

Chapter 3

Design and Fabrication of Underwater Ultrasonic Transducer and Array

3-1 One-dimension transducer array design and Simulation

由第二章可知压电陶瓷共振频率和压电参数等等，并且对超音波场和讯号建立数学模型等描述，接下來制作发射阵列之前，先利用Jensen所撰写之Field 函数程序[1-2]在Matlab中呼叫应用仿真，此函数程序系统是Tupholme 和 Stepanishen[3-5]所提出的空间脉冲响应(spatial impulse responses)理論撰写出來，可计算并且画出脉冲和連續波兩种信号源所形成之阵列之超音波的声场值。此模拟结果可为尔后实作阵列之参考和比较之相互印证。 C

由第二章之2-3节和2-4节可知换能器和其阵列特性，为了让为了让一维发射阵列有较大的成像扫描范围，必须设计使一维平行发射阵列之垂直方向有大幅度的主波宽，因此阵列中元素，也就是压电陶瓷换能器长度必须要越小越好。接着考虑阵列元素个數、阵列元素之间中心点间隔、阵列元素之宽度和驱动周期均会对阵列特性产生影响，接着进行各项参数模拟，利用Matlab 6.5呼叫Field C函数链接库进行各种应用之撰写，其程序流程图如图3-01所示，程序如下：

- (1)设定超音波传波速度，系统取样频率，阵列元素个數及每元素长、宽、高、间距等参数。
- (2)xdc_focus函式可设定阵列聚焦点，计算每阵列元素之间时间差，操作在某 θ 方向。
- (3)xdc_excitation函式给定阵列各种发射脉冲讯号形式，如2.5周期正弦波、宽度1ms方波等，另外xdc_impulse函式是换能器电压转换成声压的脉冲响应形式，通常我们是给定hanning windows。
- (4)此步骤可建构想要仿真的阵列型式，使用一维发射阵列 xdc_linear_array函式、可将其阵列裡每个元素切割成好几面，可提高模拟准确度。
- (5)通常一维波束声场强度之模拟，以阵列中心为参考点，固定距离下，利用calc_hp函式，可计算xz平面半个圆周上每点的压力场值。
- (6)我们利(2.43)式的定义方式，寻找每点位置通过的最大压力场值，并

取对數后作normalizec，以dB值表示。

(7)以逼近的方式，寻找下降到-6dB时的角度，算出主波宽。

(8)最后用plot或mesh函式画出我们想要的功率波束场型。

经由以上程序，进行下以坐标图图2-14中，假设有19个元素排成等间隔一维发射阵列，放置于y轴上，每个元素表面为矩形形状，长5mm、宽1mm、厚2.8mm和等各个元素之间中心点间隔1.25mm等为可调参数，发射讯号的中心频率为600kHz，发射1个周期正弦脉冲波，换能器的脉冲响应为2周期hanning windows，仿真环境在水中，声速为1504m/s。实际模拟出此阵列波束形成在 $\theta = 0^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ 的波束强度图，当作参考标准，分别比较不同参数之模拟：

(1) 平行发射阵列元素不同长度之垂直波束主波宽模拟

分别比较阵列元素长度为2.5mm、5mm及10mm时的主波宽度，模拟出z方向一维波束声场强度图，并且计算出主波宽。由模拟结果图3-02可知声场强度随着长度的越高时，强度下降越快，可以帮助了解此设计阵列垂直方向的扫描范围。

(2) 阵列元素不同个数对波束声场强度影响之模拟

分别比较阵列元素个数为8、16及32个的主波宽度，模拟出z方向一维波束声场强度图，并且计算出主波宽。由模拟结果如图3-03可知声场强度随着个数的越高时，主波宽会变窄并且旁瓣强度也会下降，但旁瓣的位置不变，可以帮助实作阵列时元素个数的选择。

(3) 阵列元素之间中心点不同间隔宽度对波束声场强度影响之模拟

分别比较元素之间中心点不同间隔宽度为0.5mm、2.5mm及5mm距离之主波宽度，模拟出z方向一维波束声场强度图，并且计算出主波宽。由模拟结果如图3-04可知声场强度随着个数的越高时，主波宽会变窄并且旁瓣强度也会下降，但旁瓣的位置不变，可以帮助实作阵列时元素个数的选择。

(4) 阵列不同脉冲周期对波束声场强度影响之模拟

分别比较阵列元素驱动周期为1、3及5个的主波宽度，模拟出z方向一维波束声场强度图，并且计算出主波宽。由模拟结果如图3-05可知声场强度随着脉冲周期的越高时，主波宽没有明显的变化但是当脉冲周期提升时，旁瓣个数会增加，此结果满足2-4-3节之理论。

完成发射阵列之模拟后，接着在3-2节说明实际制作压电陶瓷换能器阵列

和封装之过程。

3-2. Fabrication of Transducer and Array

实际制作压电陶瓷换能器阵列和封装之过程，以下依图3-06逐一說明[27]：

Step1.前置处理，首先将压电陶瓷片经过2-1节和2-2节组件分析，拣选出特性相近之压电陶瓷片。

Step2.选择共振频率为600kHz之压电陶瓷片。主要成分为锆钛酸铅(PbZrTiO)粉末，经高温烧结而成之长条立方体，如图3-06(A)。

Step3.如图3-06(B)，在PZT上下表面镀上一层银胶，当作上下电极。

Step4.如图3-06(C)，在PZT上电极加上焊锡。

Step5.如图3-06(D)，并将压电陶瓷片依照阵列，用银胶将下电极黏至电路板负极和另外其它下电极利用硬性防水胶黏至电路板上，并且在焊锡上連結铜导线接至PCB电路板正极，放进烤箱以90度温度烤半小时后取出。

Step6.如图3-06(E)，将其它导电之铜导线和电路板的地方，利用硬性防水胶，封装起来，留下一凹槽，再放进烤箱以90度温度烤半小时后取出。。

Step7.如图3-06(F)，将凹槽涂上第一层软性防水层，再放进烤箱以90度温度烤半小时后取出等待10分钟后取出。

Step8.如图3-06(G)，将凹槽涂上第二层软性防水层，以90度温度烤半小时后取出等待10分钟后取出。。

从Step1~8，陶瓷片阵列制作和封装就完成了。在防水层选择上分成软性和硬性，主要在凹槽结构上涂上软性防水层，硬件防水层黏着力非常强，经过烤箱烘烤后将会形成非常坚固之固体，将下电极背面紧紧的固定在电路板上，可以让压电陶瓷片产生超音波震动时能量不会悬浮而损失其能量，而软性防水层主要是避免阵列元素间之振动干扰，因为软性防水层具有吸收振动之能力，凹槽结构主要是让超音波振动集中于正前方。而整体之架构以彩色图显示。如图3-07所示。封装前之换能器阵列和封装后发射和接收阵列，分别如图3-08(A)和图3-08(B)所示。

3-3. Sensitivity Characteristics

3-3-1. Sensitivity Characteristics

进行自制之超音波换能器阵列靈敏度测试[28-30]，其主要量测和比较之主要工具为水下听音器，本实验中所使用分别为B&K公司所制造，型号为8104之低频水下麦克器，而高频之水下听音器为Specialty Engineering Associates公司所制造，针尖式水下麦克风型号为PZTZ44-1000，并且连接一Preamplifier，作为放大用。

超音波换能器靈敏度(cable-end-open voltage sensitivity)之量测[31]，是以水下听音器和自制换能器阵列进行相互量测比较，于水槽中进行实际测试，其重要的参数为脉冲和连续波时间控制(Pulse Duration Time)和阵列间之距离。以下将就其靈敏度量测理論逐一列出。

靈敏度可表示成[32]：

$$Sen. = \frac{V_{out}}{Pa} \quad (3.1)$$

其中是靈敏度， V_{out} 是接收之电压，是水听器之声压。

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

其中已和均为靈敏度但是靈敏度单位分别为 $Sen.S_{dB} \frac{uV}{Pa}$ 和。 dB

可由已知之水听器靈敏度图中，将dB单位转成 $\frac{uV}{Pa}$ 。在经过下式：

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

其中已是量测到声压值， V_{out} 是接收到之电压。 Pa

将量测到的电压带入上式，可求出其声压，再换上自制之换能器以相同状态下进行量测，将所得之电压带入(3.1)式，可得出相对于水听器之靈敏度。

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

本实验之讯号量测以波形产生器产生連續讯号，经由脉冲讯号分析仪放大后激发换能器。换能器所发射之声波于水中传递后，由水下麦克风接收，此一類比讯号经过數位示波器显示并且取样后经RS-232传输线和GPIB卡，将數位化讯号储存于个人计算机中。而讯号的触发时间则由波形产生器控制，因此可由示波器上时域区间的选择，撷取所需的讯号。完成此一讯号撷取程序后，利用转动平台移动换能器于水槽中的位置，于不同的空间位置进行同样的讯号撷取程序，故此一流程所撷取之讯号

为空间与时间域上的声场分布。以下将本实验使用之仪器做介绍。

硬设备

(1) 高频探针式水听器 (Transducer)

型号 : NHZ-0200 (频率范围 0 ~ 10MHz)

功能 : 可逆式电压转换声压之变化量测工具。

(2) 放大器 (Preamplifier)

型号 : AH-17DB

功能 : 将输入讯号放大，接收之超音波讯号放大。

(3) 低频水听器 (Transducer)

型号 : B&K-8104 (频率范围0 ~ 120KHz)

功能 : 可逆式电压转换声压之变化量测工具。

(4) 脉冲讯号分析仪 (Pulser-Receiver)

型号 : JSR-PR35

功能 : 可驱动一脉冲讯号，并且具有接收讯号功能，可将讯号放大0 Db至70 Db后进行低通和高通滤波，可将发收和接收分开进行动作。

(5) 函数波产生器 (Function Generator)

型号 : Tektronix-TDS3012B

功能 : 选用范围频率连续产生正弦波，来驱动水听器。

(6) 数位示波器 (Digital Oscilloscope)

型号 : AMREL-FG513

功能 : 将输入和输出信号

(7) 工业计算机 (General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI)

型号 : NIPXI-1042 Series

功能 : 搭配资料撷取卡设计取样频率，来显示资料平台，并且储存资料，进行分析。

(8) AD/DA资料撷取卡 (100 MHz, 100 MS/s 8-Bit Digitizers)

型号 : NIPXI-5112

功能 : 搭配lab-view程控来进行资料之撷取。

(9) 塑料水槽 (Tank)

规格 : 为长80cm×宽50cm×高50cm 矩形水槽

功能 : 进行水下阵列声学特性实验。

靈敏度实验过程

实验架构图如图3-09所示，采用比较校正法，主要利用高低频水下麦克风进行靈敏度测试，以函数波产生器产生频率范围120kHz至1MHz搭配探针型水下麦克风，和以函数波产生器产生频率范围0kHz至120kHz，搭配低频型水下麦克风。

以量测发射靈敏度600kHz距離为40cm为例。水听器在600kHz靈敏度-232dB，代入(3.2)式子，转换成dB单位，可得水听器之靈敏度为 $2.51 \frac{uV}{Pa}$ 。量测到的电压经后置放大30dB，放大为31.62倍，所以所量测到电压为84.7mV必须除上31.62为2.68mV，代入(3.3)式子可得声压为1.067kPa。

同样条件下，将所量测之电压经后置放大50dB，为放大为316.2倍，所以40.6mV除以316.2为0.128mV，此时以水听器声压为基准，代入(3.1)式子，可得自制压电片阵列其中一压电片600K时靈敏度为 $120 \frac{uV}{kPa}$ ，再带入(3.1)可得频率600kHz时为-78.41dB。再换上接收的换能器，以相同之方法量测不同范围之靈敏度，图3-10(A)为0至90kHz发射换能器频率之靈敏度、图3-10(B)为0kHz至90kHz发射换能器频率之靈敏度、图3-11(A)为200kHz至1Mhz接收换能器频率之靈敏度，图3-11(B)为200kHz至1Mhz接收换能器频率之靈敏度。

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

一般常見之超音波驱动源分为連續波和脉冲波[33-35]，在上节中采用了連續波当作激发源，主要是观察频率变化时的靈敏度。但是本节采用了脉冲波，其主要原因为降低水槽共振干扰和提高声场强度之准确度。在水槽测试中主要是Pulse-through Method 和 Pulse-echo Method，其图3-12(A)为Pulse-through Method，其图3-12(B)为Pulse-through Method，在相同的测试环境下可以发现其回波的位置，其图3-12(B)为图3-12(A)的兩倍，接下來放大回波讯号來看，图3-13(A)为水听器直接接收，其振幅由大到小变化，可知水听器一瞬间接收到的声压为最大，而后渐弱。图3-13(B)为撞击水听器后反射接收之回波，观察放大后回波讯号，其振幅由小变化至大而后渐弱，由此可知此回波必包含其水听

器物体之信息。

3-4-1. Near field and far field

根据2-3节超音波声场理論所叙述，各信道之脉冲信号來决定其声场和焦点特性，若将实验阵列整体接上无时差时电路所发射之波束，便可以软件程序仿真入射波束图。而所谓声波束之高斯分布[36-37]，为平行于阵列方向面上之声场分布，如图3-14所示，阵列发射之声场分布于近场为不规则分布，而在远场则为一高斯分布，故高斯分布系定义在距发射探头阵列以外之声场。本实验所取近远场的距離，是以常見近远场之定义，即

$$N = \frac{d^2 F}{4c} \quad (3.4)$$

其中是阵列近场范围， d 是阵列宽度， F 是阵列驱动频率， c 是水中声速。

实验过程中，水中声速为1504m/s，阵列宽度为27cm，以驱动频率为600kHz，将这些參數帶入(3.4)式子中，可得知近场距離为7.27cm，其分布图为图3-15所示。

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

单一组件水中声场

以相同实验架构，进行压电陶瓷换能器和其阵列之水下辐射声场，将发射連續波信号改以脉冲信号，并且选择阵列中其中一换能器，接上脉冲讯号分析仪之脉冲信号，并且利用机械装置使发射阵列，距離发射源40cm做绕0~180度之等距離量量测，由图3-16可明显的观察出不同角度所接收的回波讯号的振幅变化，并且利用水听器接收信号传至脉冲讯号放大后经數位示波器撷取后，再传至计算机经过取振幅峰对峰值后取对數，并且归一，收集所有角度之讯号，画出阵列之水中辐射声场图，和理想模拟图作为比较，其发射压电陶瓷的水中声场如图3-17(A)所示，并且以极坐标表示之，如图3-17(B)。

阵列组件水中声场

以相同实验架构，进行压电陶瓷换能器和其阵列之水下辐射声场，将发射连续波信号改以脉冲信号，并且选择阵列，将阵列接上无时差之脉冲信号，并且利用机械装置使发射阵列，距离发射源40cm做绕0~180度之等距离量测，并且利用水听器接收信号传至脉冲讯号放大后经数位示波器撷取后，再传至计算机经过取振幅峰对峰值后取对数，并且归一，收集所有角度之讯号，画出阵列之水中辐射声场图，和理想模拟图作为比较如图3-18(A)所示。并且以极坐标表示如图3-18(B)所示，此图可表现出阵列之指向性。

3-5. Measurement Result and Discuss

测试灵敏度实验中，选择用函数波产生器产生范围为0Hz至1MHz频率，振幅为15V的连续波当作驱动脉冲/接收信号分析仪外部驱动触发，目的是验证设计之换能器之特性，并且搭配发射系统和撷取系统的要求，由本章灵敏度的图形可知灵敏度感度在600kHz时的灵敏度感度最高，而接收灵敏度在480kHz有至640kHz感度有一范围特性，与其设计发射阵列在600kHz频率产生最大机电耦合而产生最大能量之超音波，并且期望在接收阵列有一160kHz频宽之范围相符合。在利用连续波量测灵敏度上，其优点为可调整频率范围，其缺点为连续超音波易受到水槽共振影响。

在其超音波阵列水中声场，改以脉冲/接收信号分析仪产生脉冲信号进行远近场实验，增加声场准确度，可由图中知道阵列声场在近场范围可由公式(3.4)计算出来，为7.27cm，在7.27cm以内超音波声场分布不均匀，在7.27cm之后声场成高斯衰减，趋于稳定状态，在往后进行量测水下声场，采用远场进行量测。

超音波阵列水中声场，主要将各角度收集到之电压脉冲振幅信号，经示波器撷取后传输到计算机中转成dB单位，从图形中可以明显看出几波束存在，并且可计算出-6dB主波宽的宽度，下章节可利用此主波宽度进行平行线的扫描。

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，而形成各种不同的形式和规格，比方說用于工业上的非破坏性检测[39]、其超音波可在不透光的实体中进行传递，所以常采用探伤用之脉波反射式超音波检测仪[40]。而医学上所使用的更是多样化，有胎儿检测之B-mode扫描方式，和检测器官的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)模式和深度扫描之C-mode(Constant depth-mode)模式[41-44]等。本論文将采取振幅模式(Amplitude-mode)和亮度模式(Brightness-mode)來应用于水下物体之侦测应用。

Amplitude-Mode(点扫瞄)

在本論文中，第三章第二节和第三节所撷取的讯号，就为A-mode讯号，在本論文中进行中下发射和反射信号的传递时间(time of flight)来进行水下物体的测距和定位[45]，如图4-1所示。A-mode的优点来自于之撷取讯号较为单纯，所要进行分析的资料和运算比较少，分析的方法也较为简单易懂，使用類比信号处理的方式即可完成处理的工作，不需要经

过复杂的數位处理器分析信号。在电子电路技术或是硬件设计和计算能力较弱的时候亦可以计算出水中物体距離，其缺点为不能够成大范围之量测，是不能利用这种影像模式对组织结构定量地分析。

Brightness-mode(线侦测)

最常見之超音波影像模式就是B-mode所形成之影像，如图4-02(A)为人体手臂皮肤之超音波影像图和图4-02(B)为老鼠胚胎之超音波影像所示。此模式是利用灰阶方式的表现方式來呈现出物体所反射之超音波波束信号的强弱特性，在超音波影像系统中有利用不同的方式去建立此影像模式，传统是利用线性马达带动超音波探头而得到數组A-mode信号或是采用先进的技术，以本論文中所使用之波束形成技术控制波束进行扫描而得到數组A-mode信号，再利用高速电子电路将其撷取，取样后将不同位置A-mode的信号组合，经过降频、低通濾波和影像格式的转换等处理，即可得到B-mode影像。优点是在于以对數分布和灰阶表示物体影像可作为水下物体侦测和扫瞄并且结合各式之设备來应用，如结合水下机械臂进行物体打捞[46]。

Constant depth-mode (面扫描和深度扫瞄)

超音波换能器阵列设计时，通常会设计强聚焦(strongly focused)的阵列，强聚焦的阵列在聚焦点处具有比较强的信号，用于观察某个影像深度断层面的结构。垂直影像平面的方向也多重地加以线性扫瞄。在影像格式处理的方法上，则是将多张的二维影像中某个固定深度的值記錄下來，重新在一个垂直原影像平面的方向利用灰阶显示的方式构成一张固定深度的B-mode影像，記錄的是多层次下方一个整体的讯号如，图4-03(A)重迭多张二维超音波影像示意图和图4-03(B)重迭后建立之三维之超音波影像[47]。

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

为了成像出一张3D超音波影像，我们建立了T字型阵列，一维平行发射阵列和一维垂直接收阵列，图4-04为T字型阵列示意图，图4-05为自制T字型阵列，其长为1cm，宽为1mm，发射阵列厚为2.8cm，发射阵列

厚为3.2cm，元素中心点间距为1.25mm，平行发射阵列以波束形成技术，波束在某个方向角度会特别窄而垂直方向会较宽，加上垂直接收阵列，成为T字型阵列，T字型阵列是属于点聚焦，图4-06 (A)为T字型聚焦点之能量分布仿真图，而斜视图为图4-06 (B)所示。从图中可观察出点聚焦现象，并且可得方向角度回波讯号最大值为此点物体反射所贡献，最大值发生的时间点，推算出物体和阵列的距离，再利用波束形成技术扫描各个角度，可成像振幅影像(Amplitude image)和距离(range image)影像图，建立出3D超音波影像图像[48-49]。

为了建立出3D超音波影像，定义出扫描的范围和方式。平行发射扫描从正15度到负15度，再利用垂直阵列中的单颗换能器垂直接收，由此可知一张超音波影像图需要 31×19 等于589笔资料。为了达到此要求，进而开发发射系统和接收系统。

4-3 Phase Array Transmit System

4-3-1. System exploitation object and atmosphere

波束形成技术主要利用各元素的时间差进行波束操控，其示意图如图4-07所示，并且配合自制之超音波换能器阵列而开发了十九信道之相移式扫描发射系统并且利用图控窗口接口设计，经RS232传输线控制此发射系统产生频率为600KHz±10%、各通道之间时间差为可调范围0.1us~23us之振幅约150V±15%之脉冲讯号，其整体之方块图如图4-08所示，其使用之phase array pulsing system如图4-09所示，所使用之软件设备如下：

硬件部分

- (1)General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI 接口之工业计算机和周边
- (2)RS232 DB-9 传输线
- (3)Phased Array Transmit System

软件部分

- (1)Windows XP
- (2)GUI(Graphics User Interface)图控程序设计界面

4-3-2. RS-232 Transmission Protocol

传输协议

一个完整的驱动系统包含有传送端、接收端、资料转换界面与传送资料的实体信道，才能构成完整之系统。驱动的目的不外乎程序的控制，而讯息必须经过交换的动作才能到达另一个设备，在讯息传输时，无论来源与终点资料格式为何种形式，传送端所使用的方式都是将资料经由一定的线路与程序传送，再由接收端依共同协议的通讯方式接收资料，在资料传输时，必须透过共同认定通讯界面才能进行。通常资料传送的形式可以分为两种，一为并列传输式通讯(Parallel communication)，另一种为串列传输式通讯(Serial communication)，此两种通讯方式如图4-10 与图4-11 所示。

由图中了解，所谓的并列通讯，即是一次可以同时传输八个位(一个字节)，而串列通讯一次仅传送一个位，相较之下两者差了八倍之多，虽然如此，串列通讯并不因此而没落。原因是并列通讯一次可以同时传输八个位，但是在资料传输过程中，容易因为线路结构因素，产生电压衰减以及讯号间互相干扰(Cross talk)的问题，发生资料错误的情形，如果将传输距离加长的话，此种现象会更加明显。相较之下，串列通讯一次只传送一个位，相对来说，一次只须处理一个资料电压的准位，因此在资料传送的准确度上，较不易产生漏失。

一般常见的串列传输协议有RS-232、RS-485、USB与IEEE-1394等。本系统所使用的传输界面为RS-232。

4-3-2. RS-232 Transmission Protocol

RS-232 (Recommended Standard-232) 是由电子工业协会(Electronic Industries Association , EIA) 所制定的异步传输(Asynchronous transmission) 标准接口。这也是许多个人计算机上的通讯接口之一，在IBM-PC 上，一般计算机可连接至四个 RS-232 接口。一般又称此接口为序列端口或串列埠(Serial port)，由于 RS-232 是由 EIA 所定义的，所以也常称为 EIA-232，目前演进到第四代 RS-232D。通常 RS-232 接口以九个接脚 (DB-9) 或是二十五个接脚 (DB-25) 的型态出现，一般个人计算机上会有两组 RS-232 接口，分别称为 COM1 和 COM2。此外，还可以连接 COM3 及 COM4，不过因为 COM1/COM3 共享 IRQ 4，而 COM2/COM4 共享 IRQ 3，所以同时最多只能使用四个COM ports 的其中两个。此接口通常可以用

來連接數據機、序列滑鼠、其它計算機終端機以及支持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)及異步式(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)。而異步式則以起始位(Start bit)及停止位(Stop bit)作為通訊判斷，異步式機械規格為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計算機有載波被偵測到，此時是處於上線狀態(On line)。反之，若計算機未接收到此訊號，將會判定此時為離線狀態，並切斷連線。

(2) 接收字符RXD

此接腳功能是接收由遠程所傳送過來的資料，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。RS-232的電氣規範，訊號電壓 $+3V \sim +15V$ 代表1， $-3V \sim -15V$ 代表0。根據一般實際應用的測量，訊號電壓約在 $+9V$ 與 $-9V$ 之間。

(3) 傳送字符TXD

此腳位是將計算機欲傳送的資料傳送出去，傳送過程之動作方式與RXD相同。

(4) 資料端備妥DTR

此接腳由計算機所控制，通知終端側可以進行傳輸。若此接腳處於高電位，則代表計算機已經準備就緒，隨時可以接收資料。

(5) 地線GND

此接腳作為計算機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，訊號的電壓準位是以參考地線準位而來，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計算機，

接收端已准备就绪，可以开始传送资料过来。

(7) 要求传送RTS

此脚位由计算机所控制，用以通知终端设备马上传送资料至计算机，当

终端侧收到此讯号后，便会将所收集到的资料传回计算机。在此之前，所有资料都会被储存在终端设备的缓冲区内。

(8) 清除以传送CTS

此接脚由终端侧所控制，用以通知计算机将欲传送资料送至终端设备。当计算机接收到此讯号，会将资料输出至终端侧。

(9) 响铃侦测RI

此项功能为数据机(Modem)所使用，为数据机通知计算机有电话进来，再由计算机决定是否接听。

RS-232 的演进过程，由于25针当初定义是因为同步传输需求才发展，但是因为环境变迁而逐渐式微，现今的配备皆已简化为9针异步传输。在个人计算机中，资料的串列传输控制是由异步串列传输ICUART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)所控制，其功能为控制资料的流量以及资料缓冲。

所谓资料流量控制，是确保资料正确的一个重要关键。在资料传送过程中，为了确保传送与接收双方都能正确地接收资料而不漏失，传送与接收双方必须透过互相联系，确定彼此的工作状态后，才能进行传送与接收，此种方式一般称为交握(Hand shaking)。以RS-232 来说，硬件交握使用到DSR、CTS、DTR 与RTS 等四条线路，流程说明如下：

- (1) 终端侧将通讯端口DSR 位准升高，表示终端侧已备便接收资料。
- (2) 计算机将DTR 位准升高，表示计算机也已将资料准备妥当。
- (3) 计算机将RTS 电位升高，通知终端侧即将传送资料。
- (4) 终端侧将RTS 位准升高，通知计算机可以开始传送资料。
- (5) 接着开始进行资料传输。

交握协议之动作流程如图4-12所示。

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

其窗口图控接口如图4-13所示。以下将针对其重要的参数将以说

明：

選單目錄說明

- [File]: 开启档案相关选项。
- [Load Delay]: 指定一个档名(*. DLY) , 将Delay PatternTable内的资料存入资料档。
- [Save Delay As ...]: 指定一个档名(*. DLY) , 将Delay PatternTable内的资料存入资料档。
- [Verify Delay]: 检视/修改程序内的Delay Pattern Table。
- [Exit]: 结束PhaseTX程序的执行。
- [Edit]: 开启开启编辑相关选项。
- [COM port]: 指定与发射控制电路系统沟通的COM port。
- [Run]: 指定与发射控制电路系统沟通的COM port。
- [Start]: 启动发射控制电路系统以pulse repetition rate的速度连续执行31个delay pattern的发射。

- [Set Timer]: 设定发射控制电路系统的pulse repetition rate。

- [Download]: 将Delay Pattern Table内的资料下载至发射控制电路系统。

- [Help]: 开启說明相关选项。

- [Manual]: 开启/检视程序使用說明文件。

- [About]: 关于PhaseTX程序的版本信息。

接口按钮說明:

- [Set Timer]: 设定发射控制电路系统的pulse repetition rate。

- [Load Default Delay]: 载入预设的delay pattern资料档(DelayPattern.DLY)。

- [Verify]: 检视/修改程序内的Delay Pattern Table。

[START]: 启动发射控制电路系统以pulse repetition rate的速率
连续执行31个delay pattern的发rate的速率連續执行31
个delay pattern的发射。

—样翻譯公司 样本
Elegant Translation Service Sample
请勿复制
Do not copy

界面參數說明:

[Time of Flight]: Time of Flight: 设定超音波发射/接收去回传递所需要的时间，以1ms为单位。

[Data Transfer Time]: Data Transfer Time: 设定接收信号资料撷取所需要的时间，以1ms为单位。

系统将可依据Time of Flight和Data Transfer Time的总时间來设定系统连续发射的时间间隔(pulse repetition rate)。

Delay time pattern :

(1) Delay time pattern资料型态

(1.1)整体发射的设定主要是经由Delay time pattern來控扫描的角度范围和波束的形成，也是整套系统的关键之技术。经发射的系统要求目标定为发射阵列元素为19个，其资料型态为TX1至TX19。

(1.2)扫描的角度范围正15度至负15度，固定为31条扫描波束，其资料型态为L1至L31。

(1.3)Delay pattern档案的资料结构：共有31组delay pattern，每组pattern内包含19个delay值，每个delay数值用逗点分开，精确度至0.1us，每组delay pattern的最后一个数值后面不加逗点，每组delay pattern以分行输入，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)编辑Delay time pattern资料档案

(2.1) 编辑时请使用Windows的附属应用程序：记事本
(NotePad. EXE)

(2.2) 资料内容请依照Delay pattern档案的资料结构說明來编辑

(2.3) 输入delay数值的单位为us

(2.4) Delay數值的范围：最小不得小于0. 1us，最大不得大于23. 0us

(2.5) 存档时扩展名必须设定为DLY

(3) 如何编辑Delay time pattern资料档案

(2.1) 按[Verify]键，开启Delay Pattern Table窗口

(2.2) 以方向键移动欄位或用滑鼠点选欄位

(2.3) 双击滑鼠或按键盘ENTER键，切换资料欄位编辑模式

(2.4) 输入delay數值的单位为us

(2.5) 输入delay數值的单位为us；Delay數值的范围：最小不得小于0.1us，最大不得大于23.0us

(2.6) 执行目錄[Save Delay As ...]以储存修改后的资料

了搭配发射阵列，使用相移式扫描(phase array)[50]，依照目标需要频率在600kHz10%之十九信道驱动器，每一信道接至压电片，每通道之时间差为可调范围0.1us~23us之约150V15%，相移式发射系统方块图如图八所示，主要是利用FPGA扫描，19只接脚输出逻辑信号控制功率MOS导通，感应铁磁性线圈产生高频驱动电压，在取出第10接脚当作同步信号，经由RS232传输至工业计算机或是个人计算机撰写控制接口来控制。

此相移式发射系统工作目的主要是利用每各通道的延迟时间，使阵列中各个压电片产生延迟震动，进而操控波束偏转方向和角度，这就是所谓波束形成技术，如图九所示。图九中的是每压电片时间和 T 为超音波在水中传递时间，这些因素在设计B-mode扫描时都必须远大于这些时间。 t_n

系统完成后，要求波束扫描角度为正15度至负15度，共有31个角度扫描得到之信号，利用图控接口建立个信道和31角度之延迟表，如图4-14所示。完成31个角度扫描的时间，如窗口接口中的Time Of Flight；等待处理信号的时间，如图九窗口接口中的Data Transfer Time，扫完

一次线扫描约1.5s，系统测试成功。

4-4. Signal retrieval system

4-4-1. System exploitation object and atmosphere

为了实现搭配发射系统，并且配合自制之超音波换能器阵列而设计了高速资料撷取系统，图控窗口LabView软件设计，经RS232传输线控制此发射系统产生频率为 $600\text{KHz} \pm 10\%$ 、各通道之间时间差为可调范围 $0.1\mu\text{s} \sim 23\mu\text{s}$ 之振幅约 $150\text{V}15\%$ 之脉冲讯号，其使用硬设备如下：

硬件部分

- (1) General-Purpose 8-Slot Chassis for PXI 接口之工业计算机和周边
- (2) NI PXI-5112 资料撷取卡(100 MHz, 100 MS/s 8-Bit Digitizers)

软件部分

- (1) Windows XP
- (2) LabView 7.0 图控撷取设计软件

关于PC-Based 撷取系统的架构，除了依照系统需求所安装的硬设备以外，软件的选择亦是相当关键的一个环节，无论是作业平台(Platform)的选择，或是软件的选用，将影响到整个撷取系统的稳定性、扩充性、移植性以及资料的传送与交换限制等等，也关系到撷取系统的优劣与否；因此在这方面必须全盘考量，以配合所需之控制功能编写程序，进行机电控制与人机界面整合，而这些控制软件最终则必须建构于作业平台上。此外，在资料传输方面，以业界为例，目前撷取系统的趋势，常将资料开放于Windows 操作系统之下，藉由动态资料交换DDE(Dynamic Data Exchange)、动态资料連結DDL (Dynamic Data Link)及对象連結和嵌入OLE (Object Linking and Embedding)，可将信息撷取至自行开发的程序中作运算；提升效率与操作上的安全这使得利用个人计算机所建构的信息网路达成自动化，已经是业界的必然趋势[51-52]。

4-4-2. Labview program design environment

接着提到撷取系统的建立，本研究的撷取系统是以LabVIEW 程序语言所编写，此程序为National Instrument (美商慧碁仪器公司) 所

发展的跨平台监控系统，可架置于麦金塔(Mac)、升扬工作站(Sun SPARC station)、惠普(HP)的9000/700 系列工作站与Windows 平台的个人计算机上，由于LabView 及其作业环境是一32 位的作业平台，因此在个人计算机上执行，可发挥优良的效能。而且在区域网路(Local Area Network)方面，LabView 可透过窗口操作系统的驱动和设定，支持各种与外部信号連結的功能，如TCP/IP(Transmission Control Protocol /Internet Protocol)、DLLs(Dynamic Link Libraries)、Active X 等获得更多资源，达到作业网路化。此外LabView 尚支持GPIB(IEEE-488,General Purpose InterfaceBus)、VXI(VME eXtensions for Instrumentation, VME-Versa ModularEurocard)、PXI、RS-232、RS-485 等通讯界面，以及资料撷取DAQ(DataAcquisition)与影像撷取(Image Acquisition)等功能。

(1) 虚拟仪表

LabView 一词是由Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 缩写而来，意指是虚拟仪表的应用，LabView 所设计的图控仪表，不論在外觀或操控方式都与实际仪表相似，因此又被称为虚拟仪表(Virtual Instrument)，简称VI。由于监控系统皆需要量测许多不同形态的资料，讯号经量测与处理后，个人计算机被用來呈现资料之用，如此一來，使用虚拟仪表不但节省了实际仪表的成本开销，也简化实际仪表的操作与保养，同时增加监控系统的使用弹性。监控系统除了讯号量测监视外，加上控制程序使监控系统更加完备；监视与控制的运作成为LabView 的优势之一，此种以计算机执行资料收集与监视控制的方式，一般亦称为监视控制与资料撷取系统 (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition)

(2) 图形化程序语言

图形化程序语言又称为绘图语言(Graphics Language)，图形程序设计的概念，是以绘图方式來编写程序，不须使用文字叙述。程序运作完全依靠图形符号來描述程序的行为，再以资料流(Dataflow)的形式，使资料在程序内的图像节点间相互传递。而图形化的虚拟仪表具有层次性(Hierarchical)及模块化(Modular)的特点，在程序编写过程中，它可以是最上层的主程序，也可成为较下层的子程序。并在模块化架构下，可以把整个主程序分割成一連串的小工作，再将每个小

工作建立成为独立的VI，此VI可以单独执行特定的工作，也可以将许多VI组合在主程序之下，而成为程序中某一项特定的功能。模块化程序所附带的优点，是可以单独执行子VI，使除错过程更快速。

(3) 前置面板(Front Panel)

前置面板是使用者与VI间的沟通界面，负责接收使用者所下的命令，并且将执行结果显示在面板上，让使用者得知监控系统当时的状态。

就如同真实仪器的控制面板一样，前置面板包含显示组件和控制组件，控制组件可以仿真成传统仪器上的输入组件，如开关、旋扭、按键...等，供使用者输入控制命令，其命令格式以数值、布林组件、字串...等资料格式进入监控程序处理。处理完毕之后，显示组件将程序所运算完成的资料显示在前置面板上，以告知使用者资料的处理结果，其外观可以是温度计、湿度计、电表、指示灯...等，并且可依照使用者需求，改变其外观形态、尺寸、位置、颜色与属性，就如同真实组件虚拟显示在计算机屏幕一般。

(4) 程序方块图(Block Diagram)

程序方块图为LabView VI的资料运算处理核心，由于LabView程序语言属于绘图环境，所以程序方块图，相当于传统程序语言的原始程序代码，方块图的成分包含较低阶的VI、内建函式及常數等，亦包含前置面板的控制与显示组件所附带的程序方块，此程序方块则以图标(Icon)方式显示。LabView 前置面板上的每一个组件，皆含有一相对应的程序方块，当使用者改变前置面板控制组件状态时，如开关或旋扭，则程序方块图内相对应图示的资料或數值，也会随着该控制组件改变，透过連結器，该资料传递至其它不同功能的程序方块进行运算，运算后再经連結器将资料传递至显示组件所对应的图标，接着显示在前置面板上。

除了一般运算功能外，LabView 亦提供结构化的程序设计，如流程控制及循环控制的功能。在循环控制有For loop(指定循环执行圈數)、while loop(循环条件判断)，流程控制有Sequence structures(循序程序架构)、Case (条件程序架构)。这些结构化的程序设计，有助于大型程序的撰写，使得程序结构更加条理分明。此外LabVIEW 还包含一个不会影响程序流程的程序结构，函式节点运算(Formula node)架构，专门提供复杂的數学运算，此架构只要将數学式依照特定格式

写入节点内，再将对应的输入、输出点以連結器连接，即可处理数学函式，对于需要处理大量数学运算分析时，将十分有利。

在资料处理能力方面，LabView 与一般程序语言一样，可处理区域变数(Local variable)、广域变数(Global variable)、阵列(Array)、矩阵(Matrix)、丛集(Cluster)等资料形态，并且可以结合资料库，进行建档及分析管理工作。

(5) 图示(Icon)与連結器(Connector)

图示是代表VI 具体形象化的表示方式，相当于程序中子程序的部份，其本身亦是一个独立的程序。而連結器是定义每个图示的输入/输出点，犹如是控制程序的输入/输出参数的端口，故每一个图标如欲与外部程序沟通或連結，则必须经过連結器的媒介，才得以将资料输入或输出。

每个功能独立的图标連結，互相分工完成任务，这亦是模块化的精神所在，各个模块藉由連結彼此沟通，独立的模块使除错将更加方便，也简化了主程序的结构，让程序运作更灵活。

4-4-3. Graphics User Control interface

资料撷取步骤为讯号取得的前端作业，藉以换能器撷取信号，将接收的物理量加以量化，使得讯号可以快速的成为影像。

其功能目的为接收到正15度到负15度，共31个角度的讯号，搭配发射阵列波束形成法，进行线扫描，将这两秒内的讯号撷取出来后定义取样空间。

其程序方块图如图4-15所示，图控界面如图4-16所示。以下将针对其重要的参数将以说明：

[Setting Page]: 设定参数分页面。

[Main Page]: 信号截取画面分页面。

[Setting Page] 包含以下参数设定::

[Resource name]: 硬件地址。

[Channel Parameter]: 硬件基本设定。

[Record length]: 撷取卡上内存容量为8M。

[Simple rate]:	取样密度
[Reference position]:	启动起始点
[Trigger lever]:	讯号撷取的电压范围
[Max Time (s)]:	最大等待时间
[Duration Time / Peak (s)]:	取样时间
[Display Duration (ms)]:	各31角度转换画面
[File Folder Path]:	储存档案地址
[Name Group]:	文件名称
[Main Page]	包含以下參數設定::
[Graph]:	第几个接收到角度 , 共有31个角度
[Signel]:	信号撷取画面

实验过程中，系统取样频率为A/D卡上的内存除上取样空间，可由窗口接口调整接收时间为资料撷取卡内存8M除上自己设定5.33M等于1.5秒之内所撷取之讯号，此系统取样频率为5.56Mhz。就单方向每笔资料取样时间为1ms。其可测范围为(水中声速乘上时间)1.5公尺。取将线扫描1.5s内讯号由一颗压电片接收，发生这1.5s内的讯号加一分析后撷取，每个角度讯号皆有起始脉冲讯号，当系统有起始信号触发时将取样以这为起点之1ms距离之所讯号储存，共31组信号为一次线扫描信号，在依序切换其垂直接收信号，将可组成一31×19之超音波3D影像。

4-5. Experiment process and signal retrieval

4-5-1. Ultrasonic signal

本节进行波束扫描实验，其发射系统、讯号撷取系统和19*19之T-type架构压电片阵列，进行水下无盖立方盒超音波(B-mode)扫描[53-55]，其示意图如图4-17所示，量测系统架构图如图4-18所示，在未整合发射系统和接收系统前先以简单的机械装置进行扫描量测，其扫

描讯号图4-19(A)、(B)所示，由图中可明显观察出经扫描后的信号变化，因为这样较费时，尔后进行自动化扫描，整合发射系统和资料撷取系统，利用一维19压电片发射阵列波束形成扫描31个角度和在利用垂直一维接收19元素压电片阵列，逐一经后置放大后接收，此动作只需费时两秒内，由此可知，一张3D超音波影像讯号需要31*19共589笔讯号。

实验过程立方盒中心点距离阵列40cm，并且倾斜15度，此举是为了将低讯号之间的比值，再经由计算机窗口接口控制发射系统和撷取系统时间配合，将讯号撷取，其讯号撷取画面如图4-20所示。取589笔中任一组讯号，如图4-21所示，以图4-21来验证讯号，已知发射到接收讯号峰值出现在时间轴536us处，乘上水中声速1504m/s，等于80.4cm，除以来回距离等于40.2cm，代表A-mode讯号验证成功。

由于资料量庞大，取其中任一组扫描线(B-mode)之讯号每隔3度共11笔资料，画出 31×1 之3D反射振幅图(成像所需)如图4-22所表示，再由垂直方向依序切换，即可得到 31×19 笔讯号图，实验已成功结取出B-mode讯号。

4-5-2. Ultrasonic image

仿真超音波

实际讯号成像以前先进行超音波影像仿真，采用T型阵列进行扫描，仿真成像出超音波影像，首先设计发射和接收阵列，平行发射阵列和接收阵列，其阵列特性以阵列元素19个，元素间距为1.25cm，发射阵列和接收互相垂直，换能器表面为矩形其宽1mm、高2.8mm和长5mm，其中心频率为600kHz，系统取样频率为5.56MHz，其水中声速为1504m/s。

建立此环境中实体仿真以边长17cm之无盖立方盒，把每个面共有4000个散射点随机分布组成，其散射强度为1，立方盒中心点距离阵列中心点距离为40cm，其模拟立方盒如图4-23所示。

将其讯号实际成像，其超音波仿真影像图形如图4-24所示。

实际超音波成像

进行实际讯号成像，采用T型阵列进行扫描，以MATLAB成像出超音波影像，水下测试环境其发射和接收阵列架构以平行发射阵列和接收阵

列，其阵列特性以阵列元素19个，元素间距为1.25cm，发射阵列和接收互相垂直，换能器表面为矩形其宽1mm、高2.8mm和长5mm，其中心频率为600kHz，系统取样频率为5.56MHz，其水中声速为1504m/s。

此量测环境中立方体以边长17cm之无盖立方盒，对X轴采单轴旋转15度，其实体摆设图如图4-25，而扫描范围以线扫描为主，在以垂直阵列中各元素逐一接收，将线連結起来构成面，共589个点，如图4-25立方盒中心点距离阵列中心点距离为40cm，其实际超音波成像图形如图4-26所示。

Elegant Translation Service Sample
Elegant Translation Service Sample
请勿复制
Do not copy

Chapter 5 Conclusion and Suggestion

5-1. Conclusion

本文研究目标，在于水下影像系统之研发，并配合声学理論和仿真

软件，进行超音波声场仿真和换能器阵列制作并且量测其声学特性。利用Phase Array 发射系统，于水下阵列正前方从15度至-15度进行共31组波束扫描，并利用T-type架构之阵列，一维19压电陶瓷发射波束扫描，另一维垂直发射阵列，十九个换能器逐一接收，因此完成一张超音波影像图，共需要 $31 \times 19 = 589$ 笔反射讯号资料，在此所利用之扫描方式，以线扫描(B-mode)，在连接各组线扫描构成一超音波3D灰阶影像。

扫描的过程中不只仅记录了起始时间和延迟反射时间讯号，同时也记录了空间的位置。此超音波影像系统需要进行精准波束扫描和大量之资料撷取，所以必须自动化量测。故在本系统中，利用计算机图控接口经RS232控制各通道发射电路延迟，达到波束操控，以进行波束扫描，并且利用Labview图控接口设计了自动化撷取流程和系统。并且在每次实验后分析数据后进行改良，藉此修正此实验设计。

本研究于实验结果上，结论可归纳成下列几点：

(一) 压电陶瓷换能器和其阵列的设计

(1)由本论文之结果可知，阵列元素数增加时，可使主波宽度变窄并且及降低旁波瓣之干扰，并且对超音波灰阶影像的解析度有显著之影响，各元素中心点之间距增加虽然也能缩窄主波宽但却会牺牲影像之质量，另外发射脉冲讯号之周期个数降越低越好，至少需少于阵列元素个数，可增加系统的范围解析度。

(2)虽然已知众多可以改善之方法，但要考虑硬件上是否可以实现，举例来说，阵列元素越多越好，但每一个元素必须接上一高频高压驱动器，光是设计此单一发射脉冲器，成本上所费不赀，接下来还要整合多组硬件，硬件成本上跟效果不成比例，所以选用可接收最佳化之19元素之发射阵列并且考虑对偶性也采用19元素接收阵列，在电子电路硬件上可以支持之设计。

(二) 发射系统设计方面：

(1)驱动器能量越高越好，对于接收的反射信号的噪声比有明显的提高，并且对后续成像较为容易分辨。

(2)每一通道之高频高压驱动器之延迟时间是利用窗口GUI接口经RS232控制十九个脉冲产生器，每个脉冲产生信号可以在窗口调整范围 $0.1\mu\sim23\mu$ 利用相移信号传达控制波束的产生方向，选择最佳的延迟时间可以使得波束的聚焦点，也就是使能量最强点处撞击物体，产生最大能量反射接收。

(三) 资料撷取系统

(1)整合垂直一维接收阵列，系统取样频率为5. 56Mhz，取样频率为A/D卡上的内存除上取样空间，可由窗口接口调整取样參數。完成一组线扫描需花费1. 5s，将1. 5s期间发生之全部撷取出來，将发生这1. 5s内的讯号加一分析，每个角度讯号皆有起始脉冲讯号，当系统有起始信号触发时将取样以这为起点之1ms距離之所讯号储存。(2)而发射系统和撷取系统之间的时间控制，來自资料开始进来后之触发。

(四) 影像

- (1)利用MATLAB先对讯号平移补偿，撷取成影像矩阵，而后进行振幅成像，接着也将讯号距離撷取成矩阵，兩矩阵取褶积，进行补偿修正。
- (2)利用濾波功能，提高超音波影像噪声比，进而求取最高质量之影像。

5-2. Suggestion

- (1)超音波换能器和其阵列改以整合半导体制程或微机电技术制造高频电容式超音波换能器阵列搭配整合，作为高频超音波影像系统。
- (2)整合发射系统和接收系统整合成一套窗口控制接口，并且对硬体积体化，减少硬件电路复杂性，并且撰写智能型资料库储存扫描之资料。
- (3)水下超音波阵列系统未來可结合网路功能和动态显像。

—样翻譯公司 样本
Elegant Translation Service Sample
请勿复制
Do not copy

本論文所研究之水下超音波影像系统搭配超音波压电陶瓷阵列，成功的将相移式发射系统经B-mode 扫描反射讯号经由垂直十九颗阵列利用Labview控制依序接收并且成像，希望能对将来有兴趣朝向水下超音波影像系统或是将此系统应用各项之设计、制作上有所助益。