

Chapter 3

Design and Fabrication of Underwater Ultrasonic Transducer and Array

3-1 One-dimension transducer array design and Simulation

由第二章可知壓電陶瓷共振頻率和壓電參數等等，並且對超音波場和訊號建立數學模型等描述，接下來製作發射陣列之前，先利用 Jensen 所撰寫之 Field C 函數程式[1-2]在 Matlab 中呼叫應用模擬，此函數程式系統是 Tupholme 和 Stepanishen[3-5]所提出的空間脈衝響應(spatial impulse responses)理論撰寫出來，可計算並且畫出脈衝和連續波兩種信號源所形成之陣列之超音波的聲場值。此模擬結果可為爾後實作陣列之參考和比較之相互印證。

由第二章之 2-3 節和 2-4 節可知換能器和其陣列特性，為了讓為了讓一維發射陣列有較大的成像掃描範圍，必須設計使一維平行發射陣列之垂直方向有大幅度的主波寬，因此陣列中元素，也就是壓電陶瓷換能器長度必須要越小越好。接著考慮陣列元素個數、陣列元素之間中心點間隔、陣列元素之寬度和驅動週期均會對陣列特性產生影響，接著進行各項參數模擬，利用 Matlab 6.5 呼叫 Field C 函數程式庫進行各種應用之撰寫，其程式流程圖如圖 3-01 所示，程序如下：

- (1) 設定超音波傳波速度，系統取樣頻率，陣列元素個數及每元素長、寬、高、間距等參數。
- (2) xdc_focus 函式可設定陣列聚焦點，計算每陣列元素之間時間差，操作在某 θ 方向。

- (3) `xdc_excitaiton` 函式給定陣列各種發射脈衝訊號形式，如 2.5 週期正弦波、寬度 1ms 方波等，另外 `xdc_impulse` 函式是換能器電壓轉換成聲壓的脈衝響應形式，通常我們是給定 hanning windows。
- (4) 此步驟可建構想要模擬的陣列型式，使用一維發射陣列 `xdc_linear_array` 函式、可將其陣列裡每個元素切割成好幾面，可提高模擬準確度。
- (5) 通常一維波束聲場強度之模擬，以陣列中心為參考點，固定距離下，利用 `calc_hp` 函式，可計算 xz 平面半個圓周上每點的壓力場值。
- (6) 我們利(2.43)式的定義方式，尋找每點位置通過的最大壓力場值，並取對數後作 `normalizec`，以 dB 值表示。
- (7) 以逼近的方式，尋找下降到 -6dB 時的角度，算出主波寬。
- (8) 最後用 `plot` 或 `mesh` 函式畫出我們想要的功率波束場型。

經由以上程序，進行以下座標圖圖 2-14 中，假設有 19 個元素排成等間隔一維發射陣列，放置於 y 軸上，每個元素表面為矩形形狀，長 5mm、寬 1mm、厚 2.8mm 和等各個元素之間中心點間隔 1.25mm 等為可調參數，發射訊號的中心頻率為 600kHz，發射 1 個週期正弦脈衝波，換能器的脈衝響應為 2 週期 hanning windows，模擬環境在水中，聲速為 1504m/s。實際模擬出此陣列波束形成在 $\theta = 0^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ 的波束強度圖，當作參考標準，分別比較不同參數之模擬：

(1) 平行發射陣列元素不同長度之垂直波束主波寬模擬

分別比較陣列元素長度為 2.5mm、5mm 及 10mm 時的主波寬度，模擬出 z 方向一維波束聲場強度圖，並且計算出主波寬。由模擬結果圖 3-02 可知聲場強度隨著長度的越高時，強度下降越快，可以幫助了解此設計陣列垂直方向的掃描範圍。

(2) 陣列元素不同個數對波束聲場強度影響之模擬

分別比較陣列元素個數為 8、16 及 32 個的主波寬度，模擬出 z 方向一維波束聲場強度圖，並且計算出主波寬。由模擬結果如圖 3-03 可知聲場強度隨著個數的越高時，主波寬會變窄並且旁波瓣強度也會下降，但旁波瓣的位置不變，可以幫助實作陣列時元素個數的選擇。

(3) 陣列元素之間中心點不同間隔寬度對波束聲場強度影響之模擬

分別比較元素之間中心點不同間隔寬度為 0.5mm、2.5mm 及 5mm 距離之主波寬度，模擬出 z 方向一維波束聲場強度圖，並且計算出主波寬。由模擬結果如圖 3-04 可知聲場強度隨著個數的越高時，主波寬會變窄並且旁波瓣強度也會下降，但旁波瓣的位置不變，可以幫助實作陣列時元素個數的選擇。

(4) 陣列不同脈衝週期對波束聲場強度影響之模擬

分別比較陣列元素驅動週期為 1、3 及 5 個的主波寬度，模擬出 z 方向一維波束聲場強度圖，並且計算出主波寬。由模擬結果如圖 3-05 可知聲場強度隨著脈衝週期的越高時，主波寬沒有明顯的變化但是當脈衝週期提升時，旁波瓣個數會增加，此結果滿足 2-4-3 節之理論。

完成發射陣列之模擬後，接著在 3-2 節說明實際製作壓電陶瓷換能器陣列和封裝之過程。

3-2. Fabrication of Transducer and Array

實際製作壓電陶瓷換能器陣列和封裝之過程，以下依圖 3-06 逐一說明[27]:

Step1.前置處理，首先將壓電陶瓷片經過 2-1 節和 2-2 節元件分析，揀選出特性相近之壓電陶瓷片。

Step2.選擇共振頻率為 600kHz 之壓電陶瓷片。主要成分為銦鈦酸鉛($\text{PbZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$)粉末，經高溫燒結而成之長條立方體，如圖 3-06(A)。

Step3.如圖 3-06(B)，在 PZT 上下表面鍍上一層銀膠，當作上下電極。

Step4.如圖 3-06(C)，在 PZT 上電極加上焊錫。

Step5.如圖 3-06(D)，並將壓電陶瓷片依照陣列，用銀膠將下電極黏至電路板負極和另外其他下電極利用硬性防水膠黏至電路板上，並且在焊錫上連結銅導線接至 PCB 電路板正極，放進烤箱以 90 度溫度烤半小時後取出。

Step6.如圖 3-06(E)，將其他導電之銅導線和電路板的地方，利用硬性防水膠，封裝起來，留下一凹槽，再放進烤箱以 90 度溫度烤半小時後取出。

Step7.如圖 3-06(F)，將凹槽塗上第一層軟性防水層，再放進烤箱以 90 度溫度烤半小時後取出等待 10 分鐘後取出。

Step8.如圖 3-06(G)，將凹槽塗上第二層軟性防水層，以 90 度溫度烤半小時後取出等待 10 分鐘後取出。

從 Step1~8，陶瓷片陣列製作和封裝就完成了。在防水層選擇上分成軟性和硬性，主要在凹槽結構上塗上軟性防水層，硬體防水層黏著力非常強，經過烤箱烘烤後將會形成非常堅固之固體，將下電極背面緊緊的固定在電路板上，可以讓壓電陶瓷片產生超音波震動時能量不會懸浮而損失其能量，而軟性防水層主要是避免陣列元素間之振動干擾，因為軟性防水層具有吸收振動之能力，凹槽結構主要是讓超音波振動集中於正前方。而整體之架構以彩色圖顯示。如圖 3-07 所示。封裝前之換能器陣列和封裝後發射和接收陣列，分別如圖 3-08(A)和

圖 3-08(B)所示。

3-3. Sensitivity Characteristics

3-3-1. Sensitivity Characteristics

進行自製之超音波換能器陣列靈敏度測試[28-30]，其主要量測和比較之主要工具為水下聽音器，本實驗中所使用分別為B&K公司所製造，型號為8104之低頻水下麥克器，而高頻之水下聽音器為Specialty Engineering Associates公司所製造，針尖式水下麥克風型號為PZTZ44-1000，並且連接一Preamplifier，作為放大用。

超音波換能器靈敏度(cable-end-open voltage sensitivity)之量測[31]，是以水下聽音器和自製換能器陣列進行相互量測比較，於水槽中進行實際測試，其重要的參數為脈衝和連續波時間控制(Pulse Duration Time)和陣列間之距離。以下將就其靈敏度量測理論逐一列出。

靈敏度可表示成[32]:

$$Sen. = V_{out} / P_a \quad (3.1)$$

其中 $Sen.$ 是靈敏度， V_{out} 是接收之電壓， P_a 是水聽器之聲壓。

$$20 \log_{10} Sen. = S_{dB} \quad (3.2)$$

其中已 $Sen.$ 和 S_{dB} 均為靈敏度但是靈敏度單位分別為 $\mu V / P_a$ 和 dB 。

可由已知之水聽器靈敏度圖中，將 dB 單位轉成 $\mu V/Pa$ 。在經過下式：

$$Pa = \frac{1}{Sen.} \times V_{out} \quad (3.3)$$

其中已 Pa 是量測到聲壓值， V_{out} 是接收到之電壓。

將量測到的電壓帶入上式，可求出其聲壓，再換上自製之換能器以相同狀態下進行量測，將所得之電壓帶入(3.1)式，可得出相對於水聽器之靈敏度。

3-3-2. The measuring system of underwater test

本實驗之訊號量測以波形產生器產生連續訊號，經由脈衝訊號分析儀放大後激發換能器。換能器所發射之聲波於水中傳遞後，由水下麥克風接收，此一類比訊號經過數位示波器顯示並且取樣後經RS-232傳輸線和GPIB卡，將數位化訊號儲存於個人電腦中。而訊號的觸發時間則由波形產生器控制，因此可由示波器上時域區間的選擇，擷取所需的訊號。完成此一訊號擷取程序後，利用轉動平台移動換能器於水槽中的位置，於不同的空間位置進行同樣的訊號擷取程序，故此一流程所擷取之訊號為空間與時間域上的聲場分佈。以下將本實驗使用之儀器做介紹。

硬體設備

(1) 高頻探針式水聽器 (Transducer)

型號：NHZ-0200 (頻率範圍 0 ~ 10MHz)

功能：可逆式電壓轉換聲壓之變化量測工具。

(2) 放大器 (Preamplifier)

型號：AH-17DB

功能：將輸入訊號放大，接收之超音波訊號放大。

(3) 低頻水聽器 (Transducer)

型號：B&K-8104 (頻率範圍 0 ~ 120KHz)

功能：可逆式電壓轉換聲壓之變化量測工具。

(4) 脈衝訊號分析儀 (Pulser-Receiver)

型號：JSR-PR35

功能：可驅動一脈衝訊號，並且具有接收訊號功能，可將訊號放大 0

Db 至 70 Db 後進行低通和高通濾波，可將發收和接收分開進

行動作。

(5) 函數波產生器 (Function Generator)

型號：Tektronix-TDS3012B

功能：選用範圍頻率連續產生正弦波，來驅動水聽器。

(6) 數位示波器 (Digital Oscilloscope)

型號：AMREL-FG513

功能：將輸入和輸出信號

(7) 工業電腦 (General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI)

型號：NIPXI-1042 Series

功能：搭配資料擷取卡設計取樣頻率，來顯示資料平台，並且儲存資料，進行分析。

(8) AD/DA資料擷取卡 (100 MHz, 100 MS/s 8-Bit Digitizers)

型號：NIPXI-5112

功能：搭配 lab-view 程式控制來進行資料之擷取。

(9) 塑膠水槽 (Tank)

規格：為長 80cm×寬 50cm×高 50cm 矩形水槽

功能：進行水下陣列聲學特性實驗。

靈敏度實驗過程

實驗架構圖如圖 3-09 所示，採用比較校正法，主要利用高低頻水下麥克風進行靈敏度測試，以函數波產生器產生頻率範圍 120kHz

至 1MHz 搭配探針型水下麥克風，和以函數波產生器產生頻率範圍 0kHz 至 120kHz，搭配低頻型水下麥克風。

以量測發射靈敏度 600kHz 距離為 40cm 為例。水聽器在 600kHz 靈敏度 -232dB，代入(3.2)式子，轉換成 dB 單位，可得水聽器之靈敏度為 $2.51 \mu\text{V}/\text{Pa}$ 。量測到的電壓經後置放大 30dB，放大為 31.62 倍，所以所量測到電壓為 84.7mV 必須除上 31.62 為 2.68mV，代入(3.3)式子可得聲壓為 1.067KPa。

同樣條件下，將所量測之電壓經後置放大 50dB，為放大為 316.2 倍，所以 40.6mV 除以 316.2 為 0.128mV，此時以水聽器聲壓為基準，代入(3.1)式子，可得自製壓電片陣列其中一壓電片 600K 時靈敏度為 $120 \mu\text{V}/\text{kPa}$ ，再帶入(3.1)可得頻率 600kHz 時為 -78.41dB。再換上接收的換能器，以相同之方法量測不同範圍之靈敏度，圖 3-10(A) 為 0 至 90kHz 發射換能器頻率之靈敏度、圖 3-10(B) 為 0kHz 至 90kHz 發射換能器頻率之靈敏度、圖 3-11(A) 為 200kHz 至 1 Mhz 接收換能器頻率之靈敏度，圖 3-11(B) 為 200kHz 至 1 Mhz 接收換能器頻率之靈敏度。

3-4. The measurement of underwater transducer and array acoustical field

一般常見之超音波驅動源分為連續波和脈衝波[33-35]，在上節

中採用了連續波當作激發源，主要是觀察頻率變化時的靈敏度。但是本節採用了脈衝波，其主要原因為降低水槽共振干擾和提高聲場強度之準確度。在水槽測試中主要是 Pulse-through Method 和 Pulse-echo Method，其圖 3-12(A)為 Pulse-through Method，其圖 3-12(B)為 Pulse-echo Method，在相同的測試環境下可以發現其回波的位置，其圖 3-12(B)為圖 3-12(A)的兩倍，接下來放大回波訊號來看，圖 3-13(A)為水聽器直接接收，其振幅由大到小變化，可知水聽器一瞬間接收到的聲壓為最大，而後漸弱。圖 3-13(B)為撞擊水聽器後反射接收之回波，觀察放大後回波訊號，其振幅由小變化至大而後漸弱，由此可知此回波必包含其水聽器物體之資訊。

3-4-1. Near field and far field

根據2-3節超音波聲場理論所敘述，各通道之脈衝信號來決定其聲場和焦點特性，若將實驗陣列整體接上無時差時電路所發射之波束，便可以軟體程式模擬入射波束圖。而所謂聲波束之高斯分佈 [36-37]，為平行於陣列方向面上之聲場分佈，如圖3-14所示，陣列發射之聲場分佈於近場為不規則分佈，而在遠場則為一高斯分佈，故高斯分佈係定義在距發射探頭陣列以外之聲場。本實驗所取近遠場的距離，是以常見近遠場之定義，即

$$N = d^2 F / 4c \quad (3.4)$$

其中 N 是陣列近場範圍， d 是陣列寬度， F 是陣列驅動頻率， c 是

水中聲速。

實驗過程中，水中聲速為 1504m/s，陣列寬度為 27cm，以驅動頻率為 600kHz，將這些參數帶入(3.4)式子中，可得知近場距離為 7.27cm，其分布圖為圖 3-15 所示。

3-4-2. The underwater acoustical field[38]

單一元件水中聲場

以相同實驗架構，進行壓電陶瓷換能器和其陣列之水下輻射聲場，將發射連續波信號改以脈衝信號，並且選擇陣列中其中一換能器，接上脈衝訊號分析儀之脈衝信號，並且利用機械裝置使發射陣列，距離發射源40cm做繞0~180度之等距離量測，由圖3-16可明顯的觀察出不同角度所接收的回波訊號的振幅變化，並且利用水聽器接收信號傳至脈衝訊號放大後經數位示波器擷取後，再傳至電腦經過取振幅峰對峰值後取對數，並且歸一，收集所有角度之訊號，畫出陣列之水中輻射聲場圖，和理想模擬圖作為比較，其發射壓電陶瓷的水中聲場如圖3-17(A)所示，並且以極座標表示之，如圖3-17(B)。

陣列元件水中聲場

以相同實驗架構，進行壓電陶瓷換能器和其陣列之水下輻射聲場，將發射連續波信號改以脈衝信號，並且選擇陣列，將陣列接上無時差之脈衝信號，並且利用機械裝置使發射陣列，距離發射源40cm做繞0~180度之等距離量測，並且利用水聽器接收信號傳至脈衝信號放大後經數位示波器擷取後，再傳至電腦經過取振幅峰對峰值後取對數，並且歸一，收集所有角度之訊號，畫出陣列之水中輻射聲場圖，和理想模擬圖作為比較如圖3-18(A)所示。並且以極座標表示如圖3-18(B)所示，此圖可表現出陣列之指向性。

3-5. Measurement Result and Discuss

測試靈敏度實驗中，選擇用函數波產生器產生範圍為0Hz至1MHz頻率，振幅為15V的連續波當作驅動脈衝/接收信號分析儀外部驅動觸發，目的是驗證設計之換能器之特性，並且搭配發射系統和擷取系統的要求，由本章靈敏度的圖形可知靈敏度感度在600kHz時的靈敏度感度最高，而接收靈敏度在480kHz有至640kHz感度有一範圍特性，與其設計發射陣列在600kHz頻率產生最大機電耦合而產生最大能量之超音波，並且期望在接收陣列有一160kHz頻寬之範圍相符合。在利用連續波量測靈敏度上，其優點為可調整頻率範圍，其缺點為連續超音波易受到水槽共振影響。

在其超音波陣列水中聲場，改以脈衝/接收信號分析儀產生脈衝

信號進行遠近場實驗，增加聲場準確度，可由圖中知道陣列聲場在近場範圍可由公式(3.4)計算出來，為 7.27cm，在 7.27cm 以內超音波聲場分佈不均勻，在 7.27cm 之後聲場成高斯衰減，趨於穩定狀態，在往後進行量測水下聲場，採用遠場進行量測。

超音波陣列水中聲場，主要將各角度收集到之電壓脈衝振幅信號，經示波器擷取後傳輸到電腦中轉成 dB 單位，從圖形中可以明顯看出幾波束存在，並且可計算出-6dB 主波寬的寬度，下章節可利用此主波寬度進行平行線的掃描。

Elegant Translation Service
Do not copy
一梓翻譯社 樣本
請勿複製

Chapter 4

Underwater ultrasonic signals analysis and underwater imaging system design

4-1 Ultrasonic image format

超音波影像常依其不同之需求，而形成各種不同的形式和規格，比方說用於工業上的非破壞性檢測[39]、其超音波可在不透光的實體中進行傳遞，所以常採用探傷用之脈波反射式超音波檢測儀[40]。而醫學上所使用的更是多樣化，有胎兒檢測之B-mode掃描方式，和檢測器官的M-mode模式、彩色都卜勒影像模式以及眼科所使用之振幅A-mode(Amplitude-mode)模式和深度掃描之C-mode(Constant depth-mode)模式[41-44]等。本論文將採取振幅模式(Amplitude-mode)和亮度模式(Brightness-mode)來應用於水下物體之偵測應用。

Amplitude-Mode(點掃瞄)

在本論文中，第三章第二節和第三節所擷取的訊號，就為A-mode訊號，在本論文中進行中下發射和反射信號的傳遞時間(time of flight)

來進行水下物體的測距和定位[45]，如圖4-1所示。A-mode的優點來自於之擷取訊號較為單純，所要進行分析的資料和運算比較少，分析的方法也較為簡單易懂，使用類比信號處理的方式即可完成處理的工作，不需要經過複雜的數位處理器分析信號。在電子電路技術或是硬體設計和計算能力較弱的時候亦可以計算出水中物體距離，其缺點為不能夠成大範圍之量測，是不能利用這種影像模式對組織結構定量地分析。

Brightness-mode(線偵測)

最常見之超音波影像模式就是B-mode所形成之影像，如圖4-02(A)為人體手臂皮膚之超音波影像圖和圖4-02(B)為老鼠胚胎之超音波影像所示。此模式是利用灰階方式的表現方式來呈現出物體所反射之超音波波束信號的強弱特性，在超音波影像系統中有利用不同的方式去建立此影像模式，傳統是利用線性馬達帶動超音波探頭而得到數組A-mode信號或是採用先進的技術，以本論文中所使用之波束形成技術控制波束進行掃描而得到數組A-mode信號，再利用高速電子電路將其擷取，取樣後將不同位置A-mode的信號組合，經過降頻、低通濾波和影像格式的轉換等處理，即可得到B-mode影像。優點是

在於以對數分佈和灰階表示物體影像可作為水下物體偵測和掃瞄並且結合各式之設備來應用，如結合水下機械臂進行物體打撈[46]。

Constant depth-mode (面掃描和深度掃瞄)

超音波換能器陣列設計時，通常會設計強聚焦(strongly focused)的陣列，強聚焦的陣列在聚焦點處具有比較強的信號，用於觀察某個影像深度斷層面的結構。垂直影像平面的方向也多重地加以線性掃瞄。在影像格式處理的方法上，則是將多張的二維影像中某個固定深度的值記錄下來，重新在一個垂直原影像平面的方向利用灰階顯示的方式構成一張固定深度的B-mode影像，記錄的是多層切面下方一個整體的訊號如，圖4-03(A)重疊多張二維超音波影像示意圖和圖4-03(B)重疊後建立之三維之超音波影像[47]。

4-2 T-type transducer resolution of space of the array

為了成像出一張 3D 超音波影像，我們建立了 T 字型陣列，一維平行發射陣列和一維垂直接收陣列，圖 4-04 為 T 字型陣列示意圖，圖 4-05 為自製 T 字型陣列，其長為 1cm，寬為 1mm，發射陣列厚為 2.8cm，發射陣列厚為 3.2cm，元素中心點間距為 1.25mm，平行發射

陣列以波束形成技術，波束在某個方向角度會特別窄而垂直方向會較寬，加上垂直接收陣列，成為 T 字型陣列，T 字型陣列是屬於點聚焦，**圖 4-06 (A)** 為 T 字型聚焦點之能量分佈模擬圖，而斜視圖為 **圖 4-06 (B)** 所示。從圖中可觀察出點聚焦現象，並且可得方向角度回波訊號最大值為此點物體反射所貢獻，最大值發生的時間點，推算出物體和陣列的距離，再利用波束形成技術掃描各個角度，可成像振幅影像 (Amplitude image) 和距離 (range image) 影像圖，建立出 3D 超音波影像圖像 [48-49]。

為了建立出 3D 超音波影像，定義出掃描的範圍和方式。平行發射掃描從正 15 度到負 15 度，再利用垂直陣列中的單顆換能器垂直接收，有此可知一張超音波影像圖需要 31×19 等於 589 筆資料。為了達到此要求，進而開發發射系統和接收系統。

4-3 Phase Array Transmit System

4-3-1. System exploitation object and atmosphere

波束形成技術主要利用各元素的時間差進行波束操控，其示意圖如 **圖 4-07** 所示，並且配合自製之超音波換能器陣列而開發了十九通道之相移式掃描發射系統並且利用圖控視窗介面設計，經 RS232 傳輸線控制此發射系統產生頻率為 $600\text{KHz} \pm 10\%$ 、各通道之時間差為

可調範圍 0.1 μ s~23 μ s 之振幅約 150V \pm 15%之脈衝訊號，其整體之方塊圖如圖 4-08 所示，其使用之 phase array pulsing system 如圖 4-09 所示，所使用之軟體設備如下：

硬體部分

- (1) General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI 介面之工業電腦和周邊
- (2) RS232 DB-9 傳輸線
- (3) Phased Array Transmit System

軟體部分

- (1) Windows XP
- (2) GUI(Graphics User Interface)圖控程式設計介面

4-3-2. RS-232 Transmission Protocol

傳輸協定

一個完整的驅動系統包含有傳送端、接收端、資料轉換界面與傳送資料的實體通道，才能構成完整之系統。驅動的目的不外乎程式的控制，而訊息必須經過交換的動作才能到達另一個設備，在訊息傳輸時，無論來源與終點資料格式為何種形式，傳送端所使用的方式都是將資料經由一定的線路與程序傳送，再由接收端依共同協定的通訊方式接收資料，在資料傳輸時，必須透過共同認定通訊界面才能進行。通常資料傳送的形式可以分為兩種，一為並列傳輸式

通訊(Parallel communication)，另一種為串列傳輸式通訊(Serial communication)，此兩種通訊方式如圖4-10 與圖4-11 所示。

由圖中了解，所謂的並列通訊，即是一次可以同時傳輸八個位元(一個位元組)，而串列通訊一次僅傳送一個位元，相較之下兩者差了八倍之多，雖然如此，串列通訊並不因此而沒落。原因是並列通訊一次可以同時傳輸八個位元，但是在資料傳輸過程中，容易因為線路結構因素，產生電壓衰減以及訊號間互相干擾(Cross talk)的問題，發生資料錯誤的情形，如果將傳輸距離加長的話，此種現象會更加明顯。相較之下，串列通訊一次只傳送一個位元，相對來說，此一此只須處理一個資料電壓的準位，因此在資料傳送的準確度上，較不易產生漏失。

一般常見的串列傳輸協定有RS-232、RS-485、USB與IEEE-1394等。本系統所使用的傳輸界面為RS-232。

4-3-2. RS-232 Transmission Protocol

RS-232 (Recommended Standard-232) 是由電子工業協會(Electronic Industries Association, EIA) 所制定的非同步傳輸(Asynchronous transmission) 標準介面。這也是許多個人電腦上的通訊介面之一，在IBM-PC 上，一般電腦可連接至四個 RS-232 介

面。一般又稱此介面為序列埠或串列埠(Serial port)，由於 RS-232 是由 EIA 所定義的，所以也常稱為 EIA-232，目前演進到第四代 RS-232D。通常 RS-232 介面以九個接腳 (DB-9) 或是二十五個接腳 (DB-25)的型態出現，一般個人電腦上會有兩組 RS-232 介面，分別稱為 COM1和 COM2。此外，還可以連接 COM3 及 COM4，不過因為 COM1/COM3共用 IRQ 4，而COM2/COM4 共用 IRQ 3，所以同時最多只能使用四個COM ports 的其中兩個。此介面通常可以用來連接數據機、序列滑鼠、其它電腦終端機以及支援序列傳輸的儀器設備。由於串列傳輸的普及化，現今市面上，許多具有資料通訊功能的儀器設備，皆以RS-232 為基本配備，因此實際應用層面相當廣泛[47-49]。

RS-232 串列通訊方式可以分為同步式(Synchronous)及非同步式(Asynchronous)兩種。同步式在通訊兩端是以同步訊號作為通訊依據，同步式接頭的機械規格為25針(DB-25)。而非同步式則以起始位元(Start bit)及停止位元(Stop bit)作為通訊判斷，非同步式機械規格為9針(DB-9)。DB-9 接腳定義以及兩者對應接腳如表4-1及表4-2所示。RS-232 的每一支接腳都有其特定的功能，以下為接腳說明。

(1)載波偵測CD

此腳位由終端側所控制，當通訊線路接通之後，傳送訊號是加在載波訊號上面。終端設備以此接腳通知電腦有載波被偵測到，此時是處於上線狀態(On line)。反之，若電腦未接收到此訊號，將會判定此時為離線狀態，並切斷連線。

(2)接收字元RXD

此接腳功能是接收由遠端所傳送過來的資料，在接收與傳送過程當中，資料是以數位方式傳送，經ASCII碼轉換後，將電位高低代表0與1位元。RS-232的電氣規範，訊號電壓+3V~+15V代表1，-3V~-15V代表為0。根據一般實際應用的測量，訊號電壓約在+9V與-9V之間。

(3)傳送字元TXD

此腳位是將電腦欲傳送的資料傳送出去，傳送過程之作動方式與RXD相同。

(4)資料端備妥DTR

此接腳由電腦所控制，通知終端側可以進行傳輸。若此接腳處於高電位，則代表電腦已經準備就緒，隨時可以接收資料。

(5)地線GND

此接腳作為電腦以及終端側的訊號參考準位，兩端設備的接地準位必須一樣。由於RS-232的資料傳輸是以單端點(Single-end)方式傳

送，訊號的電壓位準是以參考地線位準而來，因此傳輸與接收雙方地線必須連接，以避免準位不同造成資料錯誤。

(6) 資料備妥DSR

此接腳由終端側控制，終端設備利用這支接腳的高電位通知電腦，接收端已準備就緒，可以開始傳送資料過來。

(7) 要求傳送RTS

此腳位由電腦所控制，用以通知終端設備馬上傳送資料至電腦，當終端側收到此訊號後，便會將所收集到的資料傳送回電腦。在此之前，所有資料都會被儲存在終端設備的緩衝區內。

(8) 清除以傳送CTS

此接腳由終端側所控制，用以通知電腦將欲傳送資料送至終端設備。當電腦接收到此訊號，會將資料輸出至終端側。

(9) 響鈴偵測RI

此項功能為數據機(Modem)所使用，為數據機通知電腦有電話進來，再由電腦決定是否接聽。

RS-232 的演進過程，由於25針當初定義是因為同步傳輸需求才發展，但是因為環境變遷而逐漸式微，現今的的配備皆已簡化為9針非同步傳輸。在個人電腦中，資料的串列傳輸控制是由非同步串列傳輸ICUART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)所

控制，其功能為控制資料的流量以及資料緩衝。

所謂資料流量控制，是確保資料正確的一個重要關鍵。在資料傳送過程中，為了確保傳送與接收雙方都能正確地接收資料而不漏失，傳送與接收雙方必須透過互相聯繫，確定彼此的工作狀態後，才能進行傳送與接收，此種方式一般稱為交握(Hand shaking)。以 RS-232 來說，硬體交握使用到DSR、CTS、DTR 與RTS 等四條線路，流程說明如下：

- (1)終端側將通訊埠DSR 位準升高，表示終端側已備便接收資料。
- (2)電腦將DTR 位準升高，表示電腦也已將資料準備妥當。
- (3)電腦將RTS 電位升高，通知終端側即將傳送資料。
- (4) 終端側將RTS 位準升高，通知電腦可以開始傳送資料。
- (5)接著開始進行資料傳輸。

交握協定之動作流程如圖4-12所示。

4-3-3. Graphics User Control interface (GUI)

其視窗圖控介面如圖 4-13 所示。以下將針對其重要的參數將以說明：

選單目錄說明

- [File]: 開啟檔案相關選項。
- [Load Delay]: 指定一個檔名(*.DLY)，將 Delay PatternTable 內的資料存入資料檔。

[Save Delay As ...]:	指定一個檔名(*.DLY)，將 Delay PatternTable 內的資料存入資料檔。
[Verify Delay]:	檢視/修改程式內的 Delay Pattern Table。
[Exit]:	結束 PhaseTX 程式的執行。
[Edit]:	開啟開啟編輯相關選項。
[COM port]:	指定與發射控制電路系統溝通的 COM port。
[Run]:	指定與發射控制電路系統溝通的 COM port。
[Start]:	啟動發射控制電路系統以 pulse repetition rate 的速率連續執行 31 個 delay pattern 的發射。
[Set Timer]:	設定發射控制電路系統的 pulse repetition rate。
[Download]:	將 Delay Pattern Table 內的資料下載至發射控制電路系統。
[Help]:	開啟說明相關選項。
[Manual]:	開啟/檢視程式使用說明文件。
[About]:	關於 PhaseTX 程式的版本資訊。

介面按鈕說明:

[Set Timer]:	設定發射控制電路系統的 pulse repetition rate。
[Load Default Delay]:	載入預設的 delay pattern 資料檔 (DelayPattern.DLY)。
[Verify]:	檢視/修改程式內的 Delay Pattern Table。
[START]:	啟動發射控制電路系統以 pulse repetition rate 的速率連續執行 31 個 delay pattern 的發射。

rate 的速率連續執行 31 個 delay pattern 的發射。

介面參數說明:

[Time of Flight]: Time of Flight: 設定超音波發射/接收去回傳遞所需要的時間，以 1ms 為單位。

[Data Transfer Time]: Data Transfer Time: 設定接收信號資料擷取所需要的時間，以 1ms 為單位。

系統將可依據 Time of Flight 和 Data Transfer Time 的總時間來設定系統連續發射的時間間隔(pulse repetition rate)。

Delay time pattern :

(1) Delay time pattern 資料型態

(1.1) 整體發射的設定主要是經由 Delay time pattern 來控掃描的角度範圍和波束的形成，也是整套系統的關鍵之技術。經發射的系統要求目標定為發射陣列元素為 19 個，其資料型態為 TX1 至 TX19。

(1.2) 掃描的角度範圍正 15 度至負 15 度，固定為 31 條掃描波束，其資料型態為 L1 至 L31。

(1.3) Delay pattern 檔案的資料結構：共有 31 組 delay pattern，每組 pattern 內包含 19 個 delay 值，每個 delay 數值用逗點分開，精確度至 0.1us，每組 delay pattern 的最後一個數值後面不加逗點，每組 delay pattern 以分行輸入，例如：

```
1. 0, 2. 0, 3. 0, 4. 0, 5. 0, 6. 0, 7. 0, 8. 0, 9. 0, 10. 0, 9. 0, 8. 0, 7
. 0, 6. 0, 5. 0, 4. 0, 3. 0, 2. 0, 1. 0 ...
...
```

(2) 編輯 Delay time pattern 資料檔案

- (2.1) 編輯時請使用 Windows 的附屬應用程式：記事本 (NotePad.EXE)
- (2.2) 資料內容請依照 Delay pattern 檔案的資料結構說明來編輯
- (2.3) 輸入 delay 數值的單位為 us
- (2.4) Delay 數值的範圍：最小不得小於 0.1us，最大不得大於 23.0us
- (2.5) 存檔時副檔名必須設定為 DLY

(3)如何編輯 Delay time pattern 資料檔案

- (2.1) 按[Verify]鍵，開啟 Delay Pattern Table 視窗
- (2.2) 以方向鍵移動欄位或用滑鼠點選欄位
- (2.3) 雙擊滑鼠或按鍵盤 ENTER 鍵，切換資料欄位編輯模式
- (2.4) 輸入 delay 數值的單位為 us
- (2.5) 輸入 delay 數值的單位為 us; Delay 數值的範圍:最小不得小於 0.1us，最大不得大於 23.0us
- (2.6) 執行目錄[Save Delay As ...]以儲存修改後的資料

了搭配發射陣列，使用相移式掃描(phase array)[\[50\]](#)，依照目標需要頻率在 $600\text{kHz} \pm 10\%$ 之十九通道驅動器，每一通道接至壓電片，每通道之時間差為可調範圍 0.1us~23us 之約 $150\text{V} \pm 15\%$ ，相移式發射系統方塊圖如圖八所示，主要是利用 FPGA 掃描，19 隻接腳輸出邏輯信號控制功率 MOS 導通，感應鐵磁性線圈產生高頻驅動電壓，在取出第 10 接腳當作同步信號，經由 RS232 傳輸至工業電腦或是個

人電腦撰寫控制介面來控制。

此相移式發射系統工作目的主要是利用每各通道的延遲時間，使陣列中各個壓電片產生延遲震動，進而操控波束偏轉方向和角度，這就是所謂波束形成技術，如圖九所示。圖九中的 t_n 是每壓電片時間和 T_n 為超音波在水中傳遞時間，這些因素在設計 B-mode 掃描時都必須遠大於這些時間。

系統完成後，要求波束掃描角度為正 15 度至負 15 度，共有 31 個角度掃描得到之信號，利用圖控介面建立個通道和 31 角度之延遲表，如圖 4-14 所示。完成 31 個角度掃描的時間，如視窗介面中的 Time Of Flight ；等待處理信號的時間，如圖九視窗介面中的 Data Transfer Time，掃完一次線掃描約 1.5s，系統測試成功。

4-4. Signal retrieval system

4-4-1. System exploitation object and atmosphere

為了實現搭配發射系統，並且配合自製之超音波換能器陣列而設計了高速資料擷取系統，圖控視窗 LabView 軟體設計，經 RS232 傳輸線控制此發射系統產生頻率為 $600\text{KHz} \pm 10\%$ 、各通道之時間差為可調範圍 $0.1\mu\text{s} \sim 23\mu\text{s}$ 之振幅約 $150\text{V} \pm 15\%$ 之脈衝訊號，其使用硬體設備如下：

硬體部分

(1) General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI 介面之工業電腦和周邊

(2) NI PXI-5112 資料擷取卡(100 MHz, 100 MS/s 8-Bit Digitizers)

軟體部分

(1) Windows XP

(2) LabView 7.0 圖控擷取設計軟體

關於PC-Based 擷取系統的架構，除了依照系統需求所安裝的硬體設備以外，軟體的選擇亦是相當關鍵的一個環節，無論是作業平台(Platform)的選擇，或是軟體的選用，將影響到整個擷取系統的穩定性、擴充性、移植性以及資料的傳送與交換限制等等，也關係到擷取系統的優劣與否；因此在這方面必須全盤考量，以配合所需之控制功能編寫程式，進行機電控制與人機界面整合，而這些控制軟體最終則必須建構於作業平台上。此外，在資料傳輸方面，以業界為例，目前擷取系統的趨勢，常將資料開放於Windows 作業系統之下，藉由動態資料交換DDE(Dynamic Data Exchange)、動態資料連結DDL (Dynamic Data Link)及物件連結和嵌入OLE (Object Linking and Embedding)，可將資訊擷取至自行開發的程式中作運算；提昇效率與操作上的安全這使得利用個人電腦所建構的資訊網路達成自動化，已經是業界的必然趨勢[51-52]。

4-4-2. Labview program design environment

接著提到擷取系統的建立，本研究的擷取系統是以LabVIEW程式語言所編寫，此程式為National Instrument (美商慧基儀器公司)所發展的跨平台監控系統，可架構於麥金塔(Mac)、昇揚工作站(Sun SPARC station)、惠普(HP)的9000/700 系列工作站與Windows 平台的個人電腦上，由於LabView 及其作業環境是一32 位元的作業平台，因此在個人電腦上執行，可發揮優良的效能。而且在區域網路(Local Area Network)方面，LabView 可透過視窗作業系統的驅動和設定，支援各種與外部信號連結的功能，如TCP/IP(Transmission Control Protocol /Internet Protocol)、DLLs(Dynamic Link Libraries)、Active X 等獲得更多資源，達到作業網路化。此外LabView 尚支援GPIB(IEEE-488,General Purpose InterfaceBus)、VXI(VME eXtensions for Instrumentation, VME-Versa ModularEurocard)、PXI、RS-232、RS-485 等通訊界面，以及資料擷取DAQ(DataAcquisition)與影像擷取(Image Acquisition)等功能。

(1) 虛擬儀表

LabView 一詞是由Laboratory Virtual Instrument Engineering

Workbench 縮寫而來，意指是虛擬儀表的應用，LabView 所設計的圖控儀表，不論在外觀或操控方式都與實際儀表相似，因此又被稱為虛擬儀表(Virtual Instrument)，簡稱VI。由於監控系統皆需要量測許多不同形態的資料，訊號經量測與處理後，個人電腦被用來呈現資料之用，如此一來，使用虛擬儀表不但節省了實際儀表的成本開銷，也簡化實際儀表的操作與保養，同時增加監控系統的使用彈性。監控系統除了訊號量測監視外，加上控制程序使監控系統更加完備；監視與控制的運作成為LabView 的優勢之一，此種以電腦執行資料收集與監視控制的方式，一般亦稱為監視控制與資料擷取系統 (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition)

(2) 圖形化程式語言

圖形化程式語言又稱為繪圖語言(Graphics Language)，圖形程式設計的概念，是以繪圖方式來編寫程式，不須使用文字敘述。程式運作完全依靠圖形符號來描述程式的行為，再以資料流(Dataflow)的形式，使資料在程式內的圖像節點間相互傳遞。而圖形化的虛擬儀表具有層次性(Hierarchical)及模組化(Modular)的特點，在程式編寫過程中，它可以是最上層的主程式，也可成為較下層的副程式。並在模組化架構下，可以把整個主程式分割成一連串的小工作，再將每個小工作建立成為獨立的VI，此VI 可以單獨執

行特定的工作，也可以將許多VI 組合在主程式之下，而成為程式中某一項特定的功能。模組化程式所附帶的優點，是可以單獨執行子VI，使除錯過程更快速。

(3) 前置面板(Front Panel)

前置面板是使用者與VI 間的溝通界面，負責接收使用者所下的命令，並且將執行結果顯示在面板上，讓使用者得知監控系統當時的狀態。

就如同真實儀器的控制面板一樣，前置面板包含顯示元件和控制元件，控制元件可以模擬成傳統儀器上的輸入元件，如開關、旋扭、按鍵... 等，供使用者輸入控制命令，其命令格式以數值、布林元件、字串... 等資料格式進入監控程式處理。處理完畢之後，顯示元件將程式所運算完成的資料顯示在前置面板上，以告知使用者資料的處理結果，其外觀可以是溫度計、溼度計、電表、指示燈... 等，並且可依照使用者需求，改變其外觀形態、尺寸、位置、顏色與屬性，就如同真實元件虛擬顯示在電腦螢幕一般。

(4) 程式方塊圖(Block Diagram)

程式方塊圖為LabView VI 的資料運算處理核心，由於LabView 程式語言屬於繪圖環境，所以程式方塊圖，相當於傳統程式語言的原始程式碼，方塊圖的成分包含較低階的VI、內建函式

及常數等，亦包含前置面板的控制與顯示元件所附帶的程式方塊，此程式方塊則以圖示(Icon)方式顯示。LabView 前置面板上的每一個元件，皆含有一相對應的程式方塊，當使用者改變前置面板控制元件狀態時，如開關或旋扭，則程式方塊圖內相對應圖示的資料或數值，也會隨著該控制元件改變，透過連結器，該資料傳遞至其他不同功能的程式方塊進行運算，運算後再經連結器將資料傳遞至顯示元件所對應的圖示，接著顯示在前置面板上。

除了一般運算功能外，LabView 亦提供結構化的程式設計，如流程控制及迴圈控制的功能。在迴圈控制有For loop(指定迴圈執行圈數)、while loop(迴圈條件判斷)，流程控制有Sequence structures(循序程式架構)、Case (條件程式架構)。這些結構化的程式設計，有助於大型程式的撰寫，使得程式結構更加條理分明。此外LabVIEW 還包含一個不會影響程式流程的程式結構，函式節點運算(Formula node)架構，專門提供複雜的數學運算，此架構只要將數學式依照特定格式寫入節點內，再將對應的輸入、輸出點以連結器連接，即可處理數學函式，對於需要處理大量數學運算分析時，將十分有利。

在資料處理能力方面，LabView 與一般程式語言一樣，可處理區域變數(Local variable)、廣域變數(Global variable)、陣列

(Array)、矩陣(Matrix)、叢集(Cluster)等資料形態，並且可以結合資料庫，進行建檔及分析管理工作。

(5) 圖示(Icon)與連結器(Connector)

圖示是代表VI 具體形象化的表示方式，相當於程式中副程式的部份，其本身亦是一個獨立的程式。而連結器是定義每個圖示的輸入/輸出點，猶如是控制程式的輸入/輸出參數的端口，故每一個圖示如欲與外部程式溝通或連結，則必須經過連結器的媒介，才得以將資料輸入或輸出。

每個功能獨立的圖示連結，互相分工完成任務，這亦是模組化的精神所在，各個模組藉由連結彼此溝通，獨立的模組使除錯將更加方便，也簡化了主程式的結構，讓程式運作更靈活。

4-4-3. Graphics User Control interface

資料擷取步驟為訊號取得的前端作業，藉以換能器擷取信號，將接收的物理量加以量化，使得訊號可以快速的成為影像。

其功能目的為接收到正 15 度到負 15 度，共 31 個角度的訊號，搭配發射陣列波束形成法，進行線掃描，將這兩秒內的訊號擷取出來後定義取樣空間。

其程式方塊圖如圖如圖 4-15 所示，圖控介面如圖 4-16 所示。

以下將針對其重要的參數將以說明：

[Setting Page]:	設定參數分頁面。
[Main Page]:	信號截取畫面分頁面。
[Setting Page]	包含以下參數設定::
[Resource name]:	硬體位址。
[Channel Parameter]:	硬體基本設定。
[Record length]:	擷取卡上記憶體容量為 8M。
[Simple rate]:	取樣密度
[Reference position]:	啟動起始點
[Trigger lever]:	訊號擷取的電壓範圍
[Max Time (s)]:	最大等待時間
[Duration Time / Peak (s)]:	取樣時間
[Display Duration (ms)]:	各 31 角度轉換畫面
[File Folder Path]:	儲存檔案位址
[Name Group]:	檔案名稱
[Main Page]	包含以下參數設定::
[Graph]:	第幾個接收到角度，共有 31 個角度
[Signal]:	信號擷取畫面

實驗過程中，系統取樣頻率為 A/D 卡上的記憶體除上取樣空間，

可由視窗介面調整接收時間為資料擷取卡記憶體 8M 除上自己設定 5.33M 等於 1.5 秒之內所擷取之訊號，此系統取樣頻率為 5.56Mhz。就單方向每筆資料取樣時間為 1m 秒。其可測範圍為(水中聲速乘上時間)1.5 公尺。取將線掃描 1.5s 內訊號由一顆壓電片接收，發生這 1.5s 內的訊號加一分析後擷取，每個角度訊號皆有起始脈衝訊號，當系統有起始信號觸發時將取樣以這為起點之 1ms 距離之所訊號儲存，共 31 組信號為一次線掃描信號，在依序切換其垂直接收信號，將可組成一 31×19 之超音波 3D 影像。

4-5. Experiment process and signal retrieval

4-5-1. Ultrasonic signal

本節進行波束掃描實驗，其發射系統、訊號擷取系統和 19×19 之 T-type 架構壓電片陣列，進行水下無蓋立方盒超音波(B-mode)掃描[53-55]，其示意圖如圖 4-17 所示，量測系統架構圖如圖 4-18 所示，在未整合發射系統和接收系統前先以簡單的機械裝置進行掃描量測，其掃描訊號圖 4-19(A)、(B)所示，由圖中可明顯觀察出經掃描後的信號變化，因為這樣較費時，爾後進行自動化掃描，整合發射系統和資料擷取系統，利用一維 19 壓電片發射陣列波束形成掃描 31 個角度和在利用垂直一維接收 19 元素壓電片陣列，逐一經後置放

大後接收，此動作只需費時兩秒內，由此可知，一張 3D 超音波影像訊號需要 31×19 共 589 筆訊號。

實驗過程立方盒中心點距離陣列 40cm，並且傾斜 15 度，此舉是為了將低訊號之間的比值，再經由電腦視窗介面控制發射系統和擷取系統時間配合，將訊號擷取，其訊號擷取畫面如圖 4-20 所示。取 589 筆中任一組訊號，如圖 4-21 所示，以圖 4-21 來驗證訊號，已知發射到接收訊號峰值出現在時間軸 536us 處，乘上水中聲速 1504m/s，等於 80.4cm，除以來回距離等於 40.2cm，代表 A-mode 訊號驗證成功。

由於資料量龐大，取其中任一組掃描線(B-mode)之訊號每隔 3 度共 11 筆資料，畫出 31×1 之 3D 反射振幅圖(成像所需)如圖 4-22 所表示，再由垂直方向依序切換，即可得到 31×19 筆訊號圖，實驗已成功結取出 B-mode 訊號。

4-5-2. Ultrasonic image

模擬超音波

實際訊號成像以前先進行超音波影像模擬，採用 T 型陣列進行掃描，模擬成像出超音波影像，首先設計發射和接收陣列，平行發

射陣列和接收陣列，其陣列特性以陣列元素 19 個，元素間距為 1.25cm，發射陣列和接收互相垂直，換能器表面為矩形其寬 1mm、高 2.8mm 和長 5mm，其中心頻率為 600kHz，系統取樣頻率為 5.56MHz，其水中聲速為 1504m/s。

建立此環境中實體模擬以邊長 17cm 之無蓋立方盒，把每個面共有 4000 個散射點隨機分佈組成，其散射強度為 1，立方盒中心點距離陣列中心點距離為 40cm，其模擬立方盒如圖 4-23 所示。

將其訊號實際成像，其超音波模擬影像圖形如圖 4-24 所示。

實際超音波成像

進行實際訊號成像，採用 T 型陣列進行掃描，以 MATLAB 成像出超音波影像，水下測試環境其發射和接收陣列架構以平行發射陣列和接收陣列，其陣列特性以陣列元素 19 個，元素間距為 1.25cm，發射陣列和接收互相垂直，換能器表面為矩形其寬 1mm、高 2.8mm 和長 5mm，其中心頻率為 600kHz，系統取樣頻率為 5.56MHz，其水中聲速為 1504m/s。

此量測環境中立方體以邊長 17cm 之無蓋立方盒，對 X 軸採單軸旋轉 15 度，其實體擺設圖如圖 4-25，而掃描範圍以線掃描為主，在

以垂直陣列中各元素逐一接收，將線連結起來構成面，共 589 個點，
如圖 4-25 立方盒中心點距離陣列中心點距離為 40cm，其實際超音波
成像圖形如圖 4-26 所示。

一祥翻譯社 樣本
Elegant Translation Service Sample
請勿複製
Do not copy

Chapter 5

Conclusion and Suggestion

5-1. Conclusion

本文研究目標，在於水下影像系統之研發，並配合聲學理論和模擬軟體，進行超音波聲場模擬和換能器陣列製作並且量測其聲學特性。利用 Phase Array 發射系統，於水下陣列正前方從 15 度至-15 度進行共 31 組波束掃描，並利用 T-type 架構之陣列，一維 19 壓電陶瓷發射波束掃描，另一維垂直發射陣列，十九個換能器逐一接收，因此完成一張超音波影像圖，共需要 $31 \times 19 = 589$ 筆反射訊號資料，在此所利用之掃描方式，以線掃描(B-mode)，在連接各組線掃描構成一超音波 3D 灰階影像。

掃描的過程中不只僅記錄了起始時間和和延遲反射時間訊號，同時也記錄了空間的位置。此超音波影像系統需要進行精準波束掃描和大量之資料擷取，所以必須自動化量測。故在本系統中，利用電腦圖控介面經 RS232 控制各通道發射電路延遲，達到波束操控，以進行波束掃描，並且利用 Labview 圖控介面設計了自動化擷取流程和系統。並且在每次實驗後分析數據後進行改良，藉此修正此實驗設計。

本研究於實驗結果上，結論可歸納成下列幾點：

(一) 壓電陶瓷換能器和其陣列的設計

(1)由本論文之結果可知，陣列元素數增加時，可使主波寬度變窄並且及降低旁波瓣之干擾，並且對超音波灰階影像的解析度有顯著之影響，各元素中心點之間距增加雖然也能縮窄主波寬但卻會犧牲影像之品質，另外發射脈衝訊號之週期個數降越低越好，至少需少於陣列元素個數，可增加系統的範圍解析度。

(2)雖然已知眾多可以改善之方法，但要考慮硬體上是否可以實現，舉例來說，陣列元素越多越好，但每一個元素必須接上一高頻高壓驅動器，光是設計此單一發射脈衝器，成本上所費不貲，接下來還要整合多組硬體，硬體成本上跟效果不成比例，所以選用可接收最佳化之 19 元素之發射陣列並且考慮對偶性也採用 19 元素接收陣列，在電子電路硬體上可以支援之設計。

(二) 發射系統設計方面:

(1)驅動器能量越高越好，對於接收的反射信號的雜訊比有明顯的提高，並且對後續成像較為容易分辨。

(2)每一通道之高頻高壓驅動器之延遲時間是利用視窗 GUI 介面經 RS232 控制十九個脈衝產生器，每個脈衝產生信號可以在視窗調整範圍 $0.1\mu\text{s} \sim 23\mu\text{s}$ 利用相移信號傳達控制波束的產生方向，選擇最佳的延遲時間可以使得波束的聚焦點，也就是使能量最強點處撞擊物體，產生最大能量反射接收。

(三) 資料擷取系統

(1)整合垂直一維接收陣列，系統取樣頻率為 5.56Mhz，取樣頻率為

A/D 卡上的記憶體除上取樣空間，可由視窗介面調整取樣參數。完成一組線掃描需花費 1.5s，將 1.5s 期間發生之全部擷取出來，將發生這 1.5s 內的訊號加一分析，每個角度訊號皆有起始脈衝訊號，當系統有起始信號觸發時將取樣以這為起點之 1ms 距離之所訊號儲存。

(2) 而發射系統和擷取系統之間的時間控制，來自資料開始進來後之觸發。

(四) 影像

(1) 利用 MATLAB 先對訊號平移補償，擷取成影像矩陣，而後進行振幅成像，接著也將訊號距離擷取成矩陣，兩矩陣取褶積，進行補償修正。

(2) 利用濾波功能，提高超音波影像雜訊比，進而求取最高品質之影像。

5-2. Suggestion

(1) 超音波換能器和其陣列改以整合半導體製程或微機電技術製造高頻電容式超音波換能器陣列搭配整合，作為高頻超音波影像系統。

(2) 整合發射系統和接收系統整合成一套視窗控制介面，並且對硬體積體化，減少硬體電路複雜性，並且撰寫智慧型資料庫儲存掃描之資料。

(3) 水下超音波陣列系統未來可結合網路功能和動態顯像。

本論文所研究之水下超音波影像系統搭配超音波壓電陶瓷陣列，成功的將相移式發射系統經 B-mode 掃描反射訊號經由垂直十九顆陣列利用 Labview 控制依序接收並且成像，希望能對將來有興趣朝向水下超音波影像系統或是將此系統應用各項之設計、製作上有所助益。

一祥翻譯社 樣本
Elegant Translation Service Sample
請勿複製
Do not copy