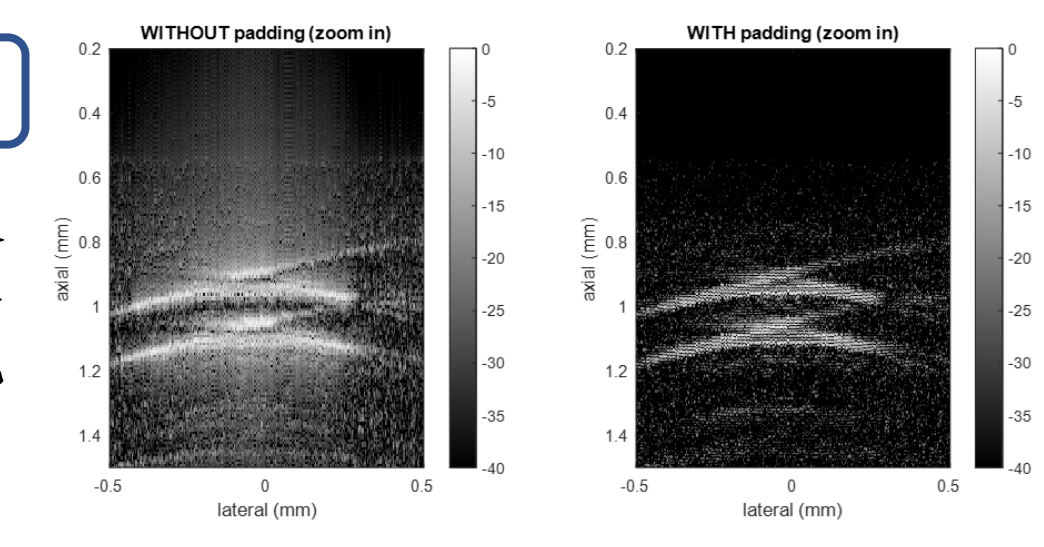
SMS的步驟4，在時域對訊號做 p 次方，會在頻域產生新的頻率項，使得頻寬變寬，軸向解析度提升。若是將縮放常數 p 提高，會使得增加的頻率項數量更多，即訊號的頻寬變寬的幅度增加，因此會得到更好的軸向解析度。



頻率補償

SMS的步驟4會產生新的頻率項。若縮放常數 p = 2，一個長度為 N 的訊號，其頻率項會從 N 項變成 2N-1 項。若沒有先在頻域補充足夠的空間，訊號會因此產生混響(aliasing)。

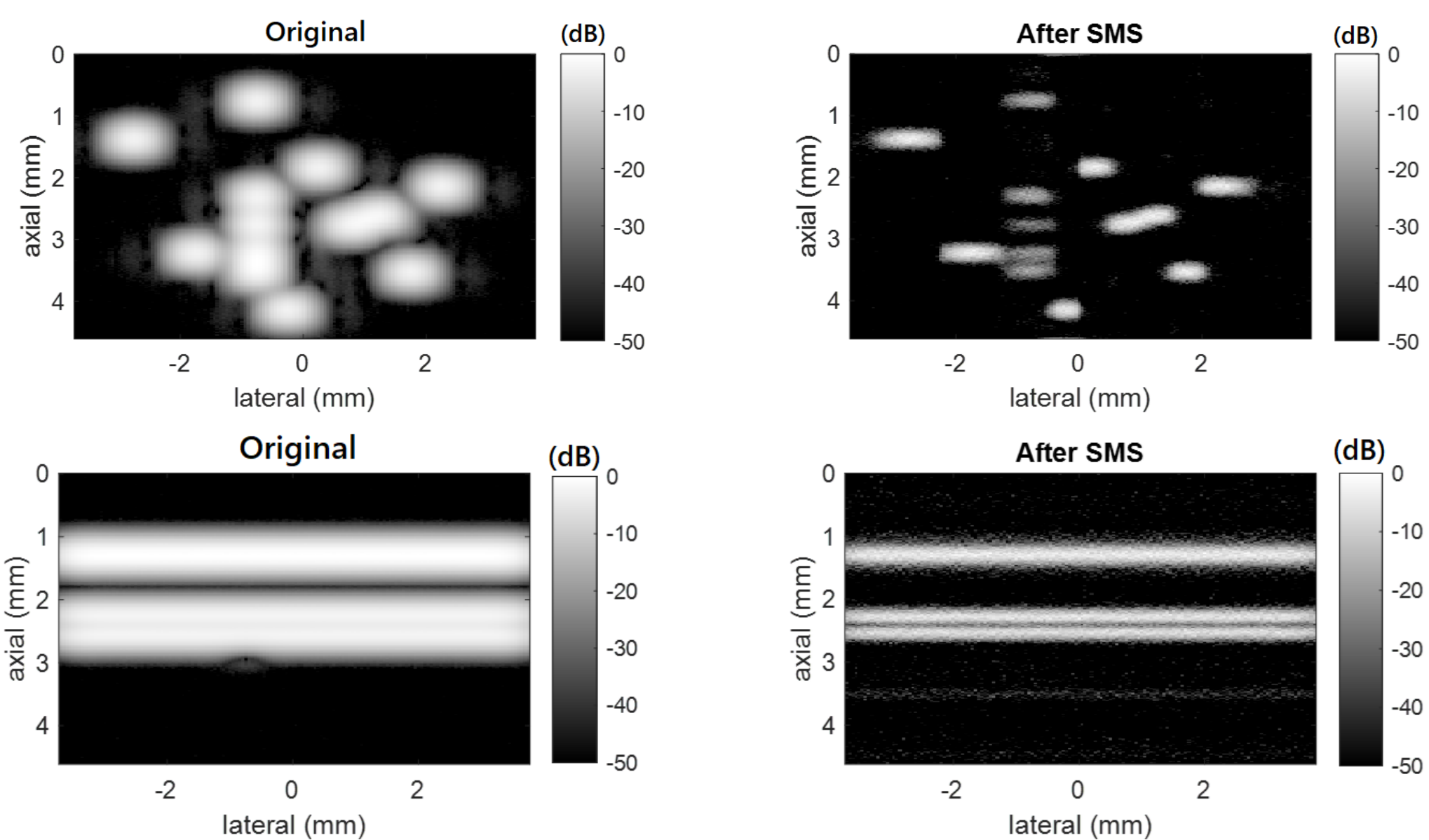
為了因應在頻域上多出來的高頻成分，根據取樣定理，取樣頻率(sampling rate)需要提升，即空間上的取樣間隔(sampling interval)需要縮短。因此，在SMS步驟3，訊號轉回時域之前，在高頻區做 zero padding，補償足夠的頻率成分。



SMS效能模擬

- 利用 OR-PAM 的數據進行模擬分析。可以發現原本的影像解析度約為 0.14 mm。隨著縮放常數 p 變大，兩點的辨識能力變得越強，當 p = 3 時，影像的解析度提升為 0.07 mm，提升了約 2 倍的效果。
- 利用超音波成像數據進行模擬分析，並在訊號中加入雜訊。可以發現，當訊雜比小到只剩 10 的時候，依然擁有提高解析度的效果。

IV. EXPERIMENTAL RESULTS



V. CONCLUSIONS

- 目前已經有許多演算法被用來改善光聲影像及超音波成像的軸向解析度，諸如：Inverse filter、Wiener filter 以及 RL 演算法等。本研究所使用的 SMS 演算法解析度提升效果更好，且計算相對簡單。
- OR-PAM 和超音波成像的軸向解析度和訊號的頻寬有關，而 SMS 技術可以提升訊號的頻寬，加上改用 HB Data、提高縮放常數 p、頻率補償的改善，可以成功達到軸向超解析。
- 經過實驗成果的比較，可以知道 SMS 演算法跟傳統使用的 RL 演算法相比，軸向解析度比 RL 演算法約好 60%，訊雜比約好 55dB，成效十分顯著，是一種優秀的超解析演算法。

專題研究課程不只讓我們學到很多知識，更學會如何將自己實際研究的東西應用在現實中。除此之外，發現自己花了一整年在做的東西，是一個有未來、有前景的東西，更是一種鼓舞，讓我們更加充滿對研究的熱情。也感謝在這一年中，老師不厭其煩的教導與指正，以及學長的幫助，使我們得以成長。